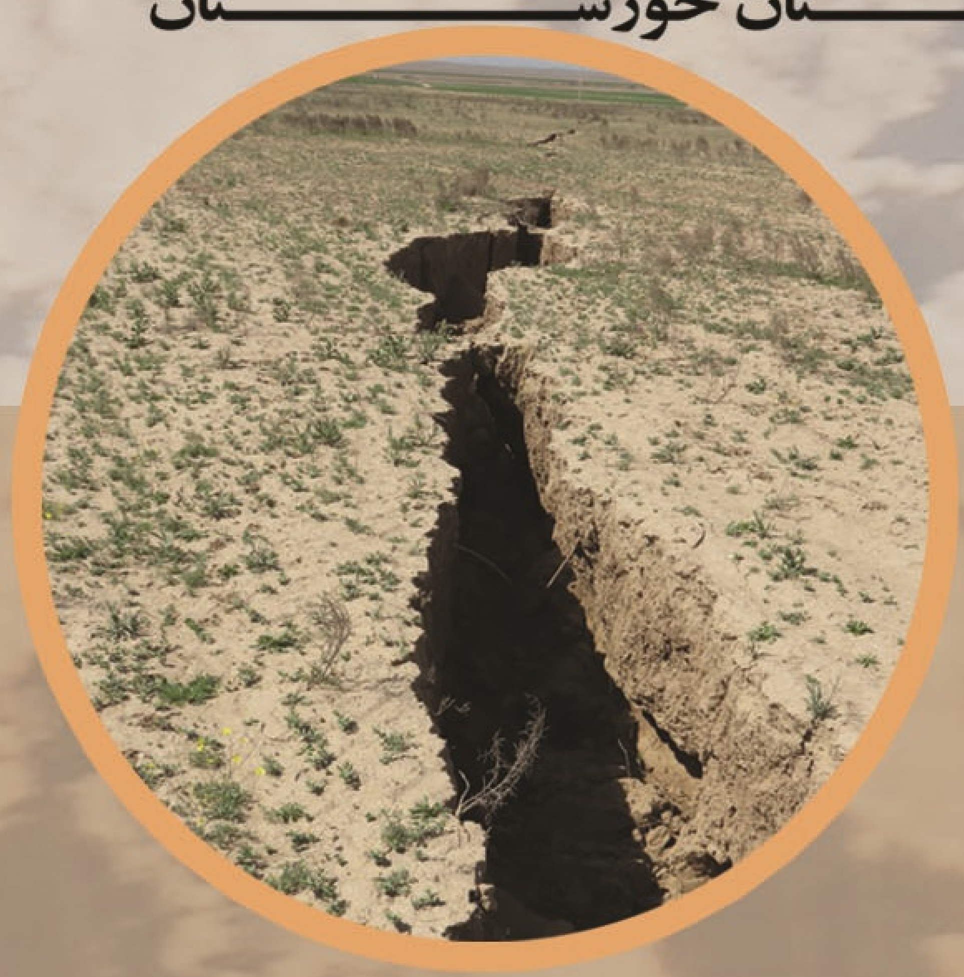
مجله

جغرافیا و مخاطرات محیطی

(نشریهٔ علمی)

سال دهم، شماره ۴۰، زمستان ۱۴۰۰، شاپا : ۲۳۲۲-۱۶۸۲



فصلنامه

جغرافیا و مخاطرات محیطی

(نشریهٔ علمی)

سال دهم، شمارهٔ چهلم، زمستان ۱۴۰۰

شاپا چاپی : ۱۶۸۲-۲۳۲۲ شاپا الکترونیکی : ۲۳۸۳-۳۰۷۶

دانشکده ادبیات و علوم انسانی

فصلنامۀ جغرافیا و مخاطرات محیطی

صاحب امتیاز: دانشگاه فردوسی مشهد
مدیر مسؤل: دکتر سیدرضا حسین‌زاده
سردبیر: دکتر محمد رحیم رهنما

مقالات نمودار آرای نویسندگان است و به ترتیب وصول و تصویب درج می‌شود.

بر اساس آئین‌نامه کمسیون نشریات وزارت علوم تحقیقات و فنآوری از سال ۱۳۹۸، کلیه نشریات دارای درجه "علمی-پژوهشی" به نشریه "علمی" تغییر نام یافتند.

این نشریه حاصل فعالیت مشترک دانشگاه فردوسی مشهد و انجمن ایرانی ژئومورفولوژی است

مدیر داخلی: دکتر ندا محسنی **کارشناس اجرایی:** سید محمد علی موسوی **ویراستاری انگلیسی:** مرکز ویراستاری دانشکده ادبیات و علوم انسانی(عبداله نوروزی)
ویراستاری ادبی: دکتر جواد میزبان **حروف نگاری و صفحه آرایی:** الهه تجویدی **طراحی جلد:** امیراسفندیار عامل‌محرابی

بر اساس سیاست دانشگاه فردوسی مشهد این نشریه به صورت الکترونیکی چاپ می شود و هیچ نسخه کاغذی ندارد

نشانی: مشهد، دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده ادبیّات و علوم انسانی دکتر علی شریعتی، کد پستی ۹۱۷۷۹۴۸۸۸۳
نشانی اینترنتی: E-mail:geo.eh@um.ac.ir http://geoeh.um.ac.ir

شماره پروانه: ۳/۲۷۱۱۱۶– **این مجله در نشست کمیسیون بررسی نشریات علمی کشور مورّخ ۱۳۹۰/۱۲/۱۰، رتبه علمی- پژوهشی دریافت کرده است.**

این مجلّه در پایگاه‌های زیر نمایه می‌شود:

- **پایگاه استنادی علوم جهان اسلام(ISC)**
- **پایگاه اطلاعات علمی جهاد دانشگاهی (SID)**
- **پایگاه بانک اطلاعات نشریات کشور (Magiran)**
- **DOAJ (Directory of Open Access Journals)**
- **EBSCO Information Services**

بسم الله الرحمن الرحیم

فصلنامه جغرافیا و مخاطرات محیطی

(نشریه علمی)

سال دهم، شمارهٔ چهلم، زمستان ۱۴۰۰

شاپا چاپی : ۱۶۸۲-۲۳۲۲

شاپا الکترونیکی : ۲۳۸۳-۳۰۷۶

راهنمای تدوین و نحوه ارسال مقاله برای چاپ در فصلنامه علمی ـ پژوهشی
جغرافیا و مخاطرات محیطی

۱-مجله جغرافیا و مخاطرات محیطی به دلیل تخصصی بودن فقط در موضوعات مرتبط با مخاطرات محیطی (طبیعی و انسانی) پذیرای مقالات می باشد.

۲-مقاله باید حاصل کار پژوهشی نویسنده (یا نویسندگان) باشد، قبلاً در نشریه دیگری اعم از داخلی و خارجی و یا مجموعه مقالات همایش‌ها به چاپ نرسیده باشد و همچنین به طور همزمان برای مجله دیگری ارسال نشده باشد.

تبصره: مقاله‌های ارایه شده در همایش‌ها و مجامع علمی مشروط به اینکه با تغییرات قابل توجه و افزودن مطالب جدید همراه باشد، قابل بررسی خواهد بود.

۳-مقاله‌های مروری که پیشرفت‌های جدید در موضوعات مجله را در بر می‌گیرد، از نویسندگان مجرب و دارای مقالات پژوهشی در زمینه مورد نظر پذیرفته می‌شود.

٤-ساختار مقاله باید مشتمل بر عنوان، اسامی نویسنده (یا نویسندگان) چکیده فارسی، واژگان کلیدی، مقدمه، مواد و روش‌ها (شامل زیر بخش‌های: منطقه مورد مطالعه، مطالعات میدانی، آنالیزهای آزمایشگاهی و روش‌های استفاده شده)، نتایج و بحث، جمع‌بندی، قدردانی و تشکر، فهرست منابع و ضمائم و چکیده مبسوط انگلیسی باشد.

نکته: لطفا دقت شود که همه بخش‌ها و زیر بخش‌ها به استثنای تیتر "چکیده" شماره‌گذاری شوند. همچنین زیر بخش‌های مربوط به "مواد و روش‌ها" بر حسب ماهیت کار قابل تغییر است.

۵- علاوه بر شماره صفحه، تمامی خطوط بطور پیوسته باید شماره گذاری شوند (Line Numbers).

٦-چکیده مبسوط انگلیسی حداقل ۲ و حداکثر ۳ صفحه و اجزاء آن شامل: Introduction, Materials and methods, Result and discussion, Conclusion, Key words باشد

۷-حجم مقاله شامل تمام اجزاء آن با رعایت استانداردهای حروفچینی مجله باید حداکثر ۱۸ صفحه باشد. مقالات با حجم بیش از ۱۸ صفحه قابل بررسی نخواهد بود.

۸- حروفچینی مقاله باید در برنامه Word 2007 و بالاتر بر روی کاغذ A4 با فواصل ۳,۵ سانتی‌متر از بالا، ۳,۵ سانتی‌متر از پایین، ۳ سانتی‌متر از چپ و ۳ سانتی‌متر از راست صورت گیرد. Header: ۲,۷۵ و Footer: ۳ عنوان مقاله با قلم ۱۳ پررنگ B Lotus. اسم، فامیل- مرتبه علمی با قلم ۱۱ پررنگ B Lotus.، نویسنده مسؤول، شماره تلفن و ایمیل نویسنده به صورت پاورقی و با قلم ۱۱ B Lotus باشد. چکیده ۱۲ پررنگ B Lotus، متن چکیده ۱۲ B Lotus. (چکیده و متن آن با فواصل ۲سانتی‌متر از سمت چپ و ۲ سانتی‌متر از سمت راست از متن اصلی باشد). تیترهای اصلی متن ۱۲پررنگ B Lotus با فاصله pt12 از پاراگراف قبل و pt8 از پاراگراف بعد. کل متن با ۱۳ B Lotus.

۹- شماره و عنوان جداول در بالا و با قلم ۱۲ پررنگ B Lotus نوشته شود.

۱۰- تمام نقشه‌ها، نمودارها، شکل‌ها و عکس‌ها به طور یکنواخت با عنوان شکل شماره گذاری و شماره و عنوان اشکال در زیر آن با قلم ۱۲ پررنگ B Lotus، درج گردد.

۱۱- شیوه ارجاع انواع منابع در انتهای مقاله باید بر اساس حروف الفبا و بصورت زیر باشد. در ابتدا منابع فارسی (B Lotus 12) و در ادامه منابع انگلیسی (Times New Roman 11) ذکر شوند:

شیوه منبع نویسی مقالات انگلیسی

Johnson RM, Warburton J. 2002. Flooding and geomorphic impacts in a mountain torrent: Raise Beck, central Lake District, England. Earth Surface Processes and Landforms 27: 945-969.

کتب انگلیسی:

Bull WB.1991. Geomorphic Responses to Climate Change. University Press, Oxford.

Amoroso GG, Fassina V. 1983. Stone Decay and Conservation: Atmospheric Pollution, Cleaning, Consolidation and Protection. Elsevier Science Publishers: Amsterdam

مقالات فارسی:

حجازی زاده، زهرا. (۱۳۷٦). نقش پرفشار جنب حاره در تغییر فصل ایران. چاپ در مجموعه مقالات کنگره جغرافیدان ایران. تبریز، صص ۱۸۵– ۱۷٤.

بحری، معصومه؛ دستورانی، محمدتقی. (۱۳۹٦). ارزیابی اثرات تغییراقلیم و تغییرکاربری اراضی بر پاسخ هیدرولوژیک حوزه آبخیز اسکندری. جغرافیا و مخاطرات محیطی، شماره ۲۲، ۳۷–۵۷

کتب فارسی:

مخدوم، مجید. (۱۳۸۱). شالوده آمایش سرزمین. انتشارات دانشگاه تهران.

تبصره۱: در صورتی که صاحب اثر شخصیت حقوقی یعنی سازمان یا نهاد دولتی باشد به جای نام خانوادگی و نام نویسنده عنوان سازمان و یا نهاد مربوطه ذکر می‌شود.

تبصره ۲: در صورت استفاده از پایان‌نامه و رساله‌های تحصیلات تکمیلی، ذکر نام استاد راهنما، عنوان رشته و نام دانشگاه الزامی است.

– **نحوه ارجاع داخل متن** بر اساس نام نویسنده و سال انتشار طبق نمونه‌های زیر با قلم B Lotus ۱۲ برای مقالات فارسی و قلم Times New Roman۱۱ برای مقالات انگلیسی:

(محمودی، ۱۳٦۸)، (بحری و دستورانی، ۱۳۹٦)، (محمودی و همکاران، ۱۳٦۸)

(Knox, 2000) ،(Baker et al., 1988)،(Johnson & Warburton, 2002)

۱۳– مقاله در دو قالب، یک فایل Word و یک فایل Pdf آماده و با ثبت نام در سامانه مجله به ادرس: http://Geoeh.um.ac.ir ارسال گردد. مکاتبات بعدی می‌تواند از طریق پست الکترونیک مجله به آدرس Geo.eh@um.ac.ir انجام گیرد.

۱٤– مسؤولیت صحت مطالب مقاله از نظر حقوقی به عهده نویسنده یا نویسندگان خواهد بود.

۱۵– مجله حق رد یا قبول و نیز ویراستاری مقالات را برای خود محفوظ داشته و مقالات دریافتی عودت داده نخواهد شد.

۱٦– مقاله‌های ارسال شده به نویسنده جهت انجام اصلاحات در صورت عدم دریافت پاسخ در تاریخ تعیین شده، به منزله انصراف از چاپ تلقی می‌گردد.

داوران این شماره به ترتیب حروف الفبا

۱. ابوالفضل آزادی (مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان)

۲. مرتضی اکبری (استادیار گروه مدیریت مناطق خشک وبیابانی دانشگاه فردوسی مشهد)

۳. لیلی ایزدی‌کیان (استادیار گروه آموزشی زمین شناسی دانشگاه بوعلی سینا همدان)

٤. سید محمد تاجبخش (دانشیار گروه مرتع و آبخیزداری دانشگاه بیرجند)

۵. بهرام چوبین (استادیار علوم و مهندسی آبخیزداری مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی استان آذربایجان غربی)

٦. سید اسعد حسینی (دکتری اقلیم‌شناسی، دانشگاه محقق اردبیلی)

۷. شهریار خالدی (استاد اقلیم شناسی دانشگاه شهید بهشتی)

۸ محمد دیده‌بان (استادیار گروه معماری دانشگاه صنعتی جندی شاپور دزفول)

۹. ناصر رضائی (پژوهشگاه میراث فرهنگی و گردشگری)

۱۰. محسن رضائی عارفی (دکتری ژئومورفولوژی دانشگاه حکیم سبزواری)

۱۱. منصور رضاعلی (دکتری جغرافیا و برنامه ریزی شهری دانشگاه تربیت مدرس)

۱۲. طاهره صادقلو (استادیار گروه جغرافیا دانشگاه فردوسی مشهد)

۱۳. مصطفی کریمی (استادیار گروه جغرافیای طبیعی دانشگاه تهران)

١٤. ندا محسنی (استادیار گروه جغرافیا دانشگاه فردوسی مشهد)

۱۵. کوروش مومنی (دانشیار گروه معماری دانشگاه صنعتی جندی شاپور دزفول)

١٦. سعید نگهبان (دانشیار جغرافیا طبیعی-ژئومورفولوژی دانشگاه شیراز)

۱۷. مجتبی یمانی (استاد جغرافیای طبیعی-ژئومورفولوژی دانشگاه تهران)

فهرست مندرجات

بسمه تعالی

دانشگاه فردوسی مشهد

انجمن ایرانی ژئومورفولوژی

IRANIAN ASSOCIATION OF GEOMORPHOLOGY

توافقنامه همکاری علمی

این توافقنامه بین مجله جغرافیا و مخاطرات محیطی و انجمن ایرانی ژئومورفولوژی و به منظور همکاری در ادامه انتشار نشریه (علمی پژوهشی) با عنوان جغرافیا و مخاطرات محیطی در زمینه بررسی مخاطرات محیطی منعقد می‌گردد.

ماده ۱: نشریه به صورت فصلنامه و هر سال چهار شماره به زبان فارسی منتشر می‌شود. صاحب امتیاز نشریه دانشگاه فردوسی مشهد بوده و اهداف آن عبارتند از: گسترش و ارتقاء پژوهش در سطح کشور، کمک به ایجاد ارتباط و همکاری علمی بین محققین این زمینه در ایران، انتشار نتایج نوآورانه پژوهشهای علمی.

ماده ۲: امورعلمی نشریه را هیأت تحریریه، که حداقل یک چهارم اعضای آن از بین اعضای انجمن هستند، انجام خواهند داد.

تبصره۱: انجمن متعهد می‌شود که لااقل دو نفر از اعضای هیأت تحریریه را از اعضای فعال هیأت علمی دانشگاه‌ها انتخاب نماید.

تبصره ۲: یکی از اعضای هیأت تحریریه عضو دانشگاه فردوسی با پیشنهاد بالاترین مقام صاحب امتیاز و تأیید هیأت مدیره انجمن به عنوان سردبیر نشریه تعیین و با حکم بالاترین مقام صاحب امتیاز به این سمت منصوب خواهدشد. انتخاب سردبیر و اعضای هیأت تحریریه مطابق با آیین‌نامه تعیین اعتبار نشریات علمی کشور صورت خواهد پذیرفت.

ماده ۳: دفتر نشریه در موسسه متقاضی نشریه و با مسئولیت مدیر مسئول اداره خواهدشد.

ماده ۴: روی جلد مجله علاوه بر نشان دانشگاه فردوسی مشهد نشان انجمن ایرانی ژئومورفولوژی با اندازه یکسان نیز چاپ خواهدشد.

ماده ۵: در صفحه حقوقی تمامی شماره‌های نشریه، این جمله آورده شود «این نشریه حاصل فعالیت مشترک دانشگاه فردوسی مشهد و انجمن ایرانی ژئومورفولوژی است.

ماده ۶: کلیه هزینه‌های آماده سازی نشریه تا قبل از لیتوگرافی اعم از هزینه‌های داوری، حق‌الزحمه ویراستار، مجری، امور دفتری، پست و مخابرات، تایپ،... برعهده دانشگاه فردوسی مشهد خواهد بود.

ماده ۷: هزینه‌های لیتوگرافی و چاپ نشریه (فیلم و زینگ، کاغذ، چاپ نشریه و جلد، صحافی) به صورت مشترک و با سهم مساوی توسط انجمن و موسسه متقاضی پرداخت خواهدشد.

ماده ۸: هرگاه یکی از طرفین قرارداد مایل به فسخ آن باشد باید تصمیم خود را حداقل شش‌ماه زودتر کتباً به اطلاع طرف مقابل برساند. در صورت توافق طرفین به فسخ توافقنامه، نتیجه توسط دبیرانجمن یا مدیرمسئول به دبیرخانه کمیسیون نشریات علمی کشور اعلام شود. موسسه متقاضی حداکثر به مدت شش ماه از تاریخ فسخ توافقنامه فرصت دارد تا با تکمیل مدارک و ارسال سه شماره آخر از نشریه به دبیرخانه کمیسیون نشریات علمی کشور، تقاضای اعتبار مستقل نماید تا مراحل ارزیابی نشریه صورت گیرد.

۹ـ این قرارداد در ۸ ماده و دو تبصره در دو نسخه به مدت ۴ سال تنظیم گردید و در تاریخ ۱۳۹۸/۸/۲ توسط دکتر احمدرضا بهرامی به نمایندگی از دانشگاه فردوسی مشهد و دکتر مجتبی یمانی (رییس هیات مدیره انجمن ایرانی ژئومورفولوژی) به امضاء رسید.

دکتر مجتبی یمانی

رییس هیات مدیره انجمن ایرانی ژئومورفولوژی

دکتر احمدرضا بهرامی

معاون پژوهشی و فن‌آوری دانشگاه فردوسی مشهد

دانشگاه فردوسی مشهد

معاونت پژوهش و فناوری

Vol.10, No.4, Winter 2022, pp.1-23 ISSN (Print):2322-1682 ISSN (Online):2383-3076

Journal of Geography and Environmental Hazards

RESEARCH ARTICLE DOI:10.22067/geoeh.2021.69902.1044 Open access

Investigating Neotectonics of the Karvansara Fault Zone based on Morphotectonical and Fractal Patterns of the North Nobaran, Northwestern Iran

Amir Hossein Sadr [a*], Reza Alipoor [a], Maryam Mahmoudi [b], Zahra Rasouli Anbar [b]

[a] *Assistant Professor, Department of Geology, Faculty of Basic Sciences, Bu-Ali Sina University, Hamadan, Iran*
[b] *MSc in Tectonics, Department of Geology, Faculty of Basic Sciences, Bu-Ali Sina University, Hamadan, Iran*

Received: 12 April 2021 ***Revised: 27 June 2021*** ***Accepted: 04 July 2021***

Abstract

The Karvansara fault zone is located in north of the Nobaran and in the geological and structural zone of Central Iran. This zone is located at the south of the Caspian Sea within the Alpine-Himalayan belt. The aim of this study was to investigate the morphological evidences and evaluate the relative tectonic activities along Karvansara fault zone. For this purpose, five morphometric indices including drainage basin asymmetry factor (Af), transverse topographic symmetry factor (T), stream length–gradient index (SL), ratio of valley floor width to valley height (Vf) and hypsometric integral index (Hi) as well as fractal dimensions of faults and drainage network were calculated. The evaluation of these indexes and the overlap of their results and the evaluation of the index of relative tectonic activity (IAT) show that most of the study area indicate very active to active classes of the relative tectonic activity. Also, the calculation of fractal dimension in eleven boxes in the study area for the faults and drainage network by square method, drawing of the log-log diagrams and the use of relevant fractal analysis show the tectonic activity of the region. The neotectonic study of the Karvansara fault zone and the location of the basins with moderate to high tectonic activity, along the major active fault zones, especially in areas where fracture density is higher than other regions and fractal dimensions calculated for the fault zone and drainage network indicate that the activity of the fault system is on the southern part of the study area.

Keywords: Neotectonic, Morphometry Index, Karvansara Fault, Nobaran

[*]. Corresponding author: Amir Hossein Sadr E-mail: a.sadr@basu.ac.ir Tel: + 989183170515

How to cite this Article: Sadr, A., alipoor, R., mahmoudi, M., Rasouli Anbar, Z. (2022). Investigation of neotectonics of the Karvansara fault zone based on morphotectonical and fractal patterns of the North Nobaran, Northwestern Iran. *Journal of Geography and Environmental Hazards*, 10(4), 1-23.
doi: **10.22067/geoeh.2021.69902.1044**

Geography and Environmental Hazards
Volume 10, Issue 4 - Number 40, Winter 2022
https://geoeh.um.ac.ir
https://dx.doi.org/10.22067/geoeh.2021.69902.1044

جغرافیا و مخاطرات محیطی، سال دهم، شمارۀ چهلم، زمستان ۱۴۰۰ صص ۲۳-۱

مقاله پژوهشی

بررسی نوزمین‌ساخت پهنه گسل کاروانسرا بر پایه الگوهای ریخت‌زمین‌ساختی و فرکتالی حاکم بر شمال نوبران، شمال‌باختر ایران

امیرحسین صدر[۱]– استادیار گروه تکتونیک، دانشکده علوم‌پایه، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران
رضا علی پور– استادیار گروه تکتونیک، دانشکده علوم‌پایه، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران
مریم محمودی– کارشناسی ارشد تکتونیک، دانشکده علوم‌پایه، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران
زهرا رسولی عنبر– کارشناسی ارشد تکتونیک، دانشکده علوم‌پایه، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱/۲۳ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۴/۶ تاریخ تصویب: ۱۴۰۰/۴/۱۳

چکیده

پهنه گسلی کاروانسرا در شمال نوبران و پهنه زمین‌شناسی و ساختاری ایران مرکزی قرار گرفته است. این پهنه در جنوب دریای خزر و در کمربند آلپ–هیمالیا قرار دارد. مطالعه نشانه‌های ریخت‌زمین‌ساختی، روش مناسبی در ارزیابی فعالیت‌های زمین‌ساخت نسبی و بررسی تأثیرات پهنه گسلی موردمطالعه است. در این پژوهش ۵ شاخص ریخت‌سنجی، شاخص عدم تقارن حوضه‌زهکشی، تقارن توپوگرافی عرضی، گرادیان – طول رودخانه، نسبت عرض کف دره به ارتفاع آن و منحنی فرازسنجی محاسبه شده است. ارزیابی این شاخص‌ها و همپوشانی نتایج آن‌ها با یکدیگر به‌عنوان شاخص زمین‌ساخت فعال نسبی در چهار رده شامل مناطق با فعالیت زمین‌ساخت نسبی، خیلی فعال تا مناطق با فعالیت کم مشخص گردید. توزیع این شاخص نواحی مربوط به فعالیت گسل‌های مختلف و نرخ‌های نسبی زمین‌ساخت پویا را مشخص می‌سازد. همچنین بعد فرکتالی در ۱۱ مربع در منطقه موردمطالعه برای الگوی گسل‌ها و شبکه زهکشی منطقه به روش مربع‌شمار، نمودارهای Log – Log و استفاده از تحلیل‌های فرکتالی مربوط

---

۱ نویسنده مسئول : ۰۹۱۸۳۱۷۰۵۱۵ Email: a.sadr@basu.ac.ir

نحوه ارجاع به این مقاله :

صدر، امیرحسین؛ علی پور، رضا؛ محمودی، مریم؛ رسولی‌عنبر، زهرا؛ ۱۴۰۰. بررسی نوزمین‌ساخت پهنه گسل کاروانسرا بر پایه الگوهای ریخت‌زمین‌ساختی و فرکتالی حاکم بر شمال نوبران، شمال‌باختر ایران. *جغرافیا و مخاطرات محیطی*. ۱۰(۴). صص ۲۳-۱ https://dx.doi.org/10.22067/geoeh.2021.69902.1044

محاسـبه شـده اسـت. بررسـی نوزمین‌ساخت پهنه گسلی کاروانسرا و قرارگیری حوضه‌ها، با میزان فعالیت زمین‌سـاختی متوسـط تا بالا، در پهنه گسـل‌های اصـلی و فعال در منطقه به‌خصـوص در مناطقی که تراکم شـکسـتگی‌ها بیش از دیگر مناطق اسـت و ابعاد فرکتالی محاسـبه شده برای پهنه گسلی و شبکه زهکشی، نشـان‌دهنده عملکرد فعال سامانه گسلی در جبهه جنوبی محدوده موردمطالعه است. نقش مؤثر ساختارهای زمین‌سـاختی در ایجاد نرخ‌های بالایی از میزان فعالیت نسـبی زمین‌ساختی و ریخت‌شناسی شبکه زهکشی به‌عنوان عوامل مخاطرات طبیعی جدی در محدوده موردمطالعه محسوب می‌شوند.

کلیدواژه‌ها: نوزمین‌ساخت، شاخص‌های ریخت‌سنجی، گسل کاروانسرا، نوبران.

۱– مقدمه

اسـتفاده از تحلیل ریخت‌زمین‌سـاختی یکی از ابزارهای کاربردی تفسـیر ساختارها، در علوم زمین است که بر روی داده‌های توپوگرافی و اطلاعات دورسـنجی و غیره صـورت می‌پذیرد. این تحلیل‌ها به بررسـی روابط فضـایی بین عوارض (لندفرم) و حرکات زمین‌سـاختی ایجاد کننده آن‌ها و اسـتنباط‌های ریخت‌زمین‌سـاختی در راسـتای تحلیل دینامیکی یا سـینماتیکی این فرآیندهاسـت؛ به‌عبارت‌دیگر ریخت‌زمین‌سـاخت یا ریخت‌شـناسی زمین‌ساختی به مطالعه روابط بین فرآیندهای زمین‌سـاختی که در جهت ایجاد توپوگرافی عمل می‌کنند و فرآیندهای سـطحی که به حذف این پدیده‌ها می‌پردازند، اطلاق می‌گردد (بربانک و اندرسـون[۱]، ۲۰۱۰). گام اول در این مطالعات بررسـی کمی و کیفی واحدهای توپوگرافی اصلی یک منطقه مثل رشته‌کوه‌ها، حوضه‌ها، آبراهه‌ها و خطواره‌ها است.

ارزیابی و بررسـی فرآیندهای زمین‌سـاختی فعال، اثرات ناشـی از آن و ایجاد مخاطرات طبیعی همچون زمین‌لرزه‌ها برای بسـیاری از فعالیت‌های بشـری از اهمیت بالایی برخوردار اسـت، که به‌واسـطه آن می‌توان خطرات و خسـارات ناشـی ازاین‌گونه فرآیندهای فعال در طبیعت را به حداقل رسـاند. در این‌گونه بررسـی‌ها لفظ فعال، بیانگر حرکات زمین‌سـاختی با دوره زمانی چندین دهه یا چندین هزارسـاله، برابر با دوره زمانی که برای بقایای تجهیزات و سـازه‌های مهم مثل سـدها، تونل‌ها، نیروگاه‌ها و ...، برنامه‌ریزی می‌شـود. گرچه شناخت فرآیندهای زمین‌ساختی با دوره‌های چند میلیون سـاله نیز جهت درک کامل زمین‌سـاخت فعال و کاهش مخاطرات زمین‌شـناختی وابسـته به آن، امری ضروری اسـت (کلر و همکاران[۲]، ۱۹۸۲). در مطالعات زمین‌سـاختی مبحثی تحت عنوان نوزمین‌سـاخت مطرح می‌شـود که به مطالعه حرکات و فرآیندهای زمین‌سـاختی جوان‌تر از نئوژن می‌پردازد. این واژه اولین بار توسـط اوبراچف[۳] (۱۹۴۸) به‌عنوان مطالعه جنبش‌های جوان و اخیر رخ داده از پایان دوره ترشیری و نیمه اول دوره کواترنری بیان شده است.

1 Burbank and Anderson
2 Keller et al.
3 Obrachev

شـواهد زمین‌ریختی به دو صـورت کمی و کیفی قابل ارزیابی اسـت که ارزیابی کمی تحت عنوان ریخت‌سـنجی مرسـوم بوده و در آن با اسـتفاده از پارامترهای هندسـی، شـاخص‌های متفاوتی تعریف می‌شـود که از شاخص‌ها برای ارزیابی یک عارضـه و نیز مقایسـه عوارض با یکدیگر استفاده می‌شود (مولین و همکاران[1]، ۲۰۰٤). به‌طورکلی در طول چند سـال اخیر محققین مختلف در کنار بررسـی شـاخص‌های ریخت‌زمین‌سـاختی کیفی، در مناطق دارای حرکات زمین‌سـاختی فعال و جوان، سـعی در کمی نمودن رفتار حرکات زمین‌سـاختی داشـته و برای این امر شـاخص‌های مختلفی را تحت عنوان، شـاخص‌های ریخت‌سـنجی ارائه نموده‌اند، ازجمله می‌توان به سـیکاسی و همکاران[2] (۱۹۸٦)، لی و همکاران[3] (۱۹۹۹)، حمدونی و همکاران[4] (۲۰۰۸) و گارنیری و پیرونا[5] (۲۰۰۸)، پورکرمانی و معتمدی (۱۳۸۱)، گورابی و نوحه‌گر (۱۳۸٦)، سـیف و خسـروی (۱۳۸۹)، مقصـودی و عمادالدین (۱۳۹۰)، علی‌پور و همکاران (۲۰۱۱)، بهرامی (۱۳۹۲)، قنواتی و همکاران (۱۳۹٦)، و محمودی (۱۳۹۷)، را می‌توان نام برد.

شـاخص‌های زمین‌ریخت‌سـنجی برای شـناسـایی خصـوصـیات خاص از یک ناحیه، به‌عنوان ابزارهای اساسی و کارآمد برای تشـخیص تغییر شـکل‌های سریع زمین‌ساختی و بررسی نوزمین‌ساخت مورداستفاده قرار می‌گیرند (مولین و همکاران، ۲۰۰٤). هر یک از شـاخص‌ها ارائه‌دهنده یک طبقه‌بندی نسـبی از میزان فعالیت‌های زمین‌ساختی می‌باشند. وقتی‌که از چند شـاخص برای یک ناحیه اسـتفاده شود، نسبت به‌کارگیری یک شاخص نتایج بامعناتری را ارائه می‌دهد. نتایج چندین شـاخص می‌توانند با یکدیگر ترکیب شـوند و رده فعالیت‌های زمین‌سـاختی را به دست آورند. این نتایج در سـطح گسترده برای تخمین درجهٔ نسبی فعالیت‌های زمین‌ساختی در یک ناحیه مورداستفاده قرار می‌گیرد و می‌توان منطقه را به نواحی خیلی فعال، نیمه فعال یا غیرفعال رده‌بندی نمود (گورابی، ۱۳۹۵). شـاخص‌های زمین‌ریخت‌سـنجی در بررسـی فعالیت‌های زمین‌سـاختی ابزار مفید و قابل‌اطمینانی هسـتند، زیرا با استفاده از آن‌ها می‌توان مناطقی را که در گذشته فعالیت‌های سریع و یا کند زمین‌ساختی را تجربه کرده‌اند، به‌راحتی شناسایی نمود (رامیرز و هررا[6]،۱۹۹۸).

یکی از مهم‌ترین سـاختارهای شـمالی بلوک ایران مرکزی، سامانه گسلی کوشک – نصرت است. این گسل با طول تقریبی ۲۰۰ کیلومتر به دو شـاخه موازی از شـمال سـاوه تا شـمال نوبران با راسـتای WNW-ESE ادامه می‌یابد که در شـمال نوبران شاخه شمالی (شاخه قمشلو با روند شمال‌باختری – جنوب‌خاوری) تغییر روند می‌دهد اما شاخه جنوبی (شـاخه خلخاب) گسـل با روندی تقریباً هم‌راسـتا با گسـل آوج ادامه می‌یابد و در انتهای شـمال‌باختری گسل آوج را قطع می‌نماید (اورنگ و همکاران، ۱۳۹۳). دگرشـکلی‌های منطقه حدفاصـل آوج تا نوبران تحت کنترل حرکات پهنه گسـل کوشـک – نصـرت و به‌طور محلی پهنه گسـل کاروانسرا است. با وجود این‌که سامانه گسلی کوشک – نصرت

1 Molin et al
2 Ciccacci et al
3 Li et al
4 El Hamdouni et al
5 Guarnier and Pirrotta, 2008
6 Ramirez and Herrera

مطالعه و مکانیزم حرکتی، آن راستالغزچپ بر تأیید شده است، اما شاخه جنوبی یا گسل خلخاب و پهنه گسل کاروانسرا که در جنوب، شاخه جنوبی در شمال نوبران واقع شده است و دگرشکلی‌های گسترده‌ای را در منطقه ایجاد نموده از نظر هندسی و فعالیت‌های نوزمین‌ساختی کاملاً ناشناخته می‌باشد. لذا در این پژوهش نیز سعی بر آن داشته تا با بررسی نوزمین‌ساخت و مسائل مرتبط با ریخت‌زمین‌ساخت با استفاده از شاخص‌های ریخت‌سنجی الگوی ریخت‌زمین‌ساختی حاکم بر بخش جنوب‌باختری شاخه جنوبی کوشک – نصرت (گسل کاروانسرا) را تعیین و با تلفیق نتایج تحلیل شاخص‌های زمین‌ریخت‌سنجی و بررسی شواهد ریخت‌شناسی در بازدیدهای صحرایی، میزان فعالیت نسبی زمین‌ساختی پهنه گسل کاروانسرا را در حوضه‌های مشخص شده در محدوده موردمطالعه مشخص نماییم و با استفاده از تحلیل‌های فرکتالی، الگوی حاکم بر گسل‌ها و شبکه زهکشی منطقه به روش مربع شمار و نمودارهای Log – Log، بعد فرکتالی در ۱۱ مربع در نظر گرفته شده در محدوه موردمطالعه، موردبررسی قرار دهیم.

۲-مواد و روش‌ها

در این پژوهش با استفاده از داده‌های حاصل از نقشه‌های توپوگرافی، زمین‌شناسی و عکس‌های هوایی منطقه موردمطالعه به‌عنوان داده‌های پایه در محیط نرم‌افزار جی‌ای اس[1]، نقشه‌های ساختاری، شبکه زهکشی و مدل رقومی ارتفاعی[2] گستره موردمطالعه به‌عنوان داده ارتفاعی پایه تهیه گردیده و در مرحله بعدی جهت محاسبه شاخص‌های ریخت‌سنجی و با به کارگیری تکنیک‌های نرم‌افزاری، محدوده موردمطالعه به ۲۸ حوضه تقسیم گردید و سپس با توجه به ویژگی‌های ریخت‌زمین‌ساختی منطقه، شاخص طول جریان – شیب رود، شاخص فاکتور عدم تقارن حوضه زهکشی، شاخص تقارن توپوگرافی عرضی، نسبت عرض بستر دره به ارتفاع دره و شاخص انتگرال و منحنی هیپسومتریک برای گستره موردمطالعه محاسبه و درنهایت به‌منظور تعیین میزان فعالیت زمین‌ساختی نسبی در منطقه موردمطالعه، شاخص زمین‌ساخت فعال نسبی موردبررسی قرار گرفت. تکنیک اصلی در این پژوهش، ارزیابی نتایج حاصل از اندازه‌گیری شاخص‌های مذکور و تحلیل الگوی فرکتال حاکم بر منطقه موردمطالعه و درنهایت مقایسه نتایج حاصل از این دو با یکدیگر و مشخص نمودن مناطق فعال و دارای پتانسیل ایجاد مخاطرات طبیعی در محدوده موردمطالعه است.

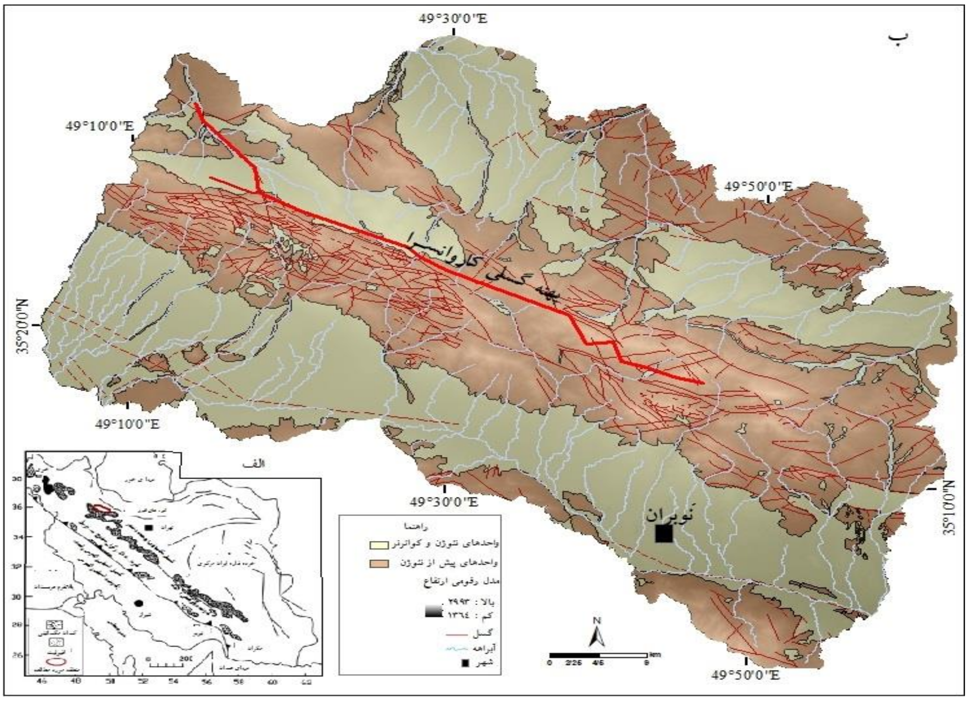
۲-۱- منطقه موردمطالعه

پهنه گسل کاروانسرا در شمال‌باختری ایران با طول جغرافیایی ۰۵´ °٤۹ تا ۵۰ درجه خاوری و عرض جغرافیایی °۳۵ تا ´٤۰ °۳۵ شمالی، در حدفاصل استان‌های همدان، مرکزی و قزوین واقع شده است که شامل بخش‌هایی از نقشه‌های زمین‌شناسی ۱:۱۰۰,۰۰۰ نوبران، رزن و آوج است (اعلایی مهابادی و خلعتبری، ۱۳۸۳، اعلایی مهابادی و

1 ArcGIS
2 DEM

فودازی، ۱۳۸٦ و بلورچی و همکاران[1]،۱۹۷۸). گســتره موردمطالعه از نظر ســاختاری و زمین‌شــناســی در پهنه ایران مرکزی را قرار گرفته است (علیزاده و همکاران[2]، ۲۰۱۰) (شکل ۱–الف).

قدیمی‌ترین لایه‌های رخنمون‌یافته در محدوده موردمطالعه، ســنگ‌های آهکی با میان لایه‌های ماســه‌ســنگی به ســن ژوراســیک بالایی اســت که واحدهای ماسه‌سنگی با میان لایه‌هایی از سنگ‌آهک و شیل به سن ژوراسیک – کرتاسه بر روی آن‌ها قرارگرفته اســت و ســپس توالی کاملی از رســوبات کرتاسه پایینی و بالایی، واحدهای قبلی را می‌پوشاند. در دوران ســنوزوییک توالی نســبتاً کاملی از واحدهای ســنگی با ســن‌های ائوســن و الیگومیوســن (ســازند قم) و میوسن (سازند قرمز بالایی) تا رسوبات عهد حاضر رخنمون دارند (اعلایی مهابادی و خلعتبری، ۱۳۸۳) (شکل ۱–ب).



شکل ۱- الف) نقشه پهنه‌های ساختاری - زمین‌شناسی ایران، موقعیت محدوده موردمطالعه به رنگ قرمز نشان داده شده است (علیزاده و همکاران[3]،۲۰۱۰). ب) نقشه زمین‌شناسی ساده شده منطقه موردمطالعه.

1 Bolourchi et al
2 Alizadeh et al
3 Alizadeh et al

۲-۲- شاخص‌های کمی ریخت‌سنجی

۲-۲-۱- شاخص طول جریان - شیب رود[1]

شاخص گرادیان (شیب) – طول رود یکی از شاخص‌های ارزیابی زمین‌ساخت فعال در ارتباط با شکل کانال رودها است و با استفاده از رابطه زیر محاسبه می‌گردد (هاک[2]، ۱۹۷۳).

$$SL = (\Delta H / \Delta L).L$$

SL: شاخص گرادیان – طول رود، ΔH: اختلاف ارتفاع محدوده، ΔL: معرف طول محدوده و L: طول کانال رود از خط تقسیم رود تا مرکز بخشی است که شیب در آن محاسبه شده است یا به عبارتی L طول کلی کانال، از نقطه‌ای که شاخص موردمحاسبه قرار گرفته تا مرتفع‌ترین نقطه کانال است. معمولاً شاخص گرادیان طول رود نسبت به تغییرات گرادیان رود بسیار حساس است و برای ارزیابی روابط بین فعالیت زمین‌ساختی، مقاومت سنگ و توپوگرافی مورداستفاده قرار می‌گیرد (کلر و پینتر[3]، ۲۰۰۲ آ).

۲-۲-۲- شاخص فاکتور عدم تقارن حوضه زهکشی[4]

عامل عدم تقارن یا فاکتور عدم تقارن می‌تواند میزان کج‌شدگی زمین‌ساختی حوضه زهکشی را در مقیاس‌های بزرگ نشان دهد. فاکتور عدم تقارن حوضه زهکشی براساس رابطه زیر تعیین می‌گردد (کلرو پینتر[5]، ۱۹۹٦؛ هری و گاردنر[6]، ۱۹۸۵).

$$Af = 100\ (Ar/At)$$

Af: شاخص عدم تقارن حوضه زهکشی، Ar: مساحت حوضه در برگیرنده زهکش‌های فرعی در سمت راست آبراهه اصلی (دید به سمت پایین‌دست آبراهه اصلی) و At: مساحت کل حوضه دربرگیرنده زهکش‌های فرعی سمت چپ و راست آبراهه اصلی.

۲-۲-۳- شاخص تقارن توپوگرافی عرضی[7]

محاسبه این شاخص روشی برای ارزیابی یک رودخانه درون حوضه و تغییرات میزان نامتقارنی در بخش‌های مختلف دره است. مقادیر تقارن توپوگرافی عرضی برای قطعات مختلف دره محاسبه می‌شود و مهاجرت ترجیحی آبراهه‌ها عمود بر محور زهکشی مشخص می‌شود و به‌صورت زیر تعریف شده است (سلیمانی، ۱۳۸۷).

$$T = Da / Dd$$

1 Stream length gradient index
2 Hack
3 Keller and Pinter
4 Drainage basin asymmetry factor
5 Keller and Pinter
6 Hare and Gardner
7 Transverse topographic symmetry factor

T: شاخص تقارن توپوگرافی عرض (Tav= T1+T2+T3/3)، Da: فاصله نوار مئاندر فعال از خط میانی حوضه زهکشی و Dd: فاصله خط میانی حوضه زهکشی از خط مرز حوضه (خط تقسیم حوضه).

۲-۲-٤- نسبت عرض بستر دره به ارتفاع دره[1]

فرسایش دره‌های رودخانه‌ای و ریخت‌شناسی دره‌ها در مقطع قائم یکی دیگر از ابزارهایی است که ما را در تفسیر و بررسی میزان فعالیت نیروهای زمین‌ساختی یاری می‌نماید. این امر با استفاده از شاخص نسبت پهنای کف دره به ارتفاع دره امکان‌پذیر است. این شاخص عبارت است از نسبت دو برابر عرض کف دره به مجموع اختلاف ارتفاع دیواره دو سمت آن با ارتفاع کف دره، که از رابطه زیر محاسبه می شود (بال و مک فادن[2]، ۱۹۹۷).

$$Vf = 2Vfw / [(Eld - Esc) + (Erd - Esc)]$$

Vf: شاخص نسبت پهنای کف دره به ارتفاع دره، Vfw: عرض (پهنای) کف دره به متر، Eld: ارتفاع دیواره سمت چپ دره، Erd: ارتفاع دیواره سمت راست دره و Esc: ارتفاع بستر دره (ارتفاع میانگین بستر دره). نسبت پهنای کف دره رابطه مستقیمی با اندازهٔ حوضه آبخیز و فرسایش‌پذیری سنگ‌ها و رابطهٔ معکوس با نرخ برخاستگی (فرآیش) دارد (بال[3]، ۲۰۰۷).

۲-۲-۵- شاخص انتگرال و منحنی هیپسومتریک[4]

منحنی هیپسومتری، توزیع سطوح ارتفاعی یک منطقه از زمین یا یک حوضه آبخیز را نشان می‌دهد. منحنی هیپسومتریک حوضه با ترسیم ارتفاع کل (ارتفاع نسبی) در مقابل مساحت کل (مساحت نسبی) حوضه ترسیم می‌شود. یکی از ساده‌ترین راه‌ها برای توصیف شکل منحنی هیپسومتریک یک حوضه زهکشی، محاسبه انتگرال هیپسومتریک آن حوضه است. مقادیر بالای انتگرال هیپسومتریک دلالت بر وجود پستی‌وبلندی و توپوگرافی بالا نسبت به میانگین حوضه زهکشی و مقادیر حد واسط تا کم انتگرال هیپسومتریک حاکی از برش شبکه زهکشی در یک سطح هموارتر است؛ بنابراین ترسیم مساحت تجمعی در محور X و ارتفاع نسبی در محور Y، منحنی هیپسومتری حوضه ترسیم و مساحت زیر منحنی به دست می‌آید (سلیمانی، ۱۳۷۸).

1 Ratio of valley floor to valley height
2 Bull and Mc Fadden
3 Bull
4 Hypsometric integral

۲-۲-۶- شاخص ارزیابی فعالیت نسبی زمین‌ساختی[1]

پس از محاسبه شاخص‌های زمین‌ریخت‌سنجی در منطقه موردمطالعه، با استفاده از شاخص ارزیابی نسبی فعالیت‌های زمین‌ساختی، فعالیت‌های زمین‌ساختی در منطقه برآورد می‌شود. شاخص فعالیت نسبی زمین ساختی، طبق رابطه زیر، از متوسط کلاس‌های مختلف شاخص‌های مذکور محاسبه می‌گردد.

$$Iat=S/n$$

Iat: شاخص فعالیت نسبی زمین‌ساختی، S: مجموع کلاس‌های شاخص زمین‌ریخت‌سنجی محاسبه شده، n: تعداد شاخص‌های محاسبه شده است.

۲-۳- بعد فرکتال

اساس روش مطالعه در فرکتال، محاسبه ابعاد فرکتالی برای عناصر هندسی است. ابعاد عناصر هندسی اعداد صحیح، ۰، ۱، ۲ و ۳ برای نقطه، خط، سطح و حجم است، که هرکدام از این‌ها بیانگر عناصر هندسی نامحدود می‌باشند؛ بنابراین ابعاد هندسی اقلیدسی به‌خوبی نمی‌توانند بیانگر ویژگی پدیده‌ها با هم و یا مقایسه آن‌ها با یکدیگر باشند، ولی ابعاد فرکتالی می‌توانند اعداد اعشاری بوده، بدین ترتیب محدودیتی در اندازه‌گیری هیچ‌یک از پدیده‌ها با این روش وجود ندارد. با استفاده از روش شمارش مربعات، که متداول‌ترین روش در تحلیل فرکتالی شکستگی‌های ساختاری اعم از گسل‌ها و شبکه آبراهه‌ها است تورکت[2] (۱۹۹۷)، و توسط بسیاری از محققین به کار گرفته شده است. به‌منظور استفاده از این روش ایجاد شبکه‌بندی مناسب در محدوده موردمطالعه امری ضروری است.

تحلیل‌ها براساس نمودار Log/Log از تعداد مربع‌های دارای شکستگی (Nn) بر حسب طول شبکه‌های ایجاد شده (r_n) یا عکس آن ($1/r_n$) صورت گرفته است. نمودارهای ترسیم، تغییرات ابعاد فرکتالی را نشان می‌دهند و برای هرکدام از منحنی‌های فرکتالی رابطه زیر صدق می‌کند.

$$Log(N_n) = D\, Log(1/r_n) + C$$

در این رابطه D شیب خط و نشان‌دهنده بعد فرکتالی پهنه برشی است.

۳- نتایج و بحث

به‌منظور تحلیل ریخت‌زمین‌ساخت منطقه موردمطالعه، از مطالعات صحرایی، ارزیابی شواهد زمین‌ساختی تأثیرگذار بر زمین‌ریخت‌شناسی کنونی منطقه موردمطالعه، شاخص‌های ریخت‌سنجی و تحلیل‌های فرکتالی استفاده شده است. رودخانه‌ها و شبکه زهکشی ازجمله مهم‌ترین عوارضی هستند که نسبت به تغییرات زمین‌ساختی بسیار حساس می‌باشند. به‌منظور تحلیل وضعیت نوزمین‌ساختی و ارزیابی تأثیرات پهنه گسل کاروانسرا بر ریخت‌شناسی شبکه زهکشی محدوده موردمطالعه، ابتدا محدوده موردمطالعه به ۲۸ حوضه تقسیم گردید، سپس ۵ شاخص کمی

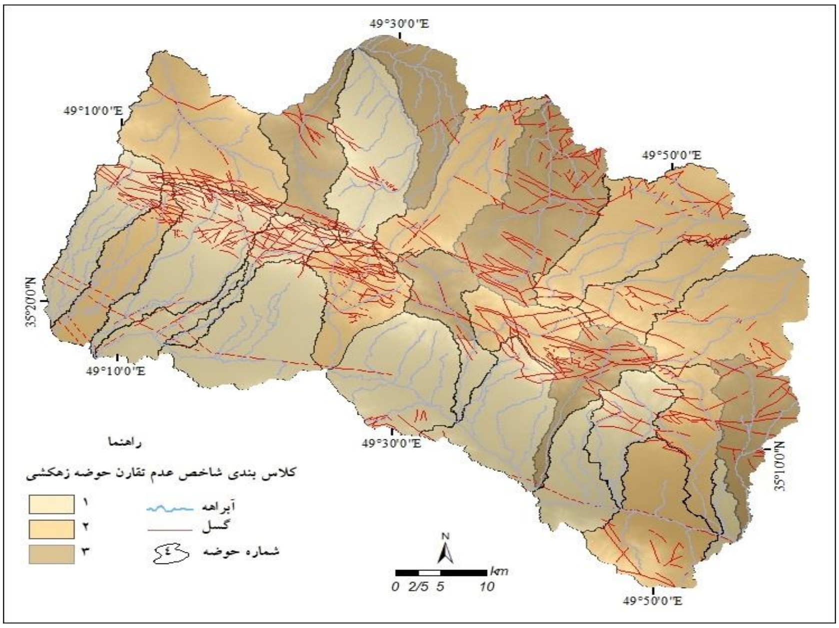
---

1 Index of relative active tectonics
2 Turcotte

ریخت‌سنجی، شاخص عدم تقارن حوضه زهکشی، شاخص تقارن توپوگرافی عرضی، شاخص گرادیان – طول رودخانه، شاخص نسبت پهنای کف دره به ارتفاع دره و منحنی و انتگرال ارتفاع سنجی محاسبه شده است. جهت تعیین میزان فعالیت نسبی زمین‌ساختی، شاخص ارزیابی فعالیت نسبی زمین‌ساختی محاسبه و منطقه موردمطالعه به ۳ رده، رده ۱ (با فعالیت زمین‌ساختی بالا)، رده ۲ (با فعالیت زمین‌ساختی متوسط) و رده ۳ (با فعالیت زمین‌ساختی نسبی کم)، تقسیم شده است. همچنین بعد فرکتالی در ۱۱ مربع در منطقه موردمطالعه برای الگوی گسل‌ها و شبکه زهکشی منطقه به روش مربع‌شمار، نمودارهای Log - Log و استفاده از تحلیل‌های فرکتالی مربوطه محاسبه و نتایج به دست آمده از ارزیابی فعالیت نسبی زمین‌ساختی و ابعاد فرکتالی برای سیستم گسلی فعال و شبکه زهکشی در محدوده متأثر از عملکرد پهنه گسل کاروانسرا مورد مقایسه و تحلیل قرار گرفته است.

جهت محاسبه شاخص عدم تقارن حوضه زهکشی، نقشه شبکه آبراهه‌های منطقه موردمطالعه از مدل رقومی ارتفاعی ۳۰ متر استخراج و سپس کانال اصلی رودخانه‌ها در هر ۲۸ حوضه مشخص و براساس فرمول این شاخص، پارامترهای مورد نیاز محاسبه گردید. حمدونی و همکاران (۲۰۰۸)[1]، شاخص عدم تقارن حوضه زهکشی را به سه رده تقسیم نموده‌اند: رده ۱– حوضه نامتقارن ($Af \geq 65$ or $Af \leq 35$)، رده ۲– حوضه نیمه‌متقارن ($35 < Af \leq 43$ or $57 \leq Af < 65$) و رده ۳– حوضه متقارن ($43 < Af < 57$). با توجه به نقشه نهایی این شاخص (شکل ۲) در ۱۲ حوضه مقادیر به دست آمده از این شاخص در رده ۱ و در ۱۰ حوضه مقادیر این شاخص در رده ۲ و در ٦ حوضه باقیمانده مقادیر این شاخص در رده ۳ قرار گرفته است. در ۱۲ حوضه مذکور، با دارا بودن بیش‌ترین اختلاف نسبت به میانگین به‌عنوان حوضه‌های فعال‌تر و با بیشترین کج‌شدگی شناخته می‌شوند. وجود سامانه گسلی فعال و تراکم بالای شکستگی در این مناطق را می‌توان عامل این عدم تقارن و شدت کج‌شدگی بیان داشت.

1 El Hamdouni et al



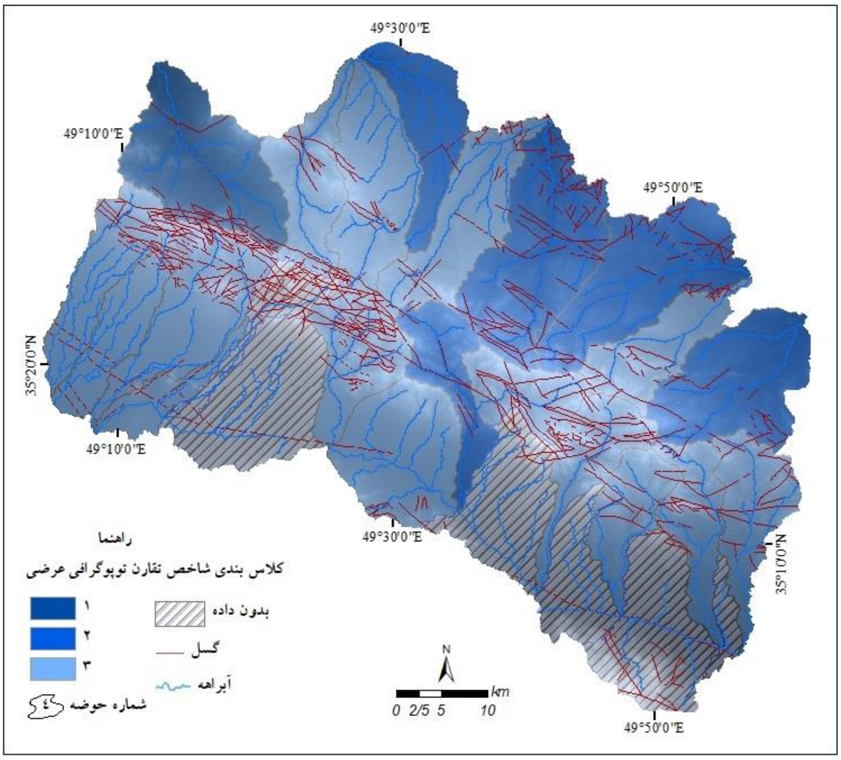
شکل ۲- ارزیابی شاخص عدم تقارن حوضه زهکشی در منطقه موردمطالعه.

برای محاسبه شاخص توپوگرافی عرضی رودخانه، در ابتدا برای هر حوضه خط تقارن تقریبی رسم کرده و در چندین قسمت خطوط عمود بر آبراهه اصلی ترسیم و سپس با محاسبه فاصله آبراهه اصلی از دیواره حوضه و همچنین فاصله از خط تقارن فرضی، شاخص عدم تقارن حوضه محاسبه شده است. در حوضه‌های کاملاً متقارن تقارن توپوگرافی عرضی مساوی صفر و با کاهش تقارن حوضه مقدار توپوگرافی عرضی رودخانه افزایش یافته و به عدد یک نزدیک می‌شود.

این شاخص را می‌توان در سه رده تقسیم‌بندی نمود حمدونی و همکاران[1]، (۲۰۰۸): رده ۱ ($T\geq0.4$): حوضه با فعالیت زمین‌ساختی بالا، رده ۲ ($0.2\leq T<0.4$): حوضه با فعالیت زمین‌ساختی متوسط و رده ۳ ($T<0.2$): حوضه با فعالیت کم زمین‌ساختی. همان‌طور که در شکل (۳)، مشاهده می‌شود ارقام حاصله از شاخص تقارن توپوگرافی عرضی رودخانه بیشتر در رده ۳ قرار گرفته‌اند که این نتایج حاکی از نامتقارن و فعال بودن حوضه‌ها، به‌خصوص در بخش مرکزی در راستای پهنه گسل کاروانسرا دارد. حضور ساختارهای فعال و تراکم بالای شکستگی‌ها در بخش مرکزی منطقه موردمطالعه عامل برخاستگی منطقه و افزایش میزان این شاخص است. در ۱۵ حوضه مقادیر به دست آمده از این شاخص در رده ۳ و در ٦ حوضه مقادیر این شاخص در رده ۲ و فقط در ۱ حوضه مقادیر این شاخص در رده ۱ قرار گرفته است و در شش حوضه باقیمانده با توجه به شکل هندسی حوضه امکان محاسبه این شاخص امکان‌پذیر نگردید.

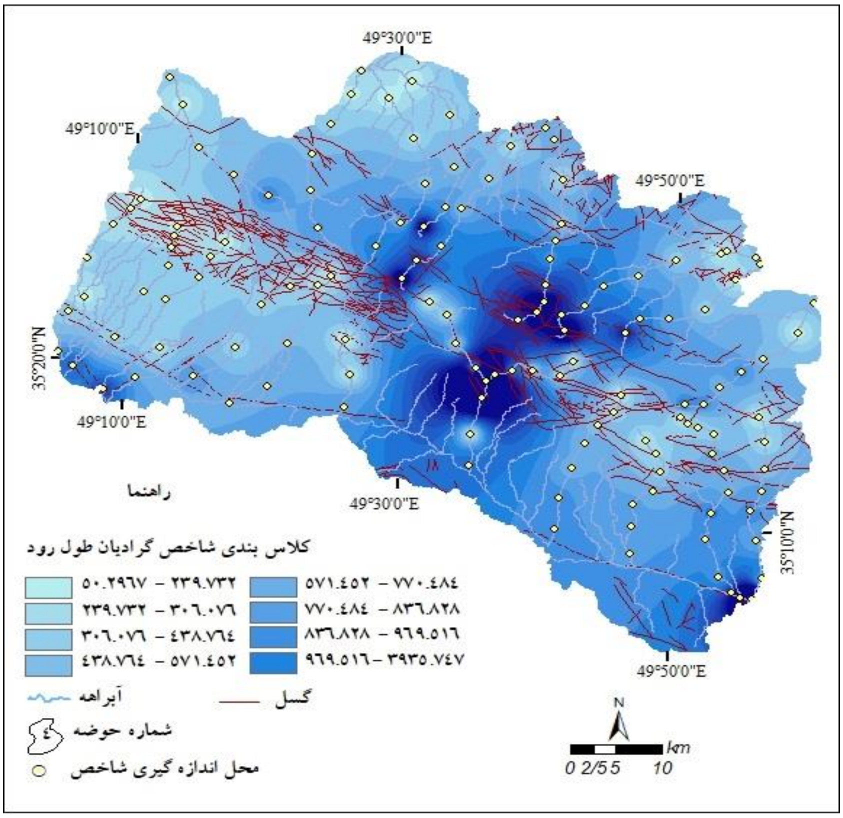
---

1 El Hamdouni et al



شکل ۳- ارزیابی شاخص تقارن توپوگرافی عرضی در منطقه موردمطالعه.

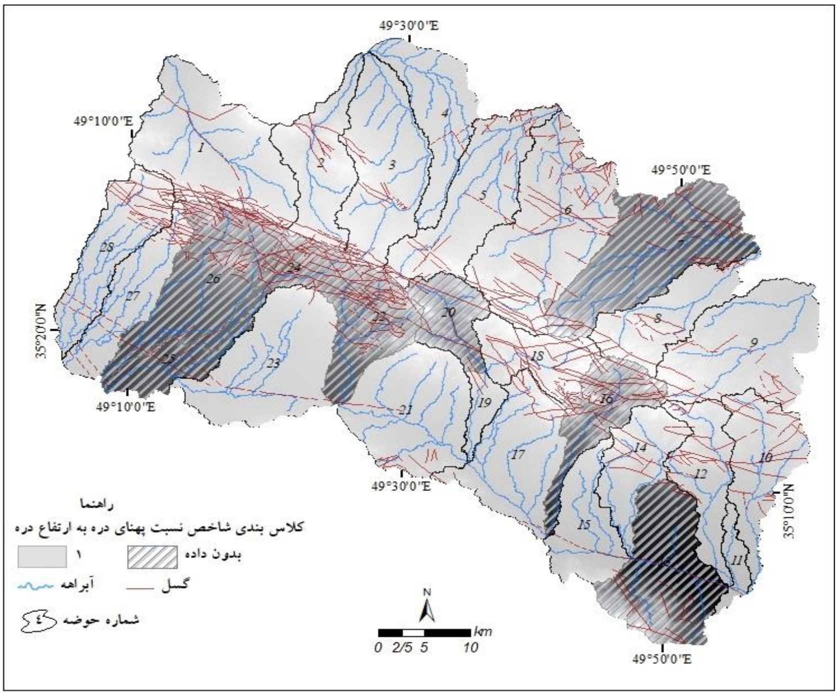
برای شبکه زهکشی منطقه موردمطالعه می‌توان یک خط تقسیم در نظر گرفت، یک، دارای روند جنوب‌باختری – شمال‌خاوری در شمال پهنه گسل کاروانسرا و دو، با روند شمال‌خاوری – جنوب‌باختری در جنوب پهنه گسلی است. اندازه‌گیری شاخص گرادیان – طول رودخانه برای آبراهه‌های اصلی از بالا دست به سمت پایین‌دست در قطعات ۱۰۰ متری صورت گرفته و سپس نقشه پهنه‌بندی شاخص گرادیان – طول رودخانه تهیه شد (شکل ٤). مقدار این شاخص از ۳۹۳۵ در مناطق فعال نسبی زمین‌ساختی تا ۵۰ در مناطق با فعالیت کم زمین‌ساختی متغیر است. در راستای بیشتر گسل‌های منطقه و در محل تلاقی رودخانه با ساختارهای فعال، طول رود افزایش یافته و یک آنومالی در این قسمت دیده می‌شود. با تلفیق داده‌های حاصل از لایه‌های ساختاری، مقاومت سنگ‌ها و شاخص گرادیان–طول رود این آنومالی‌ها را می‌توان به عملکرد ساختارهای فعال در گستره موردمطالعه نسبت داد. در محل برخورد روندهای مختلف ساختاری در بخش مرکزی منطقه موردمطالعه، مقدار این شاخص روند افزایشی نشان می‌دهد، بنابراین می‌توان گفت حرکات زمین‌ساختی به‌خصوص از نوع برخاستگی موجب افزایش گرادیان این رودها در این مناطق شده است.



شکل ٤- ارزیابی شاخص گرادیان - طول رودخانه در منطقه موردمطالعه.

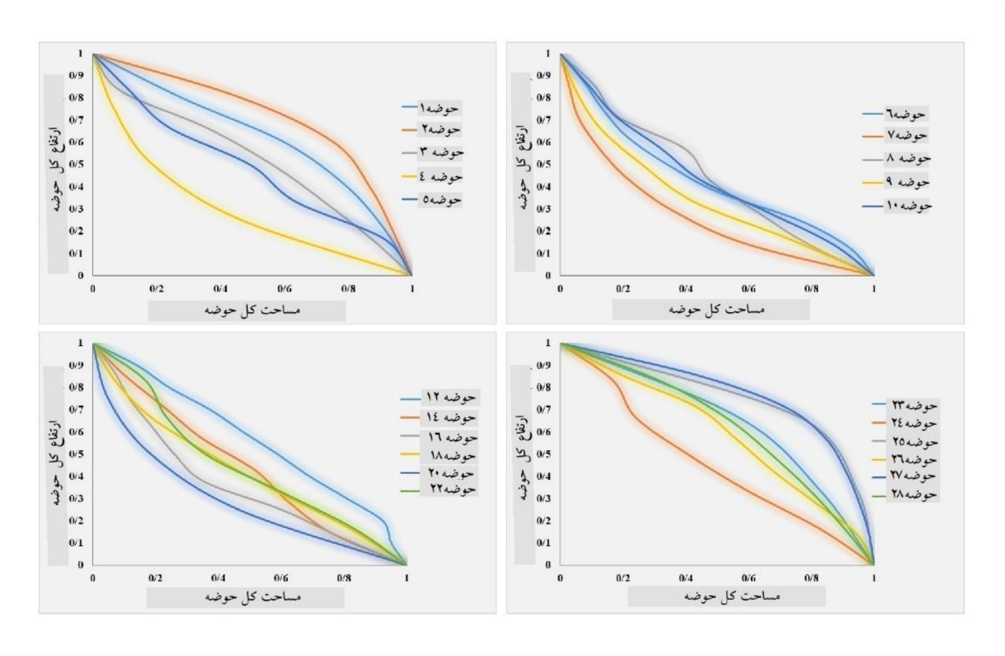
شـاخص نسبت پهنای کف دره به ارتفاع دره، با استفاده از مدل ارتفاع رقومی، مدل سایه ارتفاعی و با کمک گرفتن از مدل سـه بعدی تهیه‌شـده از منطقه و رسـم نیمرخ از دره‌ها، محاسـبه گردیده اسـت. طبق طبقه‌بندی حمدونی و همکاران[1] (۲۰۰۸)، مقادیر شـاخص نسـبت پهنای دره به ارتفاع دره را در سه رده بیان داشته‌اند: رده ۱ یا رده با فعالیت زمین‌سـاختی فعال (بالا) ($Vf \leq 0.7$)، رده ۲ یا رده با فعالیت زمین‌سـاختی متوسـط ($0.7<Vf\leq1$) و رده ۳ یا رده با فعالیت زمین‌سـاختی کم ($Vf>1$). در شکل (۵) نحوه طبقه‌بندی حوضه‌های منطقه را از نظر شاخص نسبت پهنای دره به ارتفاع دره نشـان داده شـده اسـت. در حوضه‌هایی که با هاشور نمایش داده شده‌اند، محاسبه این شاخص با توجه به نیمرخ‌های به دسـت آمده، امکان‌پذیر نبوده اسـت. میزان کم این شـاخص نشـان‌دهنده بالاآمدگی منطقه اسـت. مقادیر شـاخص نسـبت پهنای دره با ارتفاع دره در ۲۱ حوضـه به دلیل مجاورت این حوضـه‌ها با پهنه گسـلی فعال کارونسرا مقادیر این شـاخص کاهش‌یافته که نشـان‌دهنده فعال بودن این مناطق اسـت. در دیگر حوضـه‌ها با توجه به شـکل نیمرخ‌های عرضـی به دسـت آمده از کانال اصـلی رودخانه‌ها، امکان اندازه‌گیری پارامترها و درنتیجه محاسـبه این شاخص فراهم نگردید، که حاکی از فرسایش‌پذیر بودن سنگ‌های اطراف این دره‌ها است.

1 El Hamdouni et al

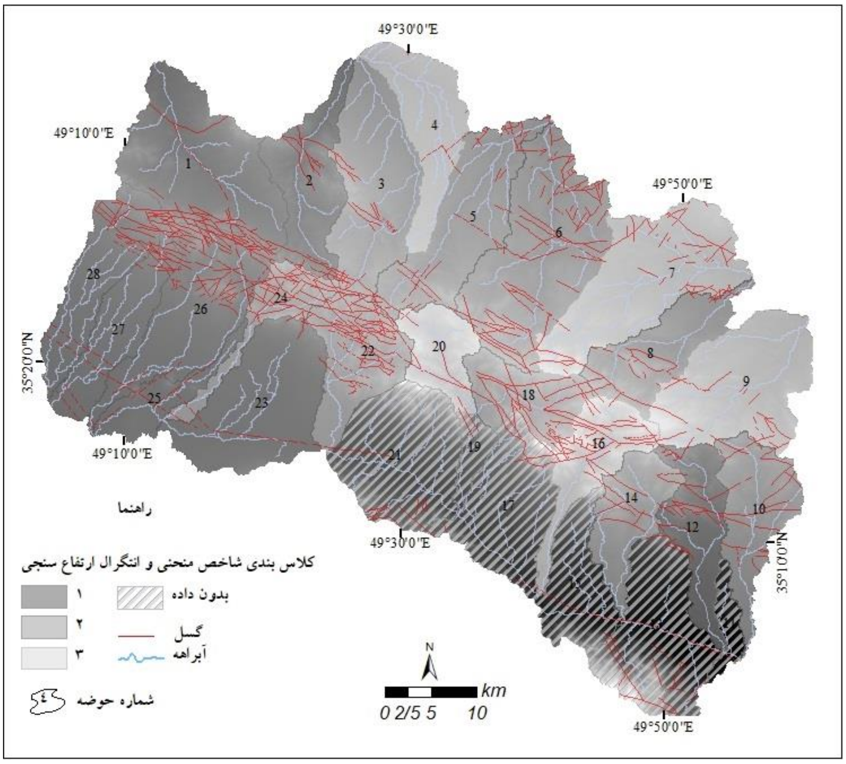


شکل ۵- ارزیابی شاخص نسبت پهنای کف دره به ارتفاع دره در منطقه موردمطالعه.

مساحت کل حوضه (A)، از مجموع مساحت بین هر جفت خطوط تراز مجاور به دست می‌آید. مساحت a، مساحت سطح حوضه در بالای یک خط ارتفاع خاص (h) است. مقدار مساحت نسبی (a/A) حوضه همیشه از یک در پایین‌ترین نقطه در حوضه (h/H=1) تا صفر در بالاترین نقطه حوضه (h/H=0) در تغییر است. در منحنی ارتفاع‌سنجی، حوضه‌های زهکشی دارای اندازه‌های متفاوت می‌توانند با یکدیگر مقایسه شوند زیرا مساحت و ارتفاع به‌عنوان توابعی از کل مساحت و کل ارتفاع محاسبه شده‌اند که این یکی از ویژگی‌های مفید منحنی ارتفاع‌سنجی است. منحنی ارتفاع‌سنجی، به تفاوت‌های موجود در ناهمواری‌ها و اندازهٔ حوضه‌ها وابسته نیست. همان‌طور که برای تشخیص دقیق حوضه‌های اندازه‌گیری شده نقشه‌های توپوگرافی باید بزرگ‌مقیاس باشند، نتایج نیز نباید دارای مقیاس‌های مختلفی باشند. با توجه به شکل هندسی حوضه‌ها و وضعیت توپوگرافی منطقه موردمطالعه از ۲۸ حوضه موردمطالعه، امکان اندازه‌گیری برای ۲۲ حوضه میسر گردید. طبق نمودارهای ارائه شده در شکل ٦، حوضه‌های مورد در ۳ رده طبقه‌بندی شده است. رده ۱، نشانگر توپوگرافی جوان (منحنی به شکل محدب)، رده ۲، یک مقدار متوسط شکل سیگموئیدال منحنی، نشانگر مرحله بلوغ است و رده ۳، توسعه‌ی بیشتر تا مرحله پیری، باعث تغییر در مقدار انتگرال نمی‌شود جز این‌که بقایای فرسایشی مرتفع محفوظ خواهند ماند و منحنی شکل مقعر پیدا می‌نماید.



شکل ٦- منحنی‌های فرازسنجی حوضه‌های آبریز منطقه موردمطالعه.



شکل ۷- ارزیابی شاخص منحنی ارتفاع‌سنجی در منطقه موردمطالعه.

حوضه‌هایی که در نقشه نهایی این شاخص (شکل ۷)، با هاشور نمایش داده شده است، محاسبه این شاخص امکان‌پذیر نبوده است. بیش‌ترین مقادیر این شاخص مربوط به حوضه‌های ۱، ۲، ۱۲، ۲۳، ۲۵، ۲٦، ۲۷ و ۲۸ است که مرتبط با تغییر پهنه گسلی فعال در این منطقه می‌باشند. به‌طورکلی منحنی‌های فرازسنجی به شکل محدب هستند که بازگوکننده زمین‌ساخت فعال در منطقه است. نمودار حوضه‌ها در بخش باختری منطقه موردمطالعه به دلیل تراکم بالای شکستگی‌ها دارای شکل محدب و سینوسی هستند که نشان‌دهنده زمین‌ساخت فعال در این محدوده است.

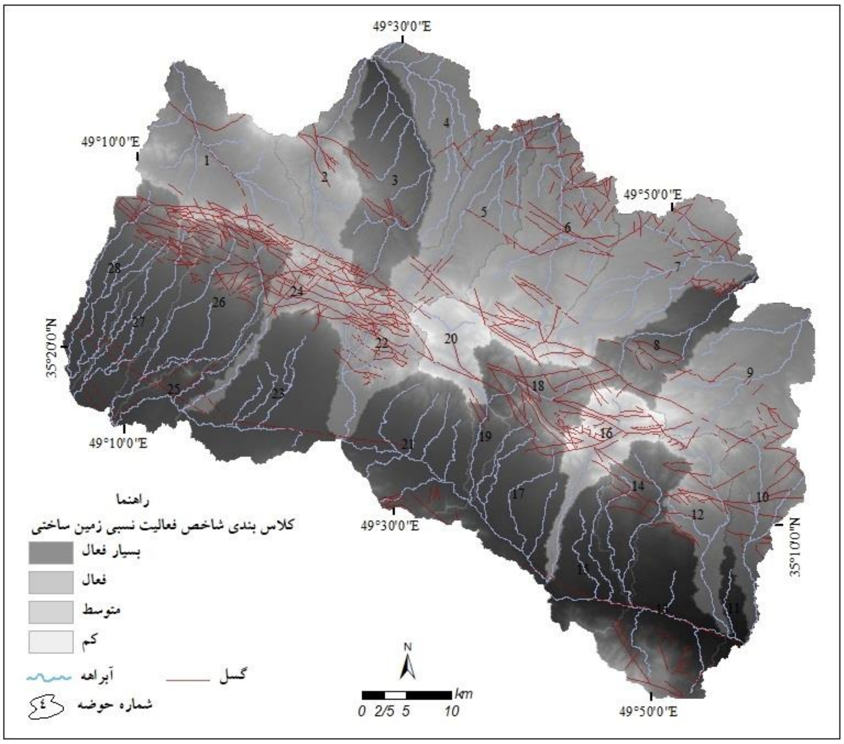
در این پژوهش، جهت ارزیابی نسبی فعالیت‌های زمین‌ساختی منطقه موردمطالعه، ۵ شاخص ریخت‌سنجی، در هرکدام از ۲۸ حوضه محاسبه شد و به ۳ رده زمین‌ساختی تقسیم گردیده‌اند و با استفاده از قابلیت‌های نرم‌افزار جی ای اس و توابع تحلیلی آن، ۵ لایه اطلاعاتی 'گرادیان طول – طول رودخانه، عدم تقارن حوضه زهکشی، نسبت پهنای دره به ارتفاع دره و تقارن توپوگرافی عرضی حوضه‌ها و منحنی هیپسومتری می‌توانند همپوشانی پیدا کنند، درنتیجه می‌توانیم با دقت بالا رده فعالیت نسبی زمین‌ساختی را در هر ناحیه مشخص نماییم. از همپوشانی لایه‌های شاخص ریخت‌سنجی برای تعیین مناطق زمین‌ساختی فعال استفاده شده و درنهایت برای هر حوضه میانگین مقادیر رده شاخص‌های ژئومورفولوژی اندازه‌گیری شده و به ٤ رده فعالیت زمین‌ساختی طبقه‌بندی شد (جدول ۱). رده‌های زمین‌ساخت فعال نسبی: رده ۱ ($1.0 \le Iat < 1.5$) که نشان‌دهنده فعالیت زمین‌ساختی بسیار بالا است، رده ۲ ($1.5 \le Iat < 2.0$)، با فعالیت زمین‌ساختی بالا است، رده ۳ ($2.0 \le Iat < 2.5$)، بیانگر فعالیت زمین‌ساختی متوسط است و رده ٤ ($Iat \ge 2.5$)، فعالیت زمین‌ساختی نسبی کمی را نشان می‌دهد (حمدونی و همکاران[1]، ۲۰۰۸). پس از رده‌بندی حوضه‌های موردمطالعه براساس این شاخص (جدول ۱)، نقشه پهنه‌بندی میزان فعالیت زمین‌ساختی نسبی ترسیم شد (شکل ۸).

1 El Hamdouni et al

جدول ۱- مقادیر و رده فعالیت زمین‌ساختی نسبی شاخص‌های مورفومتری در ۲۸ حوضه زهکشی در منطقه موردمطالعه.

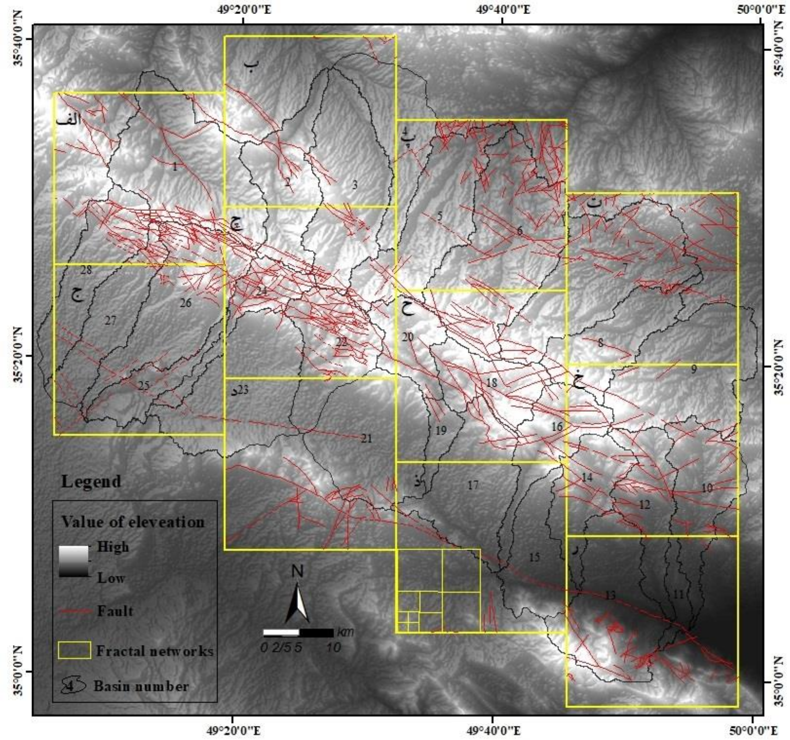
شماره حوضه	کلاس					میانگین شاخص ها/تعداد شاخص های محاسبه شده	کلاس شاخص غعالیت نسبی تکتونیکی
	گرادیان طول رود	عدم تقارن حوضه زهکشی	نسبت پهنای دره به ارتفاع دره	توپوگرافی عرضی حوضه	انتگرال هیپسومتریک		
۱	۲	۲	۱	۳	۱	۱/۸	۲
۲	۲	۳	۱	۲	۱	۱/۸	۲
۳	۱	۱	۱	۱	۲	۱/۲	۱
٤	۱	۳	۱	۱	۳	۱/۸	۲
٥	۲	۲	۱	۲	۲	۱/۸	۲
٦	۱	۳	۱	۳	۲	۲	۳
۷	۱	۲	۱	۳	۳	۲	۳
۸	۱	۲	۱	۱	۲	۱/٤	۱
۹	۲	۲	۱	۲	۳	۲	۳
۱۰	۲	۳	۱	۱	۲	۱/۸	۲
۱۱	۱	۱	۱	۰	۰	۱	۱
۱۲	۲	۲	۱	۱	۱	۱/٤	۱
۱۳	۲	۲	۰	۰	۰	۲	۳
۱٤	۲	۱	۱	۱	۲	۱/٤	۱
۱٥	۲	۱	۱	۰	۰	۱/۳۳	۱
۱٦	۳	۳	۰	۲	۳	۲/۷٥	٤
۱۷	۱	۱	۱	۰	۰	۱	۱
۱۸	۱	۲	۱	۱	۲	۱/٤	۱
۱۹	۱	۱	۱	۱	۰	۱	۱
۲۰	۲	۳	۰	۳	۳	۲/۷٥	٤
۲۱	۱	۱	۱	۲	۰	۱/۲٥	۱
۲۲	۲	۲	۰	۱	۲	۱/۷٥	۲
۲۳	۲	۱	۱	۲	۱	۱/٤	۱
۲٤	۲	۱	۰	۱	۲	۱/٥	۲
۲٥	۱	۱	۰	۱	۱	۱	۱
۲٦	۱	۱	۰	۱	۱	۱	۱
۲۷	۱	۲	۱	۱	۱	۱/۲	۱
۲۸	۱	۱	۱	۲	۱	۱/۲	۱

با توجه به نقشـــه پهنه‌بندی نهایی از میزان فعالیت زمین‌ســـاختی نســـبی در منطقه موردمطالعه می‌توان بیان نمود که حوضـــه‌های بخش جنوبی پهنه گســـلی کاروانســـرا از میزان فعالیت زمین‌ســـاختی نســـبی بیشـــتری در قیاس با دیگر حوضـه‌ها در محدوده موردمطالعه برخوردار می‌باشـند که تراکم گسـل‌ها در این منطقه خود شاهدی بر این ادعا است. عملکرد سـامانه گسـلی فعال در این مناطق نقش مؤثر در ایجاد نرخ‌های بالایی از میزان فعالیت نسـبی زمین‌ساختی در این حوضـه‌ها داشـته است. نتایج تمامی شاخص‌های ریخت‌سنجی بررسی شده در این پژوهش نیز، هر یک به‌تنهایی، نرخ بالای فعالیت نسبی زمین‌ساختی را در این حوضه‌ها تأیید می‌نمایند.

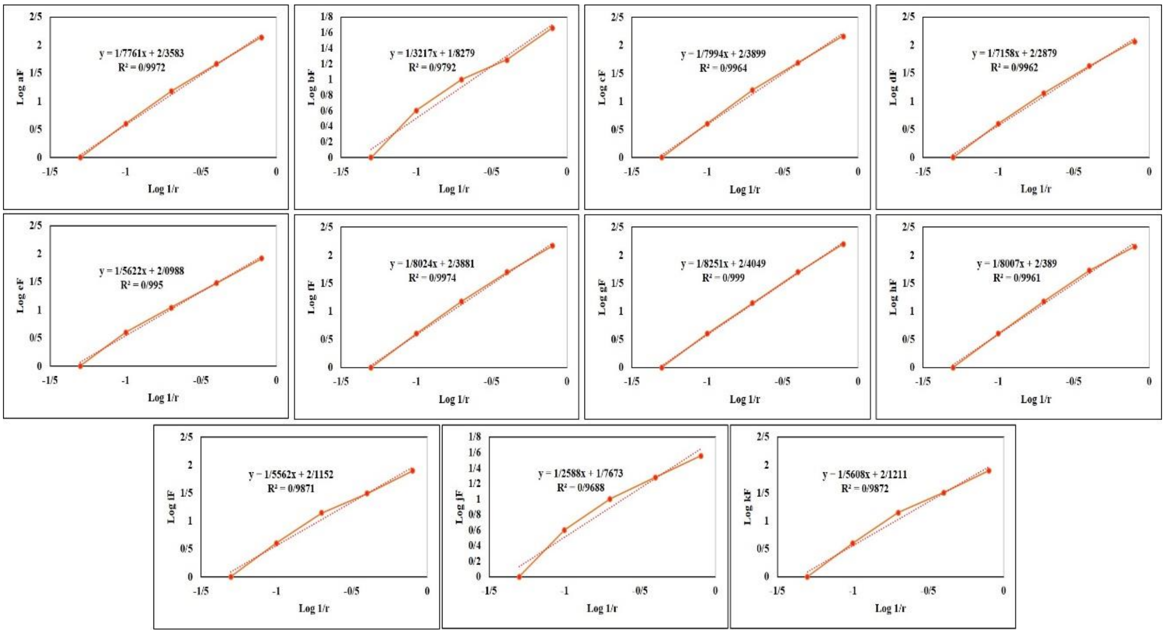


شکل ۸- نقشه پهنه‌بندی میزان فعالیت زمین‌ساختی نسبی در منطقه موردمطالعه.

با توجه به وضعیت ژئومورفولوژی منطقه، برای اعمال روش مربع شمار، منطقه موردمطالعه به ۱۱ مربع با ابعاد ۲۰ کیلومتر تقسیم گردید. در بررسی فرکتال سیستم گسلی منطقه هرکدام از مربع‌ها، جداگانه مورد ارزیابی قرار گرفت و برای هریک بعد فرکتالی محاسبه شد. در شکل (۹)، نقشه شبکه‌بندی و پارامترهای تحلیل فرکتال حاصل از بررسی سیستم گسلی منطقه نشان داده شده است. با رسم نمودارهای مربوط به هر پهنه یک بعد فرکتالی به دست آمد (۱۰). وجود اختلاف بعد فرکتالی در بخش‌های متفاوت پهنه گسلش نشانگر تفاوت هندسه سیستم گسلش آن بخش‌ها با یکدیگر است (شهریاری و خطیب، ۱۳۷۶). مقدار کم بعد فرکتالی نشانگر این خواهد بود گستره سطحی سیستم گسل محدود بوده و دگرشکلی در آن به حد نهایی رسیده است و مقدار زیاد بعد فرکتالی نشانگر گستره سطحی زیاد سیستم گسلی و بلوغ کمتر سیستم گسل است (شهریاری و خطیب، ۱۳۷۶). منطقه موردمطالعه پهنه‌های چ، ح و خ بیشترین (D_f=۱/۸۲، D_g=۱/۸۱ و D_h=۱/۸۱) و پهنه‌های ب و د (D_b=۱/۳۲ و D_j=۱/۲۶) کمترین، بعد فرکتالی را نشان می‌دهند (شکل ۱۰). تراکم بالای شکستگی‌های ساختاری (گسل‌ها)، توپوگرافی مرتفع بخش مرکزی پهنه گسل کاروانسرا و عملکرد فعال نیروهای زمین‌ساختی در این منطقه نشان از برخاستگی فعال در پهنه‌های چ، ح و خ و تأییدی بر محاسبات انجام شده در این پژوهش دارد.

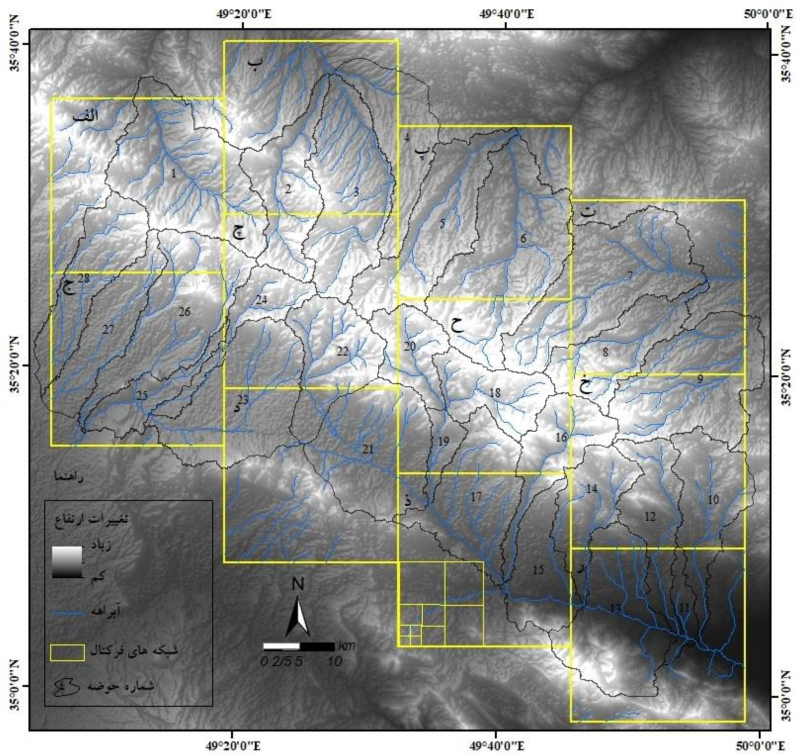


شکل ۹- نقشه گسل‌های منطقه موردمطالعه و شبکه‌بندی که برای اعمال روش مربع‌شمار در به دست آوردن بعد فرکتال ترسیم گردیده است.

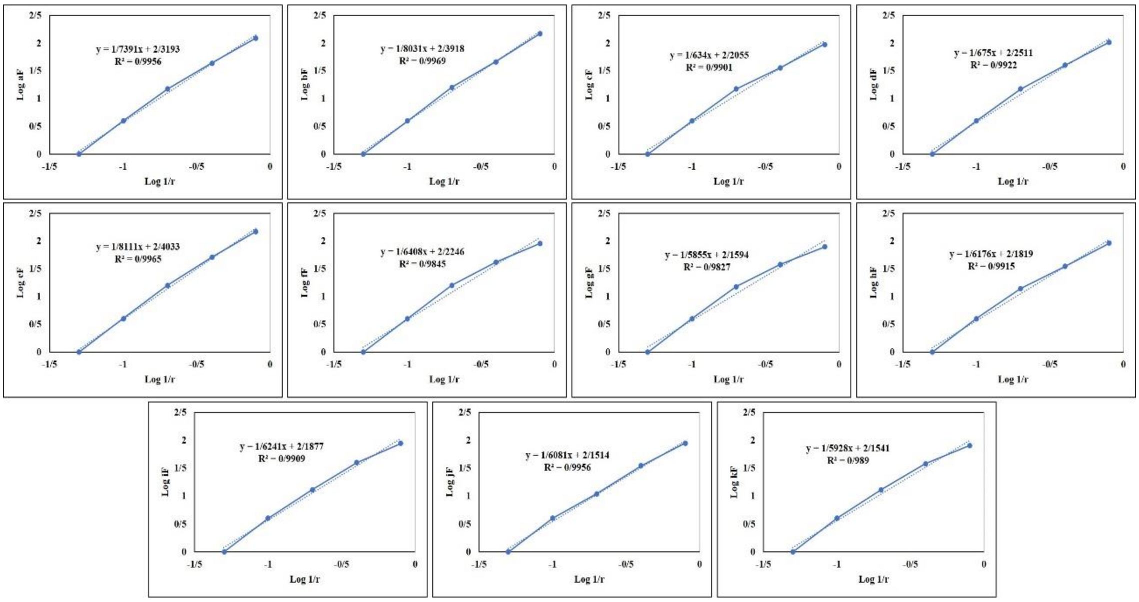


شکل ۱۰- نمودارهای لگاریتمی عکس طول ضلع مربع‌ها به تعداد مربع‌هایی که حاوی گسل می‌باشند.

بر روی لایه شبکه زهکشی منطقه موردمطالعه، جهت محاسبه پارامترها در روش مربع‌شمار، شبکه‌بندی مطابق شکل ۱۱، منظور گردید. این پهنه‌بندی مشابه با شبکه‌بندی فرکتال گسل‌ها است. در بررسی فرکتال شبکه زهکشی هرکدام از شبکه‌ها، جداگانه مورد ارزیابی قرار گرفت و برای هر یک، بعد فرکتالی محاسبه شده است (شکل ۱۲). با توجه به نتایج ابعاد فرکتالی محاسبه شد، مشاهده می‌شود که این اعداد دارای تفاوت‌هایی است. پهنه‌های ح و ر دارای کمترین میزان بعد فرکتال (D_g=۱/۵۸ و D_k=۱/۵۹) و پهنه ب و ج (D_b=۱/۸۰ و D_e=۱/۸۱) دارای بیشترین بعد فرکتال در منطقه موردمطالعه است. مقادیر به دست آمده با تفاوت‌های ژئومورفیک در هر پهنه قابل توجیه است. به‌این‌ترتیب که هر چه منطقه مرتفع‌تر باشد، آبراهه‌ها به طرح موازی و خطی تمایل پیدا می‌کنند، در این صورت بعد فرکتالی کاهش می‌یابد. قرارگیری پهنه ب در شمال پهنه گسل کاروانسرا، در منطقه‌ای با تراکم کم شکستگی موجب افزایش بعد فرکتالی آبراهه‌ها در این پهنه گردیده است.



شکل ۱۱- نقشه شبکه زهکشی منطقه موردمطالعه و شبکه‌بندی که برای اعمال روش مربع‌شمار در به دست آوردن بعد فرکتال ترسیم گردیده است.



شکل ۱۲- نمودارهای لگاریتمی عکس طول ضلع مربع‌ها به تعداد مربع‌هایی که حاوی آبراهه می‌باشند.

٤-جمع‌بندی

حضـور گسـل‌ها و شـکسـتگی‌ها متعدد با روند غالب شـمال‌باختر – جنوب‌خاور و دیگر روندها در پهنه گسـل کاروانسـرا بیانگر عملکرد نیروهای زمین‌سـاختی جوان در منطقه شـمال نوبران در باختر ایران اسـت. در این پژوهش جهت برآورد شـاخص ارزیابی فعالیت نسـبی زمین‌ساختی در گسـتره عملکرد پهنه گسـل کاروانسـرا، پنج شـاخص ریخت‌سـنجی، شـاخص عدم تقارن حوضـه‌زهکشـی، شـاخص تقارن توپوگرافی عرضـی، شـاخص گرادیان – طول رودخانه، شـاخص نسـبت عرض کف دره به ارتفاع آن و شـاخص منحنی فرازسنجی محاسبه گردید. با توجه به نقشه پهنه‌بندی نهایی از میزان فعالیت زمین‌ســاختی نســبی در منطقه موردمطالعه می‌توان بیان نمود که حوضــه‌های جبهه جنوبی پهنه گســلی کـاروانســرا (حوضــه‌هـای ۱۲، ١٤، ۱۷، ۱۸، ۱۹، ۲۱، ۲۳، ۲۵، ۲٦، ۲۷ و ۲۸) از میزان فعالیت زمین‌سـاختی نسـبی بیشـتری در قیاس با دیگر حوضه‌ها در محدوده موردمطالعه برخوردار می‌باشند. تراکم گسل‌ها در این منطقه خود شـاهدی بر این ادعا اسـت. عملکرد سـامانه گسـلی فعال در این مناطق نقش مؤثر در ایجاد نرخ‌های بالایی از میزان فعالیت نسـبی زمین‌سـاختی در این حوضـه‌ها داشـته است. همچنین بعد فرکتالی در ۱۱ مربع در منطقه موردمطالعه برای الگوی گسـل‌ها و شـبکه زهکشـی منطقه به روش مربع‌شـمار، نمودارهای Log – Log و اسـتفاده از تحلیل‌های فرکتالی مربوطه محاسـبه شـده است. بررسی نوزمین‌ساخت پهنه گسلی کاروانسرا و قرارگیری حوضه‌ها، با میزان فعالیت زمین‌سـاختی متوسـط تا بالا، در پهنه گسـل‌های اصلی و فعال در منطقه به‌خصوص در مناطقی که تراکم شـکسـتگی‌ها بیش از دیگر مناطق اسـت و ابعاد فرکتالی محاسـبه شـده برای پهنه گسلی و شبکه زهکشی، نشان‌دهنده

عملکرد فعال سامانه گسلی در جبهه جنوبی محدوده موردمطالعه است. پهنه‌های چ، ح و خ بیشترین (D_f=۱/۸۲، D_g=۱/۸۱ و D_h=۱/۸۱) و پهنه‌های b و j (D_b=۱/۳۲ و D_j=۱/۲۶) کمترین، بعد فرکتالی گسل‌ها و پهنه‌های g و k دارای کمترین میزان بعد فرکتال (D_g=۱/۵۸ و D_k=۱/۵۹) و پهنه b و e (D_b=۱/۸۰ و D_e=۱/۸۱) داری بیشترین بعد فرکتال آبراهه‌ها را نشان می‌دهند. مقادیر به دست آمده با تفاوت‌های ژئومورفیک در هر پهنه قابل توجیه است. به‌این‌ترتیب که هرچه منطقه مرتفع‌تر باشد، آبراهه‌ها به طرح موازی و خطی تمایل پیدا می‌کنند، در این صورت بعد فرکتالی کاهش می‌یابد. تراکم بالای شکستگی‌های ساختاری (گسل‌ها)، توپوگرافی نقش مؤثر ساختارهای زمین‌ساختی در ایجاد نرخ‌های بالایی از میزان فعالیت نسبی زمین‌ساختی و ریخت‌شناسی شبکه زهکشی به‌عنوان، عوامل مخاطرات طبیعی جدی در محدوده موردمطالعه محسوب می‌شوند.

کتابنامه

اورنگ، کیوان؛ محجل، محمد؛ تاج‌بخش، غلامرضا؛ ۱۳۹۳. شواهد وارونگی بردار لغزش در گسل کوشک‌نصرت، شمال ساوه، *فصلنامه علمی - پژوهشی علوم زمین*، سازمان زمین‌شناسی کشور. شماره ۹۴، ۳۲۸-۳۱۵.

بهرامی، شهرام؛ معتمدی‌راد، محمد؛ اکبری، الهه؛ ۱۳۹۲. بررسی تأثیر تکتونیک در ویژگی‌های کمی شبکه زهکشی (مطالعه موردی: چهار حوضه زهکشی در شمال‌شرق کشور). *مطالعات جغرافیایی مناطق* خشک، سال سوم، شماره ۱۲، ۱۰۲-۸۵.

پورکرمانی، محسن؛ معتمدی، حسین؛ ۱۳۸۱. *روش‌های زمین‌شناسی ساختمانی*. انتشارات دانشگاه شهید بهشتی تهران.

سلیمانی، شهریار؛ ۱۳۷۸. رهنمودهایی در شناسایی حرکات تکتونیکی فعال و جوان با نگرشی بر مقدمات دیرینه‌لرزه‌شناسی، پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندس زلزله.

سیف، عبدالله؛ خسروی، قاسم؛ ۱۳۸۹. بررسی تکتونیک فعال در قلمرو تراست زاگرس منطقه فارسان، *پژوهش‌های جغرافیای طبیعی* (پژوهش‌های جغرافیایی سابق). شماره ۷٤، ۱۲۵-۱٤٦.

علایی مهابادی، سلیمان؛ خلعتبری جعفری، مرتضی؛ ۱۳۸۳. *نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ نوبران*، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

علایی مهابادی، سلیمان؛ فودازی، محمد؛ ۱۳۸٦. *نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ رزن*، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

قنواتی، عزت‌الله؛ صفاکیش، فریده؛ مقصودی، یاسر؛ ۱۳۹٦. ارزیابی تکتونیک فعال در زیر حوضه‌های جراحی - زهره بر پایه تحلیل مورفوتکتونیکی و اثرهای آن بر میدان‌های نفتی حوضه موردمطالعه، *پژوهش‌های جغرافیای طبیعی*. دوره ٤۹، شماره ۲، ۲٤۰ -۲۲۱.

گورابی، ابوالقاسم؛ ۱۳۹۵. *تکتونیک فعال، زمین‌لرزه‌ها، بالاآمدگی و چشم‌انداز*. انتشارات دانشگاه تهران.

گورابی، ابوالقاسم؛ نوحه‌گر، احمد؛ ۱۳۸٦. شواهد ژئومورفولوژیکی تکتونیک فعال حوضه آبخیز درکه، *پژوهش‌های جغرافیایی*. شماره ٦۰، ۱۹٦-۱۷۷.

محمودی، مریم؛ ۱۳۹۷. *تحلیل ساختاری و نوزمین‌ساخت پهنه گسلی خلخاب، شمال باختر ایران*. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، استاد راهنما: دکتر امیرحسین صدر، دانشگاه بوعلی سینا همدان، دانشکده علوم پایه.

مقصودی، مهران؛ عمالدین، سمیه؛ ۱۳۸۳. ارزیابی ویژگی‌های لندفرم‌های نواحی بیابانی با تأکید بر دشت لوت. *مطالعات جهانگردی دانشگاه علامه طباطبایی*. شماره ٦، ۹۵-۱۰۹.

Alipoor, R, Poorkermani, M, Zare, M, El Hamdouni, R., 2011. Active tectonic assessment around Rudbar Lorestan dam site, High Zagros Belt (SW of Iran). Geomorphology, 128: 1–14.

Alizadeh, A, Lopez Martınez, M, Sarkarinejad, Kh., 2010. Petrology, geochemistry 40Ar-39Ar Geochronology in a gneiss dome within the Zagros Orogenic Belt Geochronologie 40Ar-39Ar dans un dome gneissique de la ceinture orogenique du Zagros. C. R. Geoscience, 342: 837–846.

Bolourchi, MH., 1978. Geological Quadrangle Map of Avaj, Scale 1:100,000, Sheet D 5861. Geological Survey of Iran.

Bull, WB, McFadden, LD., 1977. Tectonic geomorphology north and south of the Garlock fault, California, In: Doehring, D.O. (Ed.), Geomorphology in Arid Regions, Proceedings of the Eighth Annual Geomorphology Symposium, State University of New York, and Binghamton, 115-138.

Bull, WB., 2007. Tectonic geomorphology of mountains: a new approach to paleoseismology, Blackwell Publishing, Malden, MA. 316.

Burbank, D, Anderson, R., 2001. Tectonic Geomorphology. Blackwell science. 274p.

Ciccacci, S, Fredi, P, Lupia Palmieri, E, Pugliese, F., 1986. Indirect evaluation of erosion entity in drainage basins through geomorphic, climatic and hydrological parameters. International Geomorphology, 2: 33–48.

El Hamdouni, R, Irigaray, C, Fernandez, T, Chacan, J, Keller, EA., 2008. Assessment of relative active tectonics, southwest border of Sierra Nevada (southern Spain). Geomorphology, 96, pp.150-173.

Guarnieri, P, Pirrotta, C., 2008. The Response of Drainage Basins to the Late Quaternary Tectonics in the Sicilian Side of the Messina Strait (NE Sicily). Geomorphology, 95: 260-273.

Hack, JT., 1973. Stream-profile analysis and stream-gradient index, U.S. Geological Survey Journal of Research, 1: 421 - 429.

Hare, PW. Gardner, TW., 1985. Geomorphic indicators of vertical neotectonism along converging plate margins, Nicoya Peninsula, Costa Rica. In: Morisawa, M., Hack, J.T. (Eds.), Tectonic Geomorphology. Proceedings of the 15th Annual Binghamton Geomorphology Symposium. Allen and Unwin, Boston, MA, 123–134.

Keller, EA, Bonkowski, MS, Korsch, RJ. Shlemon, RJ., 1982. Tectonic geomorphology of the San Andreas Fault zone in the southern Indio Hills, Coachella Valley, California. Geological Society of America Bulletin 93: 46–56.

Keller, EA, Pinter, N., 1996. Active tectonics: earthquakes, uplift, and landscape.by Prentice-Hall, Inc.Simon and Schuster/A Viacom Company Upper Saddle River, New Jersey, 7458: 121 - 145.

Keller, EA, Pinter, N., 2002a. Active Tectonics: Earthquakes, Uplift and Landscape, second ed. Prentice Hall, NJ. 362.

Li, Y, Yang, J, Tan, L, Duan, F., 1999. Impact of tectonics on alluvial landforms in Hexi corridor, Northwest China. Geomorphology, 28: 299-308.

Molin, P, Pazzaglia, FJ, Dramis, F., 2004. Geomorphic expression of active tectonics in a rapidly-deforming forearc, sila massif, Calabria, southern Italy. American Journal of Science. 304: 559–589.

Obruchev, VA., 1948. Osnovnyje certy Kinetiki i plastiki neotectoniki, Izv. Akad. Nauk SSSR Ser. Geol. 5 (First introduced the term neotectonics into the geological literature).

Ramirez, M. Herrera, MT., 1998. Geomorphic assessment of active tectonics in the Acambay Graben, Mexican volcanic belt. Earth Surface Processes and Landforms, 23: 317-332.

Turcotte, DL., 1997. Fractals and Chaos in Geology and Geophysics", Cambridge Univ. Press.

Vol.10, No.4, Winter 2022, pp.25-46 ISSN (Print):2322-1682 ISSN (Online):2383-3076

Journal of Geography and Environmental Hazards

RESEARCH ARTICLE DOI: 10.22067/geoeh.2021.68419.1011 Open access

Determining Effective Factors on Gorganrood River Flooding and Micro-Zoning of Flood Risk Analysis in Aq'Qala County Using AHP Method

Kamran Ganji [a], Saeid Gharechelou [b*], Ahmad Ahmadi [c]

[a] MSc in Water and Hydraulic Structures, Faculty of Civil Engineering, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran
[b] Assistant Professor, Faculty of Civil Engineering, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran
[c] Associate Professor, Faculty of Civil Engineering, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran

Received: 19 March 2021 ***Revised: 20 July 2021*** ***Accepted: 27 July 2021***

Abstract

The main goal of this study was to investigate the effective factors on the flooding of Gorganrood River in Aq'Qala County with emphasis on March 2019 Flood event. In this research 18 sub-criteria that play imperious role in creating flood inundation were identified. According to time series flood mapping, technical process of satellite data, field survey, and consulting with flood's experts, the sub-criteria were compared in each pairs using the AHP questionnaire, and their final weights were determined using Expert Choice software. Topographic and morphological sub-criteria with weights of 0.353 and 0.333 had the most impact on the occurrence of inundating, respectively. Based on the results, 14.19% of area of Aq'Qala county have located in very low hazard zone (the western and the southern regions due to their suitable topography and distance from the Gorganrood river), 18.1% in low hazard zone (the northwest of the Aq'Qala due to existence of swampland and salty plains), 11.95% in moderate hazard zone (the northern of the Aq'Qala due to swampy and hilly nature and southern of the Aq'Qala), 29.66% in high hazard zone (the southeast of Aq'Qala due to closeness to the Gorganrood river buffer zones and tributaries of the Qarasou river, and the western areas due to the unsuitable morphological conditions and low gradient of Gorganrood bed river), 26.1% in very-high hazard zone (the middle of Aq'Qala due to plains' topography, and qualitative buffer zones of the Gorganrood river due to unsuitable morphological conditions). Canalization of outer arch meanders in Sallaq Yilqi to Gangirma villages, widening and dredging the river channel at Aq'Qala historic bridge, drainage and digging a detour channel according to topographic conditions in middle plains can mitigate the flood hazard in the Aq'Qala County.

Keywords: Aq'Qala, Flood Hazard Map, Gorganrood River, AHP, GIS

*. Corresponding Author: Saeid Gharechelou E-mail: sgharachelo@shahroodut.ac.ir Tel:023 32300259

How to cite this Article: Ganji, K., Gharechelou, S., Ahmadi, A. (2022). Determining Effective Factors on Gorganrood River Flooding and Micro-Zoning of Flood Risk Analysis in Aq'Qala County Using AHP Method . *Journal of Geography and Environmental Hazards*, 10(4), 25-47.
doi: 10.22067/geoeh.2021.68419.1011

Geography and Environmental Hazards
Volume 10, Issue 4 - Number 40, Winter 2022
https://geoeh.um.ac.ir
https://dx.doi.org/10.22067/geoeh.2021.68419.1011

جغرافیا و مخاطرات محیطی، سال دهم، شمارهٔ چهلم، زمستان ۱۴۰۰ صص ٤٦-٢٥

مقاله پژوهشی

تعیین عوامل مؤثر بر سیل‌خیزی رودخانه گرگانرود و ریز پهنه‌بندی خطر سیلاب شهرستان آق‌قلا با استفاده از تحلیل سلسله مراتبی AHP

کامران گنجی- کارشناس ارشد آب و سازه‌های هیدرولیکی، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، سمنان، ایران
سعید قره‌چلو[1]- استادیار گروه نقشه‌برداری، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، سمنان، ایران
احمد احمدی- دانشیار گروه مهندسی آب و محیط‌زیست، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، سمنان، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۲/۲۹ تاریخ بازنگری: ۱٤۰۰/٤/۲۹ تاریخ تصویب: ۱٤۰۰/٥/٥

چکیده

هدف از تحقیق حاضر بررسی معیارهای مؤثر در سیل‌خیزی رودخانه گرگانرود در محدوده شهرستان آق‌قلا است. پنج معیار کلی و ۱۸ زیرمعیار فرعی مؤثر در ایجاد سیلاب رودخانه گرگانرود و شهرستان آق‌قلا، شناسایی و با روش سلسله‌مراتبی AHP معیارها و زیرمعیارها وزن‌دهی شده و لایه‌های آن‌ها در نرم‌افزار ArcMap همپوشانی و نقشهٔ خطر سیل شهرستان آق‌قلا تهیه شد. معیارهای توپوگرافی و مورفولوژی به ترتیب با اوزان ۰/۳۵۳ و ۰/۳۳۳ بیشترین تأثیر در به وجود آمدن سیلاب را داشتند. ١٤/١٩ درصد از مساحت شهرستان آق‌قلا در پهنه خطر خیلی‌کم (مناطق غربی و جنوبی شهرستان با توجه به توپوگرافی مناسب و دور بودن از حریم رودخانه)، ۱۸/۱ درصد در پهنهٔ خطرکم (شمال‌غرب شهرستان با توجه به وجود مناطق باتلاقی و شوره‌زار)، ۱۱/۹٥ درصد در پهنه خطرمتوسط (شمال شهرستان با توجه به باتلاقی و تپه‌ماهوری بودن منطقه و جنوب شهرستان)، ٢٩/٦٦ درصد در پهنه خطرزیاد (جنوب‌شرق شهرستان به دلیل نزدیکی به رودخانهٔ گرگانرود و زیرشاخه‌های رودخانه قره‌سو و غرب شهرستان به دلیل شرایط نامناسب مورفولوژی و شیب بسیارکم بستر رودخانه) و ٢٦/١ درصد از شهرستان آق‌قلا در پهنه

[1] نویسنده مسئول: ۰۲۳۳۲۳۰۰۲٥۹ Email: sgharachelo@shahroodut.ac.ir

نحوه ارجاع به این مقاله:

گنجی، کامران؛ قره‌چلو، سعید؛ احمدی، احمد؛ ۱٤۰۰. تعیین عوامل مؤثر بر سیل‌خیزی رودخانه گرگانرود و ریز پهنه‌بندی خطر سیلاب شهرستان آق‌قلا با استفاده از تحلیل سلسله مراتبی AHP. جغرافیا و مخاطرات محیطی. ۱۰(٤). صص٤٦-٢٥
https://dx.doi.org/10.22067/geoeh.2021.68419.1011

خطر خیلی‌زیاد (مرکز شهرستان و اطراف رودخانه گرگانرود با توجه به وضعیت توپوگرافی و مورفولوژی رودخانه) قرار دارند. دیواره‌سازی و تثبیت قوس خارجی پیچانرودها در محدوده روستاهای سلاق‌یلقی تا قانقرمه، لایروبی رودخانه در نزدیکی پل‌ها، تغییر کاربری اراضی متجاوز به حریم رودخانه، لایروبی و بسترسازی مناسب در محدوده شهری رودخانه گرگانرود و زهکشی و کانال‌کشی مناسب با شرایط توپوگرافی مناطق مرکزی شهرستان از اقداماتی است که به کاهش خطر سیل در شهرستان آق‌قلا کمک می‌نماید.

