



The Impact of Land Use Change on Water Yield in the Teraz Watershed, Khuzestan Province, Southwestern Iran

Fazlolah Ahmadi Mirghaed^{a*}, Babak Souri^b

^a Postdoctoral Researcher, Department of Environment, Faculty of Natural Resources, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran

^b Associate Professor, Department of Environment, Faculty of Natural Resources, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran

Received: 8 July 2022

Revised: 6 September 2022

Accepted: 13 September 2022

Abstract

Water is one of the critical needs of human life and living things. Therefore, proper planning is important for its consumption all over the world, especially in Iran. This study was conducted to evaluate the impacts of land use change on water yield in the Teraz watershed, Khuzestan province, Iran, from 1990 to 2050. Water yield was evaluated using integrated valuation of ecosystem services and tradeoffs (InVEST) tool and land use was mapped using the maximum likelihood classification in the ENVI 5.3, and CA-Markov in the TerrSet environment. Moreover, the relationship between water yield and landscape metrics, including the number of patches (NP), patch density (PD), landscape shape index (LSI), and Largest Patch Index (LPI), was considered based on the Geographically Weighted Regression (GWR) method in the Arc GIS 10.5. The results showed that the area of forest and rangeland in the studied area decreased in the last 30 years, by 3199 and 1611 ha, respectively, and the area of agriculture and construction land uses increased by 4388 and 387 ha, respectively. It is predicted that in the next 30 years, 2442 ha of forests will decrease and the area of agriculture, rangeland, and construction land uses will increase by 1651, 687, and 102 ha, respectively. It was found that the total volume of available water yield in the region is equal to 26.5 Mm³ in 2020, on average of 857 m³ ha⁻¹, and based on that, the ranking of land uses is as follows: 1. Construction, 2. Rangeland, 3. Forest, 4. agriculture. The results of GWR confirmed that water yield had a significant and negative spatial relationships with the NP, PD, and LSI metrics ($R^2 > 0.83$, $p\text{-value} > 0.05$), while its relationship with the LPI metric was a significant and positive relationship ($R^2 > 0.84$, $p\text{-value} > 0.05$). It can be concluded that the landscape features and land use pattern can determine the production and yield of water in the study area.

Keywords: Ecosystem Services, Water Yield, Land Use Change, InVEST, Geographically Weighted Regression

* . Corresponding author: Fazlolah Ahmadi Mirghaed E-mail: f.ahmadi.m@gmail.com Tel: + 989169879344

How to cite this Article: Ahmadi Mirghaed, F., Souri, B. (2023). The impact of land use change on water yield in the Teraz watershed, Khuzestan province, southwestern Iran. *Journal of Geography and Environmental Hazards*, 12(2), 29-46.

DOI: 10.22067/GEOEH.2022.77944.1261



Journal of Geography and Environmental Hazards are fully compliant With open access mandates, by publishing its articles under Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0).





Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0)

Geography and Environmental Hazards

Volume 12, Issue 2 - Number 46, Summer 2023


<https://geoeh.um.ac.ir>

 <https://doi.org/10.22067/geoeh.2022.77944.1261> 

جغرافیا و مخاطرات محیطی، سال دوازدهم، شماره چهل و ششم، تابستان ۱۴۰۲، صص ۴۶-۲۹

مقاله پژوهشی

اثر تغییرات کاربری اراضی بر تولید آب در حوضه آبخیز تراز، استان خوزستان، جنوب غرب ایران

 فضل الله احمدی میرقائد^۱ - پژوهشگر پسادکتری گروه محیط‌زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران
بابک سوری - دانشیار گروه محیط‌زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۴/۱۷ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۵/۱۵ تاریخ تصویب: ۱۴۰۱/۶/۲۲