کلیدواژه‌ها: آق‌قلا، نقشه خطر سیلاب، رودخانه گرگانرود، AHP، GIS

۱-مقدمه

بدون شک سیلاب به‌عنوان یک بلای طبیعی شناخته شده است که از نظر تلفات جانی و مالی مهیب‌ترین بلای طبیعی در جهان محسوب می‌شود (آذرنگ، ۱۳۹۵). کشور ایران با توجه به اقلیم مدیترانه‌ای به لحاظ سیل‌خیزی چهارمین کشور دنیاست و سالانه خسارات زیادی را در این زمینه متحمل می‌شود. روند افزایش سیل در پنج دهۀ اخیر نشان می‌دهد که تعداد وقوع سیل در دهه ۹۰ نسبت به دهه ٤۰ تقریباً ۱۲ برابر شده است (عبدی‌نژاد، ۱۳۹٤). بررسی دقیق مجموعه عوامل طبیعی که زمینه‌ساز این بلایا هستند، نشان می‌دهد که دخالت انسان در چرخه طبیعت از طریق تخریب پوشش گیاهی، کاربری غیراصولی اراضی، توسعه سطوح غیرقابل نفوذ و دیگر موارد، احتمال سیل‌خیزی را در مناطق گوناگون افزایش داده است (درخشان، ۱۳۸۵). درنتیجه پهنه جریان سیلاب‌ها گسترش یافته و زمین‌های بیشتری در هنگام طغیان رودخانه‌ها تحت تأثیر قرار می‌گیرند و گاهی خسارت جانی و مالی زیادی را به بار می‌آورد (حسین‌زاده، ۱۳۹٤). افزایش سطوح نفوذناپذیر، که ناشی از احداث ساختمان در خاک‌های نفوذپذیر است، طبعاً از سطوح نفوذپذیر حوضه، که قادر به جذب بخشی از بارندگی است، کاسته و درنتیجه بر حجم کل رواناب شهر افزوده است و باعث ازدیاد حجم و شدت رواناب و وقوع سیلاب در مناطق پایین‌دست می‌شود (صالحی، ۱۳۹۲). سیلاب‌ها نه‌تنها در نواحی برون‌شهری بلکه در نواحی شهری نیز آسیب‌های فراوانی به بار می‌آورد. شدت این آسیب‌ها گاهی در نواحی شهری بیش از نواحی برون‌شهری است (بدیعی‌زاده، ۱۳۹۱). در به وجود آمدن سیلاب‌های شهری علل مختلفی وجود دارد که می‌توان به عبور رودخانه‌های حفاظت نشده از میان شهرها، تجاوز به حریم رودخانه‌ها و از بین بردن مورفولوژی آن‌ها، تغییرات اقلیمی و بارش با شدت بالا در مدت‌زمان کم، افزایش زبری سطوح اشاره کرد (بزرگ‌حداد، ۱۳۹۲؛ نظری‌ها، ۱۳۹۲). نخستین گام در طرح‌های مدیریتی سیلاب داشتن نقشه‌های پهنه‌بندی خطر سیل است. این نقشه‌ها آگاهی‌هایی درباره گستردگی و عمق منطقه سیل‌گیر در دوره بازگشت‌های مختلف را در اختیار مدیران قرار داده و بدین ترتیب اجرای اقدامات حفاظتی مناسب در برابر آسیب‌های مالی و جانی سیل را آسان می‌سازد (عسگری، ۱۳۹٤). از مهم‌ترین کاربردهای نقشه‌های پهنه‌بندی خطر سیل می‌توان به تعیین بستر و حریم رودخانه‌ها و تعیین حدود گذرگاه سیل و اراضی سیل‌گیر حاشیه رودخانه، مطالعه و توجیه

اقتصادی طرح‌های عمرانی با توجه به پهنه سیل در دوره بازگشت‌های متعدد و برآورد خسارت سیل اشاره کرد (حیدری، ۱۳۸۵). امروزه با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) و داده‌های ماهواره‌ای سنجش‌ازدور ازجمله مدل رقومی ارتفاعی زمین (DEM) و تصاویر ماهواره‌های راداری و اپتیکی، علاوه بر سرعت محاسبات، می‌توان محدوده پخش سیلاب را با دقت بیشتری تعیین نمود (دی بالداسور و آلنبروک[1]، ۲۰۱۲). با توجه به اهمیت موضوع سیلاب، محققین زیادی به مطالعه این موضوع در داخل و خارج از کشور پرداخته‌اند ازجمله، صالحی و همکاران (۱۳۹۲)، پهنه‌بندی خطر سیلاب شهری را با استفاده از نرم‌افزار GIS و فرآیند تحلیل سلسله مراتبی فازی AHP در منطقه تهران را با استفاده از سه منبع اصلی داده، مدل رقومی ارتفاعی DEM به‌منظور فراهم کردن لایه‌های تجمع جریان، شیب و ارتفاع و تصاویر سنجنده TM ماهواره لندست، به‌منظور استخراج اراضی نفوذپذیر و نفوذناپذیر و فایل رقومی شبکه آبراهه‌ها و زهکشی آب‌های سطحی در سطح شهر را با روش فرایند سلسله مراتبی فازی (باکلی) مورد ارزیابی و تحلیل قرار داده که نتایج آن را به‌صورت نقشه‌های پهنه‌بندی خطر سیل در محیط نرم‌افزار GIS ارائه کردند. علی و همکاران (۲۰۱۹)، با استفاده از روش تصمیم‌گیری چندمعیاره AHP و مدل نرخ بازگشت نقشه‌های آسیب‌پذیری و خطر سیلاب را برای ناحیه سونداربان (هندوستان) به دست آوردند. هفت شاخص مهم شامل تراز ارتفاعی زمین، درصد شیب، شاخص رطوبت، پراکندگی بارش، کاربری زمین و پوشش گیاهی و فاصله از رودخانه را در نظر گرفتند. مطالعات آن‌ها نشان داد که فاصله از رودخانه و پراکندگی بارش و کاربری زمین و پوشش زمین از مهم‌ترین علل به وجود آورنده سیلاب در این منطقه هستند. چاکرابورتی و موخوپادیای[2] (۲۰۱۹)، نقشه‌های پهنه‌بندی خطر سیلاب FRI و نقشه‌های آسیب‌پذیری FVI شهر کوچبهار (هندوستان) را به کمک روش تصمیم‌گیری چندمعیاره AHP و GIS به دست آوردند. شاخص‌های استفاده شده در این تحقیق شامل تراز، شیب سطوح، تراکم زهکشی، فاصله از رودخانه، حداکثر بارش، ویژگی‌های ژئومورفیکی و غیره بودند. بر اساس نتایج آن‌ها ۴/۹۱ درصد، ۱۲/۲۹ درصد و ۳۸/۶۴ درصد شهر به ترتیب در مناطق پرخطر، خطر متوسط و کم‌خطر قرار دارند. در دهه‌های اخیر استان گلستان شاهد سیل‌های بزرگی چون سال ۱۳۸۰ در حوضه‌آبریز بالادست رودخانه گرگانرود بوده است که با خسارت‌ها جانی و مالی سنگینی در شهرستان کلاله همراه بود. همچنین می‌توان به سیل‌های ۱۳۸۱ و ۱۳۸۴ در حوضه‌آبریز رودخانه گرگانرود اشاره کرد که باعث از بین رفتن ۱۵۰۰ هکتار از اراضی و از بین رفتن ۱۵۰ روستا شد (قلی‌نژاد، ۱۳۹۱). شهرستان آق‌قلا به دلیل عبور رودخانه گرگانرود همواره مورد تهدید سیل‌هایی چون ۱۳۸۰، ۱۳۸۱، ۱۳۸۶، ۱۳۹۱، ۱۳۹۶ و ۱۳۹۸ واقع شده است. طبق گزارش اداره آب منطقه‌ای استان گلستان ۳۵۰ میلی‌متر بارش فقط طی ۴۸ ساعت که معادل ۶۶ درصد بارش سالانه استان گلستان بود در حوضه‌آبریز گرگانرود در فرودین ۱۳۹۸ رخ داد، که باعث آبگرفتگی بیش از ۶۰ درصد شهرستان آق‌قلا شد. لذا شناسایی رفتار رودخانه گرگانرود هنگام وقوع و

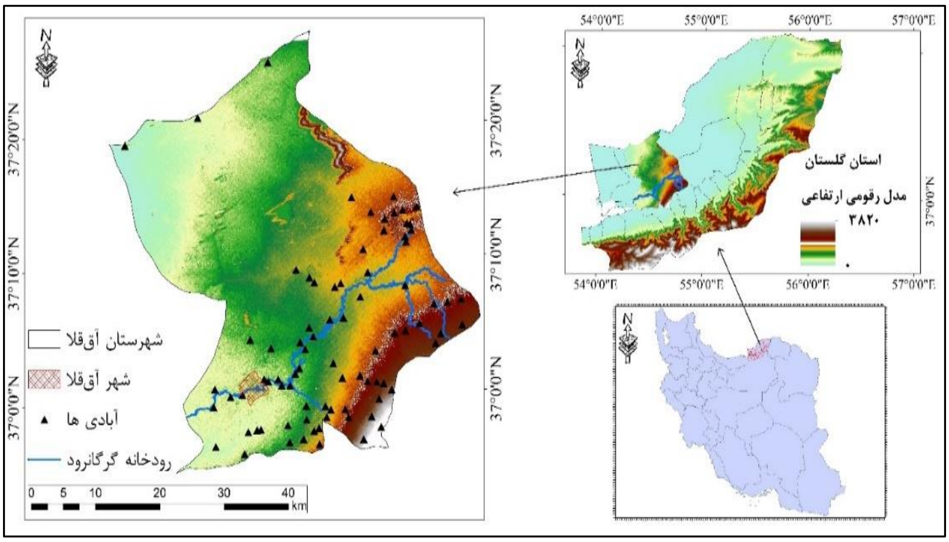
1 Di Baldassarre & Uhlenbrook
2 Chakraborty & Mukhopadhyay

پس از وقوع سـیلاب می‌تواند کمک بزرگی به کنترل سـیلاب این رودخانه در محدوده شـهرستان آق‌قلا بنماید. هدف تحقیق حاضـر پهنه‌بندی خطر سـیل شهرستان آق‌قلا با توجه به وزن‌دهی و مقایسه زوجی معیارهای مؤثر در به وجود آمدن پهنه‌های سـیلاب به کمک روش تحلیل سـلسـله مراتبی AHP است. همچنین نقشه نهایی خطر سیل با پهنه‌های سـیلاب بهار ۱۳۹۸ که از تصـاویر ماهواره‌های سـنتینل-۲ و لندست-۸ استخراج شده‌اند و تصاویر پهپاد از زمان واقعه سـیلاب مقایسـه شـده اسـت. سپس راهکارهای کاهش خطر سیلاب در مناطق مختلف شهرستان با توجه به وضعیت موجود ارائه خواهد شـد. نقشـه خطر سیلاب شهرستان آق‌قلا جزو مهم‌ترین اسناد هشدار و امدادرسانی در برابر حادثه سـیلاب اسـت، که می‌توان در اختیار مسئولان ذی‌ربط قرار داد تا از آن به‌عنوان سند چشم‌انداز توسعه شهرستان آق‌قلا و مدیریت بحران سیلاب استفاده نمایند.

۲- مواد و روش

۲-۱- منطقه موردمطالعه

شـهر آق‌قلا در استان گلستان و مرکز شهرستان آق‌قلا است، که در محدوده مختصات جغرافیایی ۳۷ درجه شمالی و ٥٤ درجه شـرقی قرار داد. شـهرسـتان آق‌قلا در طرفین رودخانه گرگانرود و در شـمال شهر گرگان قرار دارد (شکل ۱). تقریباً ۵۰ درصـد اراضـی شهرستان آق‌قلا به دلیل عبور رودخانه گرگانرود دارای کاربری کشاورزی، کشت گندم و جو اسـت. اکثر مناطق شـمالی و شـمال‌غربی شـهرسـتان آق‌قلا از نوع باتلاقی و شـوره‌زار که فاقد پوشـش گیاهی و درختان مناسـب اسـت و همچنین مناطق جنوبی شـهرسـتان آق‌قلا مناطق صـنعتی و باغ است که به شهرستان گرگان متصـل می‌شـود. اقلیم شـهرسـتان آق‌قلا مانند منطقه ترکمن‌صـحرا بیابانی گرم و مرطوب است. رودخانه گرگانرود از مهم‌ترین شـاخه‌های سـیل‌خیز اسـتان گلسـتان اسـت که طول آن حدود ۲۵۱ کیلومتر اسـت که از دامنه‌های شـمالی البرزشـرقی و دامنه‌های غربی ارتفاعات اسـتان خراسان‌شمالی سرچشمه می‌گیرد. این رودخانه پس از عبور از شهرهای گنبدکاووس و آق‌قلا در غرب خواجه‌نفس با تشـکیل دلتای بزرگی به دریای خزر می‌ریزد. حدود ۸۵ کیلومتر از رودخانه گرگانرود از شـهرسـتان آق‌قلا و به‌طور خاص حدود ۱۲ کیلومتر آن از محیط شـهری آق‌قلا عبور می‌کند (گنجی، ۱۳۹۸). متوسـط آبدهی سـالانه آن حدود ۹۲۰ میلیون مترمکعب اسـت (گزارش‌های شـرکت آب منطقه‌ای استان گلستان، ۱۳۹۵).



شکل ۱- محدوده موردمطالعه، شهرستان آق‌قلا و رودخانه گرگانرود

۲-۲- پهنه‌بندی سیلاب بهار ۱۳۹۸ شهرستان آق‌قلا

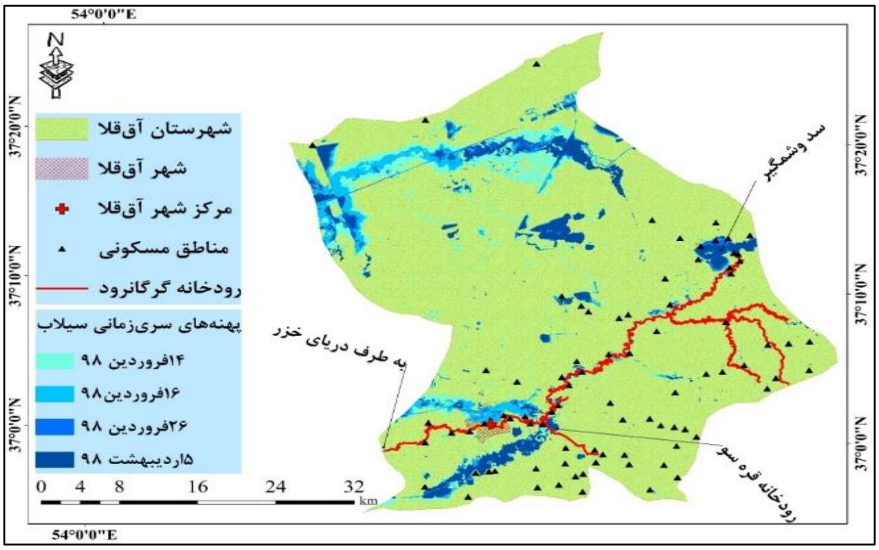
در تحقیق حاضر به‌منظور ارزیابی نقشه خطر سیلاب از تصاویر ماهواره‌ای موجود از سیلاب بهار ۱۳۹۸ استفاده گردید. ماهوارۀ اپتیکی Sentinel-2A از سری ماهواره‌های Sentinel است که توسط سازمان فضایی اروپا در سال ۲۰۱۵ به فضا پرتاب شد، و در ۱۳ باند در محدوده طیف مرئی، فروسرخ نزدیک و موج‌کوتاه فروسرخ از طیف الکترومغناطیسی تصویربرداری می‌کند. قدرت تفکیک این تصاویر در سه دسته ۱۰، ۲۰، ٦۰ متر است(صادق و لی[1]، ۲۰۱۹). سه تصویر Sentinel-2 از زمان آبگرفتگی در تاریخ‌های ١٦ و ٢٦ فروردین و پنجم اردیبهشت دانلود گردید. همچنین یک تصاویر از ماهواره Landsat-8 در تاریخ ١٤ فروردین به‌عنوان مکمل برای استخراج پهنه‌های سری‌زمانی سیلاب استفاده شد. بعد از اعمال پیش‌پردازش‌های لازم، با استفاده از شاخص MNDWI[1] پهنه‌های سری زمانی سیلاب استخراج گردیدند (ژو[2]، ٢٠٠٦). نقشه سری زمانی پهنه‌های سیلاب در (شکل ۲) و مساحت آن‌ها در (جدول ۱) نشان داده شده است.

جدول ۱- مساحت پهنه‌های سری‌زمانی سیلاب با استفاده از شاخص MNDWI مربوط به شهرستان آق‌قلا

مساحت (کیلومترمربع)	تاریخ
٢٦٢/٤٥٣	١٤ فروردین ١٣٩٨
٢٣١/٢٣٩	١٦ فروردین ١٣٩٨
١٣٣/٥٠٨	٢٦ فروردین ١٣٩٨

1 Sadek and Li
2 Modified Normalized Water Index, MNDWI: (B3-B11)/(B3+B11)
3 Xu

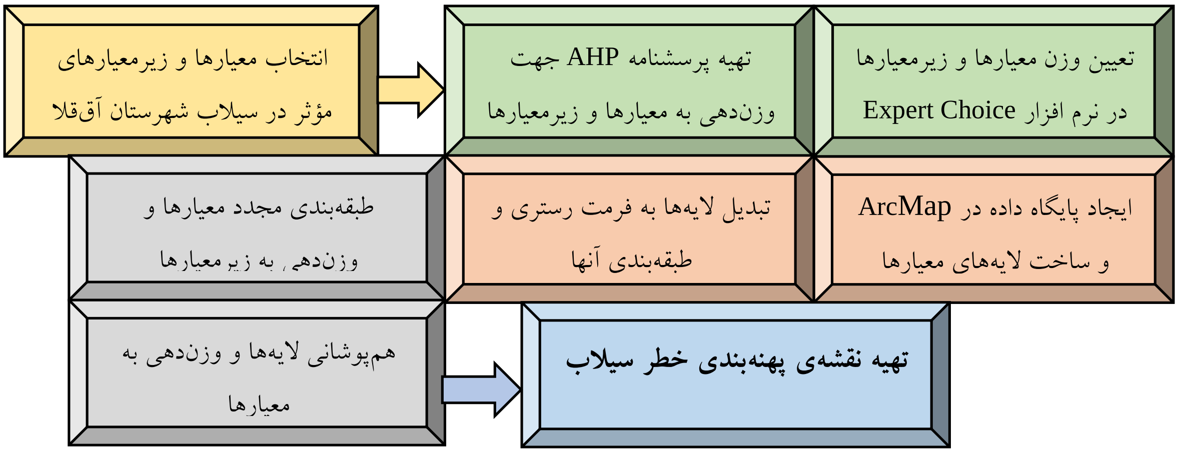
مساحت (کیلومترمربع)	تاریخ
۱۵٦/۳۳۳	۵ اردیبهشت ۱۳۹۸



شکل ۲- پهنه‌های سری زمانی سیلاب با استفاده از شاخص MNDWI، شهرستان آق‌قلا

۲-۳- ریز پهنه‌بندی خطر سیلاب در محیط GIS

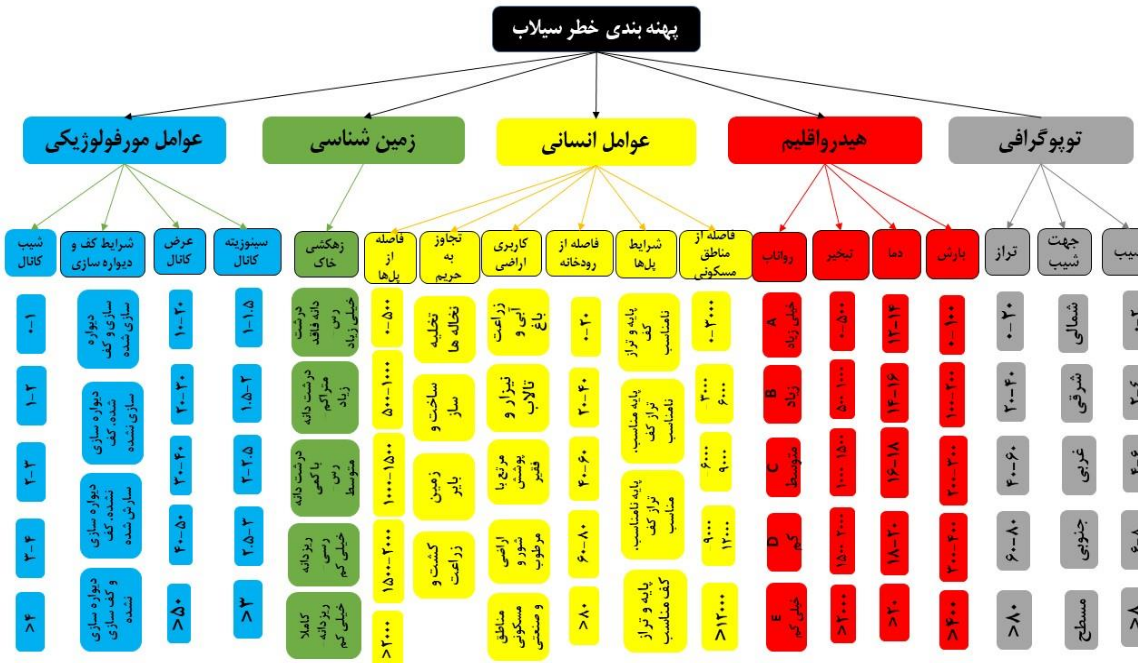
به‌منظور تهیه نقشه خطر سیلاب شهرستان آق‌قلا، ۲۵ شاخص که در به وجود آمدن سیلاب در این شهرستان نقش اساسی داشتند شناسایی گردید. سپس با مطالعات میدانی و مشورت با کارشناسان خبره سیل استان گلستان ۱۸ شاخص مؤثر برگزیده شدند. مراحل شماتیک تهیه ریز پهنه‌بندی خطر سیلاب در (شکل ۳) نشان داده شده و در ادامه به‌تفصیل بیان شده است.



شکل ۳- فلوچارت مراحل تهیه نقشه‌های خطر سیلاب

۲-۳-۱- شناسایی عوامل و معیارهای مؤثر در سیل‌خیزی رودخانه گرگانرود و شهرستان آق‌قلا

ابتدا شاخص‌های مؤثر در سیل‌خیزی تعریف و شناسایی معیارها به‌صورت دقیق طبقه‌بندی و سپس لایه‌های مورد نیاز در بستر نرم‌افزار آماده‌سازی شدند. به‌منظور ایجاد پایگاه داده در نرم‌افزار ArcMap اطلاعات دقیق در مورد شاخص‌های مورد نظر از سازمان‌های مرتبط، شرکت آب منطقه‌ای، اداره آبخیزداری، اداره هواشناسی و اداره کل منابع طبیعی استان گلستان جمع‌آوری گردید. زیرمعیارهای شیب، جهت شیب، تراز یا مدل ارتفاع رقومی، با استفاده از نقشه DEM, ALOS با دقت ۱۲/۵ متر استخراج گردیدند؛ زیرمعیارهای بارش، دما، تبخیر، با استفاده از داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی شهر آق‌قلا و مزرعه ارتش مدل‌سازی شدند. زیرمعیارهای رواناب و زهکشی‌خاک بر اساس نقشه طبقه‌بندی خاک منطقه (اداره آبخیزداری استان گلستان) تعیین شد. زیرمعیارهای فاصله از مناطق مسکونی، شرایط پل‌ها، فاصله از رودخانه، کاربری اراضی، تجاوز به حریم رودخانه، فاصله از پل‌ها، سینوزیه، عرض رودخانه، شرایط کف و دیواره‌های (مورفولوژی رودخانه) و شیب کف رودخانه با بازدیدهای میدانی و نرم‌افزار Google Earth استخراج و با استفاده از نرم‌افزار AutoCAD محاسبه شدند (گنجی، ۱۳۹۹). این اطلاعات که شامل لایه‌های وکتوری و رستری بودند در نرم‌افزار ArcMap به‌عنوان پایگاه داده ایجاد شد. در ادامه نیاز است تمام لایه‌های موجود تبدیل به فرمت رستری شوند تا طبقه‌بندی، وزن‌دهی و درنهایت هم‌پوشانی صورت گیرد. زیرمعیارها و معیارها در درخت سلسله مراتبی (شکل ٤) نشان داده شده است.



شکل ٤- درخت سلسله مراتبی معیارها و زیرمعیارهای تحقیق

۲-۳-۲- تهیه پرسشنامه AHP و تعیین وزن معیارها و زیرمعیارها

یکی از روش‌های ارزیابی و وزن‌دهی به معیارها و زیرمعیارها، روش تحلیل سلسله مراتبی AHP است که به‌وسیله ساعتی در سال ۱۹۸۰ مطرح شد. نرم‌افزار ExpertChoice این امکان را فراهم می‌سازد تا تصمیمات مستدل و منطقی جهت انتخاب مطلوب برای تصمیم‌گیرندگان فراهم شود (آقایی، ۱۳۸٦). به‌منظور بررسی اهمیت و درجه تأثیر هر یک از معیارها و زیرمعیارها در به وجود آمدن سیلاب در شهرستان آق‌قلا از فرایند تحلیل سلسله مراتبی AHP استفاده گردید. بدین منظور با استفاده از طراحی پرسشنامه AHP برای فاکتورهای مورد نظر در مقیاس ۱ تا ۹ بر حسب میزان اهمیت و مقایسه دودویی و ضریب اهمیت هر یک از فاکتورهای مورد بررسی در اختیار ۱۰ متخصص و کارشناس حوضه سیلاب استان در ادارات و سازمان‌های مربوطه قرار داده شد. میانگین نظرات کارشناسان به‌منظور وزن‌دهی در نرم‌افزار ExpertChoice وارد گردید. وزن‌های دست آمده بر اساس مقایسه دودویی و زوجی هر یک از معیارها با یکدیگر بر اساس نظر کارشناسان است. پس از به دست آوردن وزن نهایی هر معیار، باید به محاسبه نرخ ناسازگاری (ConsistencyRatio) پرداخت، نرخ ناسازگاری به معنی میزان ارتباط منطقی بین ایده‌های مختلف با یکدیگر با توجه به یک ملاک معین است. درصورتی‌که نرخ ناسازگاری کوچک‌تر از ۰/۱ باشد ($CR<0.1$) سازگاری وجود دارد، و در غیر این صورت باید در مقدار ارجحیت‌ها تجدید نظر شود (اصغرپور، ۱۳۹۷). مقدار نرخ ناسازگاری از (رابطه ۱) و (رابطه ۲) به دست می‌آید.

$$CR = \frac{CI}{IRI} \quad \text{(رابطه ۱)}$$

$$CI = \frac{\lambda_{Max} - n}{n-1} \quad \text{(رابطه ۲)}$$

CR (نرخ ناسازگاری)- CI (شاخص ناسازگاری)- n (بردار نرمال‌سازی)- λmax (میانگین عناصر بردار سازگاری)- IRI (شاخص ناسازگاری تصادفی (جدول ۲)).

جدول ۲- جدول شاخص ناسازگاری تصادفی

n	۱	۲	۳	٤	٥	٦	۷	۸	۹	۱۰
IRI	۰	۰	۰/٥۸	۰/۹۰	۱/۱۲	۱/۲٤	۱/۳۲	۱/٤۱	۱/٤٥	۱/٥۱

در صوری که بعد از محاسبات فوق مقدار نرخ ناسازگاری ۰/۱ > CR به دست آمد، نشان دهنده این است که ارجحیت‌های وارد شده صحیح است (عطایی، ۱۳۸۸). بعدازاینکه مقایسات زوجی توسط کارشناسان صورت گرفت، با جمع‌بندی و میانگین‌گیری از ارجحیت‌های انجام شده، پرسشنامه نهایی براساس مقایسات نهایی وارد نرم‌افزار ExpertChoice گردید. اوزان نهایی به دست آمده معیارها و زیرمعیارها و گزینه‌ها نسبت به همدیگر و نسبت به سطح بالاتر خود و درنهایت نسبت به هدف نهایی به دست آمد. اوزان به دست آمده و همچنین نرخ ناسازگاری هرکدام در (جدول ۳) نشان داده شده است.

جدول ۳- اوزان نهایی به دست آمده با استفاده از نرم‌افزار ExpertChoice

معیارها و زیرمعیارها	وزن معیار و زیرمعیار	وزن نهایی معیار*زیرمعیار	نرخ ناسازگاری
توپوگرافی	۰/۳٥۳	-	۰/۰٤<۰/۱
شیب	۰/۱۹٦	۰/۰۷۳	۰/۰٥<۰/۱
جهت شیب	۰/۳۱۱	۰/۱۰۹	
تراز- ارتفاع	۰/٤۹۳	۰/۱۷٤	
هیدرواقلیم	۰/۱۰۲	-	۰/۰٤<۰/۱
بارش	۰/٤۱۰	۰/۰٤۱	۰/۰۲<۰/۱
دما	۰/۰٦٦	۰/۰۰٦	
تبخیر	۰/۰۹۸	۰/۰۰۹	
رواناب	۰/٤۲٦	۰/۰٤٥	
عوامل انسانی	۰/۱٦۲	-	۰/۰٤<۰/۱
فاصله از مناطق مسکونی	۰/۰٥۹	۰/۰۱	۰/۰۳<۰/۱
شرایط پل‌ها	۰/۲۸۰	۰/۰٤٥	
فاصله از رودخانه	۰/۲۹۰	۰/۰٥	
کاربری اراضی	۰/۰۹۹	۰/۰۱٦	
تجاوز به حریم رودخانه	۰/۱۳٥	۰/۰۲۱	
فاصله از پل‌ها	۰/۱۳٦	۰/۰۲۲	
زمین‌شناسی	۰/۰٤۹	-	۰/۰٤<۰/۱
زهکشی خاک	۱	۰/۰٤۹	۰<۰/۱
مورفولوژی	۰/۳۳۳	-	۰/۰٤<۰/۱
سینوزیته رودخانه	۰/۳٥۱	۰/۱۱٦	۰/۰۳<۰/۱
عرض رودخانه	۰/۳۱۲	۰/۱۰۳	
شرایط کف و دیواره رودخانه	۰/۰۹۰	۰/۰۲۹	
شیب بستر رودخانه	۰/۲٤۷	۰/۰۸۲	

۲-۳-۳- ایجاد پایگاه داده در ArcMap و تبدیل داده‌ها به فرمت رستری

داده‌های وارده شـــده به نرم‌افزار ArcMap از نوع وکتوری و رســتری بوده که برای طبقه‌بندی تصــاویر نیاز اســت تمام داده‌ها به فرمت رســتری تبدیل شــوند. در فرمت رســتری هرکدام از گزینه‌های موجود در لایه‌ها به پیکسل تبدیل شــده که هر کدم از پیکســل‌ها دارای ارزش اســت. برای طبقه‌بندی نیاز است تا بر اساس ارزش هرکدام از گزینه‌ها یک ارزش به آن‌ها داده شــود تا درنهایت تصــاویر خروجی، بر اســاس ارزش پیکســل ســیمبولوژی شــوند که نشان دهنده اهمیت گزینه مورد نظر اســت. از میان لایه‌های اســتفاده شــده در پژوهش، لایه‌های شــیب، جهت شــیب و تراز چون مســتقیم از فایل DEM اســتخراج می‌گردند دارای فرمت رســتری می‌باشــند؛ اما داده‌های بارش، دما، تبخیر، فاصــله از

مناطق مسکونی، فاصله از پل‌ها، تجاوز به حریم رودخانه، سینوزیته، عرض کانال، شرایط کف و دیواره و شیب کف رودخانه به دلیل اینکه از نوع نقطه‌ای هستند و تمام اطلاعات آن‌ها در Attribute Table ذخیره شده‌اند با استفاده از دستور IDW[1] برای تبدیل آن‌ها به فرمت رستری استفاده گردید (پرادهان[2]،2009). برای تبدیل لایهٔ خطی فاصله از رودخانه، از دستور فاصله اقلیدسی[3] و لایه‌های پلی‌گون رواناب، کاربری اراضی و زهکشی خاک به فرمت رستری از دستور طبقه‌بندی مجدد[4] استفاده گردید.

۲-۳-٤- هم‌پوشانی لایه‌ها و وزن‌دهی به معیارها

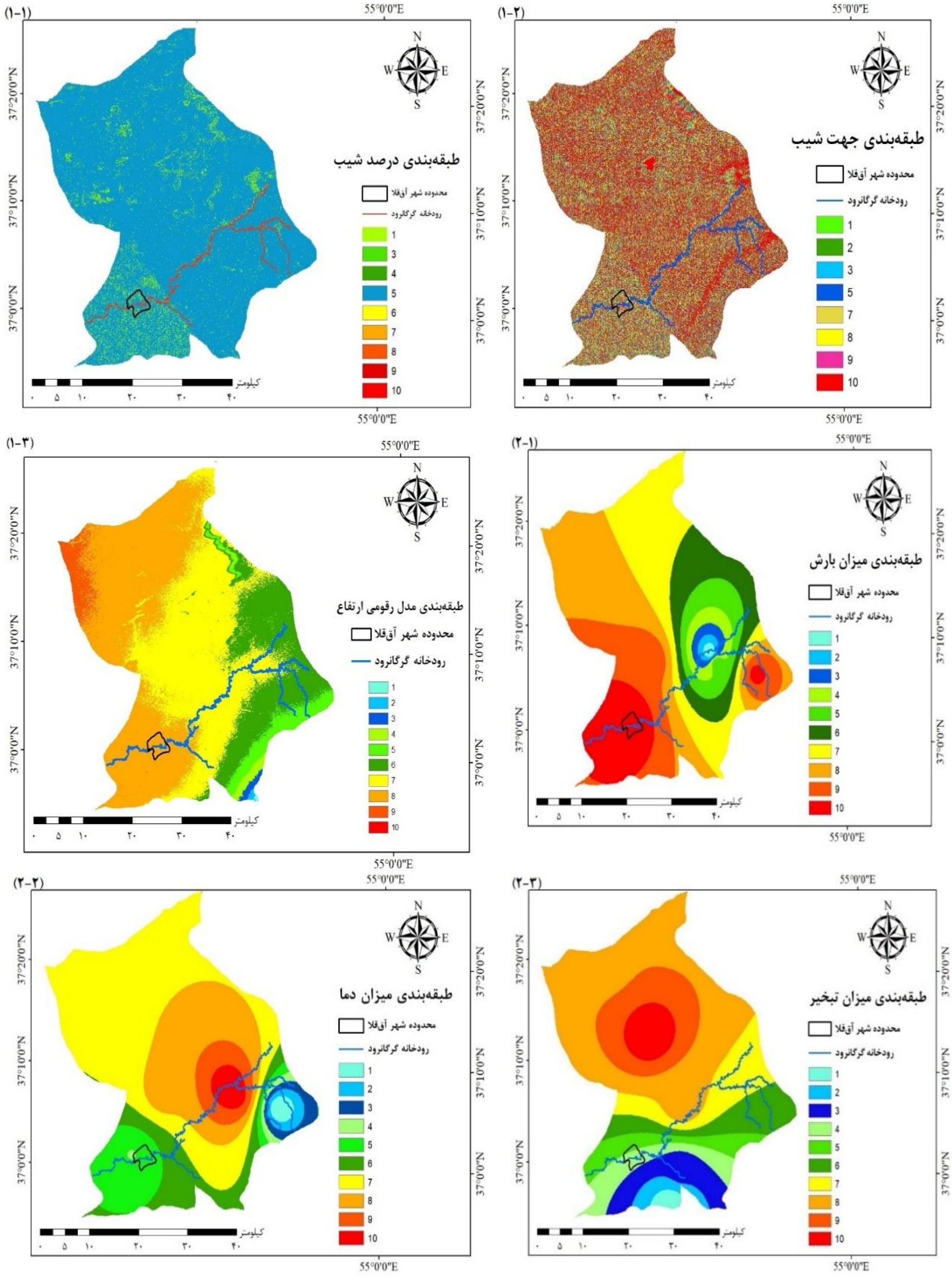
بعدازاینکه تمام لایه‌ها به ده کلاس تقسیم‌بندی گردید، طبقه‌بندی مجدد لایه‌ها به پایان می‌رسد. در طبقه‌بندی، کلاس‌یک کمترین ارزش در خطر سیلاب و کلاس‌ده بیشترین ارزش در خطر سیلاب در شهرستان آق‌قلا را دارد. سپس با استفاده از دستور Weighted Sum لایه‌ها هم‌پوشانی شده و وزن‌های نهایی (جدول ۳) به دست آمده مربوط به هر معیار و زیرمعیار به لایه مربوطه داده می‌شود.

۳- نتایج و بحث

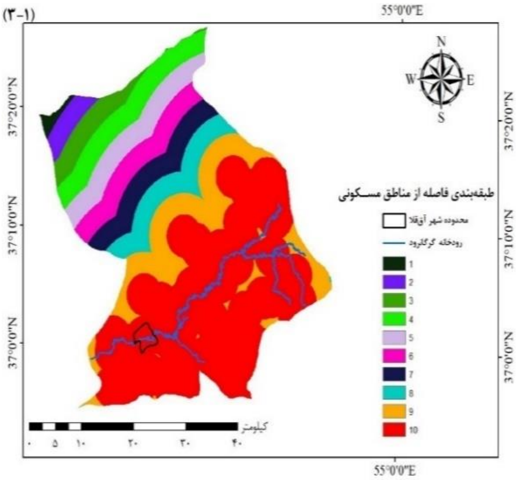
۳-۱- نقشه نهایی زیرمعیارهای طبقه‌بندی شده در محیط GIS

بعد از تبدیل همه لایه‌ها به فرمت رستری نیاز است تا متغیرهای همه لایه‌ها یکسان‌سازی و دارای ارزش شوند. بدین منظور تمام لایه‌ها، پس از وزن‌دهی و ارزش‌دهی به زیرلایه‌ها، به ده کلاس تقسیم‌بندی گردیدند. کلاس یک کمترین ارزش در به وجود آمدن سیلاب و کلاس ده بیشترین ارزش در به وجود آمدن سیلاب در شهرستان آق‌قلا را دارند. نقشه طبقه‌بندی شده زیرمعیارها به تفکیک در (شکل ۵) آورده شده است.

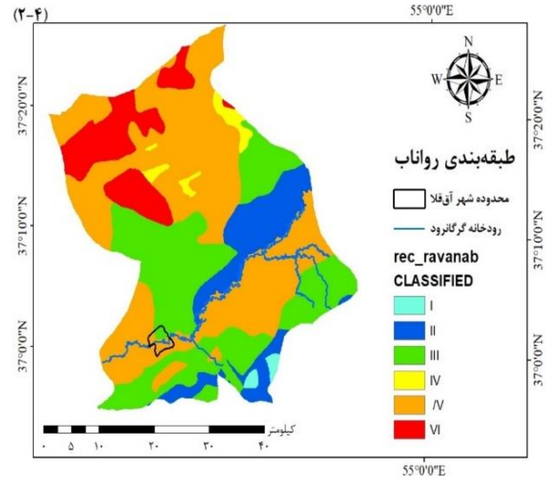
1 Inverse Distance Weighted
2 Pradhan
3 Euclidean Distance
4 Reclassify


(۱-۱)
طبقه‌بندی درصد شیب
محدوده شهر آق‌قلا
رودخانه گرگانرود
کیلومتر
(۱-۲)
طبقه‌بندی جهت شیب
محدوده شهر آق‌قلا
رودخانه گرگانرود
(۱-۳)
طبقه‌بندی مدل رقومی ارتفاع
محدوده شهر آق‌قلا
رودخانه گرگانرود
(۲-۱)
طبقه‌بندی میزان بارش
محدوده شهر آق‌قلا
رودخانه گرگانرود
(۲-۲)
طبقه‌بندی میزان دما
محدوده شهر آق‌قلا
رودخانه گرگانرود
(۲-۳)
طبقه‌بندی میزان تبخیر
محدوده شهر آق‌قلا
رودخانه گرگانرود
55°0'0"E
37°20'0"N
37°10'0"N
37°0'0"N

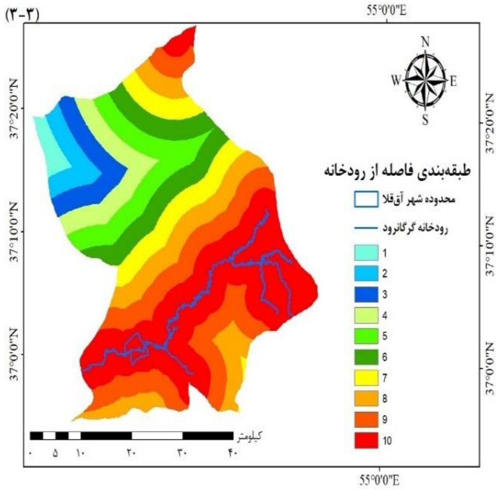
(۳-۱)



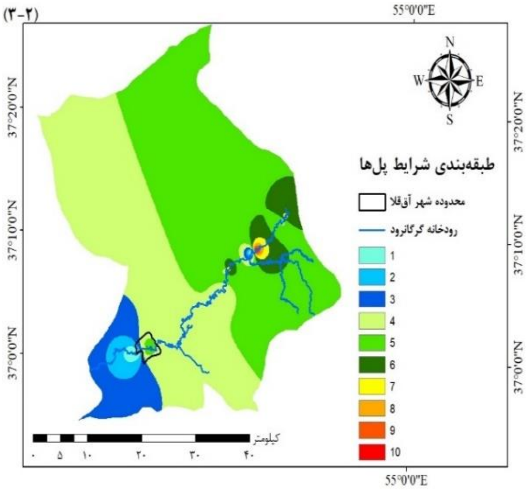
(۲-۴)



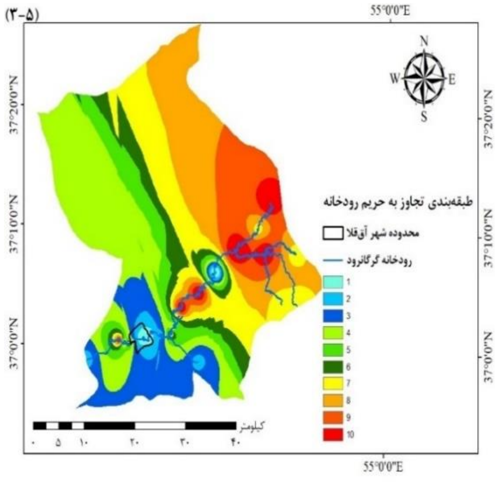
(۳-۳)



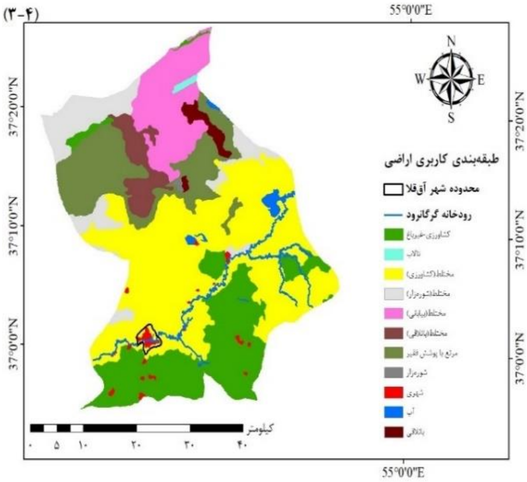
(۳-۲)

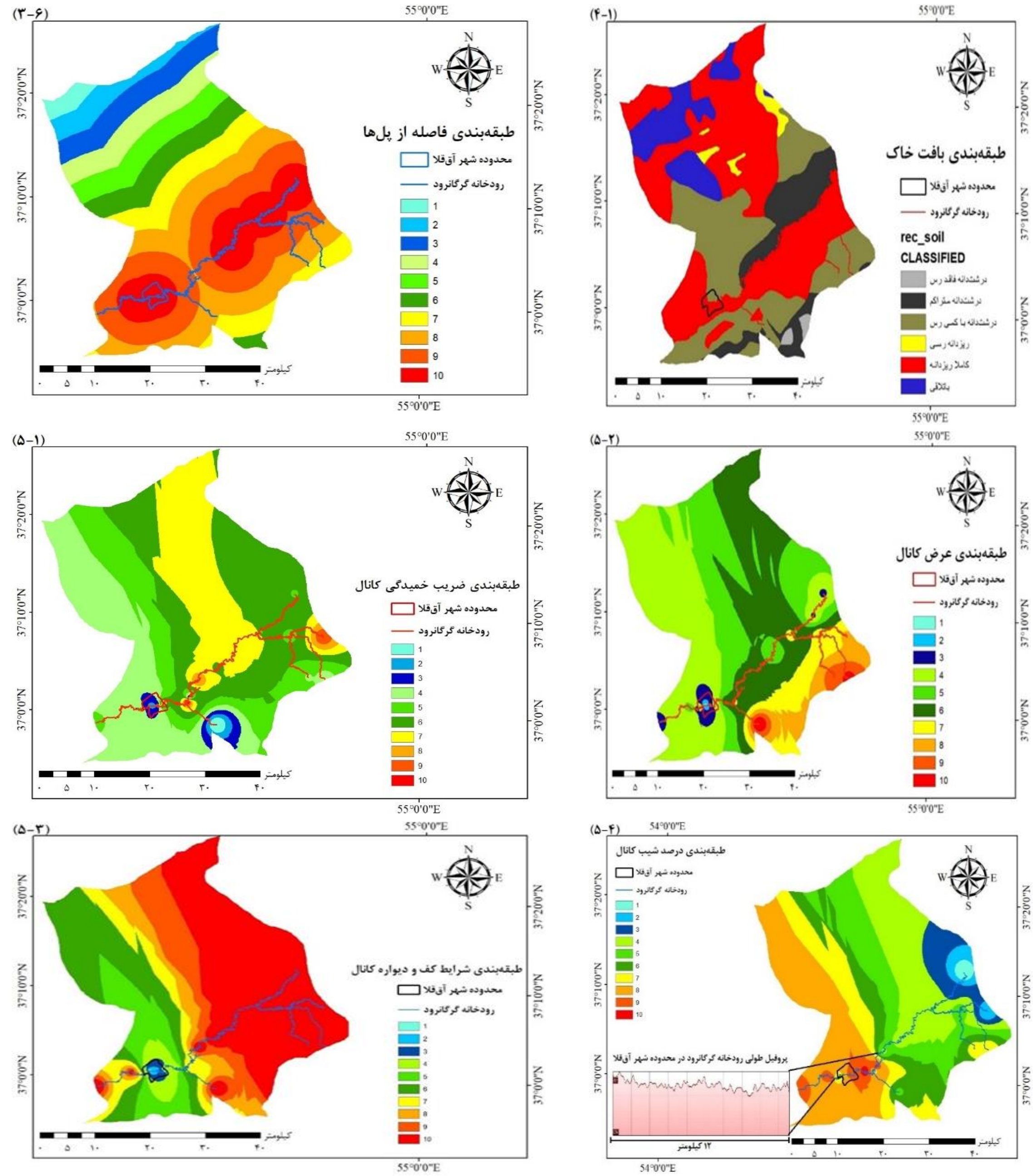


(۳-۵)



(۳-۴)

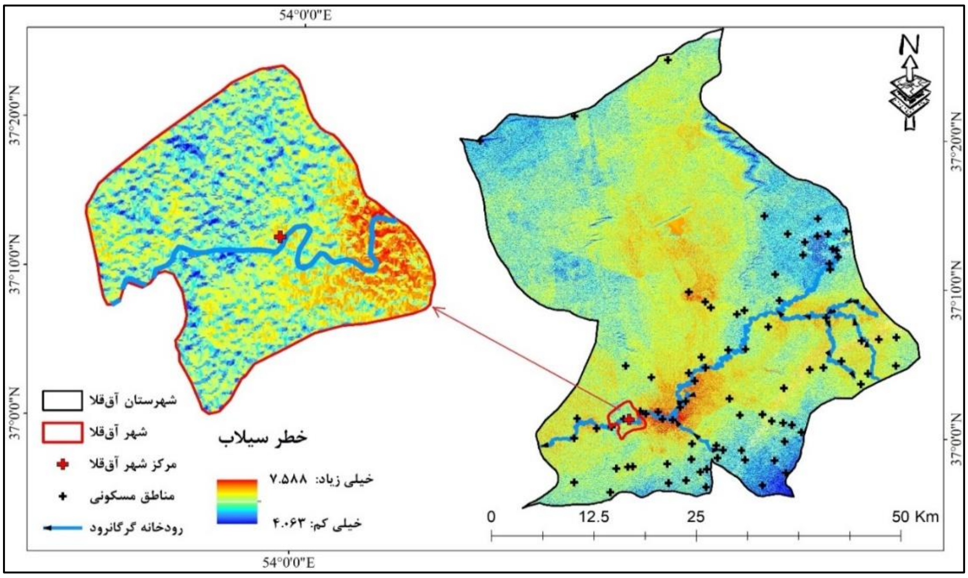




شکل ۵- (۱-۱) لایه درصد شیب، (۱-۲) لایه جهت شیب، (۱-۳) لایه مدل رقومی ارتفاع؛ (۲-۱) لایه بارش، (۲-۲) لایه دما، (۲-۳) لایه تبخیر، (۲-٤) لایه رواناب؛ (۳-۱) لایه فاصله از مناطق مسکونی، (۳-۲) لایه شرایط پل‌ها، (۳-۳) لایه فاصله از رودخانه، (۳-٤) لایه کاربری اراضی، (۳-۵) لایه فاصله از پل‌ها؛ (٤-۱) لایه بافت خاک؛ (۵-۱) لایه ضریب خمیدگی (سینوزیته)، (۵-۲) لایه عرض کانال، (۵-۳) لایه شرایط کف و دیواره، (۵-٤) لایه درصد شیب بستر رودخانه

۳-۲- نقشهٔ نهایی پهنه‌بندی خطر سیلاب در محیط GIS

در گام آخر بعد از وزن‌دهی معیارها و زیرمعیارها، لایه‌های تهیه شـــده به ده کلاس طبقه‌بندی شـــدند که ارزش ده بیشـــترین خطر ســـیلاب و ارزش یک کمترین خطر ســـیلاب را داشـــت. لایه‌ها با اســـتفاده از ابزار مجموع وزنی (Weighted Sum) هم‌پوشـــانی شـــدند و وزن هر زیرمعیار به لایه آن اعمال گردید. (شـــکل ٦) نقشـــه نهایی خطر سیلاب شهرستان و شهر آق‌قلا را نشان می‌دهد.



شکل ٦- نقشهٔ نهایی خطر سیلاب شهرستان و شهر آق‌قلا

با توجه به (شـــکل ٦) مناطق قرمزرنگ و آبی‌رنگ به ترتیب مناطق پرخطر و کم‌خطر در برابر ســـیلاب می‌باشـــند. اکثر منـاطق اطراف رودخـانه گرگانرود با توجه به معیارهای مورفولوژی و عوامل انســـانی در پهنهٔ پرخطر قرار گرفتند. به دلیل اینکه الگوی رودخانه گرگانرود در محدوده روسـتای سـلاق‌یلقی تا روسـتای قانقرمه از نوع پیچانرودی شدید اســـت، در ســـیلاب بهار ۹۸ با توجه به عدم لایروبی رودخانه و فرســـایش کناره‌های رودخانه بســـتر و عرض مفید رودخانه کاهش یافته، و ســیلاب جاری در رودخانه در این ناحیه از مدخل رودخانه خارج شـــده و با توجه به شـــیب شـرقی- غربی منطقه از دشـت‌های شمالی شهر آق‌قلا به محیط شهری شهر آق‌قلا وارد گردیده است، لذا این منطقه از شـهرسـتان در محدوده خطر خیلی‌زیاد قرار می‌گیرد. همچنین دشت‌های میانی شهرستان با توجه به معیار توپوگرافی و کاربری اراضـی در محدوده پرخطر قرار گرفت، این منطقه از شـهرسـتان در سـیلاب بهار ۱۳۹۸ به دلیل شکسته شدن آب‌بندان یلمه‌خندان آب موجود در آن به دشـت‌های مرکزی شـهرسـتان جریان یافته و با توجه به شـیب بسـیار پایین منطقه (دو در ده‌هزار) سـیلاب به‌صورت راکد مانده و منطقه‌ای پرخطر در برابر سیلاب به وجود می‌آید. مناطق شمالی

و شمالی‌شرقی شهرستان با توجه به زیرمعیارهای شیب و جهت شیب، باعث عدم حرکت سیلاب و وجود مناطق باتلاقی باعث به دام افتادن سیلاب خارج شده از رودخانه اترک در این ناحیه می‌شود، لذا باوجوداینکه این منطقه از شهرستان فاقد مناطق مسکونی و زمین‌های زراعی است، در پهنه با خطر متوسط قرار گرفت. مناطق غربی و شمال-غربی شهرستان با توجه به وجود دشت‌های شوره‌زار و باتلاقی و دور بودن از رودخانه گرگانرود و نبود منازل مسکونی در محدوده خطر کم تا خیلی‌کم قرار گرفت. این ناحیه در سیلاب بهار ۱۳۹۸ به دلیل طغیان رودخانه اترک دچار پهنه‌های سیلابی شده است. مناطق غربی و جنوبی شهرستان به دلیل دور بودن از رودخانه گرگانرود و شیب نسبتاً مناسب در محدوده خطر خیلی‌کم قرار گرفتند.

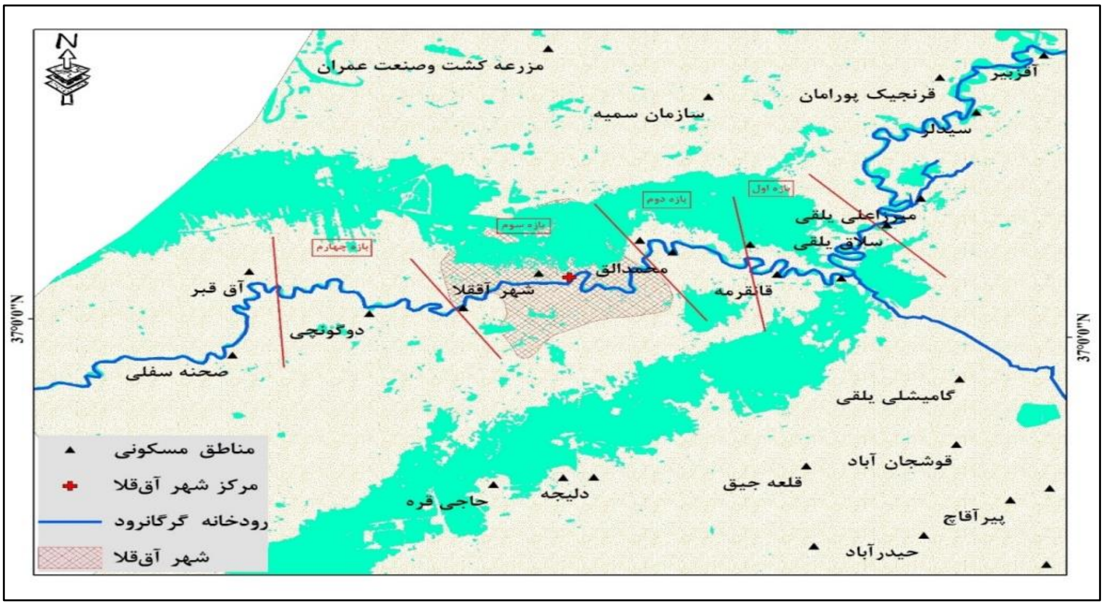
۳-۳- ارزیابی صحت نقشه خطر سیلاب

یکی از گام‌های اساسی در ارزیابی صحت نقشه‌های تولید شده توسط سیستم اطلاعات جغرافیایی، مقایسه آن‌ها با تصاویر ماهواره‌ای در دسترس و تصاویر پهپادی موجود از زمان واقعه سیلاب است، که جزو دقیق‌ترین مراجع جهت صحت نتایج می‌باشند. بدین منظور نقشه خطر سیلاب (شکل ٦) با پهنه‌های سری‌زمانی سیلاب استخراج شده از تصاویر موجود ماهوارهٔ سنتینل-۲ و لندست-۸ (شکل ۸) و تصاویر پهپاد زمان سیلاب (شکل ۹) به‌صورت کیفی مقایسه گردید.

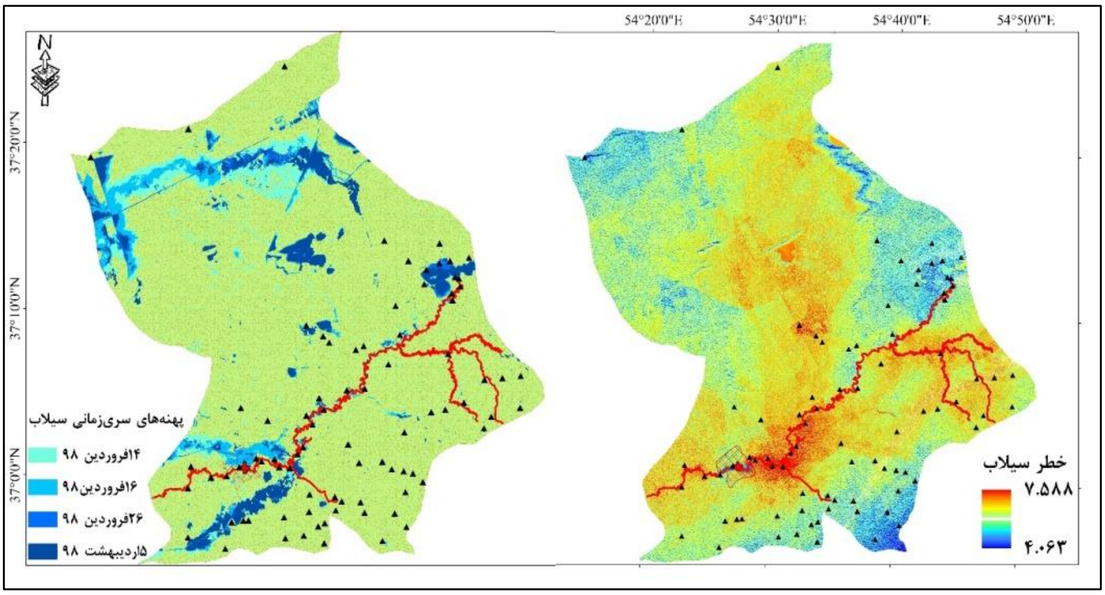
بعد از استخراج پهنه‌های سیلاب به کمک تصاویر ماهواره‌ای و همچنین تعیین وزن معیارهای تحقیق، بیشترین اوزان مربوط به معیارهای توپوگرافی و مورفولوژی به ترتیب ۰/۳۵۳ و ۰/۳۳۳ بودند. با بررسی‌های انجام شده بر روی نقشه پهنه‌بندی خطر سیلاب (شکل ٦) و پهنه‌های سیلاب استخراج شده از تصاویر ماهواره‌ای (شکل ۲)، مشخص شد در مناطقی که معیارهای توپوگرافی و مورفولوژی رودخانه در وضعیت حساسی قرار دارند، باعث ایجاد پهنه‌های سیلاب شده است. این مناطق به‌طور خاص در شعاع پنج کیلومتری شهر آق‌قلا در محدوده روستای سلاق‌یلقی تا روستای دوگونچی قرار دارند، که باعث شده است این محدوده در خطر خیلی‌زیاد سیلاب قرار گیرد، در ادامه به چند عامل مهم در ایجاد پهنه‌های سیلاب در این محدوده اشاره شده است.

ضریب سینوزیته رودخانه در محدوده روستای سلاق‌یلقی (بازه اول، شکل ۷) برابر ۳/۸۸ است که رودخانه از نوع پیچانرودی شدید است. اولین پیچانرود در بازهٔ اول با شعاع حدوداً ۸۰ متر باعث خروج سیلاب از مدخل رودخانه شده که با توجه به شیب و توپوگرافی و نبود پوشش گیاهی جاذب آب، سیلاب به دشت‌های واقع در شمال شهر آق‌قلا جریان پیدا کرده و از مناطق شمالی شهر وارد محیط مرکزی شهر شده است. ضریب سینوزیته رودخانه در محدوده روستای قانقرمه (بازه دوم-شکل ۷) برابر ۲/۰۳۹ است که رودخانه از نوع پیچانرودی شدید است؛ اما با توجه به اینکه حجم عمدهٔ سیلاب در بازهٔ اول از مدخل رودخانه خارج شده، حجم سیلاب کمتری به بازهٔ دوم جریان پیدا کرده است. در روستای محمدآلق، تصرف به حریم کمی رودخانه باعث تخریب دیواره‌های رودخانه در

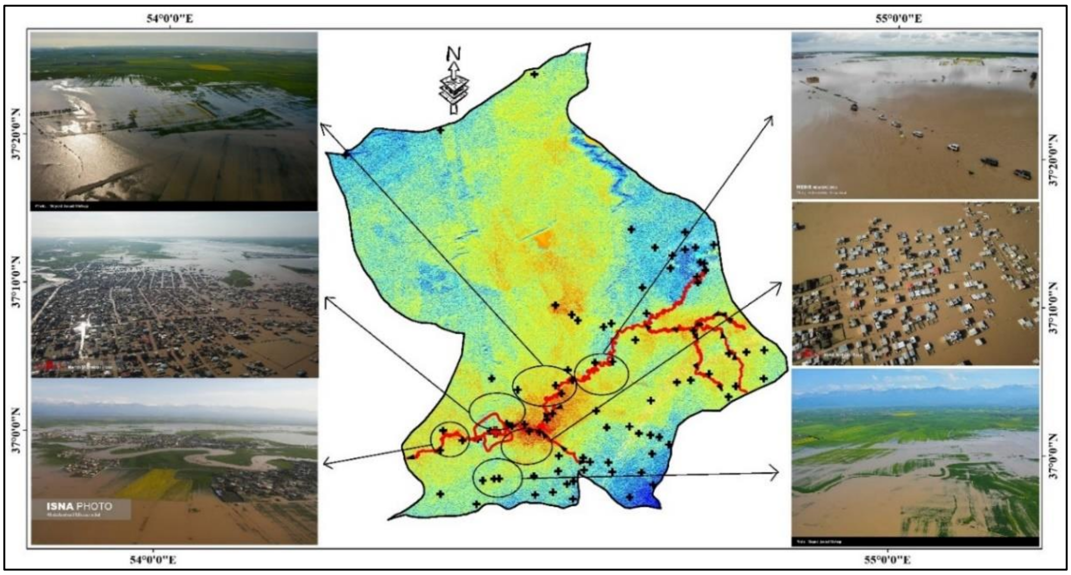
بعضـی از مناطق شـده، و وجود پل عبور و مرور با تراز سطح عرشه پایین و عدم وجود پایه‌های مناسب مانند مانعی بر سـر راه جریان باعث بالا آمدن سـطح جریان و خروج سـیلاب از مدخل شـده اسـت. ضـریب سینوزیته رودخانه در محدوده شـهری آق‌قلا (بازه سـوم، شـکل ۷) برابر ۱/٤۱٤ می‌باشـد که رودخانه از نوع پیچانرودی اسـت. اکثر مسـیر رودخانه در این بازه مسـتقیم بوده و میانگین شـعاع پیچانرودها هشـت درصـد از میانگین شعاع پیچانرودهای بازۀ اول بیشـتر اسـت. میانگین عرض بسـتر کانال رودخانه در بازه سـوم ۲٦٪ بیشـتر از میانگین عرض بستر کانال رودخانه در بازه‌های اول و دوم اسـت. ضـریب سـینوزیته رودخانه در محدوده روسـتای دوگونچی (بازه چهارم، شـکل ۷) برابر ۱/٦۰٤ که رودخانه از نوع پیچانرودی اسـت. میانگین عرض پیچانرودها در این بازه ۳۰٪ نسـبت به بازه سـوم کمتر اسـت، که نشـان می‌دهد عرض رودخانه در پیچانرودها کمتر از سایر بازه‌ها است. در این بازه پهنه‌های سیلاب فقط در نزدیکی پیچانرودها از مدخل رودخانه خارج شـده اسـت. تغییرات ناگهانی مقطع رودخانه و تغییر شـیب از (سه در ده هزار به دو در ده هزار) باعث جدا شـدن خطوط جریان شـده و تخریب مخصـوصـاً در کناره‌های پل حوالی روستای آق‌تکه‌خان به طرف پایین‌دست رودخانه گرگانرود می‌شود.



شکل ۷- در حدفاصل روستای سلاق یلقی تا روستای دوگونچی، محدوده خطر خیلی‌زیاد



شکل ۸- مقایسه نقشه خطر سیلاب با پهنه‌های سیلاب استخراج شده به کمک تصاویر ماهواره سنتینل-۲ و لندست-۸



شکل ۹- مقایسه پهنه‌های پرخطر، با تصاویر پهپاد، سیلاب بهار ۱۳۹۸ شهرستان آق‌قلا

٤- نتیجه‌گیری و پیشنهادها

٤-١- پیشنهادهای کاهش آسیب‌پذیری خطر سیلاب

به‌منظور تفکیک شهرستان آق‌قلا با توجه به خطر سیلاب نقشه (شکل ۱۰)، به پنج بازه، خطر خیلی‌کم، خطر کم، خطر متوسط، خطر زیاد و خطر خیلی‌زیاد تقسیم‌بندی گردید. با توجه به (شکل ۱۰)، مناطق اطراف رودخانه

گرگانرود در محدوده سد وشمگیر تا شهر آق‌قلا تا شعاع ده کیلومتر در پهنه خطر خیلی‌زیاد و مناطق شمالی و جنوبی شهرستان در پهنه خطر زیاد قرار دارند، که جزو مناطق حساس در برابر سیلاب محسوب می‌شوند. در ادامه با توجه به حساسیت مناطق نسبت به خطر سیلاب، راهکارهای کنترل سیلاب پیشنهاد شده است. مساحت و درصد تفکیک پهنه‌های خطر در (جدول ٤) نشان داده شده است.

پهنه با خطر خیلی زیاد (رنگ قرمز): حدود ٢٦ درصد شهرستان آق‌قلا در محدوده خطر سیلاب قرار گرفت. با توجه به شیب نسبتاً مناسب مناطق شمالی سد وشمگیر، ایجاد کانال انحرافی در پایین‌دست سرریز غربی سد وشمگیر به سمت دشت‌های شمالی که شوره‌زار و باتلاقی است، می‌تواند هنگام سیل تا حد زیادی دبی پیک خروجی از سد وشمگیر را بـه آن منـاطق منحرف کند تا حجم سیلاب کمتری وارد رودخانه گرگانرود شود با توجه به ماهیت توپوگرافی منطقه راهکار سازه‌ای خاصی را نمی‌توان پیشنهاد کرد و می‌توان از راهکارهای غیرسازه‌ای مانند آگاه‌سازی و هشدار به‌موقع، هنگام سیل با آن به تعامل پرداخت. مناطق مرکزی شهرستان به دلیل وجود آب‌بندان‌های زیاد ازجمله آب‌بندان یلمه‌خندان، هنگام واقعه سیلاب دبی زیادی از سر ریز غربی سد وشمگیر وارد این آب‌بندان‌ها می‌شود، کنترل حجم دبی ورودی به این آب‌بندان‌ها، تثبیت بدنه آن‌ها و زهکشی و حفر کانال‌های جمع‌آوری رواناب با توجه به شرایط توپوگرافی موجود راه‌حل مناسبی است. همچنین جابه‌جایی مسیر ریل راه‌آهن یا ایجاد کالورت‌های عبور سیلاب در زیر خطوط ریل راه‌آهن باعث جریان سیلاب به دشت‌های شمالی شده که فاقد مناطق مسکونی و زمین‌های زراعی است.

پهنه با خطر زیاد (رنگ زرد): حدودِ ٣٠ درصد شهرستان آق‌قلا در محدوده خطر سیلاب قرار گرفت. این پهنه‌ها در مناطق شمال–شرقی، جنوب–شرقی و مناطق غربی شهرستان آق‌قلا قرار دارند. در مناطق جنوبی سد وشمگیر به علت تجاوز شهرها و روستاها به حریم رودخانه، وجود منازل مسکونی موجود در حریم کمی (٢٠ متر) رودخانه گرگانرود هنگام سیل با دوره بازگشت ٥٠ سال به بالا دچار تخریب می‌شوند، جابه‌جایی این منازل و تغییر کاربری آن‌ها به زمین کشاورزی و باغ می‌تواند باعث افزایش نفوذپذیری و افزایش ضریب زبری شود، همچنین اطلاع‌رسانی به‌موقع، سیستم هشدار سیل سد وشمگیر می‌تواند کمک بزرگی به کاهش خطر جانی و مالی کند. مناطق شمال–شرقی شهرستان اکثر مناطق شوره‌زار و باتلاقی است که هنگام طغیان رودخانه اترک دچار آبگرفتگی می‌شوند، و با توجه وجود تپه‌ماهوری منطقه و عدم زهکشی منطقه جریان سیلاب به سمت مناطق غربی و دریای خزر وجود ندارد لذا با توجه به اهمیت کمتر این منطقه با توجه به سایر مناطق شهرستان راهکارهای کاهش خطر سیلاب در منطقه صرفه اقتصادی نخواهد داشت.

پهنه با خطر متوسط (رنگ سبز): حدود ١٢ درصد شهرستان آق‌قلا در محدوده خطر سیلاب قرار گرفت. مناطق جنوبی شهر آق‌قلا به دلیل عبور زیرشاخه‌های رودخانه قره‌سو، لایروبی این رودخانه و بهسازی پل‌های بتنی می‌تواند کمک بزرگی به کنترل سیل در این نواحی کند. نواحی غربی سد وشمگیر به دلیل کانالیزه کردن رودخانه و شیب

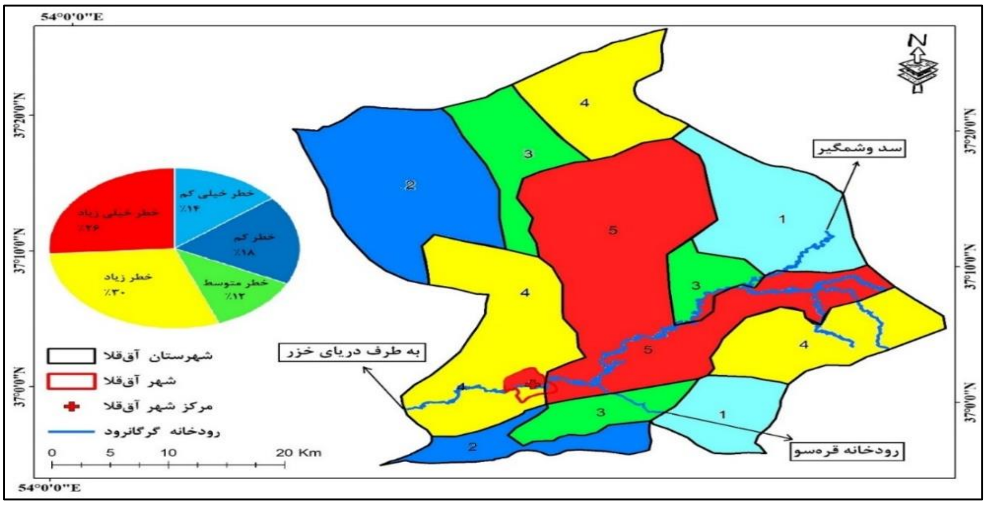
مناسب در سیلاب با دوره بازگشت ۵۰ ساله دچار آبگرفتگی نشدند. دشت‌های شمالی شهرستان با توجه به اینکه در حریم رودخانه اترک قرار دارد، در سیلاب بهار ۹۸ با بیرون‌زدگی سیلاب از کانال رودخانه اترک، رواناب آن با توجه به ماهیت توپوگرافی منطقه وارد مناطق شمالی شهرستان می‌شود، این مناطق به دلیل وجود دشت‌های باتلاقی و شوره‌زار مکان مناسبی برای هدایت سیلاب می‌باشند.

پهنه با خطر کم (رنک آبی): حدودِ ۱۸ درصد شهرستان آق‌قلا در محدوده خطر سیلاب قرار گرفت. مناطق شمال-غربی شهرستان اغلب شامل شوره‌زار و مناطق باتلاقی می‌باشند که کاربری خاصی ندارند و با ایجاد کانال انحرافی و زهکشی مناسب حوضه‌آبریز حجم عمده‌ای از رواناب‌های جاری را به سمت دریای خزر هدایت کرد.

پهنه با خطر خیلی‌کم (رنگ فیروزه‌ای): حدودِ ١٤ درصد شهرستان آق‌قلا در محدوده خطر سیلاب قرار گرفت. این مناطق به دلیل اینکه در فاصله دورتری از رودخانه گرگانرود قرار دارند و اغلب کاربری اراضی آن باغ و زمین‌های زراعی است و ممکن است در سیل‌های با دوره بازگشت ۵۰ ساله به بالا دچار آبگرفتی خفیف شوند. لذا با انجام راه‌کارهای ارائه شده این مناطق جزو مناطق ایمن در برابر سیلاب می‌باشند.

جدول ٤- مساحت و درصد پهنه‌های خطر سیلاب، شهرستان آق‌قلا

پهنه‌های خطر	مساحت (کیلومترمربع)	درصد
پهنه با خطر خیلی زیاد	٤٨٦/١٨٥	٢٦/١
پهنه با خطر زیاد	٥٥٣/١٤٨	٢٩/٦٦
پهنه با خطر متوسط	٢٢٢/٧٧٨	١١/٩٥
پهنه با خطر کم	٣٣٧/٠٩٤	١٨/١
پهنه با خطر خیلی کم	٢٦٤/٥١٤	١٤/١٩
مجموع	١٨٦٣/٧١٩	١٠٠



شکل ۱۰- نقشه تفکیک شده خطر سیلاب شهرستان آق‌قلا

۵- جمع‌بندی

بر اساس نتایج، رودخانه گرگانرود در حدفاصل روستای سلاق‌یلقی تا روستای قانقرمه جزو مناطق حساس از نظر مورفولوژی است. در این بازه شاخص سینوزیته برابر ۳/۸۸، تعداد پیچانرود و میانگین شعاع پیچانرودها به ترتیب برابر ۱۸ و ۸۹ متر است (گنجی، ۱۳۹۹) که نسبت به سایر بازه‌ها تعداد پیچانرودها و میانگین شعاع پیچانرودها به ترتیب ۳۰ درصد بیشتر و پنج درصد کمتر است. با بازدیدهای میدانی و مشورت با کارشناسان خبره سیلاب، پنج معیار کلی و ۱۸ زیرمعیار مؤثر در ایجاد سیلاب شهرستان آق‌قلا و رودخانه گرگانرود شناسایی گردید. بعد از وزن‌دهی آن‌ها با روش سلسله مراتبی AHP معیارهای توپوگرافی و عوامل مورفولوژی به ترتیب ۰/۳۵۳ و ۰/۳۳۳ بیشترین اوزان را به خود اختصاص دادند. براساس نقشه آسیب‌پذیری خطر سیلاب، مشخص شده حدفاصل سد وشمگیر تا ابتدای شهر آق‌قلا و دشت‌های مرکزی شهرستان به علت شرایط نامناسب توپوگرافی و مورفولوژی رودخانه گرگانرود جزو پهنه‌های پرخطر در برابر سیل می‌باشند. با توجه به نقشه تفکیک شده آسیب‌پذیری خطر سیلاب مشخص شده ١٤/١٩ درصد از مساحت شهرستان آق‌قلا در پهنه با خطر خیلی کم و ۱۸/۱ درصد در پهنه با خطر کم و ۱۱/۹۵ درصد در پهنه با خطر متوسط و ۲۹/٦٦ درصد در پهنه با خطر زیاد و درنهایت ۲٦/۱ درصد شهرستان در پهنه با خطر خیلی‌زیاد قرار دارد.

٦- تشکر و قدردانی

نویسندگان مقاله از اداره منابع طبیعی و آبخیزداری و شرکت آب منطقه‌ای استان گلستان بابت همکاری در تکمیل پرسشنامه‌ها تشکر می‌نمایند.

کتابنامه

اصغرپور، محمدجواد؛ ۱۳۹۷. *تصمیم‌گیری‌های چندمعیاره*. انتشارات دانشگاه تهران. فصل دوم. صص ۹۵-۱۰۱.

آذرنگ، فرهنگ؛ تلوری، عبدالرسول؛ صدقی، حسین؛ شفاعی بجستان، محمود؛ ۱۳۹۵. اثرات احداث سدهای بزرگ بر شرایط جریان و پارامترهای هیدرولیکی رودخانه (مطالعه موردی: رودخانه کرخه پایین‌دست سد مخزنی). *مجله علمی پژوهشی آب‌وخاک*. صص ۱۱-۲۷.

آقایی، شیما؛ مازیار، محمدرضا؛ ۱۳۸٦. *تصمیم‌گیری منطقی با بهره‌گیری از نرم‌افزار Expert Choice2000*. انتشارات اردکان دانش. اصفهان. ص ٦.

بدیعی‌زاده، سامان؛ بهره‌مند، عبدالرضا؛ آرامی، عبدالحسن؛ سبحانی، آمنه؛ ۱۳۹۱. بررسی تحلیلی معیارهای هیدرولیکی و آسیب‌پذیری در پهنه‌بندی خطر سیلاب شهری با استفاده از تکنیک‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره. سومین همایش ملی مقابله با بیابان‌زایی و توسعه پایدار تالاب‌های کویری ایران. اراک: دانشگاه آزاد اسلامی واحد اراک. صص ۳-۵.

بزرگ‌حداد، امید؛ خسروشاهی اصل، سارا؛ زارع‌زاده، محبوبه؛ جوان، پوریا؛ ۱۳۹۲. توسعه مدل شبیه‌سازی-بهینه‌سازی در حفاظت مناطق سیل‌گیر. *نشریه آب‌وخاک (علوم و صنایع کشاورزی)*. جلد ۲۷. شماره ۳. صص ٤٦٢-٤٧١.

حسین‌زاده، محمدمهدی؛ اسماعیل‌پور، نادر؛ زنگی‌آبادی، سیدمحمدعلی؛ ۱۳۹٤. ارزیابی رابطه SCS-CN در تعیین میزان رواناب با استفاده از نرم‌افزار Arc-GIS مطالعه موردی: حوضه آبریز سلطانی. اولین کنفرانس بین‌المللی علوم جغرافیایی. شیراز: موسسه عالی علوم و فناوری خوارزمی. ص ۳.

حیدری، علی؛ امامی، کامران؛ برخوردار، مهرداد؛ مرادی، شادی؛ ۱۳۸۵. پیش‌بینی و هشدار سیلاب. کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران. شابک: ٩٦٤-٦٦٦٨-٥٨-٥. صص ١٤٩-١٥٠.

درخشان، شهرام؛ ضیائیان فیروزآبادی، پرویز؛ بخشی‌پور، امیدرضا؛ ۱۳۸۵. بررسی کارآیی مدل‌های مختلف در مکانیابی پخش سیلاب با استفاده از GIS مطالعه موردی حوضه دویرج ایلام. هفتمین سمینار بین‌المللی مهندسی رودخانه. اهواز: سازمان آب و برق خوزستان. دانشگاه شهید چمران اهواز. ص ٦.

صالحی، اسماعیل؛ رفیعی، یوسف؛ فرزاد بهتاش، محمدرضا؛ آقابابایی، محمدتقی؛ ۱۳۹۲. پهنه‌بندی سیلاب شهری با استفاده از GIS و فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی فازی، مطالعه‌موردی: شهر تهران. *محیط‌شناسی*. سال سی و نهم. شماره ۳. صص ۱۸۸-۱۷۹.

عبدی‌نژاد، پرویز؛ حیدری، اصغر؛ حسینی، احمد؛ ۱۳۹٤. تشکیل بانک اطلاعاتی و پایگاه داده‌های مشخصات عمومی رودخانه‌ها و مسیل‌های استان زنجان در محیط GIS. اولین کنفرانس ملی مهندسی فناوری اطلاعات مکانی. تهران: دانشکده مهندسی نقشه‌برداری دانشگاه صنعتی خواجه‌نصیرالدین طوسی. ص ۹.

عسگری، شمس‌الله؛ احمدی، مهدی؛ همتی، موسی؛ ۱۳۹٤. فرسایش کناری رودخانه چرداول با استفاده از مدل HEC-RAS و GIS. *مجله تحقیقات جغرافیایی*. شماره ۳۰. صص ۷۱-۸۰.

عطایی، محمد؛ ۱۳۸۸. *تصمیم‌گیری چندمعیاره*. انتشارات دانشگاه صنعتی شاهرود. صص ۱۹-٤٥.

قلی‌نژاد، جواد؛ ظهیری، عبدالرضا؛ دهقانی، میراحمد؛ ۱۳۹۱. شبیه‌سازی یک‌بعدی و دوبعدی جریان‌های سیلابی در رودخانه‌ها (مطالعه موردی: رودخانه گرگانرود ایستگاه هیدرومتری آق‌قلا). *مجله پژوهش‌های حفاظت آب‌وخاک*. دوره نوزدهم. شماره چهارم. صص ۱۰۳-۱۱۹.

گنجی، کامران؛ قره‌چلو، سعید؛ احمدی، احمد؛ ۱۳۹۹. بررسی اثر شاخص‌های مورفولوژیکی رودخانه گرگانرود بر پهنه‌های سیلاب با استفاده از داده‌های سنجش‌ازدور و تحلیل‌های مکانی (منطقه مطالعاتی: شهر آق‌قلا). *نشریه علمی جغرافیا و مخاطرات محیطی*. دانشگاه فردوسی مشهد. دوره ۹. شماره ۳ - شماره پیاپی ۳۵. صص ۲۲۵-۲۰۵. DOI: 10.22067/GEOEH.2020.67016.0

نظری‌ها، مهرداد؛ علی، نقی‌خانی؛ قیاسی، بهزاد؛ یوسفی، علی؛ ۱۳۹۲. بررسی عوامل مؤثر بر ریخت‌شناسی (مورفولوژی) آبراهه‌ها و رودخانه‌ها. اولین همایش ملی مهندسی و مدیریت کشاورزی، محیط‌زیست و منابع طبیعی پایدار. همدان، انجمن ارزیابان محیط‌زیست هگمتانه. صص ٦٤٨-٦٥٥.

Ali, S.A., Khatun, R., Ahmad, A., Ahmad, S.N., 2019. Application of GIS-based analytic hierarchy process and frequency ratio model to flood vulnerable mapping and risk area estimation at Sundarban region, India. Modeling Earth Systems and Environment. Springer International Publishing 5(3):1083–1102. DOI: 10.1007/s40808-019-00593-z.

Chakraborty, S., Mukhopadhyay, S., 2019. Assessing flood risk using analytical hierarchy process (AHP) and geographical information system (GIS): application in Coochbehar district of West Bengal, India. Natural Hazards. Springer Netherlands 99(1):247–274. DOI: 10.1007/s11069-019-03737-7.

Di Baldassarre, G., Uhlenbrook, S., 2012. Is the current flood of data enough? A treatise on research needs for the improvement of flood modelling. Hydrological Processes 26(1):153–158. DOI: 10.1117/12.2194449

Ganji, K., Gharachelou, S., Ahmadi, A., 2019. Urban's river flood analysing using sentinel-1 data case study: (gorganrood, aq'qala). International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives 42(4/W18):415–419. DOI: 10.5194/isprs-archives-XLII-4-W18-415-2019

Pradhan, B., 2009. Flood susceptible mapping and risk area delineation using logistic regression, GIS and remote sensing. Journal of Spatial Hydrology. Journal of Spatial Hydrology 9(2):1–18.

Sadek, M., Li, X., 2019. Low-Cost Solution for Assessment of Urban Flash Flood Impacts Using Sentinel-2 Satellite Images and Fuzzy Analytic Hierarchy Process: A Case Study of Ras Ghareb City, Egypt. Advances in Civil Engineering 2019. DOI: 10.1155/ 2019/2561215

Xu, H., 2006. Modification of normalised difference water index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery. International Journal of Remote Sensing 27(14):3025–3033. DOI: 10.1080/01431160600589179

Vol.10, No.4, Winter 2022, pp.47-68 ISSN (Print):2322-1682 ISSN (Online):2383-3076

Journal of Geography and Environmental Hazards

RESEARCH ARTICLE DOI: 10.22067/geoeh.2021.69707.1041 Open access

The Effect of Morphometry Indices on Improving the Performance of Data Mining Models for Landslide Sensitivity Zoning in Cherikabad Watershed, Urmia

AbdulAziz Hanifinia [a*], Habib Nazarnejad [b]

[a] *PhD Candidate in Watershed Management, Department of Range and Watershed Management, Urmia University, Urmia, Iran*

[b] *Associate Professor, Department of Range and Watershed Management, Urmia University, Urmia, Iran*

Received: 7 April 2021 ***Revised: 2 July 2021*** ***Accepted: 6 August 2021***

Abstract

The purpose of this study was to evaluate the performance of two data mining models; artificial neural network and vector support machine algorithm in three modes: Using morphometric indices including topographic wetness index, topographic position index, stream power index, length slope index, terrain ruggedness index, mass balance index, profile curvature index and surface curvature index; Using environmental and human factors including rainfall, basin height, slope, slope direction, lithology, land use, normalized vegetation difference index, distance from stream, distance from road, and distance from fault; And a combination of the above two conditions in zoning the landslide sensitivity of the Cherikabad watershed in Urmia. For this purpose, 92 landslide points in the watershed were identified using field study and Google Earth images. The map of morphometric indices and maps of environmental and human factors were prepared and digitized in ArcGIS10.5. The evaluation results of the two models using the ROC curve showed that in the case of using only morphometric indices, the two models SVM and ANN with the area under the curve of 0.742 and 0.763, respectively, have good performance in landslide sensitivity zoning. In the case of using human and environmental factors, the above two models with an area under the curve of 0.876 and 0.929 have good and very good performance, respectively; and in the case of using both human and environmental factors along with morphometric indices, the two models with an area under the curve of 0.940 and 0.936 had almost the same performance with excellent rank in the zoning of sensitive areas. Moreover, the highest quality sum (Qs) and Density ratio (Dr) had the highest correlation between risk categories for the SVM model in the third case. The results of Kappa index in the superior state showed that lithology, LS, and basin height factors had the greatest effect on the occurrence of landslides, respectively. Therefore, the effects of natural factors in comparison with human factors, and in general, the morphometric indices are higher in the occurrence of landslides than environmental and human factors, and the basin is inherently sensitive to landslides.

Keywords: Morphometric Indices, SVM, ANN, ROC Curve, Cherikabad Watershed

*. Corresponding author:AbdulAziz Hanifinia E-mail: aziz.hanifi1372@gmail.com Tel: + 989184576419

How to cite this Article: Hanifinia, A., nazarnejad, H. (2022). The effect of morphometry indices on improving the performance of data mining models for landslide sensitivity zoning in Cherikabad watershed, Urmia. *Journal of Geography and Environmental Hazards*, 10(4), 49-71.

doi:10.22067/geoeh.2021.69707.1041

Geography and Environmental Hazards
Volume 10, Issue 4 - Number 40, Winter 2022
https://geoeh.um.ac.ir
https://dx.doi.org/10.22067/geoeh.2021.69707.1041

جغرافیا و مخاطرات محیطی، سال دهم، شمارهٔ چهلم، زمستان ۱۴۰۰ صص ٦٨-٤٧

مقاله پژوهشی

اثر شاخص‌های مورفومتری در بهبود کارایی مدل‌های داده‌کاوی به‌منظور پهنه‌بندی حساسیت زمین‌لغزش حوضه آبخیز چریک‌آباد ارومیه

عبدالعزیز حنیفی‌نیا[۱] – دانشجوی دکتری مدیریت حوزه‌های آبخیز، گروه مرتع و آبخیزداری دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران
حبیب نظرنژاد – دانشیار گروه مرتع و آبخیزداری دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱/۱۸ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/٤/۱۱ تاریخ تصویب: ۱۴۰۰/٥/۱٥

چکیده

هدف این مطالعه ارزیابی کارایی دو مدل داده‌کاوی شبکه عصبی مصنوعی و الگوریتم ماشین پشتیبان بردار در سه حالت استفاده از شاخص‌های مورفومتریک شامل شاخص خیسی توپوگرافی، شاخص موقعیت توپوگرافی، شاخص توان آبراهه، شاخص طول شیب، شاخص ناهمواری زمین، شاخص تعادل جرم، شاخص انحنای پروفیل و شاخص انحنای سطح؛ استفاده از عوامل محیطی و انسانی شامل بارندگی، ارتفاع حوضه، درجه شیب، جهت شیب، لیتولوژی، کاربری اراضی، شاخص تفاضل نرمال‌شده پوشش گیاهی (NDVI)، فاصله از آبراهه، فاصله از جاده و فاصله از گسل؛ و ترکیبی از دو حالت فوق، در پهنه‌بندی حساسیت زمین‌لغزش‌های حوضه آبخیز چریک‌آباد ارومیه است. برای این منظور با استفاده از بازدیدهای میدانی و تصاویر گوگل ارث، تعداد ۹۲ نقطه لغزشی در حوضه شناسایی شدند. نقشه شاخص‌های مورفومتریک و عوامل محیطی و انسانی در SAGA_GIS6.4 و ArcGIS10.5 تهیه و رقومی شدند. نتایج ارزیابی دو مدل با استفاده از منحنی ROC نشان داد که در حالت استفاده از شاخص‌های مورفومتریک دو مدل SVM و ANN به ترتیب با سطح زیر منحنی ۰/۷٤۲ و ۰/۷٦۳ دارای عملکرد خوب در پهنه‌بندی حساسیت زمین‌لغزش‌ها بوده‌اند. در حالت استفاده از عوامل انسانی و محیطی، دو مدل فوق به ترتیب با سطح زیر منحنی ۰/۸۷٦ و ۰/۹۲۹ دارای عملکرد خوب و خیلی خوب؛ و در حالت

۱ نویسنده مسئول: ۰۹۱۸٤٥۷٦٤۱۹ Email: aziz.hanifi1372@gmail.com

نحوه ارجاع به این مقاله :
حنیفی‌نیا, عبدالعزیز, نظرنژاد, حبیب. (۱۴۰۰). اثر شاخص‌های مورفومتری در بهبود کارایی مدل‌های داده‌کاوی به‌منظور پهنه‌بندی حساسیت زمین‌لغزش حوضه آبخیز چریک‌آباد ارومیه. جغرافیا و مخاطرات محیطی, ۱۰(٤), صص ٦٨-٤٧
https://dx.doi.org/10.22067/geoeh.2021.69707.1041

استفاده از هر دو عوامل انسانی و محیطی به همراه شاخص‌های مورفومتریک، دو مدل با سطح زیر منحنی ۰/۹۴۰ و ۰/۹۳۶ دارای عملکرد تقریباً یکسان با رتبه عالی در پهنه‌بندی مناطق حساس بوده‌اند. بالاترین مقدار مجموع کیفیت (Qs) و نسبت تراکمی (Dr) بیشترین همبستگی بین رده‌های خطر برای مدل SVM در حالت سوم بوده است. نتایج حاصل از شاخص کاپا در حالت برتر نشان داد که به ترتیب عوامل لیتولوژی، LS و ارتفاع حوضه بیشترین تأثیر را بر وقوع زمین‌لغزش‌ها داشته‌اند؛ بنابراین تأثیر عوامل طبیعی نسبت به عوامل انسانی و در حالت کلی شاخص‌های مورفومتری در مقایسه با عوامل محیطی و انسانی در وقوع لغزش‌ها بیشتر بوده و حوضه ذاتاً حساس به وقوع لغزش است.

کلیدواژه‌ها: شاخص‌های مورفومتریک، SVM، ANN، منحنی ROC، حوضه آبخیز چریک‌آباد

۱-مقدمه

وقوع زمین‌لغزش به‌عنوان یکی از مخاطرات طبیعی می‌تواند متأثر از توپوگرافی و شکل سطح زمین باشد. مشخصات فرم دامنه‌ها، فرایندهای تغییردهنده و ویژگی شکل دامنه‌های مستعد زمین‌لغزش توسط پارامترهای ژئومورفومتریک به‌صورت کمّی قابل بیان است (احمدآبادی و رحمتی، ۱۳۹٤). طبقه‌بندی نواحی مستعد (سارکار و همکاران[۱]، ۱۹۹۵) و ارزیابی حساسیت زمین‌لغزش یک رویکرد معتبر و راه‌حل اولیه برای کاهش و به حداقل رساندن خسارات ناشی از زمین‌لغزش است (فل و همکاران[۲]، ۲۰۰۸). رخداد زمین‌لغزش‌ها به‌عنوان یکی از شایع ترین خطرات طبیعی مخرب در جهان سالانه خسارت گسترده‌ای به جان و مال مردم، منابع‌طبیعی، تأسیسات حساس و زیرساخت‌ها وارد می‌کنند؛ به‌طوری‌که بر اساس گزارش مرکز پایگاه حوادث اضطراری[۳]، زمین‌لغزش‌ها باعث خسارت جانی و کشته شدن ٦٦٤۳۸ نفر و خسارت اقتصادی با ارزش تقریباً ۱۰/۸ میلیارد دلاری از ۱۹۰۰ تا ۲۰۲۰ شده است (گوها-ساپیر و همکاران[٤]، ۲۰۲۰). دارا بودن توپوگرافی کوهستانی، فعالیت دوره‌های زمین‌ساختی و توان لرزه‌خیزی بالا، تنوع اقلیمی، افزایش جمعیت و فعالیت‌های انسانی در دهه‌های اخیر، شرایط طبیعی برای بروز طیف گسترده‌ای از خطرات طبیعی ازجمله زمین‌لغزش‌ها را در ایران فراهم کرده است. شناخت عوامل ایجادکننده ناپایداری‌های دامنه‌ای و بررسی شرایط پایداری دامنه‌های مشرف به سکونتگاه‌ها حائز اهمیت بسیار زیادی است. بی-توجهی به این موضوع می‌تواند علاوه بر تحمیل هزینه‌های سنگین، باعث ایجاد خسارت‌های جبران‌ناپذیری بر جان و مال مردم شود. همچنین شناسایی عوامل پدیدآورنده زمین‌لغزش امری پیچیده بوده و نیازمند شناخت دقیق از تکامل ژئومورفولوژیکی منطقه است که از طریق مدل‌های پیش‌بینی کننده میزان حساسیت زمین‌لغزش مورد تجزیه‌وتحلیل قرار می‌گیرند. این عوامل معمولاً شامل عوامل توپوگرافی، زمین‌شناسی، هیدرولوژیکی یا محیطی و

1 Sarkar
2 Fell
3 Emergency Events Database (EM-DAT)
4 Guha-Sapir

انسانی هستند (گوزتی و همکاران[1]، ۲۰۱۲). کوهستانی بودن، تنوع متغیرهای محیطی مؤثر، مهیا بودن شرایط اقلیمی، لیتولوژیکی، پوشش گیاهی، تکتونیکی و عوامل انسانی در حوضه آبخیز چریک‌آباد امکان وقوع زمین‌لغزش‌ها در این حوضه را چند برابر کرده است. پتانسیل سیل‌خیزی این حوضه بالا بوده به‌طوری‌که با بارندگی‌های بهاری سیل به‌وقوع می‌پیوندد. درصورتی‌که وقوع سیل همراه با رخداد زمین‌لغزش‌های کنار رودخانه‌ای باشد، خسارات ناشی از سیل چند برابر خواهد شد، همانند سیل بهار سال ۱۳۹٦ و ۱٤۰۰ در این حوضه که خسارات زیادی را به دامداران و کشاورزان اطراف رودخانه وارد کرد. تاکنون تکنیک‌ها و مدل‌های متعددی برای مدل‌سازی حساسیت زمین‌لغزش‌ها استفاده شدند که یکی از آن‌ها استفاده از مدل‌های داده‌کاوی است. این مدل‌ها به لحاظ به‌کارگیری مدل‌های تخمین توزیع با داشتن خصوصیت داده محور و تکرار زیاد فرایند مدل‌سازی، توانایی زیادی در شناسایی رفتار وقوع پدیده زمین‌لغزش را دارند و می‌توانند ارزیابی و پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش‌ها را برحسب عوامل تأثیرگذار در وقوع آن‌ها انجام دهند (میرزانیا و شهابی، ۱۳۹۸). مدل‌های پیشرفته داده‌کاوی در پژوهش‌های متعددی برتری نسبی خود بر مدل‌های آماری دومتغیره و چندمتغیره را به اثبات رسانده‌اند. در تجزیه‌وتحلیل روش‌های آماری دو متغیره از رابطه بین دو متغیر استفاده می‌شود که در ارتباط دادن آزمایش فرضیه‌های ساده می‌تواند کمک کند؛ درحالی‌که زمین‌لغزش-ها حرکات یکپارچه، چندبعدی و پیچیده‌ای هستند و به‌طورکلی پدیده‌های مرتبط با علوم زمین به‌طور ذاتی چند متغیره هستند. تجزیه‌وتحلیل همزمان عوامل مؤثر بر وقوع لغزش‌ها و تعیین پارامترهایی که نقش بالایی در ناپایداری دارند با استفاده از آنالیزهای چند متغیره (حقیقت[2] و همکاران، ۲۰۱٦) همانند دو مدل شبکه عصبی مصنوعی و الگوریتم ماشین پشتیبان بردار بهتر امکان‌پذیر است. این روش‌ها رابطه یک متغیر وابسته (زمین‌لغزش) و مجموعه‌ای از متغیرهای مستقل (شیب، وجه شیب، زمین‌شناسی، ارتفاع، کاربری اراضی، فاصله از جاده و رودخانه و...) را به‌طور همزمان مورد تجزیه‌وتحلیل قرار می‌دهد. از بین مدل‌های داده‌کاوی دو مدل الگوریتم پشتیبان بردار[3] و شبکه عصبی مصنوعی[4] در تحقیقات پهنه‌بندی حساسیت زمین‌لغزش‌ها از اهمیت بالایی برخوردارند که ازجمله این پژوهش‌ها می‌توان به استفاده از مدل الگوریتم ماشین پشتیبان بردار توسط (تیئن بوی و همکاران[5]، ۲۰۱٤؛ هانگ و همکاران[6]، ۲۰۱٦؛ رودپشتی و همکاران[7]، ۲۰۱۷؛ وخشوری و همکاران[8]، ۲۰۱۹)؛ استفاده از مدل شبکه عصبی مصنوعی توسط (آرنون و همکاران[9]، ۲۰۱٤؛ آدیتیان و همکاران[10]، ۲۰۱۸؛ براگاگنولو و همکاران[1]، ۲۰۲۰) و ترکیب دو مدل شبکه

---

1 Guzzetti
2 Haghighat
3 Support vector machine
4 Artificial Neural Networks
5 Tien Bui
6 Hong
7 Roodposhti
8 Vakhshoori
9 Arnone
10 Aditian

عصبی مصنوعی و ماشین پشتیبان بردار توسط (چن و همکاران[2]، ۲۰۱۷؛ یو و چن[3]، ۲۰۲۰؛ فنگ و همکاران[4]، ۲۰۲۰) اشاره کرد. امروزه در اغلب پژوهش‌ها به‌منظور سنجش میزان دقت یک مدل از شاخص‌های ارزیابی دقت مدل‌ها استفاده می‌شود. مهم‌ترین این شاخص‌ها در بحث پهنه‌بندی زمین‌لغزش‌ها عبارت‌اند از: منحنی تشخیص عملکرد نسبی سیستم[5] (ROC) (حنیفی‌نیا و همکاران، ۱۳۹۸؛ میرزانیا و شهابی، ۱۳۹۸؛ حنیفی‌نیا و همکاران، ۱۳۹۹؛ لوکچز و همکاران[6]، ۲۰۲۱)، شاخص SCAI[7] (کرمی و همکاران، ۱۳۹۸؛ ژی[8] و همکاران، ۲۰۲۱)، نسبت تراکم[9](Dr) (شیرانی و سیف، ۱۳۹۰؛ هوآنگ و همکاران[10]، ۲۰۲۰)، شاخص مجموع کیفیت[11](Qs) (نوجوان و همکاران، ۱۳۹۸؛ عبادی و همکاران، ۱۳۹۸؛ رابی و همکاران[12]، ۲۰۲۰) و شاخص دقت P[13] (شیرانی و سیف، ۱۳۹۰؛ عبادی و همکاران، ۱۳۹۸). هدف اصلی پژوهش حاضر، بررسی تأثیر شاخص‌های مورفومتری بر بهبود کارایی مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی و مدل الگوریتم پشتیبان بردار در پهنه‌بندی حساسیت زمین‌لغزش‌های به وقوع پیوسته در حوضه موردمطالعه است. در کنار آن، اهداف فرعی ازجمله بررسی تأثیرگذارترین عوامل مؤثر در وقوع زمین‌لغزش‌ها از طریق ترسیم شاخص کاپا؛ و همچنین به‌منظور افزایش دقت نتایج به‌دست آمده، ارزیابی کارایی دو مدل فوق از طریق بررسی نسبت سطح تراکم و شاخص مجموع کیفیت نیز مد نظر است.

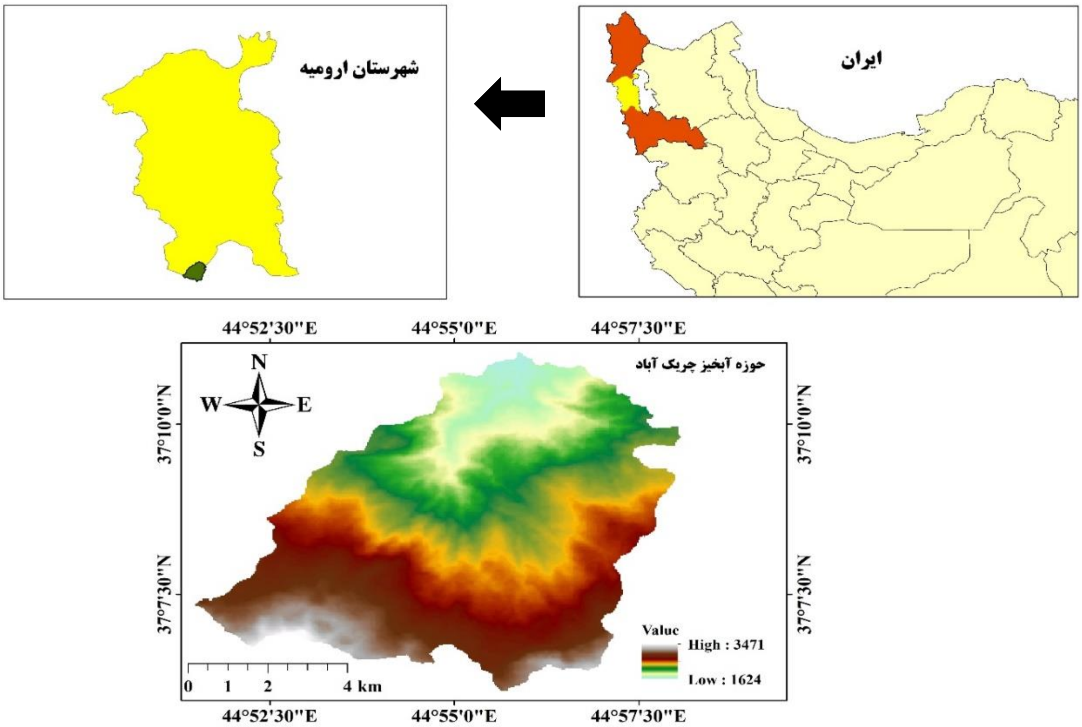
۲-مواد و روش‌ها

۲-۱- معرفی منطقه موردمطالعه

حوضه آبخیز چریک‌آباد در استان آذربایجان غربی، جنوب غربی شهرستان ارومیه و در بخش سیلوانه قرار دارد یکی از زیرحوضه‌های فرعی دریاچه ارومیه به‌شمار می‌رود. رودخانه خروجی از این حوضه به رودخانه باراندوزچای که یکی از منابع مهم تغذیه دریاچه ارومیه است، می‌پیوندد. این حوضه با مساحتی بالغ بر ۵۱۸۰ هکتار دارای ارتفاع میانه ۲۴۲۳ متر، حداقل ارتفاع ۱۶۲۴ متر، حداکثر ارتفاع ۳۴۷۱ متر و شیب متوسط ۱۸ درجه است. متوسط بارندگی سالیانه بر اساس آمار ایستگاه‌های مجاور حوضه برابر با ۵۳۳ میلی‌متر برآورد شده است. با توجه به

1 Bragagnolo
2 Chen
3 Yu & Chen
4 Fang
5 Receiver Operating Characteristic
6 Lucchese
7 Seed Cell Area Index
8 Xie
9 Density Ratio
10 Huang
11 Quality Summation
12 Rabby
13 Precision

کوهستانی بودن بخش اعظمی از حوضه مطالعاتی، کاربری غالب منطقه مرتع بوده و بخش‌های شمالی حوضه که نزدیک به روستا و دارای زمین‌های مسطح و هموارتر نسبت به سایر بخش‌های دیگر حوضه است، دارای کاربری کشاورزی است. از نظر زمین‌شناسی، حوضه موردمطالعه در زون سنندج ـ سیرجان قرارگرفته است (شکل ۱).



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه موردمطالعه

۲-۲- جمع‌آوری داده‌ها و آماده‌سازی لایه‌های عوامل مؤثر بر وقوع زمین‌لغزش

ابتدا موقعیت زمین‌لغزش‌های رخ‌داده در حوضه با بازدیدهای میدانی گسترده و برداشت پلیگونی با استفاده از دستگاه جی‌پی‌اس (GPS) ثبت و از تصاویر گوگل ارث (برای ثبت نقاطی که به‌علت توپوگرافی پرشیب منطقه دسترسی به آنان دشوار بود) استفاده و در مجموع تعداد ۹۲ زمین‌لغزش در منطقه شناسایی شدند.

شکل ۲- برخی از زمین‌لغزش‌های رخداده در حوضه آبخیز چریک‌آباد

با مرور منابع داخلی و خارجی و همچنین توجه به عوامل تأثیرگذار در هر زمین‌لغزش و یادداشت آن در حین ثبت نقاط، لایه‌های ارتفاع حوضه، بارش، جهت شیب، درجه شیب، فاصله از آبراهه، فاصله از جاده، فاصله از گسل، سنگ‌شناسی، کاربری اراضی و شاخص پوشش گیاهی تفاضلی نرمال شده[1](NDVI) به‌عنوان ۱۰ عامل محیطی و انسانی مؤثّر بر وقوع زمین‌لغزش‌ها در نظر گرفته شدند. نقشه مدل رقومی ارتفاع با قدرت تفکیک (۱۲/۵×۱۲/۵) متر از سایت دانشگاه آلاسکا دریافت و محدوده حوضه استخراج شد. موقعیت جاده‌ها و آبراهه‌ها مشخص و برای تهیه لایه‌های فاصله از آبراهه، فاصله از جاده، درجه شیب و جهت شیب از نرم‌افزار ArcGIS10.5 استفاده شد. نقشه کاربری اراضی از اداره کل منابع‌طبیعی استان آذربایجان‌غربی تهیه و با استفاده از تصاویر گوگل‌ارث اصلاح شد. نقشه شاخص (NDVI) با استفاده از تصاویر ماهواره Sentinel-2 و رابطه زیر محاسبه و تهیه شد (رابطه ۱).

$$\boldsymbol{NDVI = \frac{IR-R}{IR+R}} \qquad \text{(۱) رابطه}$$

IR باند مادون‌قرمز نزدیک (باند هشت)، R باند مادون‌قرمز (باند چهار)

1 Normalized Difference Vegetation Index

از نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ سیلوانا جهت تهیه لایه‌های گسل و سنگ‌شناسی استفاده شد. با توجه به وجود فقط یک ایستگاه هواشناسی در محدوده موردمطالعه از آمار بارندگی ۱۲ ایستگاه باران‌سنجی اطراف حوضه آبخیز چریک‌آباد با دوره آماری مشترک (۱۳۹۴-۱۳۶۹) برای تهیه نقشه بارش محدوده موردمطالعه استفاده شد.

همچنین از ۸ شاخص مورفومتریک مؤثر بر رخداد زمین‌لغزش‌ها استفاده شد که مشخصات و توضیحات و روش انجام محاسبات آنان در جدول (۱) درج شده است. برای تهیه این شاخص‌ها از مدل رقومی ارتفاعی با پیکسل سایز (۱۲/۵×۱۲/۵) متر استفاده شد.

جدول ۱- مشخصات و روابط شاخص‌های مورفومتری

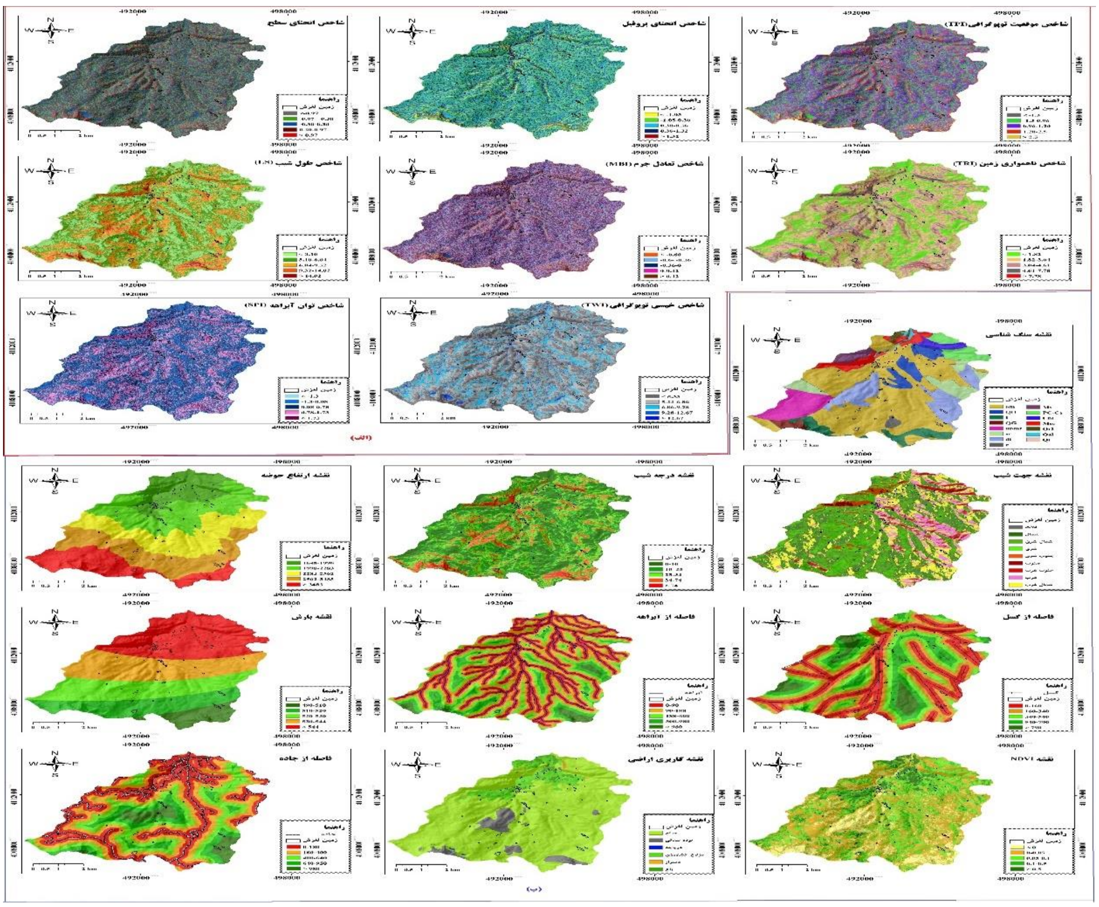
شماره	شاخص	توضیحات	فرمول	محل انجام محاسبات
۱	TWI[1]	بیان کننده میزان رطوبت خاک، تعیین اندازه منطقه اشباع و نشان‌دهنده اثر پستی‌وبلندی بر ایجاد رطوبت است. بین افزایش مقدار این شاخص با رخداد زمین‌لغزش‌ها رابطه مستقیم وجود دارد (اوکاکگولا[2] و همکاران، ۲۰۰۲)	$TWI = Ln(A_s/\tan(\beta))$	SAGAGIS
۲	TPI[3]	این شاخص ارتفاع هر سلول را نسبت به ارتفاع میانگین سلول‌های مجاور در یک پهنه مشخص مقایسه می‌نماید. وجود مناطق دارای TPI کم (گودی‌ها و چاله‌ها) یک عامل مؤثر بر افزایش زمان تأخیر جریان‌های سطحی، افزایش نفوذ و درنهایت بر روی ذخیره نزولات و رواناب سطحی اثر زیادی دارد (عرب‌عامری و همکاران، ۱۳۹۷).	$TPI = Z_0 - \sum_{n-1} Z_{n/n}$	SAGAGIS
۳	SPI[4]	منعکس کننده نیمرخ عرضی و نیمرخ طولی آبراهه با نشان دادن نسبت بین مساحت یک نقطه و شیب زمین در بالادست است. می‌تواند بیانگر نقاط تجمع و رسوبگذاری در حوضه آبخیز باشد (شهابی و همکاران، ۲۰۱٤).	$SPI = A_s \, ز \tan(\beta)$	ArcGIS
٤	LS[5]	برگرفته از مدل جهانی فرسایش خاک است که در بین لایه‌های ورودی ترکیب طول و زاویه	$LS = \left(\frac{A_s}{22.1}\right)^{0.6} \times (\frac{sin}{0.0896})\text{^}1/3$	SAGAGIS

1 Topographic Wetness Index
2 Ocakoglu
3 Topographic Position Index
4 Stream Power Index
5 Length slope index

محل انجام محاسبات	فرمول	توضیحات	شاخص	شماره
		شیب بیشترین اثر را بر لایه‌های خاک دارد. این فاکتور اثر فاکتورهای توپوگرافی در فرسایش خاک را توصیف می‌کند. هرچه عدد حاصل بزرگ‌تر باشد نشان از افزایش مقدار پستی‌وبلندی در حوضه آبخیز خواهد بود (مور و همکاران[1]، ۱۹۹۱)		
SAGAGIS	$TRI = \sqrt{\sum_{P=1}^{8} ZMd}$	اختلاف ارتفاع یک پیکسل با هشت پیکسل همسایه خود است. برای این کار ارتفاع هر پیکسل از پیکسل‌های اطراف خود کم شده و برای مثبت کردن این اعداد آن‌ها را به توان دوم رسانده، از آن‌ها میانگین گرفته و دوباره ریشه دوم آن حساب می‌شود و به پیکسل مورد نظر نسبت داده می‌شود. این شاخص بیانگر تغییر در سطح پستی‌وبلندی در حوضه آبخیز است (صمدی و همکاران، ۱۳۹۵).	TRI[2]	٥
SAGAGIS	$MBI = \begin{cases} f(TC) \times (1 - f(VDN)) for\ (TC) < 0 \\ f(TC) \times (1 + f(S)) \times (1 + f(VDN)) for (TC) > 0 \end{cases}$	شاخص تعادل جرم تخریب و ازهم پاشیدگی خاک از پیش‌نیازهای توپوگرافی را نشان می‌دهد. شاخص‌های منفی مناطق دارای گودشدگی یا دشت‌های سیلاب و مقادیر مثبت مناطق با خطر فرسایش بالا را نشان می‌دهد. مقادیر نزدیک به صفر مناطقی را نشان می‌دهد که تعادل در آنان و تجمع ژئومس افزایش یافته است (مولر[4] و همکاران، ۲۰۰۸)	MBI[3]	6
ArcGIS	$Plan.Cu = -\frac{q^2 \times r - 2 \times p \times q \times s + p^2 \times t}{(\sqrt{1+p^2} + q^2)^3}$	انحنای سطح فرایند فرسایش شیب به شکل همگرایی و واگرایی آب در طول جریان سراشیبی است. این شاخص دارای مقادیر مثبت و منفی است که مقادیر مثبت انحنای سطح، تحدب را تعریف می‌کند. مقادیر منفی انحنای نقشه تقارن انحنای شیب را توصیف می‌کند. مقادیر انحنای پلان در حدود صفر نشان	Plan Cu[5]	7

1 Moore
2 Terrain Ruggedness Index
3 Mass Balance Index
4 Möller
5 Plan Curvature

شماره	شاخص	توضیحات	فرمول	محل انجام محاسبات
		می‌دهد که سطح صاف است (عرب‌عامری و همکاران، ۱۳۹۷)		
8	Profile Cu[1]	انحنای مقطع معرف میزان اندازه در طول مسیر جریان است و مقادیر آن با افزایش سطح مقطع افزایش پیدا می‌کند. بر اساس این شاخص فرسایش در مقادیر منفی و رسوب‌گذاری در مقادیر مثبت انجام می‌گیرد. همچنین این شاخص بیان‌کننده ژئومورفولوژی منطقه و سرعت حرکت توده‌ها به سمت پایین شیب نیز است (عرب‌عامری و همکاران، ۱۳۹۷).	$\text{Profile}.Cu = -\frac{q^2 \times r + 2 \times p \times q \times r \times s + q^2 \times t}{(p^2+q^2) \times (\sqrt{1+p^2} + q^2)\text{^}3}$	ArcGIS



شکل ۳- نقشه عوامل مؤثر بر زمین‌لغزش الف: شاخص‌های مورفومتریک ب: عوامل محیطی و انسانی

1 Profile Curvature

۲-۳- معرفی مدل‌های داده‌کاوی مورداستفاده

الف: مدل شبکه عصبی مصنوعی

شبکه عصبی مصنوعی یک روش محاسباتی برای یادگیری ماشینی، نمایش و اعمال دانش به‌دست آمده در جهت پیش‌بینی پاسخ‌های خروجی در سامانه داده‌های چند متغیره است (کارارا[1] و همکاران، ۲۰۰۸). گره‌هایی که در این مدل تشکیل می‌شوند در سه لایه ورودی، پنهان یا پردازشگر و خروجی قابل تنظیم می‌باشند. لایه ورودی الگوی وابستگی خود را به یک یا چند گره پنهان ارائه می‌دهد و گره‌های پنهان الگوی دریافتی از گره‌های ورودی را از طریق اتصالات وزنی پردازش می‌کنند. گره‌های خروجی در طرف مقابل شبکه، چگونگی واکنش شبکه به اطلاعات آموخته شده را بررسی می‌کنند (پراساد و همکاران[2]، ۲۰۱۲).

مزیت شبکه عصبی غیرخطی بودن آن است که به آن قابلیت مدل‌سازی الگوهای پیچیده را می‌دهد (لی و مین[3]، ۲۰۰۱). همچنین ویژگی مهم دیگر شبکه عصبی توانایی یادگیری از الگوهای آموزشی است در فرآیند آموزش وزن ارتباطی بین نرون‌های مختلف تعدیل می‌شوند که این مسئله می‌تواند توسط برخی الگوریتم‌های آموزشی مبتنی بر آموزش پس از انتشار صورت گیرد (کاوزاوغلو[4] و همکاران، ۲۰۱۵). در شبکه‌های عصبی اصل یادگیری با تکرار یا همان (iteration) انجام می‌شود؛ یعنی چندین مرتبه داده‌های یک مجموعه داده به الگوریتم تزریق می‌شود و این الگوریتم با کم و زیاد کردن وزن‌ها و انحراف‌ها، می‌تواند تفاوت‌ها را در داده‌های آموزشی تشخیص دهد (کاما[5] و همکاران، ۲۰۱٦).

یکی از روش‌های بسیار پرکاربرد برای تکرار در شبکه‌های عصبی روش پس انتشار خطا است. در شبکه‌های پس انتشار خطا خروجی با یک نتیجه دلخواهی که ایجاد شده مقایسه می‌شود و خطاهای ایجاد شده در لایه‌های قبلی در شبکه عصبی با بهینه‌سازی شبکه‌های اتصال مشخص می‌شوند (اشمیت هوبر[6]، ۲۰۱۵). این فرآیند تا زمانی که یک نرخ اشتباه قابل قبول به‌دست آید، تکرار خواهد شد. به‌منظور پیش‌بینی و طبقه‌بندی مسائل، شبکه‌های عصبی پس انتشار خطا، از انواع روش‌های خوب تلقی می‌شوند (کیرکوس و مانولوپولاس[7]، ۲۰۰٤). در این پژوهش از روش پس از انتشار خطای شبکه عصبی مصنوعی با استفاده از نرم‌افزار ModEco جهت پهنه‌بندی حساسیت زمین-لغزش‌ها در سه حالت استفاده شد.

1 Carrara
2 Prasad
3 Lee & Min
4 Kavzoglu
5 Cama
6 Schmidhuber
7 Kirkos & Manolopoulos

ب: مدل الگوریتم ماشین پشتیبان بردار

الگوریتم ماشین پشتیان بردار، سیستم طبقه‌بندی برگرفته از نظریه یادگیری آماری است. کلاس‌های با سطح تصمیم‌گیری را با حداکثر حاشیه بین کلاس‌ها جدا می‌سازد. این سطح اغلب ابر صفحه بهینه و نزدیک‌ترین نقطه‌های داده به این ابر صفحه، "بردارهای پشتیبان" نامیده می‌شوند (بن‌هور[1] و همکاران، ۲۰۰۱).

مدل الگوریتم ماشین پشتیان بردار را می‌توان با طبقه‌بندی غیرخطی از طریق استفاده از کرنل‌های غیرخطی وفق داد. تا زمانی که مدل الگوریتم ماشین پشتیان بردار طبقه‌بندی کننده باینری در ساده‌ترین شکل است، می‌تواند تابعی به‌عنوان یک طبقه‌بندی‌کننده چند کلاسی به‌وسیله ترکیب چند طبقه‌بندی‌کننده مدل الگوریتم ماشین پشتیان بردار باینری باشد (پرس[2] و همکاران، ۲۰۰۷). خروجی طبقه‌بندی مدل الگوریتم ماشین پشتیان‌بردار ارزش‌های تصمیم هر پیکسل برای هر کلاس است که برای تخمین احتمال صحیح در صحنه‌ای که هر احتمال در رنج صفر تا یک اتفاق می‌افتد و مجموع ارزش‌ها برای هر پیکسل برابر یک است (سیئه[3] و همکاران، ۲۰۰۸).

مدل الگوریتم ماشین پشتیان بردار شامل یک پارامتر جریمه است که درجه قطعی طبقه‌بندی نادرست را ارائه می‌دهد به‌طوری‌که مخصوصاً برای مجموعه‌های تعلیمی غیرقابل‌تفکیک مهم است. پارامتر جریمه، سبک و سنگین کردن بین خطاهای تعلیمی و حواشی سفت و محکم را کنترل می‌کند (شال‌شوارتز[4] و همکاران، ۲۰۱۱). این مدل یکی از روش‌های نسبتاً جدیدی است که در سال‌های اخیر کارایی خوبی نسبت به روش‌های قدیمی‌تر برای طبقه‌بندی نشان داده است. مبنای کار مدل، دسته‌بندی خطی داده‌ها است و در تقسیم خطی داده‌ها سعی می‌شود خطی انتخاب گردد که حاشیه اطمینان بیشتری داشته باشد. حل معادله به‌وسیله پیدا کردن خط بهینه برای داده‌ها که از روش‌های شناخته شده در حل مسائل محدودیت‌دار هستند، صورت می‌گیرد (مایر[5] و همکاران، ۲۰۱۱).

برای این حل مسائل با ابعاد خیلی بالا با استفاده از این روش‌ها، از قضیه دوگانی لاگرانژ برای تبدیلِ مسئله حداقل‌سازی مورد نظر به فرم دوگانی آن استفاده می‌شود. در این روش می‌توان از توابع هسته مختلفی ازجمله هسته‌های نمایی، چندجمله‌ای و سیگموید استفاده نمود (مرجانویچ[6] و همکاران، ۲۰۱۱؛ بوزر[7] و همکاران، ۱۹۹۲). در این پژوهش از نرم‌افزار ModEco جهت پهنه‌بندی حساسیت زمین‌لغزش‌ها برای روش الگوریتم ماشین پشتیبان بردار در سه حالت استفاده شد.

---

1 Ben-Hur
2 Press
3 Hsieh
4 Shalev-Shwartz
5 Meyer
6 Marjanović
7 Boser

۲-٤- اعتبارسنجی مدل‌ها

به‌منظور اعتبارسنجی از تعداد کل لغزش‌های ثبت شده، حدود ۷۰ درصد از این داده‌ها به‌عنوان داده‌های آموزشی و ۳۰ درصد آن‌ها جهت اعتبارسنجی مدل‌ها استفاده شدند (تیئن بوی و همکاران، ۲۰۱۲.) دقت مدل‌ها و مقایسه آنان در تهیه نقشه‌های حساسیت به وقوع زمین‌لغزش‌های تهیه شده با استفاده از منحنی تشخیص عملکرد نسبی (ROC)، روش مجموع کیفیت (Qs) و به‌منظور مقایسه بین پهنه‌های خطر یا به‌عبارت‌دیگر دقت تفکیک بین پهنه‌ها یا رده‌های خطر در هر روش از شاخص نسبت تراکم استفاده گردید.

الف: منحنی تشخیص عملکرد نسبی (ROC)

منحنی تشخیص عملکرد نسبی سیستم نموداری است که در آن نسبت پیکسل‌هایی که به‌اشتباه توسط مدل به‌عنوان زمین‌لغزش شناسایی شده‌اند و در واقعیت فاقد زمین‌لغزش بوده‌اند روی محور افقی (مثبت غلط یا Specificity) و در برابر مقدار مکمل آن یعنی نسبت پیکسل‌هایی که به‌درستی توسط مدل تحت عنوان دارای زمین-لغزش شناسایی شده‌اند (مثبت درست یا Sensitivity) روی محور عمودی ترسیم می‌گردد. مساحت زیر این منحنی AUC نام داشته و AUC برابر با ۰/۵ معادل مدل خطی (نتایج ناشی از شانس) بوده و هرچه این مقدار به یک نزدیک‌تر شود کارایی مدل افزایش می‌یابد (پانتیوس و اشنایدر[1]،۲۰۰۱).

ب: درستی یا مجموع کیفیت (Qs)

برای محاسبه مجموع کیفیت ابتدا باید مقدار نسبت تراکم بر اساس رابطه زیر به دست آورد:

$$D_r = (\frac{S_i}{A_i})/(\frac{\sum_1^n S_i}{\sum_1^n A_i})$$

که در آن Si: مجموع مساحت زمین‌لغزش‌های واقع در هر رده خطر، Ai: مساحت iامین رده خطر در یک نقشه پهنه‌بندی و n: تعداد رده‌های خطر است. هرچه تفکیک بین رده‌های خطر توسط شاخص نسبت تراکم بهتر صورت گرفته باشد، روش از دقت بالاتری برخوردار است. مقدار مجموع کیفیت (Qs) نشان‌دهنده درستی یا مطلوبیت عملکرد روش در پیش‌بینی خطر لغزش زمین در منطقه است. مقادیر آن بین صفر تا ۷ است. اگرچه از نظر تئوری، حدی برای آن وجود ندارد. در ارزیابی روش‌ها هر چه مقدار مجموع کیفیت بیشتر باشد، روش از درستی و مطلوبیت بیشتری در تفکیک برخوردار است. مقدار مجموعه کیفیت از (جی[2]،۱۹۹۱) به‌دست می‌آید. رابطه (۳)

$$Q_s = \sum_{i=1}^{n}((D_r - 1)^2 \times S) \quad \text{(۳)}$$

Qs: مجموع کیفیت، Dr: نسبت تراکم، S: نسبت مساحت هر رده خطر نسبت به مساحت کل منطقه، n: تعداد کلاس خطر.

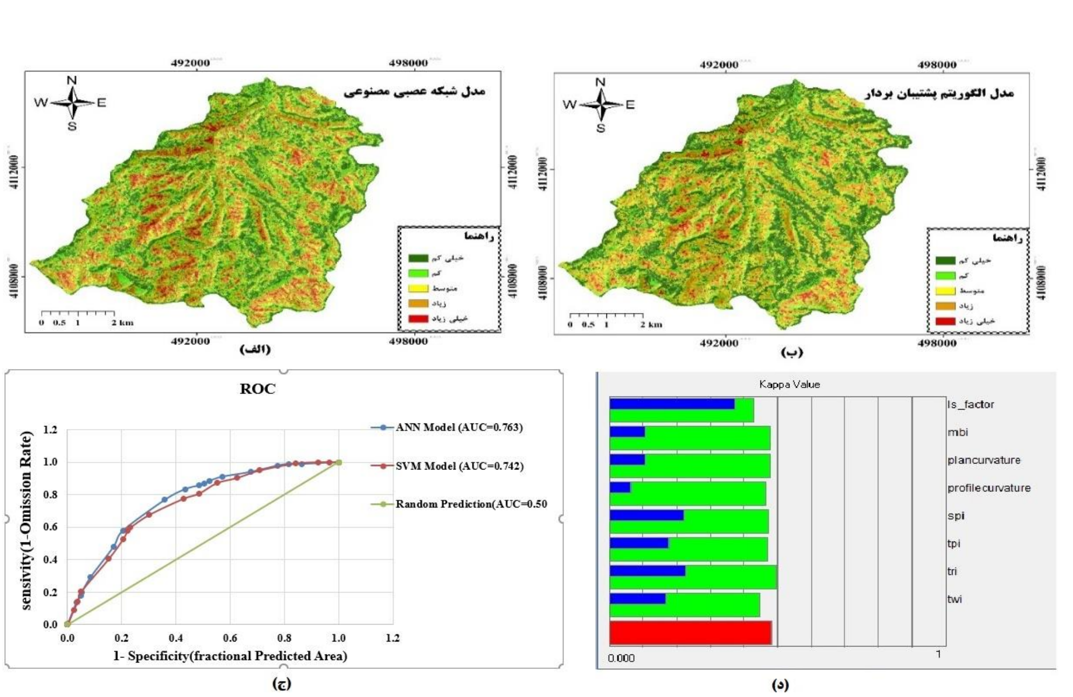
1 Pontius & Schneider
2 Gee

۳- نتایج

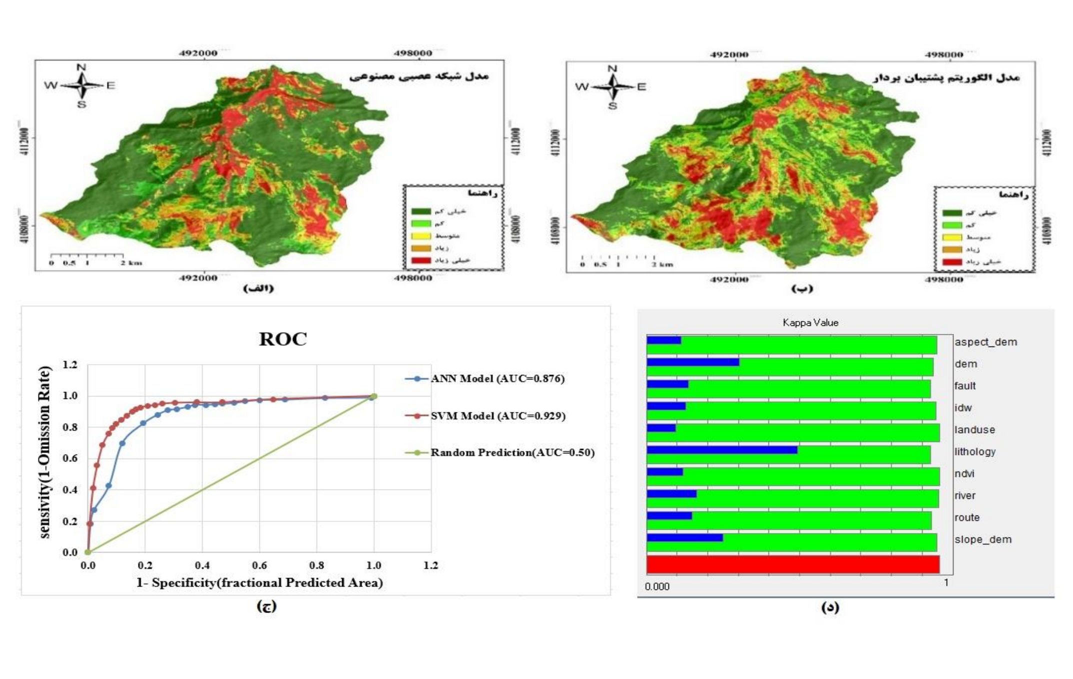
در این پژوهش در حالت کلی ۱۸ عامل مؤثر بر وقوع زمین‌لغزش به‌عنوان لایه‌های ورودی در مدل‌های الگوریتم پشتیبان بردار و شبکه عصبی مصنوعی در سه حالت استفاده از شاخص‌های مورفومتریک؛ استفاده از عوامل محیطی و انسانی؛ و استفاده از ترکیب این دو حالت با هدف صحت‌سنجی میزان کارایی این مدل‌ها در ارزیابی نقشه‌های پهنه‌بندی حساسیت زمین‌لغزش در محدوده موردمطالعه با استفاده از نرم‌افزار ModEco و ArcGIS بررسی شدند.

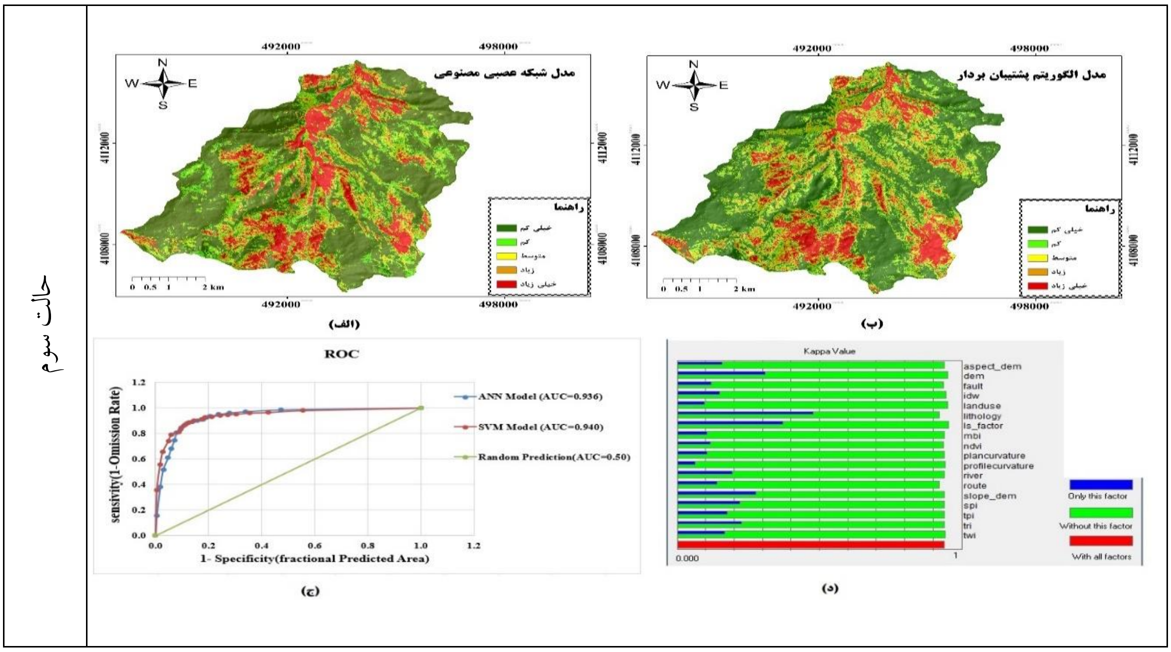
نتایج حاصل از ارزیابی دو مدل در حالتی که فقط از شاخص‌های مورفومتریک استفاده شد (حالت اول)، نشان داد که هر دو مدل دارای عملکرد خوب در پهنه‌بندی حساسیت زمین‌لغزش بوده‌اند. در این حالت، مدل شبکه عصبی مصنوعی نسبت به الگوریتم ماشین پشتیبان بردار دارای عملکرد بهتری بوده است. بر اساس شاخص کاپا، فاکتور LS، شاخص TRI و شاخص SPI بیشترین پتانسیل را در وقوع زمین‌لغزش‌های حوضه داشته‌اند. برای حالتی که فقط از عوامل محیطی و انسانی استفاده شد (حالت دوم)، مدل شبکه عصبی مصنوعی دارای عملکرد خوب و مدل الگوریتم ماشین پشتیبان دارای عملکرد خیلی‌خوب در پهنه‌بندی حساسیت زمین‌لغزش بوده‌اند. در این حالت بر خلاف حالت اول مدل الگوریتم ماشین پشتیبان بردار نسبت به مدل شبکه عصبی مصنوعی برتری داشت. بر اساس شاخص کاپا، لیتولوژی، ارتفاع و درجه شیب بیشترین پتانسیل را در وقوع زمین‌لغزش‌های حوضه داشته‌اند. برای حالتی که از ترکیب شاخص‌های مورفومتریک و عوامل محیطی و انسانی استفاده شد (حالت سوم)، هر دو مدل دارای عملکرد خیلی‌خوب در پهنه‌بندی حساسیت زمین‌لغزش بوده‌اند. در این حالت نیز همانند حالت دوم مدل الگوریتم ماشین پشتیبان‌بردار نسبت به مدل شبکه عصبی مصنوعی برتری داشت. بر اساس شاخص کاپا به ترتیب سنگ‌شناسی، LS، ارتفاع و شیب منطقه بیشترین پتانسیل را در وقوع زمین‌لغزش‌های حوضه داشته‌اند.

حالت اول



حالت دوم





شکل ٤- نقشه‌های پهنه‌بندی حساسیت زمین‌لغزش و منحنی ROC بری دو مدل ANN و SVM به همراه شاخص کاپا برای مدل برتر در سه حالت ارزیابی

- ارزیابی مدل‌ها با استفاده از روش‌های نسبت تراکمی و مجموع کیفیت

با هدف افزایش دقت در ارزیابی نتایج مدل‌ها در پهنه‌بندی حساسیت زمین‌لغزش با استفاده از دو شاخص ارزیابی نسبت تراکم و مجموع کیفیت نیز صحت سنجی شد که نتایج حاصل از روش مجموع کیفیت برای مدل SVM و ANN در حالت استفاده همزمان از هر دو عامل شاخص‌های مورفومتریک و عوامل محیطی و انسانی (حالت سوم) با مقادیر ۱٫۷۸ و ۱٫٤۳ و نتایج حاصل از شاخص نسبت تراکمی که بیانگر دقت تفکیک بین پهنه‌ها یا رده‌های خطر در هر روش می‌باشد، بیانگر این است که روند صعودی نسبت تراکمی برای گستره‌های مواجه با خطر خیلی کم تا گستره‌های مواجه با خطر خیلی زیاد در هر سه حالت، نشان از صحت نقشه‌های تهیه شده با روش‌های مورداستفاده را دارد. همچنین نتایج هر دو حالت اول و دوم ارزیابی مدل‌ها با نتایج حاصل از روش مجموع کیفیت و نسبت تراکمی همسو بوده است.

جدول ۲- ارزیابی دو مدل SVM و ANN برای هر سه حالت با استفاده از تراکم سطح و مجموع کیفیت

Qs	هر رده Qs	تراکم سطح	مساحت هر کلاس	مساحت زمین‌لغزش	کلاس		
۰.٤۵	١٤/٠	١٦/٠	٢/١٠٤١	٤٩/٠	خیلی کم	ANN	حالت اول
	٠٦/٠	٥٤/٠	٨/١٣٧٩	٩١/٤	کم		
	٠٠/٠	٠٧/١	٣/١٠٥٦	٣٩/٦	متوسط		

Qs	هر رده Qs	تراکم سطح	مساحت هر کلاس	مساحت زمین‌لغزش	کلاس		
	۱٦/۰	۷۷/۱	۱/۱۳۷٤	۷۵/۱۳	زیاد		
	۰۹/۰	۱۹/۲	۳۲٤	٤	خیلی زیاد		
٤۲/۰	۱٦/۰	۲۷/۰	۳/۱۵۲۳	۳۱/۲	خیلی کم	SVM	
	۰۱/۰	۸۲/۰	۸/۱۰٦۱	۱۹/٤	کم		
	۰۰/۰	۱۳/۱	٦/۱۳۵۰	۱٦/۸	متوسط		
	۱۰/۰	۷۲/۱	۱۰۳٤	۵۰/۱۰	زیاد		
	۱۵/۰	۹۲/۲	۸/۲۰۵	۳۹/۳	خیلی زیاد		
۱۵/۱	۲۰/۰	٤۱/۰	۹/۲۹۰۳	۷۱/٦	خیلی کم	ANN	حالت دوم
	۰۳/۰	۵۳/۰	٦/۷۵۹	۲٦/۲	کم		
	۰۰/۰	۸۸/۰	۰/٤۰۳	۲	متوسط		
	۰۷/۰	۹٤/۱	۷/٤۳۳	۷٦/٤	زیاد		
	۸۵/۰	۵٦/۳	٦۷۲.۵	۵۱/۱۳	خیلی زیاد		
۳۹/۱	۲۵/۰	۲٤/۰	۵/۲۲٦۸	۰۷/۳	خیلی کم	SVM	
	۰۱/۰	۷۲/۰	۸/۹۰۵	٦۷/۳	کم		
	۰۱/۰	۷۳/۰	۸/٦۸٤	۸٤/۲	متوسط		
	۰۰/۰	۱۵/۱	۲/٦۲۲	۰۳/٤	زیاد		
	۱۱/۱	۸۱/۳	۲/۷۲۷	۱۵.٦٤	خیلی زیاد		
٤۳/۱	۳۳/۰	۱۹/۰	۲٦۳۵	۸۲/۲	خیلی کم	ANN	حالت سوم
	۰۱/۰	۷۳/۰	٦/۸۰۷	۳/۳	کم		
	۰۰/۰	۰٤/۱	۱/۵۱۲	۳	متوسط		
	۰٦/۰	۷۸/۱	۵/٤۹۱	۹۵/٤	زیاد		
	۰۳/۱	۷۲/۳	٤/۷۲۲	۱۷/۱۵	خیلی زیاد		
۷۸/۱	۳۰/۰	۱۸/۰	۳/۲۳۵۱	٤۳/۲	خیلی کم	SVM	
	۰٤/۰	۵۱/۰	۱/۹۰۹	۱٦/۲	کم		
	۰۰/۰	۸۲/۰	٦/٦٦۷	۳/۱۱	متوسط		
	۰۳/۰	٤۹/۱	۳/۵٦۰	۲۷/٤	زیاد		
	٤۰/۱	۲۷/٤	۲/٦۸۰	۳۹/۱٦	خیلی زیاد		

** مساحت کل حوزه: ۵۱۸۰ هکتار و مساحت کل زمین‌لغزش‌های رخداده: ۲۹/۲٦ هکتار

٤- بحث

حوضه موردمطالعه به دلیل کوهستانی بودن، ارتفاع و شیب زیاد که جزء عوامل کلیدی و اصلی در وقوع زمین‌لغزش هستند، مستعد وقوع زمین‌لغزش می‌باشد. وقوع زمین‌لغزش به‌عنوان یکی از مشکلاتی اساسی است که مردم این حوضه با آن مواجه هستند. به‌منظور کاهش رخداد این بلای طبیعی و جلوگیری از تهدید جان و مال مردم لازم

است که بحث وقوع حرکات توده‌ای بالأخص زمین‌لغزش‌ها در این حوضه مورد توجه قرار گیرد. تخریب اراضی مرغوب کشاورزی و راه‌های منتهی به آن به سبب وقوع زمین‌لغزش‌ها یکی از تهدیدات مالی بوده و در طولانی‌مدت حتی می‌تواند به تهدیدات جانی نیز تبدیل شود؛ زیرا کشاورزی منبع اصلی درآمد در این حوضه می‌باشد. وجود ویژگی‌های طبیعی همانند آسیب‌پذیری بخش بزرگی از سازندهای زمین‌شناسی منطقه (آمیزه‌های افیولیتی و آهک‌های پلازیک)، بارندگی بالا و داشتن آب‌وهوای نیمه‌مرطوب سرد به همراه شیب تند، ارتفاع زیاد، وجود ناهمواری‌ها، خصوصیات فیزیوگرافی مانند تراکم زهکشی بالا، وجود گسل‌های فراوان و عوامل انسانی نظیر تغییر کاربری اراضی و چرای بی‌رویه و زودرس (کاهش تراکم پوشش گیاهی) بر وقوع زمین‌لغزش‌های حوضه تأثیرگذار بوده‌اند. وجود یک رشته نواری کوهستان که از حاشیه شرقی تا غربی حوضه کشیده شده است، دارای شیب‌های فشرده و دره‌های عمیق بوده که تحت حاکمیت خصوصیات فیزیوگرافی، سبب تشکیل بخش‌های مخاطره‌آمیز طبیعی شده‌اند. انتخاب یک مدل مناسب که بتواند رابطه فی‌مابین عوامل محیطی و انسانی و شاخص‌های توپوگرافی را به‌خوبی مدل کند، یک گام مهم در بحث پهنه‌بندی حساسیت زمین‌لغزش‌ها و ارزیابی مدل‌ها می‌باشد. علت انتخاب مدل شبکه عصبی مصنوعی و ماشین الگوریتم پشتیبان بردار نسبت به دیگر مدل‌ها برای این پژوهش این است که برخلاف روش‌های آماری این مدل‌ها دارای توزیع آماری داده‌های مستقل، مبتنی بر روش‌های طبقه‌بندی بودن، وجود رابطه غیرخطی بین عوامل و نیاز به بررسی‌های کمتر در درستی داده‌ها می‌باشند (لی[1] و همکاران، ۲۰۰۶). انتخاب تعداد مناسب عوامل تأثیرگذار نیز از هدررفت وقت و افزایش هزینه‌ها جلوگیری می‌کند. در این پژوهش در حالتی که فقط از شاخص‌های مورفومتریک استفاده شد، نتایج حاصل از ارزیابی مدل‌ها با استفاده از شاخص‌های ارزیابی روش منحنی ROC و مجموع مربعات (Qs) برای مدل‌ها و نسبت تراکم (Dr) برای تفکیک بین رده‌های خطر نشان داد که مدل شبکه عصبی مصنوعی نسبت به مدل الگوریتم پشتیبان بردار نتایج بهتری را ارائه کرده است. اگرچه مدل ANN نسبت به مدل SVM دارای نتایج قابل‌قبول‌تر بوده اما در حالت کلی هر دو مدل هم از لحاظ تفکیک رده‌های خطر (-نسبت تراکم) و هم از لحاظ ارزیابی مدل‌ها در حالت قابل قبول بوده‌اند. زمانی که از عوامل محیطی و انسانی استفاده شد، نتایج مدل‌ها از حالت عملکرد خوب به خیلی خوب و عالی تغییر و مدل الگوریتم پشتیبان بردار از شبکه عصبی مصنوعی بهتر عمل کرده است. در حالتی که از ترکیبی از عوامل فوق استفاده شد، مدل الگوریتم پشتیبان بردار از مدل شبکه عصبی مصنوعی عملکرد بهتری نشان داد. آزمون جکنایف[2] (بوس و براوین[3]، ۲۰۰۴) به‌وسیله داده‌های اعتبارسنجی برای مدل برتر در نرم‌افزار ModEco به‌صورت جداگانه برای هر سه حال فوق استفاده شد. نتایج حاصل از این آزمون توسط مدل برتر با استفاده از عدد کاپا در حالتی که فقط از شاخص‌های مورفومتریک استفاده شد، گویای این است که مقدار کیفیت این شاخص در تفکیک عوامل بهتر، کمتر از حالتی بوده است که از عوامل محیطی

1 Lee
2 Jacknife
3 Boos & Browine

و انسانی و ترکیبی از آنان استفاده شده است؛ بنابراین اگر از همه عوامل در نظر گرفته شده برای تهیه نقشه پهنه‌بندی حساسیت زمین‌لغزش استفاده شود آزمون جکنایف بهترین نتیجه و عدد کاپا، حداکثر خواهد بود. براساس حالت برتر (حالت سوم) با عدد کاپای[1] حداکثر، عوامل لیتولوژی، LS، ارتفاع، شیب و شاخص TRI بیشترین تأثیر را بر وقوع زمین‌لغزش‌ها داشته‌اند. در این حوزه نقش عوامل مرتبط با ارتفاع در رخداد زمین‌لغزش‌ها بسیار قابل توجه می‌باشد؛ بنابراین در نظر گرفتن شاخص‌های مورفومتریک در تعیین مناطق حساس در این حوضه از اهمیت زیادی برخوردار می‌باشد.

۵- جمع‌بندی

پهنه‌بندی حساسیت زمین‌لغزش یکی از روش‌هایی است که می‌توان به کمک آن مناطق بحرانی را به لحاظ پایداری را مشخص و از نقشه‌های به دست آمده در برنامه‌ریزی‌های توسعه پایدار استفاده کرد. هدف اصلی پژوهش، بررسی تأثیر شاخص‌های مورفومتری بر بهبود کارایی مدل‌هایی شبکه عصبی مصنوعی و مدل الگوریتم پشتیبان بردار در پهنه‌بندی حساسیت زمین‌لغزش‌های به‌وقوع پیوسته در حوضه موردمطالعه می‌باشد. نتایج بررسی در هر سه حالت نشان داد که نقش عوامل طبیعی نسبت به عوامل انسانی در رخداد زمین‌لغزش‌ها بیشتر بوده است که با نتایج حنیفی‌نیا و همکاران، (۱۳۹۸) مطابقت دارد. اگرچه تا حدودی زمین‌لغزش‌های در حال وقوع یا مناطق مستعد رخداد ناشی از فعالیت‌های انسانی قابلیت کنترل و مدیریت پذیری را دارند، اما پیشگیری و کنترل مناطق مستعد زمین‌لغزش ناشی از عوامل طبیعی اغلب امکان‌پذیر نبوده و کار آسانی نخواهد بود یا در صورت امکان بسیار پرهزینه می‌باشد؛ بنابراین حوضه موردمطالعه ذاتاً (به دلیل تأثیر زیاد عوامل طبیعی نسبت به عوامل انسانی) نسبت به رخداد زمین‌لغزش‌ها حساس بوده و کمترین دخالت در این حوضه ممکن است سبب ایجاد وضعیت بحرانی در حوضه بشود. بعد از تهیه لایه‌های عوامل مؤثر بر وقوع زمین‌لغزش و پهنه‌بندی حساسیت‌لغزش‌ها با مدل‌های فوق در این مطالعه نتایج ارزیابی با استفاده از منحنی نسبی عملکرد سیستم نشان داد که در حالت استفاده از تنها شاخص‌های مورفومتریک در پهنه-بندی حساسیت زمین‌لغزش، دو مدل الگوریتم ماشین پشتیبان بردار و شبکه عصبی مصنوعی به ترتیب با سطح زیر منحنی ۰/۷۴۲ و ۰/۷۶۳ دارای عملکرد خوب در پهنه‌بندی حساسیت زمین‌لغزش‌ها بوده‌اند. در حالت استفاده از عوامل انسانی و محیطی، دو مدل فوق به ترتیب با سطح زیر منحنی ۰/۸۷۶ و ۰/۹۲۹ دارای عملکرد خوب و خیلی خوب؛ و در حالت استفاده از هر دو عوامل انسانی و محیطی به همراه شاخص‌های مورفومتریک، دو مدل با سطح زیر منحنی ۰/۹۴۰ و ۰/۹۳۶ دارای عملکرد عالی در پهنه‌بندی مناطق حساس بوده‌اند. همچنین بالاترین مقدار مجموع کیفیت و نسبت تراکمی بیشترین همبستگی بین رده‌های خطر برای مدل الگوریتم ماشین پشتیبان بردار در حالت سوم بوده است. نتایج حاصل از شاخص کاپا در حالت برتر نشان داد که به ترتیب عوامل لیتولوژی، فاکتور طول شیب و

1 Kappa

ارتفاع حوضه بیشترین تأثیر را بر وقوع زمین‌لغزش‌های حوضه داشته‌اند؛ بنابراین نقش عوامل مربوط به شاخص‌های مورفومتری در این مطالعه از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشد که با نتایج عرب عامری و همکاران (۱۳۹۷) مطابقت دارد. با توجه به دقت خیلی‌خوب هر دو مدل با درصد خطای کم در ارزیابی و تهیه نقشه خطر لغزش‌های حوضه در حالت سوم، می‌توان پیشنهاد کرد که نقشه‌های مذکور می‌تواند در تصمیم‌گیری‌های آتی، مدیریت دامنه‌های ناپایدار و آمایش سرزمین در منطقه موردمطالعه نقش بسزایی داشته باشد.

کتابنامه

احمدآبادی، علی؛ رحمتی، مریم؛ ۱۳۹٤. کاربرد شاخص‌های کمّی ژئومورفومتریک در شناسایی پهنه‌های مستعد زمین‌لغزش با استفاده از مدلSVM، مطالعه موردی: آزادراه خرم‌آباد_پل‌زال. *پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمّی*. سال ۳. شماره ٤. صفحات ۱۹۷–۲۱۳.

حنیفی‌نیا، عبدالعزیز؛ نظرنژاد، حبیب؛ نجفی، سعید؛ کرنژادی، آیدینگ؛ ۱۳۹۹. اولویت‌بندی عامل‌های مؤثر بر وقوع زمین‌لغزش و پهنه‌بندی حساسیت آن در آبخیز چریک‌آباد ارومیه با استفاده از مدل آنتروپی شانون. *پژوهش‌های آبخیزداری*. دوره ۳۳. شماره ٤. ۳۲–٤۸.

حنیفی‌نیا، عبدالعزیز؛ نظرنژاد، حبیب؛ نجفی، سعید؛ کرنژادی، آیدینگ؛ ۱۳۹۸. پهنه‌بندی حساسیت زمین‌لغزش با استفاده از مدل فرایند سلسله مراتبی در حوزه آبخیز چریک‌آباد ارومیه. چهاردهمین همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری ایران. ۲۵ و ۲٦ تیر ماه ۱۳۹۸.

شیرانی، کورش؛ سیف، عبدالله؛ ۱۳۹۰. پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از روش‌های آماری (منطقه پیشکوه، شهرستان فریدون‌شهر). *علوم زمین*. دوره ۲۲. شماره ۸۵. ۱٤۹–۱۵۸.

صمدی، میثم؛ جلالی، سعیده؛ قشلاقچایی، محمود؛ کرنژادی، آیدینگ؛ ۱۳۹۵. بررسی شاخص‌های مورفومتری در حوزه آبخیز چهل‌چای استان گلستان با استفاده از GIS. مهندسی نقشه‌برداری و اطلاعات مکانی. دوره ۷. شماره ٤. ۳۷–٤۸.

عبادی، فؤاد؛ ایلدرمی، نوری؛ بابائی، خالد؛ ۱۳۹۸. پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در آبخیز سد چراغ ویس کردستان با مدل‌های IRAT وLNRF. *پژوهش‌های آبخیزداری*. پیاپی ۳۲. شماره ۳. ۳۷–۵۲.

عرب‌عامری، علیرضا؛ رضایی، خلیل؛ سهرابی، مسعود؛ شیرانی، کورش؛ ۱۳۹۷. ارزیابی کارایی پارامترهای کمی ژئومورفومتریک در افزایش صحت نقشه‌های پهنه بندی حساسیت زمین‌لغزش (مطالعه موردی: حوضه فریدون شهر، استان اصفهان). *پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز*. شماره ۱۸. جلد ۹. ۲۲۰–۲۳۲.

کرمی، فریبا؛ بیاتی خطیبی، مریم؛ خیری‌زاده، منصور؛ مختاری اصل، ابوالفضل؛۱۳۹۸. ارزیابی کارایی الگوریتم ماشین بردار پشتیبان در پهنه‌بندی حساسیت زمین‌لغزش حوضه آبریز اهرچای. *جغرافیا و مخاطرات محیطی*. دوره ۸. شماره ۳۲. ۱–۱۷.

میرزانیا، صالح؛ شهابی، هیمن؛ ۱۳۹۸. ارزیابی و پیش‌بینی مکانی مخاطرهٔ زمین‌لغزش در جادهٔ کوهستانی سنندج–کامیاران با استفاده از الگوریتم‌های پیشرفتهٔ داده‌کاوی. *مدیریت مخاطرات محیطی*. دوره ٦. شماره ٤. ٣١٧–٣٤٠.

نوجوان، محمدرضا؛ شاه‌زیدی، سمیه‌سادات؛ داودی، محمود؛ امین رعایا، هاجر؛ ۱۳۹۸. پهنه بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از تلفیق دو مدل فرآیند تحلیل سلسله مراتبی و فازی (مطالعه موردی: حوضه آبخیز کمه، استان اصفهان). *پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمّی*. دوره ٧. شماره ٤. صفحات ١٤٢–١٥٩.

Aditian A, Kubota T, Shinohara Y. 2018. Comparison of GIS-based landslide susceptibility models using frequency ratio, logistic regression, and artificial neural network in a tertiary region of Ambon, Indonesia, Geomorphology 318: 101-111.

Arnone E, Francipane A, Noto LV, Scarbaci A, La Loggia G. 2014. Strategies investigation in using artificial neural network for landslide susceptibility mapping: application to a Sicilian catchment, Journal of Hydroinformatics 16(2): 502-515.

Ben-Hur Asa, Horn David, Siegelmann Hava, Vapnik Vladimir N. 2001. Support vector clustering, Journal of Machine Learning Research 2: 125–137.

Boser BE, Guyon IM, Vapnik VN. 1992. A training algorithm for optimal margin classifiers. Proceedings of the fifth annual workshop on Computational learning theory– COLT '92. p. 144. CiteSeerX 10.1.1.21.3818.

Bragagnolo L, da Silva RV, Grzybowski JMV. 2020. Landslide susceptibility mapping with r. landslide: A free open-source GIS-integrated tool based on Artificial Neural Networks, Environmental Modelling & Software 123, 104565.

Cama M, Conoscenti C, Lombardo L, Rotigliano, E. 2016. Exploring relationships between grid cell size and accuracy for debris-flow susceptibility models: a test in the Giampilieri catchment (Sicily, Italy), Environ. Earth Sci 75 (3): 1–21.

Carrara A, Crosta G, Frattini P. 2008. Comparing models of debris-flow susceptibility in the alpine environment. Geomorphology 94(3-4): 353-378.

Chen W, Pourghasemi HR, Kornejady A, Zhang N. 2017. Landslide spatial modeling: Introducing new ensembles of ANN, MaxEnt, and SVM machine learning techniques, Geoderma 305: 314-327.

Fang Z, Wang Y, Peng L, Hong H. 2020. Integration of convolutional neural network and conventional machine learning classifiers for landslide susceptibility mapping. Computers & Geosciences139, 104470.

Fell R, Corominas J, Bonnard C, Cascini L, Leroi E, Savage WZ. 2008. Guidelines for landslide susceptibility, hazard and risk zoning for land use planning, Engineering Geology 102(3): 85-98.

Gee, M. D. (1991). Classification of landslide hazard zonation methods and a test of predictive capability, Landslides, Bell, G., (ed.), Balkema, Rotterdam 947- 952.

Guha-Sapir D, Below R, Hoyois P. 2020. EM-DAT: international disaster database. Brussels, Belgium: Université Catholique de Louvain. Available from: http://www.emdat.be.

Guzzetti F, CesareMondini A, Cardinali M, Fiorucci F, Santangelo M, Chang KT. 2012. Landslide inventory maps: new tools for an old problem, EarthScience Review 112: 42-66.

Haghighat M, Abdel-Mottaleb M, Alhalabi W. 2016. Discriminant correlation analysis: Real-time feature level fusion for multimodal biometric recognition. IEEE Transactions on Information Forensics and Security, 11(9): 1984-1996.

Hong H, Pourghasemi HR, Pourtaghi, ZS. 2016. Landslide susceptibility assessment in Lianhua County (China): a comparison between a random forest data mining technique and bivariate and multivariate statistical models, Geomorphology 259: 105-118.
Hsieh CJ, Chang KW, Lin CJ, Keerthi SS, Sundararajan S. 2008. A dual coordinate descent method for large-scale linear SVM, In Proceedings of the 25th international conference on Machine learning (408-415).
Huang F, Cao Z, Guo J, Jiang SH, Li S, Guo Z. 2020. Comparisons of heuristic, general statistical and machine learning models for landslide susceptibility prediction and mapping, Catena 191, 104580.
Kavzoglu T, Kutlug Sahin E, Colkesen I. 2015. An assessment of multivariate and bivariate approaches in landslide susceptibility mapping: a case study of Duzkoy district, ORIGINAL PAPER 76:471–496.
Kirkos S, Manolopoulos Y. 2004. September. Data mining in finance and accounting: a review of current research trends, In Proceedings of the 1st international conference on enterprise systems and accounting (ICESAcc) 63-78 pp.
Lee S, Min K. 2001. Statistical analysis of landslide susceptibility at Yongin, Korea, Environmental Geology 40: 1095-1113.
Lucchese, L.V., de Oliveira GG, Pedrollo OC. 2021. Investigation of the influence of nonoccurrence sampling on landslide susceptibility assessment using Artificial Neural Networks, Catena 198, 105067.
Marjanović M, Kovačević M, Bajat B, Voženílek V. 2011. Landslide susceptibility assessment using SVM machine learning algorithm, Engineering Geology 123(3): 225-234.
Meyer D, Leisch F, Hornik K. 2003. The support vector machine under test, Neurocomputing 55(1-2): 169-186.
Möller M, Volk M, Friedrich K, Lymburner L. (2008). Placing soil-genesis and transport processes into a landscape context: A multiscale terrain-analysis approach, Journal of Plant Nutrition and Soil Science 171 (3): 419-430.
Moore ID, Grayson RB, Ladson AR. 1991. Digital terrain modeling: a review of hydrological, geomorphological, and biological applications, Hydro Process 5: 3-30.
Ocakoglu F, Gokceoglu C, Ercanoglu M. 2002. Dynamics of a complex mass movement triggered by heavy rainfall: a case study from NW Turkey, Geomorphology 42(3-4): 329-341.
Pontius JRG, Schneider LC. 2001. Land-cover change model validation by a ROC method for the Ipswich watershed, Massachusetts, USA, Agriculture, Ecosystems & Environment 85(1-3): 239-248.
Prasad R, Pandey A, Singh KP, Singh VP, Mishra RK, Singh D. 2012. Retrieval of spinach crop parameters by microwave remote sensing with back propagation artificial neural networks: A comparison of different transfer functions, Advances in space research 50(3): 363-370.
Press William H, Teukolsky SA, Vetterling WT, Flannery BP. 2007. Section 16.5. Support Vector Machines. Numerical Recipes: The Art of Scientific Computing (3rd ed.). New York: Cambridge University Press.
Rabby YW, Hossain MB, Abedin J. 2020. Landslide Susceptibility Mapping in Three Upazilas of Rangamati Hill District Bangladesh: Application and Comparison of GIS-based Machine Learning Methods, Geocarto International 1-24.
Roodposhti MS, Safarrad T, Shahabi H. 2017. Drought sensitivity mapping using two one-class support vector machine algorithms, Atmospheric Research 193: 73-82.
Sarkar S, Kanungo DP, Mehrotra, GS. 1995. Landslide hazard zonation: a case study in Garhwal Himalaya, India, Mountain Research and Development 15(4): 301-309.

Schmidhuber J. 2015. "Deep Learning". Scholarpedia, 10 (11): 85–117.
Shahabi H, Khezri S, Ahmad BB, Hashim M. 2014. Landslide susceptibility mapping at central Zab basin, Iran: A comparison between analytical hierarchy process, frequency ratio and logistic regression models, Catena 115: 55-70.
Shalev-Shwartz S, Singer Y, Srebro N, Cotter A. 2011. Pegasos: Primal estimated sub-gradient solver for SVM, Mathematical programming 127(1): 3-30.
Tien Bui D, Pradhan B, Revhaug I, Trung TC. 2014. A comparative assessment between the application of fuzzy unordered rules induction algorithm and J48 decision tree models in spatial prediction of shallow landslides at Lang Son City, Vietnam, In Remote sensing applications in environmental research 87-111.
Vakhshoori V, Pourghasemi HR, Zare, M., & Blaschke, T. (2019. Landslide susceptibility mapping using GIS-based data mining algorithms, Water 11(11): 2292.
Xie W, Li X, Jian W, Yang Y, Liu H, Robledo LF, Nie W. 2021. A Novel Hybrid Method for Landslide Susceptibility Mapping-Based GeoDetector and Machine Learning Cluster: A Case of Xiaojin County, China, ISPRS International Journal of Geo-Information 10(2): 1-19.
Yalcin A. 2011. A geotechnical study on the landslides in the Trabzon Province, NE, Turkey, Applied clay science 52: 11-29.
Yu C, Chen J. 2020. Landslide Susceptibility Mapping Using the Slope Unit for Southeastern Helong City, Jilin Province, China: A Comparison of ANN and SVM, Symmetry 12(6): 10-47.

Vol.10, No.4, Winter 2022, pp.69-92 ISSN (Print):2322-1682 ISSN (Online):2383-3076

Journal of Geography and Environmental Hazards

RESEARCH ARTICLE DOI: 10.22067/geoeh.2021.70743.1070 Open access

Forest Degradation using GIS and Logistic Regression (Case Study: Forests of Sardasht)

Saleh Arekhi [a*], Abdul Rahman Mahmoudian [b], Somia Emadaddian [c]

[a] *Assistant Professor in Geography, Department of Geography and GIS, Human Sciences College, University of Golestan, Gorgan, Iran*

[b] *MSc Student in Geography and Environmental Hazards, Department of Geography and GIS, Human Sciences College, University of Golestan, Gorgan, Iran*

[c] *Assistant Professor in Geography, Department of Geography and GIS, Human Sciences College, University of Golestan, Gorgan, Iran*

Received: 1 June 2021 ***Revised: 23 July 2021*** ***Accepted: 10 August 2021***

Abstract

Spatial-temporal pattern modeling of forest cover changes provides valuable information for better understanding the change process and determining the effective factors of areas under change. In this study, it was tried to identify the factors affecting the reduction and destruction of forests in western Iran using the capabilities of modern technologies including remote sensing, and then implementing in the form of a suitable computational model as a mathematical model based on the behavior of nature. In order to investigate the reduction of forest cover in Sardasht city of West Azarbaijan province, satellite images of MSS, ETM$^+$ and OLI for the years of 1977, 2000 and 2018 were used. The above images were preprocessed, processed, and classified into two categories of forest and non-forest. The logistic regression method was used to study the relationship between forest cover reduction and physiographic and human factors. In order to obtain the lands suitability map, a logistic regression relationship was established between the forest cover reduction map from 1977 to 2000 and 2000 to 2018 and also factors affecting it. Finally, a simple spatial model was proposed that was able to predict the spatial distribution of forest degradation using logistic regression. The results showed that over the 41 years, about 33721 hectares of forests of Sardasht city have been damaged. According to the results, it was determined that from topographic variables, parameters of distance from the road and distance from the village had the most impact on the forest degradation rate.

Keywords: Remote Sensing, Modeling, Degradation of the Forest, West Azarbaijan

*. Corresponding author: Saleh Arekhi E-mail: s.arekhi@gu.ac.ir Tel: + 989113690648

How to cite this Article: Arekhi, S., Mahmoudian, A., emadodin, S. (2022). Forest degradation using GIS and Logistic Regression (Case study: Forests of Sardasht city). *Journal of Geography and Environmental Hazards*, 10(3), 73-97.

doi: 10.22067/geoeh.2021.70743.1070

Geography and Environmental Hazards
Volume 10, Issue 4 - Number 40, Winter 2022
https://geoeh.um.ac.ir
https://dx.doi.org/10.22067/geoeh.2021.70743.1070

جغرافیا و مخاطرات محیطی، سال دهم، شمارهٔ چهلم، زمستان ۱۴۰۰ صص ۹۲-۶۹

مقاله پژوهشی

پیش‌بینی خطر تخریب جنگل با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی و مدل رگرسیون لجستیک (مطالعه موردی: شهرستان سردشت)

صالح آرخی[1]– استادیار جغرافیا، گروه جغرافیا و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشکده علوم انسانی دانشگاه گلستان، گرگان، ایران.
عبدالرحمان محمودیان– دانشجوی کارشناسی ارشد مخاطرات محیطی، گروه جغرافیا و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشکده علوم انسانی دانشگاه گلستان، گرگان، ایران.
سمیّه عمادالدین– استادیار جغرافیا، گروه جغرافیا و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشکده علوم انسانی دانشگاه گلستان، گرگان، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۳/۱۱ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۵/۱ تاریخ تصویب: ۱۴۰۰/۵/۱۹

چکیده

مدل‌سازی الگوی مکانی– زمانی در تغییرات پوشش جنگل اطلاعات ارزشمندی را جهت درک بهتر فرآیند تغییر، تعیین عوامل مؤثر مناطق در معرض تغییر فراهم می‌آورد. در این پژوهش سعی و تلاش ما بر آن بوده تا با استفاده از قابلیت‌ها و توانایی‌های فناوری‌های روز ازجمله سنجش‌ازدور، سیستم اطلاعات جغرافیایی عوامل موثر بر کاهش و تخریب جنگل‌های غرب ایران را شناسایی کرده و سپس در قالب الگوی محاسباتی مناسب به‌صورت یک مدل ریاضی بر گرفته از رفتار طبیعت پیاده‌سازی کنیم. در این پژوهش به‌منظور بررسی کاهش پوشش جنگلی شهرستان سردشت در استان آذربایجان غربی، از طریق تصاویر سنجنده MSS، ETM^+ و OLI مربوط به سال‌های ۱۳۵۶، ۱۳۷۹ و ۱۳۹۷ استفاده گردید. تصاویر ذکر شده مورد پیش‌پردازش و پردازش قرار گرفتند و به دو طبقه جنگل و غیرجنگل طبقه‌بندی شدند. برای بررسی ارتباط مکانی کاهش پوشش جنگل با عوامل فیزیوگرافی و انسانی از روش آماری رگرسیون لجستیک استفاده شد. برای به دست آوردن نقشه شایستگی تبدیل اراضی، رابطه رگرسیون

۱ نویسنده مسئول: ۰۹۱۱۳۶۹۰۶۴۸ Email: s.arekhi@gu.ac.ir

نحوه ارجاع به این مقاله:

آرخی، صالح؛ محمودیان، عبدالرحمان ؛ عمادالدین، سمیّه؛ ۱۴۰۰. پیش‌بینی خطر تخریب جنگل با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی و مدل رگرسیون لجستیک (مطالعه موردی: شهرستان سردشت). جغرافیا و مخاطرات محیطی. ۱۰(۴). صص ۹۲-۶۹. https://dx.doi.org/10.22067/geoeh.2021.70743.1070

لجستیک بین نقشه کاهش پوشش جنگلی سال‌های ١٣٥٦ تا ١٣٧٩ و ١٣٧٩ تا ١٣٩٧ و همچنین عوامل مؤثر بر آن، برقرار شد. درنهایت، یک مدل مکانی ساده که توانایی پیش‌بینی پراکنش مکانی تخریب جنگل را با استفاده از رگرسیون لجستیک دارد، ارائه شد. نتایج نشان داد که در طول ٤١ سال حدود ٣٣٧٢١ هکتار از سطح جنگل‌های شهرستان سردشت کاسته شده است. با توجه به نتایج مشخص شد که از متغیّرهای توپوگرافی، پارامترهای فاصله از جاده و فاصله از روستا بر میزان تخریب جنگل بیشترین تأثیر را داشته‌اند.

کلیدواژه‌ها: سنجش‌ازدور، مدل‌سازی، تخریب جنگل، آذربایجان غربی.

۱- مقدمه

تخریب و نابودی زیستگاه یکی از مهم‌ترین دلایل انقراض بسیاری از گونه‌ها بوده است (سگن[1] و همکاران، ٢٠١٦)؛ بنابراین حفاظت از گونه‌ها مستلزم حفاظت از زیستگاه‌های آن‌هاست. اکوسیستم‌های جنگلی امروزه با تهدیدات بیشتری نسبت به سایر اکوسیستم‌ها مواجه‌اند به‌طوری‌که بررسی‌های FAO نشان دهنده کاهش سه درصدی مساحت جنگل‌های جهان در حدود ٢٠ ساله اخیر است (کینن[2] و همکاران، ٢٠١٥). از طرف دیگر پاسخ اکوسیستم‌های جنگلی به تغییرات اقلیمی به‌گونه‌ای است که انجام اقدامات سازشی و حفاظتی را ضروری می‌سازد (والتر[3] و همکاران، ٢٠٠٢). علاوه بر این، برخی از گونه‌های جنگلی نظیر انواع سنجاب گونه‌هایی به‌شدت وابسته و متکی به این اکوسیستم‌ها به‌عنوان زیستگاه هستند و هرگونه تغییر و تخریبی در این زیستگاه‌ها می‌تواند زمینه نابودی آن‌ها را فراهم آورد (کپرووسکی[4] و همکاران، ٢٠١٦). با توجه به موارد بالا می‌توان چنین نتیجه‌گیری کرد که امروزه حفاظت از جنگل‌ها به‌عنوان یکی از مهم‌ترین اکوسیستم‌های طبیعی که زیستگاه وسیعی را نیز برای طیف گوناگونی از حیات‌وحش فراهم می‌آورد، بیش‌ازپیش احساس می‌شود. از ١٤ میلیون هکتار مساحت کل جنگل‌های ایران، تقریباً ٤١ درصد متعلق به جنگل‌های ناحیه رویشی زاگرس است (جزیره‌ای و ابراهیمی‌رستاقی، ١٣٨٢). این جنگل‌ها وسیع‌ترین رویشگاه بلوط ایران و قدیمی‌ترین جنگل بلوط در جهان با قدمت ٥٥٠٠ ساله هستند که ١١ استان و حدود یک سوم جمعیت، بیش از نیمی از دام‌ها، حدود ٣٠ درصد از کل نزولات، ٤٠ درصد از آب‌های جاری و ٣٢ درصد از آب‌های سطحی کشور را به خود اختصاص داده است (ثاقب‌طالبی و همکاران، ١٣٨٣).

1 Segan
2 Keenan
3 Walther
4 Koprowski

برای کشـف و ارزیـابی ایـن تغییـرات، اسـتفاده از فنـون و ابزارهـای سـنجش‌ازدور (RS[1]) و سیسـتم اطلاعـات جغرافیایی (GIS[2]) با برخورداری از امکانات تحلیلی می‌توانند نقش بسزایی در تولیـد اطلاعـات مکـانی داشـته باشـند (سومن[3] و همکاران، ۲۰۱۲؛ فوم‌فیلا[4] و همکاران، ۲۰۱۷)؛ بنابراین، در سال‌های اخیر، به دلیل دسترسی آسـان بـه تصـاویر ماهواره‌ای و قابلیت‌های نرم‌افزار سیستم اطلاعات جغرافیایی، مدل‌سازی تغییرات پوشش گیاهی و پیش‌بینـی تغییـرات آن در آینده رایج شده است و به این منظور روش‌های متفاوتی چون تجزیه وتحلیـل زنجیـره مـارکف، شـبکه عصـبی مصنوعی و روش‌های آمـاری مثـل رگرسـیون لجسـتیک گسـترش یافتـه اسـت (اسـلام[5] و همکـاران، ۲۰۱۸). مـدل رگرسیون لجستیک ازجمله مدل‌هایی است که در مطالعات بسیاری برای مدل‌سازی رشد شهری و تخریب جنگـل بـه کار گرفته شده است. برای نمونه، اشنایدر و پانتیوس[6] (۲۰۰۱) تغییرات کـاربری زمـین در آبخیـز ایپسـوئیچ در ایالـت ماساچوست را در بازهٔ زمانی ۱۹۷۱–۱۹۹۱ مطالعه کرده‌اند و روش رگرسیون لجستیک را جهت مـدل‌سـازی تغییـرات کاربری زمین به کار گرفته‌اند. آن ها متغیرهای فیزیکی و اجتماعی برای فرایند مدل‌سازی بـه کـار گرفتـه‌انـد و شـرایط آیندهٔ اراضی را پیش‌بینی کردند. نتایج کاهش اراضی جنگلی و توسعهٔ منـاطق مسـکونی جدیـد در منطقـهٔ مطالعـاتی را طی زمان نشان داد. چنگ و ماسر[7] (۲۰۰۳) روش رگرسیون لجستیک را برای مـدل‌سـازی الگوهـای رشـد شـهری در شهر ووهان در چین به کار گرفتند. نتایج این مطالعه نشان داد نزدیکی به جاده‌هـا و منـاطق مسـکونی موجـود، نقشـی مهم در گسترش شهرها دارد. آن‌ها در این مطالعه بیان کردند که رشد شهرها نقشی مهم در کـاهش اراضـی کشـاورزی دارد. همچنین، لین[8] و همکاران (۲۰۰۷) تغییرات کاربری زمین را با روش رگرسیون لجستیک در یـک حوضـهٔ آبخیـز در شمال تایوان مدل‌سازی کردند. مقادیر ROC برای مدل‌سازی تغییرات هر یـک از کـاربری‌هـای کشـاورزی، شـهر، اراضی جنگلی و مرتعی به ترتیب، ۰/۷۳۶، ۰/۹۸۳، ۰/۸۸ و ۰/۷۵۷ به دست آمد. این مقادیر نشـان داد مـدل رگرسـیون لجستیک توانایی مدل‌سازی تغییرات کاربری زمین را در منطقهٔ مطالعاتی دارد. میلینگتـون[9] و همکـاران (۲۰۰۷) نیـز در مطالعه‌ای فنون رگرسیونی را برای مدل‌سازی تغییرات کاربری زمین در یک آبخیـز مدیترانـه‌ای بـه کـار گرفتنـد. آن‌هـا تصاویر ماهواره‌ای را جهت تهیه نقشه‌های کاربری زمـین و روش مقایسـه پـس از طبقـه‌بنـدی را بـرای آشکارسـازی تغییرات و سپس، روش‌های رگرسیونی را برای مدل‌سازی تغییرات کاربری زمین به کار گرفتند. نتـایج نشـان داد مـدل

1 Remote Sensing
2 Geographic Information system
3 Sumon
4 Phompila
5 Islam
6 Schneider and Pontius
7 Cheng and Masser
8 Lin
9 Millington

رگرسیون لجستیک به‌خوبی قادر به تعیین تغییرات ایجاد شده در کاربری زمین است. از سایر مطالعات انجـام شـده در این زمینه در خارج از کشور می‌توان به بررسی تغییرات پوشش جنگلی بین سال‌هـای ۲۰۰۶ تـا ۲۰۱۲ در جنگـل‌هـای کشور لائوس با استفاده از رگرسیون لجستیک توسط فوم‌فیلا و همکاران (۲۰۱۷) اشاره نمود. نتـایج ایـن مطالعـه نشـان داد که تخریب جنگل رابطه معنی‌داری با ارتفاع از سطح دریا، فاصله از جاده‌هـای اصـلی و تغییـر شـیوه‌هـای کاشـت دارد. در مطالعه‌ای دیگر سومن و همکاران (۲۰۱۰) به بررسی عوامل مؤثر بـر عامـل تخریـب جنگـل در جنگـل‌هـای منطقه مرکزی میانمار پرداختند. در این تحقیق نقشه تراکم تـاج پوشـش جنگـل از سـال ۱۹۸۹ تـا ۲۰۰۶ بـا اسـتفاده از تصاویر ماهواره‌ای به دست آمد و با استفاده از مدل رگرسیون لجستیک به مدل‌سازی مکانی تخریب جنگل بـا اسـتفاده از عوامل محیطی، پرداخته شد. نتایج نشان داد ارتفاع و فاصله تا مناطق شهری، بهره‌برداری و فاصله تا روستا بـه‌شـدت بر احتمال تخریب جنگل می‌افزاید. از دیگر مطالعات انجـام شـده در ایـن زمینـه نیـز مـی‌تـوان بـه مطالعـات ویـو[1] و همکاران (۲۰۱٤) در کشور ویتنام و مطالعه ماهینی و ترنر[2] در حوضه آبخیز رودخانه بـوروا (واقـع در کشـور اسـترالیا) اشاره نمود. آدهیکاری[3] و همکاران (۲۰۱۷) به بررسی تغییرات کـاربری اراضـی و پوشـش زمـین منطقـه کارناتکـا در کشور هند پرداختند. بدین منظور از مدل رگرسیون لجستیک اسـتفاده کردنـد. نتـایج نشـان داد کـه رابطـه منفـی بـین تخریب جنگل و مناطق حفاظت شده جنگلی وجود دارد.

در داخل کشور پیرباوقار[4] (۲۰۱۵) به مـدل‌سـازی تخریـب جنگـل بـا اسـتفاده از رگرسـیون لجسـتیک و GIS در جنگل‌های غرب گیلان پرداختند. نتایج این بررسی نشان داد که احتمال تخریب جنگل بـا متغیرهـای شـیب، فاصـله از جاده و مناطق مسکونی رابطه معکوس دارد. نتایج ارزیابی نشان داد که مـدل بـه دسـت آمـده بـا ضـریب ROC برابـر ۰/۸۰۷ از تطبیق خوبی با واقعیت برخوردار است. استفاده ترکیبی از رگرسیون لجستیک و فرآیند تحلیل سلسـله مراتبـی (AHP) نیز در مطالعه قجر[5] و همکاران (۲۰۱۲) به‌منظور برآورد سـهم صـخره و سـنگ در خـاک‌بـرداری جـاده‌هـای جنگلی در جنگل‌های آموزشی دانشگاه تربیت مدرس به انجام رسیده است. به ایـن منظـور، واحـدهای زمـین‌شناسـی به‌وسیله فرایند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) ارزش‌دهی به همراه عامل شیب وارد مدل مربوطـه شـدند. از بـین توابـع اتصال مورداستفاده در قدرت برازش مدل، بهترین نتیجه مربوط به تـابع اتصـال Probit بـود. مهـدوی و همکارانشـان (۱۳۹۷) به مدل‌سازی تخریب جنگل‌های زاگرس بـا اسـتفاده از رگرسـیون لجسـتیک (مطالعـه مـوردی: جنگـل‌هـای چرداول استان ایلام) پرداختند. نتایج پژوهش آن‌ها نشان داد کـه طـی ۲۷ سـال حـدود ۱۰۳۳۲ هکتـار از جنگـل‌هـای شهرستان چرداول تخریب شده است؛ همچنین نتایج مدل‌سازی آن‌ها نشان داد کـه متغیـر جهـت دامنـه بـا دارا بـودن

1 Vu
2 Mahiny and Turner
3 Adhikari
4 Pir Bavaghar
5 Ghajar

بیشترین ضریب تأثیر (۰/۷۲۶۷) شاید مهم‌ترین عامل بیوفیزیکی تأثیرگذار بر تخریب جنگل در منطقه موردمطالعه بوده است. پس‌ازآن، به ترتیب متغیرهای شیب و ارتفاع از سطح دریا در تخریب احتمالی جنگل تأثیر داشته است. شادمانی و همکاران (۱۳۹۹) به مدل‌سازی درجات تخریب جنگل‌های حوضه ماسال استان گیلان با استفاده از رگرسیون لجستیک پرداختند. نتایج مدل نشان داد که مدل ساخته شده با تابع اتصال Probit از قابلیت مناسبی در مدل‌سازی درجات تخریب برخوردار است. همچنین نتایج نشان داد که ۲۰۷۶۰ هکتار از جنگل‌های حوضه موردمطالعه با درجات بسیار کم تا متوسط با تخریب مواجه شده‌اند.

در این پژوهش سعی و تلاش ما بر آن بوده تا با استفاده از قابلیت‌ها و توانایی‌های فناوری‌های روز ازجمله سنجش‌ازدور، سیستم اطلاعات جغرافیایی عوامل موثّر بر کاهش و تخریب جنگل‌های غرب ایران را شناسایی کرده و سپس در قالب الگوی محاسباتی مناسب به‌صورت یک مدل ریاضی بر گرفته از رفتار طبیعت پیاده‌سازی کنیم. درنهایت به شمای کلی و نزدیک به واقعیت از فرآیند تغییر در جنگل دست یابیم به‌طوری‌که بتوان از آن به‌عنوان راهنما برای انتخاب بهترین راه‌حل و ارائه راهکارهای مناسب جهت حفظ و حراست از جنگل استفاده کرد.

۲- مواد و روش‌ها

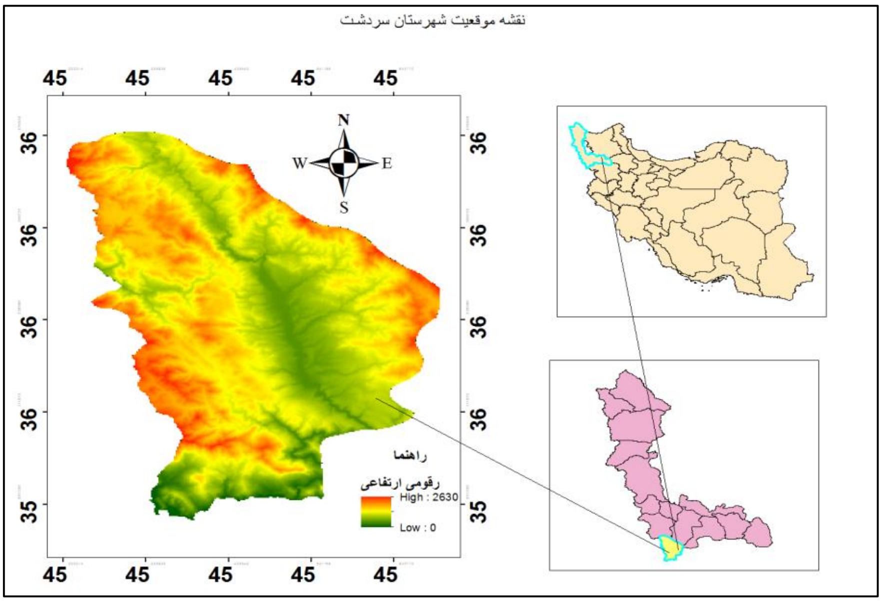
۲-۱- داده‌های مورداستفاده

در این پژوهش از داده‌های سنجش‌ازدور شامل تصاویر MSS[1] (سال ۱۳۵۶/۴/۳۱)، ETM^+[2] (۱۳۷۹/۵/۱۱۲) و OLI[3](۱۳۹۷/۵/۱۷) از سایت Earth explorer و نیز نقشه‌های توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ و عکس‌های هوایی ۱:۲۰۰۰۰ منطقه تهیه شده توسط سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح استفاده شد. زمان انتخاب تصاویر، فصل اوج رشد گیاهان است.

۲-۲- منطقه موردمطالعه

منطقه موردمطالعه در جنگل‌های زاگرس شمالی و در استان آذربایجان‌غربی واقع شده است. منطقه موردمطالعه با موقعیت جغرافیایی '۹°۳۶ عرض شمالی و '۲۸°۴۵ طول شرقی شهرستان سردشت است که جنگل‌های آن بین ۶۰ تا ۸۰ هزار هکتار تخمین زده می‌شود. شکل ۱، موقعیت منطقه را نشان می‌دهد. منطقه موردمطالعه در سیستم شبکه مسطح UTM[4] در زون ۳۸ شمالی واقع شده است.

1 Multispectral Scanner
2 Enhanced Thematic Mapper
3 Operational Land Imager
4 Universal Transfer Mercator



شکل ۲- موقعیت شهرستان سردشت در کشور و استان آذربایجان‌غربی

۲-۳- روش تحقیق

۲-۳-۱ تصحیحات هندسی و رادیومتریک

جهت آماده‌سازی تصاویر، ابتدا تصحیح‌های هندسی و رادیومتریک بر روی تصاویر انجام گرفت. در ابتدا با استفاده از نقاط کنترل زمینی (٥٤ نقطه) از نقشه‌های توپوگرافی و استفاده از سیستم موقعیت‌یاب جهانی (GPS) اقدام به تصحیح هندسی تصاویر گردید. خطاهای به‌دست‌آمده به ترتیب برای تصاویر اول، دوم و سوم برابر با ۰/۳٤، ۰/۱۷ و ۰/٥۱ پیکسل بود که بسیار مطلوب است. در مرحله بعد با کمک روش نمونه‌برداری مجدد[1] به روش نزدیک‌ترین همسایه[2] تصاویر در جهت شمال توجیه و گردانده شدند. تصحیح رادیومتریک زمانی انجام می‌گیرد که از تصاویر چند زمانه[3] یعنی تصاویری که مربوط به فصول یا سال‌های مختلف و یا سنجنده‌های مختلف هستند، استفاده شود. دو نوع تصحیح رادیومتریک وجود دارد، تصحیح رادیومتریک مطلق و تصحیح رادیومتریک نسبی. روش تصحیح رادیومتریک مطلق نیازمند ورود داده‌های مربوط به خصوصیات اتمسفریک و کالیبراسیون سنجنده است. انجام این تصحیح در اغلب موارد و به‌خصوص برای داده‌های قدیمی کار بسیار سختی است (دندونکر[4] و همکاران، ۲۰۰٦) در مقابل تصحیح رادیومتریک نسبی با هدف کاهش متغیرهای اتمسفریک و غیره منتظره در میان تصاویر چندزمانه

1 Resampling
2 Nearest neighborhood
3 Multi Temporal images
4 Dendoncker

صورت می‌گیرد. یکی از روش‌های تصحیح رادیومتریک نسبی، کاهش تیرگی پدیده[1] است. در حالت ایده‌آل پدیده‌های تیره‌رنگ دارای تابش صفر در همه طول‌موج‌ها هستند. در این روش فرض می‌شود که در هر باند از تصویر می‌توان پیکسل‌هایی یافت که مقادیر آن‌ها صفر یا نزدیک به یک است (مثل آب). به‌این‌ترتیب اثر اتمسفری تابش انحرافی به‌صورت یک مقدار ثابت به پیکسل‌ها در هر باند اضافه می‌گردد. به همین دلیل جهت حذف خطای رادیومتریک بایستی ارزش پیکسل‌های هر باند از حداقل DN مربوط به هر باند کم شود. کاهش تیرگی پدیده یک روش ساده است که به‌طور گسترده در بسیاری از موارد به کار گرفته می‌شود (چاوز[2]، ۱۹۹٦). در این مطالعه از این روش جهت تصحیح رادیومتریک تصاویر موردنظر استفاده شده است که به‌راحتی در نرم‌افزار ENVI قابل‌اجرا است.

۲-۳-۲- انتخاب نمونه‌های تعلیمی

برای طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای سال‌های مربوطه از روش طبقه‌بندی نظارت شده استفاده شد. در این پژوهش نمونه‌های تعلیمی، به‌عنوان الگوی مشخصات طیفی طبقات، بر اساس کار میدانی انتخاب شدند. با توجه به هدف مطالعه در طبقه‌بندی (جنگل و غیرجنگل) نمونه‌های تعلیمی متناسب با پوشش هرکدام از کلاس‌ها، در منطقه به تعداد لازم و پراکنش متناسب در سطح منطقه انتخاب شده‌اند. انتخاب نمونه‌های تعلیمی با توجه به پوشش جنگلی مناسب منطقه و قابل تشخیص بودن آن از مناطق غیرجنگلی با تفسیر بصری تصویر ترکیب رنگی کاذب و با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰، نمونه‌های تعلیمی برای هر کلاس تعریف شدند. دو کلاس کاربری، به‌صورت جنگل و غیرجنگل در منطقه مشخص شد. سپس نمونه‌های تعلیمی به شیوه‌ی رقومی کردن روی صفحه تولید و تفکیک شدند.

برای انجام طبقه‌بندی تصاویر از سنجنده ام‌اس‌اس و ای‌تی‌ام‌پلاس و OLI مربوط به سال‌های ۱۳۵٦، ۱۳۷۹ و ۱۳۹۷ از روش‌های طبقه‌بندی نظارت‌شده استفاده گردید. پس از انجام دادن طبقه‌بندی تصاویر هر سال با روش‌های طبقه‌بندی نظارت‌شده، تصویر با صحت بالاتر (روش ماشین بردار پشتیبان) جهت انجام عملیات‌های بعدی انتخاب و مورداستفاده قرار گرفت. در روش طبقه‌بندی نظارت شده، محقق بر اساس واقعیت زمینی نمونه‌های تعلیمی را انتخاب و طبقه‌بندی را انجام می‌دهد.

---

1 Dark Object Subtraction
2 Chavez

۲-۳-۳- تهیه نقشه تغییرات و تخریب سطح جنگل مربوط به سال‌های مورد نظر

پس از طبقه‌بندی تصاویر و ارزیابی صحت نتایج، دقیق‌ترین نقشه‌های جنگل و غیرجنگل مربوط به سال‌های ۱۳۵٦، ۱۳۷۹، ۱۳۹۷ منطقه موردمطالعه انتخاب شدند (بر اساس مقایسه صحت روش‌های مختلف طبقه‌بندی). نقشه‌های مذکور به‌صورت دو دوره از ۱۳۵٦ تا ۱۳۷۹ و ۱۳۷۹ تا ۱۳۹۷ در محیط GIS تقابل[1] داده شدند. نقشه‌های حاصل از عملیات تقابل نقشه تغییرات پوشش جنگلی در دوره‌های ۱۳۵٦–۱۳۷۹ و ۱۳۷۹–۱۳۹۷ هستند که میزان و مکان تخریب پوشش جنگلی در دوره مورد نظر را نشان می‌دهند.

۲-۳-٤-تهیه نقشه‌های فاکتورهای مؤثر در تخریب جنگل

شناخت و جمع‌آوری اطلاعات مربوط به عواملی که در وقوع تخریب جنگل نقش مؤثری دارند، اولین مرحله مطالعه مدل‌سازی تخریب جنگل است. در این پژوهش تعیین این عوامل از طریق بررسی نتایج تحقیقات گذشته در مناطق مشابه صورت گرفت. پس از بررسی‌های انجام‌شده در منطقه موردمطالعه، این عوامل در تخریب جنگل‌های منطقه مهم‌تر و مؤثرتر شناخته شدند که شامل: ارتفاع، جهت شیب، فاصله تا آبراهه، شیب زمین، فاصله تا روستا، فاصله تا جاده می‌باشند. در این راستا نقشه عوامل فوق با استفاده از نرم‌افزارهای جی‌آی‌اس ۱۰٫٤ و انوی ۵٫۳ و ایدریسی سلوا تهیه شده و جهت تجزیه‌وتحلیل‌ها مورداستفاده قرار گرفتند.

برای بررسی عوامل تأثیرگذار در تخریب جنگل‌های موردمطالعه، نقشه‌های مشخصه‌های ارتفاع از سطح دریا، جهت شیب، فاصله تا آبراهه، شیب، فاصله تا روستاها و جاده‌ها می‌باشند که در محیط GIS تهیه شدند. با توجه به تعداد و پراکندگی خاص مناطق مسکونی و جاده‌ها و آبراهه‌های موجود در سطح منطقه، تعداد ۱۰ حریم، ۲۰۰ متری از مناطق مسکونی و ۱۰ حریم ۲۰۰ متری از جاده‌ها و ۱۰ حریم ۱۰۰ متری از آبراهه‌ها ایجاد شدند.

۲-۳-۵- تجزیه‌وتحلیل داده‌ها با رگرسیون لجستیک

کاربرد رگرسیون لجستیک تعیین احتمال وقوع هر یک از سطوح متغیر کیفی دو حالته بر اساس متغیرهای مستقل است و شرایط استفاده از آن به‌گونه‌ای است که متغیر وابسته حتماً یک متغیّر دو حالته است. رگرسیون لجستیک روش آماری متعلق به گروه مدل‌های آماری خطی تعمیم یافته است که با استفاده از متغیّرهای مستقل، احتمال وقوع یک حادثه را مورد پیش‌بینی قرار می‌دهد. نکته مهم و اصلی در رگرسیون لجستیک این است که متغیر وابسته یک متغیر دوحالته است، یعنی اینکه می‌تواند فقط عدد صفر به معنی عدم وقوع و یک به معنی وقوع رویداد باشد. در مورد تهیه نقشه حساسیت یا احتمال تخریب جنگل، هدف رگرسیون لجستیک یافتن بهترین مدل برای تشریح روابط میان حضور و یا عدم حضور متغیر وابسته (تخریب جنگل) و مجموعه گروه‌هایی از متغیر مستقل است. رگرسیون

1 Crosstab

لجستیک از روش برآورد حداکثر احتمال[1] (MLE) برای پیدا کردن بهترین مجموعه پارامترهایی که مدل را بهتر برازش می‌کنند، استفاده می‌کند. خروجی مدل، ضریب‌های بین ۰ و ۱ خواهد داشت که از طریق تئوری فازی به احتمالات بالاتر از ۰/۵ ارزش ۱ (تخریب) و کمتر از ۰/۵ ارزش صفر (بدون تخریب) می‌دهد و نقشه اولین تخریب را تولید می‌کند. رگرسیون با این فرض بکار می‌رود که احتمال یک بودن متغیّر وابسته از منحنی لگاریتمی پیروی می‌کند و مقدار آن توسط رابطه (۱) تخمین زده می‌شود (ایستمن[2]، ۲۰۱۲):

$$P(y = 1\mathrm{I}X) = \frac{\exp(\Sigma BX)}{1} + \exp(\Sigma BX) \qquad (۱)$$

P احتمال یک بودن متغیر وابسته، X متغیّر مستقل، B پارامترهای برآورده شده و Y همان متغیّر وابسته است که در اینجا تخریب جنگل مد نظر است.

به‌منظور خطی‌سازی رابطه بالا، تغییر لگاریتمی روی آن صورت می‌گیرد و به‌صورت رابطه ۲ حاصل می‌شود.

$$\mathrm{Loge}\ (P/(1+P) = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + \ldots + b_kx_k + \text{error term} \qquad (۲)$$

این تغییر لگاریتمی سبب می‌شود احتمال پیش‌بینی شده در دامنه ۰ تا ۱ پیوسته باشد و خروجی مدل به‌صورت یک نقشه پیش‌بینی مکانی احتمال تخریب ارائه شود.

مدل به دست آمده با استفاده از درصدی از نقاط بر گرفته شده از نقشه اولیه تخریب به روش‌های نمونه‌برداری سیستماتیک یا تصادفی طبقه‌بندی شده به‌صورت ارائه آماره‌های ROC و Pseudo-R2 (مشخصه نسبی اجرایی) ارزیابی می‌شود. Pseudo-R2 برابر ۰/۲ به‌عنوان برازش مناسب در نظر گرفته می‌شود. ROC آماره مناسبی برای ارزیابی اعتبار مدل است و می‌توان از آن برای مقایسه تصویر مدل‌سازی شده با تصویر واقعی تخریب استفاده کرد. ارزش ۱ نشان دهنده توافق مکانی کامل و ارزش ۰/۵ نشان دهنده توافق کم مدل با واقعیت است (کلارک[3] و همکاران، ۱۹۸۶).

از ابزارهایی که می‌تواند مورد استفاده برنامه‌ریزان در جهت کنترل روند تغییرات پوشش جنگلی، قرار گیرد مدل‌ها هستند. برای برآورد پراکنش کاهش پوشش جنگلی شهرستان سردشت و تعین عوامل مؤثر بر آن از روش آماری رگرسیون لجستیک استفاده شد. رگرسیون لجستیک نسبت به سایر روش‌های آماری چند متغیره دارای مزایایی است. این مدل علاوه بر اینکه تابع، ارتباط مناسبی را با مدل رگرسیون خطی معمولی برقرار می‌کند، متغیرها در این روش می‌توانند هم شامل متغیرهای پیوسته و هم متغیرهای گسسته و یا هرگونه ترکیبی از این دو نوع متغیر می‌باشند. همچنین این مدل نسبت به دیگر روش‌های آماری چند متغیره به فرضیات کمتری نیاز دارد (لی و سامپته[4]، ۲۰۰۶).

---

1 Maximum Likelihood Estimation
2 Eastman
3 Clark
4 Lee

۳- نتایج و بحث

برای آگاهی از وجود یا عدم وجود خطاهای هندسی در تصاویر، از خطوط رقومی شده مربوط به آبراهه‌ها و جاده‌های موجود در منطقه کمک گرفته شد و خطای هندسی مشاهده نشد. همچنین به‌منظور کنترل دقت هندسی تصاویر خطوط رقومی مربوط به جاده‌ها از نقشه‌های رقومی مربوط به توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ بر روی تصاویر تطابق یافته انداخته شد و تطبیق مسیر راه‌ها در روی تصویر با خطوط وکتوری[1] مورد مقایسه قرار گرفت و دقت تطابق خوب ارزیابی گردید.

نتایج ارزیابی صحت نقشه‌های طبقه‌بندی در جدول ۱، ۲ و ۳ ارائه شده است. نتایج طبقه‌بندی نظارت شده در شهرستان سردشت از نظر صحت طبقه‌بندی با استفاده از ضرایب صحت کلی و ضریب کاپا، مورد مقایسه و آنالیز آماری قرار گرفت، به‌طوری‌که تصاویر سال‌های ۱۳۵۶، ۱۳۷۹ و ۱۳۹۷ به ترتیب دارای صحت کلی ۹۹/۸۸، ۹۹/۸۷ و ۹۹/۵۸ درصد است. با توجه به مقادیر بالای ۹۹ درصد صحت کلی، می‌توان از این نقشه‌ها برای تهیه نقشه تخریب استفاده کرد. برای ارزیابی صحت تصویر سال ۱۳۵۶، بخشی از منطقه که در هر سه دوره تغییر نکرده، انتخاب شده و ارزیابی دقت صورت گرفته است.

جدول ۱- نتایج ارزیابی روش طبقه‌بندی نظارت‌شده تصویر MSS سال ۱۳۵٦ با روش ماشین بردار پشتیبان

روش طبقه‌بندی	کاربری	صحت تولیدکننده	صحت کاربر	خطای کمیسیون	خطای امیسیون	ضریب کاپا	صحت کلی
ماشین بردار پشتیبان	جنگل	۹۹/۸۰	۹۹/۹۸	۰/۰۲	۰/۲۰	۰/۹۹۷۷	۹۹/۸۸
	غیرجنگل	۹۹/۹۸	۹۹/۷۹	۰/۲۱	۰/۰۲		

جدول ۲- نتایج ارزیابی روش طبقه‌بندی نظارت شده تصویر ETM^{+} سال ۱۳۷۹ با روش ماشین بردار پشتیبان

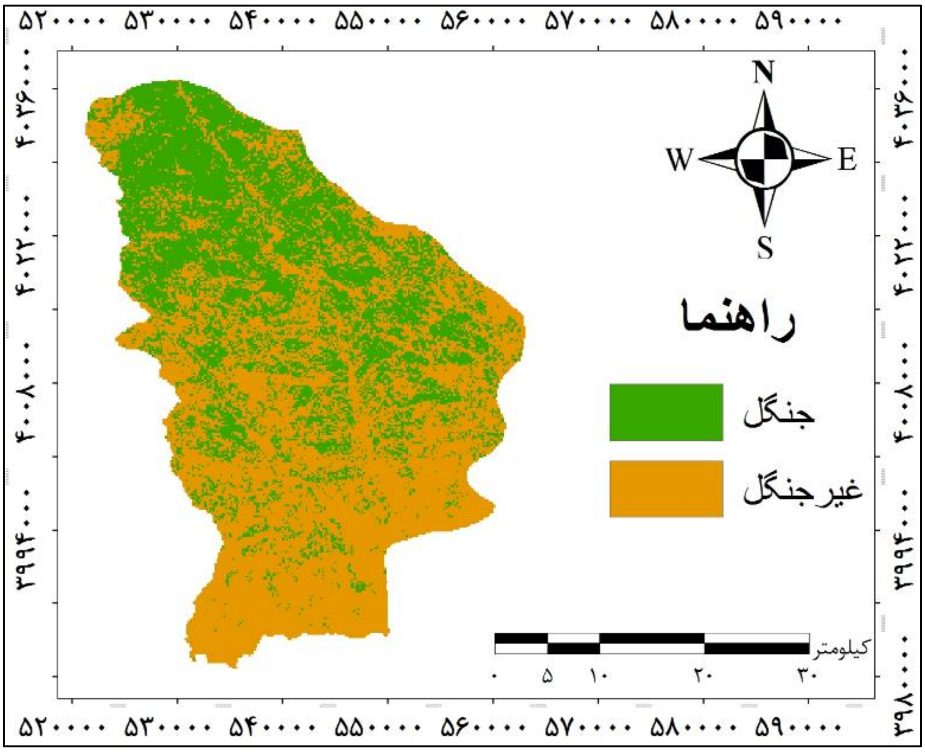
روش طبقه‌بندی	کاربری	صحت تولیدکننده	صحت کاربر	خطای کمیسیون	خطای امیسیون	ضریب کاپا	صحت کلی
ماشین بردار پشتیبان	جنگل	۹۹/٦۷	۹۷/۳۳	۲/٦۷	۰/۳۳	۰/۹۸۲٥	۹۹/٥۸
	غیرجنگل	۹۹/٥۷	۹۹/۹٥	۰/۰٥	۰/٤۳		

1 Vector

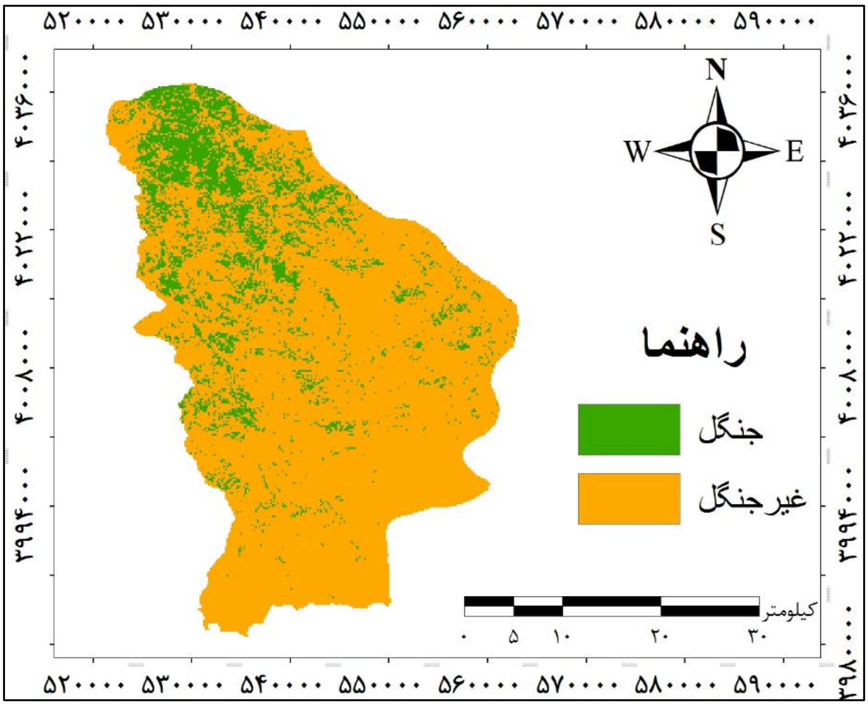
جدول ۳- نتایج ارزیابی روش طبقه‌بندی نظارت‌شده تصویر OLI سال ۱۳۹۷ با روش ماشین بردار پشتیبان

روش طبقه‌بندی	کاربری	صحت تولیدکننده	صحت کاربر	خطای کمیسیون	خطای امیسیون	ضریب کاپا	صحت کلی
ماشین بردار پشتیبان	جنگل	۹۹/۶۷	۹۷/۳۳	۲/۶۷	۰/۳۳	۰/۹۸۲۵	۹۹/۵۸
	غیرجنگل	۹۹/۵۷	۹۹/۹۵	۰/۰۵	۰/۴۳		

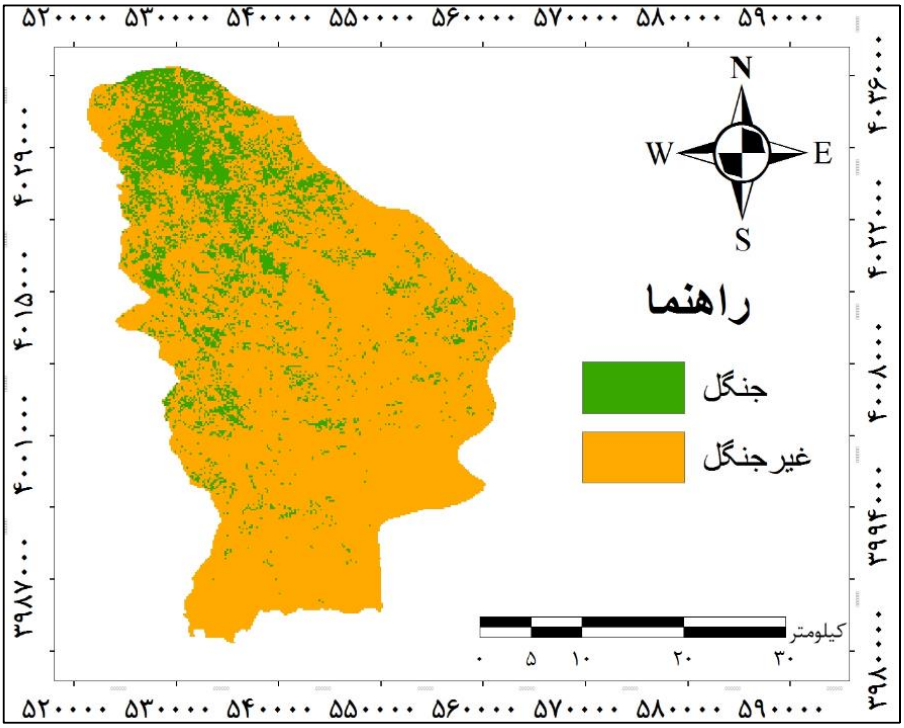
پس از پردازش تصاویر ماهواره‌ای نقشه میزان و موقعیت پراکنش سطوح جنگلی در منطقه موردمطالعه در سال ۱۳۵۶ با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای ام‌اس‌اس و سال ۱۳۷۹ با استفاده از تصویر ای‌تی‌ام‌پلاس و سال ۱۳۹۷ با استفاده از تصاویر OLI تهیه گردید. با همپوشانی نتایج طبقه‌بندی‌های سه دوره، نقشه تغییرات اتفاق افتاده به دست آمد (اشکال ۲، ۳ و ٤).



شکل ۲- نقشه گستره جنگل سال ۱۳۵٦ حاصل از الگوریتم ماشین بردار پشتیبان



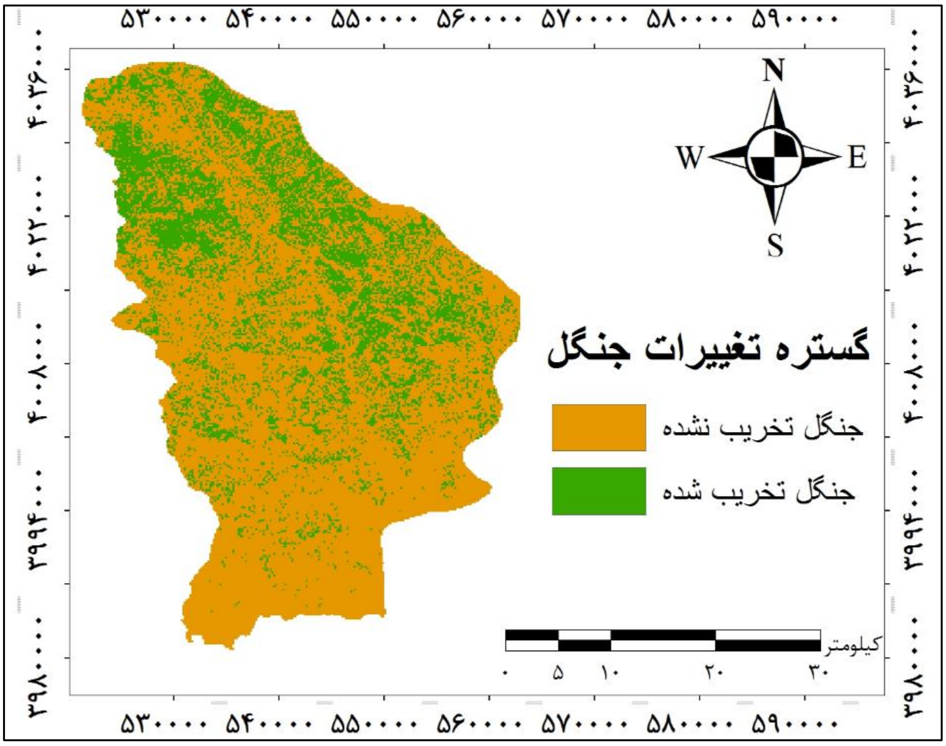
شکل ۳- نقشه گستره جنگل سال ۱۳۷۹حاصل از الگوریتم ماشین بردار پشتیبان



شکل ٤-نقشه گستره جنگل سال ۱۳۹۷ حاصل از الگوریتم ماشین بردار پشتیبان

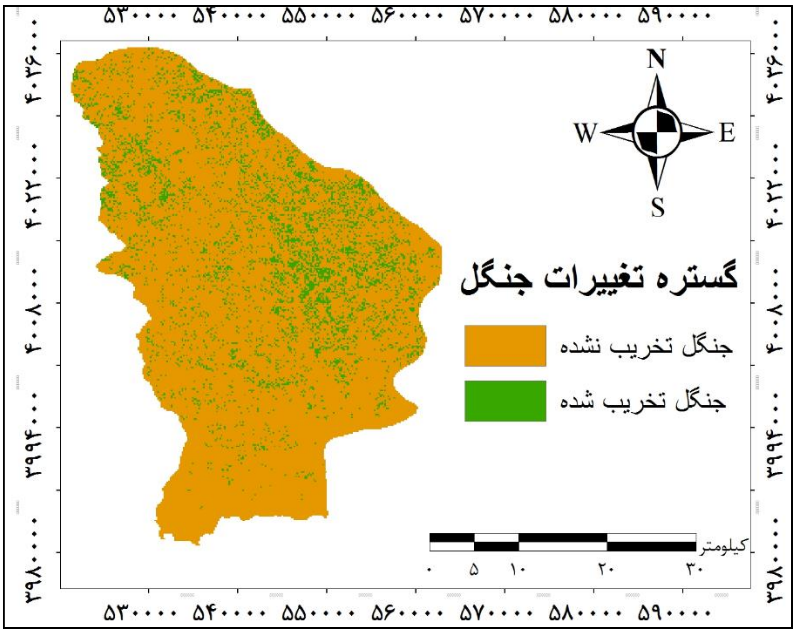
۳-۱-تعیین میزان و موقعیت کاهش پوشش جنگلی

از طریق روی‌هم‌گذاری[1] نقشه جنگل و غیرجنگل سال‌های ۱۳۵۶ تا ۱۳۷۹ و ۱۳۷۹ تا ۱۳۹۷ نقشه‌های تغییرات جنگل مربوطه تهیه و میزان و موقعیت تغییرات جنگل و غیرجنگل منطقه به دست آمد (شکل ۵ و ٦). نتایج حاصل از مقایسه دو نقشه حاصل از طبقه‌بندی مربوط به ابتدا و انتهای دوره زمانی مورد نظر نشان داد که در طی این مدت ٤١ ساله ۳۳۷۲۱ هکتار از سطح مناطق جنگلی کاسته شده است. درمجموع در طی این دوره در منطقه موردمطالعه ٢٤/٧٢ درصد سطح اولیه جنگل کاسته شده است (جدول ٤ و ۵).



شکل ۵- نقشه گستره تغییرات جنگل حاصل از رویهم‌گذاری سال ۱۳۵٦ تا ۱۳۷۹

1 Overlay



شکل ٦- نقشه گستره تغییرات جنگل حاصل از رویهم‌گذاری سال ۱۳۷۹ تا ۱۳۹۷

جدول ٤- میزان تغییرات مساحت پوشش جنگلی در دوره ۱۳٥٦ تا ۱۳۷۹

طبقات کاربری	مساحت سال ۱۳٥٦ (هکتار)	مساحت سال ۱۳۷۹ (هکتار)	میزان تغیر سطح (هکتار)	درصد تغییرات نسبت به مساحت کل
جنگل	٥٣٥٧٤/٣٧	۲۱۲۱۹/۷٥	-۳۲۳٥٤/٦۲	-۲۳/۷۲
غیر جنگل	۸۲۸۰۰/٦٥	۱۱٥۱٥٥/۲۷	+۳۲۳٥٤/٦۲	+۲۳/۷۲
جمع کل	۱۳٦۳۷٥/۰۲	۱۳٦۳۷٥/۰۲	_	_

جدول ٥- میزان تغییرات مساحت پوشش جنگلی در دوره ۱۳۷۹ تا ۱۳۹۷

طبقات کاربری	مساحت سال ۱۳۷۹ (هکتار)	مساحت سال ۱۳۹۷ (هکتار)	میزان تغییر سطح (هکتار)	درصد تغییرات نسبت به مساحت کل
جنگل	۲۱۲۱۹/۷٥	۱۹۸٥۳/۳۷	-۱۳٦٦/۳۸	-۱/۰۰
غیر جنگل	۱۱٥۱٥٥/۲۷	۱۱٦٥۲۱/٦٥	+۱۳٦٦/۳۸	+۱/۰۰
جمع کل	۱۳٦۳۷٥/۰۲	۱۳٦۳۷٥/۰۲	_	_

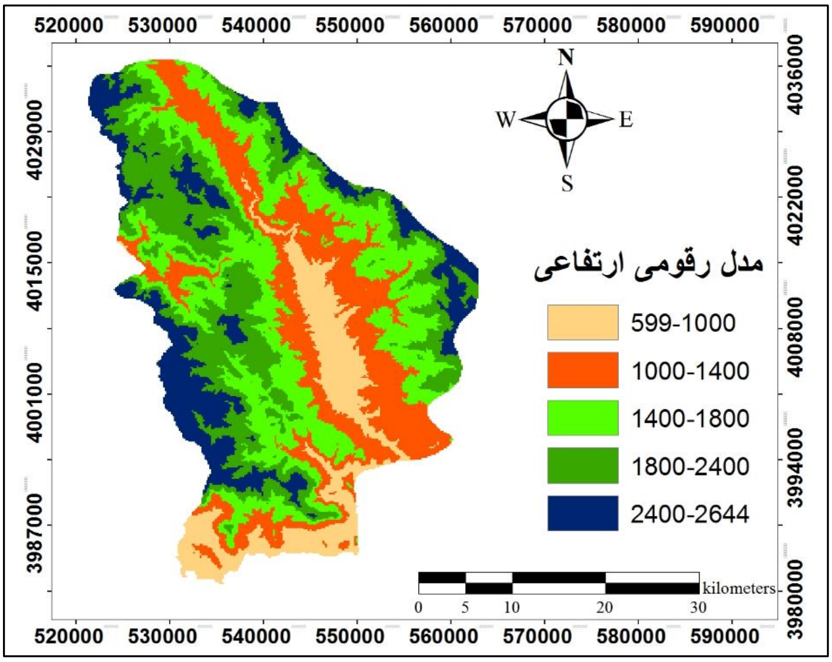
۳-۲- تهیه نقشه‌های عوامل مؤثر بر تخریب جنگل‌های شهرستان سردشت

از مهم‌ترین عوامل مؤثر در روند تخریب جنگل عوامل طبیعی و انسانی است (مسگری، ۱۳۸۱). در این تحقیق، نقشه شیب، جهت جغرافیایی، طبقات ارتفاعی به‌عنوان عوامل طبیعی مؤثر در تغییرات و فاصله از مناطق مسکونی،

جاده‌ها، و فاصله از آبراهه‌ها به‌عنوان نقش عوامل انسانی در وقوع تغییرات مدنظر قرار گرفت. ماتیو[1] و همکاران (۲۰۰٤)، گرونبرگ (۲۰۰۰) و میریام و تیلور[2] (۲۰۱۰)، جاده‌سازی را به‌عنوان عامل اصلی تخریب جنگل در مناطق موردمطالعه خود معرفی کردند.

۳-۲-۱- تهیه نقشه‌های مشخصه‌های اصلی فیزیوگرافی

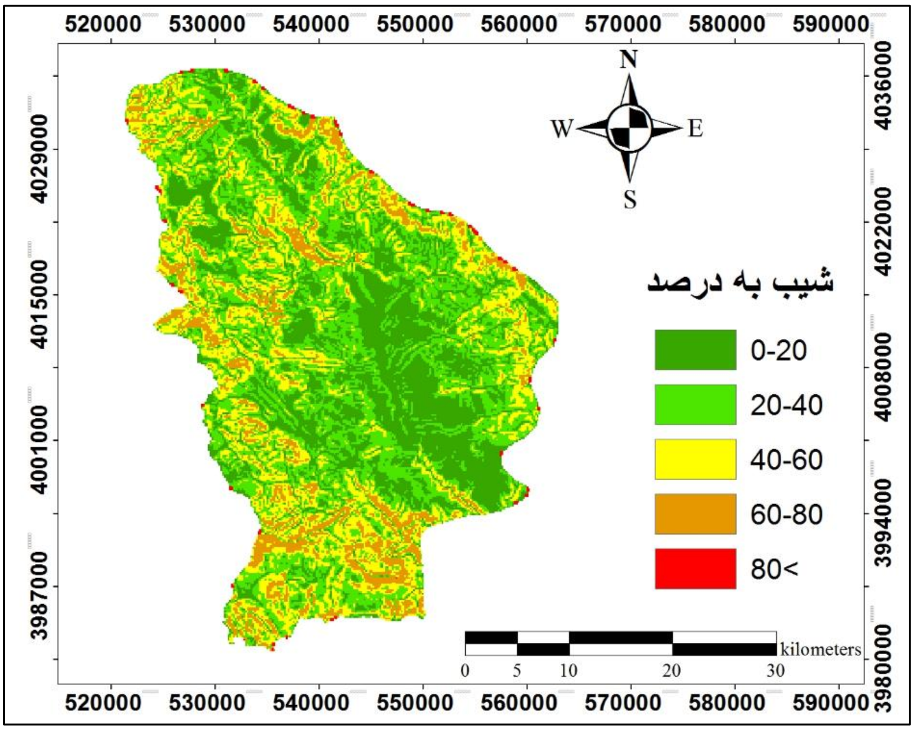
بر اساس لایه مدل رقومی ارتفاع (DEM) (مدل رقومی ارتفاع ۳۰ متری از سایت https://earthexplorer.usgs.gov) منطقه که بیانگر تغییرات ارتفاع در منطقه است، حداقل ارتفاع از سطح دریا در منطقه موردمطالعه ۵۵۰ متر و حداکثر ارتفاع از سطح دریا ۲٦٤٤ متر است (شکل ۷).



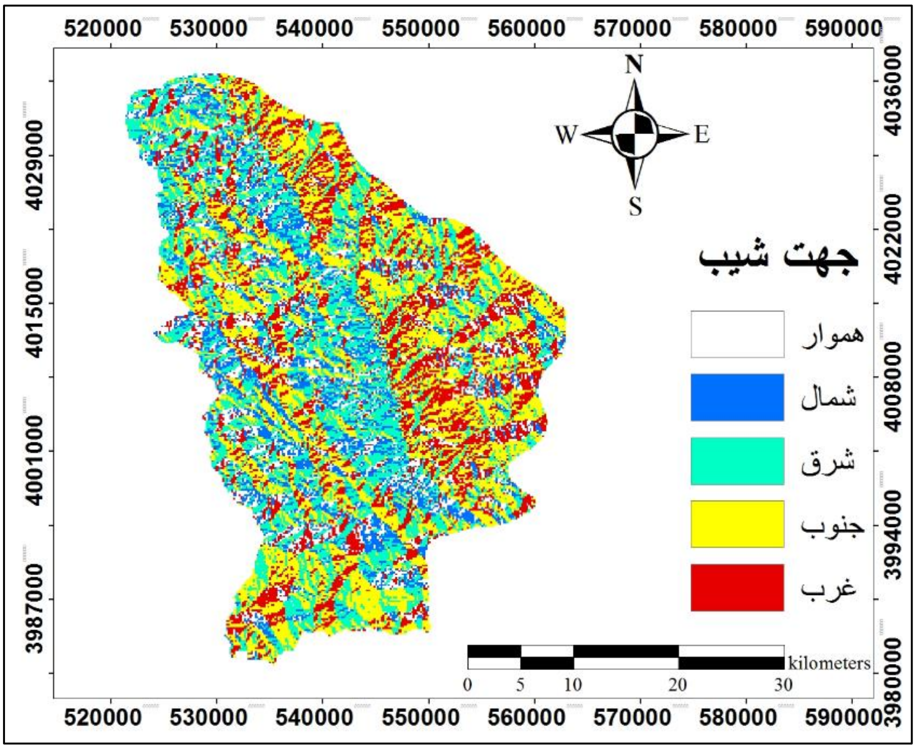
شکل ۷- نقشه طبقات ارتفاع از سطح دریا شهرستان سردشت

همچنین نقشه‌های شیب و جهت منطقه موردمطالعه در شکل‌های ۸ و ۹ نشان داده شده است که نشان می‌دهد اراضی منطقه را عوارضی با شیب کم (۰ تا ٤۰٪) تا زیاد (٦۰ تا ۸۰ درصد) تشکیل می‌دهد و جهت عمومی منطقه نیز شمالی و جنوبی است.

1 Matthew
2 Miriam and Taylor



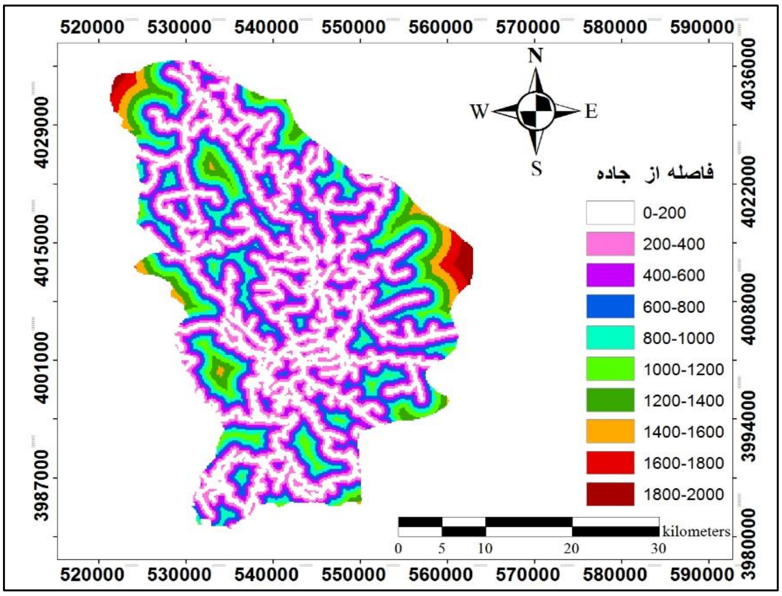
شکل ۸- نقشه طبقات درصد شیب در شهرستان سردشت



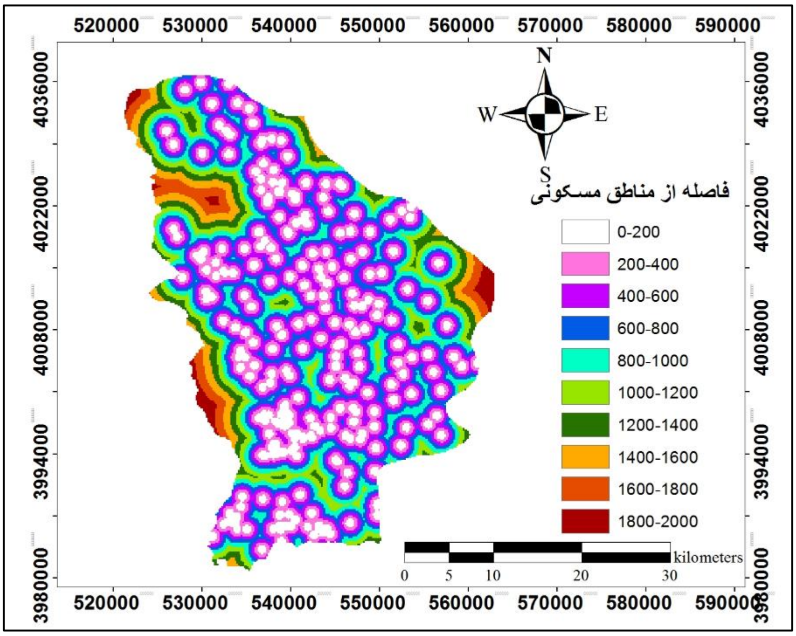
شکل ۹- نقشه طبقات جهت شیب در شهرستان سردشت

۳-۲-۲- تهیه نقشه فاصله از جاده‌ها، فاصله از مراکز مسکونی و آبراهه‌ها

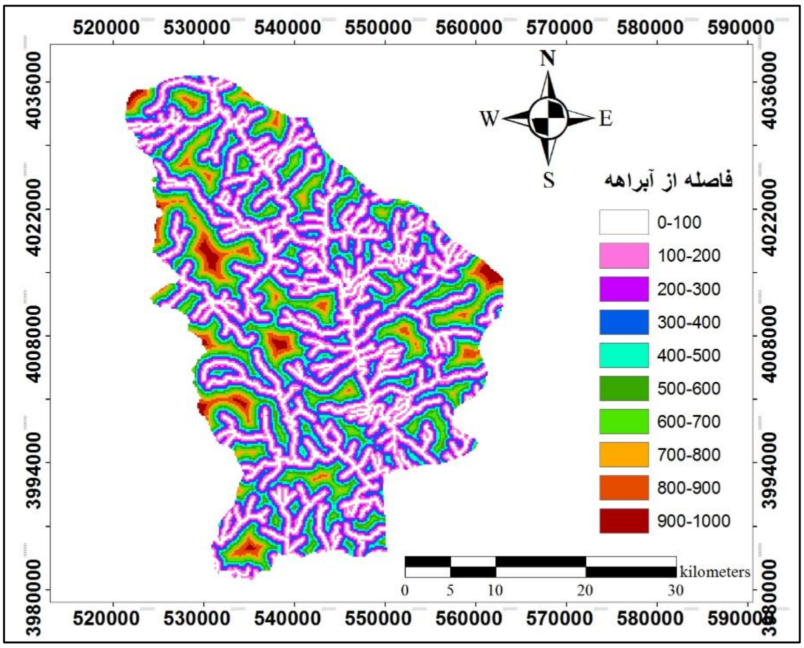
همچنین نقشه‌های مربوط به فاصله از جاده‌ها، فاصله از مناطق مسکونی و فاصله از آبراهه‌ها از مناطق تخریب در شکل‌های ۱۰، ۱۱و ۱۲ نشان داده شده است؛ که با توجه به پراکنش زیاد (و همگن) عوارض موردبررسی در سطح منطقه موردمطالعه، فاصله عوارض موردبررسی تا مناطق تخریب غالباً حداقل تا متوسط است.



شکل ۱۰-نقشه طبقات فاصله از جاده‌ها در شهرستان سردشت



شکل ۱۱-نقشه طبقات فاصله از مناطق مسکونی در شهرستان سردشت



شکل ۱۲-نقشه طبقات فاصله از آبراهه‌ها در شهرستان سردشت

۳-۲-۳- ارزیابی صحت نقشه احتمال کاهش پوشش جنگلی

به‌منظور ارزیابی مدل تهیه شده، از شاخص ویژگی عملیات نسبی (ROC[1]) و ضریب تشخیص کاذب[2] استفاده شده است که به ترتیب برای دوره اول و دوم ۸۱۲٤/۰، ۰/۸۵۲۰، ۰/۲۲۸۲ و ۰/۲۸۵۹ است. به دلیل قرار داشتن در محدوده موردقبول که برای شاخص ویژگی عملیات نسبی عددی بین ۰-۱ است که هرچه به ۱ نزدیک‌تر باشد، صحت مدل بیشتر می‌شود و برای ضریب تشخیص کاذب عددی بین ۰/۲-۰/٤ است که تأییدکننده قابلیت نسبتاً خوب مدل است.

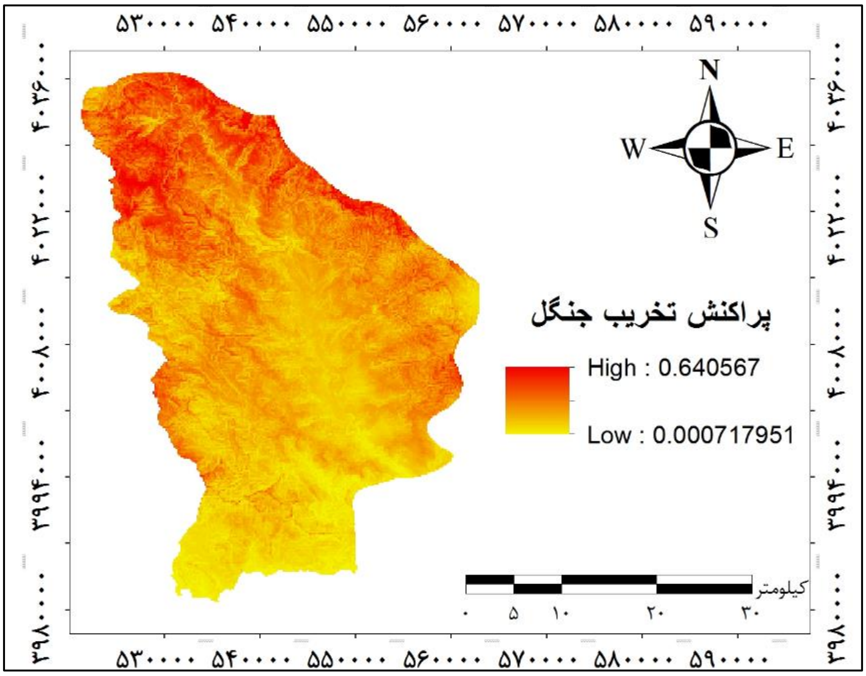
جدول ۷- ارزیابی صحت مدل رگرسیون لجستیک با استفاده از شاخص‌های ROC و $Pseudo\text{-}R^2$

شاخص	دوره ۱۳۵٦- ۱۳۷۹	دوره ۱۳۷۹- ۱۳۹٤
ROC	۰/۸۱۲٤	۰/۸۵۲۰
$Pseudo\text{-}R^2$	۰/۲۲۸۲	۰/۲۸۵۹

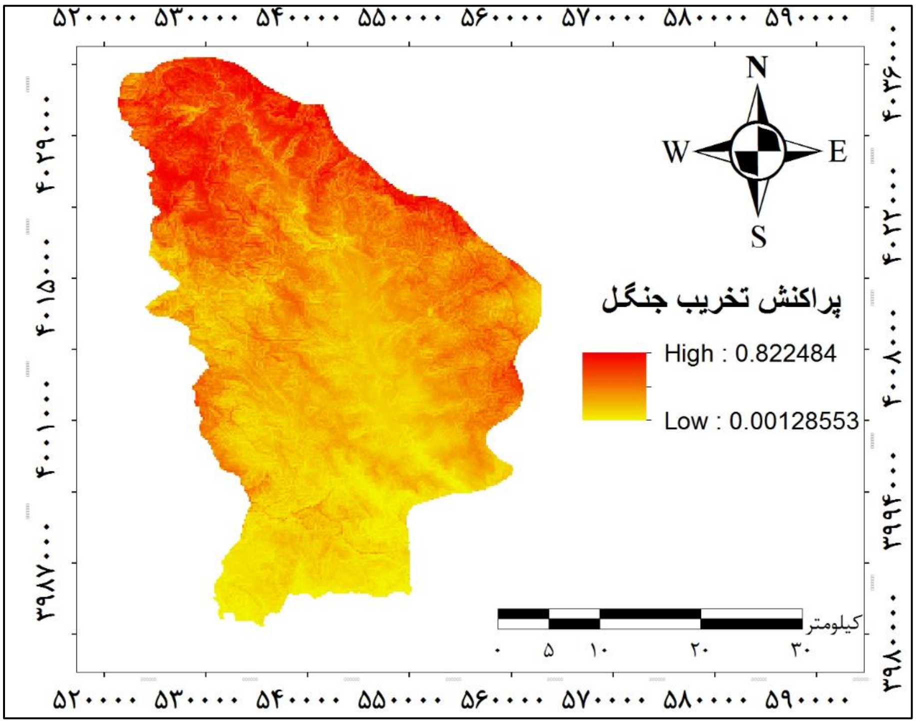
1 Receiver Operating Characteristic
2 $Pseudo\text{-}R^2$

۳-۲-٤- مدل‌سازی رگرسیون لجستیکی کاهش پوشش جنگلی شهرستان سردشت

بعد از مشخص شدن میزان و موقعیت مناطق تغییرات پوشش جنگلی، از رگرسیون لجستیک برای تعیین ارتباط عوامل مؤثر بر تغییر پوشش جنگلی و مدل‌سازی آن استفاده شد. داده‌های رقومی ارتفاع از سطح دریا، شیب زمین، جهت شیب زمین، فاصله تا جاده، فاصله تا روستا و فاصله تا آبراهه به‌عنوان متغیرهای مستقل، در محیط جی آی اس ساخته شدند سپس رابطه رگرسیون لجستیک بین تغییر پوشش ایجاد شده بین سال‌های ۱۳٥٦ تا ۱۳۷۹ و ۱۳۷۹ تا ۱۳۹۷ به‌عنوان متغیّرهای وابسته با پارامترهای ذکر شده به‌صورت جداگانه برقرار گردید. بر اساس این معادله، نقشه برآورد پراکنش مکانی تخریب جنگل‌های منطقه موردمطالعه به دست آمد (شکل ۱۳ و ۱٤). در اینجا ضریب ۰ (صفر) به معنی این است که متغیر مورد نظر هیچ‌گونه اثری بر متغیر وابسته نداشته است و هرچه عدد به ۱ نزدیک‌تر باشد تأثیر آن متغیر بر متغیر وابسته بیشتر است.