چکیده

آب یکی از نیازهای اساسی حیات انسان‌ها و موجودات زنده به شمار می‌رود و برنامه‌ریزی مناسب برای استفاده از آن در سراسر جهان، بخصوص ایران، حائز اهمیت است. این مطالعه با هدف ارزیابی اثرات کاربری اراضی بر خدمات اکوسیستمی تولید آب در حوضه آبخیز تراز، استان خوزستان در بازه زمانی ۱۹۹۰ تا ۲۰۵۰ انجام شد. در این راستا، ارزیابی تولید آب با استفاده از InVEST و نقشه‌سازی کاربری اراضی با استفاده از روش طبقه‌بندی حداکثر احتمال در محیط ENVI 5.3 و اتوماتای سلولی زنجیره مارکف در محیط TerrSet صورت پذیرفت. همچنین رابطه تولید آب با سنج‌های سیمای سرزمین شامل تعداد، تراکم، شکل و مساحت لکه بر مبنای روش رگرسیون وزنی مکانی (GWR) در محیط Arc GIS 10.5 مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد در ۳۰ سال گذشته مساحت جنگل‌ها و مراتع در منطقه مطالعاتی به ترتیب حدود ۳۱۹۹ و ۱۶۱۱ هکتار کاهش و مساحت اراضی کشاورزی و ساخته شده‌ها به ترتیب ۴۳۸۸ و ۳۸۷ هکتار افزایش یافته‌اند. پیش‌بینی می‌شود که در ۳۰ سال آینده نیز ۲۴۴۲ هکتار از مساحت جنگل‌های منطقه کاسته شود و مساحت کاربری‌های کشاورزی، مراتع و ساخته شده‌ها به ترتیب

Email: f.ahmadi.m@gmail.com

۱ نویسنده مسئول: ۰۹۰۱۱۷۱۴۹۱۷

نحوه ارجاع به این مقاله:

احمدی میرقائد، فضل الله؛ سوری، بابک؛ ۱۴۰۲. اثر تغییرات کاربری اراضی بر تولید آب در حوضه آبخیز تراز، استان خوزستان، جنوب غرب ایران. جغرافیا و مخاطرات محیطی. ۱۲(۲). صص ۴۶-۲۹

<https://doi.org/10.22067/geoeh.2022.77944.1261>

۱۶۵۱، ۶۸۷ و ۱۰۲ هکتار افزایش یابد. کل حجم آب تولیدی قابل دسترس در منطقه در سال ۲۰۲۰ معادل ۲۶۵ میلیون مترمکعب (به طور متوسط ۸۵۷ مترمکعب در هکتار) و میزان تولید آب در ساخته شده‌ها، مراتع، جنگل‌ها و اراضی کشاورزی به ترتیب ۳۱۲۳، ۱۰۷۴، ۱۰۷۱ و ۳۷۴ مترمکعب در هکتار برآورد گردید. نتایج GWR تأیید کرد که تولید آب با سنج‌های تعداد لکه، تراکم لکه و شاخص شکل سیمای سرزمین رابطه مکانی معنادار و معکوس دارد ($R^2 \geq 0.83$, $p\text{-value} > 0.05$)؛ درحالی که رابطه آن با شاخص بزرگ‌ترین لکه یک رابطه معنادار و مستقیم است ($R^2 = 0.84$, $p\text{-value} > 0.05$). بر این اساس می‌توان گفت که ویژگی‌های ساختاری سیمای سرزمین و الگوی کاربری اراضی حاکم بر منطقه می‌تواند تعیین‌کننده تولید آب باشد.

کلیدواژه‌ها: خدمات اکوسیستمی، تولید آب، تغییرات کاربری اراضی، اینوست، رگرسیون وزنی مکانی.

۱- مقدمه

وضعیت و روند تغییرات خدمات اکوسیستمی در جهان، حیات انسان و موجودات دیگر را به طور مستقیم و غیرمستقیم تحت تأثیر قرار می‌دهد و تهدیدی جدی برای امنیت محیط‌زیستی آینده و رفاه جوامع کنونی به شمار می‌رود. خدمات اکوسیستمی تحت تأثیر بحران‌های محیط‌زیستی شامل تغییرات اقلیمی و کاربری اراضی، رشد جمعیت، توسعه سریع اقتصادی و بهره‌برداری بی‌رویه از منابع به شدت در حال کاهش هستند؛ از این رو نیاز است که شرایط و وضعیت خدمات اکوسیستمی به طور مناسب و دقیق درک شود تا بر اساس آن بتوان رویکردهای مناسب مدیریتی در راستای استفاده مناسب و حفاظت خدمات اکوسیستمی اتخاذ کرد (احمدی میرقاند، ۱۳۹۷).

فعالیت‌های اقتصادی - اجتماعی انسان تغییرات اساسی در ساختار و عملکرد اکوسیستم‌ها ایجاد می‌کند که در نتیجه آن خدمات اکوسیستمی مختلف تحت تأثیر قرار می‌گیرند. توسعه کاربری‌ها و تغییرات آن‌ها از جمله مهم‌ترین اقدامات انسانی است که ویژگی سیستم‌های اکولوژیک را تغییر می‌دهند و تأثیرات مهمی بر خدمات اکوسیستمی ایجاد می‌کنند (احمدی میرقاند و همکاران^۱، ۲۰۲۰). تغییرات کاربری اراضی به عنوان نماینده تغییرات خدمات اکوسیستم برای ارزیابی توسعه و تغییرات محیط‌زیستی آینده در نظر گرفته می‌شود. از این رو، توجه به تغییرات کاربری اراضی و مدیریت آن‌ها حائز اهمیت است (لانگ و سانگ^۲، ۲۰۱۹؛ پنگ و همکاران^۳، ۲۰۱۹).