شکل ۱۳-نقشه برآورد پراکنش مکانی تخریب جنگل‌های منطقه موردمطالعه سال (۱۳٥٦)



شکل ١٤-نقشه برآورد پراکنش مکانی تخریب جنگل‌های منطقه موردمطالعه سال (١٣٩٧)

جدول رگرسیون لجستیک نشان می‌دهد که در شهرستان سردشت به ترتیب جهت شیب، شیب زمین و ارتفاع از سطح دریا مؤثرترین عوامل در تخریب هستند (جدول ٦).

جدول ٦- نتایج مدل رگرسیون لجستیک دوره‌های موردمطالعه

متغیّر مستقل	دوره ١٣٥٦-١٣٧٩	دوره ١٣٧٩-١٣٩٧
	ضریب	ضریب
ارتفاع از سطح دریا	٠/٠٠١٩	٠/٠٠٢٠
جهت شیب	٠/٠٥٢١	٠/٠٢١٤
فاصله تا مناطق مسکونی	-٠/٠٠٠١	-٠/٠٠٠٠١
فاصله تا جاده	-٠/٠٠٠٣	-٠/٠٠٠٤
شیب زمین	-٠/٠١٥٢	-٠/٠١٩٤
فاصله تا آبراهه	-٠/٠٠٠١	-٠/٠٠٠٠١
ضریب معادله رگرسیون (عرض از مبدأ)	-٤/٤٤٦٥	-٤/٨٤٢٢

یا به‌صورت مدل برای دوره ١٣٧٩ تا ١٣٩٧

- جهت شیب× ٠/٠٢١٤ + ارتفاع از سطح دریا× ٠/٠٠٢ +٤/٨٤٢٢-= مدل تخریب جنگل

فاصله تا آبراهه×۰/۰۰۰۰۱– شیب زمین× ۰/۰۱۹٤– فاصله تا جاده× ۰/۰۰۰٤– فاصله تا مناطق مسکونی× ۰/۰۰۰۰۱–

٤- نتیجه‌گیری

مدل‌سازی مکانی یک ابزار مناسب برای درک بهتر علت‌های تغییرات کاربری اراضی و پوشش زمینی محسوب می‌شوند. این تحقیق با هدف پیش‌بینی پراکنش مکانی تخریب جنگل‌های زاگرس و به‌منظور ردیابی عوامل مؤثر بر تخریب جنگل صورت گرفت.

در این پژوهش نقشه تغییرات پوشش جنگلی مربوط به دو دوره ۱۳۵٦ تا ۱۳۷۹ و ۱۳۷۹تا ۱۳۹۷ به‌عنوان متغیر وابسته و داده‌های رقومی ارتفاع، شیب زمین، جهت شیب زمین، فاصله تا جاده، فاصله تا روستاها و فاصله تا آبراهه به‌عنوان پارامترهای مؤثر در روند کاهش پوشش جنگلی به‌عنوان متغیرهای مستقل در برقراری رابطه رگرسیون لجستیک بکار گرفته شدند. خروجی رگرسیون لجستیک با شاخص Pseudo-R2 برای دوره ۱۳۵٦ تا ۱۳۷۹ برابر با ۰/۲۲۸۲ و شاخص ROC برابر ۰/۸۱۲٤ و برای دوره ۱۳۷۹ تا ۱۳۹۷ با شاخص Pseudo-R2 برابر با ۰/۲۸۵۹ و شاخص ROC برابر با ۰/۸۵۲۰ نشان‌دهنده برازش خوب مدل‌های به‌دست‌آمده با کاهش پوشش جنگلی واقعی و توانایی مناسب مدل در برآورد تغییرات جنگل در منطقه است، نتیجه حاصل شده با نتیجه برازش باقری و شتایی(۱۳۸۹) مطابقت دارد.

با توجه به ضرایب منفی متغیرهای فاصله از مناطق مسکونی و جاده‌ها می‌توان گفت با کمتر شدن فاصله نسبت به این عوامل، توسعه مناطق انسان‌ساخت، جاده‌سازی و افزایش جمعیت نقش مؤثرتری در تخریب جنگل‌های منطقه موردمطالعه ایفا می‌کنند. ماتیو و همکاران (۲۰۰٤)، گرونبرگ (۲۰۰۰) و میریام و تیلور (۲۰۱۰)، جاده‌سازی را به‌عنوان عامل اصلی تخریب جنگل در مناطق موردمطالعه خود معرفی کردند. یکی دیگر از عوامل مستقلی که در این تحقیق موردبررسی قرار گرفت و در مدل به آن ضریب تعلق گرفت، فاکتور شیب است. در این بررسی در مدل به فاکتور شیب ضریب منفی تعلق گرفت، که نشان دهنده ارتباط معنی‌دار میان تغییرات شیب و تخریب جنگل است یعنی با افزایش شیب از میزان تخریب جنگل‌های منطقه کاسته می‌شود. به دلیل اینکه تخریب عمده جنگل‌های منطقه در اثر فعالیت‌های اگروفارستری اتفاق افتاده است و شیب‌های پائین برای کشاورزی مناسب می‌باشند و درنتیجه مناطق مذکور بیشتر مورد تخریب واقع شده‌اند. در ارتباط با تأثیر عامل ارتفاع از سطح دریا روی تخریب جنگل‌های منطقه موردمطالعه نتایج نشان داد که در ارتفاعات پائین تخریب کمتر است که در خروجی رگرسیون لجستیک به آن ضریب مثبت تعلق گرفت؛ که نتیجه حاصله با نتایج تحقیقات پیرباوقار (۱۳۸۳) و رفیعیان (۱۳۸۵) که بیان کردند که در ارتفاعات بالا میزان تخریب جنگل بیشتر از ارتفاعات پائین است، هم‌خوانی دارد. در غرب به دلیل کوهستانی بودن در همه نقاط ارتفاعی بخصوص پایین‌بند پراکنده است و تفاوت ناچیز اختلاف ارتفاعی بین مراکز جمعیتی و

جنگل وجود دارد، درحالی‌که در شمال کشور با افزایش ارتفاع به‌طور چشم‌گیری روستاها و مراکز جمعیتی کاهش می‌یابد. ضریب جهت شیب نیز مثبت بوده و طبق بررسی صورت گرفته از منطقه موردمطالعه، مشاهده شد که تراکم درختان جنگلی در جهت‌های شمالی بیشتر و وجود لکه‌های غیرجنگلی در این مناطق نیز به نسبت کمتر از سایر جهت‌ها است. جهت‌های شرقی به دلیل برخورداری از گرما و پوشش علفی بیشتر نسبت به جهت‌های شمالی در طول زمان بیشتر مورد تعرض قرار گرفته و جنگل‌های واقع در این مناطق بیشتر تخریب یافته‌اند.

با توجه به نتایج به‌دست آمده نرخ متوسط سالانه تخریب جنگل در شهرستان سردشت که مساحت کل آن ۱۳۶۳۷۵/۰۲ هکتار است، ۸۸۷/۳۹ هکتار در سال برای کل دوره زمانی ٤۱ ساله موردمطالعه برآورد می‌شود. با توجه به میزان برآورد شده می‌توان گفت، به‌طور متوسط سالانه ۰/٦٥ درصد سطح اولیه جنگل در منطقه کاسته شده است، بنابراین میزان تخریب صورت گرفته در این منطقه بیشتر از متوسط جهانی (۰/۲ درصد) آن است. ازجمله دلایل این کاهش ۳۳۷۲۱ هکتاری از طبقه جنگل در طی ٤۱ سال را می‌توان استفاده‌های نادرست، جاده‌سازی‌های زیاد به دلیل مناطق مرزی و جنگ‌های متعدد، استفاده نادرست تفرجی، تحولات جمعیت، گسترش شهری و کارهای عمرانی و اثرات ناشی از آن در شهرستان سردشت اشاره کرد.

کتابنامه

باقری، رضا؛ شتایی، شعبان؛ ۱۳۸۹. مدل‌سازی کاهش گستره جنگل با استفاده از رگرسیون لجستیک (مطالعه موردی: حوزه آبخیز چهل چای استان گلستان). *مجله جنگل ایران*. ۲(۳): ۲٤۳–۲۵۲.

پیرباوقار، مهتاب؛ ۱۳۸۳. *بررسی تغییرات گستره جنگل در ارتباط با عوامل توپوگرافی و مناطق انسان‌ساخت (مطالعه موردی: جنگل‌های شرق استان گیلان)*. پایان‌نامه کارشناسی ارشد جنگلداری. دانشگاه تهران. ۱۳٦ص.

ثاقب‌طالبی، خسرو؛ ساجدی، تکتم؛ یزدیان، فرشاد؛ ۱۳۸۳. *نگاهی به جنگل‌های ایران*. انتشارات موسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع. ٥٦ ص.

جزیره‌ای، محمدحسین؛ ابراهیمی‌رستاقی، مرتضی؛ ۱۳۸۲. *جنگل‌شناسی زاگرس*. انتشارات دانشگاه تهران. ٥٦۰ صفحه

رفیعیان، امید؛ درویش‌صفت، علی‌اصغر؛ نمیرانیان، منوچهر؛ ۱۳۸٥. تعیین تغییرات گستره جنگل‌های شمال کشور بین سال‌های ۷۳ تا ۸۰ با استفاده از تصاویر سنجنده ETM^+. *مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی*. ۱۰(۳): ۲۷۷– ۲۸٦.

شادمانی، سعدالله؛ قدس‌خواه دریایی، مهرداد؛ قجر، اسماعیل؛ حیدری‌صفری کوچی، ابوذر؛ ۱۳۹۹. مدل‌سازی درجات تخریب جنگل‌های حوضه ۱۲ ماسال استان گیلان با استفاده از رگرسیون لجستیک. *مجله محیط‌زیست طبیعی*. منابع طبیعی ایران. دوره ۷۳. شماره ۱. ۱–٤۹.

مسگری، سعید؛ ۱۳۸۱. بررسی تغییرات سطوح جنگل‌ها با استفاده از GIS و سنجش‌ازدور. تهران. طرح پژوهشی دانشکده فنی. دانشگاه خواجه‌نصیرالدین طوسی.

مهدوی، علی؛ رنگین، سمیه؛ مهدی‌زاده، حسین؛ میرزایی‌زاده، وحید؛ ۱۳۹۷. مدل‌سازی تخریب جنگل‌های زاگرس با استفاده از رگرسیون لجستیک (مطالعه موردی: جنگل‌های چرداول استان ایلام). *مجله جغرافیا و پایداری محیط*. ۸(۲۷). ۱-۱۳.

Adhikari S, Fik T, Dwivedi P., 2017. Proximate causes of land use and land cover change in Bannerghatta national park: a spatial statistical model, pp 1-23

Chavez PSJ., 1996. Image-Based Atmospheric Corrections -Revisited and Improved. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing (PE&RS). 62: 1025–1036.

Cheng J, Masser I., 2003. Urban growth pattern modeling: a case study of Wuhan city, PR China. Landscape and urban planning, 62, 199-217.

Clark WAV, Peter LH., 1986. Statistical Methods for Geographers. 1st Edition. Chichester: Wiley.

Dendoncker N, Patrick B, Mark R., 2006. A Statistical Method to Downscale Aggregated Land Use Data and Scenarios. Journal of Land Use Science 1(2–4): 63–82.

Eastman JR., 2012. Idrisi Production, Clark Labs-Clark University IDRISI Selva Tutorial.

Ghajar I, Najafi A, Torabi SA, Boston K., 2012. Rock share estimation in forest road excavation using the Ordinal Logistic Regression (OLR) and the Analytical Hierarchy Process (AHP). Iranian Journal of Forest and Poplar Research 20(2): 313-323. (In Persian).

Gruenberg WD, Curtin P, Shaw W., 2000. Deforestation Risk for the Maya Biosphere Reserve, Guatemala. School of Renewable Natural Resources, The University of Arizona, Tucson, Arizona, USA, 266 pp.

Lee S, Sampath T., 2006. Landslide Susceptibility Mapping in the Damrei Romel Area, Cambodia Using Frequency Ratio and Logistic Regression Models. Environmental Geology, volume 50, pages 847–855.

Lin YP, Hong, NM, Wu PJ, Verburg PH., 2007. Impacts of land use change scenarios on hydrology and land use patterns in the Wu-Tu watershed in northern Taiwan. Landscape and Urban Planning, 80, 111-126.

Matthew L, Robert J, Smith RJ, Nigel LW., 2004. Mapping and predicting deforestation patterns in the lowlands of Sumatra. Biodiversity and Conservation, 13: 1809–1818.

Millington J, Perry DA, George L, Romero-Calcerrada R., 2007. Regression techniques for examining land use/cover change: A case study of a Mediterranean landscape. Ecosystems, 10, 562-578.

Miriam SW, Taylor VS., 2010. Modeling social and land-use/land-cover change data to assess drivers of smallholder deforestation in Belize. Applied Geography 30: 329–342.

Phompila C, Lewis M, Ostendorf B, Clarke K., 2017. Forest cover changes in Lao tropical forests: physical and socio-economic factors are the most important drivers. Land, 6(23), 1-14.

Pirbavaghar M., 2015. Deforestation modelling using logistic regression and GIS. Journal of Forest Science, 61(5), 193-199. (In Persian).

Salman Mahiny A, Turner BJ., 2003. Modeling past vegetation change through remote sensing and GIS: a comparison of neural networks and logistic regression methods. School of Resources, Environment and Society, the Australian National University, Canberra 0200, Australia.

Schneider LC, Pontius JRG., 2001. Modeling land-use change in the Ipswich watershed, Massachusetts, USA. Agriculture Ecosystems & Environment, 85, 83-94.

Sumon N, Mizoue N, Zawhtum N, Kajisa T, Yoshida S., 2012. Factors affecting deforestation and forest degradation in selectively logged production forest: A case study in Myanmar. Article in Forest Ecology and Management, 267, 190-198.

Vu QM, Le QB, Frossard E, Vlek PLG., 2014. Socio-economic and biophysical determinants of land degradation in Vietnam: An integrated causal analysis at the national level. Land Use Policy, 36, 605-617.

Vol.10, No.4, Winter 2022, pp.93-112 ISSN (Print):2322-1682 ISSN (Online):2383-3076

Journal of Geography and Environmental Hazards

RESEARCH ARTICLE DOI: 10.22067/geoeh.2021.71162.1080 Open access

Investigating the Potential of Erosion-Prone Areas with ICONA Models, Support Vector Machine, Chaid and Random Forest (Case Study: Gonabad Basin)

Mohammadali Zanganeh Asadi [a], Mahnaz Naemitabar [b*], Rahman Zandi [c]

[a] *Associate Professor in Geomorphology, Hakim Sabzevari University, Faculty of Geography and Environmental Sciences, Sabzevar, Iran*
[b] *PhD Student in Geomorphology, Hakim Sabzevari University, Faculty of Geography and Environmental Sciences, Sabzevar, Iran*
[c] *Assistant Professor, Department of Remote Sensing and Geographic Information System, Faculty of Geography and Environmental Sciences, Hakim Sabzevari University, Sabzevar, Iran*

Received: 2 June 2021 ***Revised: 25 July 2021*** ***Accepted: 14 August 2021***

Abstract

Experimental models for estimating erosion have been developed for a specific area and their calibration is necessary for use in conditions other than their own location. Examining the accuracy of experimental models for estimating erosion can lead to better estimates of sediment load and thus better design of soil and water protection operations. Therefore, it is necessary to identify high-risk areas of erosion to control and reduce erosion and sediment production. The study aimed to investigate the accuracy and capability of ICONA, support vector machine, Chaid and random forest models in estimating erosion. First, digital layers of variables affecting erosion including slope, geological formation, land use, soil, height, slope direction, surface curvature, waterway network density, distance from the waterway, fault density, distance from the fault, and topographic moisture index (Twi) were prepared. To compare different models, statistical indices of correlation coefficient (R) and absolute magnitude of error (MAE) were used. The results showed that among the mentioned models, the support vector machine model, ICONA and random forest with M7, M9 and M12 pattern had the highest accuracy with correlation coefficient of 0.899, 0.845, and 0.921 and the lowest mean absolute value. It has error MAE = 0.711, MAE = 0.721, and MAE = 0.628. According to the study of effective factors in soil erosion model, it is concluded that the parameters of the slope, geological formation, land use, soil, distance from the waterway, and topographic moisture index (Twi) are more sensitive to erosion and the factors affecting erosion in these areas are more active. Most of the study area is part of a very high to high erosion class that these classes are mainly located in the center of the area. Most areas at high to severe erosion risk are located in the sloping topographic unit.

Keywords: Soil Erosion, Gonabad Basin, Experimental Models, Statistical Indicators, Correlation Coefficient

*. Corresponding author: Mahnaz Naemitabar E-mail: mahnaznaemi70@gmail.com Tel: + 989113690648

How to cite this Article: Zangeneh Asadi, M., Naemi Tabar, M., Zandi, R. (2021). Investigating the potential of erosion-prone areas with ICONA models, support vector machine, Chaid and random forest (Case study: Gonabad Basin). *Journal of Geography and Environmental Hazards,* 10(4), 99-120.
doi: 10.22067/geoeh.2021.71162.1080

Geography and Environmental Hazards
Volume 10, Issue 4 - Number 40, Winter 2022
https://geoeh.um.ac.ir
https://dx.doi.org/10.22067/geoeh.2021.71162.1080

جغرافیا و مخاطرات محیطی، سال دهم، شمارهٔ چهلم، زمستان ۱٤۰۰ صص ۱۱۲-۹۳

مقاله پژوهشی

بررسی پتانسیل مناطق مستعد فرسایش با مدل‌های ICONA، ماشین بردار پشتیبان، چاید و جنگل تصادفی (مطالعه موردی: حوضه گناباد)

محمدعلی زنگنه اسدی- دانشیار ژئومورفولوژی، دانشکده جغرافیا و علوم محیطی، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران
مهناز ناعمی تبار[1]- دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، دانشکده جغرافیا و علوم محیطی، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران
رحمان زندی- استادیار گروه سنجش‌ازدور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشکده جغرافیایی، دانشکده جغرافیا و علوم محیطی، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران

تاریخ دریافت: ۱٤۰۰/۳/۱۲ تاریخ بازنگری: ۱٤۰۰/۵/۳ تاریخ تصویب: ۱٤۰۰/۵/۲۳

چکیده

مدل‌های تجربی برآورد فرسایش برای یک منطقه خاص تهیه شده‌اند و واسنجی آن‌ها برای استفاده در شرایطی غیر از محل تهیه آن‌ها ضروری است. بررسی دقت مدل‌های تجربی برای تخمین فرسایش می‌تواند منجر به برآوردهای بهتر از بار رسوبی و درنتیجه طراحی بهتر عملیات حفاظت خاک و آب گردد. لذا شناسایی مناطق پر خطر فرسایش جهت کنترل و کاهش فرسایش و تولید رسوب ضروری است. هدف از این پژوهش بررسی دقت و قابلیت مدل‌های[2] ICONA ماشین بردار پشتیبان، چاید و جنگل تصادفی در تخمین فرسایش است. ابتدا لایه‌های رقومی متغیرهای مؤثر در فرسایش شامل شیب، سازند زمین شناسی، کاربری اراضی، خاک، ارتفاع، جهت شیب، انحنا سطح، تراکم شبکه آبراهه، فاصله از آبراهه، تراکم گسل، فاصله از گسل و شاخص رطوبت توپوگرافی (Twi) تهیه گردید. در این پژوهش به‌منظور مقایسه مدل‌های مختلف از شاخص‌های آماری ضریب همبستگی (R) و قدر مطلق خطا (MAE) استفاده شده است. بررسی نتایج نشان دادند که از میان مدل‌های نام برده مدل ماشین بردار پشتیبان، ICONA و جنگل تصادفی با الگوی M7، M9 و M12 بیشترین دقت را با ضریب همبستگی(۰/۸۹۹)، (۰/۸٤۵) و

---

[1] نویسنده مسئول: ۰۹۱۱۳٦۹۰٦٤۸ Email: mahnaznaemi70@gmail.com

[2] Institute Conservation Of Nature

نحوه ارجاع به این مقاله:

زنگنه اسدی، محمدعلی؛ ناعمی تبار، مهناز؛ زندی، رحمان؛ ۱٤۰۰. بررسی پتانسیل مناطق مستعد فرسایش با مدل‌های ICONA، ماشین بردار پشتیبان، چاید و جنگل تصادفی (مطالعه موردی: حوضه گناباد). جغرافیا و مخاطرات محیطی. ۱۰(٤). صص ۱۱۲-۹۳. https://dx.doi.org/10.22067/geoeh.2021.71162.1080

(۰/۹۲۱) و کمترین میانگین قدر مطلق خطـا (MAE =۰/۷۱۱)، (MAE =۰/۷۲۱) و (MAE =۰/٦۲۸) دارد. با توجه به مطالعه عوامل مؤثر در مدل فرسایش خاک این نتیجه به دست می‌آید که پارامترهای شیب، سازند زمین‌شناسـی، کـاربری اراضـی، خـاک، فاصـله از آبراهـه و شـاخص رطوبـت توپـوگرافی (Twi) حساسیت بیشتری نسبت به فرسایش داشته و عوامل مؤثر بر فرسایش در این مناطق فعالیت بیشتری دارنـد. بخش اعظم منطقه موردمطالعه، جزو طبقه فرسایشی خیلی زیاد تا زیاد قرار دارد که بـه‌طـور عمـده ایـن کلاس‌ها در مرکز منطقه قرار گرفته‌اند. بیشترین مناطق تحـت خطـر فرسـایش بـالا تـا شـدید، در واحـد توپوگرافی با شیب زیاد واقع شده‌اند.

کلیدواژه‌ها: فرسایش خاک، حوضه گناباد، مدل‌های تجربی، شاخص‌های آماری، ضریب همبستگی.

۱- مقدمه

فرسایش خاک یکی از عوامل مهم تخریب خاک در دنیا است که اثرات منفـی شـدیدی روی خـاک هـا دارد. ایـن فرآیند اثرات غیرقابل بازگشتی در طول زمان بر روی خاک‌ها باقی می‌گذارد (خسروی اقدم و همکـاران، ۱۳۹۸). ایـران از نظر وسعت و شدت فرسایش خاک در میان کشورهای بسیار آسـیب دیـده جهـان قـرار دارد (کرمـی و همکـاران، ۱۳۹۸). انسان بر فرآیندهای فرسایش طبیعی تأثیر می‌گذارد و باعث افـزایش و مشـاهده قابـل توجـه میـزان فرسـایش خاک در مناظر می‌شود (بورلی و همکاران[1]، ۲۰۲۱). در دهه‌های اخیر فرســایش خاک توسط آب، بـا تغییـر آب‌وهـوا و کاهش تدریجی منابع طبیعی نسبت به جمعیت‌های انسانی به یک مسئله جهانی تبدیل شـده اسـت. عـلاوه بـر ایـن، خاک به شیوه‌های مختلف در معرض خطرات بیشتری ازجمله فعالیت‌های نامناسب کشاورزی، قطع درختان جنگلـی، چرای بیش‌ازحد، آتش‌سوزی جنگل و فعالیت‌های ساخت‌وساز قرار گرفته اسـت (خـالقی و همکـاران، ۱۳۹۹). نـرخ فرسایش خاک شاخص جامع برای ارزیابی درجه توسعه‌یافتگی و پایـداری برنامـه‌هـای مـدیریتی سـرزمینی کشـورها است و از طرفی داشتن اطلاعات مکانی در ارتباط با پدیده‌ها این امکان را فراهم می‌کند که همبستگی بین پدیـده‌هـا و الگوی فضایی بین آن ها شناسایی شود. درنتیجه شناخت الگوی فضایی فرسایش خاک، یک کلید بـرای درک دینامیـک و شناسایی دلایل زیستی و غیر زیستی فرسایش خاک است و تعیین الگوی پراکنش شدت فرسـایش و رسـوب مـی-تواند به ارائه راهکارهای مناسب برای کاهش و مقابله با فرسایش و رسـوب در حـوزه آبخیـز کمـک کنـد (مزبـانی و همکاران،۱٤۰۰). استفاده از مدل‌های فرسایشی، رویکردی بهینه در زمینه بررسی فرسایش، تولیـد رسـوب و شناسـایی مناطق بحرانی محسوب می‌شود (رضازاده و همکاران، ۱۳۹۷). در مدل‌های مختلـف فرسـایش خـاک، شـاخص‌هـای متفاوتی برای فرسایش‌پذیری توسعه داده شده است. استفاده از مدل‌های فرسایشی، رویکردی بهینـه در زمینـه بررسـی فرسایش، تولید رسوب و شناسایی مناطق بحرانی محسوب می‌شود. مدل‌های فرسایشی می‌تواننـد بـه‌عنـوان ابزارهـای

1 Borrelli et al
2 Moche et al

پیش‌بینی برای ارزیابی هدر رفت خاک، برنامه‌ریزی حفاظت، موجودی فرسایش خاک و برنامه‌ریزی پروژه‌ها مورداستفاده قرار گیرند. مدل‌ها می‌توانند به‌عنوان ابزاری برای درک فرایندهای فرسایش و تأثیر آن‌ها مورداستفاده قرار گیرند (موشه و همکاران[۲]، ۲۰۱۳). در این راستا مطالعات متعددی در داخل و خارج کشور انجام گرفته که به چند مورد از آن‌ها اشاره می‌شود. کریستو و همکاران[۱] (۲۰۱٤) بر اساس ویژگی‌های زمین فضایی مدل‌های برآورد فرسایش، آن‌ها را طبقه‌بندی نمودند و نتیجه گرفتند که برای دست کاری مقیاس جهت افزایش کارایی مدل تخمین فرسایش، دو نظریه فضایی سلسله مراتبی و فراکتال برای بهره‌برداری بیشتر در آینده پیشنهاد می‌شود. ترن تی ترن تی فونگ و همکاران[۲](۲۰۱٤) برای شبیه‌سازی فرسایش خاک بالا دست حوضه رود بو در ویتنام مرکزی، بریک و همکاران[۳](۲۰۱٦) برای برآورد بار رسوب در حوضه کالایا در شمال کشور مراکش، دورو و همکاران[٤](۲۰۱۸) برای پیش‌بینی جریان رودخانه و بار رسوب حوضه آنکارا در ترکیه از مدلSWAT استفاده کردند. نتایج مطالعات نشان دادند این مدل در شبیه‌سازی هیدرولوژیکی و برآورد بار رسوب می‌تواند در حوضه‌ای با ویژگی‌های مشابه مورداستفاده قرار گیرد. یمانی و همکاران (۱۳۹۷) در مقاله‌ای تحت عنوان کارایی آنالیز کمی پارامترهای ژئومورفومتریک در تهیه نقشه حساسیت فرسایش خاک به این نتایج دست یافتند که مدل VIKORدارای دقت پیش-بینی بالاتری به روش فاکتور ترکیب است. آرشاد اشرف[۵](۲۰۲۰) در پژوهشی تحت عنوان مدل‌سازی خطر فرسایش خاک در شرایط مختلف کاربری اراضی و بارندگی در حوضه رودخانه سان به این نتایج دست یافت که عوامل تأثیرگذار منجر به نرخ فرسایش بالاتر تحت سناریوهای متغیر تغییر محیطی است. شدت فرسایش در حدود ۱۵ تن در هکتار در سال در خاک آزاد و ۱۰/۳ تن در هکتار در سال در اراضی کشاورزی پیش‌بینی شده است. کومار و همکاران[٦](۲۰۱۹) در پژوهشی تحت عنوان بررسی مقایسه‌ای مدل های مختلف فرسایش خاک و عملکرد رسوب در حوضه چاتیسگر هند به این نتایج دست یافتند که مدل RUSLE برای فرسایش خاک و مدل MUSLE برای عملکرد رسوب قابل‌اطمینان‌تر است. با در نظرگرفتن لزوم مطالعه فرسایش و تخمین مقادیر هدر رفت خاک توسط عوامل تأثیرگذار فرسایندگی و فرسایش‌پذیری، این پژوهش سعی دارد تا با استفاده از مدل‌های ICONA، ماشین بردار پشتیبان، چاید و جنگل تصادفی مقادیر پارامترهای مؤثر در فرسایش خاک را برآورد نماید و در پایان با تلفیق لایه‌های رقومی عوامل مؤثر در نقشه پهنه‌بندی فرسایشی تهیه شود؛ بنابراین فرضیات پژوهش حاضر تأکید بیشتر بر تخمین مقادیر هدر رفت خاک، تهیه نقشه پهنه‌بندی فرسایش جهت تعیین میزان فرسایش‌پذیری خاک است.

---

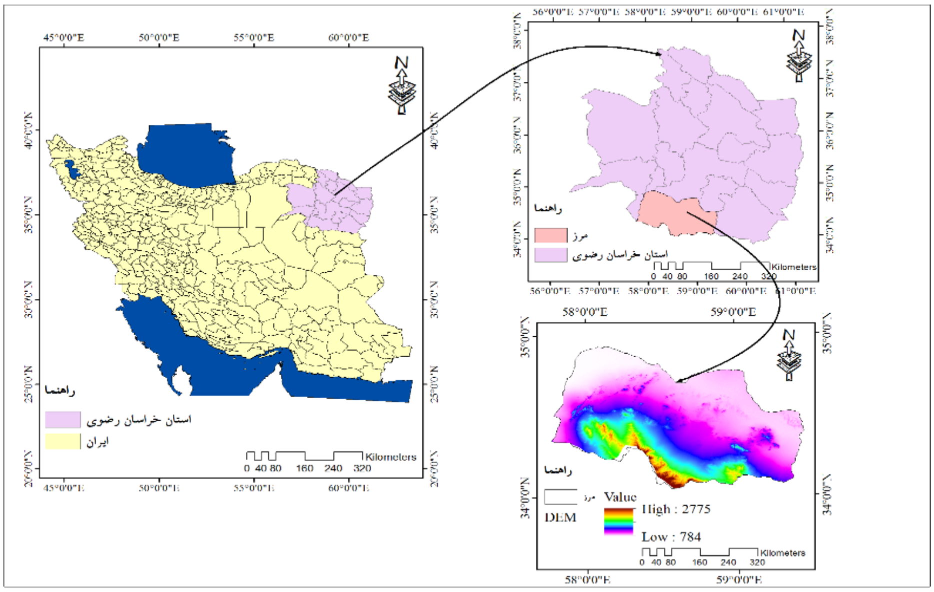
1 Christos et al
2 Tran Thi Phoung etal et al
3 Briak et al
4 Duru et al
5 Arshad Ashraf
6 Kumar et al

۲-مواد و روش‌ها

در پژوهش حاضر برای ارزیابی فرسایش خاک حوضه از چهار مدل ICONA، ماشین بردار پشتیبان، چاید و جنگل تصادفی استفاده گردید و بین نتایج این مدل‌ها در برآورد فرسایش خاک مقایسه انجام گرفت. داده‌های ارتفاع، شیب، جهت شیب و انحنا سطح از مدل رقومی ارتفاع با قدرت تفکیک ۲۰ متر، داده‌های تراکم شبکه آبراهه، فاصله از آبراهه، تراکم گسل و فاصله از گسل از نقشه توپوگرافی ۱/۵۰۰۰۰، نقشه زمین شناسی ۱/۲۵۰۰۰، کاربری اراضی از تصاویر ماهواره‌ای لندست ETM^+ (۲۰۲۰-۲۰۱۱) با دقت مکانی ۱۵ متر، سازندهای لیتولوژی از نقشه زمین شناسی ۱/۲۵۰۰۰۰، خاک از نقشه خاک شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ استخراج شدند. به منظور نمره دهی به عوامل فرسایش در این چهار مدل از لایه‌های اطلاعاتی شیب، سازندهای زمین شناسی، کاربری اراضی، خاک، ارتفاع، جهت شیب، انحنا سطح، تراکم شبکه آبراهه، فاصله از آبراهه، تراکم گسل، فاصله از گسل و رطوبت توپوگرافی (Twi) استفاده گردید.

۲-۱- موقعیت منطقه موردمطالعه

شهرستان گناباد در جنوب استان خراسان رضوی و در محدوده طول جغرافیایی ۵۸ درجه و عرض جغرافیایی ۳٤ درجه و ۳۰ دقیقه قرار دارد. مساحت این شهرستان ۵۹۰۲ کیلومترمربع است. این شهرستان در اقلیم خشک و نیمه‌خشک حاشیه کویر قرار دارد (شکل ۱). واحدهای سنگی منطقه شامل سنگ‌های آذر آواری همانند ایگنمبریت، آگلومرا، توف اسیدی، سنگ‌های آتشفشانی شامل ریولیت، داسیت و تراکیت (سنوزوئیک) و رخساره‌های شیل و ماسه سنگ شمشک (ژوراسیک میانی) است. از نظر ساختاری، ناحیه مورد نظر، با توجه به تقسیم‌بندی پهنه‌های رسوبی- ساختاری عمده ایران در شمال شرقی خرده قاره ایران مرکزی قرار دارد. سازند شمشک (ژوراسیک میانی) بیشترین گسترش را در سطح منطقه دارد. ساختمان‌های زمین‌شناسی متنوع مانند چین‌های برگشته، چین‌های خوابیده، گسل‌های راست لغز و راندگی در ناحیه یافت می‌شود.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه

۲-۲- روش انجام پژوهش

۲-۲-۱ مدل ICONA

مدل مذکور توسط انجمن علمی حفاظت از طبیعت اسپانیا ارائه شده است. این مدل در کشورهای اروپایی و بسیاری از مناطق مدیترانه‌ای قابل استفاده بوده و در میان بسیاری از راه‌های مؤثر بر پیش‌بینی فرسایش با استفاده از RS و GIS، شبیه‌سازی این مدل در کشورهای اروپایی، مناطق مدیترانه‌ای و سایر مناطق با شرایط اقلیمی مشابه پذیرفته شده است (آی کونا[1]: ۱۹۹۱). این مدل شامل هفت مرحله است. مرحله یک: لایه شیب، مرحله دو: لایه سازندهای زمین شناسی، مرحله سه: فرسایش‌پذیری خاک، مرحله چهار: لایه کاربری اراضی، مرحله پنج: پوشش گیاهی، مرحله شش: لایه حفاظت خاک و لایه هفتم: لایه فرسایش آبی است. در ابتدا نقشه شیب و نقشه زمین‌شناسی تهیه می‌گردد و در ادامه از همپوشانی لایه شیب و زمین‌شناسی، لایه فرسایش‌پذیری خاک تهیه می‌شود. در مراحل بعدی نقشه کاربری و پوشش گیاهی تهیه می‌شود و با همپوشانی لایه کاربری اراضی و پوشش گیاهی نقشه حفاظت خاک به دست می‌آید. سپس لایه فرسایش پذیری خاک و لایه حفاظت خاک همپوشانی شده و نقشه خطر فرسایش‌پذیری به دست می‌آید.

1 ICONA

۲-۲-۲- مدل ماشین بردار پشتیبان

ماشین بردار پشتیبان یک سیستم یادگیری کارآمد بر مبنای تئوری بهینه‌سازی مقید است که از اصول استقرای کمینه‌سازی خطای ساختاری استفاده کرده و منجر به یک جواب بهینه کلی می‌شود. در یک مدل رگرسیونی SVM لازم است وابستگی تابع متغیر وابسته (y) به مجموعه‌ای از متغیرهای مستقل (x) تخمین زده شود. فرض براین است که مانند دیگر مسائل رگرسیونی، رابطه بدین متغیرهای وابسته و مستقل توسط یک تابع معین f به‌علاوه یک مقدار اضافی نویز[1] مشخص می‌شود.

رابطه ۱: $y= f(x) + noise$

موضوع اصلی پیدا کردن فرم تابع f است که بتواند به‌صورت صحیح موارد جدیدی را که SVM تا کنون تجربه نکرده است پیش‌بینی کند. در روش Ɛ-SVM از توابع هسته‌ای (کرنل) به‌منظور جداسازی صفحات و بهینه‌سازی فواصل موجود بین داده‌های مشاهداتی و تخمینی استفاده می‌شود اما در مدل V– SVM از روش برنامه‌ریزی غیر خطی برای کاهش خطای پیش‌بینی استفاده می‌شود (سیاسر و همکاران: ۱۳۹۸). در این مطالعه مدل Ɛ-SVM به دلیل کاربرد گسترده آن در مسائل رگرسیونی استفاده گردید. برای این مدل تابع خطا به‌صورت رابطه ۲ تعریف می‌شود:

رابطه ۲: $C= \sum_{i=1}^{N} \xi i * + c\sum_{i=1}^{N} \xi i * + \frac{1}{1} w^T w$

تابع خطای فوق لازم است با توجه به محدودیت‌های زیر حداقل گردد:

رابطه ۳: $\phi(X_i)+b-y_i \leq \varepsilon + \xi i$

W^T

رابطه ٤: $y_i-W^T \phi(X_i)+ b \leq \varepsilon+\xi i$

رابطه ۵: $\xi i, \xi i* \geq 0$

روابط c ثابت گنجایش، w بردار ضریب، W^T ترانهاده بردار ضرایب، $\xi i.\xi i*$ ضرایب کمبود، b ضریب ثابت، N الگوی آموزش مدل، ϕ تابع کرنل است.

ماشین‌های بردار پشتیبان برای حل مسائل غیرخطی، ابعاد مسئله را از طریق توابع کرنل تغییر می‌دهند. انتخاب کرنل برای SVM به حجم داده‌های آموزشی و ابعاد بردار ویژگی بستگی دارد؛ به‌عبارت‌دیگر، باید با توجه به این پارامترها تابع کرنلی را انتخاب نمود که توانایی آموزش برای ورودی‌های مسئله را داشته باشد. در عمل کرنل خطی به کار برده می‌شود. در جدول (۱) معادلات برخی از کرنل‌های رایج ارائه شد:

1 Noise

جدول ۱- توابع کرنل رایج در ماشین‌های بردار پشتیبان (کیزی و همکاران[1]: ۲۰۱۵)

نوع تابع	تابع کرنل
خطی	$K(Xi.Xj) = x_i^T.Xj$

درنهایت، تابع تصمیم رگرسیون بردار پشتیبان غیرخطی به‌صورت رابطه ٦ خواهد بود که کنترل کننده میزان نوسان تابع گوسی همچنین کنترل کننده نتایج پیش‌بینی و تعمیم دهنده مدل SVM است.

رابطه ٦:
$$f(x_i) = \sum_{i=1}^{1}(-\partial i - \partial i *)k\ (Xi.Xj) + b$$

۲-۲-۳- مدل جنگل تصادفی

مدل جنگل تصادفی بر خلاف مدل‌های کلاسیک چون رگرسیون که تنها بر پایه یک مدل تکیه دارند با استفاده از صدها و هزاران درخت از اطلاعات بیشتری در داده‌ها استفاده می‌کند تا بتوان استنباط بهتری از متغیرها داشت. این روش یک تکنیک مدل ناپارامتری[2] و متعلق به خانواده روش‌های دسته‌جمعی است. این الگوریتم ازجمله دسته‌بندی‌هایی است که متد Bagging را به کار می‌گیرد. در طی فرآیند ساخت درخت در هر شاخه، از بین تمام M متغیر مستقل به‌صورت تصادفی m متغیر برای تقسیم شدن انتخاب می‌شود. برای حالت رگرسیونی نسبت $\frac{m}{M}$ برابر با یک سوم است و برای کلاسه‌بندی برابر با $m=\sqrt{M}$ پیشنهاد شده است. روش درخت رگرسیون جنگل تصادفی به‌ویژه هنگامی‌که تعداد مشاهدات در مقایسه با تعداد پیش‌بینی کننده‌ها نسبتاً کم باشد یک روش پیش‌بینی کارآمد است (پهلوان و همکاران: ۲۰۱٤). محاسبات مدل جنگل تصادفی در نرم‌افزار Matlab2018 انجام شد. به‌منظور انتخاب مناسب‌ترین خط برازش یافته توسط این روش در احتمالات متفاوت، متغیر اندازه گره که نشان دهنده تعداد برگ‌ها در هر شاخه است با آزمون‌وخطا تعیین شد.

۲-۲-٤- الگوریتم CHAID

چاید مخفف مجذور مربع شناسایی کننده تعاملات خودکار است. این روش آماری بسیار مؤثر برای بخش‌بندی و رشد درخت، به‌وسیله کاس توسعه یافته است. با استفاده از مفهوم تست آماری به‌عنوان یک معیار، چاید تمام مقادیر صفت پیش‌بینی کننده بالقوه را ارزیابی می‌کند. این الگوریتم مقادیری را که به‌صورت آماری همگن در نظر گرفته شده‌اند (شباهت) با توجه به متغیر هدف و حفظ تمام مقادیری که ناهمگن(غیرمشابه) هستند، ادغام می‌کند. سپس این الگوریتم بهترین پیش‌بینی کننده را از شاخه در درخت تصمیم انتخاب می‌کند به‌طوری‌که هر فرزند گره از یک گروه از ارزش‌های همگون نسبت به صفت انتخاب شده می‌باشند. این فرآیند به‌صورت بازگشتی تا آنجا که

1 Kisi et al
2 Nonlinear

درخت به‌طور کامل رشد می‌کند، ادامه می‌یابد. آزمون آماری مورداستفاده بستگی به سطح اندازه‌گیری میدان هدف دارد. اگر صفت هدف پیوسته باشد، یک آزمون F صورت می‌گیرد. اگر صفت هدف دسته‌ای باشد، یک آزمون مجذور مربع به کار برده می‌شود. چاید یک روش باینری نیست و می‌تواند بیش از دو دسته در هر سطح خاص از درخت ایجاد کند؛ بنابراین گرایش به ساخت درخت نسبت به روش رشد باینری گسترده‌تر است. این الگوریتم برای تمام انواع متغیرها پاسخگو است و دو متغیر وزنی و فراوانی را می‌پذیرد. مدل مذکور همچنین مقادیر مفقودی را با یک طبقه‌بندی معتبر ایجاد می‌کند (کیزی و همکاران[1]: ۲۰۱۵).

۳- نتایج و بحث

۳-۱- بررسی عوامل مؤثر در وقوع فرسایش خاک

تراکم شبکه آبراهه: هر چه قدر تراکم شبکه زهکش بیشتر شود، به میزان فرسایش خاک هم اضافه می‌شود. کمترین میزان فرسایش خاک در پهنه‌هایی واقع شده‌اند که تراکم شبکه زهکش کمتر بوده است. تراکم زهکشی رابطه معکوسی با میزان نفوذپذیری دارد. تراکم بالای شبکه زهکشی بیانگر تمرکز آب به‌صورت رواناب و کاهش نفوذ است. از طرفی می‌توان گفت که وجود تراکم بالای شبکه زهکشی می‌تواند نشان دهنده سازندهایی با استعداد ایجاد جریان‌های متعدد باشد. می‌توان این‌طور استنباط نمود که علت فرسایش خاک با درجه زیاد عامل تراکم شبکه زهکش است. بیشترین میزان خطر فرسایش خاک در تراکم زهکش با مقدار تراکم از ٤٧٨٨ متر تا ٧٢٢٣ متری شبکه زهکش رخ داده است (شکل ۲).

خاک: مقاومت خاک نسبت به فرسایش تا اندازه‌ای به وضعیت پستی‌وبلندی، درجه شیب و اثر تخریبی انسان‌ها بستگی دارد؛ اما فرسایش‌پذیری به عواملی از قبیل بافت خاک، پایداری دانه خاکدانه‌ها، مقاومت برشی، ظرفیت نفوذ و مقدار مواد آلی و شیمیایی نیز بستگی دارد (مزبانی و همکاران، ۱٤۰۰: ٤٧). خاک‌های آنتی سول در تشکیلات زمین‌شناسی جدید به‌ویژه در شیب تند که فرسایش شدید بوده یافت می‌گردد. خاک‌های آنتی سول در منطقه موردمطالعه در روی کوه‌ها و تپه‌ها به‌صورت خاک خیلی کم عمق یا کم عمق وجود دارد. این نوع خاک، خاک‌های با نفوذپذیری زیاد و هرز آب خیلی کم دارای زهکشی طبیعی مناسبی بوده و تراوش پذیری آن‌ها حتی هنگامی‌که رطوبت زیاد است و بنابراین پتانسیل تولید رواناب کمی دارند و خاک‌های با بافت سبک، شنی و دارای سنگریزه و قلوه‌سنگی عمیق تا خیلی عمیق را شامل می‌شوند. نفوذپذیری این خاک‌ها بین ۷/۵ تا ۱۱/٦ سانتی‌متر در ساعت متغیر است. خاک هیستوسول توسط بادهای خشک باعث ایجاد فرسایش می‌شود. خاک هایی هستند که روان آب متوسطی تولید می‌کنند. این خاک‌ها هنگامی‌که کاملاً خیس باشند قابلیت نفوذ متوسطی دارند. در این گروه خاک‌ها می‌توان خاک‌های با بافت نسبتاً ریز مانند خاک‌های شنی لومی خاک‌های شنی همراه با مقدار کمی رس را نام برد. نفوذپذیری

1 Kisi et al

آن‌ها بین ۳/۸ تا ۷/۵ سانتی‌متر در ساعت است. خاک اینسپتی سول جزو خاک جوان و خاک مخصوص مناطق خشک است که به شدت تحت تأثیر فرسایش قرار دارد. خاک هایی هستند که آب دوی نسبتاً زیادی تولید می‌کنند. قابلیت نفوذ این خاک ها هنگامی که کاملاً خیس باشند نسبتاً کم است. اغلب دارای بافت سنگین تا خیلی سنگین می باشند؛ مانند خاک‌های مخلوط رس و سیلت و همچنین خاک‌های لوم رس است. در پروفیل برخی از این خاک‌ها یک‌لایه غیرقابل نفوذ وجود دارد. نفوذپذیری این خاک‌ها بین ۱/۳ تا ۳/۸ سانتی‌متر در ساعت است. خاک ورتی سول شرایط مناسبی را جهت فرسایش ایجاد می‌کند؛ بنابراین نیازمند فرایند مدیریتی خاص است تا از فرسایش جلوگیری شود. خاک هایی هستند که روان آب زیادی تولید می کنند و قابلیت نفوذ آن‌ها هنگامی که مرطوب باشند کم است. نفوذ پذیری آن‌ها کمتر از ۱/۳ سانتی‌متر در ساعت است. این گروه عمدتاً شامل خاک‌های رس با ظرفیت آماس‌پذیری زیاد، خاک‌هایی که عمق آب زیرزمینی در آنها دائماً بالاست. خاک‌هایی که در آنها لایه رس سخت نزدیک سطح خاک است و همچنین خاک‌هایی کم عمق بر روی مواد غیرقابل نفوذ می‌باشند. خاک اکسی سول خاک‌های شدیداً هوازده است که در این نوع خاک خطر فرسایش خاک به‌وسیله آب بیشتر است. خلل و فرج آن کم تا نسبتاً زیاد است. دارای ۴۵-۳۵ درصد سنگریزه ریزودرشت و قطعات سنگ است و نفوذپذیری آن‌ها کمتر از ۳/۸ سانتی‌متر در ساعت است (شکل ۲).

شیب: این عامل بیانگر تأثیر عوامل ناهمواری و شکل زمین در فرسایش خاک است. میزان خاک ازدست‌رفته ناشی از عوامل ناهمواری و شکل زمین نظیر شیب و طول دامنه است. شیب زیاد باعث افزایش سرعت آب رودخانه‌ها و شعبات آن می‌شود که این امر منجر به فرسایش‌پذیری زیاد خاک‌ها و رسوبات می‌شود. بیشترین میزان فرسایش خاک در شیب بیش از ۲۵ درجه رخ داده است (شکل ۲).

زمین‌شناسی: با توجه به اهمیت ویژگی‌های سنگ‌شناسی در فرسایش و تولید رسوب بررسی حساسیت واحد-های سنگ و خاک به فرسایش از اهمیت بالقوه‌ای برخوردار است. سنگ‌ها رفتار متفاوتی در برابر هوازدگی و فرسایش از خود نشان می‌دهند. بیشترین میزان فرسایش در واحدهای زمین‌شناسی سنگ‌های آذرین، شیل و ماسه سنگ مشاهده شده است. علت فرسایش‌پذیری زیاد خاک به دلیل سست بودن رسوبات است؛ اگرچه بیشترین واحد زمین‌شناسی را پهنه‌های رسی تشکیل می‌دهد، ولی به دلیل نفوذپذیری زیاد فرسایش کمتر صورت گرفته است (شکل ۲).

کاربری اراضی: پوشش گیاهی یکی از پارامترهای مؤثر در میزان فرسایش است. با افزایش پوشش گیاهی میزان فرسایش نیز کاهش خواهد یافت. چنانچه منطقه پوشیده از گیاهان انبوه، فعالیت‌های کشاورزی معمول نباشد و سطح آن کمتر مورد تعلیف دام قرار گیرد، نقش عامل فوق در میزان فرسایش خاک و تولید رسوب منفی بوده و از میزان فرسایش خاک و تولید رسوب عوامل دیگر می‌کاهد ولی برعکس چنانچه در بیش از نیمی از سطح یک منطقه، عملیات کشاورزی بدون رعایت اصول حفاظت آب‌وخاک صورت گیرد یا چرای سنگینی اعمال شود، نقش

عامل فوق در ایجاد فرسایش خاک و تولید رسوب مثبت بوده و باعث فرسایش و تولید رسوب می‌شود. اراضی فاقد پوشش تأثیر زیادی در فرسایش خاک خواهند داشت. چون سطح زمین فاقد هرگونه پوشش گیاهی در برابر عوامل فرسایش آبی و بادی است. با افزایش مساحت اراضی فاقد پوشش گیاهی، زراعت آبی، باغات و اراضی مسکونی فرسایش به علت کاهش نفوذپذیری افزایش پیدا می‌کند. بیشترین میزان فرسایش در مراتع فقیر به دلیل نبود پوشش گیاهی رخ داده است (شکل ۲).

ارتفاع: بیشترین میزان فرسایش در ارتفاعات بیشتر از ۲۰۰۰ متر رخداده است. علت این فرسایش‌پذیری بسیار زیاد تا زیاد به دلیل تأثیری است که ارتفاع برافزایش بارندگی دارد. با افزایش ارتفاع بارندگی بیشتر می‌شود و بارندگی بیشتر به مقدار جریان آب رودخانه‌ها و شعبات آن می‌افزاید، درنتیجه قدرت فرسایندگی رودخانه‌ها زیادتر می‌شود و خاک‌ها فرسایش می‌یابند. همچنین در ارتفاعات زیاد به دلیل عمل انقباض و انبساطی که در سنگ‌ها و خاک‌ها رخ می‌دهد، باعث خرد شدن و سست شدن این سنگ‌ها و خاک‌ها می‌شود و درنتیجه مواد و مصالح لازم برای حمل توسط رودخانه‌ها فراهم می‌آید (شکل ۲).

جهت شیب: شیب‌های شمالی کمتر در معرض تابش خورشید بوده و درنتیجه گیاهان با رطوبت کافی رشد نموده و تبخیر و تعرق کم می‌شود ولی عمل فرسایش در شیب‌های جنوبی که آفتاب‌گیر است بیشتر دیده می‌شود (شکل ۲).

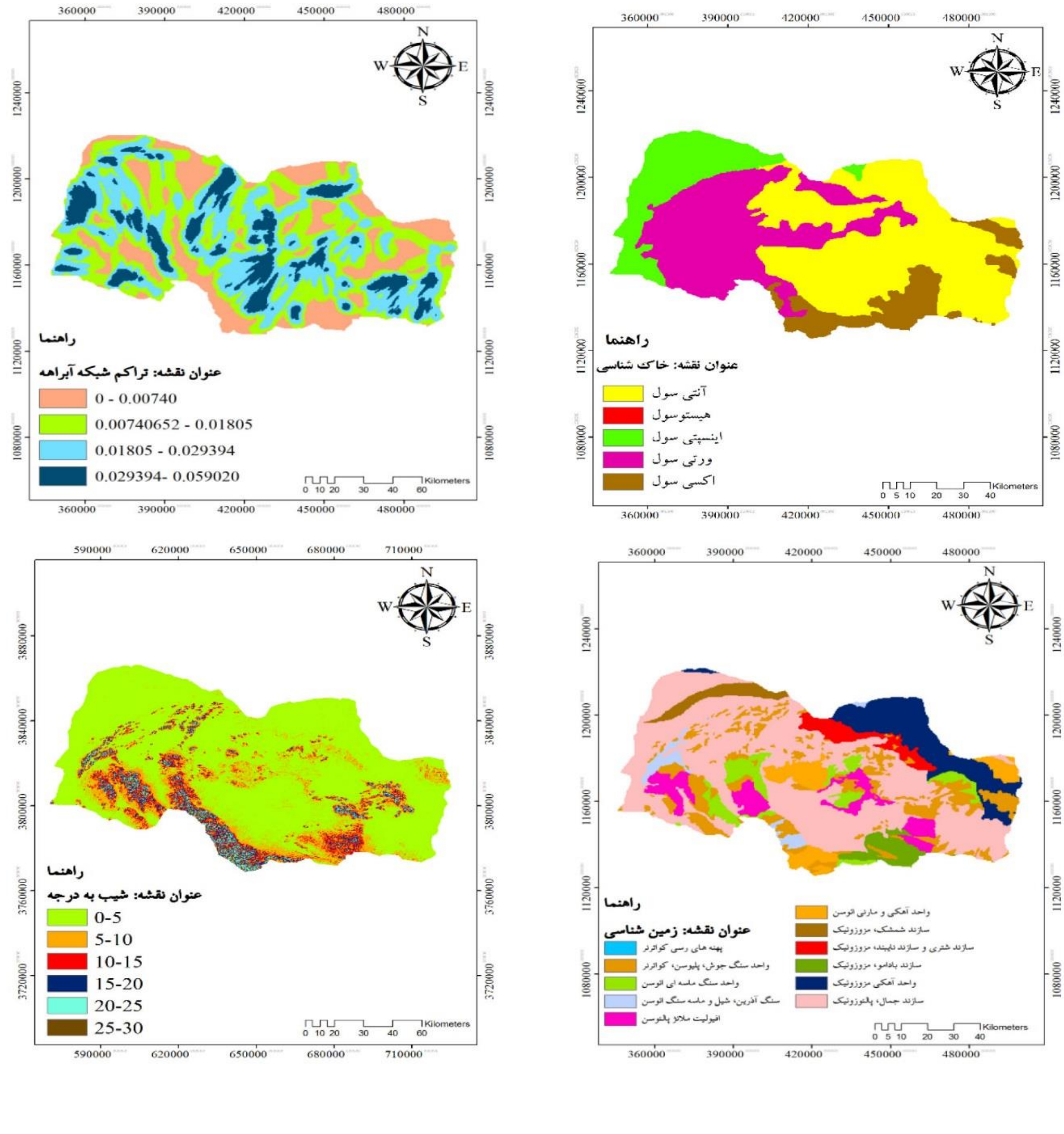
انحنا: انحنا نشان دهنده میزان انحراف سطح از صاف بودن و یا به‌عبارت‌دیگر محدب و مقعر بودن دامنه را نشان می‌دهد. انحنای پروفیل معرف اندازه تغییر شیب منحنی میزان، در طول مسیر جریان است و بنابراین انحنای پروفیل نشان دهنده شدت‌جریان آب و فرآیندهای حمل و رسوب‌گذاری می‌شود. به‌طوری‌که مقدار منفی این انحناء سطوح محدب (کوژ) و مقدار مثبت آن سطوح مقعر (کاو) را نشان می‌دهد. دامنه‌های محدب فرسایش بیشتری نسبت به دامنه مقعر و هموار دارد (شکل ۲).

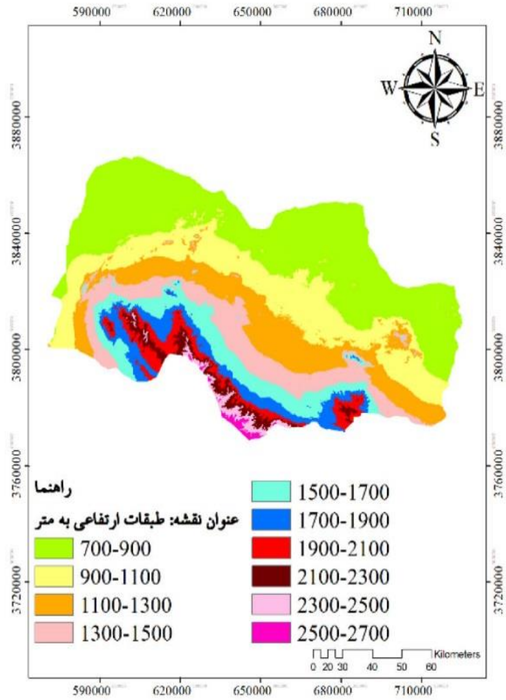
فاصله از آبراهه: منطقه‌ای که در مجاورت آبراهه‌ها قرار دارد به‌مراتب پتانسیل فرسایش بیشتری نسبت به مناطق دورتر خواهد داشت. لذا هرچه فاصله از آبراهه‌ها کمتر باشد، پتانسیل فرسایش بیشتر خواهد بود. در فاصله ۲۰۰–۴۰۰ متر بیشترین فرسایش رخ داده است (شکل ۲).

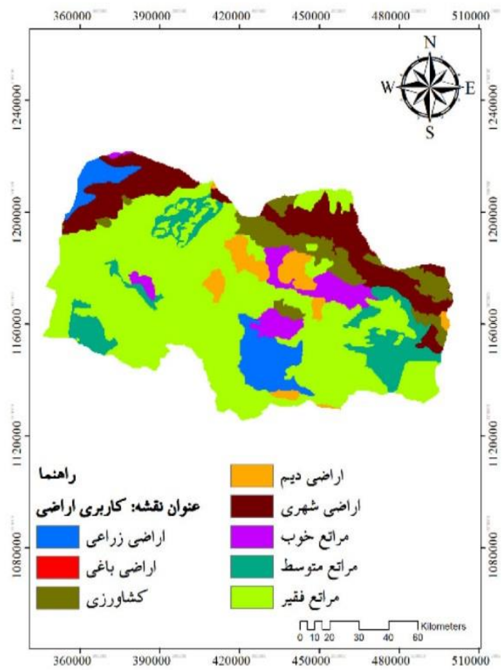
تراکم گسل: میزان تراکم گسل‌ها تأثیر بسزایی بر میزان خردشدگی و فرسایش سنگ‌ها خواهد داشت. بیشترین میزان خطر فرسایش خاک در تراکم گسل با مقدار تراکم از ۳۷۲۱ متر تا ٦۲۷۸ متری تراکم گسل‌ها دیده می‌شود (شکل ۲).

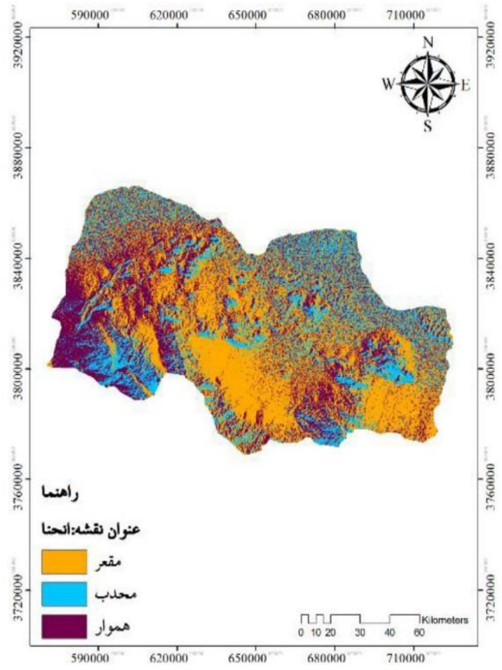
فاصله از گسل: گسل‌ها باعث شکسته و خرد شدن سنگ‌ها می‌شوند. میزان فرسایش خاک در مناطق نزدیک به گسل‌ها بیشتر به وقوع می‌پیوندد. بیشترین میزان فرسایش خاک در فاصله کمتر از ۱۵۰۰ متری رخ داده است (شکل ۲).

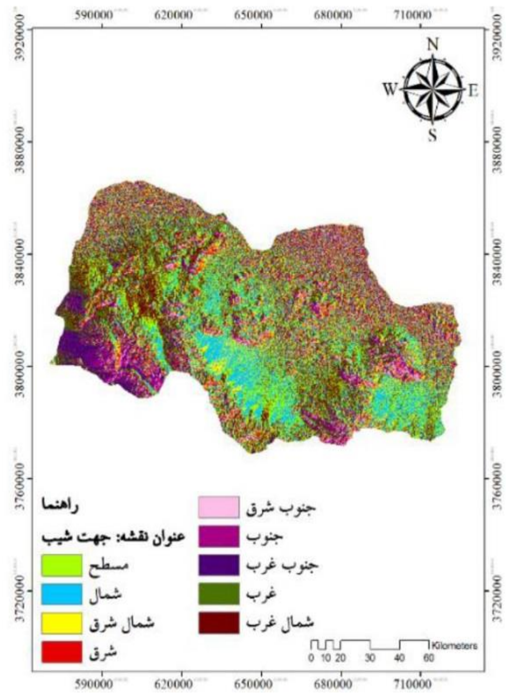
شاخص رطوبت توپوگرافی: شاخص رطوبت توپوگرافی به‌عنوان یک عامل مهم در ارزیابی پتانسیل فرسایش شناخته شده است. قدرت فرسایش رواناب ازنظر سرعت جریان، پتانسیل تخلیه و ظرفیت حمل رسوب از طریق شاخص رطوبت توپوگرافی به دست می‌آید. بیشترین میزان فرسایش در ۹/۲–۸/۸ به وقوع پیوسته است (شکل ۲).

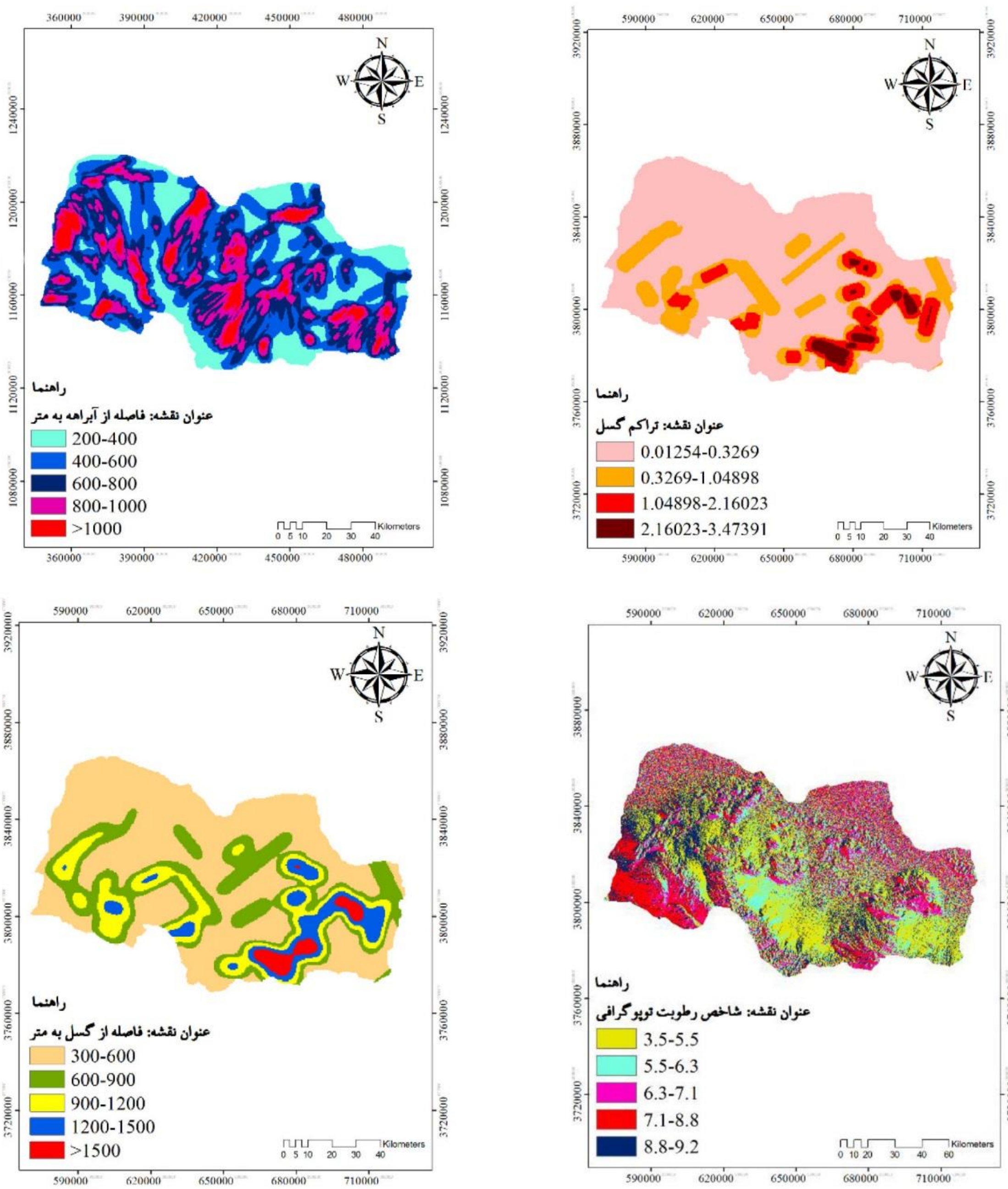



راهنما
عنوان نقشه: طبقات ارتفاعی به متر
700-900
900-1100
1100-1300
1300-1500
1500-1700
1700-1900
1900-2100
2100-2300
2300-2500
2500-2700
Kilometers


راهنما
عنوان نقشه: کاربری اراضی
اراضی زراعی
اراضی باغی
کشاورزی
اراضی دیم
اراضی شهری
مراتع خوب
مراتع متوسط
مراتع فقیر
Kilometers


راهنما
عنوان نقشه:انحنا
مقعر
محدب
هموار
Kilometers


راهنما
عنوان نقشه: جهت شیب
مسطح
شمال
شمال شرق
شرق
جنوب شرق
جنوب
جنوب غرب
غرب
شمال غرب
Kilometers



شکل ۲- بررسی عوامل مؤثر در وقوع فرسایش خاک

۳-۲- متغیرهای ورودی به مدل‌ها

برای انتخاب مناسب‌ترین مدل بر اساس معیار خطا، از روش رتبه‌بندی برای داده‌های تست استفاده می‌گردد. بدین معنا که به هر یک از مدل‌ها بر اساس معیارهای ذکر شده رتبه‌ای داده می‌شود و در پایان پس از مقایسه مجموع

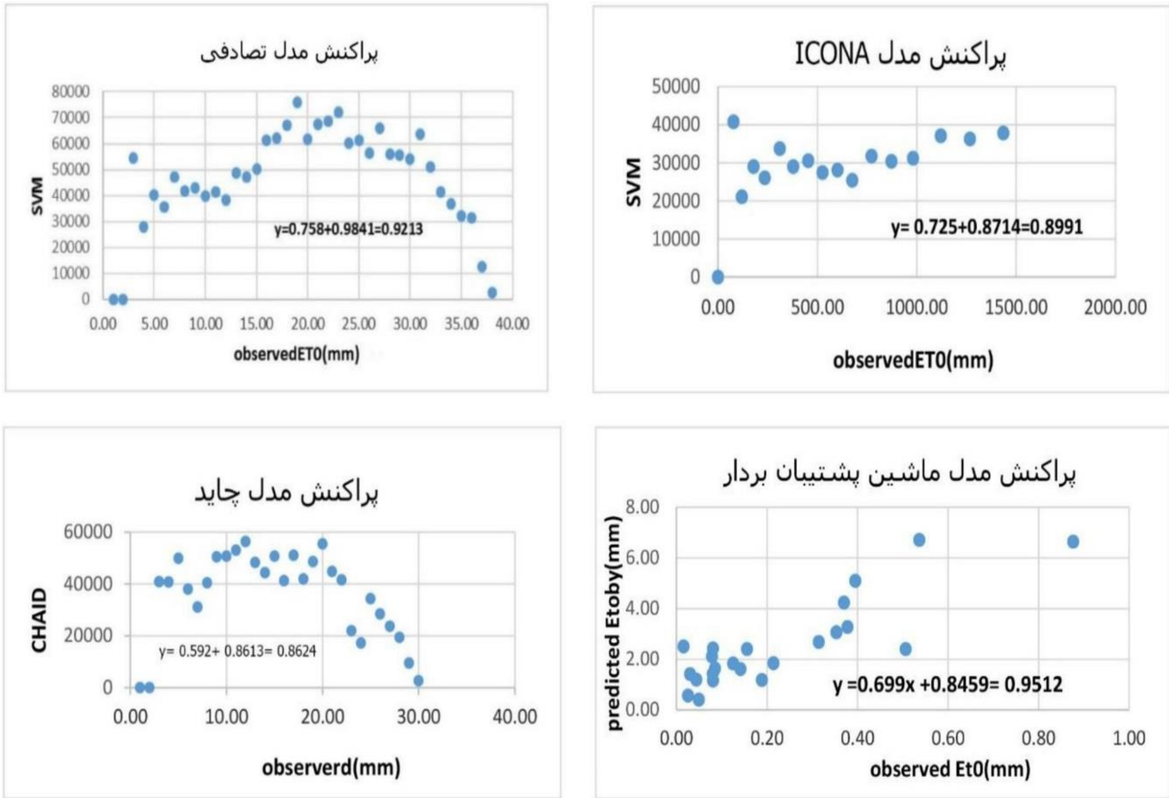
رتبه‌های به دست آمده، مناسب‌ترین مدل برای تخمین بهترین معادله نفوذ انتخاب می‌شود. شیوه رتبه‌بندی این مدل‌ها بدین صورت است که در هر روش، مدلی که کمترین میزان خطای MAE را دارد، پایین‌ترین رتبه، یعنی رتبه و به مدل‌ها یا ترکیبات ورودی دیگر در هر یک از دسته‌های ورودی بر حسب میزان معیار خطاهای مذکور، رتبه‌های ۲ الی آخر تعلق می‌گیرد؛ اما در مورد معیارهای ضریب همبستگی (R) مدل یا ترکیبی که بیشترین مقدار این معیارها را دارا است، رتبه ۱ اختصاص می‌یابد. همچنین به مدل‌هایی که میزان معیار خطای آن‌ها یکسان باشند، رتبه یکسان تعلق می‌گیرد. درنهایت پس از انتخاب مدل‌ها یا ترکیبات مناسب هر روش و مقایسه بین آن‌ها، روش برتر در منطقه موردمطالعه انتخاب می‌گردد. بررسی مقایسه مدل‌های ICONA، ماشین بردار پشتیبان، چاید و جنگل تصادفی نشان می‌دهد که می‌توان یک الگوی مشخصی برای منطقه مطالعاتی را با دقت مناسب برای برآورد فرسایش معرفی نمود و باید برای هر مدل، الگوی برتر را معرفی کرد. درنهایت پس از انتخاب مدل‌ها یا ترکیبات مناسب هر روش و مقایسه بین آن‌ها، روش برتر انتخاب می‌گردد. جدول ۲ ضریب همبستگی و خطای سناریوهای مختلف در چهار مدل را نشان می‌دهد. همچنین در این تحقیق تحلیل حساسیت به‌منظور شناسایی و تعیین درجه اهمیت هر یک از پارامترها در سری داده‌های ورودی بر عملکرد دینامیکی سیستم صورت گرفته است. به‌منظور آنالیز حساسیت در هر سری داده ورودی یک پارامتر حذف و مدل با همان داده‌های تست، اجرا و مقادیر ضریب همبستگی و خطا تعیین گردید. با حذف هر پارامتر هر چه خطای مدل افزایش بیشتری نشان دهد، بیانگر تأثیر بیشتر آن پارامتر بر فرایند شبیه‌سازی است. جهت انجام تحلیل حساسیت برای سری داده‌های ورودی از مدل‌های SVM-linear، RF، CHAID و ICONAبه دلیل دقیق‌تر بودن نتایج آن استفاده شده است.

جدول ۲- ضریب همبستگی و خطای سناریوهای مختلف در مدل ماشین بردار پشتیبان خطی، درخت تصمیم نوع چاید، مدل ICONA و جنگل تصادفی در ایستگاه

سناریو		SVM-Linear	Chaid		Random Forest		ICONA	
M	R	MAE	R	MAE	R	MAE	R	MAE
M1	۰/۹۲۱	۲/۱۵۵	۰/۹٤۹	۲/۳۱۲	۰/۹۲۰	۳/۲۱۱	۰/۸۷۹	۲/۹۹٤
M2	۰/۹۰۱	۱/۳۹۹	۰/۹۷۳	۱/٤٤٥	۰/۹۸۳	۱/۵۵۱	۰/۸۰٦	۳/۳۱۲
M3	۰/۹٦۵	۱/٤۷۱	۰/۹٦٦	۱/۵۲۱	۰/۹۷۷	۱/٦۱۲	۰/۸۷۵	۲/۲۷۱
M4	۰/۹۷۱	۱/٦۵۸	۰/۹۲۵	۱/۲۱۳	۰/۹۹۸	۱/۷۲۱	۰/۹۰۲	۱/۸۰۱
M5	۰/۹۹۹	۱/۵٤۹	۰/۹۵٤	۲/۲۷۱	۰/۹۱۵	۲/۲۰۱	۰/۹۲۱	۲/۷۹۹
M6	۰/۹٦۳	۲/٤٤٤	۰/۹٤۸	۱/۵٦۳	۰/۹۷۰	۳/۲۰۳	۰/۹۷۱	۳/۸٤۵
M7	۰/۸۹۹	۰/۷۱۱	۰/۹۷۹	۱/۷۸۹	۰/۹۲۱	۲/۱۱۱	۰/۷۱۱	۱/٦۵۱
M8	۰/۸۹٦	۱/۷۲۵	۰/۹۸۸	۲/۸۲۱	۰/۹۹۹	۱/۵۲۱	۰/۸۸۹	۱/۹۵۳
M9	۰/۹۷۷	۱/۸۵۰	۰/۹٦۱	۲/۳۵۳	۰/۹۲۳	۳/۱۲۲	۰/۹۰۳	۲/۷۱۱

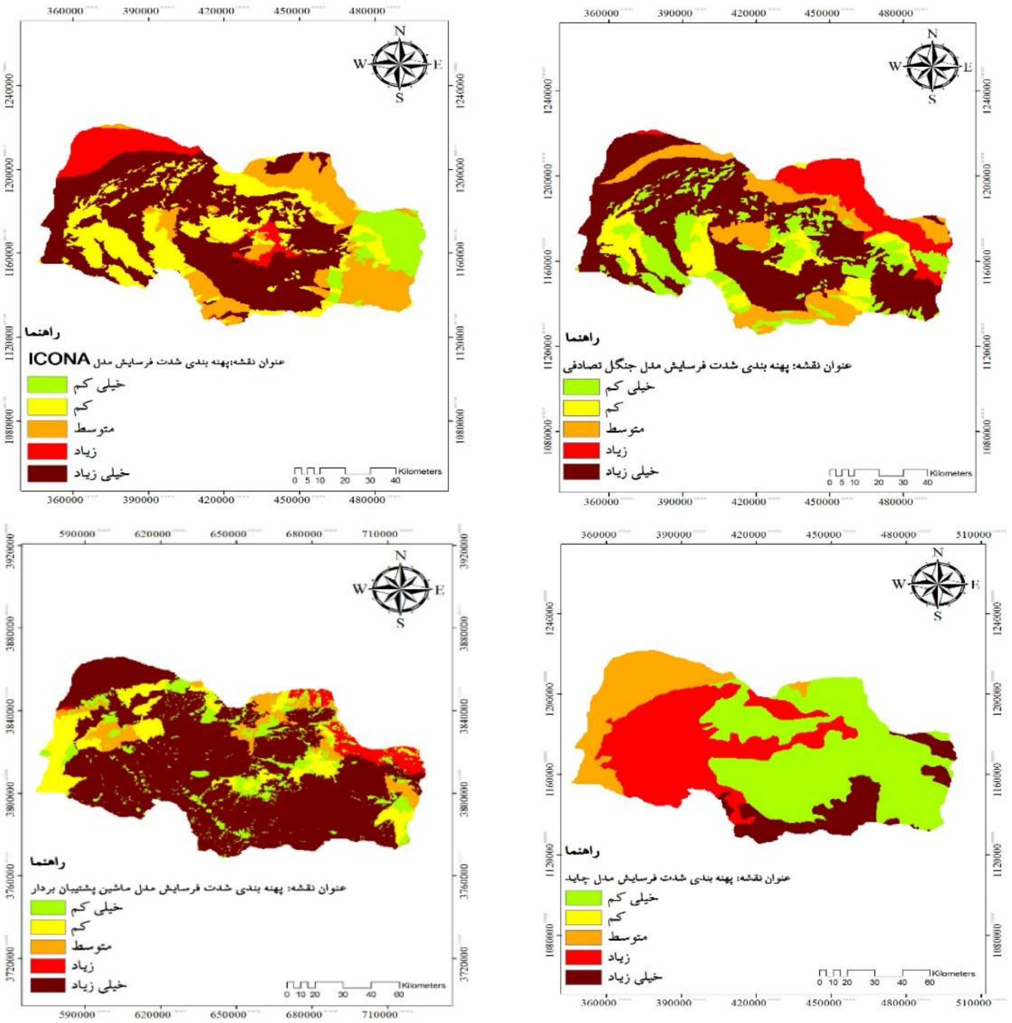
سناریو		SVM-Linear	Chaid		Random Forest		ICONA	
M	R	MAE	R	MAE	R	MAE	R	MAE
M10	۰/۹۶۵	۰/۹۸۷	۰/۷۳۱	۱/۱۷۶	۰/۹۵۰	۱/۵۱۲	۰/۸٤۵	۳/۱۰۳
M11	۰/۹۶۸	۰/۸۵۹	۰/۹۳۳	۱/۸۷۱	۰/۹۳۰	۲/۲۲۳	۰/۹۰۶	۱/۵۰۲
M12	۰/۹۹۹	۱/۲۱۱	۰/۹۸۱	۱/۵٦۳	۰/۹٤۵	۰/٦۲۸	۰/۸۹۸	۱/۷۰۵

در پژوهش حاضر ۱۳ سناریو با ترکیب پارامترهای مختلف به‌عنوان ورودی مدل ایجاد شدند. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که در مدل ماشین بردار پشتیبان خطی بهترین سناریو M7 با بالاترین ضریب همبستگی ۰/۸۹۹ و کمترین مقدار خطا MAE=۰/۷۱۱، مدل ICONA بهترین سناریو M9 با بالاترین ضریب همبستگی ۰/۸٤۵ و کمترین مقدار خطا MAE=۰/۷۲۱، مدل جنگل تصادفی بهترین سناریو M12 با بالاترین ضریب همبستگی ۰/۹۲۱ و کمترین مقدار خطا MAE=۰/٦۲۸، در مدل درخت تصمیم نوع چاید بهترین سناریو M10 با بالاترین ضریب همبستگی ۰/۷۳۱ و کمترین مقدار خطا MAE=۱/۲۱۳ بوده است. درنهایت مدل جنگل تصادفی و ماشین بردار پشتیبان به‌عنوان بهترین الگوها با بیشترین ضریب همبستگی و کمترین خطا به‌عنوان الگوی برتر شناخته شدند. نتایج آنالیز حساسیت‌ها نشان می‌دهد در مدل ماشین بردار پشتیبان خطی به ترتیب پارامترهای شیب، کاربری اراضی، ارتفاع، تراکم شبکه آبراهه، خاک و در مدل جنگل تصادفی به ترتسی پارامترهای ارتفاع، شیب، زمین شناسی، رطوبت توپوگرافی و کاربری اراضی به‌عنوان پارامترهای تأثیرگذار در مدل شناخته شدند. در مدل درخت تصمیم نوع چاید پارامترهای جهت شیب، خاک، ارتفاع و فاصله از آبراهه و در مدل ICONA پارامترهای انحنا سطح، جهت شیب، تراکم گسل و شیب به‌عنوان مهم‌ترین پارامترها، اهمیت نسبی بالایی در برآورد فرسایش خاک در منطقه موردمطالعه دارند. شکل (۳) پراکنش داده‌های مشاهداتی و برآورد شده توسط بهترین الگو از هر مدل نشان داده شده است.



شکل ۳- پراکنش داده‌های مشاهداتی هر مدل

نتایج حاصل از ارزیابی فرسایش خاک بر اساس مدل‌های ICONA، ماشین بردار پشتیبان، چاید و جنگل تصادفی در شکل‌های (٥) آورده شده است. نتایج به دست آمده از ارزیابی فرسایش خاک مشخص شد که در مدل ICONA، ۱۰٪ از سطح منطقه دارای فرسایش خیلی کم، ۱۳٪ فرسایش کم، ۱۸٪ فرسایش متوسط، ۲۰٪ فرسایش زیاد و ۳۹٪ فرسایش خیلی زیاد است. در ماشین بردار پشتیبان، ۱۲٪ از سطح منطقه دارای فرسایش خیلی کم، ۱۵٪ فرسایش کم، ۱۳٪ فرسایش متوسط، ۲۱٪ فرسایش زیاد و ۳۹٪ فرسایش خیلی زیاد است. در مدل چاید ۳۲٪ از سطح منطقه دارای فرسایش خیلی کم، ۸٪ فرسایش کم، ۲۲٪ فرسایش متوسط، ۱۵٪ فرسایش زیاد و ۲۳٪ فرسایش خیلی زیاد است. در مدل جنگل تصادفی ١٦٪ از سطح منطقه دارای فرسایش خیلی کم، ۱۳٪ فرسایش کم، ۱۹٪ فرسایش متوسط، ۲۱٪ فرسایش زیاد و ۳۱٪ فرسایش خیلی زیاد است (شکل ٤).



شکل ۵- پهنه‌بندی فرسایش خاک بر اساس مدل‌های ICONA، ماشین بردار پشتیبان، چاید و جنگل تصادفی

٤- جمع‌بندی

در پژوهش حاضر برای ارزیابی خطر فرسایش خاک در حوضه آبخیز گناباد از ۱۲ شاخص مؤثر در فرسایش خاک شامل شیب، سازند زمین شناسی، کاربری اراضی، خاک، ارتفاع، جهت شیب، انحنا سطح، تراکم شبکه آبراهه، فاصله از آبراهه، تراکم گسل، فاصله از گسل و شاخص رطوبت توپوگرافی (Twi) استفاده گردید. پارامترهای شیب، سازند زمین‌شناسی، کاربری اراضی، خاک، فاصله از آبراهه و رطوبت توپوگرافی (Twi) حساسیت بیشتری نسبت به فرسایش داشته و عوامل مؤثر بر فرسایش در این مناطق فعالیت بیشتری دارند. در منطقه موردمطالعه، به‌خصوص در اراضی فاقد پوشش گیاهی و اراضی مسکونی، فرسایش خاک نگران‌کننده است. اراضی آبرفتی جوان از نظر خاک دارای شرایط مناسب یا نسبتاً مناسب جهت انجام زراعت هستند. در حوزه موردمطالعه نیز از این اراضی به‌صورت

زمین‌های زراعی استفاده می‌شود. این اراضی فاقد محدودیت یا دارای محدودیت کم برای استفاده زراعت بوده و باید با انجام عملیات صحیح زراعی از تخریب اراضی جلوگیری کرد. برای رسیدن به این منظور آموزش کشاورزان و برپایی دوره‌های ترویجی ضروری به نظر می‌رسد. خطر دیگری که این اراضی را تهدید می‌کند وجود فرسایش است که با انجام عملیات صحیح خاک‌ورزی در راستای کنترل فرسایش بایستی اقدام نمود. در ارضی کوهستانی مهم‌ترین مسئله وجود رخنمون سنگی و فرسایش آبی ناشی از تخریب پوشش گیاهی و یا استفاده نادرست از اراضی (زراعت دیم) و پستی‌وبلندی است. با توجه به حساسیت سازندهای حوضه به فرسایش بهترین راه جهت کنترل فرسایش احیاء و تقویت پوشش گیاهی و تبدیل اراضی زراعی دیم به مرتع و یا کشت‌های جایگزین (زراعت‌هایی که عملیات خاک‌ورزی کمتری لازم دارند) است. با توجه به اینکه بخش عمده‌ای از زراعت‌های دیم در تیپ فلات‌ها و تراس-های فوقانی انجام می‌شود و با عنایت به این‌که این رسوبات دارای حساسیت زیادی به فرسایش هستند و بایستی در استفاده از این اراضی مسائل حفاظت خاک را در نظر گرفت. در این اراضی زراعت‌های دیم بایستی به مرتع و یا کشت‌های پایدار تبدیل شده و در مناطق شیبدار که پتانسیل فرسایش بیشتری وجود دارد باید تدابیر لازم اندیشیده شود. مناطق با شیب ۵٪ حداکثر فرسایش‌پذیری مشاهده شده است که تحت کشت دیم قرار داشتند و اراضی فقیر است. افزایش شیب موجب می‌شود سرعت و حرکت هرز آب سطحی زیاد و مدت‌زمان تماس آب با خاک و درنتیجه نفوذ آب در خاک کم شود و همچنین موجب می‌شود که خاک بیشتر و سریع‌تر فرسایش یابد. میزان تراکم گسل‌ها در قسمت‌های شرقی و جنوبی واقع شده‌اند و با افزایش فاصله از گسل فرسایش کمتری به وقوع می‌پیوندد. مقادیر فرسایش از قسمت‌های شرقی تا نیمه جنوبی روند کاهشی داشته و در قسمت‌های شمالی که ارتفاعات و بارش بیشتر است، فرسایش افزایش یافته است. ارتفاعات شمال شرق و شمال غرب به دلیل شیب زیاد بیشترین مقدار فرسایش را دارا می‌باشند. بررسی شبکه آب‌ها در منطقه نشان می‌دهد که شعبه‌های فرعی آب‌ها در مناطق شمالی، پرآب‌تر و دائمی‌تر از شعبه‌های فرعی هستند. این در حالی است که تراکم شبکه آب‌ها در قسمت‌های غربی و جنوبی حوضه، بیشتر از قسمت‌های دیگر آن است که به‌احتمال ناشی از نفوذناپذیری سنگ‌بستر زمین‌های این مناطق است. در مورد فاصله از رودخانه نیز با افزایش فاصله از رودخانه میزان پتانسیل فرسایش سطحی کاهش می‌یابد هرچقدر آبراهه‌ها به هم فشرده‌تر باشند، فرسایش هم زیادتر بوده است. ازآنجاکه بیشتر خاک‌های منطقه آنتی سول است و بافت آن منفصل است و خاک فرسایش‌پذیری بیشتری دارد. شرایط و ویژگی‌های خاک و پوشش گیاهی بیشترین ارتباط را با عامل جهت شیب دارد که نهایتاً بر میزان پتانسیل فرسایش خاک در زمین دارد. بر اساس نتایج بیشترین مقدار فرسایش خاک در قسمت‌های مالی و جنوب غربی رخ داده است. از طریق خروجی مدل‌های ICONA، ماشین بردار پشتیبان، چاید و جنگل تصادفی نقشه‌های حساسیت منطقه به فرسایش خاک تهیه گردید. ارزیابی مدل‌ها با استفاده از ضریب همبستگی (R) و مقادیر میانگین قدرمطلق خطا (MAE) صورت گرفت. بررسی نتایج مدل‌ها نشان داد که مدل‌های ماشین بردار پشتیبان، ICONA و جنگل تصادفی با سناریوی M7، M9 و

M12 با بیشترین میزان همبستگی و کمترین خطای میانگین نسبت به مدل چاید به دلیل اینکه اساس آن بر پایه قـوانین منطقی بیان شده است از دقت بالایی برخوردار است. مقادیر مثبت سناریوها به معنای عملکرد ضـعیف دیگـر مـدل‌هـا نیست بلکه نمودی است که مدل‌سازی فرسایش تحت تأثیر آن است. ارزیابی و پیش‌بینی فرسـایش خـاک اطلاعـات مفیدی را برای حفظ محیط‌زیست و حفاظت خاک ارائه می‌نماید. برای جلوگیری از تخریـب زمـین و آلـودگی منـابع آبی سطحی و زیرزمینی، پیشنهاد می‌شود که عملیات آبخیزداری و حفاظت خاک اعمال شـود. نقشـه‌هـای حاصـل از پهنه‌بندی خطر فرسایش خاک می‌تواند مورداستفاده مهندسین منابع طبیعی و آبخیزداری قرار گیـرد؛ زیـرا بـا شناسـایی پهنه‌های در معرض فرسایش خاک می‌توان با اقدامات مناسب از خساراتی که این پدیـده بـر محـیط‌زیسـت، آلـودگی منابع آبی سطحی و زیرزمینی و زمین‌های کشاورزی می‌گذارد، جلوگیری به عمل آورد و آن را کنترل کرد.

کتابنامه

خالقی، سمیه؛ نصرتی، کاظم؛ عباسپور، رحیم؛ ۱۳۹۹. برآورد فرسایش خاک و انتقال رسوب در حوضه آبخیز بادآور لرستان با استفاده از مدلSWAT. *پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمّی*. شماره ۳. ۱۸٦–۲۰۲.

خسروی اقدم، کمال؛ ممتاز، حمیدرضا؛ اسدزاده، فرخ؛ ۱۳۹۸. برآورد عامل فرسایش‌پذیری خاک مدل USLE و ارتباط آن با برخی از ویژگی‌های زمین منظر در بخشی از حوزه آبخیز نازلو چای ارومیه. *مجله تحقیقات کاربردی خاک*. شماره ۷. ٤۳–۳۱.

رضازاده، محمد سهیل؛ بختیاری، بهرام؛ عباس پور، کریم؛ احمدی، محمد؛ ۱۳۹۷. شبیه‌سازی رواناب، رسوب و تبخیر تعرق با استفاده از سناریوهای مدیریتی برای کاهش بار رسوب با استفاده از مدل SWAT. *نشریه علوم و مهندسی آبخیزداری ایران*. شماره ٤۱. ٥۱–٤۰.

سیاسر، هادی؛ هنر، تورج؛ ۱۳۹۸. کاربرد مدل‌های ماشین بردار پشتیبان، چاید و جنگل تصادفی در برآورد تبخیر تعرق مرجع روزانه در شمال استان سیستان و بلوچستان. *نشریه آبیاری و زهکشی ایران*. شماره ۲. ۳۸۸–۳۷۸.

قربانی نژاد، سمیرا؛ زینی وند، حسین؛ حقی زاده، علی؛ طهماسبی، ناصر؛ ۱۳۹۸. بررسی کارایی مدل دمپستر- شافر در پتانسیل‌یابی مناطق مستعد فرسایش خاک حوزه آبخیز کاکا رضا در استان لرستان. *سنجش‌ازدور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی*. شماره ۹. ۱۱٤–۱۰۰.

کرمی، فریبا؛ بیاتی خطیبی، مریم؛ ۱۳۹۸. مدل‌سازی فرسایش خاک و اولویت‌بندی تولید رسوب در حوضه سد ستارخان اهر با استفاده از مدل‌های MUSLE و SWAT. *هیدروژئومورفولوژی*. شماره ۱۸. ۱۱۵–۱۳۷.

مزبانی، مهدی؛ رضایی مقدم، محمدحسین؛ حجازی، اسدالله؛ ۱٤۰۰. ارزیابی خطر فرسایش خاک در کاربری‌های اراضی با استفاده از معادله اصلاح‌شده جهانی فرسایش خاک (مطالعه موردی: حوضه آبریز سیکان). *جغرافیا و مخاطرات محیطی*. شماره ۳۷. ٤۱–٦۳.

یمانی، مجتبی؛ عرب عامری، علیرضا؛ ۱۳۹۷. کارایی آنالیز کمی پارامترهای ژئومورفومتریک در تهیه نقشه حساسیت فرسایش خاک (مطالعه موردی: حوضه منج). *جغرافیا و مخاطرات محیطی*. شماره ۲٦. ۲۱–۱.

Ashraf A., 2020. Risk modeling of soil erosion under different land use and rainfall conditions in Soan river basin. Sub -Himalayan region and mitigation options. Modeling Earth Systems and Environment, 6: 417–428.

Ayele G.T, Teshale E.Z, Yu B, Rutherfurd I.D, Jeong J., 2017. Streamflow and Sediment Yield Prediction for Watershed Prioritization in the Upper Blue Nile River Basin. Ethiopia. Water 9: 1-29.

Borrelli P, Alewell Ch, Alvarez P, Jamil Alexandre A.A, Jantiene B, Cristiano B, Nejc B, Marcella B, Artemi C, Devraj Ch, Songchao Ch, Walter Ch, Anna M, Gizaw Desta G, Detlef D, Nazzareno D, Nikolaos E, Gunay E, Peter F, Michele F, Francesco G, Andreas G, Nigussie H, Bifeng H, Amelie J, Konstantinos K, Kiani-Harchegani M, Ivan Lizaga V, Changjia L, Luigi L, Manuel L, Manuel Esteban L, Michael M, Francis M, Chiyuan M, Matjaž M, Sirio M, Markus M, Victoria N, Laura P, Raquel P, Laura Q, Rahdari M, Renima M, Giovanni F, Jesús R, Sergio S, Samani A, Calogero S, Vasileios S, Hyuck Soo K, Diogo Noses S, Paulo Tarso O, Hongfen T, Resham T, Konstantinos V, Diana V, Jae E, ShuiqingY, Demetrio Antonio Z, Guangju Z, Panos P., 2021. Soil erosion modelling: A global review and statistical analysis. Science of the Total Environment 780 : 3-16.

Briak H, Moussadek R, Aboumaria KH, Mrabet R., 2016. Assessing sediment yield in Kalaya gauge dwatershed (Northern Morocco) using GIS and SWAT model. International Soil and Water Conservation Research 4: 177- 185.

Christos G, Panagos P, Ioannis Z, Gitas., 2014. A classification of water erosion models according to their geospatial characteristics. International Journal of Digital Earth 7: 229-250.

Duru U, Arabi M, Whol E., 2018. Modeling stream flow and sediment yield using the SWAT model: a case study of Ankara River basin, Turkey. Journal Physical Geography 39: 264-289.

Gull S, MA A, Dar A.M., 2017. Prediction of Stream Flow and Sediment Yield of Lolab Watershed Using SWAT Model. HydrologyCurrent Research 8: 1-9.

ICONA. 1991. Plan National de Restauracion hidrologico-forest alpara el Control de la Erosion. Ministries deAgriculture, Pescay Alimentacion, Madrid.

Kisi O, Kilic Y. 2015. An investigation on generalization ability of artificial neural networks and M5 model tree in modeling reference evapotranspiration. TheorAppl Climatol, 1-13.

Kumar T, jahria DC, Pandey H.K., 2019. Comparative study of different models for soil erosion and sediment yield in Pairi watershed, Chhattisgarh, India. Journal Geocarto internathinal 9: 112-124.

Muche H, Temesgen M, Yimer F., 2013. Soil loss prediction using USLE and MUSLE under conservation tillage integrated with 'fanya juus' in Choke Mountain, Ethiopia. International Journal of Agricultural Sciences 3: 046-052.

Pahlavan Rad M.R, Toomanian N, Khormali F, Brungard C, Komaki C.B, Bogaert P., 2014. Updating soil survey maps using random forest and conditioned Latin hypercube sampling in the loessderived soils of northern Iran. Journal of Geoderma 32: 97–106.

Thi Phuong Y, Chau V, Trung T, Nguyen B N, Huynh CH., 2014. Modeling Soil Erosion within Small Moutainous Watershed in Central Vietnam Using GIS and SWAT. Resources and Environment 4: 139-147.

Vol.10, No.4, Winter 2022, pp.113-127 ISSN (Print):2322-1682 ISSN (Online):2383-3076

Journal of Geography and Environmental Hazards

RESEARCH ARTICLE DOI: 10.22067/geoeh.2021.70440.1062 Open access

Purposefulness of Determining Construction Sites of Lattice-Stone Structures using Network Analysis Process (Case Study: Khorramabad County)

Vahid Beiranvandi [a], BaharBeishami [b*]

[a] PhD Student in Watershed Management, Faculty of Natural Resources and Marine Sciences, Tarbiat Modares University, Noor, Iran

[b] Assistant Professor in Tourism Research Center of RICHT, Tehran, Iran

Received: 25 May 2021 ***Revised: 9 July 2021*** ***Accepted: 5 August 2021***

Abstract

Today due to the large amount of funds allocated to the reform clauses in the construction of watershed management projects, priorities in locating critical points before the implementation of structures should be explored comprehensively and accurately. Identifying erodible points and effective factors is a necessary measure. Timely watershed management measures, whether structures or non-structures or a combination of them, can minimize the severity of damage caused by erosion and sedimentation of basins. Therefore, careful selection of priorities and policies in the activities of watershed structures has a significant impact. This study, which was carried out with the aim of helping correct managing and planning of lattice-stone structures in Khorramabad city in order to control erosion and sediment, hydrological, topographic, economic and social criteria and other indicators related to erosion and fault, which are 14 sub-indicators were used. Network analysis process was used to weight these parameters and they were entered into the GIS. The results show that among the effective indicators in locating lattice-stone structures, the most weight were erosion, vegetation, and fault criteria with weights of 0.145, 0.141 and 0.126, respectively, which can be used to prevent the risks of erosion and sediment seen in 4.5% of the study area. The main purpose of this research is to provide solutions based on scientific principles. Prioritization in this way can play an effective role in the targeted part of watershed management credits and reduce damage by constructing appropriate structures. Considering the objectives of the present study and the importance of constructing watershed management structures in controlling erosion and sedimentation, in order to improve the performance of such projects, it is proposed to reduce watershed degradation and proper use of surface water.

Keywords: Check Dam, Location, Khorramabad, Network Analysis Process

*. Corresponding author: BaharBeishami E-mail: b.beishami@richt.ir Tel: + 989113690648

How to cite this Article: Beiranvandi,V.,Beishami,B.(2021). Purposefulness of determining the construction sites of lattice-stone structures using network analysis process (Case study: Khorramabad County) . *Journal of Geography and Environmental Hazards*, 10(4), 121-136.

doi:10.22067/geoeh.2021.70440.1062

Geography and Environmental Hazards
Volume 10, Issue 4 - Number 40, Winter 2022
https://geoeh.um.ac.ir
https://dx.doi.org/10.22067/geoeh.2021.70440.1062

جغرافیا و مخاطرات محیطی، سال دهم، شمارۀ چهلم، زمستان ۱۴۰۰ صص ۱۲۷-۱۱۳

مقاله پژوهشی

هدفمندی تعیین اماکن احداث سازه‌های توری-سنگی با استفاده از فرآیند تحلیل شبکه‌ای (موردمطالعه: شهرستان خرم‌آباد)

وحید بیرانوندی- دانشجوی دکتری آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس، نور، ایران
بهار بیشمی[1]- استادیار پژوهشی گروه گردشگری، پژوهشگاه میراث فرهنگی و گردشگری، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۳/۴ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۴/۱۸ تاریخ تصویب: ۱۴۰۰/۵/۱۴

چکیده

امروزه با توجه به اعتبارات زیادی که بندهای اصلاحی در احداث پروژه‌های آبخیزداری به خود اختصاص می‌دهند، بررسی اولویت‌ها در مکان‌یابی نقاط بحرانی پیش از اجرای سازه‌ها می‌بایست به‌صورت جامع و دقیق صورت گیرد. شناخت درست و دقیق نقاط فرسایش پذیر و عوامل مؤثر در آن اقدامی ضروری است، که می‌توان با اقدامات به‌موقع آبخیزداری خواه از سازه‌ای و غیره سازه‌ای یا ترکیبی از آن‌ها، شدت آسیب‌های ناشی از فرسایش و رسوب زیر حوضه‌ها را به حداقل رساند؛ ازاین‌رو دقت در انتخاب اولویت‌ها و سیاست‌گذاری‌های در فعالیت‌های سازه‌ای حوضه‌های آبخیز از تأثیر بسزایی برخوردار است. در این پژوهش که باهدف مدیریت و طرح‌ریزی بنیادین، سازه‌های توری-سنگی در سطح شهرستان خرم‌آباد به‌منظور کنترل فرسایش و رسوب صورت گرفت از چهار معیار هیدرولوژیک، توپوگرافی، اقتصادی و اجتماعی و سایر شاخص‌های مرتبط با فرسایش و گسل که در ۱۴ زیر شاخص قرار می‌گیرند، با بهره‌گیری از فرآیند تحلیل شبکه‌ای به‌منظور وزن دهی این پارامترها و ورود آن به سیستم اطلاعات جغرافیایی استفاده شد. با نگرش در نتایج، شاخص‌های تأثیرگذار به‌منظور مکان‌یابی سازه‌های توری-سنگی بیشترین وزن را زیر معیارهای فرسایش، پوشش گیاهی و گسل با وزن‌های ۰/۱۴۵، ۰/۱۴۱ و

۱ نویسنده مسئول: ۰۹۱۱۳۶۹۰۶۴۸ Email: b.beishami@RICHT.ir

نحوه ارجاع به این مقاله:

بیراوندی، وحید؛ بیشمی، بهار؛ ۱۴۰۰. هدفمندی تعیین اماکن احداث سازه‌های توری-سنگی با استفاده از فرآیند تحلیل شبکه‌ای (موردمطالعه: شهرستان خرم‌آباد). *جغرافیا و مخاطرات محیطی*. ۱۰(۴). صص ۱۲۷-۱۱۳.
https://dx.doi.org/10.22067/geoeh.2021.70440.1062

۰/۱۲٦ به خود اختصاص دادند، که می‌توان از این نتایج برای پیشگیری از مخاطره‌های برآمده از فرسایش و رسوب که در ٤/٥ درصد از منطقه مطالعاتی قابل‌مشاهده است، استفاده نمود.
هدف کلی تحقیق ارائه راهکارهایی مبتنی بر اصول علمی، ساده، کاربردی است. اولویت‌بندی از این طریق می‌تواند نقش مؤثری در قسمت هدفمندی اعتبارات آبخیزداری داشته باشد و با احداث سازه‌های مناسب خسارات را کاهش دهد. با توجه به اهداف پژوهش حاضر و اهمیت احداث سازه‌های آبخیزداری در کنترل فرسایش و رسوب‌گذاری، به‌منظور بهبود عملکرد این‌گونه پروژه‌ها، کاهش تخریب حوزه آبخیز و استفاده صحیح از آب‌های سطحی پیشنهاد می‌شود.
کلیدواژه‌ها: سازه‌های اصلاحی، مکان‌یابی، خرم‌آباد، فرآیند تحلیل شبکه‌ای.

۱-مقدمه

منابع طبیعی تجدیدشونده، زیربنای پیشرفت هر کشور محسوب می‌گردد. ولی در عصر حاضر در اغلب نقاط کشور به دلیل توسعه اقتصادی و بهره‌جویی‌های بی‌قاعده و غیر صحیح، منجر به متشنج شدن وضعیت منابع آبی و خاکی و برهم‌خوردگی توازن بوم‌شناسی شده است. در قرن گذشته به‌منظور نظارت و مبارزه با پیامدهای درون و برون منطقه‌ای برگرفته از تخریب این منابع، در عرصه‌های منابع طبیعی کشور روی به اجرای طرح‌های آبخیزداری آورده شده است (احمدی و همکاران، ۱۳۸۲). روش‌های مکانیکی ازجمله سیاست‌های است که در جهت حفظ خاک حوزه‌های آبخیز با بهره‌گیری از مدیریت آبخیزداری مورداستفاده قرار می‌گیرند. بندهای اصلاحی هم بر بالادست و نیز بر پایین‌دست آبراهه تأثیرگذار هستند؛ ازجمله تأثیرات آن بر بالادست: اصلاح جریان آب و جابه‌جایی رسوب با تله اندازی، که منجر به کاهش سرعت، دبی اوج و تقلیل شیب آبراهه می‌شود و در پایان، افزایش زمان نفوذ رواناب را در پی دارد (میشرا[۱] و همکاران، ۲۰۰۷). افزون بر آن، تغییر پراکنش رطوبتی خاک در نقاط رسوبی بالادست رخ‌داده (نیکولس[۲] و همکاران، ۲۰۱۲) که محتمل نقطه آغازی در استقرار پوشش گیاهی آبراهه محسوب می‌گردد. سازه‌های اصلاحی به‌عنوان روشی مکانیکی ساده و اقتصادی در بسیاری از کشورهای دنیا به‌منظور تقلیل شیب بستر آبراهه‌ها و آبکندها و همچنین تله اندازی رسوبات به‌حساب می‌آید (ژائو[۳] و همکاران ۲۰۱۷، واعظی[٤] و همکاران ۲۰۱۷). این سازه‌ها از مصالحی ازجمله: چوب، سنگ، سنگ و ملات و توری و سنگ ساخته می‌شوند. تعیین جنس مواد اولیه، ابعاد، ارتفاع و فاصله این سازه‌ها از یکدیگر به عوامل گوناگونی مرتبط است؛ نظیر منابع قرضه، مصالح بستر، میزان بارش بالادست، ابعاد و شیب آبراهه و ...

1 Mishra
2 Nichols
3 Zhao
4 vaezi

نقش سازه‌های اصلاحی را می‌توان در ذخیره موقت آب و جلوگیری از حرکت آن و ایضاً تقلیل شیب و در پی آن افت دبی اوج، حجم سیلاب، سرعت، تنش برشی و توانایی تخریب جریان را در پی دارد (جوان و همکاران، ۱۳۹۵).

جمالی و همکاران (۱۳۹۵)، با بهره‌گیری از روش چند معیاره مکانی (SMCE[1])، در منطقه حسن رباط اصفهان، باهدف ساخت سازه توری-سنگی به اولویت‌بندی حوزه آبخیز موردنظر پرداختند که نتایج حکایت از تشابه مکان اولویت‌ها انجام‌شده بامطالعه حاضر بود. نورعلی و همکاران (۱۳۸۷)، راندمان سازه‌های اصلاحی در کنترل سیلاب و تقلیل دبی اوج سیل را در استان گلستان موردبررسی قراردادند که نتایج کاهش ٤۰ تا ۸۳ درصدی دبی اوج سیلاب را نشان داد. اسکندری و همکاران (۱۳۹۱)، طرح‌های آبخیزداری حوزه مندرجان را در سه دوره قبل، بعد و حین اجرای برنامه‌های آبخیزداری موردمطالعه قراردادند که نتایج کاهش ٤۲ درصدی در حین اجرا، ۷۰ درصدی پس از اجرا، در دبی جریان را مشخص نمود. سینگ[2] و همکاران (۲۰۰٤)، استفاده از بندهای اصلاحی در آبکندهای دشت بادرفتی چین یکی از کارسازترین طرق حفاظت خاک در این منطقه با آب‌وهوای خشک است.

علی‌رغم تمام فعالیت‌ها انجام‌شده در حیطه احداث بندهای اصلاحی، مشکل اصلی رشد و توسعه کشور درزمینه‌ی فرسایش خاک و تخریب منابع طبیعی، گمان می‌رود مکان‌یابی نامناسب بندهای اصلاحی، نوع، تعداد و ابعاد این سازه‌هاست پیرمرادی و همکاران (۱۳۸۹). گستردگی حوزه‌های آبخیز کشور و همچنین محدودیت‌های آن ازجمله کمبود منابع مالی، زمانی و اجرایی موجب عملیاتی شدن اقدامات سازه‌ای در بخش کوچکی از این حوزه‌ها گردیده است دهقانی و همکاران (۱۳۹۲).

به این دلیل به‌منظور رویارویی با دشواری‌های این‌گونه و تدبیر مناسب در موقعیت‌های مشابه بهره‌گیری از رویکردهای بین‌رشته‌ای و نوین امری الزامی است. یکی از روش‌هایی که در دهه‌های اخیر در حل ریاضی سیستم‌های دارای اطلاعات معیوب و فقدان اطمینان و ناقص، جریان روبه رشدی دارد، استفاده از تصمیم‌گیری با معیارهای چندگانه است نیکجو و روحانی (۱۳۹٤). همچنین طی سالیان اخیر، تحقیقات فراوانی در ارتباط با مکان‌یابی بندهای اصلاحی و نقش سازه‌های اصلاحی در کاهش آسیب‌های ناشی از فرسایش و رسوب زیر حوضه‌ها صورت گرفته؛ ازجمله رحیمی و همکاران (۱۳۹۸)، مکان‌یابی بندهای اصلاحی گرگان رود، (چزگی و همکاران، ۱۳۸۹؛ خیرخواه و همکاران، ۱۳۸۷؛ پیرمرادی و همکاران، ۱۳۸۹)، نقاط سازگار به‌منظور ایجاد سدهای زیرزمینی، (بوازیز[3] و همکاران، ۲۰۱۱؛ ولویچ[4] و همکاران، ۲۰۱۵)، اولویت‌بندی نقاط صدمه پذیر از فرسایش، سوری و همکاران (۱۳۹۱)؛ مناطق سازگار احداث بند سنگ-سیمان و گابیونی پرداختند.

1 Sri Mittapalli College of Engineering
2 Singh
3 Bouaziz
4 Vulević

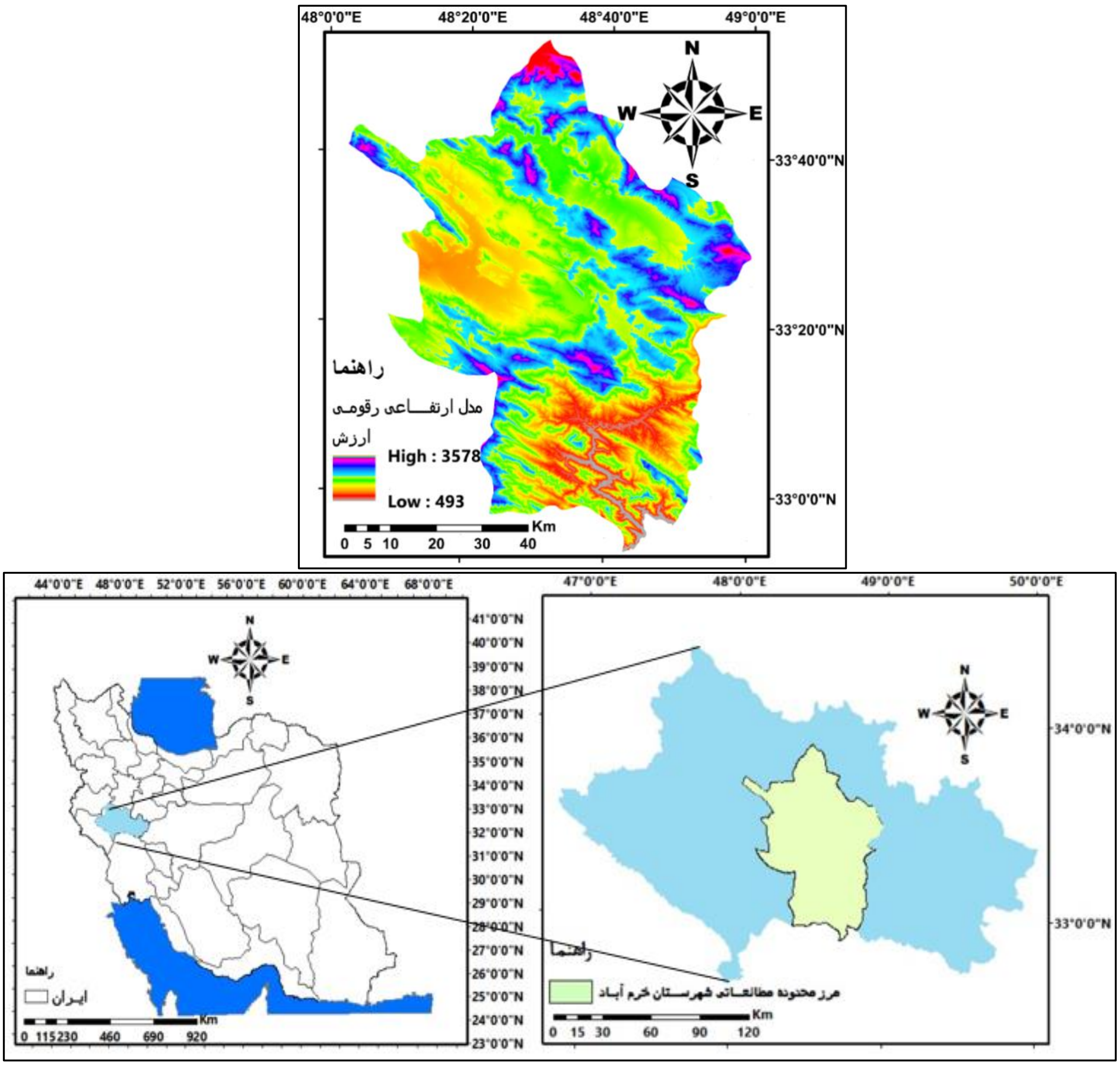
دسته‌بندی کارهای صورت گرفته پیشین نشان از اهمیت بالای مکان‌یابی سازه‌ها در پروژه‌های مهار سیل و رسوب دارد. با توجه به سیل‌های اخیر و پتانسیل سیل‌خیزی بالا و شدت فرسایش ناشی از آن، اجرای عملیات آبخیزداری در حوزه‌های آبخیز شهرستان خرم‌آباد از اهمیت و ضرورت بالای برخوردار است. در تصمیم‌گیری‌های چند معیاره با دست‌یابی به سیستم‌های محاسباتی و تجهیزات تصمیم‌گیری توانمند، فرصت برگزیده شدن انتخاب‌های درست‌تر و تحلیل مؤثرتر شاخص‌ها به‌صورت کمی و کیفی فراهم می‌گردد.

هدف موردبررسی در این تحقیق، مکان‌یابی سازه‌های توری–سنگی در شهرستان خرم‌آباد با استفاده از تکنیک تصمیم‌گیری چند معیاره فازی مبتنی بر فرآیند تحلیل شبکه‌ای در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی به‌منظور بهبود فضای تصمیم‌گیری در نظر گرفته‌شده است.

۲–مواد و روش‌ها

۲–۱–موقعیت منطقه موردمطالعه

منطقه تحقیقاتی شهرستان خرم‌آباد، مرکز استان لرستان، با ارتفاع متوسط ۱۱۴۸ متر از سطح آب‌های آزاد واقع در غرب ایران است. این قلمرو ازنظر آب‌وهوایی دارای میانگین بارش ۵۰۹ میلی‌متر و دمای متوسط ۱۷ درجه سانتی‌گراد است، که در طول‌های ″۲۷ ′۲ °٤۸ تا ″۲۲ ′۵۸ °٤۸ شرقی و عرض‌های ″۳۸ ′۵۳ °۳۲ تا ″٤٤ ′۵۲ °۳۳ شمالی قرارگرفته است. محدوده مطالعاتی یکی از مهم‌ترین حوضه‌های آبریز کرخه است که دارای وسعت ٤۹٤۲ کیلومترمربع است. شکل ۱– موقعیت منطقه مطالعاتی را نشان می‌دهد.



شکل ۱- موقعیت منطقه موردمطالعه در استان لرستان

۲-۲-روش انجام پژوهش

با در نظر گرفتن این مسئله که مقصود اساسی از ایجاد سازه‌های اصلاحی در حوضه‌های آسیب‌پذیر از منظر فرسایشی در شهرستان خرم‌آباد علاوه بر ممانعت از انتقال رسوب و تثبیت رسوب، حفظ نیمروخ طولی و عرضی آبراهه‌ها است، در این تحقیق نخست اقدام به فراهم نمودن نقشه‌ها و مفروضات مرتبط با شاخص‌های هیدرولوژیکی، توپوگرافیکی، اقتصادی و اجتماعی و سایر معیارها ازجمله گسل و کاربری اراضی در محیط نرم‌افزار Arc Gis10.5[1] پرداخته شد. سپس با استفاده از روش فرآیند تحلیل شبکه‌ای برای هرکدام از معیارها وزنی برای تهیه

1 Geographic Information System

نقشه‌های فازی به‌دست آورده و در انتها با ادغام تمام نقشه‌ها مکان‌هـای مناسـب احـداث بنـدهای اصـلاحی انتخـاب می‌گردد.

۲-۲-۱-معیارهای هیدرولوژیک تأثیرگذار در مکان‌یابی بندهای اصلاحی

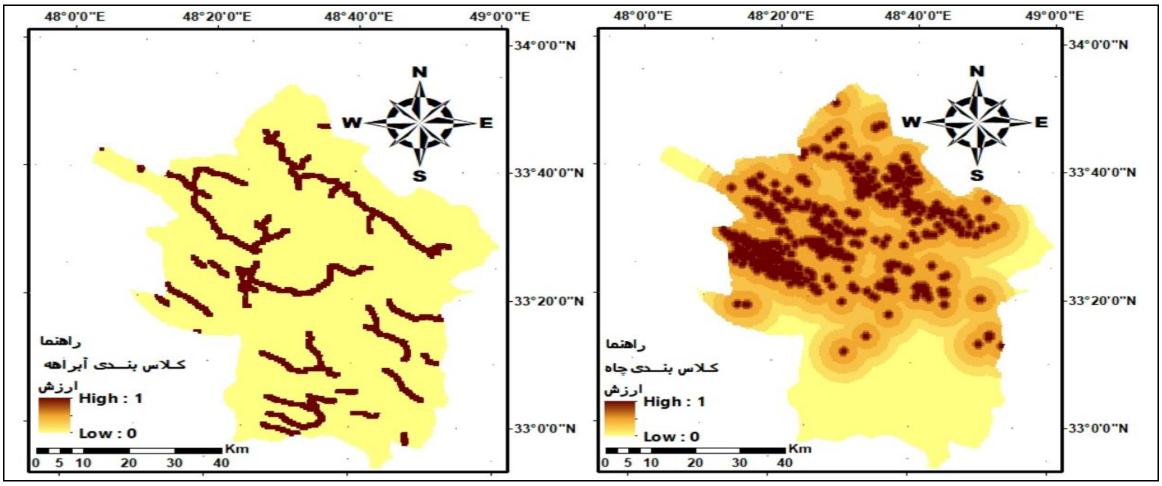
معیارهای هیدرولوژیک به کار گرفته‌شده در این مطالعه حاوی زیر معیارهای آبراهه، چـاه، چشـمه و قنـات اسـت؛ بنابراین به‌منظور ساخت سازه‌های اصلاحی توری-سنگی و به حداقل رساندن هزینه‌ها اقدام بـه جمـع‌آوری اطلاعـات لازم نموده، شکل (۲) نقشه‌های کلاس‌بندی شده هیدرولوژیک محدوده مطالعاتی

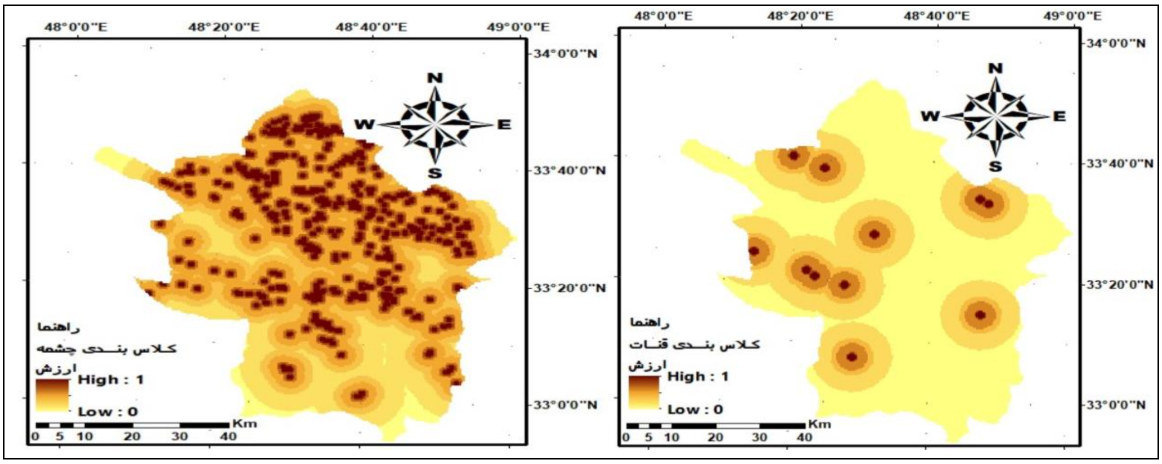
۲-۲-۱-۱-آبراهه

با مدنظر قرار دادن این موضوع که سازه‌های اصلاحی در مسیل‌ها با درجه ۵-۱ ساخته می‌شوند و همچنـین توجـه به هدف تحقیق پیشرو الگوی شکل‌گرفته توسط جریان آب را با کمـک داده‌هـای اطلاعـاتی نیمـه تفصـیلی آب‌هـای زیرزمینی گردآوری‌شده در آب منطقه‌ای استان لرستان فراهم گردید.

۲-۲-۱-۲-چاه، چشمه و قنات

این ۳ عامل هیدرولوژیک افزون بر اینکه از دیدگاه اقتصادی موردتوجـه قـرار دارنـد، بـه‌موجـب قـرار گـرفتن در پایین‌دست این سازه‌ها و نقشی که در افزایش آبدهی آن‌ها می‌تواننـد داشـته باشـند، در مکـان‌یـابی از اهمیـت بـالایی برخوردار هستند.

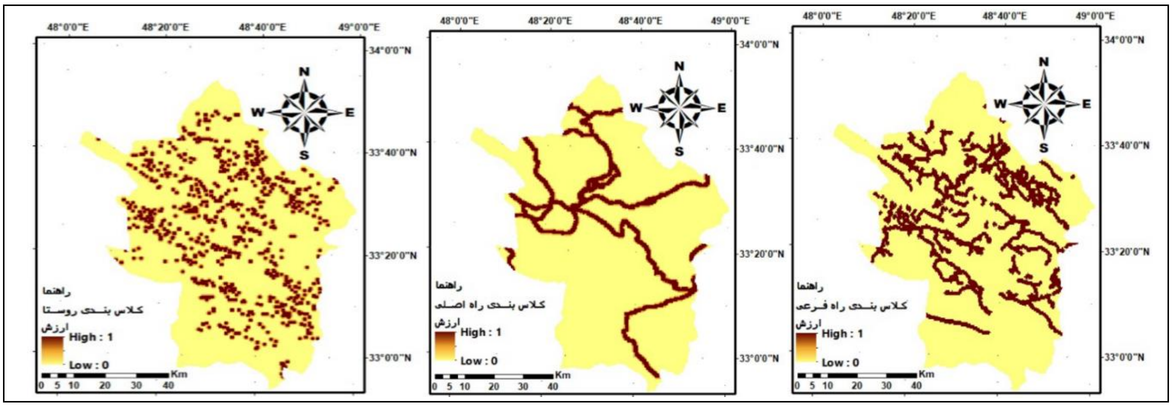




شکل ۲- نقشه‌های کلاس‌بندی شده هیدرولوژیک محدوده مطالعاتی

۲-۲-۲-الگوی اقتصادی و اجتماعی مؤثر در مکان‌یابی بندهای اصلاحی

با توجه به نقش افراد جامعه منطقه تحقیقاتی در کاهش هزینه‌های ساخت با بهره‌گیری از نیروهـای بـومی و تقلیـل هزینه‌های مختلف ازجمله ایاب و ذهاب و همچنین نشان دادن ارزش کار به افراد جامعه مدنظر اقـدام بـه تهیـه نقشـه کلاس‌بندی شده منطقه مطالعاتی حداقل تا فاصله ۱۰۰۰ متـری مـی‌گـردد. شـکل (۳) نقشـه‌هـای کـلاس‌بنـدی شـده اقتصادی و اجتماعی محدوده مطالعاتی



شکل ۳- نقشه‌های کلاس‌بندی شده اقتصادی و اجتماعی محدوده مطالعاتی

۲-۲-۳-معیارهای توپوگرافیک مؤثر در مکان‌یابی بندهای اصلاحی

شاخص‌های توپوگرافی مورداستفاده در پژوهش حاضر دربرگیرنده زیر شاخص‌های زمین‌شناسی، پوشـش گیـاهی و شیب بوده، ازاین‌رو به‌منظور حداقلی نمودن هزینه‌ها در مکان‌یابی احداث سـازه‌هـا اقـدام بـه جمـع‌آوری اطلاعـات موردنیاز منطقه مطالعاتی شده است.

۲-۲-۳-۱-زمین‌شناسی

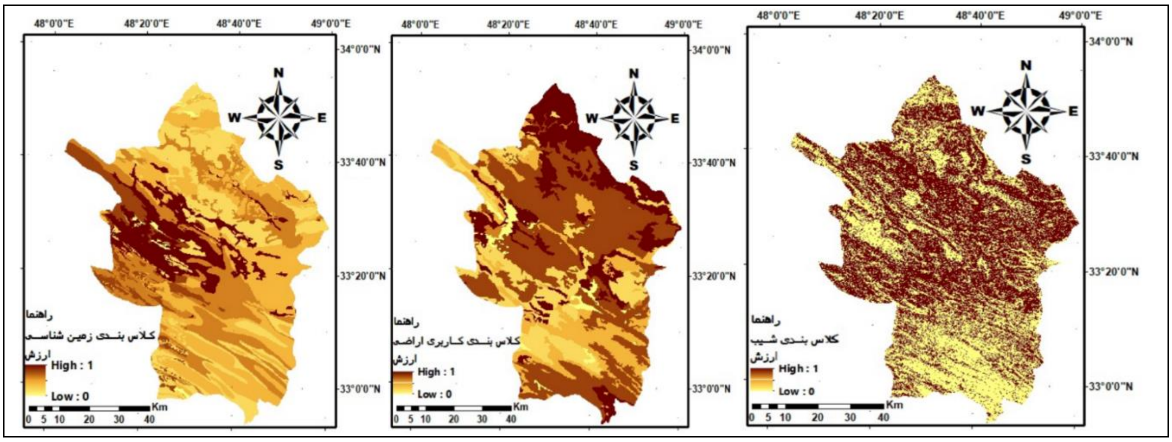
در مرحله حذفی، با توجه به میزان اهمیت لیتولوژی و سنگ‌بستر منطقه مطالعاتی، غالب امتیاز در این کلاس‌بندی به مناطق دارای فرسایش شدید نسبت داده می‌شود.

۲-۲-۳-۲-کاربری (پوشش)

ازآنجایی‌که پوشش گیاهی از برخورد مستقیم قطرات باران به سطح خاک جلوگیری نموده، همچنین فرصت لازم جهت نفوذ آب به زیرزمین را فراهم کرده، بنابراین مناطق نزدیک مناطق مسکونی و کاربری‌های مهم برای سکنه منطقه مطالعاتی در اولویت‌بندی با امتیاز بالاتر در نظر گرفته می‌شود. ازاین‌رو با بهره‌گیری از نقشه‌های کاربری تهیه‌شده در ادارات استان ازجمله: آب منطقه‌ای، آبخیزداری و مرکز تحقیقات اقدام به تهیه نقشه کلاس‌بندی مذکور گردید.

۲-۲-۳-۳-شیب

ازجمله مهم‌ترین شاخص‌ها در اولویت‌بندی نقاط احداث سازه‌های اصلاحی شیب منطقه است، ازآنجایی‌که هدف از پژوهش حاضر جلوگیری از فرسایش و تثبیت رسوب است، منطقه را در اولویت‌های دارای شیب ۷۰-۵ درصد ازنظر امتیازدهی در ارجحیت قرار داده شد.



شکل ٤- نقشه‌های کلاس‌بندی شده توپوگرافیک محدوده مطالعاتی

۲-۲-٤-سایر مقیاس‌های مؤثر در مکان‌یابی بندهای اصلاحی

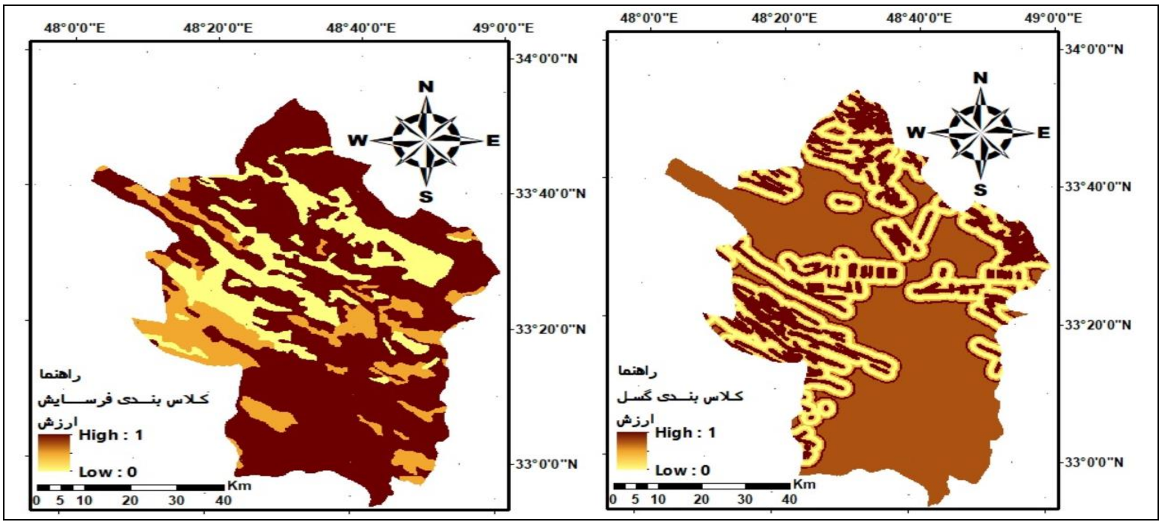
ازجمله سایر موارد مورد مقایسه در این پژوهش فرسایش و رسوب است. در این مطالعه با مدنظر قرار دادن آمار و اطلاعاتی که در احداث سازه‌های اصلاحی نقش دارند، اقدام به تهیه نقشه‌های منطقه مطالعاتی شده است. شکل (۵) نقشه‌های کلاس‌بندی شده سایر مقیاس‌های موردنیاز محدوده پژوهشی

۲-۲-٤-۱-فرسایش

با بهره‌گیری از مدل EPM[1] و با توجه به عواملی که در فرسـایش و شناسـایی منـاطق بااسـتعداد بـالا در فرسـایش نقش دارند، منطقه مطالعاتی را در پنج کلاس خیلی شدید، شدید، متوسـط، کـم و خیلـی کـم دسـته‌بنـدی‌شـده و بـه مناطقی که دارای شدت فرسایش بیشتری بوده، در این کلاس‌بندی امتیاز بالاتری نسبت داده‌شده است.

۲-۲-٤-۲-گسل

با استفاده از نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰ اقدام به تهیه نقشه گسل منطقـه تحقیقـاتی گردیـد، همچنـین مبـادرت بـه جمع‌آوری اطلاعات موجود در بانک اطلاعاتی آب منطقه‌ای و آبخیزداری و همچنین افرادی که بـه‌صـورت شخصـی بر روی حوضه کارکرده‌اند، با استفاده از نقشه بافر ۵۰۰ متری اقدام به تهیه نقشه گسل منطقه مذکور نمود.



شکل ٥- نقشه‌های کلاس‌بندی شده سایر مقیاس‌های موردنیاز محدوده مطالعاتی

۲-۳-ارزیابی با استفاده از فرآیند تحلیل شبکه

روش FANP[2] ازجمله متدهای تصمیم‌گیری چند معیاره است که توسط زبردست در سال ۲۰۱۳ بـه‌منظـور ایجـاد شاخص‌های مرکب در انتخاب معیارهای آسیب‌پـذیری اجتمـاعی در برابـر زلزلـه و در امتـداد کمینـه نمـودن نقصـان روش‌های رایج در تشکیل شاخص‌های مرکب عرضه شد. ازجمله ویژگی‌های تکنیک FANP می‌توان به:

الف- ارتباط و بازخورد مابین اجزای سیستم

ب- مبتنی بودن بر دانش، نظرات خبرگان و تجارت کارشناسان

1 Enterprise Project Management
2 Flow Attribute Notification Protocol

ج- پوشش ابهام و عدم قطعیت با ادغام نظرات خبرگان

اشاره نمود.

مراحل FANP

در گام نخست با توجه به جدول (۱) به مقایسات زوجی با توجه به نظرات کارشناسان پرداخت می‌شود.

جدول ۱- مقایسات زوجی

ردیف	عبارات توصیفی	اعداد فازی
۱	ترجیح برابر	(۱,۱,۱)
۲	ترجیح کم تا متوسط	(۱,۱/۵,۱/۵)
۳	ترجیح متوسط	(۱,۲,۲)
٤	ترجیح متوسط تا زیاد	(۳,۳/۵,٤)
٥	ترجیح زیاد	(۳,٤,٤/٥)
٦	ترجیح زیاد تا خیلی زیاد	(۳,٤/٥,٥)
۷	ترجیح خیلی زیاد	(٥,٥/٥,٦)
۸	ترجیح خیلی زیاد تا کاملاً زیاد	(٥,٦,۷)
۹	ترجیح کاملاً زیاد	(٥,۷,۹)

در دومین گام به‌منظور محاسبه بردار ویژه از جدول مقایسات زوجی بـه روش لگـاریتمی، طبـق روابـطِ (۱ و ۲) استفاده شد.

$$w_k^s = \frac{\left[\left[\prod_{j=1}^{n} a_{kj}^s\right]\right]^{\frac{1}{n}}}{\Sigma\left[\left[\prod_{j=1}^{n} a_{ij}^m\right]\right]^{\frac{1}{n}}} \quad \text{و} \quad s\epsilon\ \{l, m, \qquad (۱)$$

$$\widetilde{w_k} = \left(w_k^l, w_k^m, w_k^a\right) \quad k = 1, 2, 3, \dots, n \qquad (۲)$$

در مرحله سوم با بهره‌گیری از مقایسات زوجی به تشکیل ماتریس‌های بردار ویژه پرداخته.

در گام انتهایی نیز به محاسبه اوزان نهایی سطوح به‌منظور برآورد وزن‌های نهـایی مؤلفـه‌هـای هـر سـطح از طریـق رابطه (۳) می‌پردازیم.

$$w_i^* = w_{ii} \times w_{i(i-1)} \times w_{i-1}^* \qquad (۳)$$

همچنین در صورت نبود یک سطح ماتریس از رابطه (٤) استفاده می‌شود.

$$w_i^* = I \times w_{i(i-1)} \times w_{i-1}^* \qquad (٤)$$

۳-نتایج

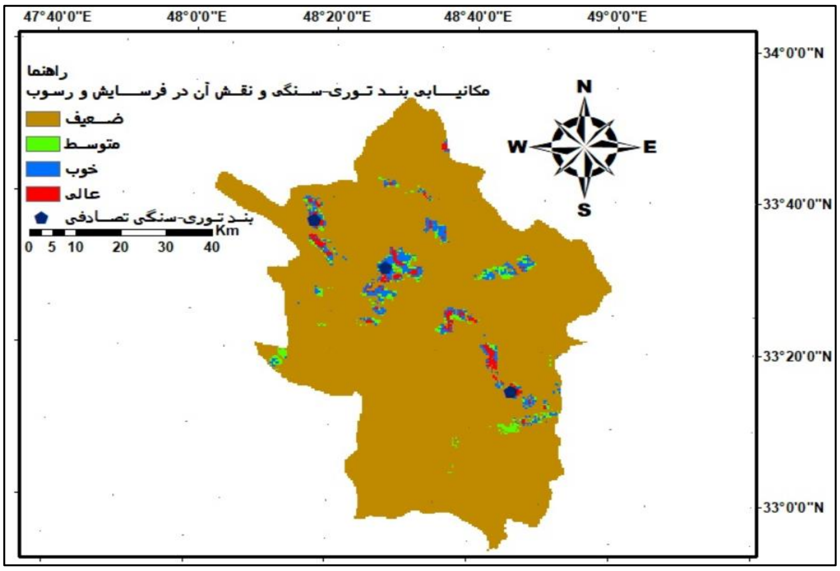
معیارها و زیر معیارهای تأثیرگذار در مکان‌یابی سازه‌های اصلاحی در جدول (۲) نمایش داده‌شده است.

جدول ۲- اوزان معیارها و زیر معیارهای مؤثر در احداث سازه‌های اصلاحی توری–سنگی

ردیف	معیار	زیر شاخص	امتیاز معیار	امتیاز زیر شاخص	امتیاز نهایی	درجه اهمیت
۱	هیدرولوژیک	آبراهه	۰/۲۲۶۸۳	۰/۲۸۸۷۶۲۵	۰/۰۶۵۵	۷
۲		چاه		۰/۱۵۸۷۰۹۱	۰/۰۳۶	۹
۳		چشمه		۰/۰۷۰۵۳۷٤	۰/۰۱۶	۱۲
٤		قنات		۰/۱۱۲٤۱۸۹	۰/۰۲۵۵	۱۱
۵	اقتصادی و اجتماعی	فاصله از روستا	۰/۲۱۷۵٤۵	۰/۱۳۵٦۰٤۱	۰/۰۲۹۵	۱۰
٦		فاصله از جاده اصلی		۰/٦۳۲۰۵۳	۰/۰۱۳۷۵	۱۳
۷		فاصله از جاده فرعی		۰/۰٤۵۹٦۷۵	۰/۰۱	۱٤
۸		منابع قرضه		۰/۳۷٤٦۳۵۱	۰/۰۸۱۵	٦
۹	توپوگرافیک	زمین‌شناسی	۰/۲٦٦۱٤۲	۰/٤٦۹٦۷٤۰	۰/۱۲۵	۵
۱۰		پوشش گیاهی		۰/۵۳۰۷۳۱۷	۰/۱٤۱۲۵	۲
۱۱		شیب		۰/٤٦۹٦۷٤۰	۰/۱۲۵	٤
۱۲	سایر	فرسایش	۰/۲۸۹٤۸۳	۰/۵۰۲٦۲۰۱	۰/۱٤۵۵	۱
۱۳		کاربری		۰/۲۰۳۸۱۱٦	۰/۰۵۹	۸
۱٤		گسل		۰/٤۳٦۹۸۵۹	۰/۱۲٦۵	۳

۳-۱-موقعیت نقاطی از بندهای توری–سنگی در منطقه مطالعاتی

بررسی ۳ نقطه تصادفی ایجاد سازه توری–سنگی در منطقه مطالعاتی و انتقال آن بر نقشه مکان‌یابی اولویت‌های صورت گرفته با بهره‌گیری از مدل FANP در شکل (٦) و جدول (۳) نشان داده‌شده است.



شکل ٦- موقعیت بندهای اصلاحی تصادفی بر روی نقشه اولویت‌بندی شده

جدول ۳- موقعیت جغرافیایی بندهای اصلاحی تصادفی توری-سنگی

موقعیت نقاط	نوع بند	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی
چم چقال بالا	توری سنگی	۳۷۲۲۷۳۹	۲٤۸٦٦۳
کمره		۳۷۱۱۰٤۰	۲٦٤٤۸۹
مالک ماری		۳٦۸۰۹۰٦	۲۹۱۸۵۷

٤-بحث و نتیجه‌گیری

ازآنجایی‌که عملیات آبخیزداری به‌صورت طرح‌های مکانیکی یا بیولوژیک به‌منظور کاهش تخریب حوزه‌ها و استفاده بهینه از آب‌های سطحی و تقلیل اثرات خشک‌سالی صورت می‌گیرد، در این پژوهش با توجه به الگوی پایانی اولویت‌بندی محل تأسیس سازه‌های توری-سنگی شکل (٦) که ٤/٥ درصد از منطقه مذکور را مناسب ایجاد این بندها نشان داده و همچنین با دقت در محل بندهای تصادفی انتخاب‌شده می‌توان به برنامه‌ریزی در جهت اهداف مدنظر این پژوهش اقدام و به‌منظور بهبود کارکرد این‌گونه الگوها توصیه می‌گردد:

بهره‌گیری از علوم مهندسین آبخیزداری در نقاط مختلف

استفاده از استعدادهای بومی در احداث و نگهداری سازه‌ها

ایجاد طرح‌های مطالعاتی در حاشیه سازه‌ها

در مرحله بعد با انتخاب شاخص‌ها و زیر شاخص‌های مؤثر در مکان‌یابی سازه‌های اصلاحی به وزن دهی این شاخص‌ها پرداخته که معیار فرسایش بیشترین وزن را به خود اختصاص داد. ازآنجایی‌که هدف اصلی در این

پژوهش محافظت از اراضی موجود در مقابل آسیب‌های ناشی از سیلاب و به دنبال آن آثار ناشی از فرسایش و رسوب بر منابع طبیعی و محیط‌زیست است، وزن دهی موجود در این تحقیق مناسب و تطابق خود را با تحقیقات امام قلی[1] و همکاران (۲۰۱۵)، مورگان[2] (۲۰۰۵) که در آن‌ها بیشترین امتیاز را به فرسایش و پوشش گیاهی نسبت داده و هم مانندِ تحقیقات آلی[3] و همکاران (۲۰۱۳)، جمالی و همکاران (۱۳۹۵) و سینگ و همکاران (۲۰۱۷) از روش فرآیند تحلیل شبکه به‌منظور اولویت‌بندی استفاده‌شده است. همچنین می‌توان تفاوت این پژوهش باکار سوری و همکاران (۱۳۹۱) و نوری و همکاران (۱۳۹۸) در این دانست که در پژوهش آن‌ها بیشترین امتیاز به عوامل هیدرولوژیکی بخصوص درجه آبراهه نسبت داده‌شده است.

به‌منظور بازبینی دقت الگوی FANP و سیستم اطلاعات جغرافیایی در مکان‌یابی بندهای توری-سنگی مقایسه‌ای با مکان‌های تصادفی انتخاب‌شده با اولویت‌بندی صورت گرفته انجام شد که نتایج انطباق خود را نشان داد.

درمجموع با توجه به اهداف کلی این مطالعه که شناسایی نقاط ایجاد سازه‌های توری-سنگی و نقش‌های آن در کاهش خسارات ناشی از سیل، فرسایش و رسوب بر روستاها، راه‌ها، مزارع، باغات و ... است، در انتها به‌منظور هدفمندی اعتبارات آبخیزداری و ممانعت از آسیب‌های جانی و مالی با توجه به پژوهش حاضر به ارائه راهکار علمی، مناسب و ساده پرداخته شد.

کتابنامه

احمدی، حسن؛ نظری سامانی، علی‌اکبر؛ قدوسی، جمال؛ اختصاصی، محمدرضا؛ ۱۳۸۲. ارائه مدلی برای ارزیابی طرح‌های آبخیزداری. *نشریه منابع طبیعی ایران*. ٤ (٥٦):۳۵۰-۳۳۷.

اسکندری، منیژه؛ دستورانی، محمدتقی؛ فتاحی، احمد؛ نصری، مسعود؛ ۱۳۹۱. ارزیابی اثرات اقدامات آبخیزداری انجام‌شده روی رژیم جریان حوزه آبخیز زاینده‌رود؛ مطالعه موردی زیر حوزه مندرجان. سومین همایش ملی مدیریت جامع منابع آب.

پیرمرادی، رضا؛ نجفی، محمد؛ اسدیان، فریده؛ ۱۳۸۹. تعیین مناطق مناسب جهت احداث سد زیرزمینی با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی و تحلیل سلسله مراتبی، مطالعه موردی: دشت ملایر در استان همدان. فصلنامه جغرافیای طبیعی. ۳ (۸): ٦٦-٥١.

جمالی، علی‌اکبر؛ رحیم‌آبادی، ابوالفضل؛ زرنگ، نسیم؛ رحمتیان، آرش؛ ۱۳۹۵. اولویت‌بندی حوزه آبخیز برای احداث بند توری-سنگی به روش تحلیل چند معیاره مکانی (SMCE)، در حسن رباط اصفهان. *فصلنامه جغرافیایی سرزمین*. ۱۳ (۵۲): ۲۰-۱۱.

1 Emamgholi
2 Morghan
3 Aly

جوان، محسن؛ سیدیان، سید مرتضی؛ کاهه، مهدی؛ حشمت پور، علی؛ ۱۳۹۵. ارزیابی تأثیر ارتفاع سدهای اصلاحی بر حجم و دبی اوج سیلاب (مطالعه موردی: حوضه آبخیز گرگاندوز). *نشریه علوم و مهندسی آبیاری*. ٤ (۳۹): ۷۰-۵۹.

چزگی، جواد؛ مرادی، حمیدرضا؛ خیرخواه، میر مسعود؛ ۱۳۸۹. مکان‌یابی محل‌های مناسب جهت احداث سد زیرزمینی با استفاده از روش تصمیم‌گیری چند معیاره با تأکید بر منابع آب (مطالعه موردی غرب استان تهران) (گزارش فنی). *مجله علوم و مهندسی آبخیزداری ایران*. ٤ (۱۳): ٦۸-٦۵.

خیرخواه زرکش میر، مسعود؛ ناصری، حمیدرضا؛ داوودی، محمدهادی؛ سلامی، همت؛ ۱۳۸۷. استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی در اولویت‌بندی مکان‌های مناسب احداث سد زیرزمینی مطالعه موردی: دامنه شمالی کوه‌های کرکس – نطنز. *نشریه پژوهش و سازندگی*. ۲۱ (۲): ۱۰۱-۹۳.

دهقانی، مرتضی؛ قاسمی، حسین؛ ملکیان، آرش؛ ۱۳۹۲. اولویت‌بندی مکانی عملیات کاهش سیل و کنترل فرسایش با استفاده از روش منطق فازی (مطالعه موردی: حوزه آبخیز فورگ). *نشریه مرتع و آبخیزداری (مجله منابع طبیعی ایران)*. ٦٦ (۱): ۸۸-۷۳.

رحیمی، ایرج؛ سیدیان، سید مرتضی؛ روحانی، حامد؛ احمدی، رضا؛ ۱۳۹۸. مکان‌یابی بندهای اصلاحی به‌منظور کنترل فرسایش با کمک فرآیند تحلیل سلسله مراتبی. *مجله پژوهش‌های فرسایش محیطی*. ۹ (۳۳): ۲٦-۱.

سوری، مهشید؛ جعفری، محمد؛ آذرنیوند، حسین؛ فرخ زاده، بهنوش؛ ۱۳۹۱. تعیین مناطق مناسب اجرای پروژه پخش سیلاب با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی و سیستم اطلاعات جغرافیایی (مطالعه موردی: حوضه آبخیز میخوران کرمانشاه). *نشریه پژوهش‌های آبخیزداری*. ۲۵ (٤): ۱۰۳-۹۲.

قاضی محله مهروز، نورعلی؛ نجفی نژاد، علی؛ نادر، نورا؛ ۱۳۸۷. بررسی عملکرد سازه چندمنظوره نوکنده استان گلستان در کنترل سیلاب با استفاده از مدل. *نشریه علوم کشاورزی و منابع طبیعی*. ۱۵ (۱): ۱۳۰-۱۱۹.

نوری، زهرا؛ سلاجقه، علی؛ عبادی، تقی؛ مقدم نیا، علیرضا؛ ۱۳۹۸. تأثیر اندازه ذرات رسوبات رودخانه‌ای بر ویژگی-های جذب فسفر. *نشریه محیط‌شناسی*. ٤۵ (۳): ٤۸۳-٤۷۱.

نیکجوی، مرضیه؛ روحانی، حامد؛ ۱۳۹٤. پهنه‌بندی پتانسیل سیل‌خیزی حوزه آبخیز قورچای رامیان. *مجله ترویج و توسعه آبخیزداری*. ۳ (۱۰): ۳٦-۲۹.

Aly A, A. Saltani, S. Bashari, H. honarbakhsh, A; 2013. The location of rocky and Ghabion check dams in watershed of Dorahean in Chaharmahal and Bakhtiari province, Paper presented at The First National Conference of Water Use Optimization, Iran.

Bouaziz, M. Leidig, M. Gloaguen, R; 2011. Optimal parameter selection for qualitative regional erosion risk monitoring. A remote sensing study of SE Ethiopia, Geoscience Frontiers, 2 (2): 237 - 245.

Emamgholi, M. Khosravi, Kh. Sedaii, N; 2015. Suitable site selections for gabion check dams construction using analytical hierarchy process and decision making methods. Journal ofSoil Environment, 1 (1): 35 - 44.

Mishra, A. Froebrich, J. Gassman, P. W; 2007. Evaluation of the SWAT model for assessing sediment control structures in a small watershed in India, Transactions of the ASABE, 50 (2): 469 - 477.

Morghan, R. P. C; 2005. Soil Erosion and Conservation. USA: Blackwell publication.

Nichols, M. H. McReynolds, K. Reed, C; 2012. Short-term soil moisture response to low-tech erosion control structures in a semiarid rangeland. Catena, 98 (1): 104 - 109.

Singh, K.P. Malik, A. Mohan, D. Sinha, S; 2004. Multivariate Statistical Techniques for the Evaluation of Spatial and Temporal Variations in Water Quality of Gomti River (India)—A Case Study. Water Research, 38: 3980-3992.

Singh, L.K. Jha, M.K. Chowdarx, V.M; 2017. Multi-criteria analysis and GIS modeling for identifying prospective water harvesting and artificial recharge sites for sustainable water supply. Journal of Cleaner Production, 142: 1436 - 1456.

Vaezi, A. R. Abbasi, M. Keesstra, S. Cerdà, A; 2017. Assessment of soil particle erodibility and sediment trapping using check dams in small semi-arid catchments. Catena, 157(1): 227 - 240.

Vulević, T. Dragović, N. Kostadinov, S. Simić, S. B. Milovanović, I; 2015. Prioritization of Soil Erosion Vulnerable Areas Using Multi-Criteria Analysis Methods. Polish Journal of Environmental Studies, 24 (1): 317 - 323.

Zhao, G. Kondolf, G. M. Mu, X. Han, M. He, Z. Rubin, Z. Sun, W; 2017. Sediment yield reduction associated with land use changes and check dams in a catchment of the Loess Plateau, China, Catena, 148: 126 - 137.

Vol.10, No.4, Winter 2022, pp.129-149 ISSN (Print):2322-1682 ISSN (Online):2383-3076

Journal of Geography and Environmental Hazards

RESEARCH ARTICLE DOI: 10.22067/geoeh.2021.68186.1009 Open access

Processing and Visual Modeling based on the PROMETHEE-GAIA Technique in Urban Resilience (Case Study: Ilam City)

Elias Mavedat*

Assistant Professor in Urbanization, Jundi- Shapur University of Technology, Dezful, Iran

Received: 6 January 2021 ***Revised: 14 February 2021*** ***Accepted: 17 April 2021***

Abstract

The resilience of urban systems as the best form of human habitation has significant environmental impacts, and the promotion of sustainability and resilience in cities and human settlements is a priority. Resilience of a city and how it is measured in cities are important, but despite the significant advances made in recent years in this field, existing methods of measuring urban resiliency have been used for analyzing it for specific disorders, or from the perspective of resilience engineering. Based on the necessity of this research by using PROMETHEE model, the first step was to identify the basics of earthquake crisis management, and in the next step, the status of Ilam was analyzed statistically. It should be noted that the current research is a developmental-applied approach and research method is a combination of descriptive, analytical, library, and field methods. Moreover, for the analysis and drawing, GRAFER, EQS, EXCEL and ArcGIS, VPLS and AMOS-SPSS software and other applications were used. The results of the research showed that, based on GAIA layout, areas 12, 3, 8, 5 and 6 are more resilient than other areas. In terms of indexation, the three criteria of facilities and equipment, green space, and transportation in the city of Ilam has made such areas. Based on a resilient network pattern, the phi positive for area 12 of Ilam is 0.81% and the phi negative is 19/0. Finally, based on the quantitative ranking of the PROMETHEE model, area 12 of Ilam with 0/6231 percent of resilience is the most resilient area and area 9 Ilam with -0/4306 percent of resilience is the most vulnerable urban area.

Keywords: Modeling, PROMETHEE, GAIA, Resilience, Ilam

*. E-mail: Mavedate@Jsu.ac.ir Tel: + 989171887058

How to cite this Article: Mavedat,E.(2022). Processing and visual modeling based on the PROMETHEE-GAIA technique in resilience urban (Case Study of Ilam City). *Journal of Geography and Environmental Hazards*, 10(4), 137-157.

doi: 10.22067/geoeh.2021.68186.1009

Geography and Environmental Hazards
Volume 10, Issue 4 - Number 40, Winter 2022
https://geoeh.um.ac.ir
https://dx.doi.org/10.22067/geoeh.2021.68186.1009

جغرافیا و مخاطرات محیطی، سال دهم، شمارهٔ چهلم، زمستان ۱۴۰۰ صص ۱۴۹-۱۲۹

مقاله پژوهشی

بررسی و پردازش دیداری تاب‌آوری شهری با تکنیک PROMETHEE- GAIA (موردمطالعه: شهر ایلام)

الیاس مودت[1] – استادیار گروه شهرسازی، دانشگاه صنعتی جندی‌شاپور دزفول، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۰/۱۷ تاریخ بازنگری: ۱۳۹۹/۱۱/۲۶ تاریخ تصویب: ۱۴۰۰/۱/۲۸

چکیده

شهرنشینی به‌عنوان برترین شکل سکونت‌گاه انسانی، ارتقای پایداری و تاب‌آوری آن، یک اولویت است؛ لذا مطالعات تاب‌آوری شهری و نحوه سنجش آن در شهرها اهمیت می‌یابد. این در حالی است که با وجود پیشرفت‌های مهم در سال‌های اخیر در این زمینه، روش‌های موجود برای اندازه‌گیری تاب‌آوری شهری، تنها به تحلیل آن برای اختلالات خاص، یا از منظر تاب‌آوری مهندسی بوده است. بر اساس ضرورت موضوع این پژوهش با استفاده از مدل‌سازی PROMETHEE ابتدا اقدام به شناخت مبانی مدیریت بحران ناشی از زلزله نموده و در مرحله بعد به تحلیل آماری شهر ایلام پرداخته است. لازم به ذکر است پژوهش حاضر دارای رویکرد توسعه‌ای – کاربردی و روش تحقیق ترکیبی از روش‌های (توصیفی، تحلیلی، کتابخانه‌ای و میدانی) است. همچنین جهت تحلیل و ترسیم از نرم‌افزارهای GRAFER، EQS، EXCEL و ArcGIS، VPLS و AMOS-SPSS دیگر برنامه‌های موردنیاز استفاده گردیده است. نتایج تحقیق نشان داده است بر اساس طرح‌ریزی GAIA تنها نواحی ۱۲، ۳، ۸، ۵ و ۶ بیشترین تاب‌آوری شهری را نسبت به دیگر نواحی دارا هستند و از نظر شاخص‌سازی سه معیار تأسیسات و تجهیزات، فضای سبز و حمل‌ونقل در شهر ایلام باعث به وجود آمدن چنین فضایی گردیده است. همچنین بر اساس الگوی شبکه‌ای تاب‌آوری میزان فی مثبت ناحیه ۱۲ شهر ایلام برابر ۰/۸۱درصد و میزان فی منفی آن برابر ۰/۱۹ است. درنهایت بر اساس رتبه‌بندی کمی مدل PROMETHEE ناحیه ۱۲ شهر ایلام با میزان ۰/۶۲۳۱ درصد تاب‌آورترین و ناحیه ۹ شهر ایلام با میزان ۰/۴۳۰۶- درصد آسیب‌پذیرترین ناحیه شهری است.

[1] نویسنده مسئول: ۰۹۱۳۳۵۹۴۶۸۱ Email: Mavedate@jsu.ac.ir

نحوه ارجاع به این مقاله:

مودت، الیاس. (۱۴۰۰). بررسی و پردازش دیداری تاب آوری شهری با تکنیک PROMETHEE- GAIA (مورد مطالعه شهر ایلام) . جغرافیا و مخاطرات محیطی. ۱۰(۴). صص ۱۴۹-۱۲۹.

https://dx.doi.org/10.22067/geoeh.2021.68186.1009

کلیدواژه‌ها: مدل‌سازی، PROMETHEE، GAIA، تاب‌آوری شهری، ایلام.

۱- مقدمه

در بین بحران‌های شـــهری زلزله از دیرباز جزء پرخطرترین مخاطرات طبیعی بوده و هســـت؛ بنابراین امروزه تحلیل و کاهش آســـیب‌پذیری در برابر مخاطرات طبیعی به حوزه مهم و گســـترده‌ای در ســـپهر برنامه‌ریزی و مدیریت بحران تبدیل شـده اسـت (مودت و ملکی، ۱۳۹۳ و قدیری و همکاران، ۱۳۹)؛ اما این موضوع از چنان گستردگی و پیچیدگی برخوردار هســت که نیازمند در نظر گرفتن تمام متغیرها و عوامل تأثیرگذار هســت. در مقابل به علت‌هایی دست‌یابی به تمام متغیرها، مکان‌ها و عوامل تأثیرگذار نیســـت و از طرفی دیگر هدف برنامه‌ریزی مدیریت بحران کاهش و جلوگیری از اثرات سوء این آسیب‌هاست.

مفهوم آســـیـب‌پـذیری اجتماعی در مقابل خطرات محیطی به این دلیل در هر مطالعه‌ای جهت مقایســـه و تحلیل آسـیب‌پذیری نسـبت به دیگر عوامل «تمام فضـا و عناصـر» را شـامل می‌شـود، موردتوجه است (کاترین [1] و همکاران، ۲۰۱).

در این میان تبیین رابطهٔ تاب‌آوری و میزان آسـیب‌پذیری در برابر سـوانح طبیعی (زلزله)، در واقع نحوهٔ تأثیرگذاری ظرفیت‌های اجتماعی، اقتصـادی، نهادی، سـیاسی و اجرایی جوامع در افزایش تاب‌آوری و شناخت ابعاد تاب‌آوری در اجتماع اسـت. شایان ذکر است که نوع نگرش به مقولهٔ تاب‌آوری و نحوهٔ تحلیل آن، ازیک‌طرف در چگونگی شناخت تاب‌آوری وضـــع موجود و علل آن نقشـــی کلیدی دارد و از طرف دیگر ســـیاســـت‌ها و اقدامات تقلیل خطر و نحوهٔ رویارویی با آن را ترسـیم می‌کند. ازاین‌روسـت که تبیین رابطهٔ تاب‌آوری در برابر سوانح طبیعی (زلزله) و کاهش اثرات آن، بـا توجـه بـه نتـایجی کـه در بر خواهـد داشـــت و تأکیدی که این تحلیل بر بعد تاب‌آوری دارد از اهمیت بالایی برخوردار است (مودت، ۱۳۹٦).

تاب‌آوری سـیسـتم‌های شهری به‌عنوان برترین شکل سکونت‌گاه انسانی تأثیرات قابل‌توجهی بر محیط‌زیست دارند و ارتقای پایداری و تاب‌آوری در شـهرها و سـکونتگاه‌های انسـانی یک اولویت اسـت لذا مطالعات تاب‌آوری شهری و نحوه سـنجش آن در شـهرها اهمیت می‌یابد (قرایی و همکاران، ۱۳۹٦). این در حالی اسـت که با وجود پیشـرفت‌های مهم در ســـال‌های اخیر در این زمینه، روش‌های موجود برای اندازه‌گیری تاب‌آوری شـــهری، تنها به تحلیل آن برای اختلالات خاص، یا از منظر تاب‌آوری مهندسی بوده است (سوارز [2]، ۲۰۱٦).

انســـان، موجود هوشـــمند به ذات اســـت که برای رســـیدن به اهداف خود برنامه‌ریزی می‌کند. به همین جهت از اطلاعات حاصـل از تجربیات موجود در زندگی خود و دیگران اسـتفاده نموده و از توانایی‌های ذهنی خویش برای نظم

1 Katherine
2 Suarez

بخشیدن و اولویت‌بندی این اطلاعات بهره می‌برد. انسان در زندگی روزمره این اطلاعات را برای درک بیشتر محیط پیرامون خود، یادگیری مطالب جدید و برنامه‌ریزی برای آینده به کار می‌برد. به این طریق وی از توانایی استدلال، بر اساس مشاهدات برای نیل به اهداف خود استفاده می‌کند. البته به دلیل محدودیت قدرت ادراک انسان از جهان خارج و نیز محدودیت قدرت استدلال جامع و عمیق، وی با عدم قطعیت مواجه است. لیکن فعل‌وانفعال و اثر متقابل اطلاعات و عدم قطعیت، معیاری برای میزان پیچیدگی است. در این پژوهش موضوع تاب‌آوری شهر در برابر زلزله، یک نمونه از تجربه عملی روزمره از مسأله بحران شهری است. هدف افزایش متغیر جهت کاهش آسیب بحران شهری است؛ بنابراین به دلیل نیاز به اطلاعات بیشتر جهت کاهش بحران، دربرگیرنده عدم قطعیت در وقوع بسیاری از حوادث و امور غیرقابل‌پیش‌بینی نیز هست. لذا هراندازه درجه و میزان عدم حتمیت افزایش یابد پیچیدگی اهداف نیز افزایش می‌یابد؛ بنابراین، به‌مرور ادراکات ما از پیچیدگی در رابطه با دانسته‌ها و ندانسته‌ها همواره افزایش می‌یابد. در این پژوهش مهم‌ترین مسأله‌ای که مد نظر است، اول کاهش ضریب خطا جهت مدیریت بحران با به‌کارگیری روش مدل‌سازی و موضوع دوم چگونگی تحت کنترل درآوردن پیچیدگی امور و مسائل و آسیب‌ها است که با روش پرومته[1] به بررسی موضوع پرداخته شده است.

۱-۱- تعاریف و مبانی نظری تحقیق

مفهوم تاب‌آوری در حال حاضر فارغ از ابعاد پیچیده فلسفی‌اش و نبود شفافیت و درک یکسان از آن و از همه مهم‌تر مشخص نبودن نحوه تأثیر و نمودش در شهرسازی و مدیریت بحران، در راستای تحقق توسعه پایدار، به‌طور گسترده‌ای موردتوجه قرارگرفته است. تمرکز مستقیم بر تاب‌آور ساختن جوامع شهری، به جای مقابله با آسیب‌پذیری‌های آن، به این دلیل حائز اهمیت است که تاب‌آوری شهرها در برابر وقوع بحران می‌تواند منجر به اقداماتی همچون افزایش ظرفیت انعطاف‌پذیری و انطباق جوامع شهری با معیشت ساکنانش شود (پاشاپور و پوراکرمی، ١٣٩٦).

ما در یک محیط به‌طور فزاینده شکننده زندگی می‌کنیم (پلاتس–فاولر و رابینسون[2]، ٢٠١٣). شهرهای تاب‌آور به نتایج مثبت ناشی از تغییرات و تحولات می‌پردازند (اوزل و مکا[3]، ٢٠١٤). افزایش تاب‌آوری اجتماعی مناطق شهری منجر به دستیابی به اهداف توسعه شهری است (بانک جهانی[4]، ٢٠١٢). انسان‌ها برای بقا به تاب‌آوری وابسته هستند. مفهوم تاب‌آوری برای درک آسیب‌پذیری مناطق مختلف شهری است (پراساد[5]، ٢٠٠٩).

نکته مهم در اینجا این است که بازیابی تاب‌آوری در یک سیستم شهری درصورتی‌که مشابه سیستم قبل از

1 PROMETHEE
2 Platts-Fowler & Robinson
3 Ozel & Mecca
4 The World Bank
5 Prasad

بروز حادثه انجام شود، ممکن است باعث تضعیف سیستم شود و بیشتر در معرض بروز یک حادثه در آینده قرار می‌گیرد (اولشانسکی[1] و همکاران، ۲۰۰۸). لینچ در سال ۲۰۰۸ به بیان تعامل بین انسان و مکان می‌پردازد و توضیح می‌دهد این امر به تقویت پیوست مکان و ایجاد هویت و همچنین ایجاد شرایطی برای تعامل افراد با هم شده و باعث ارتقاء تاب‌آوری در مناطق مختلف شهری می‌شود (کوالیک و گوارالدا[2]، ۲۰۱۱).

مشخصه اصلی تاب‌آوری به‌عنوان یک ابزار این است که بهترین مقیاس، مکان و شیوه مداخله را برای رسیدن به حداکثر سود و صرف حداقل هزینه نشان می‌دهد (دلاکه و همکاران، ۱۳۹٦)؛ بنابراین برنامه‌ریزی شهری نقش حیاتی در شکل‌گیری شهرهای تاب‌آور دارد؛ که جهت این فعالیت برنامه‌ریز استراتژیک و فرم خوب شهری برای انطباق موضوع لازم است (اولشانسکی[3] و همکاران، ۲۰۱۲).

جدول ۱- تعاریف مختلف تاب‌آوری

محقق و سال	تعاریف
هولینگ[4]، ۱۹۷۳	معیاری از توانایی سیستم برای جذب تغییرات، درحالی‌که هنوز مقاومت قبلی را دارد.
پیمم[5]، ۱۹۸٤	بازگشت یک سیستم به حالت اولیه بعد از نابسامانی.
آدگر[6]، ۲۰۰۰	قدرت گروه‌ها و جوامع برای انطباق با فشارهای خارجی و تخریب‌هایی است که درنتیجه تغییرات اجتماعی، سیاسی و غیره به وجود می‌آید.
راهبرد بین‌المللی کاهش مخاطرات[7]، ۲۰۰۲	ظرفیت جامعه برای مقاومت بیشتر در برابر تغییر به‌گونه‌ای که بتواند سطح قابل‌پذیرشی را در ایجاد ساختارها به دست آورد.
برونیه و همکاران[8]، ۲۰۰۳	توانایی سیستم در کاهش احتمال یک شوک، کنترل شوک در صورت رخداد (کاهش ناگهانی عملکرد) و بازیابی سریع پس از شوک.
آدگر[9]، ۲۰۰۵	تاب‌آوری به ظرفیت سیستم‌های اکولوژیکی برای جذب اختلالات و نیز برای حفظ بازخوردها، فرایندها و ساختارهای لازم و ذاتی سیستم اطلاق می‌شود.
فولک[10]، ۲۰۱۰	توانایی جامعه برای بازگشت به گذشته از تغییر یا عامل فشار به حالت اولیه است.
درایسن[11]، ۲۰۰۹	تاب‌آوری مفهومی توصیفی که به ما بینشی در مورد خواص پویایی سیستم می‌دهد.

1 Olshansky
2 Kowalik and Guaralda
3 Olshansky
4 Holling
5 Pimm
6 Adger
7 ISDR
8 Bruneau Et al
9 Adger
10 Folke
11 Derisen

تعاریف	محقق و سال
تاب‌آوری به ظرفیت جذب و عملکردهای اساسی و ویژه در طی سوانح و نیز ظرفیت بازیابی "برگشت به تعادل" پس از سانحه اطلاق می‌شود.	کوتر[1]، ۲۰۱۰
موبرگ بر اهمیت آموزش در تاب‌آوری تأکید دارند. به‌عبارت‌دیگر توانایی کسب تجربه از شرایط بحرانی و استفاده بهینه از این تجارب در آینده است.	موبرگ[2]، ۲۰۱۱
فرآیند دگرگونی تقویت ظرفیت جمعیت، سازمان‌ها و پیش‌بینی، بازدارندگی، بازیابی و دگرگونی کشورها پس از وقوع شوک‌ها، استرس و تغییرات را تاب‌آوری می‌نامند.	تورنر[3]، ۲۰۱۳
شدت اختلالاتی که سیستم می‌تواند آن را جذب کند، قبل از اینکه ساختار سیستم از طریق تغییر متغیرها و فرایندهایی که رفتار آن را کنترل می‌کند، به ساختار متفاوتی تبدیل شود.	کارهولم[4]، ۲۰۱۵
تاب‌آوری به ظرفیت سیستم‌های اکولوژیکی برای جذب اختلالات و نیز برای حفظ بازخوردها، فرایندها و ساختارهای لازم و ذاتی سیستم اطلاق می‌شود.	کوتوم[5]، ۲۰۱٦

مأخذ: نگارنده.

۲- محدوده موردمطالعه

استان ایلام در سال ۱۳٦۵ متشکل از پنج شهرستان به نام‌های ایلام، دره‌شهر، دهلران، شیروان و چرداول و مهران بوده است؛ و در سال ۱۳۷٤ نیز دو شهرستان آبدانان و ایوان نیز به آن‌ها اضافه شده است. در سال ۱۳٦۵ شهرستان ایلام با ۱٦۳۰۳ نفر، بیشترین جمعیت و شهرستان دهلران[6] با ۲۱۹۸۸ نفر، کمترین تعداد جمعیت را در بین شهرستان‌های استان داشته که این وضعیت تا سال ۱۳۸۵ نیز ثابت مانده است.

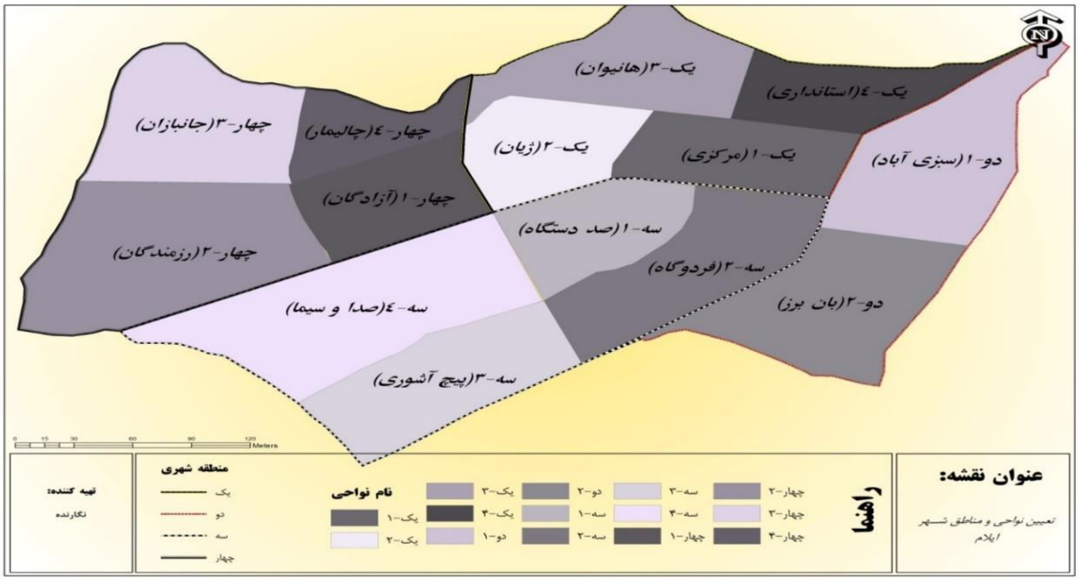
1 Cutter
2 Moberg
3 Turner
4 Karrholm
5 Kutum

٦ در سال ۱۳٦۵ شهرهای دهلران و موسیان در این شهرستان به دلیل قرار گرفتن در منطقه جنگی خالی از سکنه بوده است.

شکل ۱- تصویر سه‌بعدی ماهواره‌ای شهر ایلام از فاصله ۱۰ کیلومتری سال ۱۳۹٦

(مأخذ: مودت: ۱۳۹٦)

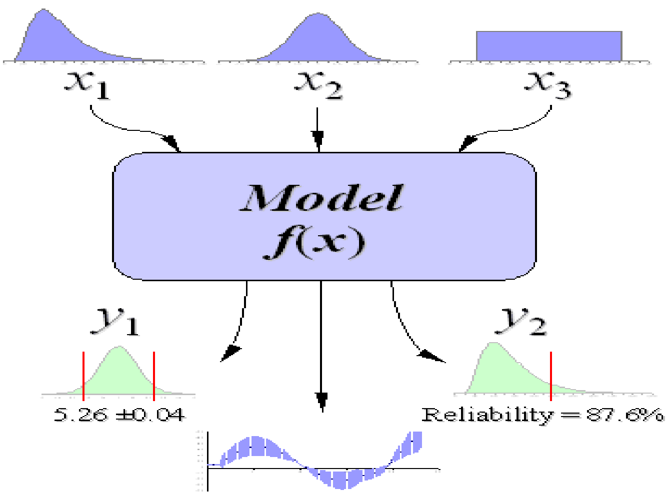
این اســتان در ســال ۱۳۹۵ تعداد شــهرســتان‌های آن به ۱۰ شــهرستان افزایش یافته است؛ که شهرستان‌های آبدانان، ایوان، ملکشــاهی، ســیروان و بدره به آن اضافه گردیده است. در بین ۱۰ شهرستان استان، شهرستان ایلام در سال ۱۳۹۵ با تعداد ۲۳۵۱٤٤ نفر بیشــترین میزان جمعیت را داشــته اســت؛ و شــهرستان سیروان در سال ۱۳۹۵ با تعداد ۱٤٤۰٤ نفر کم‌جمعیت‌ترین شهرستان استان است.



شکل ۲- محدوده مناطق و نواحی ۱۴ گانه شهر ایلام

۳- مواد و روش‌ها

بـه‌طورکلی پژوهش حـاضـر دارای رویکرد توسـعه‌ای - کاربردی با روش تحقیق ترکیبی (کتابخانه‌ای، میدانی، توصـیفی و تحلیلی) که با مراجعه به مرکز آمار ایران، شـهرداری، فرمانداری و سـالنامه آماری استان اطلاعات تأثیرگذار اسـتخراج گردید و با اسـتفاده از تکنیک PROMETHEE و مدل‌سـازی معادلات سـاختاری تاب‌آوری شـهر ایلام موردبررسـی قرار گرفته اسـت. لازم به ذکر اسـت جهت تکمیل تجزیه‌وتحلیل یافته‌ها از نرم‌افزارهای GRAFER، EQS، EXCEL و ArcGIS، VPLS و AMOS-SPSS استفاده گردیده است



شکل ۳- رویکرد مدل‌سازی و عدم قطعیت در آماره ناپارامتری

بر اساس ضرورت موضوع هدف کلی پژوهش حاضر بررسی چگونگی به‌کارگیری رویکرد مدل‌سازی جهت بررسی موضوع تاب‌آوری شهری ناشی زلزله در شهر ایلام بوده است. به این طریق که بتوان ضریب اطمینان رتبه‌بندی مناطق افزایش یابد. به عبارتی ارائه فواصل اطمینان اشاره دارد. همچنین دیگر اهداف تحقیق شامل موارد ذیل است:

روش به‌کارگیری PROMETHEE در تحلیل‌های موضوع جغرافیای شهری (در این پژوهش موضوع تاب‌آوری شهرها در برابر زلزله).

رتبه‌بندی آسیب‌پذیری بحران زلزله در مناطق شهری با روش PROMETHEE.

شناسایی مناطق و متغیرهای تأثیرگذار در سنجش بحران زلزله

٤- نتایج و بحث

٤-١- مدل PROMETHEE

در این پژوهش جهت بررسی مسأله تاب‌آوری شهر ایلام، از روش PROMETHEE که یک نوع برنامه‌ریزی خطی صفر و یک می‌باشد استفاده شده است. این مدل، شامل واژه‌های زبانی، مجموعه‌ها، متغیرهای تصمیم‌گیری، پارامترها و داده‌های مساله، محدودیت‌ها و توابع هدف می‌باشد که در ادامه، هر یک از آن‌ها به‌تفصیل تشریح خواهد شد.

مدل PROMETHEE[1]، رتبه‌بندی گزینه‌ها بر اساس مقایسات زوجی انجام می‌گیرد (اصغری‌زاده، ۱۳۹۲). روش پشتیبانی تصمیم‌گیری PROMETHEE را دو بلژیکی به نام‌های «ژان پی‌یر برنر[2]» و «برتراند مارسکال[3]» در دهه ۱۹۸۰ ارائه دادند. این روش در زمره تکنیک‌های پشتیبانی تصمیم‌گیری چند شاخصه می‌باشد که باعث تحول در روش‌های رتبه‌بندی شده است (Brans and Mareschal, 1986: 228).

فرض بر این است که A مجموعه‌ای از گزینه‌هاست که باید از میان آن‌ها انتخاب صورت گیرد. با فرض وجود K معیار مؤثر در تصمیم‌گیری، برای هر گزینه $a \in A$، مقدار fj (a) نشان‌دهنده ارزش معیار j ام در گزینه a است. روش PROMETHEE به‌صورت چند تصمیم‌گیرنده عمل می‌کند. ترکیب این روش با روش‌هایی مانند GAIA، ابزار مفیدی را برای تحلیل ارتباط میان شاخص‌ها و تصمیم‌گیرندگان ایجاد می‌کند و شکاف زمانی تا هنگام توافق بر سه تصمیم را از بین می‌برد (Brans and Mareschal, 2005: 5). تکنیک PROMETHEE، به‌صورت کلی، شامل ۳ مرحله زیر می‌باشند:

- **مرحله اول مدل PROMETHEE:** تقویت ساختار برتری (معیار تعمیم یافته)

1 Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations
2 Jean Pierre Bernner
3 Bertrand Marcascal

در این مرحله برای ارزیابی دقیق گزینه‌ها نیاز به تعریف معیارهای مختلف می‌باشد. این معیارهای تعمیم‌یافته تلاش می‌کنند دامنه انحراف بین ارزیابی گزینه‌ها را محاسبه کنند. ارزیابی در این روش، قطعی است و حالت احتمالی ندارد. همچنین درک پارامترهای این روش برای تصمیم گیرنده ساده است. مقایسات زوجی گزینه‌های امکان‌پذیر مجموعه A، ساختار اجرایی و طبیعی زیر را نشان می‌دهد:

a1,a2ϵA	f(a1)>f(a2)	a1Pa2
a1,a2ϵA	f(a1)=f(a2)	a1Ia2

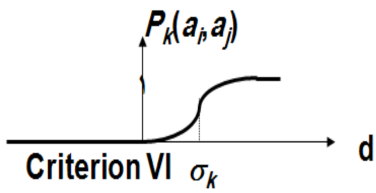
در این روش برای محاسبه و ارزیابی انحرافات گزینه‌ها نسبت به شاخص‌های مختلف، یک معیار تعمیم‌یافته برای هر شاخص در نظر گرفته می‌شود. به این منظور، تابع برتری گزینه a بر گزینه b نسبت به شاخص f را به‌صورت P(a1,a2) تعریف می‌کنیم. در بیشتر حالات می‌توانیم فرض کنیم که P(a1,a2) یک تابع انحراف (d) است:

$$d=F(a1)-F(a2)$$

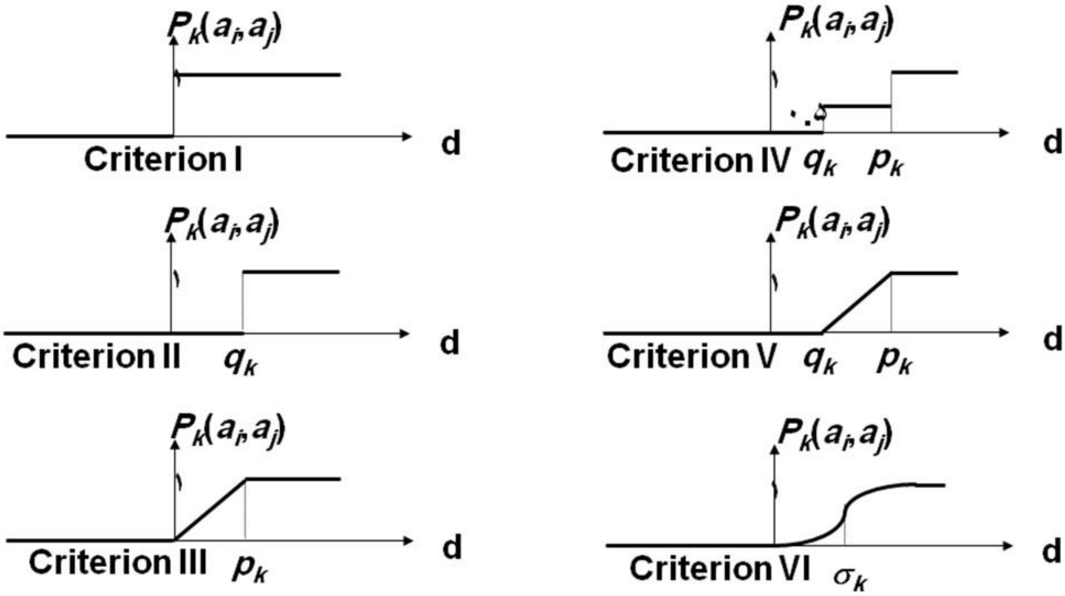
در این حالت اگر فرض کنیم که تابع انحراف مذکور نرمالیزه شود، داریم:

- ✓ $P(a1,a2)=0$ if $0\leq d$ بدون وجود برتری یا اختلاف
- ✓ $P(a1,a2)\approx 0$ if $d>0$ برتری ضعیف
- ✓ $P(a1,a2)\approx 1$ if $d>>0$ برتری قوی
- ✓ $P(a1,a2)=1$ if $d>>>0$ برتری خیلی قوی

بدیهی است که P یک تابع غیر کاهشی از d با یک ترکیب ویژه به‌صورت شکل زیر است. بنابراین، شکل تعمیم‌یافته ارتباط F(0) با سایر گزینه‌ها با استفاده از زوج مرتب (F(0),P(0,0)) تعریف شده است.



تکنیک PROMETHEE ایجاب می‌کند که یک معیار تعمیم‌یافته به هر شاخص fj (j=1,2,3,…,k) مرتبط شود. برای تسهیل این امر، مجموعه‌ای شامل شش نمونه معیار تعمیم‌یافته به تصمیم‌گیرنده ارائه شده است که از I تا VI شماره‌گذاری شده‌اند. بنابراین انتخاب مؤثر با تعامل میان تصمیم گیرنده و توافق تحلیل‌گر نسبت به درک از درجه برتری ایجاد می‌شود.



نوع داده‌ها و نظر تصـــمیم‌گیرنده، تعیین‌کننده نوع معیار تعمیم‌یافته اســـت. میزان P در هر تابع، توســـط یک رابطه ریاضی محاسبه می‌شود.

❖ **مرحله دوم مدل PROMETHEE:** توسعه ارتباط مسلط (ارتباط رتبه‌بندی بیرونی)

ارتباط اولویت‌بندی محاســـبه شـــده، ارزیابی تمام شـــاخص‌ها را ایجاد کرده اســـت. لذا برای هر جفت از گزینه‌ها، میزان کلی برتری یک گزینه بر دیگر گزینه‌ها به‌دست می‌آید.

فرض می‌کنیم که یک معیار تعمیم‌یافته (f(0),f(0,0)) به هر شـــاخص(f(0 از مســـاله موردنظر ارتباط یافته اســـت. بنابراین، یک شاخص برتری چندمعیاره π(a1,a2) از a1 بر روی a2 برای محاسبه تمامی شاخص‌ها تعریف می‌شود:

✓ برای وزن‌های متفاوت

$$((a_1, a_2) = (w_{i*} P_i (a_1, a_2)$$

✓ برای وزن‌های یکسان

$$((a_1, a_2) = (1/m)\ _*(P_i (a_1, a_2)$$

که در آن $w_j>0(j=1,2,\ldots,k)$ وزن‌های مرتبط با هر شـــاخص اســـت. این وزن‌ها اعداد حقیقی مثبت هســـتند که به اندازه شاخص بستگی ندارند.

یکی از روش‌های رایج در مدل‌ســـازی برای ایجاد یک تفسیر شهودی کامل از وزن‌های مرتبط با شاخص‌ها، روش GAIA اســـت. در برخی حالت‌ها، ابتدا وزن‌ها در نظر گرفته می‌شوند و شاخص برتری چندمعیاره π(a1,a2) به‌سادگی به‌صورت میانگین تمام p(a1,a2)ها به دست می‌آید.

$$(a1,a2)=(1/k)\sum pj(a1,a2)\pi$$

- ✓ به‌طور ضمنی، یک برتری عمومی ضعیف از a1 بر a2 را نشان می‌دهد: $\Pi(a1,a2) \, 0$
- ✓ به‌طور ضمنی، یک برتری عمومی قوی از a1 بر a2 را نشان می‌دهد: $\Pi(a1,a2) \, 1$

$\pi(a1,a2)$ نشـــان می‌دهد که چگونه و با چه درجه‌ای گزینه a بر گزینه b برتری دارد و در مقابل، $\pi(a2,a1)$ نشـــان می‌دهـد کـه گزینـه a2 چگونـه و بـا چه درجه‌ای بر گزینه a1 برتری دارد. لذا برای هر جفت از گزینه‌های $a1,a2 \in A$، میزان $\pi(a1,a2)$ و $\pi(a2,a1)$ محاســـبه می‌شـــود. با این کار، ارتباط اولویت‌بندی کامل گزینه‌های امکان‌پذیر مجموعه A تنظیم می‌شود.

مرحله سوم مدل PROMETHEE: استفاده برای پشتیبانی تصمیم

برای انتخاب گزینه مطلوب، لازم است 1- گزینه دیگر متعلق به مجموعه A رد شوند. بنابراین، دو جریان اولویت‌بندی بیرونی را تعریف می‌کنیم:

- ✓ جریان طبقه‌بندی بیرونی مثبت: $$\Phi^{+}(a) = 1/(n-1)\sum_{x\in A}\pi(a,x)$$
- ✓ جریان طبقه‌بندی بیرونی منفی: $$\Phi^{-}(a) = 1/(n-1)\sum_{x\in A}\pi(x,a)$$

جریان اولویت‌بندی بیرونی مثبت نشـــان می‌دهد که هر گزینه چه میزان اولویت نســـبت به ســـایر گزینه‌ها دارد و لذا بزرگ‌ترین $\Phi^{+}(a)$ گزینه برتر می‌باشـد. به‌عبارت‌دیگر، $\Phi^{+}(a)$ نشـــان‌دهنده قوت و قدرت گزینه a است. جریان اولویـت‌بنـدی بیرونی منفی نیز نشـــان می‌دهـد کـه دیگر گزینـه‌ها چه مقدار بر هر گزینه اولویت دارند و لذا کمترین $\Phi^{-}(a)$ گزینه بهتری است. به‌عبارت‌دیگر، $\Phi^{-}(a)$ نشان‌دهنده ضعف گزینه a است.

با توجه به توضـــیحات مذکور، دو نوع طبقه‌بندی را می‌توانیم به‌طور طبیعی از جریان اولویت‌بندی بیرونی مثبت و منفی استنباط کرد. در اینجا آن‌ها را به ترتیب با (P+,I+) و (P-,I-) نشان می‌دهیم.

$$\begin{array}{ll} \text{if } \Phi+(a1) > \Phi+(a2) & a1\ P+\ a2 \\ \text{if } \Phi+(a1) = \Phi+(a2) & a1\ I+\ a2 \\ \text{if } \Phi-(a2) > \Phi-(a1) & a1\ P-\ a2 \\ \text{if } \Phi-(a2) = \Phi-(a1) & a1\ I-\ a2 \end{array}$$

اولویت‌بندی جزئی که در روش PROMETHEE I ایجاد می‌شـود، ناشـی از اشتراک این دو نوع طبقه‌بندی است و درنتیجه داریم:

a1 P a2 if: a1 P+ a2 and a1 P- a2 و a1 P+ a2 and a1 I- a2 a1 I a2 if: a1 I+ a2 and a1 I- a2 و a1 R a2 if: a1 I+ a2 and a1 P- a2

بنابراین، نتایج مقایسه‌های دوگانه PROMETHEE I به‌صورت زیر جمع‌بندی می‌شود:

- a1PI a2: در این حالت، گزینه a1 بر گزینه a2 ترجیح داده می‌شود. بیشترین قدرت a1 با کمترین ضعف a1 مرتبط می‌شود و اطلاعات مربوط به هر دو جریان اولویت‌بندی بیرونی، یکپارچه و منسجم می‌شود. بنابراین، گزینه a1 با قاطعیت ترجیح داده می‌شود.
- a1II a2: در این حالت، گزینه a1 و a2 اختلاف چندانی ندارند و هر دو جریان طبقه‌بندی بیرونی مثبت و منفی، یکسان است.
- a1RI a2: در این حالت، گزینه‌های a1 و a2 غیرقابل مقایسه‌اند. بیشترین قدرت یک گزینه (a1) با کمترین ضعف گزینه دیگر (a2) مرتبط شده است. این حالت معمولاً وقتی اتفاق می‌افتد که گزینه a1 بر روی مجموعه‌ای از شاخص‌هایی که گزینه a2 نامطلوب بوده، مطلوب است؛ و به‌طور متقابل گزینه a2 بر روی گروه دیگری از شاخص‌ها که گزینه a1 نامطلوب بوده است، مطلوب می‌باشد. همان‌گونه که اطلاعات متقابل به‌دست‌آمده، یکدیگر را تأیید نمی‌کنند، طبیعی به نظر می‌رسد که در این حالت بهتر است در مورد ترجیح گزینه‌ها تصمیمی گرفته نشود (اصغری‌زاده و همکاران، ۱۳۹۰).

معرفی شاخص‌های تحقیق: شناخت بهتر و دقیق‌تر از مکان‌های جغرافیایی در زمینه‌های مختلف در سطوح متفاوت منوط به در دسترس داشتن اطلاعات کامل و پردازش شده از مکان‌های مورد نظر است. برای نیل به این مهم از شاخص‌ها و متغیرها استفاده می‌شود. این شاخص‌های ترکیبی می‌توانند سطحی از آسایش و رفاه و رشد و توسعه مکان‌های جغرافیایی بر اساس معیارهای انتخاب شده را نشان دهند. تعیین این شاخص‌ها مهم‌ترین قدم در مطالعات برنامه‌ریزی می‌باشد. به‌منظور تعیین میزان تاب‌آوری مناطق، از آخرین اطلاعات منتشر شده توسط مرکز آمار ایران، سالنامه آماری استان و اسناد شهرداری ایلام، اطلاعات مندرج در سایت استانداری ایلام استفاده گردیده. برخی شاخص‌ها از حالت خام خارج شده و به‌صورت ضریب یا نسبت آن‌ها استفاده گردیده است؛ و به‌منظور هر چه خلاصه‌تر کردن پژوهش اعداد در محاسبات تا ده رقم اعشار ولی در نمایش یک الی چهار رقم اعشار نمایش داده شده است.

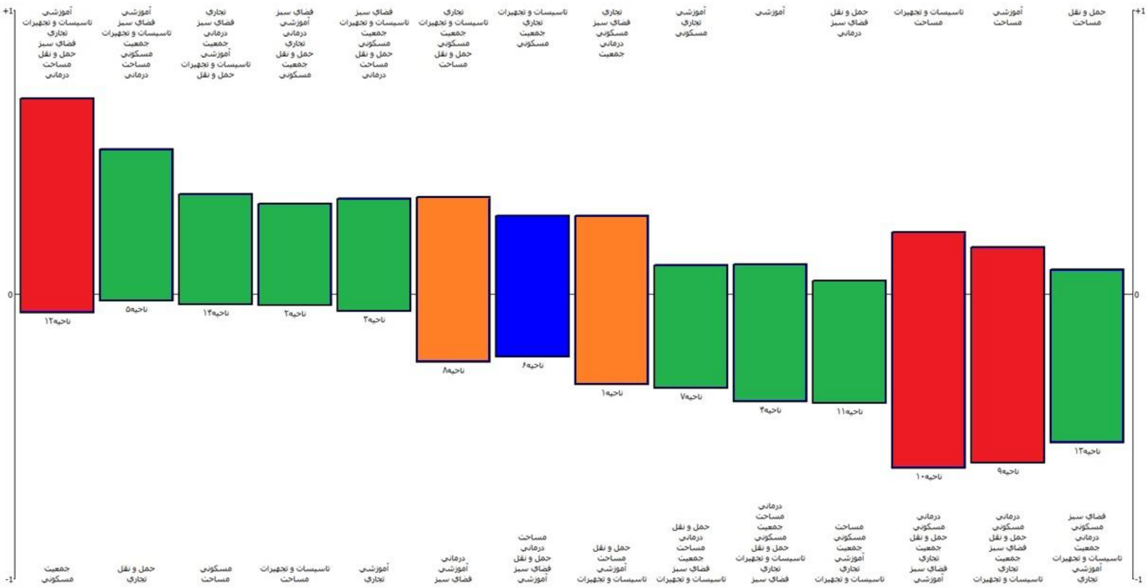
جدول ۲- رابطه و تأثیر شاخص‌ها در ارزیابی تاب‌آوری شهری

شاخص	تعریف عملیاتی	سنجه	
شبکه حمل‌ونقل	وجود راه‌های اصلی و شریانی بیشتر در منطقه و امکان برقراری ارتباط با مناطق مجاور امکان تاب‌آوری منطقه را افزایش می‌دهد.	مستقیم	تاب‌آوری
اندازه قطعات	مساحت و اندازه قطعات از متغیرهای مهم در میزان تاب‌آوری می‌باشد؛ و هرچه مساحت قطعات بیشتر باشد تاب‌آوری افزایش می‌یابد.	مستقیم	
زیرساخت	منظور از زیرساخت‌های حیاتی در منطقه لوله‌ها، تأسیسات و تجهیزات مربوط به گاز، نفت، آب، برق و مخابرات در منطقه است. هر چه میزان تأسیسات و تجهیزات حیاتی مرتبط با این زیرساخت‌ها در منطقه بیشتر باشد، امکان آسیب‌پذیری منطقه بیشتر خواهد بود. در صورت نبود تأسیسات جایگزین برای این زیرساخت‌ها، میزان تاب‌آوری کاهش خواهد یافت. هر چه خطوط اصلی زیرساخت‌های حیاتی در منطقه بیشتر باشد، تاب‌آوری کمتر است.	معکوس	
مراکز امدادرسانی	هر چه مراکز درمانی و امدادرسان در منطقه بیشتر باشد، احتمال برگشت‌پذیری و تاب‌آوری منطقه بیشتر خواهد بود.	مستقیم	
آموزشی، درمانی و تجاری	منظور از بررسی ساختار آموزشی و تجاری منطقه بررسی میزان افراد سواد و اشتغال در منطقه است. منبع سرمایه اجتماعی و شغلی محکم، ایمن در تاب‌آوری منطقه تأثیر بسزایی دارد.	مستقیم	
کالبدی	تعداد ساختمان که می‌تواند معرف تراکم ساختمانی نیز باشد به این صورت در میزان تاب‌آوری مؤثر واقع می‌گردد؛ که با افزایش طبقات میزان تاب‌آوری نیز کاهش می‌یابد (البته تابع عامل جنس و قدمت ساختمان نیز می‌باشد).	معکوس	
ساختار جمعیت (سن یا جنس)	منظور از بررسی ساختار سنی جمعیت دستیابی به جمعیت آسیب‌پذیر در گروه‌های سنی (زیر ۶ سال و بالای ۶۵ سال) است. هر چه درصد جمعیت در سن آسیب‌پذیری بیشتر باشد، میزان تاب‌آوری کمتر است. همچنین تجربه‌ی بحران‌های مختلف نشان داده است که زنان در زمان بحران به‌مراتب از مردان آسیب‌پذیرترند. هر چه درصد جمعیت زنان نسبت به کل جمعیت بیشتر باشد، میزان تاب‌آوری منطقه کاهش می‌یابد.	معکوس	

مآخذ: نگارنده.

۴-۲- تحلیل الگوی قوسی تاب‌آوری شهر ایلام با مدل PROMETHEE

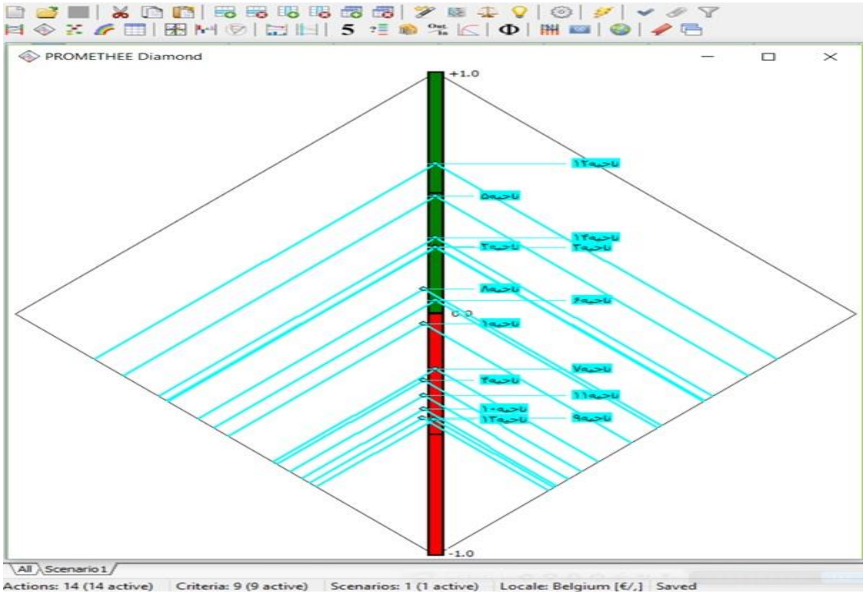
الگوی قوسی در مدل پرامته شاخص و نواحی موردمطالعه را در کنار یکدیگر تحلیل می‌نماید. بدین شرح که تمام شاخص‌ها و نواحی بین مثبت یک (۱+) و منفی یک (۱-) در حال تغییر می‌باشد. لذا اولاً می‌توان تمام متغیرها و نواحی را در یک نمودار ارائه نمود؛ دوماً می‌توان دریافت که هر شاخص در کدام ناحیه شهری باعث قوت (۱+) آن ناحیه گردیده و برعکس کدام شاخص در آن ناحیه ضعیف (۱-) می‌باشد.



شکل ٤- تاب‌آوری نواحی شهر ایلام بر اساس الگوی قوسی PROMETHEE

بر اساس توضیح ارائه شده موضوع تاب‌آوری شهری ایلام بر اساس الگوی قوسی PROMETHEE نشان داده است:

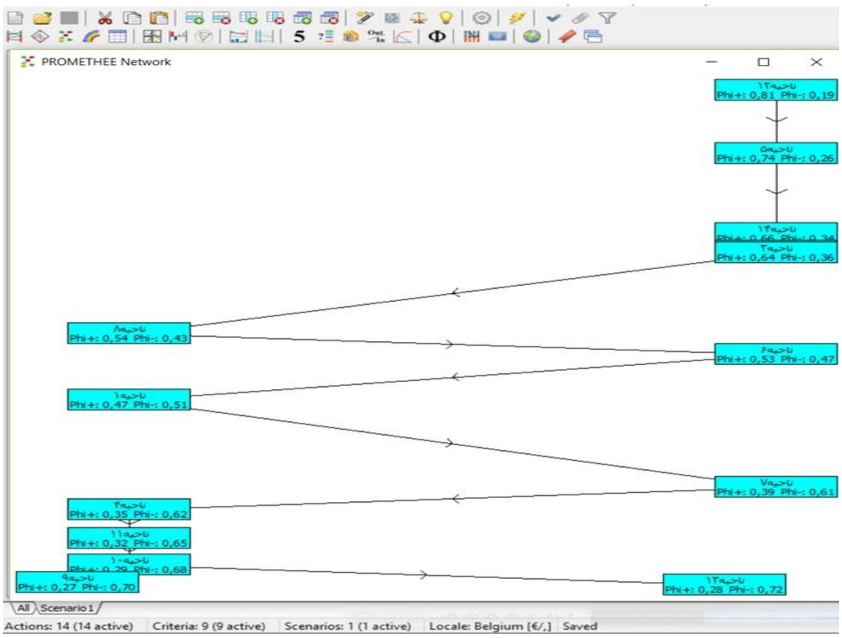
- بیشترین شاخص‌های ضعیف (۱-) را ناحیه ۱۰ شهر ایلام دارا می‌باشد. به عبارتی تنها دو شاخص تأسیسات و مساحت ناحیه در قسمت قوی (۱+) الگوی قوسی قرار دارد. مابقی متغیرهای در ناحیه ضعیف (۱-) الگوی قوسی قرار گرفته‌اند.
- تقریباً ناحیه یک شهر ایلام حالت میانه به خود گرفته است؛ که بعدازآن نواحی ۷، ٤، ۱۱، ۱۰، ۹ و ۱۳ از نظر ساختاری بیشتر حالت ضعف (۱-) دارند تا قوت (۱+) و در مقابل نواحی ٦، ۸، ۳، ۲، ۱٤، ۵ و ۱۲ از نظر ساختاری بیشتر حالت قوت (۱+) به خود گرفته‌اند.
- به‌صورت ناحیه‌ای در شهر ایلام ناحیه ۱۰ بیشترین ساختار منفی (۱-) و ناحیه ۱۲ بیشترین ساختار مثبت (۱+) را در الگوی قوسی دارا می‌باشند.
- در ناحیه ۱۲ شهر ایلام دو عامل جمعیت و مسکن در ساختار (۱-) الگوی قوسی قرار دارند و مابقی متغیرها ساختار (۱+) در این ناحیه به خود گرفته‌اند.



شکل ٥- پراکندگی نواحی شهر ایلام بر اساس روش لوزی PROMETHEE

٤-٣- تحلیل شبکه‌ای تاب‌آوری مدل PROMETHEE

نسبت طلایی یا عدد فی (ϕ) در آمار و ریاضیات هنگامی رخ می‌دهد که «نسبت بخش بزرگ‌تر به بخش کوچک‌تر، برابر با نسبت کل به بخش بزرگ‌تر» باشد. به‌عبارت‌دیگر عددی (ثابت) مثبت است که اگر به آن یک واحد اضافه کنیم، به مربع آن خواهیم رسید.



شکل ٦- ساختار شبکه‌ای تاب‌آوری شهر ایلام بر اساس مدل PROMETHEE

بر اساس الگوی شبکه‌ای تاب‌آوری شهر ایلام:

ناحیه ۱۲ شهر ایلام در رأس شبکه تاب‌آوری شهری قرار دارد و در مقابل آن ناحیه ۹ شهر ایلام به‌عنوان پایین‌ترین ساختار شبکه‌ای قرار دارد و از دیدگاه موضوع پژوهش آسیب‌پذیرترین ناحیه می‌باشد. همچنین این موضوع در طرح‌ریزی تاب‌آوری شهری ایلام که در ادامه بررسی گردیده، نیز تائید گردیده است.

- میزان فی مثبت ناحیه ۱۲ شهر ایلام برابر ۰/۸۱درصد و میزان فی منفی آن برابر ۰/۱۹ می‌باشد.
- میزان فی مثبت ناحیه ۹ شهر ایلام برابر ۰/۲۷درصد و میزان فی منفی آن برابر ۰/۷۰ می‌باشد.

لذا بر اساس نتایج همان‌گونه که نتایج نشان داده است اولاً میزان فی مثبت و منفی این نواحی برعکس یکدیگر عملکرده است در دوماً میزان کمبود فی مثبت و منفی این دو ناحیه با یکدیگر تکمیل می‌گردد.

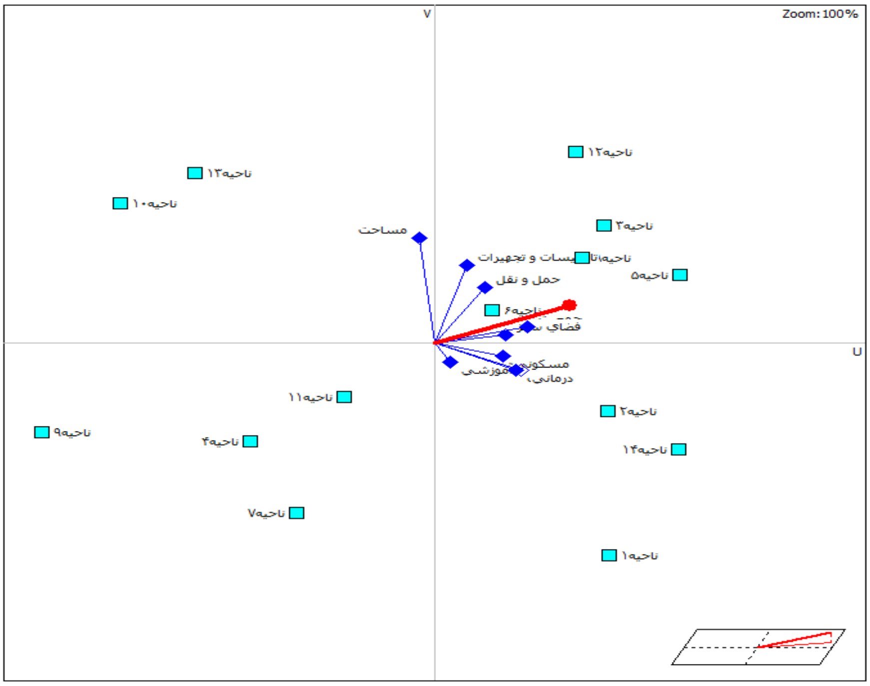
شکل ۷- میزان فی مثبت و منفی در تاب‌آوری شهر ایلام با مدل PROMETHEE

٤-٤- مدل‌سازی دیداری GAIA

این روش مدل‌سازی متعلق به روش PROMETHEE می‌باشد. در آن مجموعه‌ای از گزینه‌ها می‌توانند توسط n نقطه در یک فضای m بعدی نمایش داده شود. در این مرحله m تعداد معیارها است. ازآنجایی‌که تعداد معیارها، معمولاً بیشتر از دو می‌باشد، ارائه شکل دیداری واضحی از این نقاط غیرممکن به نظر می‌رسد (شاهی و همکاران، ۱۳۹٤).

GAIA با طرح‌ریزی نقاط بر روی یک طرح دو بعدی سبب نمایش فنی دیداری می‌گردد. هنگامی‌که طرح اجرا می‌شود، ممکن است مقداری از اطلاعات در فرآیند طرح‌ریزی از بین بروند. طرح GAIA نوعی تصمیم‌گیری با ابزار قدرتمندی برای تحلیل قدرت تمایز میان معیارها و جهات متناقضشان فراهم می‌آورد. خوشه‌هایی برای گزینه‌های مشابه و یا گزینه‌های غیرقابل قیاس در این طرح وجود دارد. در این روش، بردار وزن معیارها جهت را پیش‌بینی

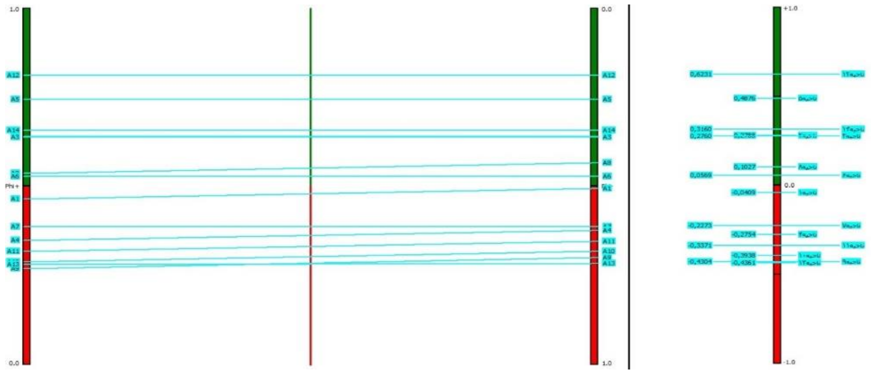
می‌کند، در این مرحله اغلب گزینه‌هایی که دارای ارجحیت هســـتند در طرح نمایان می‌شـــوند. طرح‌ریزی GAIA در حوزه آمار برای ابزار دیداری خاصی تحت عنوان تحلیل اجزای اصلی به کار می‌رود.



شکل ۸- مدل‌سازی دیداری طرح‌ریزی GAIA در تاب‌آوری شهر ایلام

بر اســـاس طرح‌ریزی گایا: نواحی ۱۳ و ۱۰ شـــهر ایلام در یک صـــفحه اقلیدســـی و نواحی ۱۱، ٤، ۹ و ۷ در یک صـــفحه و نواحی ۲، ۱٤ و ۱ در یک صـــفحه دیگر و درنهایت نواحی ۱۲، ۳، ۸، ۵ و ٦ در صـــفحه‌ای قرار دارند که بیشـــترین یا به عبارتی معیار تصـــمیم‌گیری در آن صفحه قرار دارند (خط قرمز). لذا بر اساس این طرح‌ریزی تنها نواحی ۱۲، ۳، ۸، ۵ و ٦ بیشـــترین تاب‌آوری شـــهری را دارا می‌باشند؛ و از نظر شاخص‌سازی سه معیار تأسیسات و تجهیزات، فضای سبز و حمل‌ونقل در شهر ایلام باعث به وجود آمدن چنین فضایی گردیده است.

همچنین میزان دلتا، که نشان‌گر فاصله نواحی از یکدیگر می‌باشد برابر ۵۵/۹ درصد بوده است.



شکل ۹- رتبه‌بندی کلی و جزئی تاب‌آوری نواحی شهر ایلام بر اساس روش PROMETHEE

بر اساس رتبه‌بندی مدل PROMETHEE

- ناحیه ۱۲ شهر ایلام با میزان ۰/۶۲۳۱ درصد تاب‌آورترین ناحیه شهری ایلام می‌باشد.
- ناحیه ۹ شهر ایلام با میزان ۰/۴۳۰۶- درصد آسیب‌پذیرترین ناحیه شهری می‌باشد.
- نواحی ۱، ۷، ۴، ۱۱، ۱۰، ۱۳ و ۹ شهر ایلام در فضای منفی مدل قرار دارند؛ که این فضای عددی است بین ۰ و ۱- که این نواحی بین ۰/۰۴۰۹- تا ۰/۴۳۰۶- قرار دارند؛ و از طرف دیگر در فضای مثبت مدل که عددی است بین ۰ و ۱+ نواحی ۶، ۸، ۲، ۳، ۱۴، ۵ و ۱۲ قرار دارند که بین ۰/۰۵۶۹ تا ۰/۶۲۳۱ می‌باشد. لذا در این فضای آماری هیچ‌یک از نواحی شهر ایلام در موضوع تاب‌آوری نتوانسته‌اند خود را در بهترین نقطه آماری مدل قرار دهند.

۵- نتیجه‌گیری

سوانح طبیعی که جزئی از فرایند زندگی بشر به شمار می‌روند و هرروز بر تعداد و تنوع آن‌ها افزوده می‌شود، به‌عنوان چالش اساسی در جهت نیل به توسعه پایدار جوامع انسانی مطرح شده است؛ نتیجه شناخت شیوه‌های نیل به پایداری، به‌وسیله الگوهای مختلف کاهش آسیب‌پذیری در برنامه‌ریزی و مدیریت سوانح وارد شده است و جایگاهی مناسب در سیاست‌گذاری‌های ملی هر کشور یافته است، تا شرایط مطلوبی را برای کاهش کارآمد و مؤثرتر خطرات در سطوح مختلف مدیریت سوانح بخصوص مدیریت زلزله به دلیل خسارات وسیع و ناهنجاری‌های گسترده اجتماعی ایجاد نمایند؛ بنابراین آشکار است که تحقیق‌های کاربردی در امور مربوط به ایمن‌سازی شهرها در برابر سوانح طبیعی سبب افزایش ابتکارات در برنامه‌ریزی‌ها و یافتن بهترین سیاست خواهد شد.

با توجه به ظرفیت‌های موجود در بلایای طبیعی همیشه این نگرانی وجود دارد که در صورت وقوع می‌توانند پیامدهای متفاوتی را بر جای بگذارند که در برخی از موارد غیرقابل‌جبران است؛ اما بررسی‌ها نشان می‌دهد که هرچند

نمی‌توان به‌طور کامل اثرات وقوع بلایای طبیعی را از بین برد، می‌توان با بهره‌گیری از تکنیک‌های مدیریتی زمان رسیدن به حالت عادی را کوتاه‌تر و در واقع جوامع محلی را تاب‌آور کرد.

بر اساس ضرورت موضوع پژوهش حاضر گستره شهر ایلام را به‌صورت مدل‌سازی آمار جهت پردازش میزان تاب‌آوری شهری در نواحی ١٤گانه موردسنجش قرار داد؛ چراکه شهر ایلام بر روی سازند زاگرس چین‌خورده قرار دارد که به دلیل وجود گسل‌های اصلی در عمق استان، در باند با خطر نسبی بالا قرار می‌گیرد. به‌طور کامل شهر ایلام را از طرف غرب و شرق و همچنین از شمال و جنوب در برمی‌گیرد؛ بنابراین، می‌توان نتایج حاصل از تحلیل خطر لرزه‌ای را که برای این گستره ارائه می‌شود، به‌عنوان نتایج معتبر برای کل منطقه شهری ایلام تعریف کرد. بر اساس نتایج حاصله در مجموعه متغیرها و نواحی موردمطالعه علاوه براینکه اختلافی زیادی بین نواحی و شاخص‌ها وجود دارد. هیچ‌یک از نواحی ١٤گانه شهر ایلام بر اساس مدل PROMETHEE نتوانسته میزان عدد ١ که در بهترین وضعیت می‌باشد به دست بیاورند. درنتیجه توجه به مفهوم تاب‌آوری که باید با تمامی مراحل مدیریت سوانح ارتباط یابد لازم است جامعهٔ تاب‌آور دارای ویژگی‌هایی باشد که تمامی مراحل قبل، حین و پس از سانحه را پوشش دهد.

کتابنامه

احدنژاد، محسن؛۱۳۹۰. ارزیابی آسیب‌پذیری اجتماعی در برابر زلزله نمونه موردی شهر زنجان. *مجله مطالعات و پژوهش‌های شهری و منطقه‌ای*. سال دوم. شماره ٧.

آستانه، علیرضا؛ بازگیر، سعید؛ شیخ‌زاده، محسن؛ ١٣٩٦. تحلیل فضایی آسیب‌پذیری اجتماعی در برابر زلزله مطالعه موردی منطقه٦ شهر تهران. *مجله پژوهش‌های جغرافیایی انسانی*. دوره ٤٩.

اصغری‌زاده، عزت اله، بی‌طرف، احمد و اجلی، مهدی؛ ۱۳۹۰. ارائه یک مدل ترکیبی با استفاده از PROMETHEE فازی و برنامه‌ریزی خطی چندهدفه برای برون‌سپاری خدمات گارانتی. *مجله چشم‌انداز مدیریت صنعتی*. شماره ۲.

اصغری‌زاده، عزت اله؛ ۱۳۹۲. رتبه‌بندی شرکت‌ها بر اساس معیارهای مدل سرآمدی – روش PROMETHEE. *مجله پژوهش‌های مدیریت در ایران*. سال یازدهم. شماره ۳. صفحه ٨٤–٥٩.

پاشاپور، حجت اله؛ پوراکرمی، محمد؛ ١٣٩٦. سنجش ابعاد کالبدی تاب‌آوری شهری در برابر مخاطرات طبیعی زلزله مطالعه موردی منطقه ۱۲ شهر تهران. *مجله مطالعات برنامه‌ریزی سکونتگاه‌های انسانی*. شماره ۱۲.

دلاکه، حسن؛ ثمره محسن بیگی، حسین؛ شاهیوندی، احمد؛ ١٣٩٦. سنجش میزان تاب‌آوری اجتماعی در مناطق شهری اصفهان. *مجله جامعه‌شناسی نهادهای اجتماعی*. شماره ٤.

شاهی، سولماز؛ کورکی، فرهاد؛ پورابراهیم، شراره؛ ١٣٩٤. بررسی روش فراتبه‌ای پرومته و الکتره در تصمیم‌گیری صنعت نفت و پتروشیمی. *فصلنامه انسان و محیط‌زیست*. شماره ۳۳.

قدیری، محمود؛ رکن‌الدین افتخاری، عبدالرضا؛ شایان، سیاوش و پرهیزکار، اکبر؛ ۱۳۹۰. تبیین تمرکز اجتماعی – فضایی آسیب‌پذیری شهر تهران در برابر زلزله. *مجله برنامه‌ریزی و آمایش فضا*. شماره ۳.

قرایی، فریبا، مثنوی، محمدرضا؛ حاجی بنده، مونا؛ ۱۳۹٦. بسط شاخص‌های کلیدی سنجش تاب‌آوری مکانی-فضایی شهری؛ مرور فشرده ادبیات نظری. *مجله باغ منظر*. شماره ۵۷.
مرکز آمار ایران واحد اطلاع‌رسانی آماری؛ ۱۳۹٦. *گزارش سرشماری عمومی نفوس و مسکن استان ایلام*.
مرکز آمار ایران؛ ۱۳۳۵-۱۳۹۵. سالنامه آماری استان ایلام، سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی استان ایلام. معاونت آمار و اطلاعات.
مودت، الیاس؛ ملکی، سعید؛ ۱۳۹۳. طیف‌بندی و سنجش فضایی آسیب فیزیکی اجتماعی شهرها در برابر زلزله با به‌کارگیری تکنیک VIKOR و GIS. *مجله جغرافیا و آمایش شهری – منطقه‌ای*. شماره ۱۱.
مودت، الیاس؛ ۱۳۹٦. *مدل‌سازی ساختار شهری با رویکرد تاب‌آوری از منظر بحران زلزله مطالعه موردی شهر ایلام*. رساله دکتری. استاد راهنما سعید ملکی. گروه جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری. دانشگاه شهید چمران اهواز.

Brans, J.P. and Mareschal, B., 2005. PROMETHEE methods, in Figueira, J., Greco, S. and Ehrgott, M. (Eds), Multiple Criteria Decision Analysis: State of the Art Surveys, Springer, New York, NY, pp. 163-198, Ch. 5.
Brans, J.P.; Vincke, P.h. and Mareschal, B., 1986. How to select and how to rank projects: The PROMETHEE method, *Journal of Operational Research*, 24, 228–238.
ECHO., 1999. The Geography of Disasters, Geography in Humanitarian Assistance, European Community Humanitarian Office.
Hagenlocher, M.; Holbling, D.; Kienberger, S.; Vanhuysse, S. and Zeil, P., 2015. Spatial assessment of social vulnerability in the context of landmines and explosive remnants of war in Battambang province, Cambodia, *International Journal of Disaster Risk Reduction*, Vol. 15 No. 1.
Katherine, L.; Modupe, A. and Dolly, C., 2015. hat Happens Before? A Field Experiment Exploring How Pay and Representation Differentially Shape Bias on the Pathway Into Organizations, *Journal of Applied Psychology*, Vol 100, No 6.
Kowalik, M. and Guaralda, M., 2011. Mapping resilience: A framework for changing cities. In Proceedings of 4th International Urban design Conference (pp. 102-113). AST Management Pty Ltd.
Olshansky, R. B.; Johnson, L. A.; Horne, J.and Nee, B., 2008. Longer view: Planning for the rebuilding of New Orleans. *Journal of the American Planning Association*, 74(3), 273-287.
Ozel, B., and Mecca, S., 2014. Rethinking the Role of Public Spaces for Urban Resilience: Case-Study of Eco-Village in Cenaia. In Past Present and Future of Public Space-International Conference on Art, Architecture and Urban Design Bologna (Italy).
Platts-Fowler, D. and Robinson, D., 2013. Neighbourhood resilience in sheffield: getting by in hard times. Report for Sheffield City Council, Centre for Regional Economic and Social Research.
Prasad, N.; Ranghieri, F.; Shah, F.; Trohanis, Z.; Kessler, E.; and Sinha, R., 2009. Climate resilient cities: A primer on reducing vulnerabilities to disasters. Washington, DC: World Bank.
Smith, K., 2006. Environmental hazards, Assessing risk and reducing disaster, 3rd Ed.
Suarez, M.; Gomez-Baggethun, M.; Benayas, J. and Tilbury, D., 2016. Towards an Urban Resilience Index: A Case Study in 50 Spanish Cities. Sustainability , 8(8): 774, 1-19.
The World Bank., 2012. Building urban resilience: principles, tools and practice.

Weichselgartner, J., 2001. Disaster mitigation: the concept of vulnerability revisited, Disaster Prevention and Management, Vol 10, No 2.

Vol.10, No.4, Winter 2022, pp.151-173 ISSN (Print):2322-1682 ISSN (Online):2383-3076

Journal of Geography and Environmental Hazards

RESEARCH ARTICLE DOI: 10.22067/geoeh.2021.69981.1046 Open access

Investigating and Evaluating the Resilience of Karaj Communication Network

(Case Study: Shahid Beheshti and Azadi Streets)

Hassan Hekmatnia [a], Esmaeil Nasiri Hendeh Khaleh [a*], Fazlollah Esmaeili [b], Behrooz Nezafat Takleh [c], Davood Fattahi [d], Davood Moghadam [e]

[a] *Associate Professor, Department of Geography and Urban Planning, Payame Noor University, Tehran, Iran*
[b] *Assistant Professor, Department of Geography and Rural Planning, Payam-e-Noor University, Tehran, Iran*
[c] *Graduate of Theoretical Geomorphology, Mohaghegh Ardabili University, Ardabil, Iran*
[d] *Graduate of Geography and Urban Planning, Payame Noor University, Tehran, Iran*
[e]*MSc Student, Land Management Planning, University of Tehran, Tehran, Iran*

Received: 22 April 2021 Revised: 4 August 2021 Accepted: 9 August 2021

Abstract
In recent years, the study of the concepts of resilience at the urban and regional scales has attracted special attention, although the level and number of these studies at the urban scale is higher than other studies at higher scales. Hence, the gap of this group of studies in the field of regional studies is obvious. The main purpose of this study was to investigate and evaluate the resilience of Karaj communication network. Using library studies, important criteria and sub-criteria in increasing the resilience of roads were identified and then studied and evaluated in selected axes. The six criteria developed in this study are equestrian resilience, pedestrian and cyclist resilience, natural disaster resilience, efficient transportation management, resilience against adverse weather conditions, and resilience against crime. This applied research used a descriptive-analytical method and combined (quantitative-qualitative) approach. The selected axes of this research are Shahid Beheshti Street and Azadi Streets of Karaj. The results of hierarchical analysis shows that the level of resilience of these axes is moderate and low. Among the proposed solutions to improve resilience are pedestrianization of busy sections of the street, implementation of traffic plans such as pairing and individualizing traffic on the passageways of vehicles, controlling the speed of vehicles and providing safe movement for pedestrians through relaxation methods, using speed control tools, and the construction of overpasses or underpasses for pedestrians in high-risk areas.

Keywords: Evaluation, Efficiency, Resilience, Intercity Communication Network, Karaj

*. Corresponding author: Esmaeil Nasiri Hendeh Khaleh E-mail: esmael.nasiri@yahoo.com Tel: + 989122389852

How to cite this Article: Hekmatnia,H., Nasiri Hendeh Khaleh,E., Esmaeili, F., Behrooz, N., Fatahi, D., Mogadam, D. (2021). Investigating and evaluating the resilience of Karaj communication network (Case study: Shahid Beheshti and Azadi streets). *Journal of Geography and Environmental Hazards*, 10(4), 159-183.

doi: 10.22067/geoeh.2021.69981.1046

Geography and Environmental Hazards
Volume 10, Issue 4 - Number 40, Winter 2022
https://geoeh.um.ac.ir
https://dx.doi.org/10.22067/geoeh.2021.69981.1046

جغرافیا و مخاطرات محیطی، سال دهم، شمارۀ چهلم، زمستان ۱٤۰۰ صص ۱۷۳-۱۵۱

مقاله پژوهشی

بررسی و سنجش تاب‌آوری شبکه ارتباطی شهر کرج (مطالعه موردی: خیابان‌های شهید بهشتی و آزادی)

حسن حکمت نیا- دانشیار، گروه جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران
اسماعیل نصیری هنده خاله[۱] - دانشیار، گروه جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران
فضل اله اسمعیلی- استادیار، گروه جغرافیا و برنامه‌ریزی روستایی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران
بهروز نظافت تکله- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، ژئومورفولوژی نظری، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران
داوود فتاحی- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران
داوود مقدم- دانشجوی کارشناسی ارشد، برنامه‌ریزی آمایش سرزمین، دانشگاه تهران، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱٤۰۰/۲/۲ تاریخ بازنگری: ۱٤۰۰/۵/۱۳ تاریخ تصویب: ۱٤۰۰/۵/۱۸

چکیده

بیان مسأله: در سال‌های اخیر، مطالعه درباره مفاهیم تاب‌آوری در مقیاس‌های شهری و منطقه‌ای توجه ویژه‌ای را به خود جلب کرده است، هرچند سطح و تعداد این مطالعات در مقیاس شهری بیش از مطالعات انجام شده دیگر در مقیاس‌های بالاتر است. ازاین‌رو، خلأ این دسته از مطالعات در حوزه مطالعات منطقه‌ای نمایان است. **هدف:** هدف اصلی از این تحقیق بررسی و سنجش تاب‌آوری شبکه ارتباط شهر کرج است. در این پژوهش با مطالعات کتابخانه‌ای معیارها و زیرمعیارهای مهم در افزایش میزان تاب‌آوری راه‌ها مشخص و سپس در محورهای انتخابی موردبررسی و ارزیابی قرار گرفته است. شش معیار تدوین شده در این پژوهش، تاب‌آوری حرکت سواره، تاب‌آوری عابران پیاده و دوچرخه‌سواران، تاب‌آوری در برابر سوانح طبیعی، مدیریت کارآمد حمل‌ونقل، تاب‌آوری در برابر شرایط نامساعد آب و هوایی و تاب‌آوری در برابر جرم است. **روش:** این پژوهش از نوع کاربردی است. از سوی دیگر، روش تحقیق، توصیفی تحلیلی با

۱ نویسنده مسئول: ۰۹۱۲۲۳۸۹۸۵۲ Email: esmael.nasiri@yahoo.com

نحوه ارجاع به این مقاله:

حکمت نیا، حسن؛ نصیری هنده خاله، اسماعیل؛ اسمعیلی، فضل اله؛ نظافت، بهروز؛ فتاحی، داوود؛ مقدم، داوود؛ ۱٤۰۰. بررسی و سنجش تاب‌آوری شبکه ارتباطی شهرکرج (مطالعه موردی: خیابان‌های شهید بهشتی و آزادی). جغرافیا و مخاطرات محیطی، ۱۰(٤), صص ۱۷۳-۱۵۱

https://dx.doi.org/10.22067/geoeh.2021.69981.1046

رویکرد ترکیبی (کمی- کیفی) است. **یافته‌ها:** محورهای انتخابی این پژوهش، خیابان شهید بهشتی و خیابان آزادی شهر کرج می‌باشند. بر اساس ارزیابی‌های انجام شده در این پژوهش به روش تحلیل سلسله مراتبی، سطح تاب‌آوری این محورها متوسط و کم است. نتیجه‌گیری: از راهکارهای پیشنهادی برای ارتقای تاب‌آوری می‌توان پیاده راه نمودن بخش‌های پرتردد پیاده خیابان‌های موردبررسی، اجرای طرح‌های ترافیکی مانند زوج و فرد نمودن تردد در معابر عبور وسایل نقلیه، کنترل سرعت وسایل نقلیه و تأمین حرکت ایمن برای عابران پیاده از طریق روش‌های آرام‌سازی، استفاده از ابزار کنترل سرعت، احداث روگذر یا زیرگذر عابر پیاده در نقاط پرخطر و ... اشاره نمود.

کلیدواژه‌ها: ارزیابی، کارایی، تاب‌آوری، شبکه ارتباطی درون‌شهری، کرج.

۱- مقدمه

شهرها به‌عنوان پیچیده‌ترین ساخته دست بشر، همواره با خطرهای زیادی مواجه‌اند (گیمنز[1] و همکاران، ۲۰۱٦، شکری فیروزجاه، ۱۳۹٦). مخاطرات طبیعی پتانسیل این امر را دارند که در نبود سیستم‌های تقلیل مخاطرات به سوانحی هولناک بدل شوند (چادا[2] و همکاران، ۲۰۰۷). لذا این امر موجب گردیده تا در نقاط مختلف جهان، ایمن‌تر نمودن شهرها و نقاط شهری، به یک چالش درازمدت اما دست‌نیافتنی تبدیل شود (مارانا[3] و همکاران،۲۰۱۷)؛ اما واقعیت این است که مخاطرات آتی را نمی‌توان بر اساس شواهد پیش‌بینی کرد و هم‌چنین نمی‌توان به‌راحتی حالت، اندازه و مکان این مخاطرات را از پیش بیان کرد (دونوان[4] و وورک[5]، ۲۰۱۷). در این میان، تاب‌آوری راهی مهم برای تقویت جوامع و شهرها با استفاده از ظرفیت‌های آن‌ها است. تاب‌آوری در برابر بلایا یک مسئله کلیدی برای جامعه معاصر است (پروین و همکاران، ۱۳۹۵) که برای اولین بار توسط اتحادیه بین‌المللی راهبرد کاهش خطر سوانح در چارچوب طرح هیوگو[6] بیان شده (مایونگا[7]، ٤۷:۲۰۰٦) و در حال حاضر به یکی از ابزارها و سیاست‌های بین‌المللی به‌حساب می‌آید. به عبارتی بسیاری از سازمان‌های دولتی و غیردولتی تقویت تاب‌آوری گروه‌ها و جوامع را در اولویت قرار داده و به این امر از طریق تحقیق، تهیه و توسعه برنامه‌ها، سیاست‌گذاری‌ها و هم‌چنین از طریق اقدامات آموزشی به مدیریت سوانح پرداخته‌اند (نورمان[8] و همکاران، ۲۰۰٤). در این میان تبیین رابطهٔ تاب‌آوری در برابر سوانح طبیعی (زلزله)، در واقع نحوهٔ تأثیرگذاری ظرفیت‌های اجتماعی، اقتصادی، نهادی، سیاسی و اجرایی جوامع در افزایش

1 Games
2 Chadha
3 Marana
4 Donovan
5 Work
6 HFA
7 Mayunga
8 Norman

تاب‌آوری و شـناخت ابعاد تاب‌آوری در اجتماع اسـت. شـایان ذکر اسـت که نوع نگرش به مقولهٔ تاب‌آوری و نحوهٔ تحلیل آن، ازیک‌طرف در چگونگی شـناخت تاب‌آوری وضـع موجود و علل آن نقشـی کلیدی دارد و از طرف دیگر سیاست‌ها و اقدامات تقلیل خطر و نحوهٔ رویارویی با آن را تحت تأثیر اساسی قرار می‌دهد (لئون[1] و مارچ[2]، ۲۰۱٤).

هدف از این پژوهش ارزیابی تاب‌آوری شبکه ارتباطی شـهر کرج اسـت؛ بنابراین ارزیابی، ابزاری مهم در راسـتای سـنجش میزان و علل موفقیت یا عدم موفقیت به شـمار می‌رود. درنهایت، راهکارهای پیشـنهادی در این زمینه ارائه خواهد شـد. با توجه به نقش مهم تاب‌آوری معابر در افزایش کارایی آن، بر این مؤلفه حائز اهمیت در ارتقای کیفیت محیط شـهری و معیارها و زیرمعیارهای مرتبط با آن متمرکز خواهد شـد. شـهر کرج، به‌عنوان یکی از کلان‌شـهرهای کشـور، در سـال‌های اخیر با توسـعه سـریع و بدون برنامه روبرو بوده اسـت و یکی از پیامدهای این نوع توسـعه، ناکارآمدی شـبکه ارتباطی شـهر اسـت. با توجه به اهمیت کارایی شـبکه ارتباطی و نقش تاب‌آوری در افزایش آن، ارزیابی میزان کارایی شـبکه ارتباطی و ارائه پیشـنهادها در راسـتی ارتقای آن در کلان‌شـهری چون کرج که به دلیل نزدیکی به پایتخت و بسـیاری عوامل دیگر، نقش مهمی در سـطح منطقه‌ای و کشـوری ایفا می‌نماید، ضـروری به نظر می‌رسد.

۲- مبانی نظری و پیشینه پژوهش

در زمینه بررسـی و سـنجش تاب‌آوری شبکه ارتباط شهری در سراسر جهان مطالعات متفاوتی صورت گرفته است که ازجمله آن می‌توان به مارو (۲۰۱٦)، در پژوهشـی با عنوان تعریف انعطاف‌پذیری شهری در این پژوهش بـا توجه بـه بررسـی تعاریف و متون علمی مربوط به انعطاف‌پذیری شـهری به نتیجه رسیده که این اصطلاح به‌خوبی تعریف نشـده اسـت و تعاریف ناپیوسـته و توسـعه نیافته بوده اسـت؛ بنابراین با توجه به مطالعات شـش تنش مفهومی برای انعطاف‌پذیری شـهری مشـخص کرده و در پایان یک تعریف جدید از انعطاف‌پذیری پیشـنهاد می‌کند. ویلکینسون[3] (۲۰۱۵)، بـه‌منظور بررسـی حکم روانی برای تـاب‌آوری شـهری بـا هـدف جریـان انداختن قطع ارتباط میان وقایع زیسـت‌محیطی و اجتماعی و با روش توصـیفی تحلیلی در اسـترالیا پرداخته اسـت. ایشـان به این نتیجه رسید که نقاط قوت و ضـعف سـیاسـت‌ها و پروژه‌ها و در برخی موارد فرایندهای بالقوه دگرگون شونده ساخت تاب‌آوری اجتماعی زیسـت‌محیطی را برای تحقیقات آینده تشویق می‌کنند. بورونیو[4] و همکاران (۲۰۱۳)، تحقیقی با عنوان به‌سوی شاخص انعطـاف‌پـذیری شـهری انجام داده‌اند. در این تحقیق به ارائه چارچوبی برای اندازه‌گیری تاب‌آوری شـهری، تعریف شـاخص‌های تاب‌آوری شـهری و کاربرد آن در مراکز اسـتانی اسـپانیا به‌عنوان نمونه موردی پرداخته شده است. نتایج

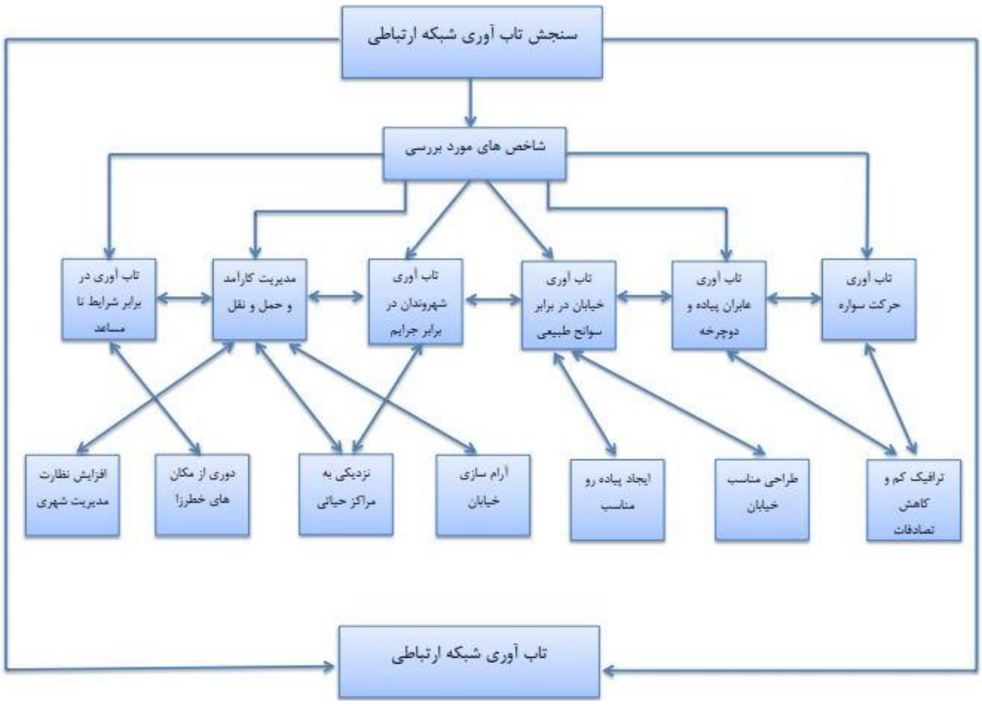
1 León
2 March,
3 Wilkinson
4 Boronio

تحقیق نشـان می‌دهد که اغلب شـهرها از تاب‌آوری شـهری فاصـله دارند؛ بنابراین، برای رسـیدن به تاب‌آوری شهری باید اقداماتی مانند کاهش مصـرف منابع، ترویج تجارت محلی، ایجاد فضـای مشـارکت شـهروندان و تنوع بخشیدن به اقتصـاد محلی را در مکان‌های موردمطالعه افزایش داد؛ بنابراین بررسـی موضـوع تاب‌آوری شـهری از مهم‌ترین اهداف برنامه‌ریزان شـهری است، در این راستا در این پژوهش با بهره جستن از مبانی نظری و کتابخانه‌ای، نظریات کارشناسان و مطالعه پژوهش‌های پیشـین به تحقیق در ارتباط با تعاریف و مفاهیم امنیت در تاب‌آوری شـهری و آسـیب‌پذیری شـهری پرداخته شـده است. از دیگر مطالعات صورت گرفته به پژوهش‌های مانند، مقدس و همکاران (۱۳۹۷)، آمانپور (۱۳۹۷)، فرجی و همکـاران (۱۳۹۷)، جعفریـان و همکـاران (۱۳۹٦)، پیران و همکاران (۱۳۹٦)، سـلمانی و همکاران (۱۳۹٥) و مطـالعـات خارجی دیگر مانند، آجیبادا[1] (۲۰۱۷)، ویلسـون[2] (۲۰۱۲)، فولک[3] (۲۰۰٦)، اسـمیت[4] (۲۰۱۳)، هولینگ[5] (۱۹۷۳)، دیویس[6] (۲۰۰٦) و ...اشاره نمود.