لی و همکاران^۴ (۲۰۲۱) اثرات تغییرات اقلیمی و کاربری بر خدمات اکوسیستمی در حوضه ایلی بلخاش در آسیای مرکزی را مورد مطالعه قرار دادند. آن‌ها تغییرات مکانی-زمانی در آب‌وهوا، کاربری زمین و چهار خدمات اکوسیستمی شامل تولید آب، حفاظت خاک، ذخیره کربن و کیفیت زیستگاه‌ها را از ۱۹۹۲ تا ۲۰۱۴ ارزیابی کردند. مونپراپوسورن^۵ (۲۰۱۷) چگونگی پیش‌بینی خدمات آینده اکوسیستم ساحلی در استان ساموتساکورن را بر اساس

1 Ahmadi Mirghaed et al.

2 Long and Song

3 Peng et al.

4 Li et al.

5 Monrapussorn

تغییرات کاربری و اقلیمی مورد مطالعه قرار داد. وی نشان داد که افزایش سطح دریا، دما و بارش با کاهش پوشش جنگلی و در نهایت تضعیف عملکرد و خدمات اکوسیستم ساحلی همراه است و از تاب‌آوری اکوسیستم‌ها جلوگیری می‌کند. شیرپکی و همکاران^۱ (۲۰۱۷) تأثیرات آتی تغییرات اقلیمی و کاربری اراضی را بر خدمات اکوسیستم چندمنظوره در دره استوای اتریش در آلپ مرکزی را مورد ارزیابی قرار دادند. آن‌ها شش خدمات اکوسیستمی شامل تولید علوفه، کیفیت علوفه، حاصلخیزی خاک، کیفیت آب، ذخیره کربن و ارزش‌های زیبانشناختی را بر اساس مدل‌های مبتنی بر ویژگی‌های گیاهی برای شرایط فعلی و آینده (در سال‌های ۲۰۵۰ و ۲۱۰۰) و با در نظر گرفتن شرایط اقتصادی-اجتماعی مورد بررسی قرار دادند. هی و همکاران^۲ (۲۰۱۷) اثرات تغییر کاربری بر کیفیت زیستگاه را با استفاده از چارچوب یکپارچه شبیه‌سازی اتوماتای سلولی و ابزار اینوست^۳ در منطقه وانزو واقع در چین انجام دادند. آن‌ها کیفیت زیستگاه‌ها را طی سه سناریوی گسترش سریع شهری، توسعه شهری هوشمند و حفاظت محیط‌زیست بررسی کردند. وو و همکاران^۴ (۲۰۲۰) خدمات اکوسیستمی وابسته به آب شامل عملکرد آب، تولید رسوب و تصفیه آب را در تعامل با تغییرات کاربری اراضی و اقلیمی در حوضه رودخانه لوانه چین با استفاده از ابزار اینوست مورد مطالعه قرار دادند. یلنگ و همکاران^۵ (۲۰۲۱) خدمات تأمین آب در حوضه رودخانه زرد واقع در چین را بر اساس مدل اینوست و روش تحلیل سناریو انجام دادند. آن‌ها از داده‌های پوشش و کاربری زمین، هواشناسی و نوع خاک به‌عنوان ورودی برای تجزیه و تحلیل الگوی مکانی و زمانی عملکرد آب و تأثیر بارش و تغییر کاربری زمین بر تولید آب استفاده کردند. اقصائی و همکاران^۶ (۲۰۲۰) اثرات تغییرات کاربری و پوشش زمین را بر هیدرولوژی حوضه و عملکرد رسوب در حوضه آبریز انزلی، ایران را مورد مطالعه قرار دادند. آن‌ها از مدل ارزیابی خاک و آب سوات^۷ برای ارزیابی تأثیرات تبخیر و تعرق، تولید آب و تولید رسوب استفاده کردند.