مطالعه حسـین زاده دلیر و همکاران(۱۳۹۸)، اشاره نمود که در تحقیقی با عنوان مروری بر مفهوم تاب‌آوری شهری که به‌صـورت توصـیفی_تحلیلی مبتنی بر یافته‌های سـایر محققین پرداختند. ایشـان این نتیجه رسـیدند که عواقب جبران‌ناپذیر حوادث طبیعی و آسـیب‌های اجتماعی، اقتصـادی و زیست‌محیطی شهرهای معاصر موجب شده تا مفاهیم پایداری و تاب‌آوری تا حد زیادی به هم مرتبط شـوند. هم‌چنین روسـتا و همکاران در سـال (۱۳۹۷)، به‌منظور ارزیابی میزان تاب‌آوری اجتماعی شـهری، مطالعه موردی (شـهر زاهدان) پرداختند. ایشان به این نتیجه رسیدند که فضای ذهنی نامناسـب در مناطق شـهری زاهدان (مخصـوصـاً در مناطق ۳ و ٤) باعث آسیب‌پذیری و عدم تاب‌آوری اجتماعی شهر شـده و به‌تبع آن، امنیت اجتماعی و توسـعه این مناطق را به خطر انداخته اسـت و فضای ذهنی نامناسب تهدیدی برای تاب‌آوری شـهر اسـت. محمدی و همکاران (۱۳۹٦)، به‌منظور بررسـی تبیین و ارزیابی مؤلفه‌های تاب‌آوری نهادی و اجتماعی در سـکونتگاه‌های خودانگیخته شـهری ناحیه منفصـل شهری نایسر شهر سنندج انجام دادند که نتایج پژوهش حاکی از درجات بسـیار پایین تاب‌آوری نهادی و اجتماعی این سـکونتگاه نسـبت به حد بهینه این معیارهاست. نورائی و همکـارانش (۱۳۹۰) بـه‌منظور ارزیـابی و تحلیـل مکانی کارایی شـبکه‌های ارتباطی محلی پس از زمین‌لرزه از منظر پدافند غیرعامل را موردبررسـی قرار دادند ایشـان به این نتیجه رسـیدند که توجه به شـبکه ارتباطی به‌عنوان یکی از مهم‌ترین تأسیسـات زیربنایی شـهر، نقش مهمی در کاهش یا افزایش آسـیب‌های ناشـی از وقوع حوادث طبیعی دارد؛ بـه‌گونه‌ای که اگر شـبکه ارتباطی بعد از وقوع حادثه کارایی خود را حفظ نماید، میزان تلفات کاهش می‌یابد؛ بنابراین،

1 Ajibade
2 Wilson
3 Folk
4 Smith
5 Holing
6 Davis

یکی از فعالیت‌های ضروری به‌منظور بهینه‌سازی شبکه ارتباطی درون‌شهری، تحلیل وضع موجود شبکه ارتباطی به‌ویژه شناسایی میزان کارایی آن است.



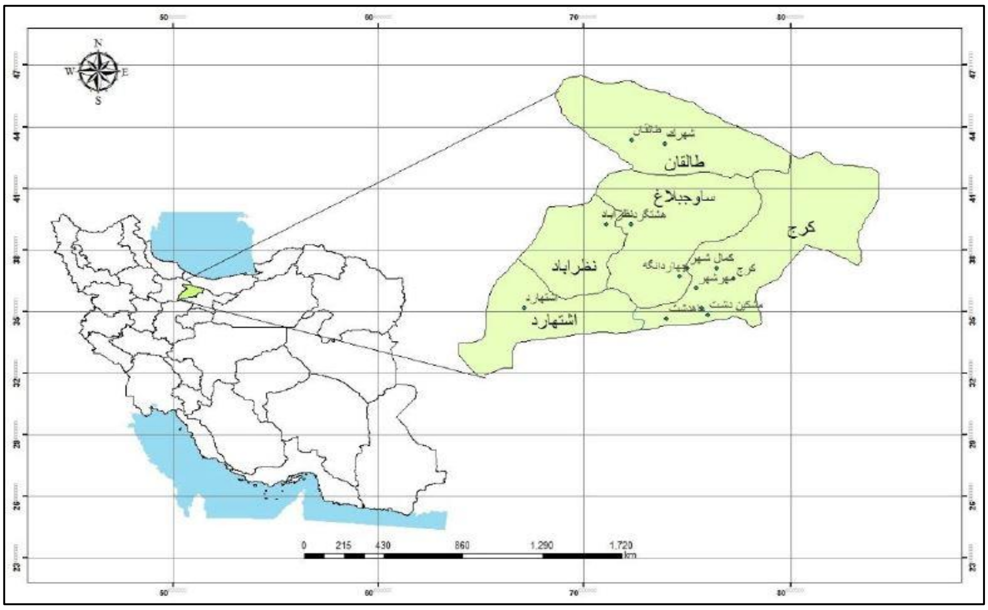
شکل ۱- مدل مفهومی پژوهش

۳- مواد و روش پژوهش

۳-۱- موقعیت منطقه موردمطالعه

کلان‌شهر کرج به‌عنوان مرکز استان البرز، با مساحتی بالغ بر ۱۷۵ کیلومترمربع، طبق سرشماری نفوس و مسکن سال ۱۳۹۵، جمعیتی معادل ۱۵۹۲۴۹۲ نفر دارد (مرکز آمار ایران، ۱۳۹۵). این شهر از شمال به اراضی دامنه‌های البرز، از شرق به گرم‌دره و شهر جدید اندیشه، از جنوب به ملارد، محمدشهر و مشکین‌دشت و از غرب به کمال شهر و هشتگرد محدود می‌شود. این شهر، در فاصله ۳۵ کیلومتری شمال غرب تهران واقع شده است. کرج در گستره‌ای با پیشینه کشاورزی، باغداری و ییلاقی روستایی شکل گرفته است و در نیم‌قرن اخیر تحت تأثیر موقعیت ملی تهران و جذب مهاجران و سرریز جمعیتی پایتخت، رشد فزاینده پیدا کرده و به شهری بزرگ تبدیل شده است (مهندسان مشاور باوند، ۱۳۸۷). در حقیقت، این شهر و منطقه پیرامونی آن، به دلیل فراوانی باغ‌ها و سرسبزی زمین‌های کشاورزی، از دیرباز به‌عنوان منطقه ییلاقی تهران شناخته می‌شد؛ اما امروزه، در محدوده شهر نشانی از باغ‌های گذشته

نمی‌توان یـافـت و در بخش‌هـای پیرامون شـــهر نیز فرایند نابودی باغ‌ها و زمین‌های کشـــاورزی روز به روز آهنگی پرشتاب‌تر می‌گیرد (مهندسان مشاور باوند، ۱۳۸۷).



شکل ۲- موقعیت جغرافیایی محدوده موردمطالعه.

۳-۲- روش انجام پژوهش

این پژوهش از نوع کاربردی اســـت. از ســـوی دیگر، روش تحقیق، توصـــیفی تحلیلی با رویکرد ترکیبی (کمی- کیفی) اســت. اطلاعات موردنیاز پژوهش، از طریق برداشــت میدانی و نقشــه‌های GIS شــهر جمع‌آوری شده است. در این راســتا، انتخاب تعدادی از معابر شهر به روش نمونه‌گیری تصادفی خوشه‌ای انتخاب شده است. در ادامه، با استفاده از روش تحلیل سـلسـله مراتبی برای تحلیل وضعیت معابر و نرم‌افزار Expert Choice برای تجزیه‌وتحلیل استفاده شد. روش تحلیل ســـلســـله مراتبی (AHP)، جزء روش‌های ارزیابی و هم جزء روش‌های تحلیلی اســـت. فرآیند تحلیل سـلسـله مراتبی یکی از معروف‌ترین فنون تصـمیم‌گیری چند شـاخصه است که توسط توماس آل ساعتی در دهه ۱۹۷۰ ابـداع گردیـد (قـدســـی پور، ۱۳۸۱). از مزایـای این روش می‌توان به انعطاف‌پذیری، تبدیل مراحل پیچیده به مراحل سـلسـله مراتبی سـاده، اسـتفاده هم‌زمان از معیارهای کمی و کیفی، چندمعیاری بودن روش و بررسـی سازگاری اشاره نمود (قدسـی پور، ۱۳۸۱). در این روش، در ابتدا سـاختار درختی شامل معیارها، زیرمعیارها و گزینه‌ها را تشکیل داده، بعدازآن ضـریب اهمیت معیارها و زیرمعیارها را تعیین نموده، سپس ضریب اولویت گزینه‌ها در ارتباط با زیرمعیارها را محاسبه و درنهایت، امتیاز یا اولویت نهایی گزینه‌ها تعیین می‌شود.

٤- نتایج

٤-۱- ارزیابی و تحلیل میزان تاب‌آوری محورهای انتخابی از طریق روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP)

بـا در نظر گرفتن تـاب‌آوری دو خیـابـان شـــهید بهشـــتی و آزادی به‌عنوان هدف اصـــلی؛ معیارها، زیرمعیارها و شـاخص‌های یاد شـده در مدل مفهومی پژوهش، وارد نرم‌افزار EC[1] شده است. بعدازآن، ارجحیت معیارها در مقایسه با یکدیگر تعیین می‌شـود. درنهایت، با توجه به جدول (۱)، حداکثر و حداقل امتیاز زیرمعیارها و شـاخص‌ها در وضعیت موجود محورهای انتخابی با توجه به برداشت‌های میدانی مشخص شده است.

جدول ۱- حداقل و حداکثر امتیاز زیرمعیارها و شاخص‌ها و امتیاز وضع موجود محورهای انتخابی

معیارها	زیرمعیارها	شاخص‌ها	حداقل امتیاز	حداکثر امتیاز	خیابان شهید بهشتی	خیابان آزادی
تاب‌آوری حرکت سواره	ترافیک کم سواره	اجرای طرح‌های ترافیکی	۰	۱۰	۱	۰
		نصب چراغ راهنمایی در تقاطع‌ها	۰	۱۰۰	۸۰	۱۰
		ساخت تقاطع‌های غیر همسطح	۰	۱۰۰	۳۰	۰
		احداث پارکینگ غیرحاشیه‌ای	۰	۱۰۰	٦۰	٤۰
	کاهش تعداد تصادفات	تعیین حداکثر سرعت	۰	۱	۰	۰
		نصب دوربین‌های کنترل سرعت	۰	۱	۰	۰
		اصلاح هندسی مسیرهای پرخطر	۰	۱۰۰	۲۰	۵۰
		استفاده از علائم هشداردهنده	۰	۱۰۰	٤۰	۵
		رعایت حق تقدم	۰	۱۰۰	۲۰	۲۰
		آموزش شهروندان	۰	۱۰۰	۲۰	۲۰
		حضور فعال مأموران راهنمایی و رانندگی در مسیرهای پرخطر	۰	۱۰۰	۳۰	٦۰
	طراحی مناسب خیابان	کف‌سازی مناسب خیابان	۰	۱۰۰	٤۰	۵
		طراحی مناسب تقاطع‌ها	۰	۱۰۰	۲۰	۱۰
		نداشتن قوس افقی و عمودی	۰	۱۰	۱	۲
		رعایت حداکثر شیب خیابان	۰	۱	۱	۱
		عریض بودن خیابان‌های پرتردد	۰	۱۰	۸	۳
تاب‌آوری عابران پیاده و دوچرخه‌سواران		طراحی مسیر ویژه دوچرخه‌سواری در خیابان‌های اصلی	۰	۱	۰	۰
		در نظر گرفتن خط‌کشی عابر پیاده	۰	۱۰۰	۸۰	٤۰
		نبود مانع در پیاده‌روها	۰	۱۰۰	۷۰	۳۰

1 Expert Choice

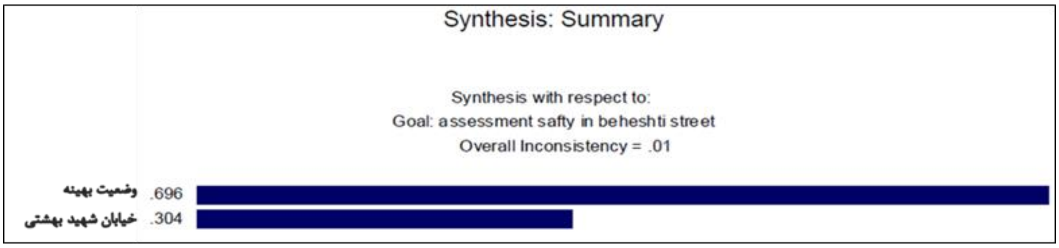
معیارها	زیرمعیارها	شاخص‌ها	حداقل امتیاز	حداکثر امتیاز	خیابان شهید بهشتی	خیابان آزادی
	در نظر گرفتن تردد ایمن معلولین	نبود اختلاف ارتفاع در مسیر پیاده یا سواره	۰	۱۰۰	۷۰	۱۰
		هم‌سطح بودن مسیر پیاده‌رو	۰	۱۰۰	٦۰	۵
		در نظر گرفتن زیرگذر و روگذر در خیابان‌های اصلی شهر	۰	۱۰	٤	۰
		ایجاد و توسعه پیاده راه در مسیرهای پرتردد	۰	۱	۰	۰
	ایجاد پیاده‌روهای مناسب	کف‌پوش مناسب	۰	۱۰۰	٦۰	۱۰
		عرض مناسب پیاده‌روها	۰	۵	۳	۲/۵
	آرام‌سازی ترافیک	تعیین سرعت مجاز	۰	۱	۰	۰
		ایجاد موانع حرکت سواره در طول خیابان (مانند نوار فضای سبز)	۰	۱۰۰	۲۰	۰
		در نظر گرفتن جزایر میانی	۰	۱۰۰	۵۰	۲۰
		استفاده از ابزار کنترل سرعت (سرعت‌گیر، سرعت‌کاه)	۰	۱۰۰	٦۰	۲۰
تاب‌آوری خیابان در برابر سوانح طبیعی	نزدیکی به مراکز حیاتی	دسترسی مناسب به مراکز درمانی	۰	۳	۱	۱/۲۵
		دسترسی مناسب به مراکز آتش‌نشانی	۰	۵	۲	۱/۵
	دوری از مکان‌های خطرزا	دوری از گسل‌ها، مسیل‌ها و ...	۰	٤	۳	۱
		رعایت فاصله از پمپ گاز، بنزین، دکل‌ها و پست‌های برق	۰	۱۰۰	٦۰	۷۵
		عرض مناسب و مستقیم بودن خیابان	۰	۱۰	۸	٤
	جداره مناسب خیابان	کیفیت مناسب بناها	۰	۱۰۰	٤۰	٦۰
		قدمت کم	۰	۱۰۰	۲۵	۵۰
		ارتفاع کم	۰	۱۰۰	۸۰	۸۰
		محصوریت کم	۰	۱۰۰	۷۰	۵۰
		پایین بودن تراکم جمعیتی و ساختمانی	۰	۱۰۰	۳۰	۳۰
		در نظر گرفتن فضاهای باز و سبز جهت اسکان و امدادرسانی	۰	۱۰	۸	٤
تاب‌آوری شهروندان در برابر جرم و جنایت	افزایش نظارت طبیعی	قرارگیری گشودگی‌های ساختمان‌ها روبه خیابان	۰	۱۰۰	۸۰	۹۵
		تعدد ورودی‌ها	۰	۱۰۰	۸۰	۱۰۰
		عریض بودن گشودگی‌ها	۰	۱۰۰	۸۰	۹۰
		تنوع کاربری‌ها	۰	۱۰۰	۹۰	۹۵

معیارها	زیرمعیارها	شاخص‌ها	حداقل امتیاز	حداکثر امتیاز	خیابان شهید بهشتی	خیابان آزادی
		حضور کاربری‌های فعال	۰	۱۰۰	۸۰	۹۰
		تأمین روشنایی خیابان‌ها	۰	۱۰۰	٦۰	۳۰
		افزایش حضور نیروی پلیس	۰	۱۰۰	٦۰	۷۰
مدیریت کارآمد حمل‌ونقل		به‌سازی محورهای موجود و احداث محورهای جدید	۰	۱۰۰	٤۰	۱۰
		سرمایه‌گذاری در جهت اجرای طرح‌های پیشنهادی حمل‌ونقل	۰	۱۰۰	٦۰	۵
		آموزش	۰	۱۰	۱	۱
		تخصیص بودجه برای ایمن‌سازی و بهبود کیفیت راه‌ها	۰	۱۰۰	۲۰	۵
تاب‌آوری در برابر شرایط نامساعد آب و هوایی		درختکاری	۰	۱۰۰	٤۰	۲۰
		تعیین حداکثر ارتفاع ساختمان‌ها	۰	۱۰۰	۸۰	٦۰
		در نظر گرفتن پیاده‌روهای مسقف	۰	۱	۰	۰

منبع: یافته‌های پژوهش ۱٤۰۰

٤-۲- نتایج ارزیابی میزان تاب‌آوری خیابان شهید بهشتی به روش AHP

با توجه به شکل (۲)، نتایج حاصل از تحلیل سلسله مراتبی نشان‌دهنده آن است که از حداکثر امتیاز ۰/٦۹٦، خیابان شهید بهشتی در زمینه تاب‌آوری، امتیاز ۰/۳۰٤ کسب کرده است.



شکل ۲- خلاصه ارزیابی تحلیل سلسله مراتبی در خیابان شهید بهشتی.

منبع: یافته‌های پژوهش ۱٤۰۰

با توجه به جدول (۲)، این عدد نشان دهنده آن است که میزان تاب‌آوری خیابان شهید بهشتی، ٤٤ درصد است که بر اساس دسته‌بندی زیر، متوسط ارزیابی شده است. لازم به ذکر است که ناسازگاری در این مدل برابر با ۰/۰۱ است.

جدول ۲- مقایسه میزان تاب‌آوری خیابان با درصدهای موجود

درصد تاب‌آوری	میزان تاب‌آوری
۰–۲۰	خیلی کم
۲۰–٤۰	کم
٤۰–٦۰	متوسط
٦۰–۸۰	زیاد
۸۰–۱۰۰	خیلی زیاد

منبع: یافته‌های پژوهش ۱٤۰۰

به‌طورکلی، با توجه به جداول (۳) تا (۱۸)، برای خیابان شهید بهشتی مقایسه امتیاز کسب شده هر معیار در مقایسه با وضعیت بهینه نشان‌دهنده تاب‌آوری ٦۷ درصدی در برابر سوانح طبیعی، ٦٥ درصدی شهروندان در برابر جرم و جنایت، تاب‌آوری ٤۸ درصدی در برابر شرایط نامساعد آب و هوایی، ٤۳ درصدی عابران پیاده و دوچرخه‌سواران در این خیابان است. از سوی دیگر، تاب‌آوری ۲۷ درصدی حرکت سواره و ۳٦ درصدی مدیریت کارآمد حمل‌ونقل کم‌ترین میزان می‌باشند. البته لازم به ذکر است که درصدهای ذکر شده حاصل مقایسه وضع موجود با وضع بهینه بوده و بدون در نظر گرفتن ارجحیت معیارها است. همان‌طور که اشاره شد، معیار تاب‌آوری حرکت سواره، کم‌ترین درصد تاب‌آوری را در خیابان شهید بهشتی به‌خود اختصاص داده است. مبتنی بر جداول زیر، از میان زیرمعیارهای این معیار، طراحی مناسب خیابان با کسب ٥٥ درصد، دارای سطح تاب‌آوری متوسط است. پس‌ازآن، ترافیک کم سواره و کاهش تعداد تصادفات، دارای سطح تاب‌آوری کم می‌باشند. دراین‌بین، به شاخص‌های تعیین حداکثر سرعت و نصب دوربین‌های کنترل سرعت برای کاهش تصادفات توجهی نشده است. هم‌چنین، عدم اجرای طرح‌های ترافیکی موجب ترافیک بالای سواره و کاهش بسیار زیاد تاب‌آوری شده است. به‌طورکلی، سطح تاب‌آوری حرکت سواره، کم است.

جدول ۳- میزان تاب‌آوری زیرمعیارهای معیار تاب‌آوری حرکت سواره

زیرمعیارها	امتیاز	درصد تاب‌آوری	میزان تاب‌آوری
ترافیک کم سواره (L:۰/۳۳۳)	۰/۲٤٥	۳۲	کم
کاهش تعداد تصادفات (L:۰/٥۹۲)	۰/۱۷	۲۰	کم
طراحی مناسب خیابان (L:۰/۰۷٥)	۰/۳٥٦	٥٥	متوسط

منبع: یافته‌های پژوهش ۱٤۰۰

جدول ٤- میزان تاب‌آوری شاخص‌های زیرمعیار ترافیک کم سواره

زیرمعیار	شاخص‌ها	امتیاز	درصد تاب‌آوری	میزان تاب‌آوری
ترافیک کم سواره	اجرای طرح‌های ترافیکی (L:۰/۳۷٥)	۰/۰۹۱	۱۰	بسیارکم

زیرمعیار	شاخص‌ها	امتیاز	درصد تاب‌آوری	میزان تاب‌آوری
	نصب چراغ راهنمایی در تقاطع‌ها (L:۰/۱۲۵)	۰/۴۴۴	۸۰	بسیار زیاد
	ساخت تقاطع‌های غیر همسطح (L:۰/۳۷۵)	۰/۲۳۱	۳۰	کم
	احداث پارکینگ غیرحاشیه‌ای (L:۰/۱۲۵)	۰/۳۷۵	۶۰	زیاد

منبع: یافته‌های پژوهش ۱۴۰۰

جدول ۵- میزان تاب‌آوری شاخص‌های زیرمعیار کاهش تعداد تصادفات

زیرمعیار	شاخص‌ها	امتیاز	درصد تاب‌آوری	میزان تاب‌آوری
کاهش تعداد تصادفات	تعیین حداکثر سرعت (L:۰/۰۶۰)	۰	۰	بسیارکم
	نصب دوربین‌های کنترل سرعت (L:۰/۰۶۰)	۰	۰	بسیارکم
	اصلاح هندسی مسیرهای پرخطر (L:۰/۳۶۴)	۰/۱۶۷	۲۰	کم
	استفاده از علائم هشداردهنده (L:۰/۰۶۰)	۰/۲۸۶	۴۰	متوسط
	رعایت حق تقدم (L:۰/۱۷۴)	۰/۱۶۷	۲۰	کم
	آموزش شهروندان (L:۰/۱۱۶)	۰/۱۶۷	۲۰	کم
	حضور فعال مأموران راهنمایی و رانندگی در مسیرهای پرخطر (L:۰/۱۶۶)	۰/۲۳۱	۳۰	کم

منبع: یافته‌های پژوهش ۱۴۰۰

جدول ٦- میزان تاب‌آوری شاخص‌های زیرمعیار طراحی مناسب خیابان

زیرمعیار	شاخص‌ها	امتیاز	درصد تاب‌آوری	میزان تاب‌آوری
طراحی مناسب خیابان	کف سازی مناسب خیابان (L:۰/۰۸۳)	۰/۲۸۶	۴۰	متوسط
	طراحی مناسب تقاطع‌ها (L:۰/۴۱۴)	۰/۱۶۷	۲۰	کم
	نداشتن قوس افقی و عمودی (L:۰/۱۶۵)	۰/۴۷۴	۹۰	بسیارزیاد
	رعایت حداکثر شیب خیابان (L:۰/۰۸۳)	۰/۵	۱۰۰	بسیارزیاد
	عریض بودن خیابان‌های پرتردد (L:۰/۲۵۶)	۰/۴۴۴	۸۰	بسیارزیاد

منبع: یافته‌های پژوهش ۱۴۰۰

با توجه به جدول (۷)، از میان زیرمعیارهای معیار تاب‌آوری عابران پیاده و دوچرخه‌سواران، در نظر گرفتن خط‌کشی عابر پیاده با کسب ۸۰ درصد و در نظر گرفتن تردد ایمن معلولین با ٦۷ درصد، دارای سطح تاب‌آوری زیاد می‌باشند. درحالی‌که معیار نبود مسیر ویژه دوچرخه در این خیابان و در نظر نگرفتن بخش‌های پرتردد آن به‌عنوان پیاده راه، سطح تاب‌آوری تردد عابران و دوچرخه‌سواران را کاهش داده است. دراین‌بین، تعیین نکردن سرعت مجاز و طراحی نکردن موانع حرکت سواره در طول خیابان، میزان آرام‌سازی ترافیک را کاهش داده است. به‌عبارتی، سطح تاب‌آوری عابران پیاده و دوچرخه‌سواران در این خیابان (با کسب امتیاز ٤۳ درصد)، متوسط است.

جدول ۷- میزان تاب‌آوری زیرمعیارهای معیار تاب‌آوری عابران پیاده و دوچرخه‌سواران

زیرمعیارها	امتیاز	درصد تاب‌آوری	میزان تاب‌آوری
طراحی مسیر ویژه دوچرخه‌سواری در خیابان‌های اصلی (L:۰/۰۴۵)	۰	۰	بسیارکم
در نظر گرفتن خط‌کشی عابر پیاده (L:۰/۰۹۶)	۰/۴۴۴	۸۰	بسیارزیاد
در نظر گرفتن تردد ایمن معلولین (L:۰/۰۴۵)	۰/۴	۶۷	زیاد
در نظر گرفتن زیرگذر و روگذر در خیابان‌های اصلی شهر (L:۰/۰۷۹)	۰/۲۸۶	۴۰	متوسط
ایجاد و توسعه پیاده راه در مسیرهای پرتردد (L:۰/۱۲۴)	۰	۰	بسیارکم
ایجاد پیاده‌روهای مناسب (L:۰/۲۲۶)	۰/۳۷۵	۶۰	زیاد
آرام‌سازی ترافیک (L:۰/۳۸۴)	۰/۲۹۲	۴۱	متوسط

منبع: یافته‌های پژوهش ۱۴۰۰

جدول ۸- میزان تاب‌آوری شاخص‌های زیرمعیار در نظر گرفتن تردد ایمن معلولین

زیرمعیار	شاخص‌ها	امتیاز	درصد تاب‌آوری	میزان تاب‌آوری
در نظر گرفتن تردد ایمن معلولین	نبود مانع در پیاده‌روها (L:۰/۳۳۳)	۰/۴۱۲	۷۰	زیاد
	نبود اختلاف ارتفاع در مسیر پیاده یا سواره (L:۰/۳۳۳)	۰/۴۱۲	۷۰	زیاد
	هم‌سطح بودن مسیر پیاده‌رو (L:۰/۳۳۳)	۰/۳۷۵	۴۰	متوسط

منبع: یافته‌های پژوهش ۱۴۰۰

جدول ۹- میزان تاب‌آوری شاخص‌های زیرمعیار ایجاد پیاده‌روهای مناسب

زیرمعیار	شاخص‌ها	امتیاز	درصد تاب‌آوری	میزان تاب‌آوری
ایجاد پیاده‌روهای مناسب	کف‌پوش مناسب (L:۰/۵۰۰)	۰/۳۷۵	۶۰	زیاد
	عرض مناسب پیاده‌روها (L:۰/۵۰۰)	۰/۳۷۵	۶۰	زیاد

منبع: یافته‌های پژوهش ۱۴۰۰

جدول ۱۰- میزان تاب‌آوری شاخص‌های زیرمعیار آرام‌سازی ترافیک

زیرمعیار	شاخص‌ها	امتیاز	درصد تاب‌آوری	میزان تاب‌آوری
آرام‌سازی ترافیک	تعیین سرعت مجاز (L:۰/۱۲۲)	۰	۰	بسیارکم
	ایجاد موانع حرکت سواره در طول خیابان (مانند نوار فضای سبز) (L:۰/۲۲۷)	۰/۱۶۷	۲۰	کم
	در نظر گرفتن جزایر میانی (L:۰/۲۲۷)	۰/۳۳۳	۴۹	متوسط
	استفاده از ابزار کنترل سرعت (سرعت‌گیر، سرعت‌کاه) (L:۰/۴۲۴)	۰/۳۷۵	۶۰	زیاد

منبع: یافته‌های پژوهش ۱۴۰۰

با توجه به شکل (۱۱)، سطح تاب‌آوری خیابان شهید بهشتی در برابر سوانح طبیعی با کسب امتیاز ٦٧ درصدی، بالا است. از میان زیرمعیارهای این معیار، در نظر گرفتن فضاهای باز و سبز جهت اسکان با ۸۰ درصد و نزدیکی به مراکز حیاتی به‌ویژه مراکز درمانی با ٦٧ درصد، دارای سطح تاب‌آوری زیاد می‌باشند. بااین‌وجود، قرارگیری در حریم درجه سه گسل‌های موجود در سطح شهر، تراکم جمعیتی نسبتاً بالا، قدمت نسبتاً بالای بیشتر ساختمان‌های پیرامون خیابان و کیفیت متوسط بناها، سطح تاب‌آوری در برابر سوانح طبیعی را کاهش داده و تأثیر منفی دارد.

جدول ۱۱- میزان تاب‌آوری زیرمعیارهای معیار تاب‌آوری خیابان در برابر سوانح طبیعی

زیرمعیارها	امتیاز	درصد تاب‌آوری	میزان تاب‌آوری
نزدیکی به مراکز حیاتی (L:۰/۰۸۳)	۰/۳۹۲	٦٥	زیاد
دوری از مکان‌های خطرزا (L:۰/۰۸۳)	/٤٢۰	۷۲	زیاد
عرض مناسب و مستقیم بودن خیابان (L:۰/۲٤۰)	۰/٤٤٤	۸۰	بسیارزیاد
جداره مناسب خیابان (L:۰/۲٤۰)	۰/۳۳	٤۹	متوسط
محصوریت کم (L:۰/۲٤۰)	۰/٤۱۲	۷۰	زیاد
پایین بودن تراکم جمعیتی و ساختمانی (L:۰/۰۳۱)	۰/۲۳۱	۳۰	کم
در نظر گرفتن فضاهای باز و سبز جهت اسکان و امدادرسانی (L:۰/۰۸۳)	۰/٤٤٤	۸۰	بسیارزیاد

منبع: یافته‌های پژوهش ۱٤۰۰

جدول ۱۲- میزان تاب‌آوری شاخص‌های زیرمعیار نزدیکی به مراکز حیاتی

زیرمعیار	شاخص‌ها	امتیاز	درصد تاب‌آوری	میزان تاب‌آوری
نزدیکی به مراکز حیاتی	دسترسی مناسب به مراکز درمانی (L:۰/٦٦۷)	۰/٤۰۰	٦۷	زیاد
	دسترسی مناسب به مراکز آتش‌نشانی (L:۰/۳۳۳)	۰/۳۷٥	٦۰	زیاد

منبع: یافته‌های پژوهش ۱٤۰۰

جدول ۱۳- میزان تاب‌آوری شاخص‌های زیرمعیار دوری از مکان‌های خطرزا

زیرمعیار	شاخص‌ها	امتیاز	درصد تاب‌آوری	میزان تاب‌آوری
دوری از مکان‌های خطرزا	دوری از گسل‌ها، مسیل‌ها و ... (L:۰/۸۳۳)	۰/٤۲۹	۷٥	زیاد
	رعایت فاصله از پمپ گاز، بنزین، دکل‌ها و پست‌های برق (L:۰/۱٦۷)	۰/۳۷٥	٦۰	زیاد

منبع: یافته‌های پژوهش ۱٤۰۰

جدول ۱٤- میزان تاب‌آوری شاخص‌های زیرمعیار جداره مناسب خیابان

زیرمعیار	شاخص‌ها	امتیاز	درصد تاب‌آوری	میزان تاب‌آوری
	کیفیت مناسب بناها (L:۰/٥۷۱)	۰/۲۸٦	٤۰	متوسط

زیرمعیار	شاخص‌ها	امتیاز	درصد تاب‌آوری	میزان تاب‌آوری
جداره مناسب خیابان	قدمت کم (L:۰/۱٤۳)	۰/۲۰۰	۲۵	کم
	ارتفاع کم (L:۰/۲٤۰)	۰/٤٤٤	۸۰	بسیارزیاد

منبع: یافته‌های پژوهش ۱٤۰۰

با توجه به جداول (۱۵) و (۱٦)، تمام زیرمعیارهای معیار تاب‌آوری شهروندان در برابر جرم و جنایت، دارای سطح تاب‌آوری بالا می‌باشند. در واقع، وجود ورودی‌ها و گشودگی‌های متعدد و عریض در سطح خیابان شهید بهشتی و قرارگیری کاربری‌های متنوع و فعال در آن، سطح تاب‌آوری در برابر جرم و جنایت را افزایش داده است و کسب امتیاز ٦۵ درصدی تأییدکننده این امر است.

جدول ۱۵- میزان تاب‌آوری زیرمعیارهای معیار تاب‌آوری شهروندان در برابر جرم و جنایت

زیرمعیارها	امتیاز	درصد تاب‌آوری	میزان تاب‌آوری
افزایش نظارت طبیعی (L:۰/۲۳۰)	۰/٤۵۵	۸۳	بسیارزیاد
تأمین روشنایی خیابان‌ها (L:۰/۱۲۲)	۰/۳۷۵	٦۰	زیاد
افزایش حضور نیروی پلیس (L:۰/٦٤۸)	۰/۳۷۵	٦۰	زیاد

منبع: یافته‌های پژوهش ۱٤۰۰

جدول ۱٦- میزان تاب‌آوری شاخص‌های زیرمعیار افزایش نظارت طبیعی

زیرمعیار	شاخص‌ها	امتیاز	درصد تاب‌آوری	میزان تاب‌آوری
افزایش نظارت طبیعی	قرارگیری گشودگی‌های ساختمان‌ها روبه خیابان (L:۰/۱۲۰)	۰/٤٤٤	۸۰	بسیارزیاد
	تعدد ورودی‌ها (L:۰/۰٦۵)	۰/٤٤٤	۸۰	بسیارزیاد
	عریض بودن گشودگی‌ها (L:۰/۱۲۰)	۰/٤٤٤	۸۰	بسیارزیاد
	تنوع کاربری‌ها (L:۰/۳٤۸)	۰/٤۷٤	۹۰	بسیارزیاد
	حضور کاربری‌های فعال (L:۰/۳٤۸)	۰/٤٤٤	۸۰	بسیارزیاد

منبع: یافته‌های پژوهش ۱٤۰۰

با توجه به جدول (۱۷)، یکی از معیارهای بسیار مهم و حائز اهمیت در بالا بردن سطح تاب‌آوری یک خیابان، مدیریت کارآمد است؛ که در حال حاضر، با کسب امتیاز ۳٦ درصد در سطح پایینی است.

جدول ۱۷- میزان تاب‌آوری زیرمعیارهای معیار مدیریت کارآمد حمل‌ونقل

زیرمعیارها	امتیاز	درصد تاب‌آوری	میزان تاب‌آوری
به‌سازی محورهای موجود و احداث محورهای جدید (L:۰/۲۸٦)	۰/۲۸٦	٤۰	متوسط
سرمایه‌گذاری در جهت اجرای طرح‌های پیشنهادی حمل‌ونقل (L:۰/۲۸٦)	۰/۲۷۵	٦۰	زیاد
آموزش (L:۰/۱٤۳)	۰/۰۹۱	۱۰	بسیارکم

زیرمعیارها	امتیاز	درصد تاب‌آوری	میزان تاب‌آوری
تخصیص بودجه برای ایمن‌سازی و بهبود کیفیت راه‌ها (L:۰/۲۸٦)	۰/۱٦۷	۲۰	کم

منبع: یافته‌های پژوهش ۱٤۰۰

درنهایت، با توجه به جدول (۱۸)، معیار تاب‌آوری در برابر شـرایط نامسـاعد آب و هوایی موردبررسـی قرار گرفته اسـت. این معیار، با کسـب امتیاز ٤۸ درصدی در سطح متوسط است. در این میان، پیاده‌روهای مسقف برای ایجاد سایه در تابسـتان‌های گرم شـهر و به‌صورت محافظی در زمستان‌های سرد، در طراحی شهر در نظر گرفته نشده است. تعیین حداکثر ارتفاع ساختمان‌ها در طرح تفصیلی شهر، نقطه قوتی برای بالا بردن سطح تاب‌آوری خیابان است.

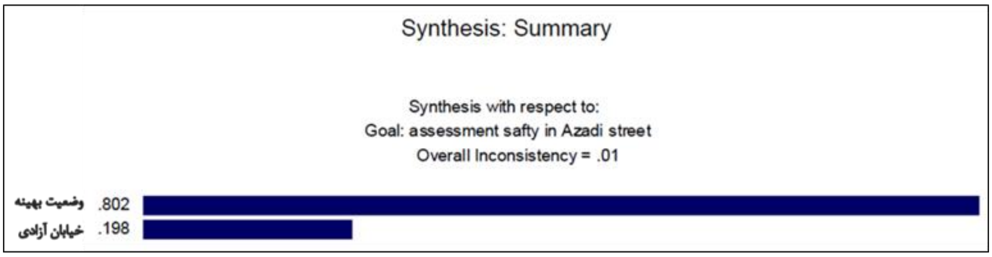
جدول ۱۸- میزان تاب‌آوری زیرمعیارهای معیار تاب‌آوری در برابر شرایط نامساعد آب و هوایی

زیرمعیارها	امتیاز	درصد تاب‌آوری	میزان تاب‌آوری
درختکاری (L:۰/٤۰۰)	۰/۲۸٦	٤۰	متوسط
تعیین حداکثر ارتفاع ساختمان‌ها (L:۰/٤۰۰)	۰/٤٤٤	۸۰	بسیارزیاد
در نظر گرفتن پیاده‌روهای مسقف (L:۰/۲۰۰)	۰	۰	بسیارکم

منبع: یافته‌های پژوهش ۱٤۰۰

٤-۳- نتایج ارزیابی میزان تاب‌آوری خیابان آزادی به روش AHP

با توجه به شـکل (۳)، نتایج حاصـل از تحلیل سـلسـله مراتبی نشـان دهنده آن اسـت که از حداکثر امتیاز ۰/۸۰۲، خیابان آزادی در زمینه تاب‌آوری، امتیاز ۰/۱۹۸ کسب کرده است.



شکل ۳- خلاصه ارزیابی تحلیل سلسله مراتبی در خیابان آزادی. منبع: یافته‌های پژوهش ۱٤۰۰

به‌طورکلی، با توجه به جداول (۱۹) تا (۱۸)، برای خیابان شـــهید آزادی مقایســـه امتیاز کســـب شـــده هر معیار در مقایســه با وضـعیت بهینه نشـان‌دهنده تاب‌آوری ۷۰ درصـدی شهروندان در برابر جرم و جنایت، ٤۹ درصدی در برابر سـوانح طبیعی، تاب‌آوری ۳۲ درصـدی در برابر شـرایط نامسـاعد آب و هوایی، تاب‌آوری ۲۵ درصدی حرکت سواره در این خیابان اسـت. از سـوی دیگر، تاب‌آوری ۷ درصـدی مدیریت کارآمد حمل‌ونقل و ۱٦ درصـدی عابران پیاده و دوچرخه‌سواران کم‌ترین میزان می‌باشند.

با توجه به جداول اشاره شده، در معیار ایمنی در برابر حرکت سواره، تمام زیرمعیارها، دارای سطح تاب‌آوری کم و بسیار کم می‌باشند. در میان شاخص‌ها، تنها حضور فعال مأموران راهنمایی و رانندگی در طول خیابان و رعایت حداکثر شیب، تا حدودی سطح تاب‌آوری حرکت سواره را بالا می‌برد؛ وگرنه تمام شاخص‌ها ازجمله اجرا نشدن طرح‌های ترافیکی پیشنهادی، تعیین نکردن حداکثر سرعت، نصب نکردن دوربین‌های کنترل سرعت، کف سازی نامناسب این خیابان و طراحی نامناسب تقاطع‌ها، سطح ایمنی حرکت سواره را بسیار کاهش داده است. به‌طورکلی، سطح ایمنی در برابر حرکت سواره، کم است.

جدول ١٩- میزان تاب‌آوری زیرمعیارهای معیار تاب‌آوری در برابر حرکت سواره

زیرمعیارها	امتیاز	درصد تاب‌آوری	میزان تاب‌آوری
ترافیک کم سواره(L:٠/٣٣٣)	٠/٠٥٩	٦	بسیارکم
کاهش تعداد تصادفات(L:٠/٥٩٢)	٠/٢٥٥	٣٤	کم
طراحی مناسب خیابان(L:٠/٠٧٥)	٠/٢٥٢	٣٤	کم

منبع: یافته‌های پژوهش ١٤٠٠

جدول ٢٠- میزان تاب‌آوری شاخص‌های زیرمعیار ترافیک کم سواره

زیرمعیار	شاخص‌ها	امتیاز	درصد تاب‌آوری	میزان تاب‌آوری
ترافیک کم سواره	اجرای طرح‌های ترافیکی (L:٠/٣٧٥)	٠	٠	بسیارکم
	نصب چراغ راهنمایی در تقاطع‌ها (L:٠/١٢٥)	٠/٠٩١	١٠	بسیارکم
	ساخت تقاطع‌های غیر همسطح (L:٠/٣٧٥)	٠	٠	بسیارکم
	احداث پارکینگ غیرحاشیه‌ای (L:٠/١٢٥)	٠/٢٨٦	٤٠	متوسط

منبع: یافته‌های پژوهش ١٤٠٠

جدول ٢١- میزان تاب‌آوری شاخص‌های زیرمعیار کاهش تعداد تصادفات

زیرمعیار	شاخص‌ها	امتیاز	درصد تاب‌آوری	میزان تاب‌آوری
کاهش تعداد تصادفات	تعیین حداکثر سرعت (L:٠/٠٦٠)	٠	٠	بسیارکم
	نصب دوربین‌های کنترل سرعت (L:٠/٠٦٠)	٠	٠	بسیارکم
	اصلاح هندسی مسیرهای پرخطر (L:٠/٣٦٤)	٠/٣٣٣	٥٠	متوسط
	استفاده از علائم هشداردهنده (L:٠/٠٦٠)	٠/٠٤٨	٥	بسیارکم
	رعایت حق تقدم(L:٠/١٧٤)	٠/١٦٧	٢٠	کم
	آموزش شهروندان(L:٠/١١٦)	٠/١٦٧	٢٠	کم
	حضور فعال مأموران راهنمایی و رانندگی در مسیرهای پرخطر(L:٠/١٦٦)	٠/٣٧٥	٦٠	زیاد

منبع: یافته‌های پژوهش ١٤٠٠

جدول ۲۲- میزان تاب‌آوری شاخص‌های زیرمعیار طراحی مناسب خیابان

زیرمعیار	شاخص‌ها	امتیاز	درصد تاب‌آوری	میزان تاب‌آوری
طراحی مناسب خیابان	کف سازی مناسب خیابان (L:۰/۰۸۳)	۰/۰۴۸	۵	بسیارکم
	طراحی مناسب تقاطع‌ها (L:۰/۴۱٤)	۰/۰۹۱	۱۰	بسیارکم
	نداشتن قوس افقی و عمودی (L:۰/۱٦٥)	۰/٤٤٤	۸۰	بسیارزیاد
	رعایت حداکثر شیب خیابان (L:۰/۰۸۳)	۰/۵۰۰	۱۰۰	بسیارزیاد
	عریض بودن خیابان‌های پرتردد (L:۰/۲۵٦)	۰/۲۳۱	۳۰	کم

منبع: یافته‌های پژوهش ۱٤۰۰

بـا توجه به جدول (۲۳)، تاب‌آوری عابران پیاده و دوچرخه‌سـواران، در سـطح بسـیار پایینی قرار دارد. از میان زیرمعیارهای این معیار، تنها در نظر گرفتن خط‌کشـی عابر پیاده با کسـب ٤۰ درصـد، در سطح تاب‌آوری متوسط قرار دارد. سـایر زیرمعیارها در شـرایط تاب‌آوری کم و بسیار کم می‌باشند. از این جمله می‌توان به نبود مسیر ویژه دوچرخه در این خیابان، اجرا نکردن طرح پیشـنهاد پیاده راه‌سـازی بخشـی از این خیابان، آرام‌سازی نکردن و تردد ناامن معلولین به دلیل ناهمسـطح بودن پیاده‌روها اشـاره نمود. به‌طورکلی، سـطح تاب‌آوری عابران پیاده و دوچرخه‌سـواران در این خیابان (با کسب ۱٦ امتیاز درصد)، بسیار کم است.

جدول ۲۳- میزان تاب‌آوری زیرمعیارهای معیار تاب‌آوری عابران پیاده و دوچرخه‌سواران

زیرمعیارها	امتیاز	درصد تاب‌آوری	میزان تاب‌آوری
طراحی مسیر ویژه دوچرخه‌سواری در خیابان‌های اصلی (L:۰/۰٤٥)	۰	۰	بسیارکم
در نظر گرفتن خط‌کشی عابر پیاده (L:۰/۰۹٦)	۰/۲۸٦	٤۰	متوسط
در نظر گرفتن تردد ایمن معلولین (L:۰/۰٤٥)	۰/۱۳۰	۱۵	بسیارکم
در نظر گرفتن زیرگذر و روگذر در خیابان‌های اصلی شهر (L:۰/۰۷۹)	۰	۰	بسیارکم
ایجاد و توسعه پیاده راه در مسیرهای پرتردد (L:۰/۱۲٤)	۰	۰	بسیارکم
ایجاد پیاده‌روهای مناسب (L:۰/۲۲٦)	۰/۲۳۱	۳۰	کم
آرام‌سازی ترافیک (L:۰/۳۸٤)	۰/۱۱۵	۱۳	بسیارکم

منبع: یافته‌های پژوهش ۱٤۰۰

جدول ٢٤- میزان تاب‌آوری شاخص‌های زیرمعیار در نظر گرفتن تردد ایمن معلولین

زیرمعیار	شاخص‌ها	امتیاز	درصد تاب‌آوری	میزان تاب‌آوری
در نظر گرفتن تردد ایمن معلولین	نبود مانع در پیاده‌روها(L:۰/۳۳۳)	۰/۲۳۱	۳۰	کم
	نبود اختلاف ارتفاع در مسیر پیاده یا سواره (L:۰/۳۳۳)	۰/۰۹۱	۱۰	بسیارکم
	هم‌سطح بودن مسیر پیاده‌رو (L:۰/۳۳۳)	۰/۰٤۸	۵	بسیارکم

منبع: یافته‌های پژوهش ۱٤۰۰

جدول ۲۵- میزان تاب‌آوری شاخص‌های زیرمعیار ایجاد پیاده‌روهای مناسب

زیرمعیار	شاخص‌ها	امتیاز	درصد تاب‌آوری	میزان تاب‌آوری
ایجاد پیاده‌روهای مناسب	کف‌پوش مناسب (L:۰/۵۰۰)	۰/۰۹۱	۱۰	بسیارکم
	عرض مناسب پیاده‌روها (L:۰/۵۰۰)	۰/۳۳۳	۵۰	متوسط

منبع: یافته‌های پژوهش ۱٤۰۰

جدول ۲٦- میزان تاب‌آوری شاخص‌های زیرمعیار آرام‌سازی ترافیک

زیرمعیار	شاخص‌ها	امتیاز	درصد تاب‌آوری	میزان تاب‌آوری
آرام‌سازی ترافیک	تعیین سرعت مجاز (L:۰/۱۲۲)	۰	۰	بسیارکم
	ایجاد موانع حرکت سواره در طول خیابان (مانند نوار فضای سبز) (L:۰/۲۲۷)	۰	۰	بسیارکم
	در نظر گرفتن جزایر میانی (L:۰/۲۲۷)	۰/۱٦۷	۲۰	کم
	استفاده از ابزار کنترل سرعت (سرعت‌گیر، سرعت کاه) (L:۰/٤۲٤)	۰/۱٦۷	۲۰	کم

منبع: یافته‌های پژوهش ۱٤۰۰

با توجه به جدول (۲۷)، سطح تاب‌آوری خیابان آزادی در برابر سوانح طبیعی با کسب امتیاز ٤۹ درصدی، متوسط می‌باشد. در حقیقت، قرارگیری خیابان در حریم درجه یک گسل‌های موجود در سطح شهر با توجه به کمبود فضاهای باز و سبز جهت اسکان و تراکم ساختمانی نسبتاً بالا، با وجود کیفیت نسبتاً مناسب بناها و نزدیکی به مراکز حیاتی، سطح تاب‌آوری خیابان را در برابر سوانح طبیعی بسیار کاهش داده است.

جدول ۲۷- میزان تاب‌آوری زیرمعیارهای معیار تاب‌آوری خیابان در برابر سوانح طبیعی

زیرمعیارها	امتیاز	درصد تاب‌آوری	میزان تاب‌آوری
نزدیکی به مراکز حیاتی (L:۰/۰۸۳)	۰/۳۸٤	٦۲	زیاد
دوری از مکان‌های خطرزا (L:۰/۰۸۳)	۰/۲۵۰	۳۳	کم
عرض مناسب و مستقیم بودن خیابان (L:۰/۲٤۰)	۰/۲۸٦	٤۰	متوسط
جداره مناسب خیابان (L:۰/۲٤۰)	۰/۳۹۱	٦٤	زیاد
محصوریت کم (L:۰/۲٤۰)	۰/۳۳۳	۵۰	متوسط
پایین بودن تراکم جمعیتی و ساختمانی(L:۰/۰۳۱)	۰/۲۳۱	۳۰	کم
در نظر گرفتن فضاهای باز و سبز جهت اسکان و امدادرسانی (L:۰/۰۸۳)	۰/۲۸٦	٤۰	متوسط

منبع: یافته‌های پژوهش ۱٤۰۰

جدول ۲۸- میزان تاب‌آوری شاخص‌های زیرمعیار نزدیکی به مراکز حیاتی

زیرمعیار	شاخص‌ها	امتیاز	درصد تاب‌آوری	میزان تاب‌آوری
نزدیکی به مراکز حیاتی	دسترسی مناسب به مراکز درمانی (L:۰/٦٦۷)	۰/۳٦۸	۵۸	متوسط
	دسترسی مناسب به مراکز آتش‌نشانی (L:۰/۳۳۳)	۰/٤۱۲	۷۰	زیاد

منبع: یافته‌های پژوهش ۱٤۰۰

جدول ۲۹- میزان تاب‌آوری شاخص‌های زیرمعیار دوری از مکان‌های خطرزا

زیرمعیار	شاخص‌ها	امتیاز	درصد تاب‌آوری	میزان تاب‌آوری
دوری از مکان‌های خطرزا	دوری از گسل‌ها، مسیل‌ها و ... (L:۰/۸۳۳)	۰/۲۰۰	۲۵	کم
	رعایت فاصله از پمپ گاز، بنزین، دکل‌ها و پست‌های برق (L:۰/۱٦۷)	۰/٤۲۹	۷۵	زیاد

منبع: یافته‌های پژوهش ۱٤۰۰

جدول ۳۰- میزان تاب‌آوری شاخص‌های زیرمعیار جداره مناسب خیابان

زیرمعیار	شاخص‌ها	امتیاز	درصد تاب‌آوری	میزان تاب‌آوری
جداره مناسب خیابان	کیفیت مناسب بناها (L:۰/۵۷۱)	۰/۳۷۵	٦۰	زیاد
	قدمت کم (L:۰/۱٤۳)	۰/۳۳۳	۵۰	متوسط
	ارتفاع کم (L:۰/۲٤۰)	۰/٤٤٤	۸۰	بسیارزیاد

منبع: یافته‌های پژوهش ۱٤۰۰

با توجه به جداول (۳۱) و (۳۲)، زیرمعیارهای معیار تاب‌آوری شهروندان در برابر جرم و جنایت، دارای سطح تاب‌آوری بالا می‌باشند. تنها میزان روشنایی این خیابان کم می‌باشد. در واقع، بالا بودن نظارت در سطح خیابان به دلیل وجود ورودی‌ها و گشودگی‌های متعدد و عریض در سطح این خیابان و قرارگیری کاربری‌های متنوع و فعال در آن، سطح تاب‌آوری در برابر جرم و جنایت را افزایش داده است و کسب امتیاز ۷۰ درصدی تأیید کننده این امر می‌باشد.

جدول ۳۱- میزان تاب‌آوری زیرمعیارهای معیار تاب‌آوری شهروندان در برابر جرم و جنایت

زیرمعیارها	امتیاز	درصد تاب‌آوری	میزان تاب‌آوری
افزایش نظارت طبیعی (L:۰/۲۳۰)	۰/٤۸۲	۹۳	بسیارزیاد
تأمین روشنایی خیابان‌ها (L:۰/۱۲۲)	۰/۲۳۱	۳۰	کم
افزایش حضور نیروی پلیس (L:۰/٦٤۸)	۰/٤۱۲	۷۰	زیاد

منبع: یافته‌های پژوهش ۱٤۰۰

جدول ۳۲- میزان تاب‌آوری شاخص‌های زیرمعیار افزایش نظارت طبیعی

زیرمعیار	شاخص‌ها	امتیاز	درصد تاب‌آوری	میزان تاب‌آوری
افزایش نظارت طبیعی	قرارگیری گشودگی‌های ساختمان‌ها روبه خیابان (L:۰/۱۲۰)	۰/٤۸۷	۹۵	بسیارزیاد
	تعدد ورودی‌ها (L:۰/۰٦۵)	۰/۵۰۰	۱۰۰	بسیارزیاد
	عریض بودن گشودگی‌ها (L:۰/۱۲۰)	۰/٤۷٤	۹۰	بسیارزیاد
	تنوع کاربری‌ها (L:۰/۳٤۸)	۰/٤۸۷	۹۵	بسیارزیاد
	حضور کاربری‌های فعال (L:۰/۳٤۸)	۰/٤۷٤	۹۰	بسیارزیاد

منبع: یافته‌های پژوهش ۱٤۰۰

با توجه به جدول (۳۳)، معیار مدیریت کارآمد حمل‌ونقل، کم‌ترین درصـــد تاب‌آوری را در خیابان آزادی به خود اختصـاص داده اسـت؛ این در حالی است که یکی از معیارهای بسیار مهم و حائز اهمیت در بالا بردن سطح تاب‌آوری یک خیابان می‌باشد.

جدول ۳۳- میزان تاب‌آوری زیرمعیارهای معیار مدیریت کارآمد حمل‌ونقل

زیرمعیارها	امتیاز	درصد تاب‌آوری	میزان تاب‌آوری
به‌سازی محورهای موجود و احداث محورهای جدید (L:۰/۲۸٦)	۰/۰۹۱	۱۰	بسیارکم
سرمایه‌گذاری در جهت اجرای طرح‌های پیشنهادی حمل‌ونقل (L:۰/۲۸٦)	۰/۰٤۸	٥	بسیارکم
آموزش (L:۰/۱٤۳)	۰/۰۹۱	۱۰	بسیارکم
تخصیص بودجه برای ایمن‌سازی و بهبود کیفیت راه‌ها (L:۰/۲۸٦)	۰/۰٤۸	٥	بسیارکم

منبع: یافته‌های پژوهش ۱٤۰۰

درنهایت با توجه به جدول (۳٤)، معیار تاب‌آوری در برابر شـرایط نامسـاعد آب و هوایی موردبررسـی قرار گرفته اسـت. این معیار با کسـب امتیاز ۳۲ درصدی در سطح کم می‌باشد. در این میان، نبود پیاده‌روهای مسقف، نقطه‌ای منفی و تعیین حداکثر ارتفاع سـاختمان‌ها در طرح تفصـیلی شـهر، نقطه قوتی برای بالا بردن سـطح تاب‌آوری خیابان تلقی می‌شوند.

جدول ۳٤- میزان تاب‌آوری زیرمعیارهای معیار تاب‌آوری در برابر شرایط نامساعد آب و هوایی

زیرمعیارها	امتیاز	درصد تاب‌آوری	میزان تاب‌آوری
درخت‌کاری (L:۰/٤۰۰)	۰/۱٦۷	۲۰	کم
تعیین حداکثر ارتفاع ساختمان‌ها (L:۰/٤۰۰)	۰/۳۷٥	٦۰	زیاد
در نظر گرفتن پیاده‌روهای مسقف (L:۰/۲۰۰)	۰	۰	بسیارکم

منبع: یافته‌های پژوهش ۱٤۰۰

٥- نتیجه‌گیری

هدف از پژوهش حاضـر بررسـی و سـنجش تاب‌آوری شـبکه ارتباط شـهری کرج بود؛ بنابراین بر اسـاس نتایج حاصـله، خیابان شـهید بهشـتی به‌عنوان اصـلی‌ترین محور ارتباطی درون‌شـهری کرج که نقش شـریانی درجه دو را بر عهده دارد می‌بایسـت کارایی لازم را داشـته باشد. یکی از ابعاد مهم کارایی که در این پژوهش به آن پرداخته شد ایمنی شـبکه ارتباطی می‌باشد. از بین معیارهای تعریف شده، در این خیابان، تاب‌آوری در برابر سوانح طبیعی بیش‌ترین امتیاز و تاب‌آوری حرکت سـواره کم‌ترین امتیاز را به خود اختصـاص دادند. از بین زیرمعیارهای تعریف شـده زیرمعیارهایی مـاننـد در نظر گرفتن خط‌کشـی عابر پیاده و تردد ایمن معلولین، نزدیکی به مراکز حیاتی، دوری از مکان‌های خطرزا،

محصـوریت کم خیابان، وجود فضـاهای باز و سـبز جهت اسکان در مواقع بحرانی، بالا بودن نظارت طبیعی و حضور نیروی پلیس، ســـرمایه‌گذاری مدیریت شـــهری برای اجرای طرح‌های حمل‌ونقل مورد توجه قرار گرفته‌اند. به عبارتی کاهش تعداد تصـادفات، طراحی مسـیر ویژه دوچرخه، ایجاد و توسـعه پیاده راه، آموزش شهروندان، تخصیص بودجه برای ایمن‌ســازی و بهبود کیفیت خیابان، در نظر گرفتن پیاده‌روهای مســقف در این خیابان مورد توجه قرار نگرفته‌اند. هم‌چنین از شـاخص‌های تاب‌آوری مورد توجه در خیابان شهید بهشتی می‌توان به دسترسی مناسب به مراکز درمانی و آتش‌نشـانی، دوری از گسل‌ها، عرض مناسب خیابان و رعایت حداکثر شیب، کف‌پوش و عرض مناسب درصد بالایی از پیـاده‌روهای خیابان، نصـــب چراغ راهنمایی در تقاطع‌ها، احداث پارکینگ‌های غیرحاشــیه‌ای، تعیین حداکثر ارتفاع ســـاختمـان‌هـا در طرح‌های فرادســـت، وجود گشـــودگی‌ها و ورودی‌های متعدد و عریض در جداره خیابان و تنوع کاربری‌های فعال اشـاره نمود. درحالی‌که شـاخص‌های اصـلاح هندسـی مسیرهای پرخطر، اجرای طرح‌های ترافیکی، تعیین حداکثر سـرعت، نصـب دوربین‌های کنترل سـرعت، طراحی مناسب تقاطع‌ها، رعایت حق تقدم و آموزش آن به شــهروندان، مورد توجه قرار نگرفته‌اند. به‌طورکلی، با ارزیابی‌های انجام شــده، ســطح تاب‌آوری این خیابان، متوســط می‌باشــد. خیابان آزادی به‌عنوان یک محور خدماتی با اســتقرار کاربری‌های تجاری و خدماتی متنوع و متعدد، جاذب جمعیت بسـیاری می‌باشـد؛ بنابراین بالابردن سـطح تاب‌آوری این خیابان باعث حفظ و تقویت کارایی آن می‌شـود. از بین معیارهای تاب‌آوری مدل پژوهش، در این خیابان، تاب‌آوری شــهروندان در برابر جرم و جنایت بیشــترین امتیاز و مدیریت کارآمد حمل‌ونقل و ایمنی عابران پیاده و دوچرخه‌ســواران کم‌ترین امتیاز را به خود اختصــاص داده‌اند. این در حـالی اســـت کـه بـا توجـه به نقش این خیابان، تأمین تاب‌آوری عابران پیاده بســـیار حائز اهمیت می‌باشـــد. از بین زیرمعیارهای تعریف شـده زیرمعیارهایی مانند نزدیکی به مراکز حیاتی، جداره مناسـب خیابان، افزایش نظارت طبیعی و حضـور نیروی پلیس مورد توجه قرار گرفته‌اند؛ اما دوری از مکان‌های خطرزا، ترافیک کم سـواره، طراحی مسـیر ویژه دوچرخه‌ســواری، ایجاد پیاده‌روهای مناســب، در نظر گرفتن تردد ایمن معلولین، ایجاد پیاده‌راه، آرام‌ســازی ترافیک در این خیابان، به‌سـازی خیابان، سـرمایه‌گذاری برای اجرای طرح‌های پیشـنهادی و تخصـیص بودجه برای ایمن‌سازی و بهبود کیفیت این خیابان، پوشـــش‌گیاهی و در نظر گرفتن پیاده‌روهای مســـقف مورد توجه قرار نگرفته‌اند. هم‌چنین، از شـــاخص‌های تاب‌آوری مورد توجه در خیابان آزادی می‌توان به حضـــور فعال مأموران راهنمایی و رانندگی، رعایت حداکثر شـیب خیابان، دسـترسـی مناسـب به مراکز درمانی و آتش‌نشـانی، تعیین حداکثر ارتفاع بناهای پیرامون خیابان، کیفیت مناسـب بناها، تعدد ورودی‌ها و گشـودگی‌ها، تنوع و فعال بودن کاربری‌ها اشاره نمود. درحالی‌که شاخص‌های اجرای طرح‌های ترافیکی پیشــنهادی، تعیین حداکثر سـرعت و نصـب دوربین‌های کنترل سـرعت، اسـتفاده از علائم هشـداردهنده، رعایت حق تقدم و آموزش آن به شـهروندان، کف سـازی و عرض مناسب خیابان، نبود اختلاف ارتفاع در مسـیر پیاده با سـواره، همسطح بودن مسیر پیاده، کف‌پوش و عرض مناسب پیاده‌روها، استفاده از ابزار کنترل سرعت و ایجاد مانع بر سـر حرکت سـواره، طراحی مناسـب تقاطع‌ها، نصـب چراغ راهنمایی یا غیرهمسـطح نمودن تقاطع‌ها،

دوری از گسل‌ها، روشنایی خیابان، مورد توجه قرار نگرفته‌اند. درنهایت، با ارزیابی‌های انجام شده، سطح تاب‌آوری این خیابان، کم است.

کتابنامه

امان‌پور، سعید؛ ملکی، سعید؛ صفایی پور، مسعود؛ امیری فهلیانی، محمدرضا؛ ۱۳۹۷. تحلیل وضعیت و تعیین استراتژی‌های مبتنی بر سناریو در تاب‌آوری شهری مطالعه موردی، کلان‌شهر اهواز. *فصلنامه پژوهش و برنامه‌ریزی شهری*. ۹. ۳۵. ۳۱–٤٦.

پیران، پرویز؛ اسدی، سعیده؛ دادگر؛ نیکو؛ ۱۳۹٦. بررسی نقش تاب‌آوری اجتماعی در موفقیت فرآیند بازسازی مطالعه موردی، جوامع روستایی درب آستانه و باباپشمان پس از زلزله سال ۱۳۸۵ دشت سیلاخور، استان لرستان. *فصلنامه مسکن و محیط روستا*. شماره ۱۵۷.

جعفریان، نغمه؛ حاتمی نژاد، حسین؛ مبهوت، محمدرضا؛ ۱۳۹٦. ارزیابی تاب‌آوری اجتماعی و اقتصادی در برابر زلزله (مطالعه موردی، بجنورد). *فصلنامه علمی پژوهشی امداد و نجات*. سال ۹. شماره ۱.

حسین زاده دلیر، کریم؛ محمدیان، مهرداد؛ سرداری، رؤیا؛ ۱۳۹۸. مروری بر مفهوم تاب‌آوری شهری. *فصلنامه علمی تخصصی مطالعات طراحی شهری و پژوهش‌های شهری*. سال ۲. شماره ۳.

روستا، مجتبی؛ ابراهیم‌زاده، عیسی؛ ایستگلدی، مصطفی؛ ۱۳۹۷. ارزیابی میزان تاب‌آوری اجتماعی شهری، مطالعه موردی، شهر زاهدان. *نشریه پژوهش و برنامه‌ریزی شهری*. سال ۹. شماره پیاپی ۳۲.

سلمانی، محمد؛ کاظمی ثانی، عطاالله؛ بدری، نسرین؛ شریف، سیدعلی؛ ۱۳۹۵. شناسایی و تحلیل تأثیر متغیرها و شاخص‌های تاب‌آوری شواهدی از شمال و شمال شرقی تهران. *نشریه تحلیل فضایی مخاطرات*. سال ۳. شماره ۲.

شکری فیروزجاه، پری؛ ۱۳۹٦. تحلیل میزان تاب‌آوری مناطق شهر بابل در برابر مخاطرات محیطی. *نشریه برنامه‌ریزی توسعه کالبدی*. ۲. ۲۷–٤٤.

فرجی، امین؛ آروین، محمود؛ آتش فروز، نسرین؛ ۱۳۹۷. بررسی تاب‌آوری منطقه‌ای با استفاده از تحلیل فضایی و مدل ترکیبی waspas، مطالعه موردی، شهرستان‌های خوزستان. *آمایش سرزمین*. ۱–۲۹.

قدسی پور، سیدحسن؛ ۱۳۸۱. *فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP)*. تهران: انتشارات دانشگاه امیرکبیر.

محمدی، اکبر؛ آشوری، کسری؛ بشیر رباطی، محمد؛ ۱۳۹٦. تبیین و ارزیابی مؤلفه‌های تاب‌آوری نهادی و اجتماعی در سکونتگاه‌های خودانگیخته شهری مطالعه موردی، ناحیه منفصل شهری نایسر شهر سنندج. *فصلنامه مطالعات شهری*. شماره ۲۲.

نوریان، فرشاد؛ اسفندی، سعید؛ ۱۳۹٤. تحلیل اولویت مکانی پایگاه‌های پشتیبان مدیریت بحران زلزله بر مبنای استاندارد طبقه‌بندی زمین مرجع کاربری‌ها با استفاده از روش تاپسیس، مطالعه موردی، ناحیه ۱ منطقه ٦ شهرداری تهران. *فصلنامه مدیریت بحران*. شماره ۲.

Ajibade, I. (2017). Can a future city enhance urban resilience and sustainability? A political ecology analysis of Eko Atlantic city, Nigeria. International Journal of Disaster Risk Reduction, 26, 85-92.

Bruneau, M. 2003. A framework to quantitatively assess and enhance the seismic resilience of communities. Earthquake spectra, 19.4.

Davis, I. & Y. Izadkhah (2006), Building Resilient Urban Communities, Article from OHI, 31, 1.

Donovan, B. & Work D. B. (2017). Empirically quantifying city-scale transportation system resilience to extreme events. Transportation Research, 79, 333–346.

Folke, C. (2006). Resilience: The emergence of a perspective for social–ecologicalsystems analyses. Global Environmental Change, 16(3), 253–267. http:// dx.doi .org/ 10.1016/ j. gloenvcha.

Gimenez, R., Hernantes, J. H. & Labaka, L. (2016). A maturity model for the involvement of stakeholders in the city resilience building process. Technological Forecasting & Social Change.

Holling, C. S. (1973). Resilience and stability of ecological systems. Annual Review of Ecology and Systematics,4,1–23. http://dx.doi.org/10.1191/030913200701540465.

León, J. & March, A. (2014). Urban morphology as a tool for supporting tsunami rapid resilience: A case study of Talcahuano, Chile. Habitat International, 43, 250-262.

Marana, P., Labaka, L., & Mari S. J. (2017). A framework for public-private-people partnerships in the city resilience-building process. Safety Science.

Mayunga, S.B. (2006). The concept of resilience revisited. Disasters, 30 (4), 433–450.

Marom, W. A. (2014). Mapping and Measuring Social Vulnerabilities of Coastal areas of Bangkok and Periphery. Proceedings of the Resilient Cities 2014 congress. Bonn. Germany. Pp. 29-31. http:// resilient-cities.iclei.org ./

Moghadas, M., Asadzadeh, A., Vafeidis, A., Feket, A. & Kötter, T. (2018). A multi-criteria approach for assessing urban flood resilience in Tehran, Iran. International Journal of Disaster Risk Reduction, (35), 101069, 1-29.

Parvin, G. A., Surjan, A., Rahman, A., & Shaw, R. (2016). Urban Risk, City Government, and Resilience. Urban Disasters and Resilience in Asia.

Smith, N. (2013). EVOLVING CITIES: Exploring the relations between urban form and the fovernance of urban form: An International centre supported by deutsche bank, LSE Cities. Published by the London School of Economics and Political Science.

Wilkinson, C & Beilin, R. (2015). Introduction: governing for urban resilience. Urban Studies Journal Limited. 9.2.

Wilson, G. A. (2012): Community resilience, globalization, and transitional pathways of decision-making, Geoforum, Vol. 43, Issue 6.

Vol.10, No.4, Winter 2022, pp.175-192 ISSN (Print):2322-1682 ISSN (Online):2383-3076

Journal of Geography and Environmental Hazards

RESEARCH ARTICLE DOI: 10.22067/geoeh.2021.69186.1029 Open access

Investigation of Agricultural Drought Time Series in Darab City using Remote Sensing and Google Earth Engine System

Hossein Esmaeili [a*], Seyed Hossein Mirmousavi [b], Esmaeil Soheili [c]

[a] MA in Climatology, Department of Geography, Faculty of Humanity Sciences, University of Zanjan, Zanjan, Iran
[b] Associate Professor in Climatology, Department of Geography Faculty of Humanity Sciences University of Zanjan, Zanjan, Iran
[c] Assistant Professor in Watershed management, Department of Range and watershed Management, Faculty of Agriculture and Natural Resources of Darab, Shiraz University, Shiraz, Iran

Received: 1 March 2021 ***Revised: 5 June 2021*** ***Accepted: 20 June 2021***

Abstract

Drought hazard is one of the natural features of the planet that can occur in all climatic zones so that in some cases it causes irreparable damage. Due to the importance of drought, this study aimed to analyze the time series of agricultural drought in Darab city over 20 years (2000-2020) using remote sensing and satellite images in the Google Earth engine system. Satellite imagery including 460 images of land surface temperature (LST) and vegetation (NDVI) MODIS of Terra satellite was used to calculate the temperature condition index (TCI) and vegetation condition index (VCI). Moreover, using the recorded rainfall data of the Darab synoptic station, the SPI index was calculated by MATLAB software in different time intervals. The results show that according to the extreme dryness class and based on the TCI index, the 2000 with an area of 225.46 square kilometers and also according to the VCI index, the 2013 year with an area of 280.80 square kilometers, had the most dried land area in Darab city. As a result, comparing the numerical value of SPI index for each of the years of the period under study with the amount of non-drought areas obtained from TCI and VCI indices obtained from satellite images, the highest correlation coefficient of 0.76 was observed between the 12-month SPI and the VCI index, which indicates the VCI satellite index as the optimal index indicating the drought situation in Darab city. Another outstanding result of this study is that the use of remote sensing data and Google Earth Engine System to monitor and investigate drought in areas that do not have observational data from land surveys is very useful.

Keywords: Drought Time Series, SPI Index, Darab City, Google Earth Engine (GEE), TCI Index

*. Corresponding author: Hossein Esmaeili. E-mail: Hossein.esmaeili@alumni.znu.ac.ir Tel: +989178390265

How to cite this Article: Esmaeili, H., Mirmousavi, S, Soheili, E. (2022). Investigation of agricultural drought time series in Darab city using remote sensing and Google Earth engine system. *Journal of Geography and Environmental Hazards*, 10(4), 185-203.

doi: 10.22067/geoeh.2021.69186.1029

Geography and Environmental Hazards
Volume 10, Issue 4 - Number 40, Winter 2022
https://geoeh.um.ac.ir
https://dx.doi.org/10.22067/geoeh.2021.69186.1029

جغرافیا و مخاطرات محیطی، سال دهم، شمارۀ چهلم، زمستان ۱٤۰۰ صص ۱۹۲-۱۷۵

مقاله پژوهشی

بررسی سری زمانی خشکسالی کشاورزی شهرستان داراب با استفاده از سنجش‌ازدور و سامانه گوگل ارث انجین

حسین اسمعیلی[1]– کارشناس ارشد آب و هواشناسی، گروه جغرافیا، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران
سیدحسین میرموسوی - دانشیار آب و هواشناسی، گروه جغرافیا، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران
اسماعیل سهیلی – استادیار آبخیزداری، بخش مرتع، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی داراب، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۲/۱۱ تاریخ بازنگری: ۱٤۰۰/۳/۱۵ تاریخ تصویب: ۱٤۰۰/۳/۳۰

چکیده

مخاطره خشکسالی ازجمله ویژگی‌های طبیعی کره زمین محسوب می‌شود که امکان رخداد آن در تمام مناطق آب و هوایی وجود دارد؛ به‌طوری‌که در پاره‌ای موارد خسارات جبران‌ناپذیری را ایجاد می‌کند. با توجه به اهمیت خشکسالی، این پژوهش با هدف تحلیل سری زمانی خشکسالی کشاورزی شهرستان داراب طی یک دوره ۲۰ ساله (۱۳۹۹ – ۱۳۷۹) با استفاده از سنجش‌ازدور و تصاویر ماهواره‌ای در محیط سامانه گوگل ارث انجین انجام شد. تصاویر ماهواره‌ای شامل ٤٦۰ تصویر از محصولات دمای سطح زمین (LST) و پوشش گیاهی (NDVI) سنجنده مودیس ماهواره تررا می‌باشند که از آن‌ها جهت محاسبه شاخص وضعیت دمایی (TCI) و شاخص وضعیت پوشش گیاهی (VCI) استفاده شد. همچنین با استفاده از داده‌های بارش ثبت شده ایستگاه سینوپتیک داراب، شاخص SPI به‌وسیله نرم‌افزار MATLAB در بازه‌های زمانی مختلف محاسبه شد. نتایج به دست آمده حاکی از این است که مطابق با طبقه خشکی بسیار شدید و بر اساس شاخص TCI سال ۱۳۷۹ با مساحت ۲۲٥/٤٦ کیلومترمربع وسعت و همچنین نیز بر اساس شاخص VCI سال ۱۳۹۲ با مساحت ۲۸۰/۸۰ کیلومترمربع وسعت، بیشترین مساحت خشکی را در

---

[1] نویسنده مسئول: ۰۹۱۷۸۳۹۰۲٦٥ Email: Hossein.esmaeili@alumni.znu.ac.ir

نحوه ارجاع به این مقاله:

اسمعیلی، حسین؛ میرموسوی، سید حسین؛ سهیلی، اسماعیل؛ ۱٤۰۰. بررسی سری زمانی خشکسالی کشاورزی شهرستان داراب با استفاده از سنجش از دور و سامانه گوگل ارث انجین. *جغرافیا و مخاطرات محیطی*. ۱۰(٤). صص ۱۹۲-۱۷۵
https://dx.doi.org/10.22067/geoeh.2021.69186.1029

شهرستان داراب داشته‌اند. درنتیجه مقایسه بین مقدار عددی شاخص SPI برای هر یک از سال‌های دوره موردبررسی با میزان مساحت‌های فاقد خشکسالی حاصل از دو شاخص TCI و VCI به دست آمده از تصاویر ماهواره‌ای، بیشترین مقدار ضریب همبستگی به میزان ۰/۷۶ بین SPI دوازده‌ماهه و شاخص VCI مشاهده شد که این مطلب نمایانگر شاخص ماهواره‌ای VCI به‌عنوان شاخص بهینه نشان‌دهنده وضعیت خشکسالی در شهرستان داراب است.

کلیدواژه‌ها: سری زمانی خشکسالی، شاخص SPI، شهرستان داراب، گوگل ارث انجین، شاخص TCI.

۱ – مقدمه

خشکسالی یکی از مخرب‌ترین خطرات طبیعی کره زمین است که میلیون‌ها فرد را در زمینه‌های مختلفی از قبیل امنیت غذایی، مهاجرت و ضررهای اقتصادی تحت تأثیر قرار می‌دهد (کولکارنی و همکاران[1]، ۲۰۲۰) و به‌صورت مداوم از چندین ماه تا چندین سال اتفاق می‌افتد که در طی آن میزان آب مورد نیاز مناطق کاهش می‌یابد (ویاس و همکاران[2]، ۲۰۱۵). به‌طوری‌که به‌عنوان جدی‌ترین مشکل در جهت تبعات اجتماعی محسوب می‌شود (هزایمه و حسن[3]، ۲۰۱٦) بااین‌حال هیچ تعریف پذیرفته شده و یکسان جهانی برای خشکسالی وجود ندارد (توولدبیرهان سیگ[4]، ۲۰۱۹) و ازآنجایی‌که مشاهده تأثیرات مخرب آن به زمان طولانی نیاز دارد، نحوه مقابله با آن نیز کمتر موردتوجه واقع شده است (علیقلی‌نیا، ۱۳۹۸: ۱۷۷). واضح است که خشکسالی دارای روندی آهسته و در حال تکامل است که با کمبود میزان بارش شروع شده و سپس منجر به از دست رفتن رطوبت خاک و افزایش دمای سطح زمین می‌شود (جی و همکاران[5]، ۲۰۱۸). نظارت دقیق بر وضعیت خشکسالی پیامدهای مهمی در توسعه پایدار کشاورزی مناطق دارد (شن و همکاران[6]، ۲۰۱۹). خشکسالی کشاورزی زمانی به وقوع می‌پیوندد که تأثیرات ناشی از خشکسالی بر محصولات کشاورزی قابل روئیت باشد (نعمتی و همکاران، ۱۳۹۸: ۳۱٤) که در این زمینه داده‌های حاصل از تصاویر ماهواره‌های سنجش‌ازدور قادرند به‌طور مداوم توزیع مکانی و زمانی از رشد محصولات و وضعیت خشکسالی را ثبت نمایند (ژو و همکاران[7]، ۲۰۲۰)؛ بنابراین خشکسالی را می‌توان بر اساس تغییرات مشاهده شده در سلامت پوشش گیاهی و همچنین پوشش اراضی سطح زمین با استفاده از داده‌های سنجش‌ازدور مورد ارزیابی قرار داد (تاکر و چودور[8]، ۱۹۸۷؛ نعمانی و همکاران[9]، ۲۰۰۹؛ سیلئوس و همکاران[10]، ۲۰۰٦). بدین‌جهت سنجش‌ازدور

1 Kulkarni et al
2 Vyas et al
3 Hazaymeh & Hassan
4 Teweldebirhan Tsige et al
5 Ji et al
6 Shen et al
7 Zhou et al
8 Tucker & Choudhury
9 Nemani et al
10 Silleos et al

به‌ویژه با گسترش شاخص‌های هدفمند آن، سابقه‌ای طولانی جهت سنجش و نظارت بر ویژگی‌های خشکسالی و تأثیرات آن‌ها بر روی زمین دارد (آقاکوچک و همکاران[1]، ۲۰۱۵). وانگ[2] و همکاران (۲۰۱۸) با استفاده از معادلات چند جمله‌ای، شاخص نرمال شده تفاضل پوشش گیاهی (NDVI)[3] و دمای سطح زمین، شاخص ETVDI[4] را جهت بررسی خشکسالی مناطق ابداع و معرفی نمودند. جی[5] و همکاران (۲۰۱۸) با استفاده از داده‌های سنجش‌ازدور و چندین شاخص خشکسالی، وضعیت خشکسالی سیچوان چین را موردبررسی قرار دادند. نتایج مطالعه آن‌ها حاکی از رخ داد خشکسالی شدید بین سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۱ در این ناحیه می‌باشد. کیو[6] و همکاران (۲۰۱۹) با استفاده از داده‌های ماهواره‌های سنجش‌ازدور و شاخص‌های مختلف خشکسالی به تهیه نقشه نوع کشت مطابق با وضعیت خشکسالی برای کشورهای واقع در شاخ افریقا اقدام نمودند. فنگ[7] و همکاران (۲۰۱۹) به‌وسیله داده‌های سنجش‌ازدور مودیس و TRMM و همچنین نیز استفاده از چندین شاخص محاسبه خشکسالی، نقشه‌های خشکسالی ناحیه جنوب شرقی استرالیا را در طی فصول مختلف تهیه نمودند. فیصل[8] و همکاران (۲۰۲۰) به بررسی خشکسالی منطقه پاپوآ[9] غربی در اندوزی با استفاده از تصاویر سنجش‌ازدور پرداختند که نتیجه مطالعه آن‌ها حاکی از قابلیت بالای سنجش‌ازدور در بررسی وضعیت خشکسالی می‌باشد. بیگ[10] و همکاران (۲۰۲۰) به ارزیابی خشکسالی هواشناسی و خشکسالی کشاورزی در حوضه رودخانه چیترال[11] کابل با استفاده از داده‌های سنجش‌ازدور و چندین شاخص خشکسالی اقدام نمودند. نتیجه کلی مطالعه آن‌ها بیانگر این است که خشکسالی را می‌توان با ادغام منابع مختلف داده به‌درستی ارزیابی نمود. تولدبیرهان سیگ[12] و همکاران (۲۰۲۰) به مقایسه شاخص‌های مختلف خشکسالی هواشناسی و خشکسالی کشاورزی در اتیوپی پرداختند. آن‌ها بیان نمودند که جهت برنامه‌ریزی بهتر در مقابله با خشکسالی، باید تفاوت‌های بین خشکسالی کشاورزی و هواشناسی هر منطقه مشخص شود. ژو[13] و همکاران (۲۰۲۰) با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای Sentinel-2 و مودیس و همچنین نیز استفاده از شاخص‌های NDVI و VTCI نقشه وضعیت خشکسالی دشت گوانژونگ در چین را تهیه نمودند. سلطانی‌فر و همکاران (۱۳۹۸) در مطالعه‌ای شهرستان کرمانشاه را با استفاده از تصاویر لندست به لحاظ خشکسالی مورد پایش قرار دادند. نتایج

1 AghaKouchak et al
2 Wang
3 Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)
4 Enhanced Temperature Vegetation Dryness Index (ETVDI)
5 Ji
6 Qu
7 Feng
8 Faisol
9 Papua
10 Baig
11 Chitral
12 Teweldebirhan Tsige
13 Zhou

مطالعه آن‌ها نشـان داد که تصـاویر لندسـت دارای قابلیت مورد نیاز جهت پایش خشـکسـالی می‌باشـند. زرگران و همکاران (۱۳۹۸) به پایش خشـکسـالی روزانه اسـتان کرمانشاه با استفاده از داده‌های پوشش گیاهی حاصل از شاخص NDVI سـنجنده مودیس و داده‌های بارش شبکه INTERIM پرداختند. وجود همبستگی قوی و معنی‌دار بین تغییرات بارندگی داده‌های INTERIM و شـاخص NDVI از نتایج مطالعه آن‌ها می‌باشـد. سـلیمانی ساردو و زارعی (۱۳۹۸) با اسـتفاده از تولیدات سـنجنده مودیس و شـاخص بارش اسـتاندارد شـده SPI[1] حوضـه آبخیز جازموریان را به لحاظ خشـکسـالی مورد پایش قرار دادند. نتایج مطالعه آن‌ها بیانگر این اسـت که بخش اعظمی از محدوده موردمطالعه در گسـتره کلاس‌های خشکسالی خیلی شدید و شدید قرا دارد. با توجه به موارد ذکر شده و ازآنجایی‌که شهرستان داراب همچون بسـیاری از مناطق کشور طی سال‌های اخیر با مشکل مخاطره خشکسالی مواجه بوده و از این حیث خسارات بسـیار زیادی در شـهرسـتان به‌ویژه در بخش کشـاورزی به وجود آمده و معضلاتی را ایجاد نموده است، لذا هدف از انجام این مطالعه پایش و بررسـی سـری زمانی بروز خشـکسـالی شـهرسـتان داراب با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و محصـولات سـنجنده مودیس ماهواره تررا[2] در محیط برنامه‌نویسـی سـامانه تحت وب گوگل ارث انجین[3] می‌باشـد تا بدین طریق ضـمن شـناسـایی نواحی تحت تأثیر خشـکسـالی در شـهرسـتان، به‌عنوان راهنمایی جهت برنامه‌ریزی دسـت‌اندرکاران امر در زمینه مقابله با مخاطره خشـکسـالی و پیامدهای آن مورداسـتفاده قرار گیرد. سـامانه گوگل ارث انجین در طی سـال‌های اخیر فرایندهای پردازش تصاویر ماهواره‌ای را سهل نموده و بدین لحاظ مورد استقبال بسیاری از پژوهشـگران قرار گرفتـه اسـت. از قابلیت‌های گوگل ارث انجین می‌توان به کاهش بسـیار زیاد زمان فرایندهای پردازش تصـاویر، پوشـش وسـیع و امکان دسـترسـی به تصـاویر و داده‌های رایگان کل کره زمین، امکان ایجاد سـری زمانی بررسـی تغییرات پدیده‌های متفاوت، وجود الگوریتم‌های پیش‌فرض، دسـترسی به دو نوع داده‌های خام همراه با تصـحیح اتمسـفری و همچنین داده‌های مربوط به محصـولات و پروداکت‌های مختلف، عدم نیاز به سـخت‌افزارهای قدرتمند و کاهش حجم داده‌ها اشـاره نمود. مطالعات بسـیاری در زمینه تحلیل و بررسـی خشـکسـالی با اسـتفاده از داده‌های سنجش دور صورت گرفته است که به‌عنوان نمونه در ادامه به تعدادی از آن‌ها اشاره می‌گردد.

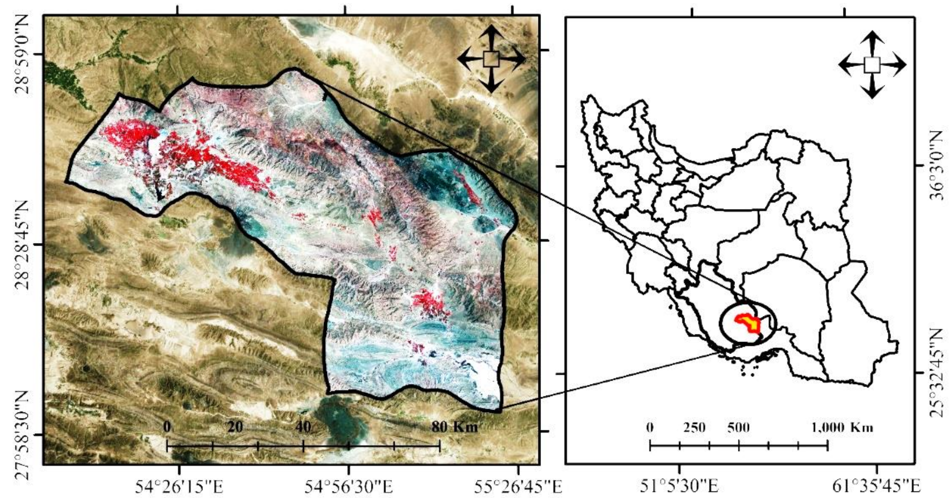
۲ – مواد و روش‌ها

۲ – ۱ – محدوده موردمطالعه

محدوده موردمطالعه در این پژوهش شـهرسـتان داراب یکی از شـهرسـتان‌های استان فارس می‌باشد که در جنوب شـرق این اسـتان قرار دارد و بین ٥٤ درجه و ٠٦ دقیقه و ۰۵ ثانیه تا ۵۵ درجه و ۲۷ دقیقه و ۰۷ ثانیه طول شرقی تا ۲۸ درجه و ۰۱ دقیقه و ۳۷ ثانیه تا ۲۸ درجه و ٥٦ دقیقه و ۳۳ ثانیه عرض شـمالی و به فاصـله ۲۵۰ کیلومتری از شـهر

1 The Standardized Precipitation Index (SPI)
2 Terra
3 Google Earth Engine (GEE)

شیراز به‌عنوان مرکز استان فارس قرار دارد (شکل ۱). به لحاظ اقلیمی اکثر بارش‌های شهرستان داراب در طی دوره سرد سال روی می‌دهد و در تابستان‌ها به دلیل دوری از منابع رطوبتی و نبودن عامل صعود هوای مرطوب، حالت هوای گرم و خشک کویری پیدا می‌کند. بر اساس داده‌های ثبت شده توسط ایستگاه سینوپتیک حسن‌آباد موجود در شهرستان میانگین بارش سالانه آن طی دوره آماری ۲۰ ساله (۱۳۹۹ – ۱۳۷۹)، ۲۳۶/۳ میلی‌متر و میانگین دمای هوای ثبت شده آن ۲۲/۲ درجه سلسیوس می‌باشد. شهرستان داراب از نظر ژئومورفولوژی جزء زاگرس جنوب‌شرقی محسوب می‌شود که در این منطقه، زاگرس به حداکثر پهنای خود رسیده و چهره ظاهری ناهمواری‌ها با سایر بخش‌های زاگرس متفاوت است (علائی طالقانی، ۱۳۸۲). میانگین ارتفاع شهرستان داراب حدود ۱۴۹۱ متر از سطح دریاهای آزاد می‌باشد. قسمت‌های زیادی از شهرستان به علت وجود سنگ چینه‌های شور کننده مانند سنگ‌های سازند هرمز، سازند آغاجاری و سازند ساچون از لحاظ بهره‌برداری با محدودیت مواجه می‌باشند. شهرستان مذکور از لحاظ پوشش گیاهی بسیار غنی و دارای انواع مختلف گیاهان خودرو می‌باشد و تنها در برخی از قسمت‌ها که از خاک‌های شور تشکیل شده گیاهان شوری پسند مانند گز دیده می‌شود (سلیمانی‌شیری، ۱۳۹۱).

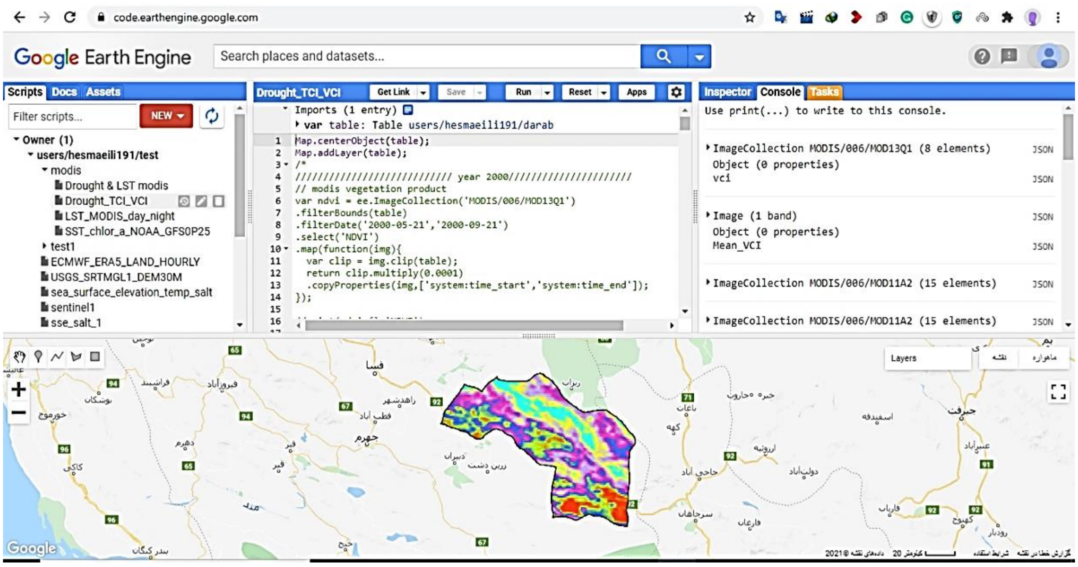


شکل ۱- تصویر ماهواره‌ای موقعیت جغرافیایی شهرستان داراب

۲ – ۲- داده‌های اقلیمی و ماهواره‌ای مورداستفاده در پژوهش

جهت انجام پژوهش حاضر از دو نوع داده استفاده شده است. یکی داده‌های میزان بارش روزانه ثبت شده توسط ایستگاه سینوپتیک حسن‌آباد داراب، به‌عنوان تنها ایستگاه سینوپتیک موجود در شهرستان که دارای آمار طولانی بارش ثبت شده می‌باشد و داده‌های آن از سال ۱۳۷۸ تا سال ۱۳۹۹، جهت محاسبه شاخص SPI در بازه‌های زمانی مختلف مورداستفاده قرار گرفت. آمار مربوطه از سازمان هواشناسی کشور دریافت شد و ضمن انجام آزمون‌های آماری مانند

آزمون همگنی و آزمون داده‌های پرت، فرایند بازسازی مقادیر ناقص و مفقودی از روش نسبت‌ها بر روی آن‌ها انجام شد. داده دیگر مورداستفاده در این مطالعه شامل تولیدات ماهواره‌ای پوشش گیاهی (NDVI) و دمای سطح زمین (LST)[1] مربوط به سنجنده مودیس ماهواره ترا می‌باشد که فرایندهای ارزیابی و استفاده از آن‌ها توسط سامانه تحت وب گوگل ارث انجین صورت گرفت. شکل (۲) تصویری از محیط کدنویسی سامانه گوگل ارث انجین را نشان می‌دهد. با توجه به اینکه پدیده خشکسالی به‌صورت آنی رخ نمی‌دهد و تأثیرات آن بعد از گذشت چندین ماه و یا چندین سال نمایان می‌شود بنابراین در این پژوهش به‌منظور ایجاد سری زمانی تغییرات، از تصاویر مربوط به ماه‌های خرداد تا شهریور هرسال، به دلیل اینکه در این زمان پوشش گیاهی در وضعیت مناسبی قرار دارد، در طی دوره آماری ۲۰ ساله (۱۳۹۹ – ۱۳۷۹) و درمجموع ٤٦٠ تصویر با توجه به همخوانی زمانی و همچنین تبدیل تصاویر ۸ روزه به ۱٦ روزه، مورد تجزیه‌وتحلیل جهت انجام پایش و ارزیابی خشکسالی مورداستفاده قرار گرفت. در ادامه جدول (۱) ویژگی‌های تصاویر مورداستفاده شده را نشان می‌دهد.



شکل ۲ – محیط کدنویسی سامانه گوگل ارث انجین (GEE)

جدول ۱– مشخصات تصاویر استفاده شده در طی سال‌های ۱۳۷۹ تا ۱۳۹۹

نام ماهواره	نام سنجنده	نام محصول	کد محصول	قدرت تفکیک مکانی	قدرت تفکیک زمانی
ترا	مودیس	دمای سطح زمین (LST)	MOD11A2	۱۰۰۰ متر	۸ روزه
ترا	مودیس	پوشش گیاهی (NDVI)	MOD13Q1	۲۵۰ متر	۱٦ روزه

1 Land Surface Temperature (LST)

۲ – ۳ - شاخص‌های استفاده شده جهت بررسی خشکسالی

۲ – ۳ – ۱ - شاخص وضعیت دمایی (TCI)[۱]

این شاخص جهت تعیین دمای مرتبط با تنش پوشش گیاهی که ممکن است ناشی از رطوبت بیش‌ازحد نیز باشد به‌صورت رابطه (۱) تعریف می‌شود (کوگان[۲]، ۱۹۹۵؛ وست و همکاران[۳]، ۲۰۱۹):

$$TCI = \left(\frac{T_{Max} - T}{T_{Max} - T_{Min}} \right)$$ رابطه (۱)

که در رابطه فوق T دمای سطح زمین (LST)، T_{Min} و T_{Max} به ترتیب کمینه و بیشینه دمای سطح زمین در محدوده موردمطالعه می‌باشد.

۲ – ۳ – ۲ - شاخص وضعیت پوشش گیاهی (VCI)

شاخص وضعیت پوشش گیاهی از طریق رابطه (۲) زیر محاسبه می‌شود (کوگان[۴]، ۱۹۹۵؛ وست و همکاران[۵]، ۲۰۱۹):

$$VCI = \left(\frac{NDVI - NDVI_{\min}}{NDVI_{\max} - NDVI_{\min}} \right)$$ رابطه (۲)

که در آن NDVI شاخص نرمال شده تفاوت پوشش گیاهی، $NDVI_{max}$ و $NDVI_{min}$ به ترتیب میانگین بیشینه و کمینه شاخص NDVI می‌باشد. این شاخص شرایط غالب پوشش گیاهی را نشان می‌دهد، به‌طوری‌که اگر مقدار آن به صفر نزدیک شود خشکسالی شدید رخ می‌دهد (فرامرزی و نوری، ۱۳۹۴: ۱٤٥). مطابق با مطالعات و بررسی‌های انجام شده مقادیر شاخص‌های VCI، TCI در پنج کلاس به شرح جدول (۲) قابل دسته‌بندی می‌باشند (رستمی و همکاران، ۱۳۹٦: ۲۱۹؛ سلیمانی و همکاران، ۱۳۹۸: ۲۱؛ اسدی می‌آبادی، ۱۳۹٤: ۳۰؛ رضایی‌بنفشه، ۱۳۹٤: ۱۱۸؛ سلطانی‌فر و همکاران، ۱۳۹۸: ۱٤۱؛ تنکبیل و گامگی[٦]، ۲۰۰٤؛ فرهمند[۷]، ۲۰۱٦):

جدول ۲- کلاس‌های مختلف شاخص‌های VCI، TCI

وضعیت خشکی	ارزش پیکسل	وضعیت خشکی	ارزش پیکسل
خشکی بسیار شدید	<۱۰	خشکی ملایم	٤۰ – ۳۰
خشکی شدید	۲۰ – ۱۰	بدون خشکی	> ٤۰

1 Temperature Condition Index (TCI)
2 Kogan
3 West et al
4 Kogan
5 West et al
6 Thenkabail & Gamage
7 Farahmand

وضعیت خشکی	ارزش پیکسل	وضعیت خشکی	ارزش پیکسل
خشکی متوسط	۳۰ – ۲۰	–	–

۲ – ۳ – ۳ – شاخص بارش استاندارد شده SPI

جهت برآورد خشکسالی هواشناسی، شاخص SPI که توسط مک‌کی و همکاران (۱۹۹۳) ارائه شده و دارای قابلیت و اعتبار بالایی می‌باشد، مورداستفاده بسیاری از محققین و پژوهشگران قرار می‌گیرد. شاخص SPI در بازه زمانی بلندمدت با وقوع سیلاب‌ها، تغییرات سطح آب موجود در مخازن سدها و همچنین نوسانات منابع آب زیرزمینی در ارتباط می‌باشد (مک‌کی و همکاران[1]، ۱۹۹۳). جهت محاسبه شاخص SPI از رابطه (۳) استفاده می‌شود:

$$SPI = \frac{P_i - \bar{P}}{SD} \qquad \text{رابطه (۳)}$$

که در رابطه (۳) SPI شاخص بارش استاندارد، P_i معادل بارش سال مفروض برحسب میلی‌متر، $\bar{P}$ برابر با میانگین بارش درازمدت ایستگاه موردنظر و SD انحراف معیار بارش می‌باشد. طبقات این شاخص به‌صورت جدول (۳) می‌باشد. مقادیر درجه‌بندی این شاخص بدین‌صورت است که مقادیر مثبت بیانگر مقادیر بیشتر از میانه بارندگی و مقادیر منفی، مقادیر کمتر از کمینه بارندگی می‌باشد. طبقات مختلف شاخص SPI در جدول ارائه شده است.

جدول ۳- طبقه‌بندی خشکسالی با استفاده از شاخص SPI

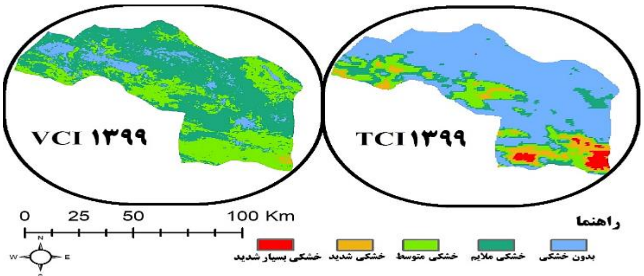
طبقه خشکی	مقدار SPI
ترسالی بسیار شدید	۲ ≤ SPI
ترسالی شدید	۱/۵ ≤ SPI ≤ ۱/۹۹
ترسالی متوسط	۱/٤۹ ≤ SPI ≤ ۱
ترسالی خفیف (نرمال)	۰/۹۹ ≤ SPI ≤ ۰/۰۰
خشکی خفیف (نرمال)	۰/۰۰ ≤ SPI ≤ -۰/۹۹
خشکی متوسط	-۱/۰۰ ≤ SPI ≤ -۱/٤۹
خشکسالی شدید	-۱/۵ ≤ SPI ≤ -۱/۹۹
خشکسالی بسیار شدید	SPI ≤ -۲/۰۰

1 McKee et al

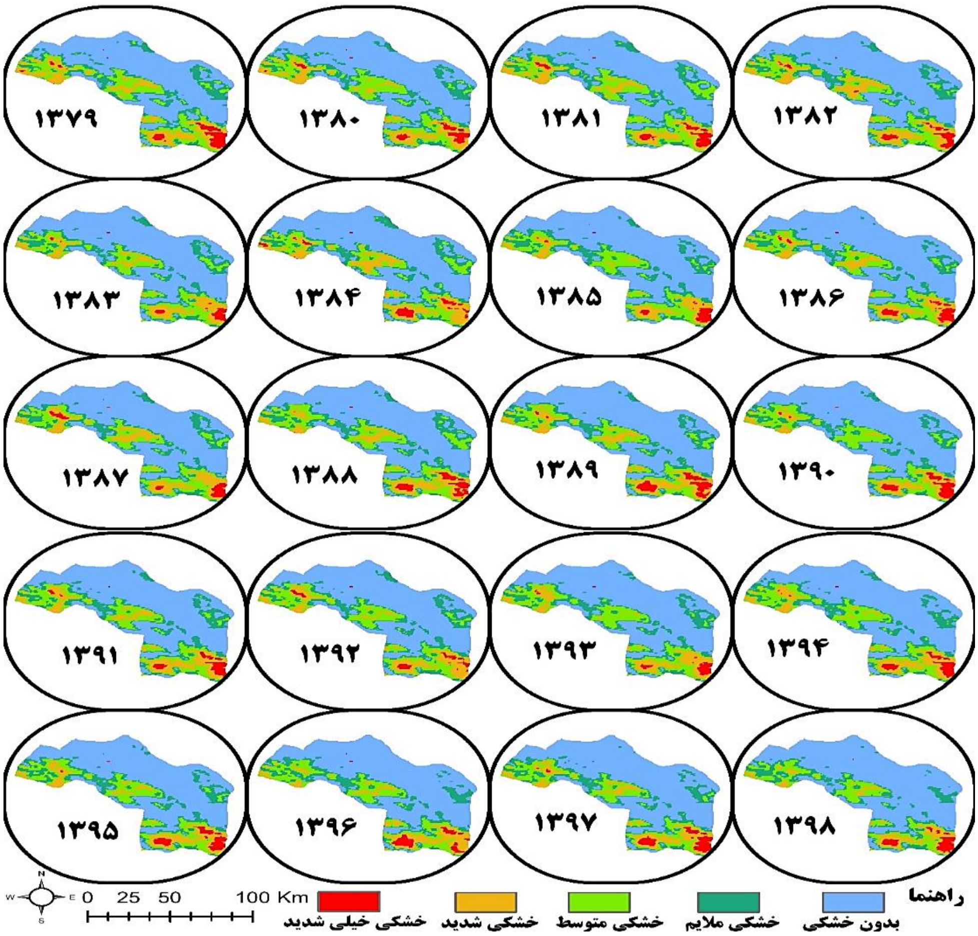
۳ – نتایج و بحث

۳- ۱ – بررسی وضعیت خشکسالی شهرستان داراب بر اساس شاخص‌های خشکسالی TCI و VCI

ازجمله شاخص‌های ماهواره‌ای به کار رفته در این پژوهش جهت پایش و ارزیابی خشکسالی شاخص وضعیت دمایی (TCI) می‌باشد که جهت محاسبه آن از پروداکت دمای سطح زمین (LST) استفاده شد. اصولاً از شاخص TCI جهت تعیین دمای مرتبط با تنش پوشش گیاهی و همچنین تنش ناشی از رطوبت بیش‌ازحد استفاده می‌شود. اگر مقدار عددی ناشی از این شاخص به ۱۰۰ برسد نشان‌دهنده عدم خشکسالی می‌باشد. از طرف دیگر هرچه مقدار این شاخص به صفر نزدیک شود نشان‌دهنده شرایط خشکی و وقوع خشکسالی می‌باشد؛ بنابراین با توجه به میزان مساحت طبقات مختلف این شاخص در این پژوهش مشخص شد که بالاترین مساحت خشکی با طبقه خیلی شدید در سال ۱۳۷۹ به میزان ۲۲۵/٤٦ کیلومترمربع و پس‌ازآن به ترتیب در سال‌های ۱۳۸۹، ۱۳۹۷، ۱۳۹۰ و ۱۳۹۵ بیشترین مساحت خشکی خیلی شدید در شهرستان داراب اتفاق افتاده است. از سویی دیگر کمترین میزان مساحت خشکی خیلی شدید نیز مربوط به سال ۱۳۸۳ به مساحت ۹۲/۳٤ کیلومترمربع می‌باشد. از لحاظ طبقه مناطق بدون خشکی نیز سال‌هایی که بیشترین مساحت بدون خشکی را داشته‌اند مربوط به سال‌های ۱۳۹۸ و ۱۳۹۹ است که هر دو سال مذکور به‌صورت مشابه و یکسان دارای مساحتی برابر با ٤۲٦٤/٤۱ کیلومترمربع می‌باشند و در مرتبه بعد سال ۱۳۸٦ با مساحت ۳۹۷۹/۸۲ کیلومترمربع بیشترین مساحت بدون خشکی را داشته است. مساحت سایر طبقات شاخص TCI در جدول (٤) به تفکیک سال ارائه شده است. در ادامه نقشه‌های حاصل از شاخص TCI برای دوره موردبررسی به تفکیک هرسال در اشکال (۳ و ٤) ارائه شده است. از یافته‌های قابل‌توجه پژوهش این است که نقشه‌های شاخص خشکسالی TCI برای دو سال ۱۳۹۸ و ۱۳۹۹ شرایط کاملاً یکسان و مشابهی را نشان می‌دهند به‌طوری‌که قبلاً نیز بیان شد مساحت طبقات مختلف خشکی در آن‌ها کاملاً یکسان می‌باشد که این امر حاکی از این است که شرایط تنش دمایی و همچنین تنش ناشی از رطوبت در طی این دو سال در محدوده موردمطالعه یکسان بوده است.



شکل ۳- نقشه‌های شاخص وضعیت دمایی (TCI) و وضعیت پوشش گیاهی (VCI) شهرستان داراب در سال ۱۳۹۹



شکل ٤- نقشه‌های شاخص وضعیت دمایی (TCI) شهرستان داراب برای سال‌های ١٣٧٩ تا ١٣٩٨

جدول ٤- مساحت طبقات خشکسالی شهرستان داراب در شاخص وضعیت دمایی (TCI) به کیلومترمربع

سال	خشکی بسیار شدید	خشکی شدید	خشکی متوسط	خشکی ملایم	فاقد خشکی
١٣٧٩	٢٢٥/٤٤	٨٠١/٥٩	١٠٢٩/٢١	١٠٥٣/٩٦	٣٥٦٨/٧٧
١٣٨٠	١٥٩/٠٢	٧٣٨/٦٩	١٠٣٥/٧٧	١٠٧٨/٨٢	٣٦٦٦/٦٨
١٣٨١	١٨٦/٤٦	٧٤٢/٢٦	١١٢٢/٩٨	١٠٤٩/٦٠	٣٥٧٧/٦٩
١٣٨٢	١٦٤/١٥	٨٢٠/١٠	٨٩٩/٧٢	١٠٤٠/٦٨	٣٧٥٤/٣٤
١٣٨٣	٩٢/٣٤	٦٣٤/٣١	٩٩١/٣٩	١٠٣٧/٣٣	٣٩٢٣/٦٢
١٣٨٤	١٤٤/٩٧	٨٢٤/١١	٩٢٣/٣٦	١٠٠١/٨٧	٣٧٨٤/٦٧
١٣٨٥	١٢٦/٢٤	٥٢٦/٥٨	١٠٢٤/٨٤	١٠٨٣/٢٨	٣٩١٨/٠٤
١٣٨٦	١٧١/٩٦	٦٦٣/٩٧	٩٥٤/٣٦	٩٠٨/٨٦	٣٩٧٩/٨٢
١٣٨٧	١٣٩/١٧	٧٠٠/٣٣	٩٦٩/٠٨	١٠٢٢/٦١	٣٨٤٧/٧٩
١٣٨٨	١٨١/٥٥	٦٧٦/٢٤	١٠٨١/٤٩	١٠١٩/٤٩	٣٧٢٠/٢١

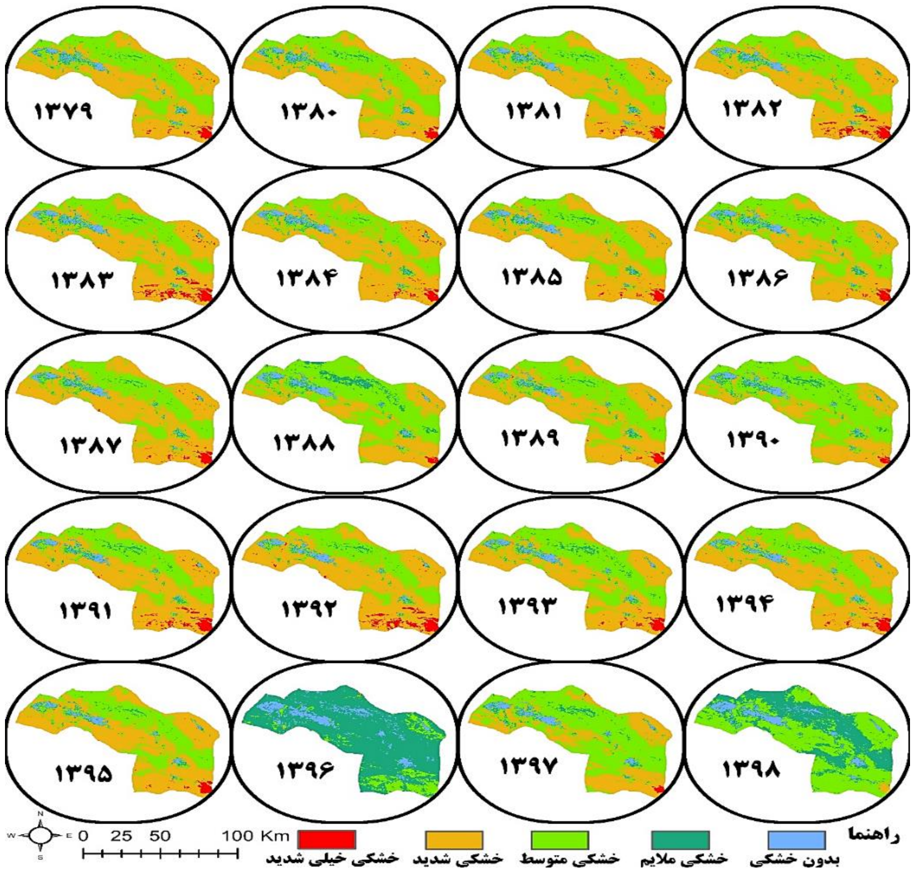
سال	خشکی بسیار شدید	خشکی شدید	خشکی متوسط	خشکی ملایم	فاقد خشکی
۱۳۸۹	۲۲۰/۵۸	۷۴۱/۱۴	۹۸۵/۵۹	۹۶۰/۳۹	۳۷۷۱/۲۹
۱۳۹۰	۲۰۱/۶۲	۵۴۳/۰۹	۱۰۴۴/۴۷	۹۹۵/۶۲	۳۸۹۴/۱۸
۱۳۹۱	۱۵۷/۰۲	۷۱۱/۲۶	۹۹۸/۹۷	۱۰۵۴/۷۳	۳۷۵۷/۰۱
۱۳۹۲	۹۸/۵۸	۶۶۳/۵۳	۱۰۶۴/۱۰	۱۰۳۵/۹۹	۳۸۱۶/۷۸
۱۳۹۳	۹۹/۰۳	۵۹۵/۰۶	۱۰۵۰/۷۱	۱۰۵۲/۵۰	۳۸۸۱/۶۹
۱۳۹۴	۱۶۸/۸۴	۶۴۵/۲۴	۱۰۴۷/۳۷	۱۰۲۹/۰۸	۳۷۸۸/۴۶
۱۳۹۵	۱۸۸/۴۶	۶۱۱/۵۶	۱۰۰۵/۲۲	۱۰۰۸/۷۸	۳۸۶۴/۹۶
۱۳۹۶	۱۴۶/۷۶	۶۴۳/۴۵	۹۶۵/۷۴	۹۷۴/۲۱	۳۹۴۸/۸۲
۱۳۹۷	۲۱۵/۰۱	۶۲۱/۸۲	۹۲۸/۲۷	۹۵۶/۱۵	۳۹۵۷/۷۴
۱۳۹۸	۱۷۱/۴۷	۴۶۲/۱۳	۸۹۳/۹۲	۸۸۶/۷۸	۴۲۶۴/۴۱
۱۳۹۹	۱۷۱/۴۷	۴۶۲/۱۳	۸۹۳/۹۲	۸۸۶/۷۸	۴۲۶۴/۴۱

با توجه به شاخص وضعیت پوشش گیاهی (VCI) و بررسی‌های صورت گرفته بیشترین مساحت خشکی با طبقه خشکی خیلی شدید مربوط به سال ۱۳۹۲ با مساحت ۲۸۰/۸۰ کیلومترمربع و در مراتب بعدی سال‌های ۱۳۸۳، ۱۳۸۲ و ۱۳۹۱ بیشترین مساحت خشکی با طبقه خیلی شدید را تجربه کرده‌اند. کمترین میزان مساحت طبقه خشکی خیلی شدید نیز مربوط به سال ۱۳۹۹ به مساحت ۱۱/۹۹ کیلومترمربع می‌باشد. از سویی دیگر سال ۱۳۹۶ با مساحت ۶۱۳/۶۸ کیلومترمربع بیشترین مساحت طبقه بدون خشکی را دارا بوده است. در مراتب بعدی سال‌های ۱۳۹۹، ۱۳۹۸ و ۱۳۹۷ بیشترین مساحت طبقه بدون خشکی را بر اساس شاخص VCI تجربه کرده‌اند که این امر بیانگر وقوع ترسالی در سال‌های مذکور می‌باشد اشکال (۵ و ۳). مساحت طبقات مختلف شاخص VCI در جدول (۵) به تفکیک سال ارائه شده است.

جدول ۵- مساحت طبقات خشکسالی شهرستان داراب در شاخص وضعیت پوشش گیاهی (VCI) به کیلومترمربع

سال	خشکی بسیار شدید	خشکی شدید	خشکی متوسط	خشکی ملایم	فاقد خشکی
۱۳۷۹	۱۱۴/۵۹	۳۶۹۱/۰۴	۲۴۹۶/۵۸	۲۰۲/۴۱	۱۷۴/۳۶
۱۳۸۰	۸۵/۰۹	۳۵۵۴/۵۴	۲۶۳۱/۲۴	۲۳۹/۸۸	۱۶۸/۲۳
۱۳۸۱	۱۳۴/۱۶	۳۷۲۰/۷۶	۲۴۲۴/۲۱	۲۲۳/۶۰	۱۷۴/۲۶
۱۳۸۲	۲۱۳/۵۰	۲۶۸۴/۴۶	۲۳۸۷/۵۸	۲۱۳/۸۴	۱۷۹/۶۰
۱۳۸۳	۲۴۹/۰۸	۳۸۹۹/۱۹	۲۱۱۹/۱۰	۲۰۴/۹۲	۲۰۶/۷۰
۱۳۸۴	۱۳۳/۵۵	۴۱۱۶/۴۲	۲۰۱۴/۳۳	۲۰۶/۲۰	۲۰۸/۴۹
۱۳۸۵	۱۱۱/۳۵	۴۰۳۴/۸۵	۲۱۲۰/۶۶	۲۲۰/۱۴	۱۹۱/۹۸
۱۳۸۶	۹۹/۵۹	۳۲۲۶/۷۴	۲۹۰۰/۷۲	۲۵۲/۲۰	۱۹۹/۷۳

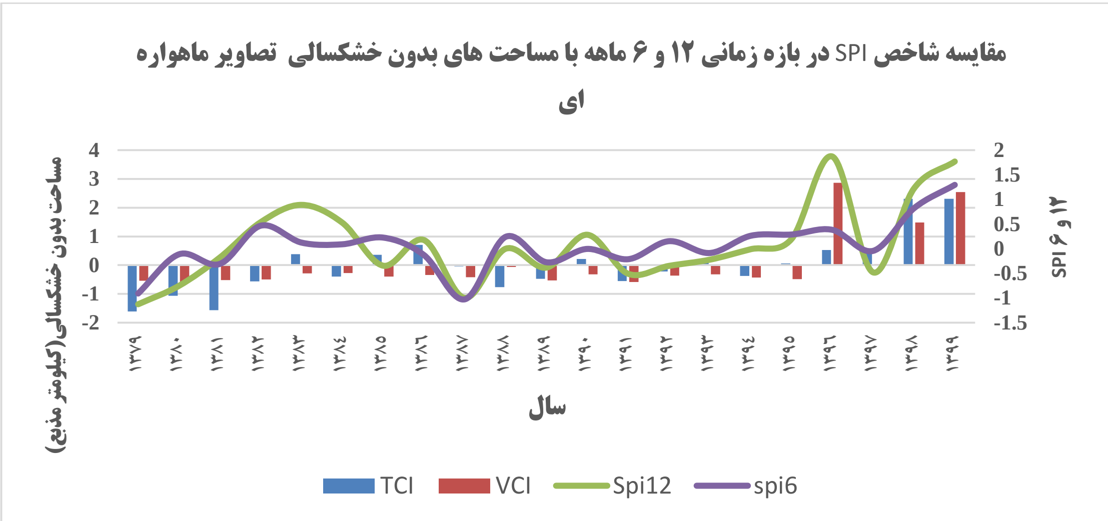
سال	خشکی بسیار شدید	خشکی شدید	خشکی متوسط	خشکی ملایم	فاقد خشکی
١٣٨٧	١٢٩/٧٠	٣٩٥٧/٥٦	٢٢٠٢/٠١	١٩٩/٦٨	١٩٠/٠٣
١٣٨٨	٤٨/٣٥	٢٢٦٦/٦٤	٣٦٤٤/٩٨	٤٨٢/٧١	٢٣٦/٣١
١٣٨٩	٨٧/٥٥	٣٤٧٠/٧٩	٢٧٢٨/٦٥	٢١٦/٨٥	١٧٥/١٤
١٣٩٠	٤٨/٧٩	٢٢٠٧/٥٩	٣٨٨٠/٩٠	٣٣٨/٩٠	٢٠٢/٨٠
١٣٩١	٢٠٥/٤٢	٣٩١٩/٥٩	٢١٥١/٩٤	٢٣٣/٨٠	١٦٨/٢٣
١٣٩٢	٢٨٠/٨٠	٣٩٩٦/٧١	٢٠١٧/٥١	١٨٧/٤١	١٩٦/٥٥
١٣٩٣	١٣١/٦٥	٣٣١٢/٦٦	٢٧٥٩/٧٦	٢٧٢/١١	٢٠٢/٨٠
١٣٩٤	١٥٥/١٣	٣٩٤٣/٢٩	٢٢٠٨/٩٨	١٨٢/٧٨	١٨٨/٨٠
١٣٩٥	١٠١/٦٥	٣٨٢٣/٥٢	٢٣٧٩/٨٨	١٩٢/٧٦	١٨١/١٦
١٣٩٦	١٣/٥٠	١٤/١٧	٧٧٩/٤٥	٥٢٥٨/١٨	٦١٣/٦٨
١٣٩٧	٤٨/٤٠	٢٣٢٥/٦٣	٣٧٤٦/٣٥	٣١٠/٣٦	٢٤٨/٢٤
١٣٩٨	١٣/١٦	٨٠/٢٤	٣٦٢٨/٨٧	٥٢٢٢/٠١	٤٣٤/٧٠
١٣٩٩	١١/٩٩	٣٤/٤٦	٢١٩٢/٥٩	٣٨٦٧/٥١	٥٧٢/٤٢



شکل ٥- نقشه‌های شاخص وضعیت پوشش گیاهی (VCI) شهرستان داراب برای سال‌های ١٣٧٩ تا ١٣٩٨

۳ – ۲ - بررسی وضعیت خشکسالی با استفاده از شاخص SPI در ایستگاه سینوپتیک محدوده مورد مطالعه

همانگونه که در قسمت‌های قبل عنوان شد در این پژوهش از داده‌های ایستگاه سینوپتیک حسن‌آباد داراب که دارای آمار طولانی مدت بارش ثبت شده می‌باشد، از سال ۱۳۷۹ تا سال ۱۳۹۹ جهت محاسبه شاخص خشکسالی SPI در بازه‌های زمانی یک ماهه، سه ماهه، شش ماهه و دوازده ماهه استفاده شد. جهت محاسبه شاخص SPI از نرم‌افزار MATLAB استفاده شد. بر اساس یافته‌های تحقیق بیشترین میزان خشکسالی بر اساس شاخص مذکور، در سال ۱۳۷۹ همراه با طبقه خشکسالی خفیف و سال ۱۳۸۷ همراه با طبقه خشکسالی متوسط روی داده است. در ادامه جهت تعیین مطلوب‌ترین شاخص ماهواره‌ای نشان دهنده خشکسالی در منطقه مورد مطالعه به مقایسه بین مقدار عددی شاخص SPI برای هر یک از سال‌های موردبررسی با میزان مساحت‌های فاقد خشکسالی سال متناظر حاصله از دو شاخص TCI و VCI به دست آمده از تصاویر ماهواره‌ای اقدام شد شکل (٦). (شایان ذکر است جهت یکسان سازی واحد مساحت مناطق فاقد خشکسالی حاصل از شاخص TCI و VCI با شاخص SPI، از روش استاندارد سازی Z-Score استفاده شده است). همچنین مطابق با بررسی صورت گرفته بیشترین مقدار ضریب همبستگی پیرسون به میزان ۰/۷٦ بین SPI دوازده ماهه و شاخص VCI مشاهده گردید که این مطلب نمایانگر شاخص ماهواره‌ای بهینه و مطلوب نشان‌دهنده وضعیت خشکسالی در منطقه مورد مطالعه می‌باشد.



شکل ٦- نمودار مقایسه شاخص SPI با مساحت‌های بدون خشکی حاصل از شاخص‌های ماهواره‌ای TCI و VCI

٤ – جمع‌بندی

در طی سال‌های اخیر پیشرفت‌های صورت گرفته در زمینه سنجش‌ازدور و تصاویر ماهواره‌ای موجب شده تا داده‌های بسیار زیادی با قدرت تفکیک مکانی و زمانی مناسب و همچنین قابلیت پوشش مناطق وسیع در دسترس پژوهشگران، محققین و همچنین دست‌اندرکاران علوم محیطی و علوم زمین قرار گیرد. ازجمله زمینه‌های کاربردی استفاده از این داده‌های ارزشمند، ارزیابی و پایش خشکسالی مناطق مختلف به‌ویژه مناطقی می‌باشد که در آن‌ها به دلیل شرایط خاص خود امکان برداشت و ثبت داده‌های حاصل از مشاهده و اندازه‌گیری زمینی آن‌ها وجود نداشته و یا اینکه بسیار سخت، صعب‌العبور و پرهزینه است که شهرستان داراب از این امر مستثنی نیست؛ لذا در این پژوهش جهت ارزیابی و پایش سری زمانی خشکسالی کشاورزی شهرستان داراب طی یک دوره ۲۰ ساله (۱۳۹۹ – ۱۳۷۹) از داده‌های ماهواره‌ای و همچنین شاخص‌های پرکاربرد سنجش‌ازدوری از قبیل شاخص‌های وضعیت دمایی (TCI) و شاخص وضعیت پوشش گیاهی (VCI) استفاده شد. نتایج ارزیابی شاخص TCI حاکی از این است که در طی دوره موردبررسی بیشترین مساحت خشکی با طبقه خیلی شدید در سال ۱۳۷۹ به میزان ٢٢٥/٤٦ کیلومترمربع و پس از آن به ترتیب در سال‌های ۱۳۸۹، ۱۳۹۷، ۱۳۹۰ و ۱۳۹۵ یشترین مساحت خشکی طبقه خیلی شدید در شهرستان داراب اتفاق افتاده است. همچنین نیز سال‌هایی که بیشترین مساحت بدون خشکی را داشته‌اند مربوط به سال‌های ۱۳۹۸ و ۱۳۹۹ که هر دو سال مذکور بصورت مشابه و یکسان دارای مساحتی برابر با ٤٢٦٤/٤١ کیلومترمربع می‌باشند و همچنین نیز در مرتبه بعد سال ١٣٨٦ با مساحت ۳۹۷۹/۸۲ کیلومترمربع وسعت بیشترین میزان طبقه بدون خشکی را داشته است. یکی از یافته‌های قابل توجه پژوهش حاضر این است که نقشه‌های شاخص خشکسالی TCI برای دو سال ۱۳۹۸ و ۱۳۹۹ شرایط کاملاً یکسان و مشابهی را نشان می‌دهند که این امر حاکی از این است که شرایط تنش دمایی و همچنین تنش ناشی از رطوبت در طی این دو سال در محدوده مورد مطالعه یکسان بوده است.

با توجه به شاخص وضعیت پوشش گیاهی (VCI) بیشترین مساحت خشکی با طبقه خشکی خیلی شدید مربوط به سال ۱۳۹۲ با مساحت ۲۸۰/۸۰ کیلومترمربع و در مراتب بعدی سال‌های ۱۳۸۳، ۱۳۸۲ و ۱۳۹۱ بیشترین مساحت خشکی با طبقه خیلی شدید را تجربه کرده‌اند. کمترین میزان مساحت طبقه خشکی خیلی شدید بر اساس شاخص VCI نیز مربوط به سال ۱۳۹۹ به مساحت ۱۱/۹۹ کیلومترمربع می‌باشد. از سویی دیگر سال ١٣٩٦ با مساحت ٦١٣/٦٨ کیلومترمربع بیشترین مساحت طبقه بدون خشکی را دارا بوده است. در مراتب بعدی سال‌های ۱۳۹۹، ۱۳۹۸ و ۱۳۹۷ بیشترین مساحت طبقه بدون خشکی را بر اساس شاخص VCI تجربه کرده‌اند. جهت تعیین مطلوب‌ترین شاخص ماهواره‌ای نشان دهنده خشکسالی در شهرستان داراب به مقایسه بین مقدار عددی شاخص SPI برای هر یک از سال‌های دوره موردبررسی با میزان مساحت‌های فاقد خشکسالی سال متناظر حاصله از دو شاخص TCI و VCI به دست آمده از تصاویر ماهواره‌ای اقدام شد. مطابق با بررسی صورت گرفته بیشترین مقدار ضریب همبستگی پیرسون به میزان ۰/۷٦ بین SPI دوازده ماهه و شاخص VCI مشاهده گردید که این مطلب

نمایانگر شاخص ماهواره‌ای بهینه نشان‌دهنده وضعیت خشکسالی در منطقه مورد مطالعه می‌باشد و این امر دارای همسویی و مشابهت با پژوهش‌های انجام شده توسط سالازار[1] و همکاران (۲۰۰۸)، رضایی‌بنفشه و همکاران (۱۳۹٤) و اسدی می‌آبادی و همکاران (۱۳۹٤) در محدوده‌های موردبررسی خود می‌باشد که در مطالعه خود جهت بررسی وضعیت خشکسالی از تصاویر ماهواره‌ای و شاخص VCI استفاده نموده‌اند و به این نتیجه رسیدند که شاخص VCI دارای قابلیت زیادی جهت پایش خشکسالی کشاورزی مناطق و همچنین در رابطه با عملکرد محصولات زراعی می‌باشد. یکی از مزیت‌ها و تفاوت‌های مهم این مطالعه نسبت به تحقیقات مشابه نامبرده و سایر تحقیقاتی از این قبیل که با کمک تصاویر ماهواره‌ای به بررسی مخاطره خشکسالی مناطق مختلف اقدام نموده‌اند، این است که در این مطالعه از تعداد زیادی تصاویر ماهواره‌ای در قالب سری زمانی (٤٦۰ تصویر به فاصله هر ١٦ روز) جهت بررسی وضعیت خشکسالی استفاده شده است که استفاده از فرایند سری زمانی تصاویر و افزایش تعداد تصاویر، باعث می‌شود که پایش و بررسی تغییرات خشکسالی در سال‌های مختلف بهتر نمود پیدا کند، بنابراین این امر موجب شد که تحقیق حاضر از این حیث نسبت به مطالعات نامبرده و سایر مطالعاتی که تنها یک تصویر منتخب از یک سال را به‌عنوان نماینده و الگوی سال مورد نظر لحاظ می‌کنند، دارای برتری باشد. مزایای دیگر تحقیق صورت گرفته نسبت به سایر مطالعات مشابه این است که تحقیق حاضر در محیط سامانه تحت وب گوگل ارث انجین و به‌وسیله فرایند کدنویسی به‌عنوان فرایندی پویا و با قابلیت‌های بالا انجام شده است که کاهش بسیار زیاد زمان فرایندهای پردازش تصاویر، امکان ایجاد سری زمانی بررسی تغییرات پدیده‌های متفاوت، دسترسی به دو نوع داده‌های خام و همراه با تصحیح اتمسفری و همچنین داده‌های مربوط به محصولات و پروداکت‌های ماهواره‌ها و سنجنده‌های مختلف، عدم نیاز به سیستم سخت افزاری و نرم‌افزاری قدرتمند و همچنین نیز کاهش حجم داده‌ها از قابلیت‌های مهم و اساسی سامانه گوگل ارث انجین و فرایند کدنویسی آن محسوب می‌شود که استفاده از این مهم برتری تحقیق حاضر نسبت به سایر تحقیقات مشابه را نشان می‌دهد. از دیگر نتایج برجسته تحقیق حاضر این است که استفاده از داده‌های سنجش‌ازدور و سامانه گوگل ارث انجین جهت پایش و بررسی خشکسالی در مناطقی که فاقد داده‌های مشاهداتی حاصل از برداشت‌های زمینی می‌باشد بسیار سودمند می‌باشد لذا به مدیران و برنامه‌ریزان حیطه علوم محیطی شهرستان داراب توصیه می‌شود که در اهداف و اقدامات آتی خود جهت برنامه‌ریزی مواردی مانند مقابله با مخاطره خشکسالی به این مهم توجه نمایند.

1 Salazar

کتابنامه

اسـدی می‌آبادی، احمد؛ اخضـری، داود؛ نوری، حمید؛ بشـیرگنبد، محمد؛ ۱۳۹٤. مطالعه اثر خشـکسـالی بر تغییرات پوشـش گیاهی در اراضی مرتعی و کشاورزی بر مبنای داده‌های میدانی و ماهواره‌ای (مطالعه موردی: جنوب استان همدان). *نشریه مرتعداری*. سال دوم. شماره ۱.

رسـتمی، امین؛ بزانه، محمد؛ رائینی، محمود؛ ۱۳۹٦. پایش مکانی و زمانی خشـکسـالی کشاورزی با استفاده از تصاویر سنجنده مودیس و فن آوری سنجش‌ازدور (مطالعه موردی: استان آذربایجان شرقی). *نشریه دانش آب و خاک*. جلد ۲۷. شماره ۱. صص ۲۲٦ – ۲۱۳.

رضـایی‌بنفشـه، مجید؛ رضـایی، علی؛ فریدپور، مجتبی؛ ۱۳۹٤. تحلیل خشـکسالی کشاورزی استان آذربایجان شرقی با تاکید بر سنجش‌ازدور و شاخص وضعیت پوشش گیاهی. *نشریه دانش آب و خاک*. جلد ۲۵. شماره ۱. صص ۱۲۳ – ۱۱۳.

زرگران، پریما؛ بذرافشـان، جواد؛ آقاشریعتمداری، زهرا؛ حجابی، سمیه؛ کمالی، سعیده؛ ۱۳۹۸. پایش روزانه خشکسالی بر پوشـش گیاهی با اسـتفاده از داده‌های بارش شبکه INTERIM و تصاویر سنجنده مودیس MODIS (مطالعه موردی: استان کرمانشاه). *نشریه هواشناسی کشاورزی*. جلد ۷. پاییز و زمستان. صص ۱٤ – ۳.

سـلطانی‌فر، میلاد؛ سـلطانی، هادی؛ کله‌هوئی، مهین؛ سـلیمانی، کریم؛ ۱۳۹۸. پایش خشـکسـالی منطقه‌ای با استفاده از تصـاویر لندسـت، منطقه مورد مطالعه: شهرستان کرمانشاه. *فصلنامه علمی – پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (سپهر)*. دوره ۲۸. شماره ۱۰۹. صص ۱٤٦ – ۱۳۷.

سـلیمانی، کریم؛ درویشـی، شـادمان؛ شـکریان، فاطمه؛ ۱۳۹۸. تحلیل خشـکسالی کشاورزی با استفاده از شاخص‌های سـنجش‌ازدور (مطالعه موردی: شـهرسـتان مریوان). *نشـریه سـنجش‌ازدور و سـامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی*. دوره ۱۰. شماره ۳۵. صص ۳۳ – ۱۵.

سـلیمانی‌ساردو، مجتبی؛ زراعی، مهدی؛ ۱۳۹۸. پایش خشکسالی با استفاده از داده‌های سنجنده MODIS و مقایسه با شـاخص هواشناسی SPI در دوره‌های کوتاه مدت (مطالعه موردی: حوضه آبخیز جازموریان). *پژوهشنامه مدیریت حوضه آبخیز*. سال دهم. شماره ۲۰. پاییز و زمستان. صص ۲٦۱ – ۲۵۰.

سـلیمانی‌شـیری، محمدرضـا؛ ۱۳۹۱. *مکان‌یابی اراضی مستعد جهت اجرای سیستم‌های آبیاری تحت فشار و سطحی با استفاده از GIS (مطالعه موردی: دشـت داراب)*. پایان‌نامه کارشـناسـی ارشـد. اسـاتید راهنما: ناصـری، عبدالعلی؛ ایزدپناه، زهرا. رشته مهندسی آب. دانشگاه شهید چمران اهواز.

علائی طالقانی، محمود؛ ۱۳۸۲. *ژئومورفولوژی ایران*. انتشارات قومس.

علیقلی‌نیا، توحید؛ رسـولی‌مجد، نگار؛ هزارجریبی، ابوطالب؛ ۱۳۹۸. ارزیابی و مقایسـه شـاخص‌های خشـکسالی استان آذربایجان غربی با اسـتفاده از شـاخص PNI، CZI، SPI و سـیسـتم اطلاعات جغرافیایی (GIS). *مجله علوم و مهندسی آبیاری*. جلد ٤۲. شماره ۱. صص ۱۸۸ – ۱۷۵.

فرامرزی، محمد؛ نوری، حمید؛ ۱۳۹٤. بررسی و امکان‌سنجی کارایی شاخص‌های گیاهی و حرارتی ماهواره لندست در تحلیل خشکسالی کشاورزی (مطالعه موردی: شهرستان ملایر). *فصلنامه تحقیقات جغرافیایی*. سال ۳۰. شماره ۳. صص ۱۵۲ – ۱۳۹.

نعمتی، احمد؛ قریشی نجف آبادی، سیدحسین؛ جودکی، غلامرضا؛ موسوی ندوشنی، سیدسعید؛ ۱۳۹۸. ارزیابی شاخصه‌های خشکسالی کشاورزی حوضه آبریز فلات مرکزی ایران با استفاده از ماهواره گرانش‌سنجی. *تحقیقات آب و خاک ایران*. دوره ۵۰. شماره ۲. خرداد و تیر.

AghaKouchak, A. et al., 2015. Remote sensing of drought: Progress, challenges and opportunities. Reviews of Geophysics, 53(2): 452-480.

Baig, M.H.A. et al., 2020. Assessing Meteorological and Agricultural Drought in Chitral Kabul River Basin Using Multiple Drought Indices. Remote Sensing, 12(9): 1417.

Faisol, A., Indarto, I., Novita, E. and Budiyono, B., 2020. An Application of MODIS Surface Reflectance Product for Drought Assessment on Agriculture Area in Manukwari–West Papua–Indonesia, E3S Web of Conferences. EDP Sciences, pp. 01001.

Farahmand, A., 2016. Frameworks for Improving Multi-Index Drought Monitoring Using Remote Sensing Observations, UC Irvine.

Feng, P., Wang, B., Li Liu, D. and Yu, Q., 2019. Machine learning-based integration of remotely-sensed drought factors can improve the estimation of agricultural drought in South-Eastern Australia. Agricultural Systems, 173: 303-316.

Hazaymeh, K. and Hassan, Q.K., 2016. Remote sensing of agricultural drought monitoring: A state of art review. Aims Environmental Science, 3(4): 604.

Ji, T., Li, G., Yang, H., Liu, R. and He, T., 2018. Comprehensive drought index as an indicator for use in drought monitoring integrating multi-source remote sensing data: a case study covering the Sichuan-Chongqing region. International Journal of Remote Sensing, 39(3): 786-809.

Kogan, F.N., 1995. Application of vegetation index and brightness temperature for drought detection. Advances in space research, 15(11): 91-100.

Kulkarni, S.S. et al., 2020. Developing a Remote Sensing-Based Combined Drought Indicator Approach for Agricultural Drought Monitoring over Marathwada, India. Remote Sensing, 12(13): 2091.

McKee, T.B., Doesken, N.J. and Kleist, J., 1993. The relationship of drought frequency and duration to time scales, Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology. Boston, pp. 179-183.

Nemani, R. et al., 2009. Monitoring and forecasting ecosystem dynamics using the Terrestrial Observation and Prediction System (TOPS). Remote Sensing of Environment, 113(7): 1497-1509.

Qu, C., Hao, X. and Qu, J.J., 2019. Monitoring extreme agricultural drought over the Horn of Africa (HOA) using remote sensing measurements. Remote Sensing, 11(8): 902.

Salazar, L., Kogan, F. and Roytman, L., 2008. Using vegetation health indices and partial least squares method for estimation of corn yield. International Journal of Remote Sensing, 29(1): 175-189.

Shen, R., Huang, A., Li, B. and Guo, J., 2019. Construction of a drought monitoring model using deep learning based on multi-source remote sensing data. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 79: 48-57.

Silleos, N.G., Alexandridis, T.K., Gitas, I.Z. and Perakis, K., 2006. Vegetation indices: advances made in biomass estimation and vegetation monitoring in the last 30 years. Geocarto International, 21(4): 21-28.
Teweldebirhan Tsige, D., Uddameri, V., Forghanparast, F., Hernandez, E.A. and Ekwaro-Osire, S., 2019. Comparison of Meteorological-and Agriculture-Related Drought Indicators across Ethiopia. Water, 11(11): 2218.
Thenkabail, P.S. and Gamage, M., 2004. The use of remote sensing data for drought assessment and monitoring in Southwest Asia, 85. Iwmi.
Tucker, C.J. and Choudhury, B.J., 1987. Satellite remote sensing of drought conditions. Remote sensing of Environment, 23(2): 243-251.
Vyas, S.S. et al., 2015. A combined deficit index for regional agricultural drought assessment over semi-arid tract of India using geostationary meteorological satellite data. International journal of applied earth observation and geoinformation, 39: 28-39.
Wang, X. et al., 2018. A predictive model of equivalent temperature index for dairy cattle (ETIC). Journal of thermal biology, 76: 165-170.
West, H., Quinn, N. and Horswell, M., 2019. Remote sensing for drought monitoring & impact assessment: Progress, past challenges and future opportunities. Remote Sensing of Environment, 232: 111291.
Zhou, X. et al., 2020. Developing a fused vegetation temperature condition index for drought monitoring at field scales using Sentinel-2 and MODIS imagery. Computers and Electronics in Agriculture, 168: 105144.

Vol.10, No.4, Winter 2022, pp.193-207 ISSN (Print):2322-1682 ISSN (Online):2383-3076

Journal of Geography and Environmental Hazards

RESEARCH ARTICLE DOI: 10.22067/geoeh.2021.70560.1063 Open access

Investigating the Relationship Between Heat Waves and Thermal Islands of the City (Case Study: Abadan City)

Kobra Shojaeizadeh [a*], Shahriar Khaledi [b], Tayebeh Akbari Irani [c]

[a] *PhD Student in Climatology, Department of Geography, Faculty of Earth Sciences, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran*
[b] *Professor, Department of Geography, Faculty of Earth Sciences, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran*
[c] *Assistant Professor, Department of Geography, Faculty of Earth Sciences, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran*

Received: 25 May 2021 ***Revised: 17 July 2021*** ***Accepted: 4 August 2021***

Abstract

Numerous human and natural factors are involved in the creation of thermal islands. Accordingly, the purpose of this study was is to analyze the occurrence of heat wave in Abadan city and its impact on thermal islands. Heat waves were identified using the 95th percentile index and its application to daily maximum temperature data during the period 1985-2017. Among the heat waves that had occurred, two waves with more continuity during the hot and cold seasons of the years were selected and their satellite images were received from the MYD11A2 MODIS during the day and night. Then, using image processing techniques, Earth surface temperature map was extracted and used for determining thermal islands of Abadan city. Land use map with 4 land use classes was extracted from MOD12Q1 MODIS by supervised classification method. The results showed that the average incidence of hot flashes in each month of the year is between 3 and 8 waves. The most persistent heat waves occurred in the period of 6/11/2010 to 6/16/2010 and 19/3/2008 to 27/3/2008 with a duration of 6 and 8 days, respectively. Thermal islands in Abadan have specific spatial and temporal fluctuations and the surface temperature is higher in the warm season. The high temperature in barren lands is due to the increase of fuel consumption of 2 hours per day and in the industrial area due to the burning of fossil fuels and the production of polluting gases, which cause the greenhouse effect, heat intensification and, eventually, the high density of the heat islands and intensity of the effects of heat waves.

Keywords: Heat Waves, Thermal Islands, Modis Products, Abadan

*. Corresponding author: Kobra Shojaeizadeh E-mail: shojaeizadeh.1996@yahoo.com Tel: + 989171887058

How to cite this Article: Shojaeizadeh,K., khaledi,S., Akbari Iranian, T. (2021). Investigation of the relationship between heat waves and thermal islands of the city (Case study: Abadan city). *Journal of Geography and Environmental Hazards*, 10(4), 205-220.
doi: 10.22067/geoeh.2021.70560.1063

Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0)
Geography and Environmental Hazards
Volume 10, Issue 4 - Number 40, Winter 2022
https://geoeh.um.ac.ir
https://dx.doi.org/10.22067/geoeh.2021.70560.1063

جغرافیا و مخاطرات محیطی، سال دهم، شمارۀ چهلم، زمستان ۱٤۰۰ صص ۲۰۷-۱۹۳

مقاله پژوهشی

واکاوی ارتباط امواج گرمایی با جزایر حرارتی شهر (مطالعه موردی: شهرستان آبادان)

کبری شجاعی زاده[۱]- دانشجوی دکتری آب و هواشناسی، گروه جغرافیا، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران
شهریار خالدی- استاد گروه جغرافیا، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران
طیبه اکبری ایرانی- استادیار گروه جغرافیا، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱٤۰۰/۳/٤ تاریخ بازنگری: ۱٤۰۰/٤/۲٦ تاریخ تصویب: ۱٤۰۰/۵/۱۳

چکیده

عوامل انسانی و طبیعی متعددی در ایجاد جزایر حرارتی نقش دارند. بر این اساس هدف مقاله حاضر تحلیل وقوع موج گرمایی در شهرستان آبادان و تأثیر آن در جزایر حرارتی است. امواج گرمایی با استفاده از شاخص صدک ۹۵ و اعمال آن بر داده دمای بیشینه روزانه طی بازه زمانی ۲۰۱۷-۱۹۸۵ شناسایی شد. از میان امواج گرمایی حادث شده دو موج با تداوم بیشتر طی فصل گرم و سرد سال انتخاب، تصاویر ماهواره‌ای آن‌ها از فراورده MYD11A2 سنجنده مودیس طی شبانه روز دریافت سپس با اجرای تکنیک‌های پردازش تصاویر، نقشه دمای سطح زمین استخراج و به‌منظور تعیین محدوده جزایر حرارتی در شهرستان آبادان استفاده گردید. نقشه کاربری اراضی با ٤ کلاس کاربری از فراورده MCD12Q1 سنجنده مودیس به روش طبقه‌بندی نظارت شده استخراج شد. نتایج نشان داد که متوسط وقوع موج گرم در هر یک از ماه‌های سال بین ۳ تا ۸ موج است. ماندگارترین امواج گرمایی در بازه زمانی ۲۰۱۰/٦/۱۱ تا ۲۰۱۰/٦/۱٦ و ۲۰۰۸/۳/۱۹ تا ۲۰۰۸/۳/۲۷ به ترتیب با تداوم ٦ و ۸ روزه رخ داده‌اند. جزایر حرارتی در آبادان دارای نوسانات مکانی و زمانی مشخص و مقدار دمای سطحی در فصل گرم بیشتر است. دمای بالا در زمین‌های بایر به علت انعکاس زیاد تشعشعات حرارتی ساطع شده از خورشید به لحاظ وجود قشری از نمک در سطح زمین و در محدوده صنعتی به علت سوزاندن سوخت‌های فسیلی و تولید گازهای آلاینده

---

۱ نویسنده مسئول: ۹۲۱۷۲٤٤۵۸۷ Email: shojaeizadeh.1996@yahoo.com

نحوه ارجاع به این مقاله:

شجاعی زاده، کبری؛ خالدی، شهریار؛ اکبری ایرانی، طیبه؛ ۱٤۰۰. واکاوی ارتباط امواج گرمایی با جزایر حرارتی شهر (مطالعه موردی: شهرستان آبادان). *جغرافیا و مخاطرات محیطی*. ۱۰(٤). صص ۲۰۷-۱۹۳

https://dx.doi.org/10.22067/geoeh.2021.70560.1063

اســت که باعث اثر گلخانه‌ای، تشــدید گرما و درنهایت تراکم بالا جزایر حرارتی و تشــدید اثرات امواج گرمایی می‌شود.

کلیدواژه‌ها: امواج گرمایی، جزایر حرارتی، محصولات مودیس، آبادان

۱-مقدمه

تغییرات کاربری‌ها، افزایش جمعیت و در پی آن افزایش تردد خودروها و همچنین وجود صــنایع، موجب افزایش دمای برخی مناطق شــهری نسـبت به دیگر مناطق می‌شــوند (معروف نژاد و قنواتی،۱۳۹۳). در یک شــهر، دمای هوا اغلب به‌اندازه ۳ تا ٤ درجه سـانتی‌گراد بالاتر از سـایر مناطق شـهری اسـت (کامیلونی و باروس[1]،۱۹۹۷). افزایش دمای سطح زمین به‌ویژه در شهرهای بزرگ و کلان‌شهر یکـــی از مشـــکلات اساســـی زیست‌محیطی است (ولی زاده و همکاران،۱۳۹۵)؛ بنابراین در مناطق شـهری، بسـته به پوشـش زمین مناطقی با درجه حرارت بیشـتر از سـایر نواحی به وجود می‌آید، که این پدیده را جزیره حرارتی شــهرها می‌نامند (شــکیبا و همکاران،۱۳۸۸). جزیره حرارتی شــهرها در فصـل تابسـتان به‌خصـوص در مناطق گرمسـیری و خشک اثرات ویرانگری را به بار می‌آورد. این شرایط باعث به هم خوردن آسـایش زندگی مردم سـاکن در مراکز شــهری می‌شــود. با توجه به گرمای بیش‌ازحد و ظرفیت تحمل پایین مردم در شــرایط گرمای شــدید باعث به وجود آمدن بیماری و در ادامه مرگ‌ومیر می‌شــود. علاوه بر این افزایش دما باعث افزایش تقاضـای انرژی جهت سـرمایش ساختمان‌ها برای آسایش و راحتی بیشتر مردم در فصل گرم خواهد شد (رضـــایی راد،۱۳۹۵). خطرات امواج گرمـایی توســط جزایر گرمـایشـــی شـــهری (UHI) افزایش می‌یابند (تان و همکاران[2]،۲۰۱۰). موج‌های گرمایی به‌عنوان تداوم غیرمعمول و استثنائی هوای گرم، بخشـــی از رویدادهای حدی جو هسـتند. پیش‌بینی می‌شود که در آینده موج‌های گرما بیشتر اتفاق می‌افتند و به دلیل گرم شدن کره زمین شدت می‌یابند (گرالد[3]،۲۰۰٤) تحقیقات اخیر نشـــان داده اســـت که امواج گرما با افزایش دمای هوا و دمای ســـطوح شـــهری، امکان تقویت جزایر حرارتی را دارند (رامامورتی و همکاران[4]،۲۰۱۵)، که عواقب نامطلوبی را برای ســاکنان شــهری به همراه خواهد داشــت. پارک[5] (۱۹۸٦) در مطالعه‌ای ویژگی‌های جزیره گرمایی در سـئول و شــهرهای اطراف آن را بررســی کرد، نتایج نشــان داد که ارتباط قوی بین شــدت جزیره گرمایی، جمعیت و ســطوح غیرقابل نفوذ وجود دارد، همچنین افزایش سـرعت باد عامل محدود کننده شـدت جزیره گرمایی در سـئول است. کارل و همکاران[6] (۱۹۸۸) دریافتند که شـدت جزیره گرمایی با توجه به ماهیت ذاتی شـهر و سـایر پارامترهای شـهر ازجمله اندازه شهر، ساخت‌وساز، توزیع

1 Camilloni and Barros
2 Tan et al
3 Gerald
4 Ramamurthy et al
5 Park
6 Karl et al

زمین و غیره تحت تأثیر قرار گرفته اســت. کواتروچی و همکاران[1] (۲۰۰۰) توزیع مکانی دمای ســطح زمین در چهار شــهر ایالات‌متحده با اســتفاده از ســنجش‌ازدور حرارتی را مطالعه کردند. نتایج آن‌ها نشــان داد که رشــد گســتره شــهر، باعث افت کیفیت کلی هوای شــهر شــده است. یون و جونگ[2] (۲۰۰٤) حداکثر شدت جزیره گرمای شهری روزانه در شــهرهای بزرگ کشــور کره را بررســی کردند. شدت جزیره گرمایی در شهرهای ساحلی ضعیف‌تر از شهرهای داخلی اســت. کیم و بایک[3] (۲۰۰۵) به ارزیابی ساختار زمانی و مکانی جزایر حرارتی با استفاده از دمای سطحی زمین در شهر ســئول پرداختند. نتایج نشــان داد جزیره گرمایی شــهری در ســئول به‌طور قابل‌توجهی تحت تأثیر موقعیت بخش‌های اصــلی تجاری و صــنعتی و توپوگرافی محلی آن اســت. جزیره گرمایی شهری در سئول در شب نسبت به روز قوی‌تر اســت و با افزایش ســرعت باد و پوشــش ابر کاهش می‌یابد، اما کمترین میزان آن در تابســتان اســت. ژیان و کرین[4] (۲۰۰٦) با بررســی پوشــش زمین و ویژگی‌های حرارتی آن به کمک داده‌های لندســت در منطقهٔ شــهری تمپابای و لاس‌وگاس نشــان دادند که می‌توان ویژگی‌های حرارتی سطح زمین و الگوهای آن را از طریق کاربری اراضی شناسایی کرد. جفری و همکاران[5] (۲۰۱۰) به بررســی تأثیر جزایر حرارتی در شــدت امواج گرمایی شــهر اوکلاهما پرداختند. بررســی‌ها نشــان داد یک الگوی پایداری از جزیره حرارتی در دوره موردمطالعه بر شــهر حاکم و درجه حرارت در هسته شــهر نسبت به مناطق مجاور بیشتر بوده است. لسون[6] (۲۰۱۱) به شبیه‌سازی جزایر حرارتی براساس مدل AR4 A1 پرداختند. نتایج حاصــل نشــان داد که میانگین دمای ســالانه شهرها تا ٤ درجه سانتی‌گراد گرم‌تر از مناطق روستایی اســت. به‌طور متوســط در تمام مناطق شهری در مدل، جزیره گرما ۱٫۱ درجه سانتی‌گراد است، که ٤٦٪ از این گرمایش بر اثر گازهای گلخانه‌ای رخ داده اســت. ســوبرینو و همکاران[7] (۲۰۱۳) اثر جزیره حرارتی در شهر مادرید را با داده‌های ســنجش‌ازدور حرارتی بررســی کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که اثر SUHI بالاترین ارزش را در شب داشت اما در طول روز، این وضــعیت معکوس شــده و در شــهر جزیره حرارتی منفی می‌شود. رامامورتی و بوزید[8]، (۲۰۱٦) به اندرکنش امواج گرمایی و جزایر حرارتی چندین شــهر ایالت متحده براســاس مقیاس ســینوپتیک و شــهری با اســتفاده از مدل پیش‌بینی (wrf) پرداختنــد. نتایج نشــان از اندرکنش امواج گرمایی و جزایر حرارتی در شــهرهای بزرگ نســبت به شــهرهــای کوچــک‌تر دارد، همچنین الگوهای جزایر حرارتی، تغییرپذیری و اندرکنش آن‌ها با امواج گرمایی با عوامل دینامیکی در ارتباط هســتند. الکســاندر و همکاران[9] (۲۰۱۷) در مطالعه توزیع فضــایی و زمانی جزیره گرمائی شهر ویلا

1 Quattrochi et al
2 Kim and Baik
3 Yeon-Hee Kim; Jong-Jin Baik
4 Xian and Crane
5 JeffreyB.Basara et al
6 leson
7 Sobrino et al
8 P. Ramamurthy, and E. Bou-Zeid
9 Alexandre et al

در برزیل به این نتیجه رسیدند که میانگین دمای سطح مناطق شهری حداقل ۲٫۳٤ تا ۷٫۱۹ درجه سانتی‌گراد بالاتر از مناطق توسعه یافته است. در مناطقی با پوشش گیاهی غالب، خصوصیت جزیره گرما کاهش می‌یابد. لئوناردو و همکاران[1] (۲۰۱۸) در مطالعه جزیره گرما ریودوژانیرو در برزیل در ۳۰ سال گذشته، با استفاده از تکنیک سنجش‌ازدور نتیجه گرفت که دمای سطح زمین (LST) به‌طور قابل‌توجهی افزایش یافته است. کیخسروی (۲۰۱۹) اثرات امواج گرمایی را بر جزایر حرارتی کلان‌شهرهای ایران (مشهد، تبریز، اهواز و تهران) را با استفاده از شاخص بالدی و داده‌های ماهواره‌ای بررسی نمود. در کلان‌شهرهای مشهد، اهواز، تبریز و تهران به ترتیب در زمان وقوع موج گرما، شدت جزیره حرارتی به ترتیب در حدود ٤، ٤٫٦ و ۳ درجه سانتی‌گراد بوده است و از نظر سینوپتیکی حاکمیت کم‌فشار در سطوح پایین عامل اصلی فرونشست هواست. علاوه بر آن، شمسی‌پور و همکاران (۱۳۹۱) در پژوهشی تحت عنوان واکاوی تغییرات مکانی هستهٔ جزیره گرمایی شهر تهران، تغییرات موقعیت مکانی جزیره گرمایی شهر را با استفاده از منحنی‌های هم دما بررسی کرده و نتایج نشان داد که در تمامی روزها میانگین دمای محدوده شهر تهران بیشتر از دمای ثبت شده در حومه آن است. احمدی و همکاران (۱۳۹٤) با بررسی تغییرات زمانی و مکانی الگوهای حرارتی و کاربری شهر شیراز با استفاده از داده‌های سنجنده ETM+ & TM به این نتیجه رسیدند که سطوح بایر خاکی فاقد پوشش گیاهی حاشیه شهر بیشترین میزان دما را دارند و در کاربری‌های شهری نیز دمای بافت‌های فشرده و فرسوده شهری بیش از دیگر مناطق مسکونی است. حلقه‌های دمایی با مناطق آلوده و پر ترافیک شهری انطباق دارند و سردترین مناطق نیز با کاربری پوشش گیاهی منطبق‌اند. احمدی و فرهمند (۱۳۹٦) در پژوهشی با عنوان «واکاوی تغییرات مکانی هسته‌های جزایر حرارتی شهر ارومیه از سال ۱۳۹۲ تا ۱۳۹۵»، با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای TIRS,OLI سنجنده لندست ۸ به شناسایی محدوده تشکیل جزایر حرارتی شهر ارومیه پرداختند. نتایج نشان داد، کمینه و بیشینه دمای شهر ارومیه طی سال ۱۳۹۲ تا ۱۳۹۵ روند صعودی داشته و این افزایش دمایی در زمین‌های بایر شهر به‌مراتب چشمگیرتر است، همچنین تغییرات مکانی هسته جزیره حرارتی در شمال، غرب و قسمت مرکزی شهر ارومیه مشاهده شد. زرین و علوی پناه (۱۳۹۵)، به مقایسهٔ الگوی حرارتی سطح زمین با استفاده از باندهای حرارتی تصاویر ماهواره لندست در آبادان در یک بازه زمانی ۳۰ ساله پرداختند. نتایج نشان داد که این الگو پس از سه دهه به طرز قابل‌توجهی تغییر کرده بود. بیشترین تغییر در نخیلات اروندکنار مشاهده شد. در این منطقه در بعضی نواحی دمای سطح زمین نسبت به ۳۰ سال پیش تا ۲۰ درجه سانتی‌گراد تفاوت نشان می‌دهد مسعودیان و ترکی (۱۳۹۸) به مطالعه جزیره گرمایی کلان‌شهر اهواز از لحاظ تغییرات زمانی و مکانی با استفاده از داده‌های دمای رویه زمین سنجنده مودیس طی سال‌های ۱۳۸۱ تا ۱۳۹٦ پرداختند. نتایج نشان داد شهر اهواز طی روز جزیره سرمایی و هنگام شب جزیره گرمایی دارد. شهر اهواز هنگام روز به‌طور متوسط ۲ درجه سلسیوس خنک‌تر و در شب ۲٫۲ درجه سلسیوس گرم‌تر از پیرامون خود است. به علت عبور رودخانه کارون از داخل شهر، جزیره گرمایی به دو

1 Leonardo et al

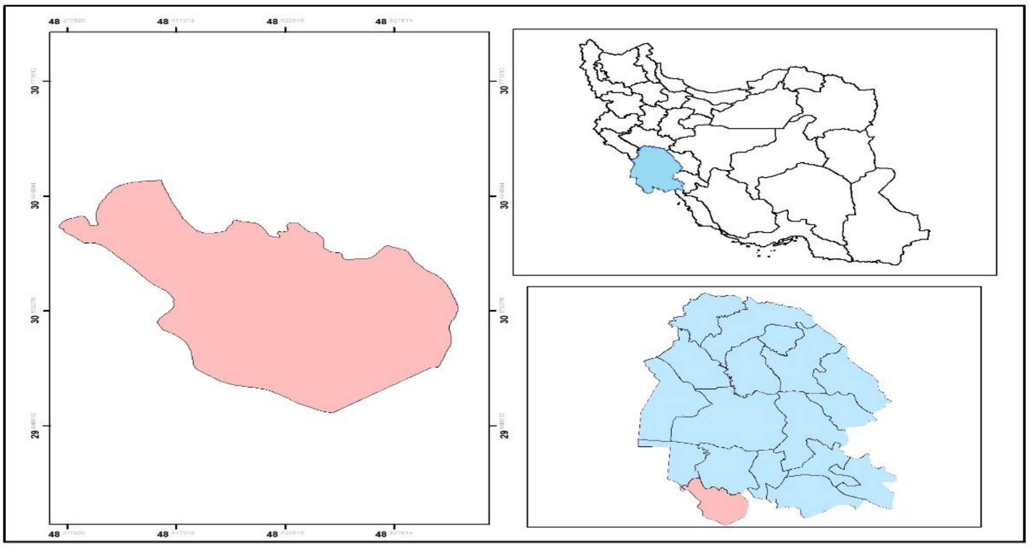
بخش شـرقی و غربی تقسـیم می‌شود که دمای رویه بیشتری نسبت به میانه شهر دارند. جزایر حرارتی شهری آثار سوء بر نـاهنجـاری‌هـای دمایی و امواج گرمایی تولید شـــده دارند (تان و همکاران[1]، ۲۰۱۰). پژوهش‌های انجام شـــده در خصوص ارتباط امواج گرمایی و جزایر حرارتی شـهر در سـطح کشـور بسـیار اندک است. شهرستان آبادان با توجه به شرایط محیطی از یک سو و عوامل درونی و انسانی از سوی دیگر در ظهور شرایط حرارتی ویژه در کشور قابل توجه است. از طرفی شـــهر آبـادان بـه دلیـل برخورداری از دمـا و رطوبـت بالا در معرض امواج گرمایی شـــدید قرار دارد (مولودی و همکاران،۱۳۹۵). لذا این پژوهش با توجه به سـاختارهای شـهری، وجود صـنایع و پالایشگاه‌ها در آبادان و درجه حرارت بالا در پی بررسی ارتباط امواج گرمایی و جزایر حرارتی آن است.

۲-مواد و روش

۲-۱-منطقه موردمطالعه

شـــهرســـتان آبادان بین طول جغرافیایی ٤٨ درجه و ١٧ دقیقه و عرض جغرافیایی ٣٠ درجه و ٢٠ دقیقه و با بلندای ٣ متر از سـطح دریا و با پهناوری ٢٧٩٦ کیلومترمربع در جنوب غرب کشـور واقع گردیده اسـت. میانگین سالانهٔ دمای آن ٢٦ درجـه ســـانتی‌گراد، میـانگین حـداکثر دمـای آن ٥٢ درجـه ســـانتی‌گراد و میانگین حداقل دمای آن ٢- درجه سـانتی‌گراد اسـت. میزان بارندگی سالیانه در حدود ١٤٩ میلی‌متر گزارش شده است (سازمان هواشناسی خوزستان). بر پایه نتایج سـرشـماری عمومی نفوس و مسـکن در سـال ١٣٩٠ تعداد جمعیت سـاکن شهر آبادان بالغ بر٢١٢،٧٤٤ نفر اسـت (مرکز آمار ایران،١٣٩٠) و دارای دو بخش، مرکزی و اروندکنار، سـه شـهر و شـش دهسـتان است. آبادان با دارا بودن یکی از بزرگ‌ترین پالایشـگاه‌های نفت جهان طی سال‌های اخیر با رشد و توسعه قابل توجه اقتصادی و اجتماعی همراه بوده است.

1 Tan et al



شکل۱- منطقه موردمطالعه

۲-۲-روش انجام پژوهش

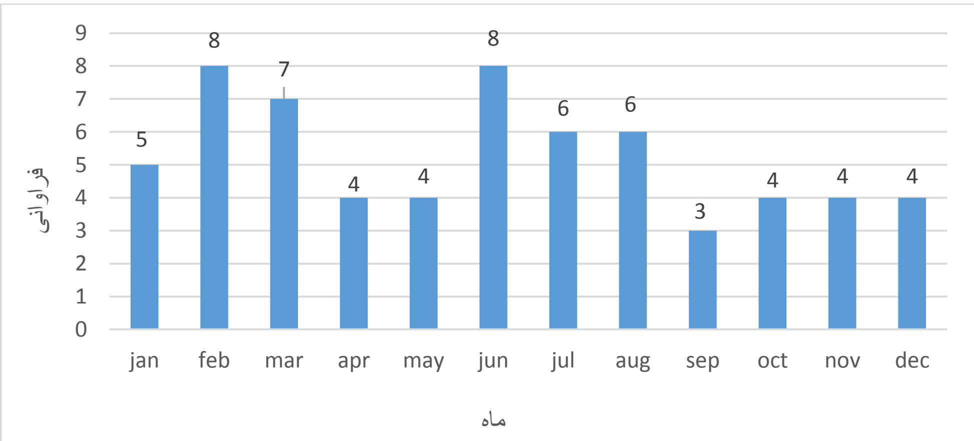
به‌منظور بررسی امواج گرمایی در شهرستان آبادان، دمای حداکثر روزانه ثبت شده از ایستگاه سینوپتیک آبادان برای دوره اقلیمی ۳۲ ساله (۱۹۸۵–۲۰۱۷) دریافت، سپس برای هر روز اقلیمی صدک ۹۵ام داده‌های دمای حداکثر روزانه در کل دوره آماری محاسبه شد. با تعیین آستانه دمایی، روزهایی که حداقل ۳ روز یا بیشتر مقادیر دمایی آن مثبت بود به‌عنوان موج گرمایی شناخته شد. در ادامه جهت تأثیرگذاری امواج گرما در جزایر حرارتی منطقه موردمطالعه، دو موج گرمایی در دوره سرد و گرم که دوام و ماندگاری طولانی‌تری داشتند به‌عنوان نمونه انتخاب و بر اساس آن، تصاویر ماهواره‌ای از سنجنده مادیس در روز و شب از سایت (https://earthengine.google.com) دریافت شد. سنجنده مودیس با قدرت تفکیک مکانی ابزاری است که بر روی ماهواره ترا در ماه دسامبر سال ۱۹۹۹ و ماهواره آکوا در ماه می سال ۲۰۰۲ راه‌اندازی و نصب شده است. این سنجنده، داده‌ها را در ۳۶ باند طیفی با عبور زمانی بالاتر از خط استوا در حدود۱۰:۳۰ و ۲۲:۳۰ برای ماهواره ترا و ۱۳:۳۰ و۰۱:۳۰ برای ماهواره آکوا جمع‌آوری می‌کند. MOD11-A2 و MYD11-A2، دمای سطح زمین (LST) و توان تشعشعی ۸ روزه در سطح ۳، تشکیل شده از محصولLST روزانه ۱ کیلومتر مادیس (MOD11A1 و MYD11A1) است و بر روی یک شبکه سینوسی ۱ کیلومتر به‌عنوان مقدار متوسط LST در آسمان صاف در طول ۸ روز در طول روز و شب (۱۰:۳۰ و ۲۲:۳۰ برای مودیس ترا و ۱۳:۳۰ و ۱:۳۰ برای مودیس آکوا) ذخیره شده است (لازارینی و همکاران[1]، ۲۰۱۳). فرآورده مورد استفاده در این پژوهش برای بررسی تغییرات شبانه‌روزی جزایر حرارتی،MYD11A2 است که شامل دمای سطح

1 Lazzarini et al

زمین (LST) در روز و شـــب با قدرت تفکیک مکانی ۱ کیلومتر و تفکیک زمانی ۸ روزه در دوره زمانی ۲۰۱۰ و ۲۰۰۸ است. با توجه به تأثیر عمده نوع کاربری اراضی بر میزان بازتاب طیفی لازم است که در ابتدا نوع کـــاربری‌هـای عمـده موجود در منطقه مـوردمـطـالـعـه تـعـیـیـن گـردد. در این رابطـه از فرآورده Land cover ســـنجنـده مودیس (فرآورده MCD12Q1) به روش طبقه‌بندی نظارت شـده اسـتفاده شده است. این فرآورده که به‌عنوان MODIS/Terra and Aqua Combined Land Cover شـناخته می‌شـود و به MCD12 معروف است به‌صورت سالانه تصویر کاربری اراضـی و پوشش سطحی زمین را تهیه می‌نماید. برای تهیه این تصویر از تصاویر سنجنده مودیس ماهواره ترِرا و آکووا به‌صورت ترکیبی استفاده شده است.

۳-نتایج و بحث

براســاس شــاخص صــدک ۹۵، طی دوره آماری (۲۰۱۷-۱۹۸۵) در منطقه موردمطالعه ٦٥ موج گرم رخ داده، به‌گونه‌ای که امواج گرمایی در هر دو دوره گرم و سـرد سـال به ترتیب با ۳۱ و ۳٤ موج قابل مشـاهده اسـت. پس از ژوئن که در دوره گرم سـال قرار دارد، فوریه نیز دارای بیشـترین موج گرمایی در دوره سرد سال در منطقه موردمطالعه اسـت. شـکل (۲). فراوانی امواج گرمایی در دوره سـرد سال نشان دهندهٔ کوتاه شدن دورهٔ سرد و دراز شدن دورهٔ گرم می‌باشـد. در این راسـتا بررسـی‌های دمای کشـور برای آینده نیز بیشـترین افزایش دما در ماههای آبان، اسفند و دی به میزان ۰/۷ درجـه سـانتی‌گراد تـأیید می‌کند (بابائیان و همکاران،۱۳۸۸). امواج گرمایی رخ داده از آسـتانه‌های دمایی متفاوت برخوردار هسـتند. ماه‌های جولای و آگوسـت با توجه به افزایش دمای حداکثر روزانه، از آستانه دمایی بالاتر و درنتیجه شـکل‌گیری موج گرمایی کوتاه و بلندمدت حکایت دارد. بیشـترین فراوانی تعداد روزهای گرم بالای صـدک ۹۵ام، در ماه مارس با ٦٤ روز و کمترین آن در ماه می با ٤٦ روز ثبت گردیده است (جدول۱).



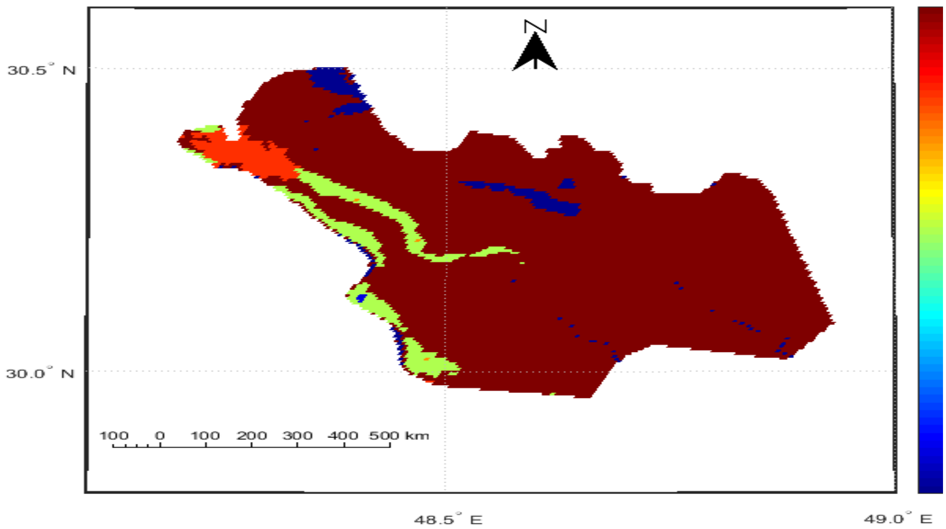
شکل۲- فراوانی امواج گرمایی در مقیاس ماهانه طی بازه زمانی (۲۰۱۷-۱۹۸۵).

جدول۱- آستانه دمایی و فراوانی روزهای گرم طی بازه زمانی (۲۰۱۷-۱۹۸۵).

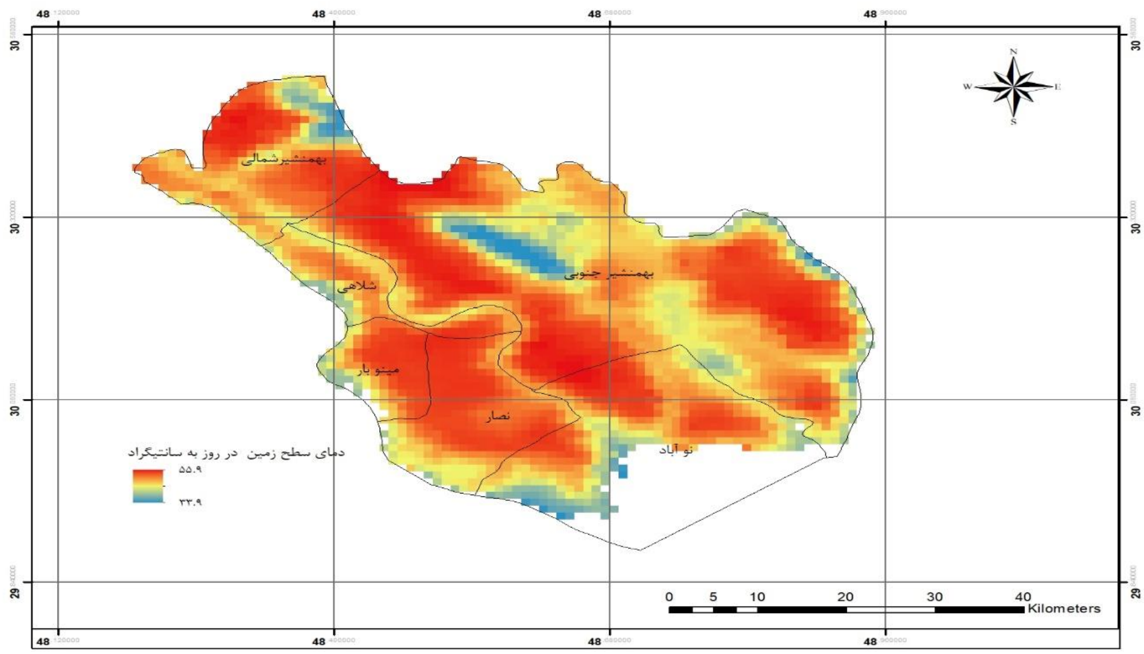
	ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	می	ژوئن	ژولای	آگوست	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر
آستانه دمایی	۲۳,٤	۲٦,٤	۳۲,٦	۳۹,۲	٤٥,٦	٤۸,۸	٥۰,۲	٤۹,۸	٤٦,۸	٤۱,٦	۳۳,٦	۲٦
فراوانی	٥۲	٤٦	٥۱	٥۲	٥۱	٥٤	٥۷	٥٤	٤۹	٥۱	٥٤	٦۳

از میان ٦٥ موج شناسایی شده، موج گرم۲۰۱۰/٦/۱۱ تا ۲۰۱۰/٦/۱٦ در دوره گرم سال (ژوئن) با بالاترین میانگین حداکثر دمایی و تداوم شش روزه و موج ۲۰۰۸/۳/۱۹ تا ۲۰۰۸/۳/۲۷ دوره سرد سال (مارس) با بالاترین میانگین حداکثر دمایی و تداوم نه روزه، جهت بررسی ارتباط و تأثیرگذاری امواج گرمایی دوره گرم و سرد سال در جزایر حرارتی شهر آبادان انتخاب شد. شکل۳، نقشه کاربری اراضی مربوط به سنجنده مودیس را با ٤ طبقه (پهنه آبی، زمین بایر، شهر و انسان‌ساخت، کشاورزی مرکب با اراضی طبیعی) نشان می‌دهد. نوع کاربری تأثیر معنی‌داری بر متغیر دما دارد. در میان کاربری‌های شهری، کاربری بایر بالاترین مساحت و بیشترین دما را به خود اختصاص داده است. عدم وجود پوشش گیاهی و انعکاس زیاد تشعشات حرارتی ساطع شده از خورشید باعث افزایش دما در کاربری بایر شده است. کاربری شهری و انسان‌ساخت (بخش‌های شمال غرب شهرستان) به دلیل وجود منابع خدماتی، تجاری، حمل‌ونقل و صنایع کوچک و بزرگ از دمای بالایی برخوردار است. کاربری آب و اراضی کشاورزی به‌صورت پراکنده و در مساحت کم، باعث کاهش دما در منطقه شده است. به‌صورت کلی کاربری‌های اراضی (بایر و اسان ساخت) با حرارت بالا افزایش بیشتری را نشان می‌دهند. شکل٤، نقشه دمای روز هنگام سطح زمین را در زمان وقوع موج گرم ۲۰۱۰/٦/۱۱ تا ۲۰۱۰/٦/۱٦، نشان می‌دهد. در این روز دمای سطح زمین مناطق مختلف شهرستان آبادان، دارای تفاوت دمایی ۲۳ درجه سانتی‌گراد و گرید دمایی ۳۳-٥٥ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. مناطق قرمزرنگ محدوده‌های دمایی بسیار گرم را نشان می‌دهند که مساحت زیادی از شهر را به خود اختصاص داده‌اند. این مناطق اراضی بایر هستند، که به علت وجود عناصری چون کلسیم، سدیم، منیزیم در خاک توان تشعشی بالایی دارند و به‌عنوان یک جزیره حرارتی شناخته شده‌اند. دمای سطح خاک به علت ظرفیت گرمایی پایین به‌سرعت بالا می‌رود. مناطق دارای کاربری غیر مسکونی شامل مراکز صنعتی همچون پالایشگاه، پتروشیمی و مخازن نفتی شهر آبادان، درنتیجه احتراق سوخت‌های فسیلی و نوع عملیات و فرایند تولیدی و مناطق شهری به علت وجود مصالح با ظرفیت حرارتی بالا باعث ایجاد جزایر حرارتی و دمایی در حدود دمای کاربری بایر می‌باشند، که در نقشه کاربری اراضی شهر با رنگ نارنجی مشخص و مطابقت دارند. کاهش دما به‌صورت نواری باریک در غرب شهرستان با توجه به موجودیت اروند رود و خلیج فارس در جنوب شهرستان (دهستان نوآباد) باعث ایجاد جزایر سرمایی شده‌اند که خود بیانگر ارتباط مستقیم بین نوع کاربری و دمای سطحی است (شکل٤). وجود مناطق بایر و مناطق صنعتی گسترده و

همچنین پوشـــش گیاهی ضـــعیف باعث افزایش دما، تشـــکیل بیشـــترین تراکم جزایر حرارتی و درنهایت بروز امواج گرمایی شدید در طول تابستان در منطقه شده است.

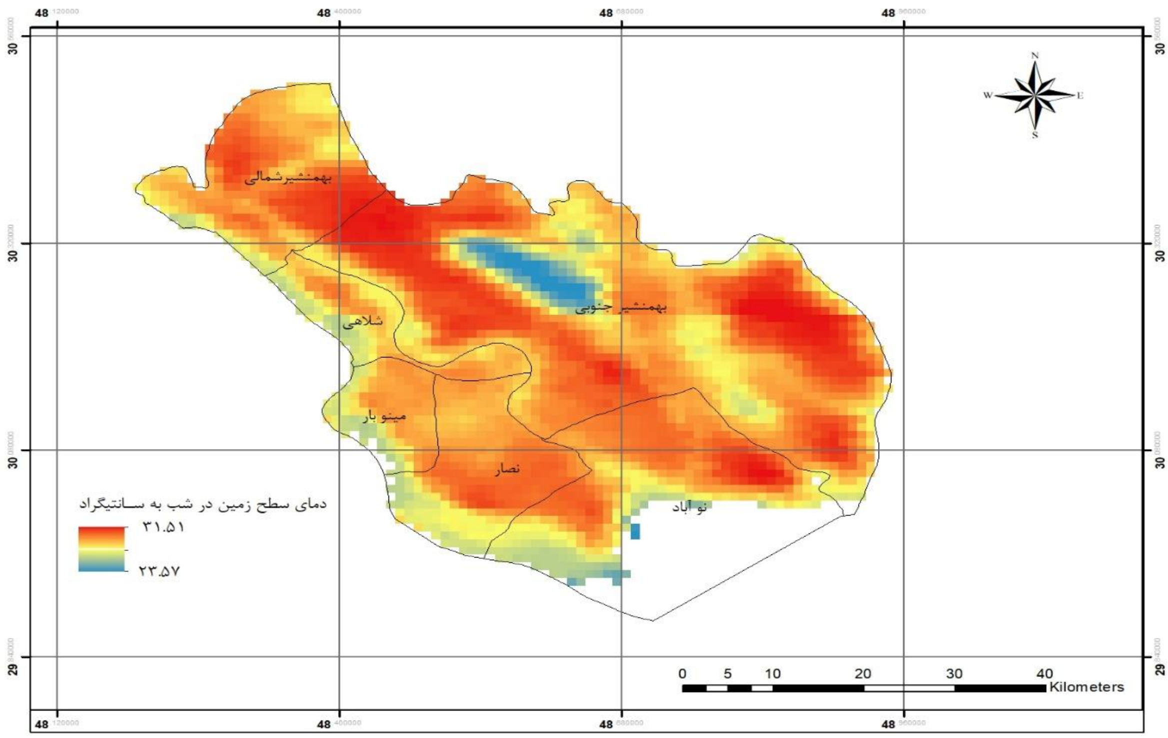


شکل۳- کاربری اراضی شهرستان آبادان.



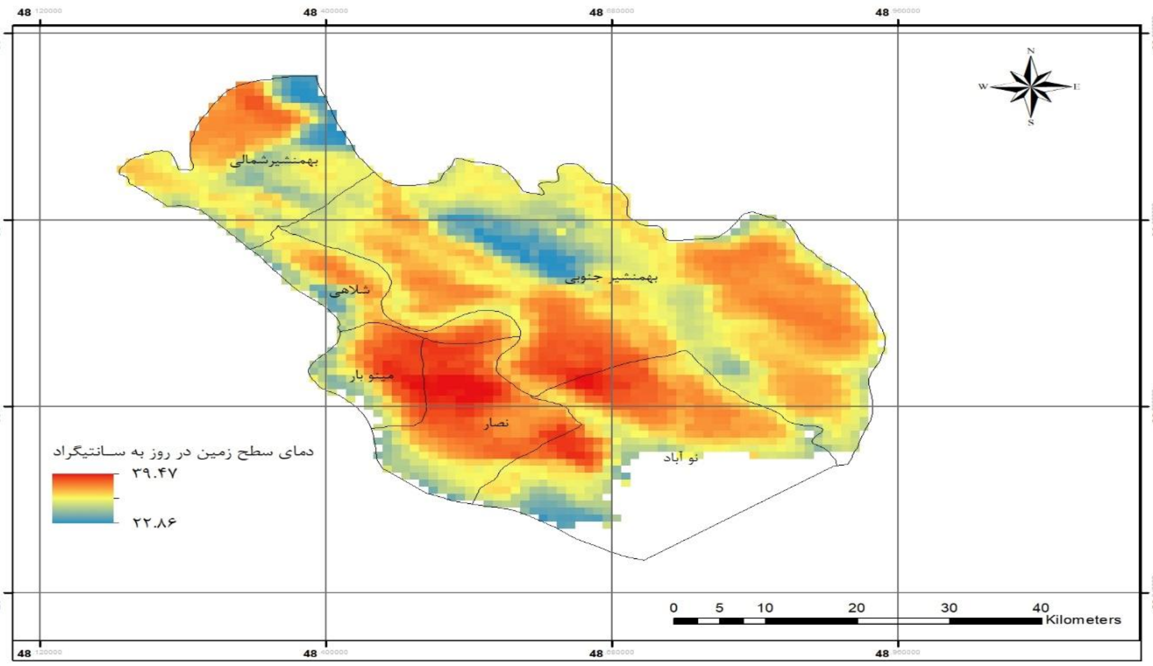
شکل ٤- دمای سطحی زمین در روز وقوع موج گرما ۲۰۱۰/٦/۱۱ تا ۲۰۱۰/٦/١٦.

در طی شـب، از شـدت تفاوت دمایی سـطح مناطق شـهری و غیرشـهری کاسـته می‌شـود اختلاف دمایی مناطق مختلف شـهر آبادان ۸ درجه سـانتی‌گراد اسـت. ولی همچنان جزایر گرمایی در سـطح شـهر قابل مشاهده هستند. آزاد شـدن گرمای ذخیره شـده در سـاختمان‌ها و مصـالح شـهری در طی شب باعث کند شدن روند کاهش دما و یکی از عوامـل کمـک کننده به جزایر حرارتی در شـب می‌باشـد. مناطق مختلف این شـهر در گرید دمایی ۲۳-۳۱ درجه سـانتی‌گراد قرار گرفته‌اند. بیشـترین میانگین دمایی را به مانند روز در محدوده بهمنشـیر با دمای ۳۱ درجه سـانتی‌گراد می‌توان مشـاهده کرد. وجود بالاترین دما طی شـب در زمین‌های بایر نشان دهنده نقش این نوع کاربری‌ها در میکرو اقلیم شهر است (شـکل۵). میانگین حداکثر دمای روزانه در زمان وقوع موج گرما۵۰ درجه سـانتی‌گراد می‌باشـد. با توجه به روند افزایش دما با سـرعت زیاد در منطقه موردمطالعه (سـلحشـور و همکاران،۱۳۹۲) و همچنین افزایش فراوانی امواج گرمـایی در دوره آینـده براسـاس مـدل‌هـایCANESM2 و CSIRO در ایسـتگاه آبادان (مولودی و همکاران،۱۳۹۵) و ارتباط مسـتقیم این امواج با جزایر حرارتی، انتظار افزایش تراکم جزایر حرارتی به مقدار بیشـتر در شهر آبادان وجود دارد.



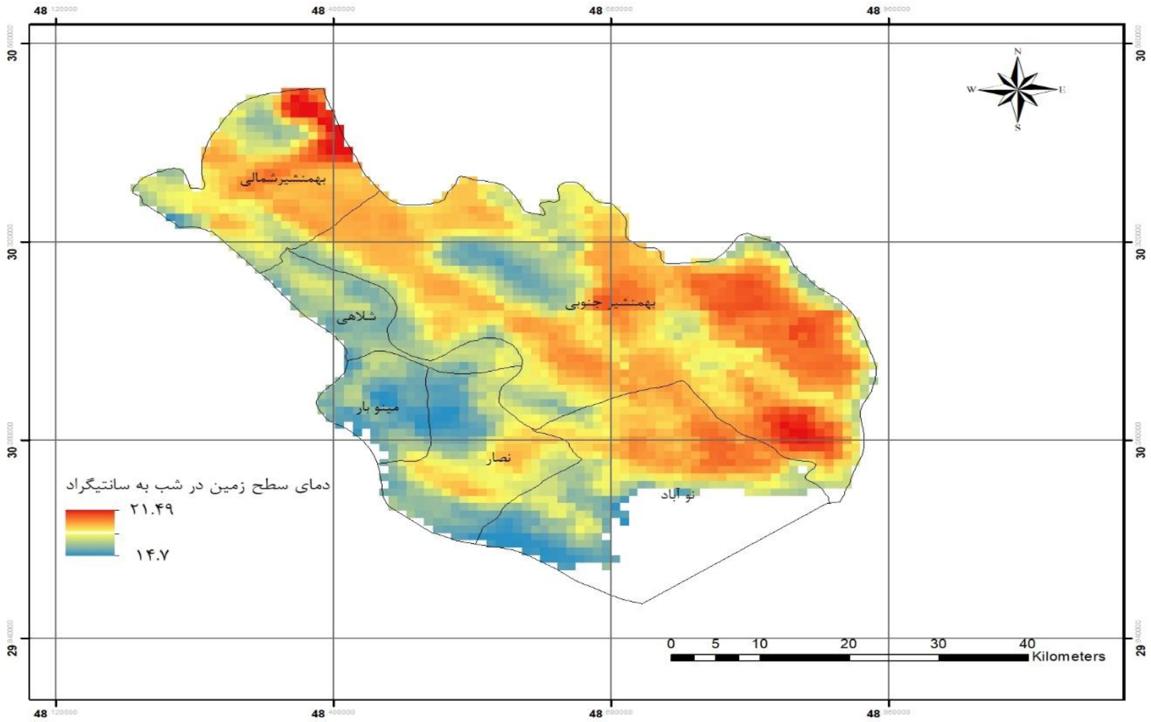
شکل ۵- دمای سطحی زمین در شب وقوع موج گرما ۲۰۱۰/۶/۱۱ تا ۲۰۱۰/۶/۱۶.

شـکل ٦ نشان دهنده دمای سطحی زمین در روز طی موج گرمایی دوره سرد سال در ماه مارس می‌باشد. این موج گرمایی شـدید از ۱۹ مارس تا ۲۷ مارس ۲۰۰۸ روی داد. در فصـل سـرد سال جزایر حرارتی به لحاظ مکانی و شدت دارای نوسـان اسـت. با توجه به نتایج اسـتخراج شـده از نقشهٔ دمای سطح زمین، بیشترین دما مربوط به محدوده نصار می‌باشـد که دارای دمای ۳۹,٤۷ درجه سـانتی‌گراد اسـت. در واقع مناطق اطراف شـهر در روز دمای سطحی بالاتری از مناطق مرکزی شـهر دارند. علت آن وجود خاک بایر اسـت که در اطراف شـهر وجود دارد و در طول روز به‌سـرعت گرم می‌شـود. محدوده‌های کوچک پراکنده حرارتی که بر روی نقشـه به رنگ زرد مشـخص‌شـده‌اند و بیشـتر شـامل نواحی صـنعتی همچون پالایشـگاه، پتروشـیمی، فرودگاه و زمین‌های بایر و زمین‌های مرتعی با پوشش علفی کم تراکم هسـتند در دامنه دمایی متوسـط قرار گرفتند. خنک‌ترین مناطق با ۲۳ درجه سـانتی‌گراد در قسمت‌های غربی شهرستان به‌صـورت نوار باریکی در امتداد اروند رود مشـاهده می‌شود. ظرفیت گرمایی بالا پهنه‌های آبی دمای سطحی پایین‌تری را ایجاد می‌کند (شـکل٦). میانگین حداکثر دمای روزانه در زمان وقوع موج گرمایی ۳۵ درجه سـانتی‌گراد و آسـتانه دمایی برای موج مذکور ۳۲ درجه سـانتی‌گراد می‌باشـد. بررسی امواج گرمایی حاکی از بیشتر بودن تعداد آن‌ها در دوره سـرد در شـهر آبادان دارد. در این راسـتا خروجی مدل‌های پیش‌بینی CANESM2 و CSIRO نشـان از افزایش امواج گرمایی در ایستگاه آبادان در طی فصل پاییز و زمستان در سال‌های آینده دارد (مولودی و همکاران،۱۳۹۵).



شکل ٦- دمای سطحی زمین در روز وقوع موج گرما ۲۰۰۸/۳/۱۹ تا ۲۰۰۸/۳/۲۷.

در طی شــب مقدار دمای ســطحی زمین بین۲۱,٤۹ تا ۱٤,۱۷ درجه ســانتی‌گراد و نســبت به روز تفاوت دمایی بین ســطوح مختلف بیشــتر اســت. جزایر حرارتی در طی شــب محدود به بخش‌های اندکی در بهمنشــیر شمالی با ۲۱,٦ و بهمنشــیر جنوبی با ۲۱,۲ درجه ســانتی‌گراد مربوط به کاربری فضای سبز هستند و نوسانات کمینه دمایی به میزان ١٤,٣ تا ۱٥,۱ مربوط به اراضی ساخته شدهٔ شهری است (شکل۷).



شکل۷- دمای سطحی زمین در شب وقوع موج گرما۲۰۰۸/۳/۱۹تا ۲۰۰۸/۳/۲۷.

٤-نتیجه‌گیری

در این تحقیق ســـعی بر آن بود کـه رابطـه امواج گرمـایی روی داده در منطقـه موردنظر بـا تغییرات روزانه جزایر حرارتی اســتخراج شــده از داده‌های چندزمانه مادیس طی بازه زمانی ۲۰۱۷–۱۹۸۵ بررسی شود. در مقایسه با تحقیقاتی که دیگر پژوهشــگران بر روی ارزیابی جزیره حرارتی با اســتفاده از ســنجش‌ازدور حرارتی انجام داده‌اند، تحقیق حاضر به دلیل بررســی ارتباط امواج گرمایی و جزایر حرارتی، نتایج جامع‌تری را ارائه می‌دهد. یافته‌ها نشان داد که روند تعداد امواج گرمایی طی دوره موردمطالعه در حال افزایش اســت و بالاترین آســتانه‌های دمایی طی ماه‌های گرم سال مشاهده شــده‌اند. دمای ســطح زمین در فصــول تابســتان و زمســتان به لحاظ مکانی و شــدت دارای نوســان است. همچنان که بالاترین آســتانه‌های دمایی در فصــل گرم ســال قابل مشاهده است بالاترین دمای سطحی زمین نیز در این فصل جریان

دارد. تمرکز صنایع پتروشیمی و شیمیایی در منطقه‌ای محدود و مجاور هم، حجم بسیار زیاد جابجایی کالا و تردد کشتی‌های تجاری در منطقه سبب ایجاد آلودگی‌ها در منطقه، افزایش دمای هوا و تشدید تشکیل جزایر حرارتی شده است. با توجه به خروجی نقشه کاربری اراضی و دمای سطح زمین جزایر حرارتی در منطقه موردمطالعه عمدتاً ناشی از زمین‌های بایر و محدوده‌های صنعتی است. با توجه به تابعیت دما از کاربری اراضی و در برگرفتن مساحت زیادی از شهرستان توسط زمین‌های بایر ضروری است با مدیریت مناسب نسبت به تغییر کاربری آن‌ها اقدام و بالا بردن سرانه فضای سبز به‌عنوان یک عامل تعدیل کننده در الگوی حرارتی مدنظر قرار گیرد.

کتابنامه

احمدی، محمود؛ عاشورلو، داوود؛ نارنگی فرد، مهدی؛ ۱۳۹۱. تغییرات زمانی و مکانی الگوهای حرارتی و کاربری شهر شیراز با استفاده از داده‌های سنجندهETM+ & TM. *سنجش‌ازدور و GIS ایران*. سال چهارم. شماره ٤,٦٨–٥٥.

احمدی، محمود؛ فرهمند، قاسم؛ ١٣٩٤. واکاوی تغییرات مکانی هسته‌های جزایر حرارتی شهر ارومیه از سال (١٣٩٢–١٣٩٥. *فصلنامه مطالعات عمران شهری*. دور اول. شماره ٢. ٦٠–٣٧.

بابائیان، ایمان؛ نجفی نیک، زهرا؛ زابلی عباسی، فاطمه؛ حبیبی نوخندان، مجید؛ ادب، حامد؛ ملبوسی، شراره؛ ۱۳۸۸. ارزیابی تغییر اقلیم کشور در دوره ۲۰۳۹ –۲۰۱۰ میلادی با استفاده از ریزمقیاس نمایی داده‌های مدل گردش عمومی جوG-ECHO . *جغرافیا و توسعه*. شماره١٦. ١٥٢–١٣٥

جواد زرین، ایمان؛ علوی پناه، سید کاظم؛ ۱۳۹۵. بررسی تغییرات الگوی حرارتی در بازه زمانی ۳۰ ساله با استفاده از باندهای حرارتی تصاویر ماهواره لندست (مطالعه موردی: اراضی جنوبی جزیره آبادان). اولین همایش بین‌المللی مخاطرات طبیعی و بحران‌های زیست‌محیطی ایران، راهکارها و چالش‌ها. تهران.

رضایی راد، هادی؛ رفیعیان، مجتبی؛ ۱۳۹۵. برآورد تغییرات فضایی- زمانی شدت جزیره حرارتی کلان‌شهر تهران با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای LANDSAT8 و ASTER. *فصلنامه برنامه‌ریزی منطقه‌ای*. سال ۷. شماره٢٧,٦٠– ٤٧.

شمسی‌پور، علی‌اکبر؛ مهدیان، مهرافروز؛ حسین پور، زینب؛ ۱۳۹۱. واکاوی تغییرات مکانی هستهٔ جزیرهٔ گرمایی شهر تهران. *پژوهش‌های جغرافیایی طبیعی*. سال٤٤. شماره ٣. ٦٥–٥٤.

شکیبا، علیرضا؛ ضیائیان فیروزآبادی، پرویز؛ عاشورلو، داوود؛ نامداری، سودابه؛ ۱۳۸۸. تحلیل رابطه کاربری و پوشش اراضی و جزایر حرارتی شهر تهران با استفاده از داده‌های +ETM . *سنجش‌ازدور و GIS ایران*. سال اول. شماره ۱. ۳۹–٥٦.

کاشکی، عبدالرضا؛ کرمی، مختار؛ باعقیده، محمد؛ علیمرادی، محمدرضا؛ ۱۳۹۸. واکاوی آماری امواج گرمایی زابل. *دگرگونی‌ها و مخاطرات آب و هوایی*. سال اول. شماره یک. ٥٥–٤١.

مولودی، گلاله؛ خورانی، اسدالله؛ مرادی، عباس؛ ۱۳۹۵. اثر تغییر اقلیم بر امواج گرمایی سواحل شمالی خلیج فارس. *نشریه تحلیل فضایی مخاطرات محیطی*. سال سوم. شماره١. ١٤–١.

محمدرضائی، الهه؛ گلی، فریناز؛ سلطانی نیا، شاهرخ؛ موزون، مجید؛ ۱۳۹۵. راهکارهای سهم بنا در کاهش پدیده جزایر گرمایی شهرها در اقلیم گرم و خشک. ششمین کنفرانس بین‌المللی توسعه پایدار و عمران شهری. تهران.

ولیزاده کامران؛ خلیل، غلام نیا؛ خلیل، عینالی، گلزار؛ موسوی، محمد؛ ۱۳۹٦. برآورد دمای سطح زمین و استخراج جزایر حرارتی بـا اسـتفاده از الگـوریتم پنجره مجزا و تحلیل رگرسیون چند متغیره (مطالعه موردی شهر زنجان). *پژوهش و برنامه‌ریزی شهری*. سال هشتم. شماره ۳۰. ۵۰-۳۵.

Alexandre, R.S., Felicio, S.O., Aderbal, G.S., Jose Marinaldo, G., Wantuelfer, G., Giselle Lemos, M., 2017. Spatial and temporal distribution of urban heat islands. Sci. Total Environment. 605–606, 946–956.

André, C., Ottlé, C., Royer, A., & Maignan, F., 2015. Land surface temperature retrieval over circumpolar Arctic using SSM/I–SSMIS and MODIS data. Remote Sensing of Environment, 162: 1-10.

Basara, J. B., Basara, H. G., Illston, B. G., & Crawford, K. C., 2010. The impact of the urban heat island during an intense heat wave in Oklahoma City. Advances in Meteorology, 2010.

Camilloni, I., & Barros, V. 1997. On the urban heat island effect dependence on temperature trends. Climatic Change, 37(4), 665-681.

de Faria Peres, L., de Lucena, A. J., Rotunno Filho, O. C., & de Almeida França, J. R., 2018. The urban heat island in Rio de Janeiro, Brazil, in the last 30 years using remote sensing data. International journal of applied earth observation and geoinformation, 64, 104-116.

Founda, D., & Santamouris, M., 2017. Synergies between Urban Heat Island and Heat Waves in Athens (Greece), during an extremely hot summer., 2012. Scientific reports, 7(1), 1-11.

Gartland, L. M., 2012. Heat islands: understanding and mitigating heat in urban areas. Routledge.

Karl, T. R., Diaz, H. F., & Kukla, G., 1988. Urbanization: Its detection and effect in the United States climate record. Journal of climate, 1(11), 1099-1123.

Keikhosravi, Q., 2019. The effect of heat waves on the intensification of the heat island of Iran's metropolises (Tehran, Mashhad, Tabriz, Ahvaz). Urban Climate, 28, 100453.

Kim, Y. H., & Baik, J. J., 2004. Daily maximum urban heat island intensity in large cities of Korea. Theoretical and Applied Climatology, 79(3), 151-164.

Kim, Y. H., & Baik, J. J., 2005. Spatial and temporal structure of the urban heat island in Seoul. Journal of Applied Meteorology and Climatology, 44(5), 591-605.

Meehl, G. A., & Tebaldi, C., 2004. More intense, more frequent, and longer lasting heat waves in the 21st century. Science, 305(5686), 994-997.

Oleson, K. W., Bonan, G. B., Feddema, J., & Jackson, T., 2011. An examination of urban heat island characteristics in a global climate model. International Journal of Climatology, 31(12), 1848-1865.

Park, H. S., 1986. Features of the heat island in Seoul and its surrounding cities. Atmospheric Environment (1967), 20(10), 1859-1866.

Quattrochl, D. A., Luvall, J. C., Rickman, D. L., Estes Jr, M. G., Laymon, C. A., & Howell, B. F., 2000. A decision support information system for urban landscape management using thermal infrared data. PE&RS, Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 66(10), 1195-1207.

Ramamurthy, P., & Bou- Zeid, E., 2017. Heatwaves and urban heat islands: a comparative analysis of multiple cities. Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 122(1), 168-178.

Ramamurthy, P., Li, D., & Bou-Zeid, E., 2017. High-resolution simulation of heatwave events in New York City. Theoretical and applied climatology, 128(1-2), 89-102.

Rchid, A., 2012. The effects of green spaces (Palme trees) on the microclimate in arides zones, case study: Ghardaia, Algeria. Energy Procedia, 18: 10-20.

Sobrino, J. A., Oltra-Carrió, R., Sòria, G., Jiménez-Muñoz, J. C., Franch, B., Hidalgo, V., ... & Paganini, M., 2013. Evaluation of the surface urban heat island effect in the city of Madrid by thermal remote sensing. International journal of remote sensing, 34(9-10), 3177-3192.

Tan, J., Zheng, Y., Tang, X., Guo, C., Li, L., Song, G., ... & Chen, H., 2010. The urban heat island and its impact on heat waves and human health in Shanghai. International journal of biometeorology, 54(1), 75-84.

U.S.EPA., 2007. Basic Information about Heat Island. Available online from following website: http://www.epa.gov/heatisland/about/index.html.

Voogt, J. A., & Oke, T. R., 2003. Thermal remote sensing of urban climates. Remote sensing of environment, 86(3), 370-384.

Weng, Q., Lu, D., & Schubring, J., 2004. Estimation of land surface temperature–vegetation abundance relationship for urban heat island studies. Remote sensing of Environment, 89(4), 467-483.

Xian, G., & Crane, M., 2006. An analysis of urban thermal characteristics and associated land cover in Tampa Bay and Las Vegas using Landsat satellite data. Remote Sensing of environment, 104(2), 147-156.

Vol.10, No.4, Winter 2022, pp.209-227 ISSN (Print):2322-1682 ISSN (Online):2383-3076

Journal of Geography and Environmental Hazards

RESEARCH ARTICLE DOI: 10.22067/geoeh.2021.71102.1079 Open access

Investigating Precipitation Return Period and its Probability of Occurrence in Iran based on Multi-Source Weighted-Ensemble Precipitation (MSWEP)

Azar Zarrin [a*], Abbasali Dadashi-Roudbari [a]

[a] *Department of Geography, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.*

Received: 21 June 2021 ***Revised: 1 August 2021*** ***Accepted: 10 September 2021***

Abstract

Return periods and the probability of the occurrence of precipitation are two important indicators in studies related to flooding and precipitation, and a correct understanding of the indicators can play an important role in climate risk studies. This study aimed to investigate the performance of the Multi-Source Weighted-Ensemble Precipitation (MSWEP) and to use it in determining the return periods and the probability of annual precipitation in Iran. For this purpose, the generalized extreme value (GEV) method was used. Four statistics of RMSE, MBE, PBIAS, and R^2 in Köppen-Geiger climate classification in Iran were used to evaluate the MSWEP data. The results showed that this data has the best performance in arid and semi-arid regions of the country with a PBIAS of 0.40 and 0.32. In contrast, this data showed the least performance in two rainy (Cfa) and mountainous areas (Dsb), so that the maximum PBIAS between the climate zones of the country is seen between -2.45 and -0.09% in the above-mentioned zones, respectively. The results showed that the maximum probable precipitation occurs in periods of 1 to 15 years in the northern coasts and its maximum intensity occurs in the southern coasts of Iran. The probability of occurrence of precipitation in Iran fluctuates between 2.03 to 32.02%. Decreasing latitude from north to south and decreasing height from west to east are associated with a decrease in the probability of occurrence of precipitation in Iran. Maximum uncertainty is seen in the mountainous regions of Iran with a high probability of occurrence of precipitation.

Keywords: Generalized Extreme Value (GEV), Iran, MSWEP, Precipitation Return Period, Precipitation

*. Corresponding Author: Azar Zarrin E-mail: zarrin@um.ac.ir Tel: + 985138805287

How to cite this Article: Zarrin, A.,Dadashi Roudbari, A. (2021). Investigating precipitation return period and its probability of occurrence in Iran based on Multi-Source Weighted-Ensemble Precipitation (MSWEP). Journal of Geography and Environmental Hazards, 10(4), 221-241.

doi: 10.22067/geoeh.2021.71102.1079

Geography and Environmental Hazards
Volume 10, Issue 4 - Number 40, Winter 2022
https://geoeh.um.ac.ir
https://dx.doi.org/10.22067/geoeh.2021.71102.1079

جغرافیا و مخاطرات محیطی، سال دهم، شمارهٔ چهلم، زمستان ۱٤۰۰ صص ۲۲۷-۲۰۹

مقاله پژوهشی

بررسی دوره بازگشت و احتمال رخداد بارش در ایران بر اساس پایگاه داده بارش همادی-وزنی چند منبعی (MSWEP)

آذر زرین[1]- استادیار اقلیم‌شناسی، گروه جغرافیا، دانشگاه فردوسی مشهد
عباسعلی داداشی رودباری- پژوهشگر پسادکتری اقلیم‌شناسی، گروه جغرافیا، دانشگاه فردوسی مشهد

تاریخ دریافت: ۱٤۰۰/۳/۳۱ تاریخ بازنگری: ۱٤۰۰/۵/۱۰ تاریخ تصویب: ۱٤۰۰/٦/۱۹

چکیده

دوره بازگشت و احتمال رخداد بارش دو نمایه مهم در مطالعات مربوط به سیل و بارش‌های فرین محسوب می‌شوند و درک صحیح از این دو نمایه می‌تواند نقش مهمی در مطالعات ریسک اقلیمی داشته باشد. این پژوهش با هدف بررسی کارایی پایگاه داده بارش همادی-وزنی چند منبعی (MSWEP[2]) و کاربست آن در تعیین دوره‌های بازگشت و بررسی احتمال رخداد بارش سالانه در ایران انجام شده است. برای این منظور از روش توزیع فرین تعمیم یافته (GEV[3]) استفاده شد. برای درستی سنجی داده‌های پایگاه MSWEP از چهار سنجه آماری RMSE، MBE، PBIAS و R^2 در پهنه‌های اقلیمی کوپن-گایگر در ایران استفاده گردید. نتایج نشان داد که این پایگاه داده در مناطق خشک و نیمه‌خشک کشور با درصد اریبی ۰/٤۰ و ۰/۳۲ بهترین کارایی را دارد. در مقابل، این پایگاه داده در دو پهنه پرباران (Cfa) و کوهستانی (Dsb) کمترین کارایی را خود نشان داد؛ به‌طوری‌که بیشینه درصد اریبی در بین پهنه‌های اقلیمی کشور به ترتیب با ۲/٤۵- و ٤/۰۹- درصد در پهنه‌های مذکور دیده شد. نتایج نشان داد که بیشینه مقدار بارش محتمل در دوره‌های ۱ تا ۱۵ ساله در سواحل شمالی و بیشینه شدت آن در سواحل جنوبی ایران اتفاق می‌افتد. احتمال رخداد بارش در ایران بین ۲/۰۳ تا ۳۲/۰۲ درصد در نوسان است. کاهش عرض

---

۱ نویسنده مسئول: ۰۹۱۵۵۰۱۵۹۲۱ Email: zarrin@um.ac.ir

2 Multi-Source Weighted-Ensemble Precipitation (MSWEP)
3 Generalized Extreme Value (GEV)

نحوه ارجاع به این مقاله:

زرین، آذر؛ داداشی رودباری، عباسعلی؛ ۱٤۰۰. بررسی دوره بازگشت و احتمال رخداد بارش در ایران بر اساس پایگاه داده بارش همادی- وزنی چند منبعی (MSWEP). *جغرافیا و مخاطرات محیطی*. ۱۰(٤). صص ۲۲۷-۲۰۹
https://dx.doi.org/10.22067/geoeh.2021.71102.1079

جغرافیایی از شــمال به جنوب و کاهش ارتفاعات از غرب به شــرق با کاهش احتمال رخداد بارش روزانه در ایران در ارتباط هســتند. بیشــینه عدم قطعیت در احتمال رخداد بارش روزانه در مناطق کوهستانی ایران مشاهده شد.

کلیدواژه‌ها: ایران، پایگاه داده بارش MSWEP، توزیع فرین تعمیم یافته (GEV)، دوره بازگشت بارش.

۱- مقدمه

مخاطرات طبیعی تهدید مهمی برای امنیت عمومی، زیرســاخت‌ها، منابع طبیعی و توسعه اقتصادی در سراسر جهان هســتند (راگنو و همکاران[1]، ۲۰۱۹). در ســال‌های اخیر، رخدادهای فرین اقلیمی[2] در بســیاری از نقاط جهان به میزان قابل‌توجهی افزایش یافته‌اند (الکســاندر و همکاران[3]، ۲۰۰۶؛ وال و همکاران[4]، ۲۰۱۵؛ مایره و همکاران[5]، ۲۰۱۹؛ ســال و همکــاران[6]، ۲۰۲۱). بــه دلیل اهمیت فرین‌های اقلیمی در مدیریت ریســک و طراحی مهندســی (چنگ و همکاران[7]، ۲۰۱۴)، علاقه زیادی به شــناخت چگونگی تغییر در این رخدادها به‌ویژه دوره بازگشــت بارش و احتمال رخداد آن وجود دارد. بررســی دوره‌های بازگشت بارش و احتمال رخداد آن برای کشوری همچون ایران با اقلیم غالب خشک و نیمه‌خشک می‌تواند برای مدیریت منابع آب و پیش‌بینی احتمال وقوع سیلاب بسیار مفید باشد.

از روش‌های آماری ایســتا و نا ایستا برای بررسی ارتباط رخدادهای فرین بارشی (به‌عنوان‌مثال بارش‌های سنگین و خیلی ســنگین و ســیل) و احتمال وقوع آن‌ها اســتفاده می‌شــود (اســتدینگر و همکاران[8]، ۱۹۹۳). در مطالعات اقلیمی، تکنیک‌های تحلیل فراوانی کلاســیک و ایســتا نتایج درســتی را از واقعیت‌های اقلیمی ارائه نمی‌دهند، چراکه احتمال رخداد بارش و دوره بازگشــت از رویکرد ناایســتایی پیروی می‌کنند (خالق و همکاران[9]، ۲۰۰۶). بااین‌حال، فقط تعداد کمی از مطالعات بارش را با مدل‌های ناایســتا در ایران بررســی کرده‌اند. ازاین‌رو لزوم یک مطالعه جامع در این حوزه احساس می‌شود.

افزایش رخدادهای فرین و پیامدهای گزارش شــده از آن‌ها در ســراســر جهان انگیزه استفاده از روش‌های ناایستا را برای اطمینان از به دســت آوردن مشــخصــه‌های در حال تغییر اقلیم افزایش داده اســت (میلی و همکاران[10]، ۲۰۰۸). بــااین‌حــال، نظرات و دیــدگاه‌های گوناگونی در مورد مدل‌های ناایســتا برای تحلیل فرین‌ها وجود دارد. بســیاری از

1 Ragno et al
2 Extreme climate events
3 Alexander et al
4 Wahl et al
5 Myhre et al
6 Sun et al
7 Cheng et al
8 Stedinger et al.
9 Khaliq et al.
10 Milly et al

روش‌های موجود برای تحلیل فرین‌ها که تحت فرض ناایستایی می‌باشند، دارای محدودیت‌های زیادی ازجمله فقدان یک چارچوب کلی برای ترکیب متغیرهای درگیر در برآورد پارامترها و عدم قطعیت در برآورد احتمال رخداد فرین‌های بارشی و دوره‌های بازگشت وجود دارد (گائو و همکاران، ۲۰۱٦). بررسی دوره‌های بازگشت و احتمال رخداد بارش برای طیف گسترده‌ای از کاربردهای پژوهشی، مهندسی و عملیاتی ضروری است. از اطلاعات دوره‌های بازگشت بارش در بخش پژوهشی می‌توان برای ارزیابی خروجی مدل‌های اقلیمی، در بخش مهندسی برای برنامه‌ریزی و در زمینه عملیاتی نیز برای طراحی و مدیریت زیرساخت‌ها استفاده کرد. همچنین برای بهبود سامانه‌های پیش‌بینی سیل و خشکسالی نیز می‌توان از این رویکرد مطالعاتی استفاده نمود (بوسیلوویچ و همکاران[1]، ۲۰۰۸؛ هیرپا و همکاران[2]، ۲۰۱٦؛ یان و همکاران[3]، ۲۰۱۹). توانایی برآورد قابل‌اطمینان از مقدار و فراوانی مورد انتظار رخدادهای فرین برای بهبود عرصه‌های مدیریتی ریسک، اساسی است. از طرف دیگر برآورد دوره بازگشت و احتمال رخداد بارش از موضوعات مهم در مطالعات اقلیمی است. بر این اساس ضمن استفاده از روش‌های کارآمد برای بررسی رخداد فرین‌های بارشی، استفاده از داده‌های معتبر نیز یک ضرورت جدی تلقی می‌شود. پایگاه‌های داده بارش دارای اریبی زیادی در مناطق کوهستانی هستند و ازآنجایی‌که بخش‌های بزرگی از ایران در شمال‌غرب و غرب را مناطق مرتفع کوهستانی تشکیل می‌دهند، استفاده از داده‌ای که بتواند کمترین خطا را ارائه دهد از اهمیت شایان توجهی برخوردار است. داده‌های همادی از خطای کمتری در برآورد بارش نسبت به داده‌های منفرد برخوردارند (بیک و همکاران، ۲۰۱۹) بر این اساس با تکیه بر نتایج داده‌های همادی می‌توان نتایج مطمئن‌تری را برای برآورد احتمال رخداد بارش و دوره بازگشت آن به‌دست آورد. دوره‌های بازگشت بارش و احتمال رخداد آن یکی از موضوعات موردتوجه در علوم جوی و بخصوص اقلیم‌شناسی و هیدرولوژی است. همان‌طور که پیش‌تر بحث شد دو رویکرد ایستایی و ناایستایی در بررسی فرین‌های اقلیمی موردتوجه است. نظر به اهمیت رویکرد ناایستایی و استفاده از این روش در پژوهش حاضر، در ادامه پژوهش‌هایی که از رویکرد ناایستایی استفاده کرده‌اند موردتوجه و بررسی قرار می‌گیرند. در یکی از این پژوهش‌ها، گرویزمن و همکاران[4] (۲۰۰۵) با بررسی روند بارش فرین در اقلیم‌های مختلف کره زمین بر اساس روش GEV نشان دادند که مناطقی با مقدار بارش زیاد در دوره‌های بازگشت، دارای رخدادهای بارش سنگین و بسیار سنگین هستند. در پژوهشی دیگر دگانتو[5] (۲۰۰۹) دوره‌های بازگشت بارش در ایالات‌متحده آمریکا را با روش GEV برای دوره آماری ۲۰۰۷–۱۹۵۰ موردبررسی قرار داد و به این نتیجه رسید که امکان دارد طوفان‌های بزرگ در هر ٤۰ سال یکبار اتفاق بیافتند. همچنین ایشان نشان داد که بارش‌هایی با دوره بازگشت ۲ ساله

1 Bosilovich et al.
2 Hirpa et al.
3 Yan et al.
4 Groisman et al
5 DeGaetano

به ازای هر دهه ۲ درصد افزایش یافته‌اند. گائو و همکاران[1] (۲۰۱۶) به مدل‌سازی ناایستایی بارش‌های فرین در چین با استفاده از ٦۳۱ ایستگاه طی دوره ۲۰۱۳–۱۹۵۱ پرداختند و به این نتیجه رسیدند که توزیع‌های GEV ناایستا کارایی بهتری از معادل ایستایی آن دارند. برآورد پارامترهای GEV و تحلیل ایستایی و ناایستایی از بارش‌های فرین در آفریقا پژوهشی است که دپائولا و همکاران[2] (۲۰۱۸) بدان پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد که روند بارش از رویکرد ناایستایی پیروی می‌کند و بررسی اثرات تغییر اقلیم با رویکرد ناایستایی نتایج بهتری را نسبت به روش ایستایی ارائه می‌دهد. وو و میشرا[3] (۲۰۱۹) با بررسی فراوانی رخدادهای فرین بارش در آمریکا ضمن آشکارسازی افزایش فراوانی رخدادهای بارش فرین نشان دادند که بیش‌تر بارش‌های فرین از حالت ناایستایی پیروی می‌کنند. ونر و همکاران[4] (۲۰۲۰) به بررسی دوره‌های بازگشت فرین‌های دما و بارش بر اساس برونداد مدل‌های CMIP6 پرداختند و به این نتیجه رسیدند که با افزایش طول دوره بازگشت، فراوانی فرین‌های اقلیمی کمتر می‌شود. بارش و پایگاه‌های داده بارش موردتوجه پژوهش‌های بسیاری در ایران بوده است. به‌طوری‌که پژوهش‌های بسیاری به‌درستی سنجی پایگاه‌های داده بارش TRMM و GPCC (میری و همکاران، ۱۳۹۵)، ERA-interim (رضیئی و ستوده، ۱۳۹٦) و ERA-Interim، PERSIANN-CDR و CHIRPS (گرجی زاده و همکاران، ۱۳۹۸) پرداختند. بااین‌حال تا کنون پژوهشی که داده‌های همادی را در سطح کشور درستی سنجی و استفاده کرده باشد، انجام نشده است. همان‌طور که تاکنون پژوهشی از قابلیت‌های داده‌های وزنی چندگانه برای برآورد بارش در کشور استفاده نکرده است، کمتر پژوهشی نیز روش‌های ناایستایی را برای بررسی بارش و رخدادهای فرین آن موردتوجه قرار داده است. از معدود پژوهش‌هایی که با استفاده از روش فرین تعمیم یافته (GEV) به بررسی بارش‌های فرین در ایران پرداخته‌اند می‌توان به پژوهش عساکره (۱۳۹۱) و مظفری و همکاران (۱۳۹٦) اشاره کرد. عساکره (۱۳۹۱) تغییر توزیع فراوانی بارش‌های فرین شهر زنجان را با استفاده از توزیع فرین تعمیم یافته (GEV) موردبررسی قرار داد. نتایج وی نشان داد که چند نوع ناایستایی در بارش‌های زنجان رخ داده است. این ناایستایی‌ها به صورت چرخه‌ها، جهش و نیز تغییر توزیع فراوانی قابل‌رؤیت است. مظفری و همکاران (۱۳۹٦) نیز با واکاوی روابط فضایی بارش‌های فرین در غرب ایران نشان دادند که الگوی فضایی بارش‌های فرین در غرب ایران یک الگوی خوشه‌ای است که معنی‌داری آن در سطح ۹۹ درصد تأیید می‌گردد.

جمع‌بندی پیشینه پژوهش نشان می‌دهد که به‌رغم عدم قطعیت پایین‌تر روش‌های ناایستایی و درک مؤثرتری که از بارش و بارش‌های فرین در اختیار ما قرار می‌دهند، این روش تاکنون کمتر در ایران مورداستفاده قرار گرفته است. این پژوهش دوره بازگشت و احتمال رخداد آن در ایران را بر اساس روش‌های ناایستایی با کاربست داده‌های پایگاه

---

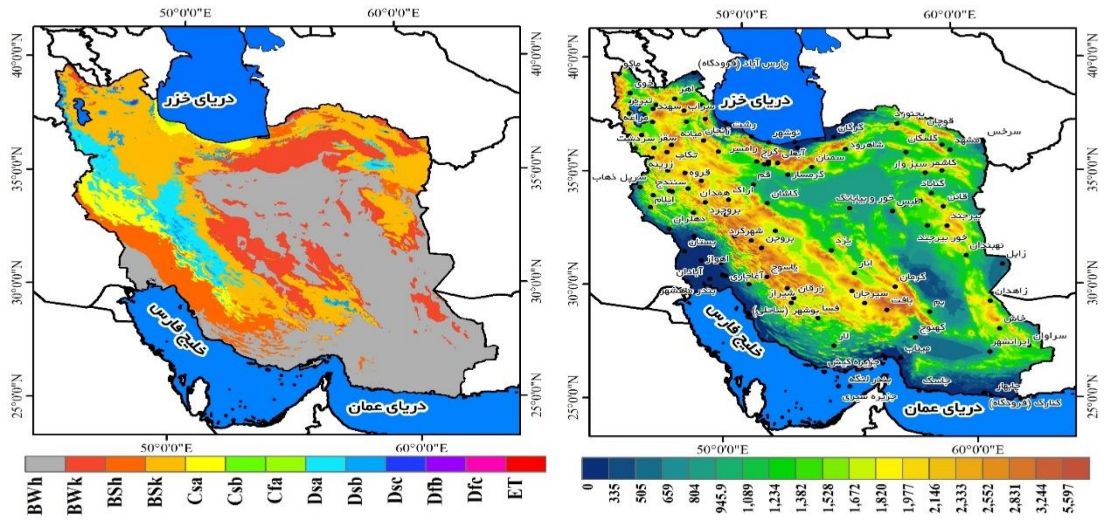
1 Gao et al
2 De Paola et al
3 Vu & Mishra
4 Wehner et al

بارش همادی–وزنی که برآورد مطمئن‌تری از بارش دارند به‌عنوان مسئله اصلی موردتوجه قرار داده است. لذا این پژوهش با سه هدف اصلی ۱- درستی سنجی داده‌های پایگاه بارش همادی–وزنی MSWEP در مناطق مختلف اقلیمی ایران؛ ۲- بررسی دوره بازگشت و ۳- بررسی احتمال رخداد بارش با استفاده از روش توزیع فرین تعمیم یافته (GEV) انجام شد. نتایج این پژوهش برای مطالعات مرتبط با سیل، فرین‌های بارشی و هیدرولوژی از اهمیت شایان توجهی برخوردار است.

۲- مواد و روش

۲-۱- منطقه موردمطالعه

ایران کشوری وسیع در جنوب غرب آسیا است و به جهت اقلیمی کشوری خشک و نیمه‌خشک محسوب می‌شود. ارتفاع ایران از کمتر از ۲۸ متر در سواحل جنوبی دریای خزر تا ۵۶۱۰ متر در قله دماوند در تغییر است (شکل ۱). رشته‌کوه‌های البرز در شمال و زاگرس در غرب نقش بسزایی در تقسیم کشور به پهنه‌های مختلف اقلیمی دارند. این مناطق کوهستانی همانند سدی در مقابل رسیدن رطوبت به قسمت مرکزی کشور عمل می‌کنند، که درنتیجه بارش در این مناطق نسبت به سایر مناطق کشور بسیار کم‌تر است. ایران همچنین میزبان یکی از گرم‌ترین بیابان‌های جهان–دشت لوت– است. بر اساس روش طبقه‌بندی اقلیمی کوپن بیش از ۸۰ درصد از مساحت کشور در مناطق خشک و نیمه‌خشک واقع شده‌اند (رضیئی، ۱۳۹۶).



شکل ۱- طبقه‌بندی اقلیمی ایران بر اساس روش کوپن-گایگر (تفکیک افقی ۱ کیلومتر) (بیک و همکاران، ۲۰۱۸) و مدل رقومی ارتفاعی (SRTM) با تفکیک افقی ۳۰ متر به همراه پراکنش ۱۲۰ ایستگاه همدید طی دوره آماری ۲۰۱۷-۱۹۹۰

۲-۲- پایگاه داده بارش همادی-وزنی چند منبعی (MSWEP)

در بین متغیرهای هواشناسی، بارش به دلیل ناهمگنی زمانی – مکانی یکی از پیچیده‌ترین متغیرها است (پرین و گوبیت، ۲۰۱۷). داده‌های مشاهداتی به‌عنوان منبع اصلی جهت بررسی بارش‌های فرین هستند؛ بااین‌حال تعداد ایستگاه‌های هواشناسی در ایران که داده بلندمدت بارش در اختیار داشته باشند بسیار محدود است و در کویرهای داخلی و مناطق کوهستانی ایران عملاً ایستگاه‌هایی با داده بارش بلندمدت وجود ندارد. طی دهه‌های گذشته مجموعه داده‌های بازتحلیل بسیاری همانند GPCC[1]، ERA5[2]، CRU[3]، MERRA-2[4] و داده‌های ماهواره‌ای همانند TRMM[5]، GPM[6] و PERSIANN-CDR[7] برای بارش ایجاد شده‌اند (سان و همکاران، ۲۰۱۸). این مجموعه داده‌ها از نظر منبع داده (ایستگاه، رادار زمینی، ماهواره، بازتحلیل شده و یا همادی)، تفکیک افقی (از ۰/۰۵ تا ۲/۵ درجه قوسی)، گام زمانی (۳۰ دقیقه تا ماهانه) و از نظر هدف از بازتولید مجموعه داده‌ها (دقت مکانی، همگنی زمانی، طول دوره یا ترکیبات آن) متفاوت هستند. هر داده شبکه‌ای بارش حتی داده‌های ماهواره‌ای دارای عدم قطعیت و بیش‌برآوردی/کم برآوردی هستند. بهترین راهکار برای کاهش عدم قطعیت داده‌های شبکه‌ای استفاده از الگوریتم همادی-وزنی است، چراکه تلفیق داده‌های مختلف باعث کاهش اریبی داده‌ها می‌گردد (بیشاپ و آبراموویتز[8]، ۲۰۱۳). لذا به این دلیل در این پژوهش از داده‌های بارش پایگاه همادی-وزنی MSWEP استفاده گردید. پایگاه داده بارش همادی-وزنی چند منبعی یک مجموعه داده جهانی بارش است که دارای گام‌های زمانی ۳ ساعته، روزانه و ماهانه است. در این پژوهش از MSWEP-V220 استفاده گردید که دارای دوره آماری ۱۹۷۹ تا ۲۰۱۷ است (بیک و همکاران[9]، ۲۰۱۹). این مجموعه داده نسبت به سایر داده‌های شبکه‌ای بارش ازاین‌جهت منحصربه‌فرد است که از یک رویکرد ترکیبی-وزنی مبتنی بر داده‌های ایستگاهی، ماهواره‌ای و بازتحلیل بهره می‌برد تا برآورد قابل‌اطمینان‌تری از بارش را در کره زمین ارائه دهد. از زمان انتشار نسخه ۱ (با تفکیک افقی ۰/۲۵ درجه قوسی) در ماه می ۲۰۱٦، MSWEP با موفقیت در مقیاس جهانی برای اهداف مختلفی مورداستفاده قرار گرفته است. نسخه دوم پایگاه داده MSWEP تلفیقی از داده‌های مبتنی بر ایستگاه (WorldClim, GHCN-D,GSOD و GPCC)، ماهواره (CMORPH, GridSat, GSMaP, TRMM و TMPA3B42RT) و بازتحلیل (ERA-Interim و JRA-55) است. پایگاه داده بارش MSWEP-V220 از چندین جنبه نسبت به سایر داده‌های موجود منحصربه‌فرد است: ۱) تفکیک افقی (۰/۱ درجه قوسی) و گام زمانی بالا (۳

1 Global Precipitation Climatology Centre (GPCC)
2 ECMWF Reanalysis v5 (ERA5)
3 Climatic Research Unit (CRU)
4 Modern-Era Retrospective analysis for Research and Applications, version 2 (MERRA-2)
5 Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM)
6 Global Precipitation Measurement (GPM)
7 Precipitation Estimation from Remotely Sensed Information using Artificial Neural Networks - Climate Data Record (PERSIANN-CDR)
8 Bishop & Abramowitz
9 Beck et al

ساعته)؛ ۲) تلفیق وزنی طیف گسترده‌ای از مجموعه داده‌های ایستگاه، ماهواره و بازتحلیل‌ها، برای برآورد بهتر بارش در هر مکان، ۳) تصحیح اریبی برای باران‌ریزه (Drizzle). ٤) تصحیح اریبی سیستماتیک بارش با ایستگاه‌های زمینی به دلیل کمبود ایستگاه در ۱۳۷٦۲ حوضه آبریز در سراسر جهان؛ ٥) تصحیح اریبی بارش با استفاده از مشاهدات روزانه از ۷٦۷٤۷ ایستگاه در سراسر کره زمین (بیک و همکاران، ۲۰۱۹).

۲-۳- ایستگاه‌های همدید ایران

برای درستی سنجی برونداد بارش پایگاه MSWEP-V220 از داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی همدید استفاده شد. برای گزینش ایستگاه‌های همدید سه شرط موردتوجه قرار گرفت: ۱- مشارکت حداکثری ایستگاه‌ها در ایران. ۲- حداکثر داده مفقود از کل سری زمانی ایستگاه بیش از ۱۰ درصد نباشد (زولینا[1]، ۲۰۰٦)؛ و ۳- همگنی داده‌ها با آزمون الکساندرسون (SNHT) (الکساندرسون[2]، ۱۹۸٦) بررسی و همگنی آن‌ها در سطح ۰/۰۵ مورد تأیید قرار گیرد. این آزمون ازآن‌جهت برای همگنی داده‌ها مورداستفاده قرار گرفت که آزمونی با بازدهی بالاست که می‌تواند به دو شکل مطلق و نسبی مورداستفاده قرار گیرد (رحیم‌زاده و نساجی‌زواره، ۱۳۹۳). در این پژوهش برای بررسی همگنی سری‌های سالانه بارش از نوع مطلق این آزمون استفاده گردید. بر اساس سه شرط یاد شده ۱۲۰ ایستگاه برای دوره آماری ۲۰۱۷-۱۹۹۰ برای درستی سنجی بارش گزینش گردید که در شکل (۱) موقعیت آن‌ها نشان داده شده است.

۲-٤- سنجه‌های آماری مورداستفاده جهت درستی سنجی

در این پژوهش از چهار سنجه آماری RMSE[3]، MBE[4]، PBIAS[5] و R2[6] استفاده شد که جزئیات آن‌ها در جدول (۱) آمده است.

جدول ۱- سنجه‌های آماری مورداستفاده در این پژوهش

سنجه آماری	نحوه محاسبه آماره
مجذور میانگین مربعات خطا (RMSE)	$RMSE = \frac{\frac{1}{n}\sqrt{\sum_{i=1}^{n}(z^*(X_i) - Z(X_i))^2}}{n}$
میانگین اریبی خطا (MBE)	$MBE = \frac{\sum_{i=1}^{n}(O - P)}{n}$
درصد مقدار اریبی (PBIAS)	$Pbias = \left[\frac{\sum_{i=1}^{n}(Y_i^{obs} - Y_i^{sim}) * (100)}{\sum_{i=1}^{n}(Y_i^{obs})}\right]$
ضریب تبیین (R^2)	$R^2 = \frac{(\sum(P_i - \bar{P})(O_i - \bar{O}))^2}{\sum(P_i - \bar{P})^2(O_i - \bar{O})^2}$

1 Zolina
2 Alexandersson
3 Root Mean Square Error (RMSE)
4 Mean Bias Error (MBE)
5 Percentage of Bias (PBIAS)
6 Coefficient of Determination (R2)

در روابط MBE و R^2 ، P_i مقـدار برآورد شـــده، O_i مقدار اندازه‌گیری، $\bar{P}$ و $\bar{O}$ میانگین مقادیر اندازه‌گیری شـــده می‌باشــند. همچنین در RMSE، $z^*(X_i)$ مقدار برآورد شـده متغیر در X_i، $Z(X_i)$ مقدار مشــاهده‌ای متغیر در X_i، n تعداد کل داده‌های مشـاهده‌ای اسـت. در رابطه (PBIAS) Y_{sim} مقدار برآورد شــده (پایگاه MSWEP) و Y_{obs} مقدار مشاهداتی (ایستگاه‌های همدید منتخب) است.