حوضه آبخیز رودخانه تراز واقع در استان خوزستان در بخش نیمه‌خشک ایران واقع شده است و اثرات انسانی را می‌توان در تغییر ویژگی‌های طبیعی آن به‌خوبی مشاهده کرد. در بخش‌های شمالی منطقه میزان توسعه ساخته‌شده‌ها نسبت به بخش‌های جنوبی کمتر اتفاق افتاده است. در بخش‌های جنوبی و غرب منطقه ردپای انسان و توسعه بسیار چشمگیرتر است و انجام فعالیت‌های انسانی از جمله کشاورزی و توسعه زیرساخت‌ها در این مناطق بسیار شدید است که باعث تخریب محیط‌زیست و کاهش کیفیت خدمات اکوسیستمی آن شده است. از این رو، مطالعه اثرات تغییرات کاربری بر خدمات اکوسیستمی در این منطقه برای شناسایی اثرات و اتخاذ راهکارهای مناسب برای مدیریت

1 Schirpke

2 He et al.

3 Integrated Valuation of Ecosystem Services and Tradeoffs (InVEST)

4 Wu et al.

5 Yang et al.

6 Aghsaei et al.

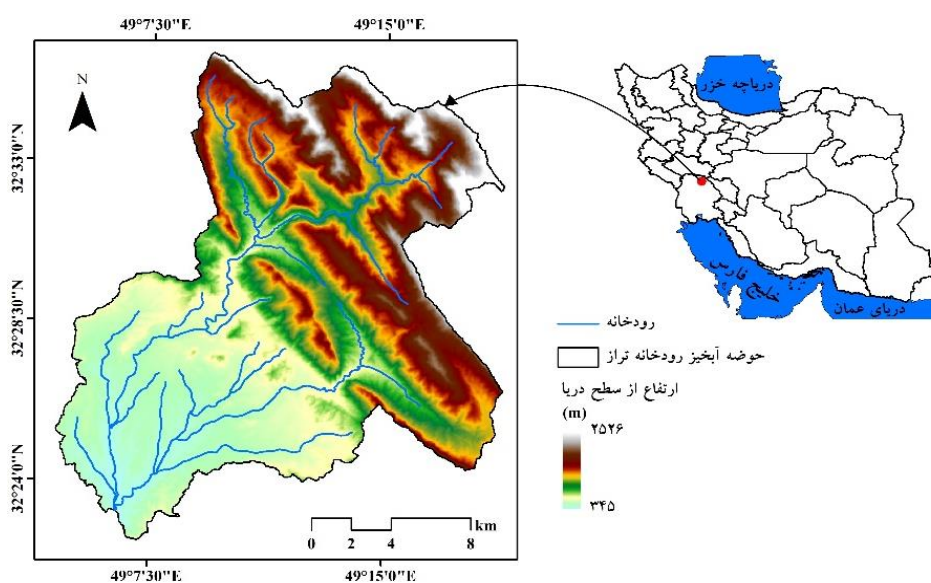
7 Soil and Water Assessment Tool (SWAT)

منابع طبیعی آن حائز اهمیت است. این مطالعه با هدف (۱) مدل‌سازی خدمات اکوسیستمی تولید آب در حوضه آبخیز تراز در استان خوزستان، (۲) ارزیابی اثر تغییر کاربری اراضی بر خدمات اکوسیستمی تولید آب در منطقه مطالعاتی در بازه زمانی ۱۹۹۰ تا ۲۰۵۰ و (۳) ارزیابی ارتباط بین تولید آب با تغییرات سیمای سرزمین با استفاده از سنجه‌های سیمای سرزمین صورت پذیرفت.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقه مطالعاتی

حوضه آبخیز رودخانه تراز با مساحتی بالغ بر ۳۲۵۰۰ هکتار در شمال شرقی استان خوزستان در ایران قرار دارد (شکل ۱). این حوضه یکی از زیر حوضه‌های اصلی رودخانه شور است که در نهایت به سد گنوند منتهی می‌شود. میانگین بارندگی و دمای سالیانه در حوضه به ترتیب ۷۷۴ میلی‌متر و ۲۳ درجه سانتی‌گراد برآورد شده است. حوضه آبخیز تراز از نظر توپوگرافی متنوع است به طوری که در قسمت‌های شمالی پستی و بلندی‌های شدید و در نواحی جنوبی و غربی مناطق نسبتاً هموار دیده می‌شود. جنگل‌ها بخش‌های شمالی و شرقی حوضه آبخیز را در بر گرفته‌اند، در حالی که کشاورزی و مرتع کاربری‌های عمده در بخش‌های جنوبی به شمار می‌روند. توپوگرافی و پوشش گیاهی متنوع باعث افزایش تنوع اکولوژیکی در منطقه شده است که در نتیجه آن فراهم‌سازی خدمات اکوسیستمی مختلفی را به دنبال دارد. باین حال، توسعه نامناسب، بهره‌برداری زیاد از منابع و مدیریت ضعیف آن‌ها، عمدتاً در قسمت جنوبی منطقه مورد مطالعه، خدمات اکوسیستمی به‌ویژه خدمات مرتبط با آب را به شدت تحت تأثیر قرار داده است.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مطالعاتی