۲-۵- دوره‌های بازگشت بارش در ایران با روش مقادیر فرین تعمیم یافته (GEV[1])

بررسـی فراوانی بارش‌های فرین و دوره بازگشـت آن‌ها از اهمیت بالایی در مدیریت ریسک سیلاب و خشکسالی برخوردار اســت (فـانگ و همکاران[2]، ۲۰۱۹) که می‌توان آن را با اســتفاده از توزیع‌های احتمال با نظریه مقدار فرین برآورد کرد (کولز[3]، ۲۰۰۱). نظریه مقدار فرین (EVT[4])، به‌عنوان یکی از شـاخه‌های مهم علم آمار، به‌طور گســترده در علوم هواشـناسـی و هیدرولوژی مورداستفاده قرار گرفته است (سوکیسیان و تسالیس[5]، ۲۰۱۵). در بیش‌تر موارد، EVT اعمال شـده در هواشـناسـی و هیدرولوژی بر این فرض استوار است که این رخدادها ایستا[6] هستند (کاتز و همکاران[7]، ۲۰۰۲). بااین‌حال، فرض ایسـتایی به دلیل بروز تغییر اقلیم و وردایی آن در سـال‌های اخیر به‌تدریج به چالش کشـیده شـده اسـت (سـالاس و اوبیسـکرا[8]، ۲۰۱٤). ناایسـتایی ممکن است بر شدت و فراوانی رخدادهای فرین تأثیر بگذارد (میکا[9]، ۲۰۱۳؛ مونیر و گائو[10]، ۲۰۱۵)؛ بنابراین، مدل‌های توزیع احتمال ناایســتایی[11] باید موردبررســی قرار گیرند. دو روش فرین تعمیم یافته(GEV) و توزیع پارتو تعمیم یافته (GPD) به‌طور گســترده‌ای برای تحلیل رخدادهای فرین مورداســتفـاده قرار می‌گیرند (آکرو و همکاران[12]، ۲۰۱۰؛ رولفوا و همکاران[13]، ۲۰۱٦؛ یوزگاتلیگیل و ترکش[14]، ۲۰۱۸؛ فانگ و همکاران[15]، ۲۰۱۹؛ خاویر و همکاران[16]، ۲۰۲۰؛ کیم و همکاران[17]، ۲۰۲۰). در این مطالعه برای محاســبه دوره بازگشت مجموع بارش سالانه در ایران از روش فرین تعمیم یافته (GEV) استفاده شد.

---

1 Generalized Extreme Value (GEV)
2 Fang et al
3 Coles et al
4 Extreme value theory (EVT)
5 Soukissian and Tsalis
6 stationary
7 Katz et al
8 Salas and Obeysekera
9 Mika
10 Monier and Gao
11 Nonstationary
12 Acero et al
13 Rulfová et al
14 Yozgatlıgil & Türkeş
15 Fang et al
16 Xavier et al
17 Kim et al

دوره‌های بازگشـــت به‌عنوان توابع کمی توزیع GEV محاســبه شــدند. تابع چگالی تجمعی (CDF[1]) (آقاکوچک و همکاران، ۲۰۱۱؛ خارین و همکاران[2]، ۲۰۱۳) توزیع GEV همانند معادله (۱) است.

$$GEV(x) = exp\left[-\left(1+\varepsilon\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^{-1/\varepsilon}\right]\varepsilon \neq 0 \quad (۱)$$

در رابطه (۱) σ، μ و ε به ترتیب پارامترهای موقعیت، مقیاس و شـکل هسـتند (خارین و همکاران، ۲۰۱۳). سپس سـطح بازگشـت x_p مربوط به دوره‌های بازگشـت (یا بازه‌های بازگشـت) $T = 1/p$ را می‌توان برآورد کرد، که در آن احتمـال تجمعی برابر اســت بـا $p - 1$ (فـانگ و همکاران، ۲۰۱۹؛ کیم و همکاران، ۲۰۲۰). از روش حداکثر احتمال برای برازش داده‌ها استفاده شد (خارین و زویارس[3]، ۲۰۰۵).

۳- یافته‌ها

۳-۱- درستی سنجی پایگاه داده بارش MSWEP-V2 در ایران

برای درســتی ســنجی برونداد بارش پایگاه MSWEP در مقیاس ســالانه از چهار سنجه آماری R^2، RMSE، MBE و PBIAS اســتفاده شــد. همچنین برای بررســی بهتر کارایی این پایگاه در مناطق مختلف اقلیمی، متوســط هر یک از آمـاره‌ها در پهنه‌های مختلف اقلیمی کوپن-گایگر ارائه شـــد. روش پهنه‌بندی اقلیمی کوپن-گایگر به دلیل مقبولیت بالا در ســطح جهانی نســبت به ســایر روش‌های موجود طبقه‌بندی اقلیمی از یکســو و همچنین در نظر گرفتن متغیرهای بیش‌تر، به‌عنوان روش طبقه‌بندی در این پژوهش انتخاب شـد. همچنین علت درسـتی سـنجی بارش در مقیاس سالانه به این دلیل اسـت که دوره بازگشـت و احتمال رخداد بارش در مقیاس سـالانه محاسبه می‌گردد که بر این اساس بهتر می‌توان نســبت به نتایج به‌دســتآمده در مقیاس ســالانه بحث کرد. مقدار ضــریب تبیین (R^2) برای برونداد بارش MSWEP در ایران بین ۰/۸۲ تا ۰/۹۹ در تغییر اســت که نشــان‌دهنده کارایی قابل‌قبول این پایگاه داده بارش در کشــور اســت. بالاترین ضـریب تبیین در مناطق خشـک و نیمه‌خشـک ایران به‌دست آمده است که با توجه به مقدار کم بارش سـالانه در این مناطق چندان دور از انتظار نبوده اسـت. همان‌طور که در شـکل (۲) دیده می‌شود بیشینه مقدار RMSE در سـواحل جنوبی دریای خزر اسـت که خطای بیش‌تر از ۱۰ میلی‌متر را نشان می‌دهد (پهنه اقلیمی Cfa). کمینه مقدار RMSE نیز با مقدار کمتر از ۱ میلی‌متر در جنوب‌شـرق و مناطق داخلی ایران دیده می‌شــود. با توجه به نتایج بررســی این دو سنجه می‌توان نتیجه گرفت که این پایگاه داده در مناطق خشک و نیمه‌خشک کارایی بسیار بالاتری دارد.

1 Cumulative Density Function (CDF)
2 Kharin et al
3 Kharin and Zwi

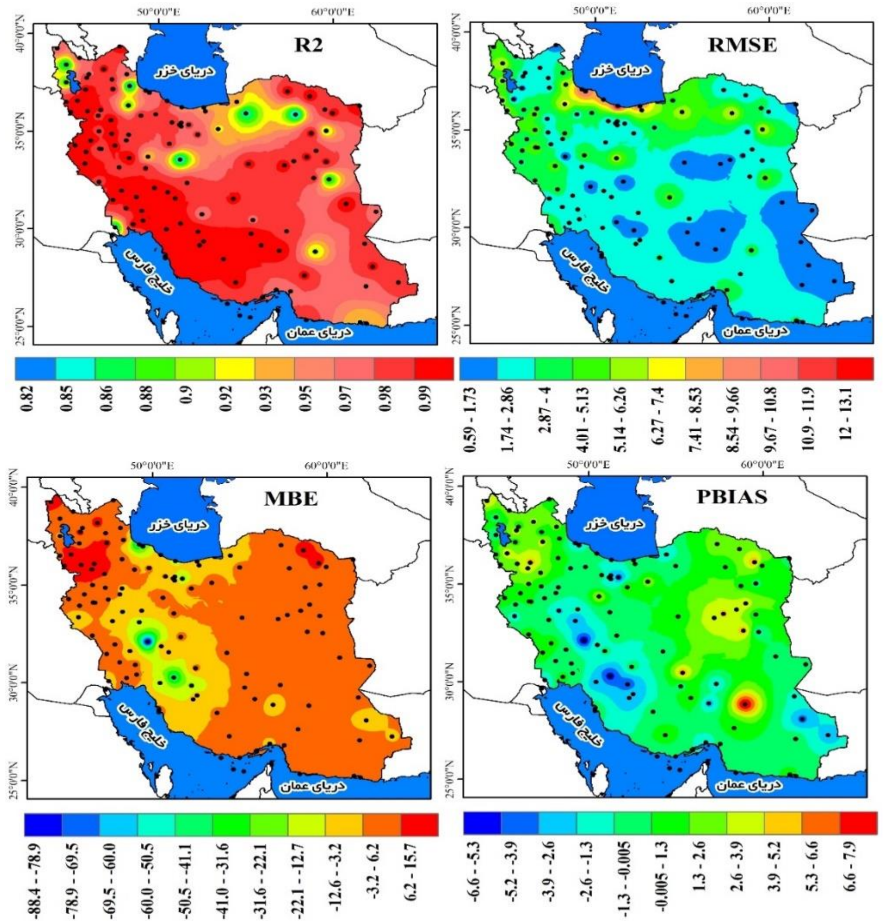
مقادیر MBE نیز همانند RMSE است و نشانگر آن است که از جنوب به شمال ایران مقدار اریبی افزایش می‌یابد. در مقیاس سالانه اریبی بارش در ایران بین ۸۸/۴۴– تا ۱۵/۷۱ میلی‌متر در نوسان است. در زاگرس مرتفع و جنوب غربی دریای خزر مقدار اریبی منفی شده است (کم برآوردی). بر این اساس می‌توان اذعان داشت که MSWEP در مناطق پربارش و مرتفع ایران دارای کم‌برآوردی است. از ۱۲۰ ایستگاه موردبررسی برای درستی سنجی پایگاه MSWEP در ٥٦/٤١ درصد از ایستگاه‌ها اریبی منفی (کم‌برآوردی) و در ٤٣/٥٩ درصد از ایستگاه‌ها اریبی مثبت (بیش‌برآوردی) به‌دست آمده است. به‌طورکلی بررسی اریبی در پهنه‌های اقلیمی نشان می‌دهد که بارش در پهنه‌های Cfa، BSK، BSh، BWk، Csa، Dsa و Dsa دارای اریبی منفی است (جدول ۲) که نشان دهنده کم برآوردی این پایگاه بارش در پهنه‌های مذکور است.

همان‌طور که در شکل (۲) و جدول (۲) مشخص است بر اساس سنجه‌های RMSE و MBE، بارش در مناطق شمالی (Cfa و Csa) و زاگرس مرتفع (Dsb) دارای اریبی و خطای زیادی است که مبین کارایی نه‌چندان مناسب این پایگاه داده در مناطق شمالی ایران یا به عبارتی در پهنه‌های اقلیمی Cfa، Csa و Dsa است؛ اما مقایسه نتایج این دو سنجه آماری با PBIAS نتیجه متفاوتی را نشان می‌دهد. علت این تفاوت در نحوه محاسبه دو سنجه RMSE و MBE است. ازآنجاکه مقادیر RMSE و MBE تابعی از دامنه تغییرات بارش در هر ایستگاه است، مقدار زیاد RMSE و MBE در ایستگاه‌های ناحیه خزری (پهنه‌های اقلیمی Cfa و Csa) واقع در شمال ایران (ایستگاه‌های بندر انزلی، بابلسر، گرگان، رامسر و رشت) به جهت مقدار زیاد بارش در این ایستگاه‌ها است. لذا به کاربستن تنها دو سنجه MBE و RMSE نتایج صحیحی را ارائه نمی‌دهد. برای رفع این مشکل از سنجه PBIAS استفاده شد.

نتایج مربوط به سنجه PBIAS نشان داد که به‌رغم مقدار بالای MBE برای پهنه‌های شمالی (مقدار MBE به‌دست آمده در پهنه اقلیمی Cfa، ۵۸/۴۳ – میلی‌متر است) این مقدار نسبت به کل بارش این پهنه‌ها کمتر از ٤ درصد (درصد اریبی منفی) است که نشانگر دقت مناسب داده‌های MSWEP-V220 در پهنه‌های خزری ایران است. بر عکس مقدار MBE که تابعی از دامنه تغییرات بارش است و با افزایش بارش مقدار آن به شکل غیرواقعی افزایش می‌یابد، لذا PBIAS سنجه کاراتری برای برآورد درصد اریبی بارش در ایران است. از نظر پراکنش فضایی درصد اریبی (PBIAS) بارش در چهار منطقه از ایران منفی است: ۱– سواحل جنوبی دریای خزر؛ ۲– رشته‌کوه‌های جنوبی البرز، ۳– ارتفاعات زاگرس و ٤– جنوب شرقی ایران. بیشینه درصد اریبی منفی بارش در ارتفاعات زاگرس قابل‌مشاهده است. در مقابل در مناطق شمال‌غربی، شمال‌شرقی و مناطق بزرگی از ایران داخلی درصد اریبی MSWEP مثبت است. به‌طورکلی کوهرنگ با درصد اریبی ٦/٦٦– درصد، بیشینه درصد اریبی منفی و بم با ۷/۹۳ درصد، بیشینه درصد اریبی مثبت را نشان داده‌اند. همان‌طور که روشن است اگر تنها به دو سنجه RMSE و MBE بسنده می‌شد، به نظر می‌رسید که بم نسبت به بندر انزلی اریبی کمتری دارد؛ اما همان‌طور که مشخص شد مقدار درصد اریبی از کل بارش سالانه در بندر انزلی تنها ۳/٦– درصد است که به‌رغم کم‌برآوردی در بارش دارای دقت بهتری نسبت به بم است.

جدول ۲- متوسط سنجه‌های آماری در پهنه‌های اقلیمی ایران بر اساس روش کوپن-گایگر

پهنه اقلیمی	R^2	RMSE	MBE	PBIAS
BSh	۰/۹۸۲	۲/۸۶	−۴/۲۶	−۱/۰۱
BSk	۰/۹۶۳	۲/۷۳	۰/۱۶	۰/۴۰
BWh	۰/۹۳۶	۲/۱۸	−۰/۰۲	۰/۳۲
BWk	۰/۹۳۴	۲/۲۸	−۲/۳۲	−۰/۲۱
Cfa	۰/۹۶۱	۹/۷۶	−۴۰/۶۶	−۲/۴۵
Csa	۰/۹۶۲	۵/۹۵	−۵/۲۸	−۰/۷۴
Dsa	۰/۹۸۲	۳/۴۳	−۷/۵۶	−۰/۷۶
Dsb	۰/۹۵۶	۲/۸۳	−۱۷/۱۱	−۴/۰۹



شکل ۲- توزیع فضایی سنجه‌های R2، RMSE، MBE و PBIAS بر اساس مقایسه بارش سالانه پایگاه داده MSWEP-V2 و بارش ایستگاهی در ایران

۳-۲- دوره بازگشت مجموع بارش سالانه در ایران

دوره بازگشت بارش سالانه و احتمال رخداد بارش‌های برابر و بیش از ۱ میلی‌متر در ایران با استفاده از روش GEV محاسبه و نتایج آن در شکل (۳) ارائه شد. بر اساس روش GEV، بارش سالانه ایران دارای دوره‌های بازگشت، ۱، ۳، ۵، ۱۰ و ۱۵ ساله است. بیشینه شدت بارش در دوره‌های بازگشت اشاره شده در سواحل جنوبی کشور، زاگرس مرتفع و سواحل خزری دیده می‌شود.

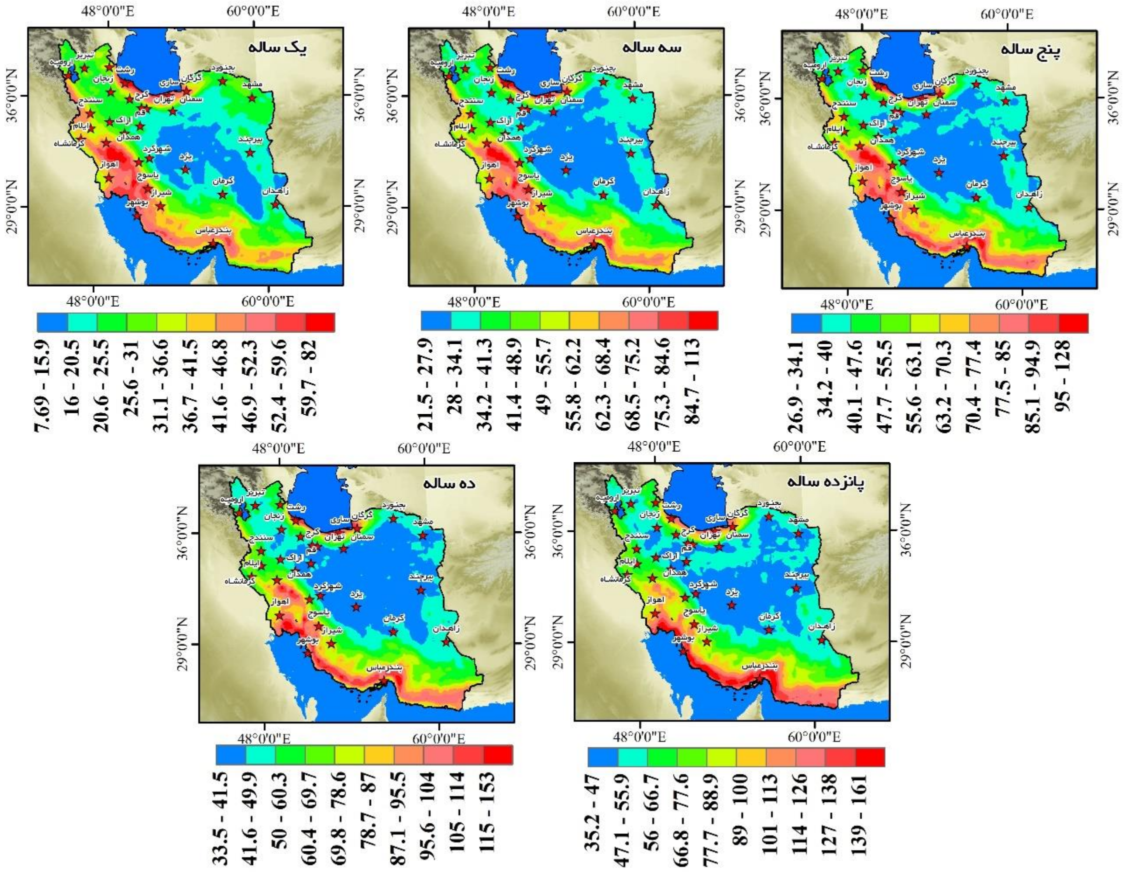
از نظر پارامترهای GEV، افزایش مقدار بارش با افزایش گام زمانی دوره‌های بازگشت در مناطق جنوبی ایران (مناطق ساحلی خلیج‌فارس و دریای عمان) همزمان با افزایش پارامتر مکانی توزیع GEV است (شکل ۳). بر این اساس می‌توان اذعان داشت که روند افزایشی در دوره‌های بازگشت در سطح آماری ۵ درصد ($\alpha = 0.05$) معنی‌دار است.

بیشینه مقدار بارش در دوره‌های بازگشت ۱، ۳، ۵، ۱۰ و ۱۵ ساله افزایش زیادی در سواحل خلیج‌فارس و دریای عمان نشان می‌دهد (شکل ۳). در این مناطق مقدار بارش از دوره بازگشت ۱ ساله به ۳ ساله با آهنگ متوسط ٤ درصد به ازای هرسال افزایش می‌یابد. مطابق با شکل (۳)، افزایش مقدار بیشینه بارش با افزایش دوره بازگشت در سواحل جنوبی ایران بارزتر است اما باید توجه داشت که درست در جنوب‌غربی ایران و مناطق شمالی استان خوزستان مقدار بارش در دوره‌های بازگشت موردبررسی به ازای هر دهه حدود ۱ درصد کاهش می‌یابد.

همان‌طور که در شکل (۳) مشخص است و پیش‌تر نیز گفته شد با افزایش دوره بازگشت، بیشینه مقدار بارش نیز افزایش می‌یابد. این افزایش در سواحل جنوبی ایران کمی بیشتر از مناطق شمالی کشور است؛ اما به‌طورکلی در بین مناطق و دوره‌های مختلف آهنگ افزایش بارش با طولانی‌تر شدن دوره‌های بازگشت همراه است.

بیشینه مقدار بارش در دوره بازگشت ۱ ساله در ایران بین ۷/٦۹ میلی‌متر در جنوب شرق تا ۸۲/۰۳ میلی‌متر در زاگرس مرتفع در نوسان است. با افزایش دوره بازگشت، مقدار بارش محتمل در یک روز نیز افزایش می‌یابد. به‌طوری‌که بیشینه بارش در دوره بازگشت ۳ ساله ۱۱۳/٤۹ میلی‌متر، ۵ ساله ۱۲۸/۲۸ میلی‌متر، ۱۰ ساله ۱۵۳/۳۰ میلی‌متر و ۱۵ ساله ۱٦۰/۸٦ میلی‌متر برآورد شد. احتمال بارش در دوره‌های بازگشت به‌دست آمده در سواحل جنوبی ایران از چابهار تا اهواز، زاگرس مرتفع در غرب ایران (استان‌های لرستان، کرمانشاه و ایلام) و سواحل خزری نشان از خطر بالای سیل در این مناطق از ایران دارد. در سال‌های اخیر سیل‌های ویرانگری در مازندران (۱۳۹۷/۱۲/۲٦، بر اساس گزارش سازمان هواشناسی کشور طی دو روز ۳۰۰ میلی‌متر بارش داشته است که باعث کشته شدن ۱۳ نفر شد و به تعطیلی فرودگاه، راه‌آهن و تخلیه چند روستا انجامید)، گیلان (۱۳۹۹/۰۵/۱۵، ۳۷۸ میلی‌متر بارش در ۲٤ ساعت و خسارت به ٤۰ تا ٦۰ هزار هکتار از زمین‌های کشاورزی)، پل‌دختر (۱۳۹۸/۰۱/۰۵، مطابق با گزارش سازمان هواشناسی، ۱۰۸ میلی بارش در یک روز، ۱۵ کشته و خسارت به ۳٦۰۰ خانه) و سیستان و بلوچستان (۱۳۹۹/۰۱/۰٤، مطابق با گزارش سازمان هواشناسی ۸۹ میلی‌متر بارش در یک روز در نیکشهر) اتفاق افتاده است. مقایسه سیلاب‌های

رخ داده با مقدار بارش در دوره بازگشــت‌های مختلف که با روش GEV محاســبه شد، نشان از دقت بالای این روش در محاســبه دوره‌های بازگشــت بارش در ایران دارد (شکل ۳). بر این اساس مناطقی را که با رنگ قرمز در نقشه نشان داده شده‌اند، می‌توان پهنه‌هایی با خطر سیل‌خیزی بالا عنوان کرد.



شکل ۳- دوره بازگشت بارش با استفاده از روش فرین تعمیم یافته (GEV) در ایران برای مجموع بارش سالانه مبتنی بر برونداد پایگاه MSWEP

۳-۳- احتمال رخداد بارش و عدم قطعیت آن در ایران

احتمال رخداد بارش یک میلی‌متر و بیش‌تر معیاری برای شــناســایی شــدت بارش‌های روزانه اســت. بالا بودن شــاخص احتمـال رخـداد بارش و پایین بودن عدم قطعیت، نشــان از احتمال بالای بارش در یک روز را دارد. تأثیر عرض جغرافیایی و ارتفاع بر احتمال رخداد بارش‌های روزانه در ایران مشــهود اســت. نتایج این نشان داد که با کاهش عرض جغرافیایی از شــمال به جنوب مقدار این نســبت کاهش می‌یابد. اســتثنائاتی نیز دیده می‌شــود که مربوط به ارتفاعات داخلی کشــور اســت که باعث افزایش احتمال رخداد بارش می‌شــود. در همین راســتا ذوالفقاری و همکاران

(۱۳۸۸) نشـــان دادند که عرض جغرافیایی و ارتفاع، رابطه معنی‌داری با حداکثر بارش‌های روزانه و بارش‌های ســـالانه در ایران دارد.

عدم قطعیت احتمال رخداد بارش روزانه در ایران در تمامی مناطق کوهســتانی بالای ۰/۵ اســت. نتایج به‌دست آمده پیش‌تر در بخش درســتی ســنجی نیز مورد تأیید قرار گرفته اســت. به‌طوری‌که پهنه اقلیمی Dsb با ۴/۰۹- درصد اریبی، بالاترین متوســط اریبی را در بین پهنه‌های اقلیمی ایران داشــته اســت. بر این اســاس می‌توان اذعان داشــت که افزایش ارتفاع در ایران سبب کاهش قطعیت در برآورد احتمال رخداد بارش روزانه می‌شود.

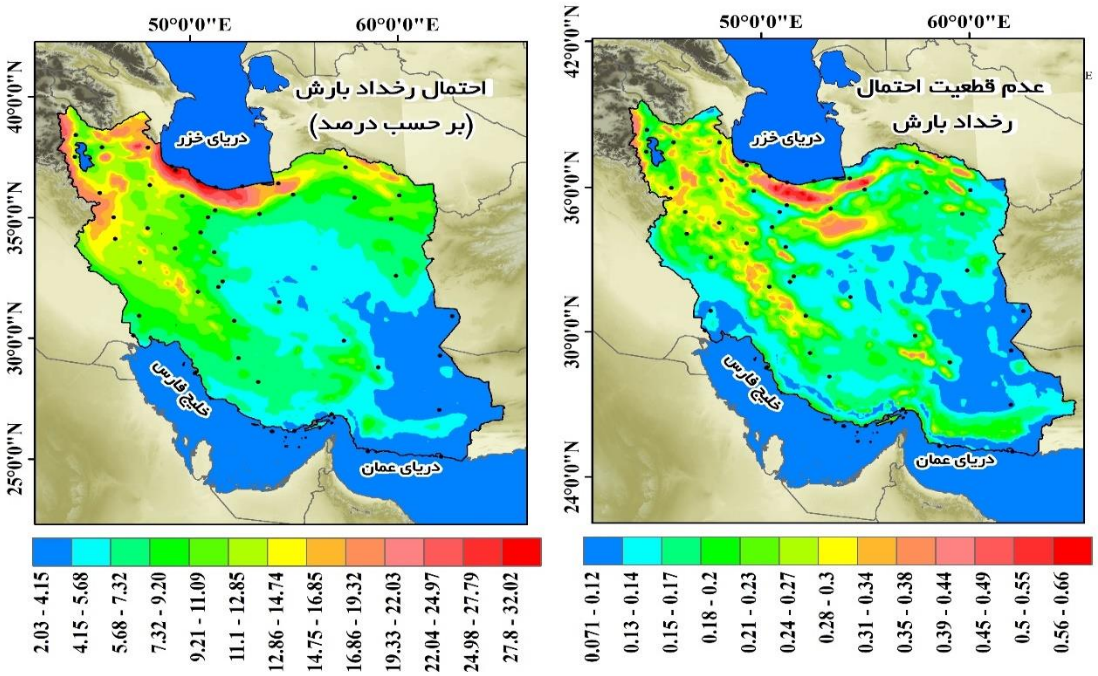
با نگاهی به شــکل (۴) که احتمال رخداد بارش‌های یک میلی‌متر و بیشتر را در ایران نشان می‌دهد این نکته مشهود اســـت کـه پراکندگی درصـــد احتمال رخداد بارش با توزیع فضـــایی بلندمدت بارش در ایران کاملاً همخوانی دارد. به‌طوری‌که بیشـــینه درصـــد احتمال رخداد بارش با بیش از ۳۰ درصـــد در ســـواحل جنوبی دریای خزر و کمینه آن با حداکثر ۲ درصد در جنوب شرق ایران مشاهده می‌گردد.

بــه جهــت جغرافیــایی چهار منطقه را می‌توان به‌عنوان مناطقی با احتمال بالای رخداد بارش روزانه در ایران در نظر گرفت. این چهار منطقه عبارتند از: ۱- ســـواحل جنوبی دریای خزر، ۲- مناطق مرزی غربی ایران از آذربایجان غربی تا کردســتان، ۳- زاگرس مرتفع در کوهرنگ بختیاری و ۴- مناطق مرتفع شــمال‌شــرقی ایران در مرز با کشور ترکمنستان. در مقابل جنوب شـــرقی و ســـواحل مکران به همراه بخش‌های بزرگی از ایران مرکزی پایین‌ترین احتمال رخداد بارش روزانــه را دارنـد. در این مناطق احتمال رخداد بارش یک میلی‌متر و بیش‌تر در یک روز کمتر از ۵ درصـــد اســـت که علت آن دوری از منابع رطوبتی و قرارگیری در سایه بارش زاگرس است.

همان‌طور که در شــکل (۴) دیده می‌شــود این پایگاه داده بر روی بخش‌های مرتفع زاگرس درصد احتمال پایینی را برای بارش روزانه برآورد کرده اســت که دلیل اصــلی آن به‌طوری‌که در بخش درســتی ســنجی داده‌ها نیز اشــاره شــده است کمبود اطلاعات مربوط به ایستگاه‌های زمینی در دوره موردمطالعه در این ناحیه است.

بر اســاس نتایج به‌دســت آمده احتمال رخداد بارش یک میلی‌متر و بیش‌تر از آن در ۷۴/۷۱ درصد از کشور کم‌تر از ۱۰ درصــد در روز اســت. عمده مناطقی که احتمال رخداد بارش در آن‌ها بیش‌تر از ۱۰ درصــد است در بالاتر از مدار ۳۵ درجه شمالی قرار دارند. همچنین مناطق مرتفع زاگرس نیز شامل این مناطق می‌باشند (شکل ۴).

یافته‌های این تحقیق نشــان می‌دهد که عدم قطعیت احتمال رخداد بارش در مناطق مرتفع کوهســتانی ایران بالاست. به‌طوری‌که در این مناطق عدم قطعیت تا ۰/۶ نیز می‌رســـد. در مقابل مناطق خشـــک داخلی و شـــرقی ایران پایین‌ترین عدم قطعیت را با مقدار ۰/۰۷ نشان دادند (شکل ۴).



شکل ٤- احتمال رخداد بارش یک میلی‌متر و بیش‌تر و عدم قطعیت آن در ایران برای مجموع بارش سالانه مبتنی بر برونداد پایگاه MSWEP

٤- نتیجه‌گیری

تعیین مقادیر و فراوانی رخدادهای بارش فرین نقش کلیدی در برنامه‌ریزی مدیریت ریسک و مهندسی دارد. با توسعه الگوریتم‌های برآورد بارش و افزایش تعداد پایگاه‌های در دسترس در مقیاس جهانی با تفکیک افقی بالا، امکان برآورد صحیح بارش در مناطق مختلف بخصوص مناطق بیابانی و مرتفع کوهستانی فراهم شده است. این تحقیق با هدف درستی سنجی و بررسی احتمال دوره‌های بازگشت بارش با استفاده از داده‌های پایگاه MSWEP انجام شده است. از توزیع فرین تعمیم یافته (GEV) برای ارائه درکی مناسب از الگوهای فضایی دوره بازگشت و احتمال رخداد بارش ۱ میلی‌متر و بیش‌تر در ایران استفاده گردید.

پایگاه داده MSWEP که کارایی آن در ایران موردبررسی قرار گرفته است، مبین کم‌برآوردی بارش در بیش‌تر پهنه‌های اقلیمی کشور است. به‌طوری‌که از ۸ پهنه اقلیمی اصلی ایران که اطلاعات ایستگاه‌های هواشناسی آن در دسترس بوده است اریبی بارش به‌طور متوسط در ۷ پهنه منفی (کم‌برآوردی) و فقط در پهنه BSk دارای متوسط اریبی مثبت (بیش‌برآوردی) است. بررسی درصد اریبی بارش نسبت به مجموع بارش سالانه در ایران نشان از کارایی قابل قبول این داده در سطح کشور دارد. به‌طوری‌که درصد اریبی بارش در ۵ پهنه از ۸ پهنه موردبررسی کمتر از ۱ درصد مجموع بارش سالانه است. بیش‌ترین اختلاف بین داده‌های مشاهداتی (ایستگاه‌های همدید) با داده‌های پایگاه

MSWEP-V220 در مناطق مرتفع زاگرس دیده می‌شود. این اختلاف ممکن است به این دلیل باشد که این پایگاه از داده‌های ایستگاه مبنا WorldClim, GHCN-D,GSOD و GPCC استفاده می‌کند و به دلیل اینکه ایستگاه‌های زاگرس مرتفع تازه تأسیس هستند و این چهار پایگاه داده -ایستگاه مبنا- مشارکت یافته در پایگاه MSWEP-V220 از این داده‌ها به دلیل کوتاه‌مدت بودن استفاده نکرده‌اند.

با توجه به اینکه درمجموع پایگاه داده بارش MSWEP-V220 کارایی قابل قبولی را در پهنه کشور ایران از خود نشان داد؛ از این داده جهت محاسبه دوره بازگشت بارش و احتمال رخداد بارش‌های یک میلی‌متر و بیش‌تر استفاده گردید. نتایج نشان داد که بارش در ایران دارای دوره‌های بازگشت ۱ ساله، ۳ ساله، ۵ ساله، ۱۰ ساله و ۱۵ ساله است. بیشینه بارش محتمل در یک روز به‌ترتیب ۸۲/۰۳، ۱۱۳/٤۹، ۱۲۸/۲۸، ۱۵۳/۳۰ و ۱٦۰/۸٦ میلی‌متر برای دوره‌های بازگشت مذکور می‌باشد که این بیشینه‌ها در مناطق شمال ایران، سواحل خلیج‌فارس و مناطق جنوب‌غربی ایران مشاهده می‌گردند. این مناطق مبین پهنه‌های بارشی سنگین و خیلی سنگین در ایران نیز هستند. در همین راستا، گرویزمن و همکاران[1] (۲۰۰۵) نشان دادند که مناطقی با مقدار بارش زیاد در دوره‌های بازگشت، بارش سنگین و بسیار سنگین را تجربه می‌کنند. عدم قطعیت احتمال رخداد بارش روزانه در ایران از حداقل کمتر از ۱ درصد در مناطق خشک داخلی تا بیش از ٦۰ درصد در مناطق مرتفع کوهستانی ایران در تغییر است. احتمال رخداد بارش روزانه با افزایش عرض جغرافیایی و ارتفاع در ایران افزایش می‌یابد. تأثیر عرض جغرافیایی و ارتفاع در بیشینه رخداد بارش پیش‌تر توسط ذوالفقاری و همکاران (۱۳۸۸) در ارتباط با نسبت بیشینه بارش‌های روزانه به بارش‌های سالانه در ایران مورد تأیید قرار گرفته است. همچنین عدم قطعیت بالا در مناطق مرتفع کوهستانی به دلیل نبود ایستگاه‌های مشاهداتی در پایگاه‌های ایستگاه مبنای مشارکت یافته در پایگاه MSWEP-V220 چندان دور از انتظار نبوده است.

تغییرات مکانی احتمال رخداد بارش روزانه نه‌تنها می‌تواند بر مدیریت منابع آب و خطر طغیان سیل و خشکسالی تأثیر بگذارد، بلکه در تغییر توزیع بارش در طول سری زمانی نیز دارای اهمیت است. اگرچه وردایی زیادی در بیشینه مقدار بارش در دوره‌های بازگشت ۱ تا ۱۵ ساله ایران مشاهده می‌شود، اما ماندگاری کانون‌هایی با شدت بارش بالا قابل‌توجه است که نشان دهنده افزایش خطر بروز سیلاب به دلیل احتمال بیشتر رخدادهای بارش سنگین و خیلی سنگین می‌باشد. همچنین ارتباط معنی‌داری بین مناطقی با شدت بارش بالا در دوره‌های بازگشت مختلف و پهنه‌هایی با سیل‌خیزی بالا در ایران (واقفی و همکاران، ۲۰۱۹) دیده می‌شود. بر این اساس مناطقی که در این پژوهش به‌عنوان کانون‌های بیشینه بارش در دوره‌های بازگشت شناسایی شدند را می‌توان به‌عنوان مناطقی با خطر سیل‌خیزی بالا در نظر گرفت.

1 Groisman et al

کتابنامه

ذوالفقاری، حسن؛ هاشمی، رضا؛ فشی، مهدی؛ ۱۳۸۸. بررسی نسبت حداکثر بارش‌های روزانه به بارش‌های سالانه در ایران. *تحقیقات جغرافیایی*. شماره ٢٤. صص ١٦٥–١٨٨.

رحیم‌زاده، فاطمه؛ نسجای‌زواره، مجتبی؛ ۱۳۹۳. روند و تغییرپذیری دما در ایران در دوره ۲۰۱۰-۱۹۶۰ پس از تعدیل ناهمگنی‌های غیرطبیعی موجود در داده‌ها. *تحقیقات جغرافیایی*. شماره ۲۹. صص ۱۸۱–۱۹۶.

رضیئی، طیب؛ ١٣٩٦. منطقه‌بندی اقلیمی ایران به روش کوپن–گایگر و بررسی جابه‌جایی مناطق اقلیمی کشور در سدهٔ بیستم. *فیزیک زمین و فضا*. شماره ٤٣. صص ٤١٩–٤٣٩.

رضیئی، طیب؛ ستوده، فاطمه؛ ١٣٩٦. بررسی دقت مرکز اروپایی پیش‌بینی‌های میان‌مدت جوی (ECMWF) در پیش‌بینی بارش مناطق گوناگون اقلیمی ایران. *فیزیک زمین و فضا*. شماره ٤٣. صص ١٣٣–١٤٧.

عساکره، حسین؛ ١٣٩١. تغییر توزیع فراوانی بارش‌های فرین شهر زنجان. *جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی*. شماره ٢٣. صص ٥١–٦٦.

گرجی زاده، علی؛ آخوندعلی، علی‌محمد؛ شهبازی، علی؛ مریدی، علی؛ ١٣٩٨. مقایسه و ارزیابی بارش برآورد شده توسط مدل‌های ERA-Interim، PERSIANN-CDR و CHIRPS در بالادست سد مارون. *تحقیقات منابع آب ایران*. شماره ١٥. صص ٢٦٧–٢٧٩.

مظفری، غلامعلی؛ مزیدی، احمد؛ شفیعی، شهاب؛ ١٣٩٦. واکاوی روابط فضایی بارش‌های فرین غرب ایران. *جغرافیا و توسعه*. شماره ٤٦. صص ١٦٩–١٨٣.

میری، مرتضی؛ رضیئی، طیب؛ رحیمی، مجتبی؛ ١٣٩٥. ارزیابی و مقایسه آماری داده‌های بارش TRMM و GPCC با داده‌های مشاهده‌ای در ایران. *فیزیک زمین و فضا*. شماره ٤٢. صص ٦٥٧–٦٧٢.

Acero, F. J., García, J. A., & Gallego, M. C., 2011. Peaks-over-threshold study of trends in extreme rainfall over the Iberian Peninsula. Journal of Climate, 24: 1089-1105.

AghaKouchak, A., Behrangi, A., Sorooshian, S., Hsu, K., & Amitai, E., 2011. Evaluation of satellite- retrieved extreme precipitation rates across the central United States. Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 116(D2).

Alexandersson, H., 1986. A homogeneity test applied to precipitation data. Journal of climatology, 6: 661-675.

Beck, H. E., Wood, E. F., Pan, M., Fisher, C. K., Miralles, D. G., Van Dijk, A. I., ... & Adler, R. F., 2019. MSWEP V2 global 3-hourly 0.1 precipitation: methodology and quantitative assessment. Bulletin of the American Meteorological Society, 100: 473-500.

Beck, H. E., Zimmermann, N. E., McVicar, T. R., Vergopolan, N., Berg, A., & Wood, E. F., 2018. Present and future Köppen-Geiger climate classification maps at 1-km resolution. Scientific data, 5: 1-12.

Bishop, C. H., & Abramowitz, G., 2013. Climate model dependence and the replicate Earth paradigm. Climate dynamics, 41: 885-900.

Bosilovich, M. G., Chen, J., Robertson, F. R., & Adler, R. F., 2008. Evaluation of global precipitation in reanalyses. Journal of applied meteorology and climatology, 47: 2279-2299.

Coles, S., Bawa, J., Trenner, L., & Dorazio, P., 2001. An introduction to statistical modeling of extreme values (Vol. 208, p. 208). London: Springer.
De Paola, F., Giugni, M., Pugliese, F., Annis, A., & Nardi, F., 2018. GEV parameter estimation and stationery vs. non-stationary analysis of extreme rainfall in African test cities. Hydrology, 5: 28.
DeGaetano, A. T., 2009. Time-dependent changes in extreme-precipitation return-period amounts in the continental United States. Journal of Applied Meteorology and Climatology, 48: 2086-2099.
Fang, J., Yang, W., Luan, Y., Du, J., Lin, A., & Zhao, L., 2019. Evaluation of the TRMM 3B42 and GPM IMERG products for extreme precipitation analysis over China. Atmospheric Research, 223: 24-38.
Gao, M., Mo, D., & Wu, X., 2016. Nonstationary modeling of extreme precipitation in China. Atmospheric Research, 182: 1-9.
Groisman, P. Y., Knight, R. W., Easterling, D. R., Karl, T. R., Hegerl, G. C., & Razuvaev, V. N., 2005. Trends in intense precipitation in the climate record. *Journal of climate*, *18*: 1326-1350.
Hirpa, F. A., Salamon, P., Alfieri, L., Pozo, J. T. D., Zsoter, E., & Pappenberger, F., 2016. The effect of reference climatology on global flood forecasting. Journal of Hydrometeorology, 17: 1131-1145.
Katz, R. W., Parlange, M. B., & Naveau, P., 2002. Statistics of extremes in hydrology. Advances in water resources, 25: 1287-1304.
Khaliq, M. N., Ouarda, T. B., Ondo, J. C., Gachon, P., & Bobée, B., 2006. Frequency analysis of a sequence of dependent and/or non-stationary hydro-meteorological observations: A review. Journal of hydrology, 329: 534-552.
Kharin, V. V., Zwiers, F. W., Zhang, X., & Wehner, M., 2013. Changes in temperature and precipitation extremes in the CMIP5 ensemble. Climatic change, 119: 345-357.
Kim, Y. H., Min, S. K., Zhang, X., Sillmann, J., & Sandstad, M., 2020. Evaluation of the CMIP6 multi-model ensemble for climate extreme indices. Weather and Climate Extremes, 29: 100269.
Mika, J., 2013. Changes in weather and climate extremes: phenomenology and empirical approaches. Climatic Change, 121: 15-26.
Milly, P. C. D., Betancourt, J., Falkenmark, M., Hirsch, R. M., Kundzewicz, Z. W., Lettenmaier, D. P., & Stouffer, R. J., 2008. Stationarity is dead: Whither water management? Earth, 4: 20.
Monier, E., & Gao, X., 2015. Climate change impacts on extreme events in the United States: an uncertainty analysis. Climatic Change, 131: 67-81.
Myhre, G., Alterskjær, K., Stjern, C. W., Hodnebrog, Ø., Marelle, L., Samset, B. H., ... & Stohl, A., 2019. Frequency of extreme precipitation increases extensively with event rareness under global warming. Scientific reports, 9: 1-10.
Prein, A. F., & Gobiet, A., 2017. Impacts of uncertainties in European gridded precipitation observations on regional climate analysis. International Journal of Climatology, 37: 305-327.
Rulfová, Z., Buishand, A., Roth, M., & Kyselý, J., 2016. A two-component generalized extreme value distribution for precipitation frequency analysis. Journal of hydrology, 534: 659-668.
Salas, J. D., & Obeysekera, J., 2014. Revisiting the concepts of return period and risk for nonstationary hydrologic extreme events. Journal of Hydrologic Engineering, 19: 554-568.
Soukissian, T. H., & Tsalis, C., 2015. The effect of the generalized extreme value distribution parameter estimation methods in extreme wind speed prediction. Natural Hazards, 78: 1777-1809.
Stedinger, J. R., Vogel, R. M., Foufoula-Georgiou, E., & Maidment, D. R., 1993. Handbook of hydrology. McGraw-Hill, Inc., New York, USA.

Sun, Q., Miao, C., Duan, Q., Ashouri, H., Sorooshian, S., & Hsu, K. L., 2018. A review of global precipitation data sets: Data sources, estimation, and intercomparisons. Reviews of Geophysics, 56: 79-107.

Sun, Q., Zhang, X., Zwiers, F., Westra, S., & Alexander, L. V., 2021. A global, continental, and regional analysis of changes in extreme precipitation. Journal of Climate, 34: 243-258.

Tabari, H., 2020. Climate change impact on flood and extreme precipitation increases with water availability. Scientific reports, 10: 1-10.

Vaghefi, S. A., Keykhai, M., Jahanbakhshi, F., Sheikholeslami, J., Ahmadi, A., Yang, H., & Abbaspour, K. C., 2019. The future of extreme climate in Iran. Scientific reports, 9: 1-11.

Vu, T. M., & Mishra, A. K., 2019. Nonstationary frequency analysis of the recent extreme precipitation events in the United States. Journal of Hydrology, 575: 999-1010.

Wahl, T., Jain, S., Bender, J., Meyers, S. D., & Luther, M. E., 2015. Increasing risk of compound flooding from storm surge and rainfall for major US cities. Nature Climate Change, 5: 1093-1097.

Wehner, M., Gleckler, P., & Lee, J., 2020. Characterization of long period return values of extreme daily temperature and precipitation in the CMIP6 models: Part 1, model evaluation. Weather and Climate Extremes, 30: 100283.

Xavier, A. C. F., Rudke, A. P., Fujita, T., Blain, G. C., de Morais, M. V. B., de Almeida, D. S., ... & Martins, J. A., 2020. Stationary and non- stationary detection of extreme precipitation events and trends of average precipitation from 1980 to 2010 in the Paraná River basin, Brazil. International Journal of Climatology, 40: 1197-1212.

Yan, H., Sun, N., Wigmosta, M., Skaggs, R., Hou, Z., & Leung, L. R., 2019. Next-generation intensity–duration–frequency curves to reduce errors in peak flood design. Journal of Hydrologic Engineering, 24: 04019020.

Yozgatlıgil, C., & Türkeş, M., 2018. Extreme value analysis and forecasting of maximum precipitation amounts in the western Black Sea subregion of Turkey. International Journal of Climatology, 38: 5447-5458.

Zolina, O., Simmer, C., Kapala, A., & Gulev, S., 2005. On the robustness of the estimates of centennial- scale variability in heavy precipitation from station data over Europe. Geophysical Research Letters, 32(14).

Vol.10, No.4, Winter 2022, pp.229-245 ISSN (Print):2322-1682 ISSN (Online):2383-3076

Journal of Geography and Environmental Hazards

RESEARCH ARTICLE DOI: 10.22067/geoeh.2021.67887.1005 Open access

Temperature Hazards Assessment of Khuzestan Province

Mandana Amani [a], Reza Borna [b*], Manijeh Zouhorian [c]

[a] *Department of Geography, Islamic Azad University, Ahvaz Branch, Ahvaz, Iran*
[b] *Department of Geography, Islamic Azad University, Ahvaz Branch, Ahvaz, Iran*
[c] *Department of Geography, Islamic Azad University, Ahvaz Branch, Ahvaz, Iran*

Received: 20 February 2021 ***Revised: 7 April 2021*** ***Accepted: 9 May 2021***

Abstract

In this study, to evaluate the temperature hazards of Khuzestan province, first the matrix of maximum daily temperature data for the warm period of the year of the stations from May 15 to October 6 (156 days) for a total of 24 years (2013-2017) is equivalent to 3744 days was extracted. In order to distinguish hot, very hot, and super hot days, the average and long-term standard deviation of the total station data during the period of 3744 days were calculated and the standardized maximum daily temperature index was calculated for all stations. Days with an index anomaly of less than 1, between 1 to 1.5 and more than 1.5 were designated as hot, very hot and super hot days, respectively. The application of cluster analysis by cumulative stacking method on the temperature data matrix of 3744*1144 and drawing a zoning map using (GIS), showed four temperature risk zones (low risk, medium risk, high risk, and very high risk) in the province: 1) Low risk area: with the northwest-southeast trend of the province, including mountainous and relatively highlands, which are located on the Zagros highlands at the eastern and northeastern extremities; 2) Medium risk zone: low altitude belt adjacent to Zagros mountain range in the southeast, East and North; 3) High-risk area: low-lying central, eastern and western lands of the province; 4) Very high-risk area: most of the central and western regions of Khuzestan.

Keywords: Environmental Hazards, Temperature, Indexing, Cluster Analysis

*. Corresponding Author: Reza Borna E-mail: bornareza@iauahvaz.ac.ir Tel: + 989127930669

How to cite this Article: Amani, M., Borna, R., Zoohorian, M. (2021). Temperature Hazards Assessment of Khuzestan Province. Journal of Geography and Environmental Hazards, 10(4), 243-260.
doi: 10.22067/geoeh.2021.67887.1005

Geography and Environmental Hazards
Volume 10, Issue 4 - Number 40, Winter 2021
https://geoeh.um.ac.ir
https://dx.doi.org/10.22067/geoeh.2021.67887.1005

جغرافیا و مخاطرات محیطی، سال دهم، شمارهٔ چهلم، زمستان ۱٤۰۰ صص ۲٤۵-۲۲۹

مقاله پژوهشی

ارزیابی مخاطرات دمایی استان خوزستان

ماندانا امانی- دانشجوی دکتری آب و هواشناسی، گروه جغرافیا، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران
رضا برنا[1]- دانشیار گروه جغرافیا، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران
منیژه ظهوریان- استادیار گروه جغرافیا، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۲/۲ تاریخ بازنگری: ۱٤۰۰/۱/۱۸ تاریخ تصویب: ۱٤۰۰/۲/۱۹

چکیده

استان خوزستان با داشتن پتانسیل‌های بالای طبیعی و انسانی، چالش‌های محیطی بسیاری پیش روی دارد که مخاطرات اقلیمی و پیامدهای آن چون امواج گرمایی، خشکسالی، سیل و ... از مهم‌ترین مظاهر آن است. در پژوهش حاضر با بهره‌گیری از داده‌های دمای سالانه ۱۱ ایستگاه استان طی دوره زمانی ۲۵ ساله (۲۰۱۷-۱۹۹۳) مخاطرات دمایی خوزستان مورد تجزیه‌وتحلیل قرار گرفت. دمای حداکثر روزانه دوره گرم ایستگاه‌های استان از ۱۵ اردیبهشت‌ماه (۵ مـی) تـا ۱۵ مهرماه (۵ اکتبر) طی یک دوره ۱٥٦ روزه برای هرسال و مجموعاً برای ۲٤ سال معادل روز ۳۷٤٤=(۲٤*۱٥٦) برای هر ایستگاه استخراج شد و ماتریس داده‌های خام دمای حداکثر روزانه آماده‌سازی شد. در ادامه جهت تشخیص روزهای گرم، خیلی گرم و ابر گرم، میانگین و انحراف معیار بلندمدت داده‌های کل ایستگاه‌ها طی دوره ۳۷٤٤ روزه محاسبه و شاخص استاندارد شده دمای حداکثر روزانه برای همه ایستگاه‌ها محاسبه گردید. روزهای با ناهنجاری مثبت شاخص بیش از ۱/۵ تحت عنوان روزهای ابر گرم (بیش از ٤۸/۳ درجه)، روزهای با ناهنجاری شاخص بین ۱ تا ۱/۵ تحت عنوان روزهای خیلی گرم (٤٦/٦ تا ٤۸/۳ درجه) و روزهای با ناهنجاری شاخص کمتر از ۱ تحت عنوان روزهای گرم (٤۳/۲۸ تا ٤٦/٦) تعیین شد. در ادامه اعمال تحلیل خوشه‌ای به روش پایگانی انباشتی بر روی ماتریس داده‌های دمایی ۱۱* ۳۷٤٤ و ترسیم نقشه پهنه‌بندی با استفاده از (GIS)، چهار پهنه مخاطره‌آمیز دمایی (کم مخاطره، مخاطره متوسط، پُرمخاطره و بسیار پُرمخاطره) را در استان

۱ نویسنده مسئول: ۰۹۱۲۷۹۳۰٦٦۹ Email: bornareza@iauahvaz.ac.ir

نحوه ارجاع به این مقاله:

امانی، ماندانا؛ برنا، رضا؛ ظهوریان، منیژه؛ ۱٤۰۰. ارزیابی مخاطرات دمایی استان خوزستان. *جغرافیا و مخاطرات محیطی*. ۱۰(٤). صص ۲٤۵-۲۲۹
https://dx.doi.org/10.22067/geoeh.2021.67887.1005

آشکار نمود. الف) ناحیه کم مخاطره: با روند شمالغربی- جنوبشرقی استان شامل سرزمین‌های کوهستانی و نسبتاً مرتفع که بر روی ارتفاعات زاگرس در منتهی‌الیه شرق و شمالشرقی؛ ب) ناحیه متوسط مخاطره: شامل کمربند کم ارتفاع مجاور رشته‌کوه زاگرس در جنوبشرق؛ شرق و شمالی؛ ج) ناحیه زیاد مخاطره: در برگیرنده سرزمین‌های کم‌ارتفاع مرکزی، شرقی و غربی استان؛ د) ناحیه پرمخاطره: که بیشتر مناطق مرکزی و غربی خوزستان را در بر می‌گیرد.
کلیدواژه‌ها: مخاطرات محیطی، دما، شاخص سازی، تحلیل خوشه‌ای.

۱- مقدمه

زیر بنای مدیریت بحران و سوانح طبیعی بر پیش‌آگاهی قبل از وقوع رخداد بنا نهاده شده است. اتخاذ تمهیدات لازم برای کاهش ریسک مخاطرات اقلیمی همواره موردتوجه بوده است. هرساله مخاطرات مختلفی در ایران رخ می‌دهد. مخاطرات اقلیمی بر اساس چشم‌اندازهای جغرافیایی هر منطقه از کشور، با ریسک مالی و جانی خاصی همراه می‌باشند. در منطقه جنوب غرب ایران (خوزستان) با توجه به موقعیت جغرافیایی و چشم‌انداز طبیعی منطقه، مخاطرات دمایی بیشتر خودنمایی می‌کنند.

دما به‌عنوان یکی از بارزترین و مهم‌ترین عناصر آب‌وهوایی است که پدیده‌های دیگر محیطی، خصوصاً عوامل مؤثر در فعالیت‌های انسانی را کنترل می‌کند و خود نیز در کنترل عوامل دیگر مانند ارتفاع از سطح دریا است. دما به‌عنوان یک پارامتر ترمودینامیک و مهم جوی منشأ بسیاری از تغییرات فیزیکی، شیمیایی و زیست‌محیطی و اقلیمی است. بررسی روند رخداد امواج گرمایی به‌عنوان نمادی از مخاطرات جوی، همزمان با گرمایش جهانی، از چالش‌های زیست‌محیطی قرن حاضر است. به دلیل اهمیت و تأثیر دما بر شرایط محیطی و زیستی و نیز نقش آن در ایجاد و تنوع زیست‌بوم‌ها و کنترل شرایط مطلوب حیات، بررسی تغییرات رفتاری آن در بازه‌های زمانی طولانی‌مدت (روند) و کوتاه‌مدت (فازها و چرخه‌ها) ضروری است.

در مورد مخاطرات دمایی در ایران و جهان پژوهش‌های متعددی انجام شده است. اسمعیل نژاد و همکاران (۱۳۹۲) در بررسی شناسایی امواج گرم ایران مشخص کردند که در مرکز و جنوب ایران رخداد امواج گرم زیاد است. آن‌ها همچنین مشخص نمودند که روند افزایشی در رخداد موج‌های گرمایی در ایران وجود دارد. مجرد و همکاران (۱۳۹٤) با بررسی امواج گرمایی بالای ٤۰ درجه سانتی‌گراد در غرب ایران مشخص کردند که شکل‌گیری فشار حرارتی در سطح زمین در جنوب غرب ایران و مکش هوا گرم بیابان‌های عربستان موجب رخداد گرمایی شده است. فرج زاده (۱۳۹۳) مخاطرات اقلیمی ایران و توزیع زمانی- مکانی آن‌ها را در ایران مشخص نمود. نتایج نشان داد که سوزبادها و امواج گرمایی جزو مخاطرات عمد اقلیمی در مناطق نیمه شرقی کشور محسوب می‌شود. برنا و رضایی (۱۳۹۵) ضمن ارزیابی و تحلیل رویدادهای حدی آب و هوایی استان خوزستان با استفاده از روش من‌کندال

یافتند که تعداد روزهای بالای ۳۰ درجه سانتی‌گراد در همه ایستگاه‌ها روندی افزایشی دارد. روزهای با حداقل دمای ۲۱ درجه سانتی گراد در مناطق جنوبی استان روند افزایشی دارد، اما بخش شمالی بدون روند و بخش شرقی دارای روندی منفی است. میانگین دمای سالانه در جنوب و شرق استان روند افزایشی دارد، اما در شمال استان بدون روند است. اعتمادیان و دوستان (۱۳۹۶) ضمن تحلیل فضایی امواج گرمایی ایران یافتند که بیشینه آستانه دما در نیمه جنوبی و کمینه در نیمه شمالی و نقش ارتفاعات چشمگیر است، اما بیش ترین امواج گرمایی ایران در نیمه غربی و به سمت شرق کاهش دارند. از منطقه کوهپایه داخلی ایران به سمت شمال و جنوب کشور (سواحل) و مناطق مرکزی، این پدیده اقلیمی کاهش دارد. سری‌های زمانی نشان می‌دهد، مجموع فراوانی دهه ای امواج گرما در تمام ماه‌ها روند افزایشی داشته است، با این تفاوت که ماه های دوره سرد سال روند افزایشی معنادارتری و دوره گرم سال معناداری کمتری دارند. فلات ایران طی دهه ۲۰۰۰ بیش‌ترین فراوانی امواج گرما را نسبت به دو دهه دیگر تجربه کرده است.

دوستکامیان و همکاران (۱۳۹۶) در واکاوی و شناسایی تغییرات مکانی پهنه‌های گرم و سرد دمایی ایران یافتند که پهنه‌های گرمای دمایی ایران به سمت دوره‌های اخیر علاوه بر اینکه به لحاظ گستره مکانی به سمت عرض‌های بالاتر (به سمت عرض‌های شمالی و تقریباً ۳/۲ درصد) کشیده شده است نسبت به دوره‌های اخیر ۱/۳ درجه سانتی‌گراد افزایش داشته است. رضایی و همکاران (۱۳۹۷) ضمن تعیین آستانه دمایی موج گرما طی دوره گرم سال بر اساس شاخص‌های جهانی در مناطق مختلف کشور یافتند که مقادیر آستانه دمایی در زمان‌ها و مکان‌های مختلف کشور در دوره گرم سال یکسان نیست و از رنج متفاوتی برخوردار است. در ماه‌های آوریل، می و سپتامبر، این آستانه از تفاوت مکانی بیشتر و در ماه های ژوئن و جولای و آگوست تقریباً از یکنواختی نسبی برخوردار است که علت آن را می‌توان وجود پرفشار جنب‌حاره‌ای آزور دانست که تمام ایران را تا جنوب کوه‌های البرز تحت استیلای خود در می‌آورد و از جهتی وجود این پدیده باعث می‌شود که نقش عوامل محلی مانند ارتفاعات، عرض جغرافیایی در مقدار آستانه دمایی در این ماه‌ها چندان محسوس نباشد و آستانه دمایی از یکپارچگی نسبی برخوردار باشد. بالاترین آستانه دمایی موج گرما در دوره گرم سال مربوط به استان خوزستان و کمترین آستانه مربوط به قسمت‌های از نوار شمالی و شمال غرب کشور است. یاراحمدی و همکاران (۱۳۹۸) در تحلیل آماری بی‌هنجاری‌های دمای حداقل و حداکثر ایران در دوره سرد سال به‌منظور درک اثر تغییر اقلیم بر مناطق مختلف ایران نشان دادند که کمترین میانگین دمای حداقل پاییز (اکتبر، نوامبر، دسامبر) و زمستان (ژانویه، فوریه، مارس) در نیمه غربی و بیشترین آن در نیمه جنوبی رخ داده است. کمترین ضریب تغییرات دمای حداقل پاییز در سواحل شمالی و جنوبی، در زمستان سواحل شمالی و جنوبی و قسمت‌های شرق مشاهده می‌شود. همچنین کمترین دمای حداکثر در پاییز در شمال غرب و غرب و در زمستان در شمال و شمال غرب رخ داده است. بیشترین دمای حداکثر در دو دوره در نیمه جنوبی ثبت شده است که با کمترین ضریب تغییرات هماهنگ است.

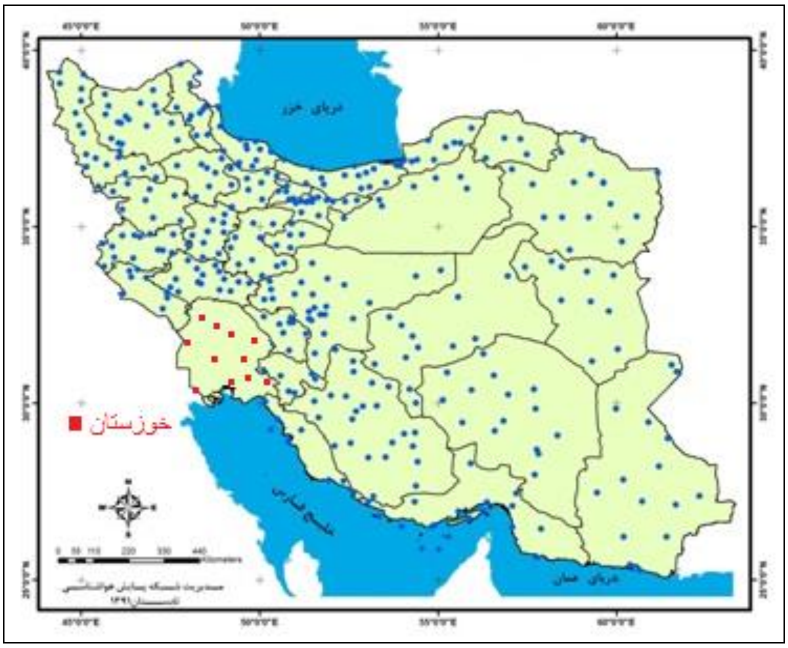
راستکاچی (۲۰۱٦) تغییرات موج‌های گرما و دماهای گرم حدی در آرژانتین را بررسی کرد. نتایج نشان داد که امواج گرمایی یکی از پیامدهای تغییرات اقلیمی می‌باشد و هرساله بر فراوانی و شدت آن افزوده می‌شود. سچرنی و همکاران (۲۰۱٦) در مطالعه‌ای به بررسی امواج گرمایی و سرمایی در سراسر آمریکای جنوبی پرداختند و به این نتیجه رسیدند که بسامد و شدت دوره‌های گرم بخصوص در ۱۰ سال اخیر افزایش یافته است؛ اما تغییرات قابل‌توجهی در امواج سرمایی ایجاد نشده است. شی و همکاران (۲۰۱٦) توزیع زمانی- مکانی رخدادهای اقلیمی پرتکرار را بررسی کردند. ایشان یافتند که با توجه به تغییرات اقلیمی رخداد دماهای گرم و سرد بیشتر می‌شود و انجام راهکارهای مدیریتی و سازگارانه حائز اهمیت می‌باشد. لاتکا و همکاران (۲۰۱۷) امواج گرمایی را از طریق سناریوها تغییر اقلیم در اروپا بررسی کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که تحت شرایط تغییر اقلیم جهانی فراوانی رخدادها گرمایی و مخاطرات دمایی در حال افزایش است.

ازآنجاکه هر نوع برنامه‌ریزی اعم از مدیریت بحران بلایای طبیعی (سیل، یخبندان و...)، پیش‌بینی‌های جوی و نیز توسعه اجتماعی و اقتصادی در کشور نیازمند شناخت دقیق توان‌های محیطی و ازجمله پارامترهای اقلیمی و سیستم‌های ایجاد کننده آن می‌باشد، بررسی مخاطرات دمایی به‌عنوان یکی از پارامترهای مهم و تأثیرگذار اقلیمی، ضروری به نظر می‌رسد و می‌تواند راهگشای برنامه‌ریزی‌های ملّی، منطقه‌ای و محلی باشد.

استان خوزستان به‌واسطه موقعیت جغرافیایی و نیز تنوع محیطی در ساختارهای ارتفاعی و ناهمواری، زمین‌شناسی و هیدرولوژیکی، مستعد رخدادهای حدی جوی مانند توفان‌های تندری، سیل، خشکسالی، بادهای شدید، توفان‌های گردوغبار و امواج گرمایی و ... است که خسارات جانی و مالی و در پی آن مشکلات اقتصادی و اجتماعی فراوانی را باعث شده است. از سوی دیگر با توجه به ویژگی‌های ممتازی چون تراکم جمعیّت بالا، وسعت زیاد، تنوع آب و هوایی و داشتن توان‌های محیطی قابل بهره‌برداری بسیار در بخش‌های کشاورزی، صنعتی و توریستی و نیز موقعیت‌های جدید آمایش فضای سرزمینی، بررسی و شناخت دقیق پتانسیل‌های اقلیمی ازجمله دما جهت برنامه‌ریزی‌های محلی- منطقه‌ای را لازم و ضروری می‌سازد. بر این اساس در پژوهش حاضر با استفاده از روش شاخص سازی، ناهنجاری‌های مثبت دمای حداکثر در گستره فضایی خوزستان مورد واکاوی قرار می‌گرفت و پهنه‌های مخاطره‌آمیز دمایی استان شناسایی گردید تا جهت توسعه همه‌جانبه استان مورد بهره‌برداری برنامه ریزان قرار گیرد. نتایج پژوهش پیشرو در تنظیم برنامه‌های زمانی برای اجرای سیاست‌های کلان انرژی، مدیریت مصر سوخت، گردشگری و سایر سازمان‌های برنامه‌ریزی و مدیریت کشور به‌منظور کاهش مخاطرات مؤثر خواهد بود.

۲- داده‌ها و روش‌شناسی

در این پژوهش به‌منظور پهنه‌بندی مخاطرات دمایی در استان خوزستان، داده‌های بارش ماهانه ۱۱ ایستگاه سینوپتیک منطقه در یک دوره زمانی ۲۵ ساله (۱۹۹۳–۲۰۱۷) موردبررسی قرار گرفت شکل ۱. در ادامه به‌منظور آماده‌سازی و تحلیل داده‌ها مراحل زیر انجام گرفت.



شکل ۱- ایستگاه‌های منتخب استان خوزستان

۱- داده‌های دمای حداکثر روزانه یازده ایستگاه استخراج شد (۱۹۹۳–۲۰۱۵) و نبود و مفقودی داده‌ها از طریق روش‌های آماری میانگین و ... بازسازی گردید و صحت داده‌ها کنترل شد.

۲- به دلیل مشاهده دمای ٤٠ درجه از نیمه دوم اردیبهشت‌ماه در ایستگاه‌های استان خوزستان و نیز کارکردن بر روی مقادیر فرین دما، دمای حداکثر روزانه دوره گرم ایستگاه‌های استان از ۱۵ اردیبهشت‌ماه (۵ می) تا ۱۵ مهرماه (۵ اکتبر) طی یک دوره ١٥٦ روزه برای هرسال و مجموعاً برای ٢٤ سال معادل روز ٣٧٤٤=(٢٤*١٥٦) برای هر ایستگاه استخراج شد و ماتریس داده‌های خام دمای حداکثر روزانه آماده‌سازی شد.

۳- در ادامه جهت تفکیک و تشخیص روزهای گرم، خیلی گرم و اَبر گرم از مشخصات گرایش به مرکز و پراکندگی داده‌ها بر اساس رابطه زیر استفاده شده است.

$$D_{sh} = \sum T_{max} + \delta T_{max} \qquad \text{رابطه ۱-}$$

Dsh عبارت است از روز ابرگرم

Σ T_max عبارت است از میانگین دماهای حداکثر کل ایستگاه‌های موردمطالعه برای ۳۷٤٤ روز

δ_Tmax عبارت است از انحراف معیار بلندمدت (دوره ۳۷٤٤ روزه) داده‌های دمای حداکثر کل ایستگاه‌ها

٤- در ادامه ابتدا میانگین دمای حداکثر ایستگاه‌های استان برای هرروز تقویمی محاسبه شد. برای تشخیص روز اَبرگرم، میانگین و انحراف معیار بلندمدت داده‌های دمای حداکثر کل ایستگاه‌ها طی دوره ۳۷٤٤ روزه محاسبه شد. بر این اساس روز گرم و خیلی گرم به روزهای حاصل جمع میانگین بلندمدت (٤۳/۲٦) و انحراف معیار بلندمدت (۳/۳۷) دمای حداکثر کل ایستگاه‌ها طی دوره ۳۷٤٤ روزه گفته می‌شود (٤٦/٦۳=٤۳/۲٦+۳/۳۷) و عدد آستانه ٤٦/٦۳ به‌عنوان ملاک رخداد روز گرم و خیلی گرم در هر یک از ایستگاه‌های استان مورداستفاده قرار گرفت.

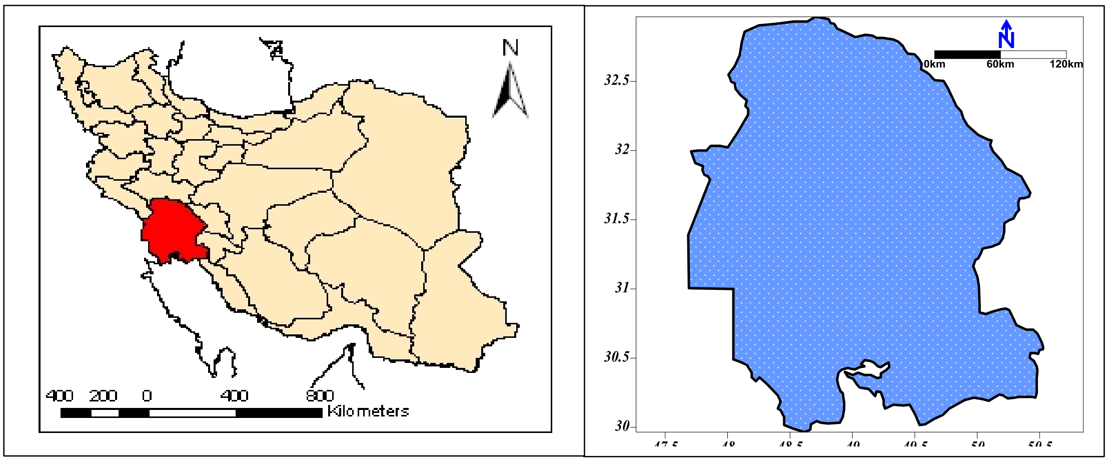
۵- نهایتاً شاخص استاندارد شده دمای حداکثر روزانه برای همه ایستگاه های استان محاسبه گردید. روزهای با ناهنجاری مثبت شاخص استاندارد بیش از ۱/۵ تحت عنوان روزهای اَبرَ گرم (بیش از ٤۸/۳ درجه)، روزهای ناهنجاری مثبت شاخص استاندارد بین ۱ تا ۱/۵ تحت عنوان روزهای خیلی گرم (٤٦/٦ تا ٤۸/۳ درجه) و روزهای با ناهنجاری مثبت شاخص استاندارد کمتر از ۱ تحت عنوان روزهای گرم (٤۳/۲۸ تا ٤٦/٦) نام‌گذاری شدند.

٦- نقشه‌های پهنه‌بندی روزهای گرم، خیلی گرم و اَبرَ گرم استان خوزستان به‌عنوان یکی از مخاطرات اقلیمی مهم ترسیم و تفسیر گردید. برای پهنه‌بندی استان از نظر مخاطرات دمایی تحلیل خوشه‌ای به روش پایگانی انباشتی بر روی ماتریس داده‌های دمایی ۱۱* ۳۷٤٤ انجام شد و با استفاده از قابلیت‌های سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) چهار پهنه مخاطره‌آمیز دمایی (کم مخاطره، دارای مخاطره متوسط، پُرمخاطره و بسیار پُرمخاطره) در استان شناسایی و مورد تحلیل فضایی و مکانی قرار گرفت.

۲-۱- موقعیت منطقه مطالعاتی

استان خوزستان از نظر آب‌وهوایی در یک منطقه حد واسط (بین ارتفاعات زاگرس در شرق و شمال، بیابان عربستان و دریای سرخ در جنوب غربی و خلیج‌فارس در جنوب) قرارگرفته است. استان خوزستان به دلیل شرایط خاص جغرافیایی یعنی موقعیتش در منطقه حاره یا کمربند پرفشار جنب حاره، در طول سال مورد هجوم توده‌های هوایی و سامانه‌های سینوپتیکی با منشأ مختلف و خصوصیات فیزیکی گوناگون قرار می‌گیرد که با ورود به منطقه، موجب تنوع و تغییر در عناصر آب و هوایی استان ازجمله دما می‌گردند. استان خوزستان با مساحت ٦٤۰۰۰ کیلومتر مربّع در جنوب غربی ایران در محدوده عرض‌های جغرافیایی ۳۰ تا ۳۳ درجه شمالی و طول‌های جغرافیایی ٤۷ تا ۵۰ درجه شرقی در جوار خلیج فارس و اروندرود قرار دارد. شهر اهواز مرکز استان خوزستان است. خوزستان از شمال به استان لرستان، از شمال شرقی و شرق به استان چهارمحال و بختیاری، از شمال غربی به استان ایلام، از شرق و جنوب شرقی به استان کهگیلویه و بویراحمد، از جنوب به خلیج‌فارس و از غرب به کشور عراق محدود می‌شود.

این استان با ٤ درصد از وسعت ایران وسیع ترین استان در بخش نیمه غربی کشور است. مناطق کوهستانی اسـتان غالبـاً در بخش‌های شرقی و شمالی متمرکزند و مناطق غربی و جنوبی استان را عموماً دشت‌ها و جلگه‌ها می‌پوشـانند شـکل ۲.



شکل ۲- موقعیت جغرافیایی استان خوزستان

استان خوزستان به لحاظ وسعت زیاد (٤ درصد مساحت کشور) از شرایط آب وهوایی متنـوعی برخـوردار اسـت. قسمت‌های جنوبی و غربی استان، نیمه‌خشک با زمستان‌های ملایم و تابستان‌های گـرم و طـولانی اسـت. درحـالی‌کـه بخش‌های شمالی و مناطق کوهستانی دارای زمستان‌های سرد و تابستان‌های ملایم می‌باشـند. اسـتان خوزسـتان تحـت تأثیر کم‌فشارهای باران‌زای مدیترانه‌ای و در بخش جنوبی متأثر از کم‌فشـارهای سـودانی و دریـای سـرخ اسـت کـه از اواسط مهرماه تا اواخر اردیبهشت به‌تناوب از منطقه عبور می‌نمایند (استان شناسی خوزستان،۱۳۹۰:۱۲).

میانگین بارندگی در جنوب غربی استان کمتر از ۱۵۰ میلی‌متر، ناحیه اهواز بیش از ۲۰۰ میلی‌متر، دامنه‌هـای شـمالی مانند دزفول و مسجدسلیمان بیش از ۳۰۰ میلی‌متر و به طرف ارتفاعات شمال شرقی استان بـه‌تـدریج افـزایش یافتـه و تقریباً به ۱۰۰۰ میلی متر می‌رسد. خوزستان از نظر دمایی گرم است میـانگین درجـه حـرارت آن در تیرمـاه حـدود ۳۰ درجه سانتی‌گراد و در دی‌ماه حدود ۱۰ درجه سانتی‌گراد است (قاسمی و همکاران،۱۳۸۳).

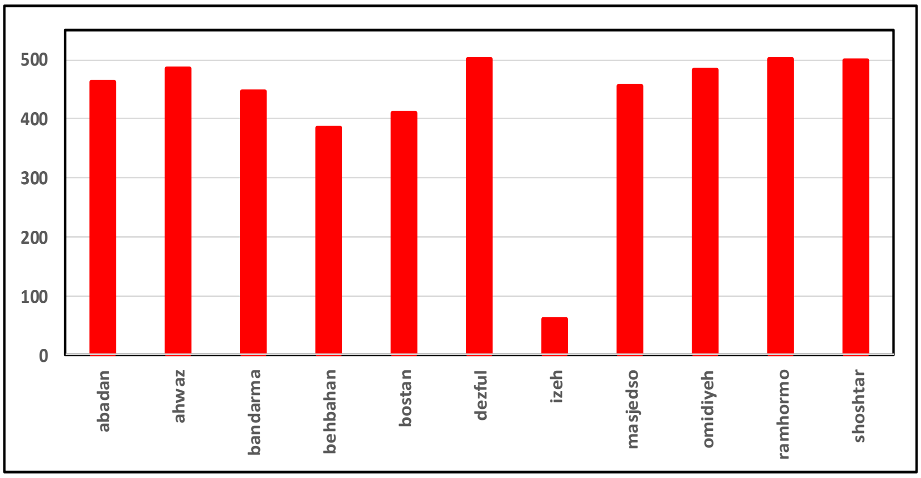
٤- نتایج و بحث

دما به‌عنوان یک پارامتر ترمودینامیک و مهم جوی منشأ بسیاری از تغییرات فیزیکی، شـیمیایی و زیسـت‌محیطـی و اقلیمی است. روند رخداد مخاطرات دمایی به‌عنوان نمادی از مخاطرات جوی، همزمان بـا گرمـایش جهـانی، یکـی از چالش‌های زیست‌محیطی قرن حاضر است. در همین راستا جهت ارزیـابی مخـاطرات دمـایی اسـتان خوزسـتان ابتـدا روزهای گرم و مقادیر حدی دما در ایستگاه‌های منتخب استان خوزستان محاسبه و استخراج گردید

جدول ۱- محاسبات روزهای گرم و مقادیر حدی دما در ایستگاه‌های منتخب استان خوزستان

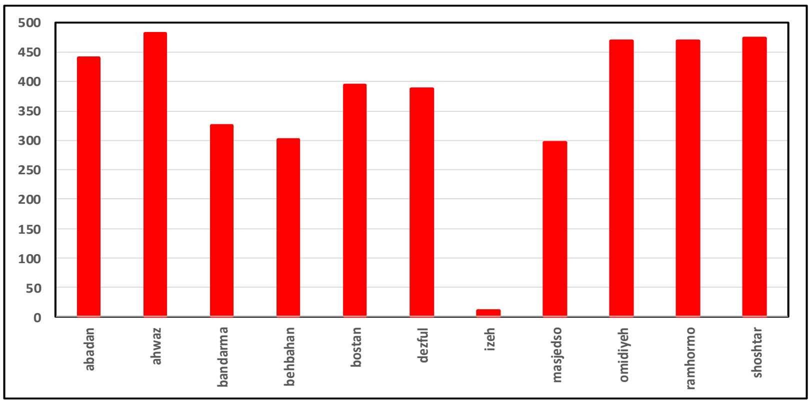
		abadan	ahwaz	bandarma	behbahan	bostan	dezful	izeh	masjedso	omidiyeh	ramhormo	shoshtar
	49-50	156	102	48	22	115	54	0	36	147	83	91
	48-49	271	251	118	69	227	117	0	66	200	199	165
	47-48	416	364	215	144	358	249	2	163	375	298	324
	46-47	440	482	326	302	394	387	11	297	469	470	474
	45-46	462	486	446	384	409	502	59	455	483	501	500
	44-45	388	421	421	409	436	404	139	439	456	448	423
	43-44	405	367	400	474	339	369	219	435	367	400	353
	42-43	282	323	359	457	359	277	390	392	334	347	305
	41-42	249	237	319	397	274	275	452	325	249	259	293
	40-41	168	203	303	296	197	217	435	288	210	211	208
	39-40	127	152	235	238	163	199	384	217	140	157	183
دمای بیش از 48/3	S s max > 1.5	459	347	161	79	364	177	0	104	378	269	255
دمای بین48/3 تا 46/6	S s max 1-1.5	758	714	443	366	671	521	8	368	704	650	648
دمای بین43/28 تا 46/6	S s max 0-1	882	1063	1116	1266	1001	1037	378	1354	1024	1207	1023

بررسی دسته‌بندی دمای حداکثر ایستگاه‌های ۱۱ گانه منتخب خوزستان برای دماهای بیش از ٤٠ درجه تا بالای ٥٠ درجه در جدول ۱ نشان داد که ایستگاه‌های جنوبی و غربی استان از شرایط دمایی سخت‌تری برخوردار هستند. مجموع رخدادهای دماهای فرین در ایستگاه‌های آبادان، اهواز، بستان و امیدیه بیشتر از سایر ایستگاه‌ها است. ایستگاه‌های شرقی و شمالی از شرایط متعادل‌تری برخوردار هستند. با توجه به جدول بالا می‌توان نتیجه گرفت که ایستگاه ایذه خنک‌ترین و ایستگاه آبادان گرم‌ترین بوده‌اند.



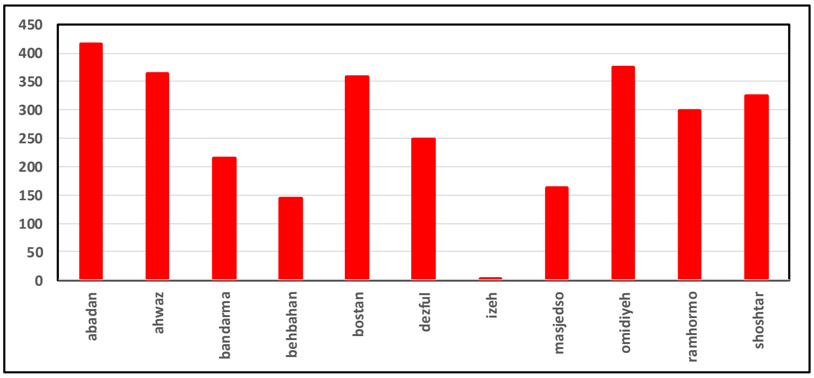
شکل ۳- تعداد روزهای با دمای ٤٦-٤٥ درجه در ایستگاه‌های منتخب استان خوزستان

بررسی تعداد روزهای با دمای ٤٦-٤٥ درجه در ایستگاه‌های منتخب خوزستان آشکار نمود که رکورددار این آستانه دمایی ایستگاه‌های دزفول، شوشتر و رامهرمز با بیش از ٥٠٠ روز دمای ٤٦-٤٥ درجه می‌باشند. ایستگاه ایذه با ٥٩ روز کمترین تعداد را به خود اختصاص داده است شکل ۳.



شکل ٤- تعداد روزهای با دمای ٤٧-٤٦ درجه در ایستگاه‌های منتخب استان خوزستان

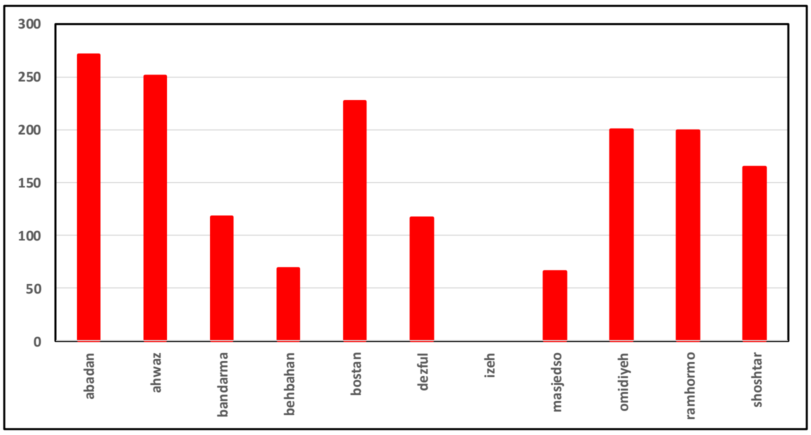
بررسی شکل ٤ نشان داد که تعداد روزهای با آستانه دمای ٤٧-٤٦ درجه در ایستگاه‌های اهواز، شوشتر، امیدیه و رامهرمز بیش از ٤٧٠ روز می‌باشد. ایستگاه‌های مرتفع استان شامل ایذه، مسجدسلیمان؛ بهبهان و ایستگاه ماهشهر به دلیل نزدیکی به دریا و تأثیر عامل رطوبتی تعداد روزهای کمتری را تجربه کرده‌اند. ایستگاه ایذه با ١١ روز کمترین تعداد را به خود اختصاص داده است. در این آستانه دمایی نسبت به دماهای کمتر از ٤٦ درجه تفاوت کمی و کیفی بیشتری مشاهده می‌شود؛ به‌عبارت‌دیگر از تجانس و همگنی دمایی میان ایستگاه‌های استان خوزستان کاسته شده است.



شکل ٥- تعداد روزهای با دمای ٤٨-٤٧ درجه در ایستگاه‌های منتخب استان خوزستان

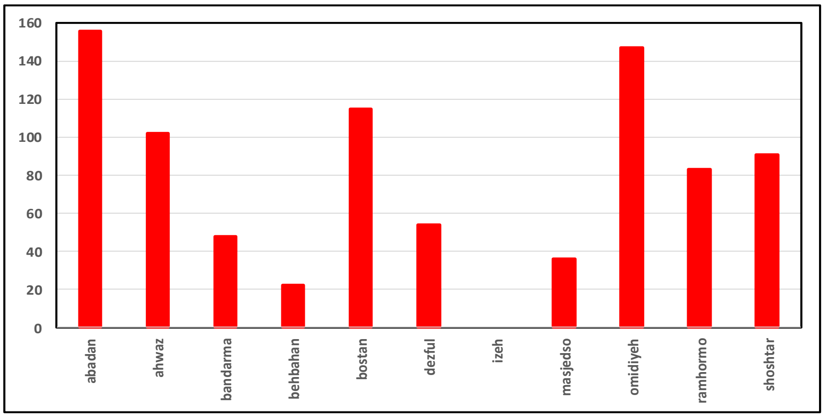
بررسی شکل ٥ نشان داد که با رسیدن به دماهای بالای ٤٧ درجه تفاوت نسبتاً زیادی میان ایستگاه‌های خوزستان مشاهده می‌شود به عبارتی تفاوت‌های کمی آشکارتر می‌شوند به‌گونه‌ای که آبادان با ٤١٦ روز بیشترین و ایذه با ٢ روز کمترین مقادیر را به خود اختصاص داده‌اند. ایستگاه‌های بهبهان، دزفول و مسجدسلیمان را با کمتر از ٢٥٠ روز به

دلیل واقع شدن در پای کوه‌های زاگرس را می‌توان در یک گروه قرار داد. ایستگاه ماهشهر هم به‌واسطه ساحلی بودن و قرار گرفتن در محدوده نفوذ و تأثیرپذیری رطوبت خلیج‌فارس حدود ۲۲۰ روز دمای ٤۸–٤۷ درجه دارد.



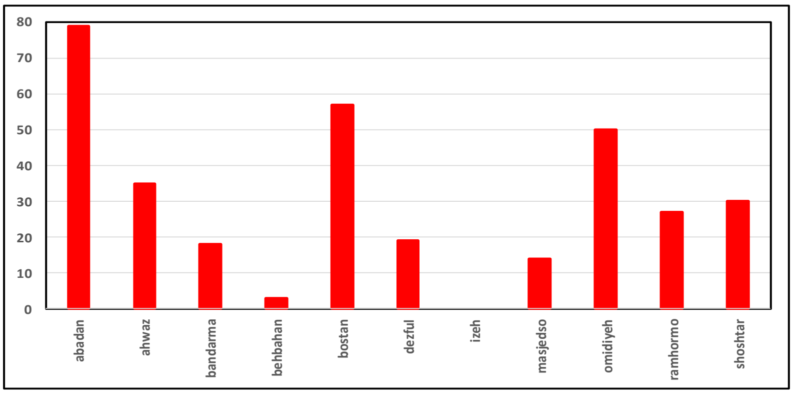
شکل ٦– تعداد روزهای با دمای ٤۹–٤۸ درجه در ایستگاه‌های منتخب استان خوزستان

بررسی شکل ٦ آشکار می‌سازد که در آستانه دمایی ٤۹–٤۸ درجه، ایستگاه‌های جنوبغربی استان شامل آبادان و اهواز با بیش از ۲٥۰ روز و بستان با بیشتر از ۲۲٥ روز، گرم‌ترین شرایط را داشته‌اند. ایستگاه‌های شوشتر، امیدیه و رامهرمز با کمتر از ۲۰۰ روز در جایگاه بعدی قرار دارند. ایستگاه‌های ماهشهر و دزفول با کمتر از ۱۲۰ روز در رتبه سوم قرار می‌گیرند. در ایستگاه‌های واقع در پای کوه‌های زاگرس شامل بهبهان و مسجدسلیمان کاهش محسوسی در شرایط دمایی مشاهده می‌شود به‌گونه‌ای که کمتر از ۷٥ روز این آستانه دمایی را تجربه کرده‌اند. در ایستگاه ایذه در طول دوره آماری دمای بالای ٤۰ درجه را مشاهده نشده است. به نظر می‌رسد در این آستانه دمایی بیشترین ناهمگونی در ایستگاه‌های استان دیده می‌شود.



شکل ۷– تعداد روزهای با دمای ٥۰–٤۹ درجه در ایستگاه‌های منتخب استان خوزستان

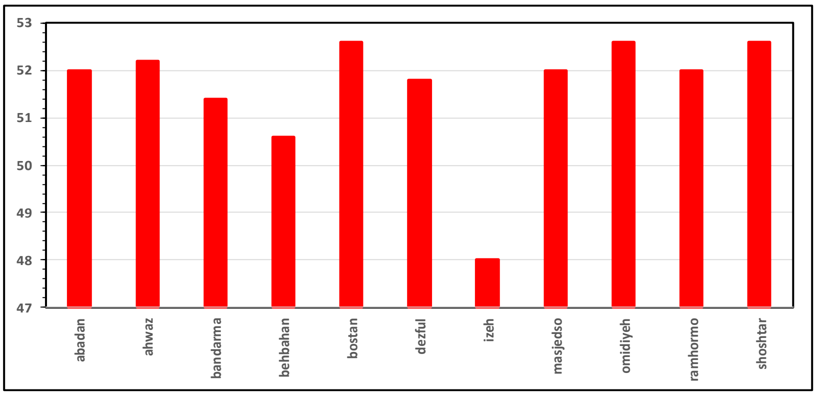
با رسیدن به آستانه دمایی ۵۰–۴۹ درجه تغییرات محسوسی در گروه‌بندی ایستگاه‌های استان مشاهده می‌شود. ایستگاه‌های آبادان و امیدیه در جنوبغرب و جنوبشرق استان با بیش از ۱٤۰ روز گرم‌ترین شرایط را داشته‌اند. ایستگاه‌های اهواز و بستان با بیشتر از ۱۰۰ روز در جایگاه بعدی قرار دارند. ایستگاه‌های ماهشهر و دزفول با کمتر از ٦۰ روز در رتبه سوم قرار می‌گیرند. ایستگاه‌های واقع در پای کوه‌های زاگرس شامل بهبهان و مسجدسلیمان کاهش محسوسی در این آستانه دمایی دارند؛ به‌گونه‌ای که کمتر از ٤۰ روز دمای ۵۰–٤۹ درجه را تجربه کرده‌اند شکل ۷.



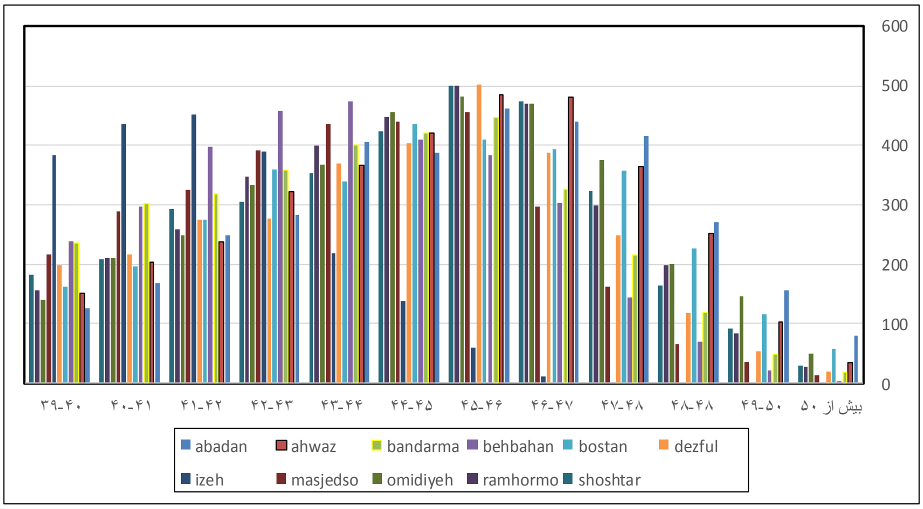
شکل ۸- تعداد روزهای با دمای بیش از ۵۰ درجه در ایستگاه‌های منتخب استان خوزستان

بررسی شکل ۸ آشکار می‌سازد که در آستانه دمایی بیش از ۵۰ درجه ایستگاه آبادان با ۷۸ روز رکورددار گرم‌ترین منطقه استان است. ایستگاه‌های بستان و امیدیه با بیش از ۵۰ روز در جایگاه دوم قرار دارند. ایستگاه‌های مسجدسلیمان، ماهشهر و دزفول با کمتر از ۱۲۰ روز در رتبه بعدی قرار می‌گیرند.

بررسی شکل ۹ آشکار نمود که طی دوره آماری خنک‌ترین ایستگاه استان ایذه است. ایستگاه آبادان علیرغم گرم بودن دمای بالای ۵۲ درجه را تجربه نکرده است. ایستگاه‌های شوشتر، بستان و امیدیه دمای بالای ۵۲ درجه را تجربه نموده‌اند.

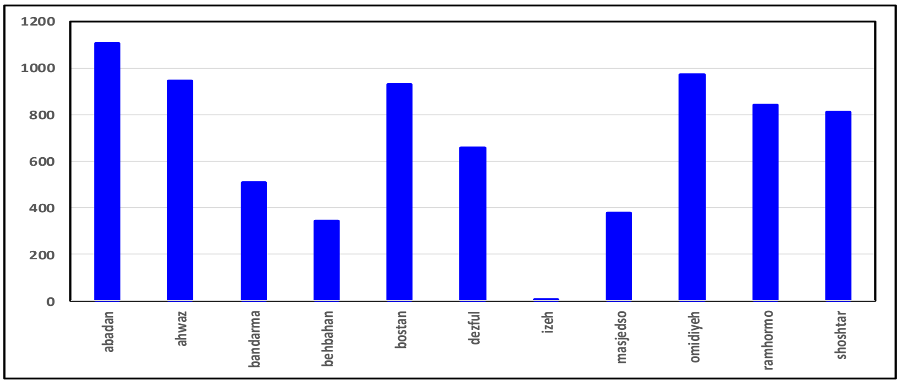


شکل ۹- دمای حداکثر مشاهده‌شده در ایستگاه‌های منتخب در دوره آماری (۲۰۱۵-۱۹۹۳)

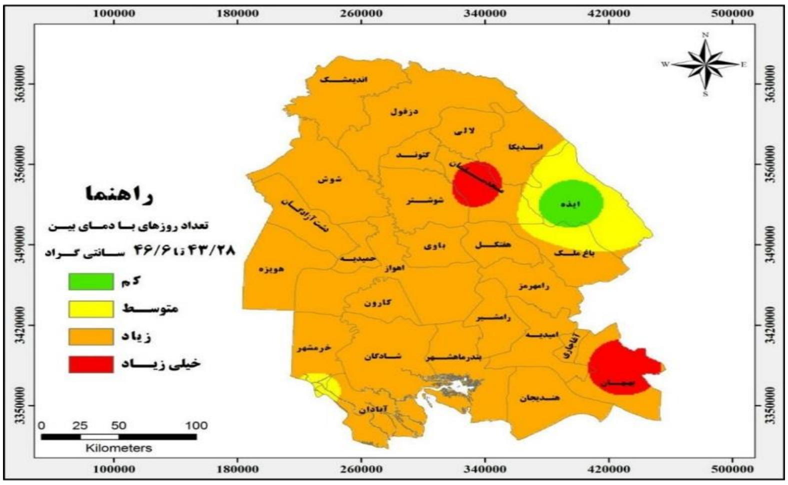


شکل ۱۰- فراوانی تعداد روزهای گرم ایستگاه‌های منتخب استان خوزستان در آستانه‌های مختلف

بررسی شکل ۱۰ نشان می‌دهد که در میان روزهای بالاتر از ٤٠ درجه، بیشترین فراوانی مشاهده شده در ایستگاه‌های خوزستان متعلق به آستانه‌های دمایی ٤٦- ٤٥ درجه و ٤٧ -٤٦ درجه است. با رفتن به دماهای بالاتر و پایین‌تر از فراوانی تعداد روزها کاسته می‌شود. تحلیل نقشه روزهای با ناهنجاری مثبت شاخص استاندارد کمتر از ۱، تحت عنوان روزهای گرم (دمای ٤٣/٢٨ تا ٤٦/٦ درجه) استان خوزستان چهار پهنه با پراکندگی فضایی و مساحت متفاوت را نشان داد. بخش کوچکی از استان شامل شهرستان‌های بهبهان و مسجدسلیمان در گروه خیلی زیاد قرار گرفته‌اند. شرق استان شامل شهرستان‌های ایذه، اندیکا و باغملک در گروه کم و متوسط می‌باشند. باقیمانده مساحت استان در گروه زیاد واقع شده است. در آستانه دمایی گرم به‌جز بخش‌های پایکوهی و کمی ناهموار استان، باقیمانده رفتار نسبت همگونی را نشان می‌دهد شکل‌های ۱۱ و ۱۲.

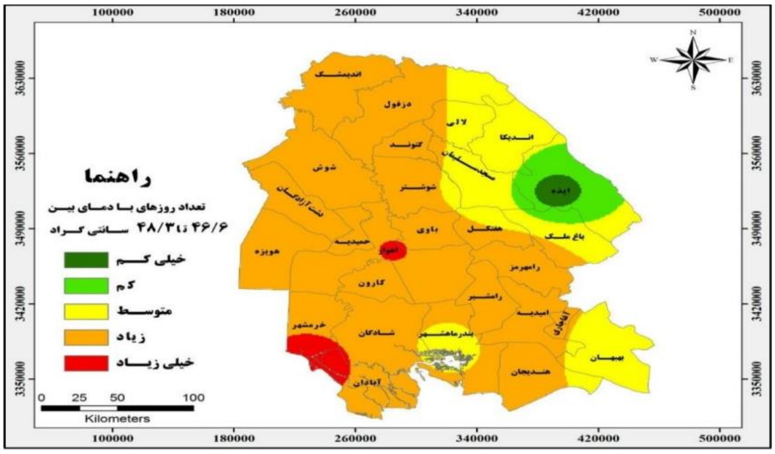


شکل ۱۱- تعداد روزهای با ناهنجاری مثبت شاخص استاندارد کمتر از ۱، تحت عنوان روزهای گرم (دمای ٤٣/٢٨ تا ٤٦/٦ درجه) استان خوزستان

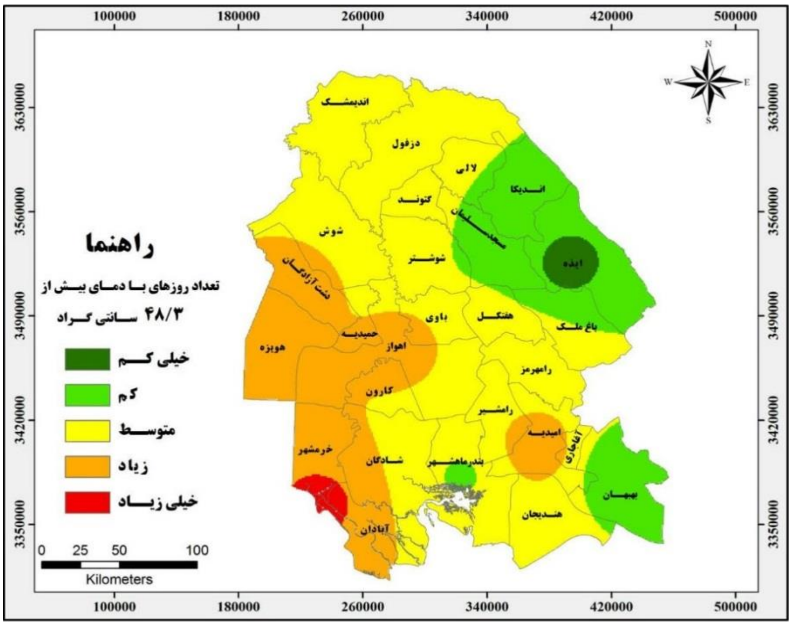


شکل ۱۲- نقشه روزهای با ناهنجاری مثبت شاخص استاندارد کمتر از ۱، با عنوان روزهای گرم (دمای ٤۳/۲۸ تا ٦/ ٤٦ درجه) استان خوزستان

بررسی شکل ۱۳ ترسیم نقشه روزهایی که ناهنجاری مثبت شاخص استاندارد آن ها بین ۱ تا ۱/۵ انحراف معیار بالاتر از میانگین بود و تحت عنوان روزهای خیلی گرم (٤٦/٦ تا ٤٨/۳ درجه) نام گذاری شده اند پنج پهنه مخاطره خیز دمایی با پراکندگی فضایی و گستردگی مکانی متفاوت را در استان خوزستان آشکار نمود. بر این اساس بخش کوچکی از استان شامل شهرستان‌های آبادان و اهواز در گروه خیلی زیاد قرار گرفته‌اند. مناطقی از شرق و شمالشرق، جنوبشرق (بهبهان) بخشی از جنوب (ماهشهر) در گروه متوسط می‌باشند. مناطق پیرامونی ایذه در آستانه مخاطره ای کم و خیلی کم قرار گرفته است. باقیمانده مساحت استان در گروه زیاد واقع شده است. در آستانه دمایی خیلی گرم تأثیر عامل ناهمواری، دوری و نزدیکی به دریا و عرض جغرافیایی در رفتار مکانی کاملاً محسوس است.

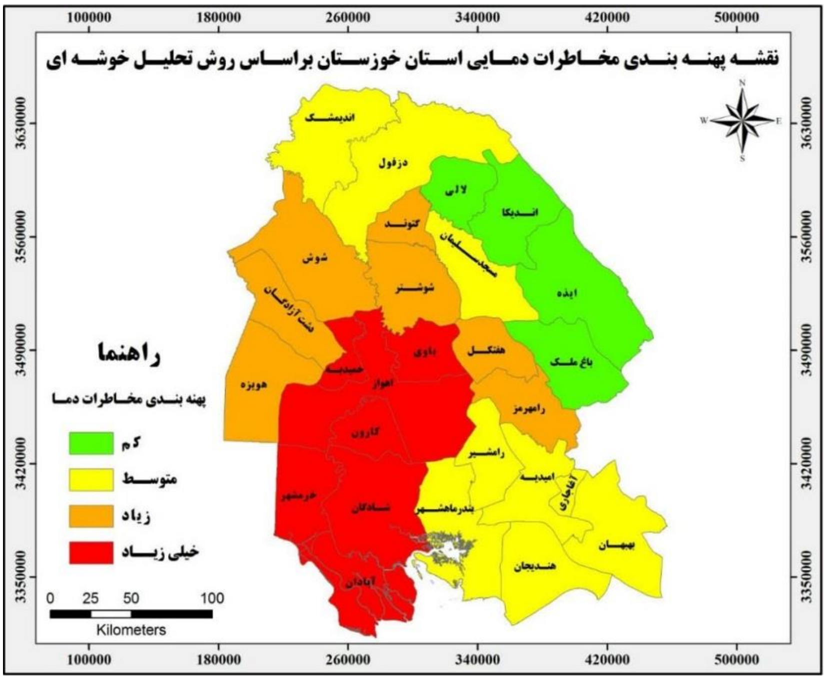


شکل ۱۳- نقشه روزهای ناهنجاری مثبت شاخص استاندارد بین ۱ تا ۱/۵ با عنوان روزهای خیلی گرم (٤٦/٦ تا ٤٨/۳ درجه) استان خوزستان



شکل ١٤- نقشه روزهای با ناهنجاری مثبت شاخص استاندارد بیش از ۱/۵ تحت عنوان روزهای ابر گرم (بیش از ٤۸/۳ درجه) استان خوزستان

بررسی شکل ١٤ ترسیم نقشه روزهایی که ناهنجاری مثبت شاخص استاندارد آن‌ها بیش از ۱/۵ انحراف معیار بالاتر از میانگین بود و تحت عنوان روزهای ابر گرم (بیش از ٤۸/۳ درجه) نام‌گذاری شده‌اند پنج پهنه مخاطره خیز دمایی با پراکندگی فضایی و گستردگی مکانی متفاوت را در استان خوزستان آشکار نمود. در این آستانه دمایی، ایستگاه‌های ماهشهر و بهبهان در کنار بخش‌هایی از شرق و شمال شرق استان شامل شهرستان‌های باغملک، ایذه؛ مسجدسلیمان و اندیکا در گروه مخاطره‌ای کم و خیلی کم قرار دارند. بخشی در پیرامون ایستگاه آبادان در گروه خیلی زیاد قرار دارد. غرب استان شامل بخش‌هایی از شهرستان‌های اهواز، کارون، شادگان، دشت آزادگان، حمیدیه، هویزه و خرمشهر در گروه مخاطره‌ای زیاد واقع شده‌اند. باقیمانده مساحت استان که عمدتاً شهرستان‌های مرکزی را از شمال تا جنوب در بر می‌گیرند؛ در گروه متوسط واقع شده است. در آستانه دمایی با افزایش انحراف معیار بالاتر از میانگین، رفتار فضایی و مکانی پهنه‌های هم مخاطره ناهمگونی بیشتری را آشکار می‌سازند.



شکل ۱۵- نقشه پهنه‌بندی مخاطرات دمایی استان خوزستان بر اساس روش تحلیل خوشه‌ای

بررسی شکل ۱۵ نقشه پهنه‌بندی مخاطرات دمایی در استان خوزستان چهار پهنـه مخـاطره‌آمیـز را در قالـب چهـار رده کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد نشان می‌دهد.

کم مخاطره: این ناحیه با روند شمالغربی- جنوبشرقی در منتهی‌الیه شرق و شمالشرقی اسـتان (مجـاور چهارمحـال) مشاهده می‌شود. این ناحیه دمایی را می‌توان نماینده مناطق کوهستانی استان بشمار آورد که سرزمین‌هـای کوهسـتانی و نسبتاً مرتفع، شامل شهرستان‌های لالی، اندیکا، باغملـک و ایـذه در شـرق و شـمال شـرقی اسـتان بـر روی ارتفاعـات زاگرس گسترش یافته است.

متوسط مخاطره: این ناحیه شامل کمربند کم ارتفاع مجاور رشته‌کوه زاگرس در جنوبشـرق؛ شـرق و شـمال اسـتان شامل شهرستان‌های، امیدیه، رامهرمز، مسجدسلیمان، اندیمشک، دزفول، بهبهان، رامشیر، هندیجان و شهرسـتان سـاحلی ماهشهر است. این ناحیه را می‌توان نماینده مناطق پایکوهی استان بشمار آورد.

زیاد مخاطره: این ناحیه را می‌توان نماینده سرزمین‌های کم‌ارتفاع استان دانست که شـامل شهرسـتان‌هـای هفتگـل، رامهرمز، گتوند در مرکز و شرق و شهرستان‌های شوش، دشت آزادگان و هویزه در غرب استان است.

بسیار پُرمخاطره: بیشترین مخاطرات دمایی در بخش مرکزی و غربی استان به وقـوع پیوسـته اسـت. ناحیـه بسـیار پرمخاطره در شهرستان‌های مرکزی و جنوبغربی شامل، آبادان، خرمشـهر، اهـواز، شـادگان، کـارون، حمیدیـه و بـاوی گسترش یافته است.

در حقیقت این ناحیه را باید بخش حاره‌ای استان به شمار آورد. کمبود ابر، جو سرشار از رطوبت و بادهای گرم جنوبی از علل گرمی شدید هوا در این ناحیه است. در بخش‌های جنوبی رطوبت جوی حاصل از خلیج‌فارس نیز در دمای این ناحیه مؤثر است.

۵- جمع‌بندی

بررسی مخاطره‌آمیزی دمای استان خوزستان آشکار نمود که وقوع مخاطرات دمایی یکی از ویژگی‌های بارز مناطق خشک و خوزستان می‌باشد که تحت تأثیر عوامل جغرافیایی مانند همسایگی با توده آبی خلیج‌فارس، عرض جغرافیایی متغیر و پراکندگی ناهمواری و نیز ناهمگونی سامانه‌های فشار ورودی در فصول مختلف از تنوع مکانی نسبتاً بالایی برخوردار است. بررسی نمودارها و نقشه‌های حاصل نشان داد که با رسیدن به آستانه‌های دمایی بالاتر رفتار فضایی و مکانی پهنه‌های هم مخاطره ناهمگونی بیشتری را آشکار می‌سازند. کم مخاطره‌ترین پهنه دمایی استان با روند شمالغربی- جنوبشرقی در منتهی‌الیه شرق و شمالشرقی استان (مجاور چهارمحال) بر روی ارتفاعات زاگرس گسترش یافته است و پرمخاطره‌ترین پهنه دمایی خوزستان در شهرستان‌هایی مرکزی و جنوبغربی استان شامل، آبادان، خرمشهر، اهواز، شادگان، کارون، حمیدیه و باوی مشاهده می‌شود. نتایج این تحقیق دلالت بر این حقیقت علمی دارد که جهت شاخت و تحلیل دقیق‌تر مخاطرات دمایی استان خوزستان باید از شاخص‌های مختلف استفاده کرد؛ زیرا این شاخص‌ها مکمل همدیگر هستند و تنها با استفاده از یک شاخص نمی‌توان به نتایج دقیقی در این زمینه دست یافت.

کتابنامه

استان‌شناسی خوزستان؛ ۱۳۹۹. دفتر برنامه‌ریزی و تألیف کتاب‌های درسی. چاپ ۱۳۹۹.

اسمعیل نژاد مرتضی؛ خسروی، محمود؛ علیجانی بهلول، مسعودیان، سیدابوالفضل؛ ۱۳۹۲. شناسایی امواج گرم ایران. *مجله جغرافیا و توسعه*. زمستان. دوره ۱۱ شماره پیاپی ۳۳ از صفحه ۳۹ تا صفحه ۵۳.

اعتمادیان، الهه؛ دوستان، رضا؛ ۱۳۹٦. تحلیل فضایی امواج گرمایی ایران. *تحلیل فضایی مخاطرات محیطی*. سال چهارم. شماره ۱. صص ۱۷-۳۲.

باعقیده، محمد؛ احمدی، حمزه؛ صفرزایی، نعمت اله؛ ۱۳۹۵. ارزیابی مخاطرات دمایی منطقه جنوب شرق ایران. *فصلنامه علمی- پژوهشی امداد و نجات*. سال هشتم. شماره ٤. صص ۱٦-۱.

برنا، رضا؛ حسن‌زاده شاه رضایی، الناز؛ ۱۳۹۵. ارزیابی و تحلیل رویدادهای حدی آب و هوایی استان خوزستان با استفاده از روش من‌کندال. *فصلنامه جغرافیا (برنامه‌ریزی منطقه‌ای)*. دوره ٦. شماره ۳ - شماره پیاپی ۲۳. صفحه ۷-۱۸.

دوستکامیان؛ مهدی؛ حقیقی، اسماعیل؛ بور بوری، رضا؛ ۱۳۹٦. واکاوی و شناسایی تغییرات مکانی پهنه‌های گرم و سرد دمایی ایران طی دوره‌های مختلف. *مجله جغرافیا و مخاطرات طبیعی*. شماره ۲۲. صص ۱٦۲-۱٤۱.

رضایی، فرشته؛ احمدی، محمود؛ شکیبا، علیرضا؛ ۱۳۹۷۱. تعیین آستانه دمایی موج گرما طی دوره گرم سال بر اساس شاخص‌های جهانی در مناطق مختلف کشور. *جغرافیا و مخاطرات محیطی*. شماره ۲٦. صص ۱۳۱-۱۱۵.

سازمان هواشناسی کشور؛ مرکز خدمات ماشینی. *آمار روزانه عناصر اقلیمی ایستگاه‌های سینوپتیک و کلیماتولوژی در سال‌های ۱۹۹۳-۲۰۱۷ میلادی*. تهران.

علیجانی، بهلول؛ ۱۳۹۸. *آب‌وهوای ایران*. انتشارات دانشگاه پیام نور. چاپ دهم.

علیجانی، بهلول؛ کاویانی، محمدرضا؛ ۱۳۸٦. *مبانی آب و هواشناسی*. انتشارات سمت. چاپ یازدهم.

مجرد، فیروز؛ معصوم پور، جعفر؛ رستمی، طیبه؛ ۱۳۹٤. تحلیل آماری- همدیدی امواج گرمایی بالای ٤۰ درجهٔ سلسیوس در غرب ایران. *جغرافیا و مخاطرات محیطی*. شماره سیزدهم. صص ۵۷-٤۱.

یاراحمدی، الهام؛ کرم پور، مصطفی؛ قائمی، هوشنگ؛ مرادی، محمد؛ نصیری، بهروز؛ ۱۳۹۸. تحلیل آماری بی‌هنجاری‌های دمای حداقل و حداکثر ایران در دوره سرد سال به‌منظور درک اثر تغییر اقلیم بر مناطق مختلف ایران. *جغرافیا و مخاطرات محیطی*. شماره ۲۹. صص ۱۷۱-۱۹۷.

Ceccherini, G., Russo, S., Ameztoy, I., Patricia Romero, C., Carmona-Moreno, C., 2016. Magnitude and frequency of heat and cold waves in recent decades: the case of South America. Nat. Hazards Earth Syst, 16: 821–831.

Radinović, D., & Ćurić, M., 2009. Criteria for heat and cold wave duration indexes. Theoretical and Applied Climatology,

Shi, J., Wen, K., & Cui, L. Temporal and spatial variations of high-impact weather events in China during 1959– 2014. Theoretical and Applied Climatology. 2016. 129(1-2):

GEOGRAPHY AND ENVIRONMENTAL HAZARDS

(Research Journal)

VOLUME 10, NO 40, Winter 2022

CONTENTS

GEOGRAPHY AND ENVIRONMENTAL HAZARDS

Geography and Environmental Hazards (ISSN:2322-1682) is published four times a year in June, September, December and March by Ferdowsi University of Mashhad, Postal Code 9177948883, mashhad-Iran, tel: +98(0) 5138805273
Fax: +98(0) 51 38794144 E-mail: geo.eh@um.ac.ir Website : http://geoeh.um.ac.ir

Notes For Contributors

AIMS AND SCOPE

Geography and environmental Hazards is an Iranian Interdiciplinary research journal devoted to the publication of original scientific and technical papers in natural and technological hazards. The subjects include of full rang of Hazardous events from extreme Geological, Geomorphlogical, Hydrological, Atmospheric and Biological events such as earthquakes, subsidence, floods, debris flows, landslids, storms, desertification, air pollution and epidemics to technological Impacts and Human malifunction such as industrial explosions, fires, nuclear and toxic waste releases.
With an approach to Geography this journal highlightes issues of Geographically risk degree of regions, human exposure, vulnerability, awareness , respons to disasters and planning.
The role of hazards in affecting development process particularly in under development countries and issues of efficiency, social justice and sustainability are also discussed in the journal.

NOTES FOR CONTRIBUTORS

Geography and Environmental Hazards is a bilingual Journal in Persian and English languages. Persian authors with papers in their own language must submit an extended abstracet in English. authors with English papers must submit the initial electronic mansuript to one of the following Addresses:
Journal website: **http://geoeh.um.ac.ir**
Journal Email: **geo.eh@ um.ac.ir**
The initial manuscript must be sent in two separate files, **word** and **pdf** form.

Manuscript Style

All submissians must be printed on A4 paper size, be double- line spaced and have a margin of 3.5 cm all round.
Illustrations and tables must be printed on separate sheets and not be incorporated into the text.
Title Page must list full title, short title, names and affilications of author(s), and full address of each author. The precise mailing address, Telephon, Fax, and Email address of the corresponding author.
Supply an abstract of up to 300 words and a keyword list up to 6 words below the abstract. The abstract should precise the paper, giving a clear indication of Its conclusions. It should contain no citation to other published works.

Reference Style

References should be presented in the text as name of author and year within brackets and listeted at the end of the paper alphabetically. All references in the reference list should appear in the text.
Where reference is made to more than one work by the same author published in the same year, identify each citation in the text as follows: (Baker, 1987 a), (Baker 1987b). Where three or more outhors are listed in the reference list, cite in the text as (Baker et al 1998) References should be listed in the following style:

- **Journals**: Baker, V.R., 1994. Geomorphological understanding of floods. Geomorphology 10, 139–156.
- **Books:** Huggett, R., 1989. Cataclysms and Earth history: the Development of Diluvialism. Clarendon Press, Oxford, 220 pp.
- **Proceedings**,: Baker, V.R., Webb, R.H., House, P.K., 2002. The scientific and societal value of paleoflood Hydrology. In: House, P.K., Webb, R.H., Baker, V.R., Lavish, D.R. (Eds.), Ancient Floods, Modern Hazards: Principles and Applications of Paleoflood Hydrology. Water Science and Application, vol. 5. American Geophysical Union, Washington, D.C., pp. 1–19.

Illustrations must relate clearly to the section in which appear and sholud be referred to in the text as **figure 1**. **figure 2**, etc. Illustrations should be supplied as **JPEG** or **TIFF** files, the filename must include the corresponding author, Surname and figure number. This journal is only greyscale so All figures (**Maps, graphs and pictures**) must be comprehensible in black and white, please use patterns to differentiate sections.

GEOGRAPHY AND ENVIRONMENTAL HAZARDS

Contents

(Abstracts)

VOLUME 10, NO 40, Winter 2022 Pages

JOURNAL OF GEOGRAPHY AND ENVIRONMENTAL HAZARDS

Research Journal

Volume. 10, No. 40, Winter 2022

دانشگاه هرمزگان دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان دانشگاه سیستان و بلوچستان دانشگاه خوارزمی تهران دانشگاه تبریز دانشگاه اصفهان

ISSN:2322-1682
Published by
Ferdowsi University of Mashhad