۲-۲- جمع‌آوری داده‌ها

لیست داده‌های مورد استفاده در این مطالعه در جدول ۱ نشان داده شده است. نقشه‌های کاربری اراضی بر مبنای داده‌های چند طیفی ماهواره لندست ۸ و ۵ و با استفاده از روش نظارت شده حداکثر احتمال^۱ تولید شدند. آمار ایستگاه‌های کلیماتولوژی منطقه ایجاد شده توسط سازمان هواشناسی ایران برای تهیه داده‌های اقلیمی مورد توجه قرار گرفت. زیرحوضه‌ها نیز بر اساس مدل رقومی ارتفاعی^۲ و با استفاده از ابزار ارک هیدرو^۳ در Arc GIS 10.5 نقشه‌سازی شدند.

جدول ۱- داده‌های مورد استفاده در این مطالعه و توضیحات آن‌ها

نحوه تهیه و آماده‌سازی	واحد	معیار
استخراج شده از سایت سازمان زمین‌شناسی ایالات متحده آمریکا (USGS ^۴)	m	مدل رقومی ارتفاع (DEM)
تولید شده بر مبنای تصاویر لندست ۸ و ۵ و با استفاده از روش حداکثر احتمال در محیط نرم‌افزار ENVI 5.3	....	کاربری اراضی
استخراج شده از آمار ایستگاه‌های هواشناسی منطقه (سازمان هواشناسی کشور)	mm	میانگین بارندگی سالیانه
استخراج شده از آمار ایستگاه‌های هواشناسی منطقه (سازمان هواشناسی کشور)	°C	میانگین حداکثر و حداقل دمای روزانه
روش هیدرومتری	%	درصد رس، سیلت و ماسه خاک
$OC \% = OM \% \times 1.72$ ، کربن آلی خاک است (درخشان بابایی و همکاران ^۵ ، ۲۰۲۰)	%	درصد ماده آلی خاک (OM)
محاسبه شده بر اساس معادله ۴ (هارگریوز ^۶ ، ۱۹۹۴)	mm	تبخیر و تعرق مرجع (ET ₀)
نقشه عمق خاک منطقه مطالعاتی	mm	عمق لایه محدودکننده
محاسبه شده بر اساس معادله ۷ (لانگ و همکاران ^۸ ، ۲۰۱۷)	mm	ضریب آب قابل دسترس گیاهی (PAWF ^۷)
استخراج از منابع علمی (شارپ و همکاران ^۹ ، ۲۰۲۰)	....	ضریب تبخیر و تعرق گیاهی (Kc)
استخراج از منابع علمی (شارپ و همکاران، ۲۰۲۰)	....	عمق ریشه‌یابی
محاسبه شده بر اساس وقایع بارندگی منطقه در طول یک سال	mm	فاکتور فصلی (Z)
استخراج شده بر اساس DEM در محیط Arc Hydro	....	نقشه زیرحوضه‌ها

1 Maximum Likelihood Classification

2 Digital Elevation Model (DEM)

3 Arc Hydro

4 United States Geological Survey

5 Derakhshan-Babaei et al.

6 Hargreaves

7 Plant Available Water Fraction

8 Lang et al.

9 Sharp et al.

۲-۳- ارزیابی خدمات اکوسیستمی تولید آب^۱

مدل تولید آب در اینوست سهم نسبی آب در قسمت‌های مختلف سیمای سرزمین را برآورد می‌کند و اطلاعاتی در مورد چگونگی تغییرات الگوهای کاربری اراضی بر تولید سالانه آب‌های سطحی ارائه می‌دهد. این مدل بر اساس منحنی بودیکو^۲ و میزان بارندگی سالانه، تولید سالانه آب (Y_x) را در هر پیکسل (x) مطابق با معادله زیر برآورد می‌کند. بعلاوه، میانگین و کل تولید آب را نیز در سطح زیر حوضه‌ها محاسبه می‌کند (شارپ و همکاران، ۲۰۲۰؛ احمدی میرقائد، ۱۳۹۷).

$$Y_x = \left(1 - \frac{AET_x}{P_x}\right) \times P_x \quad (1)$$

که در آن AET_x و P_x به ترتیب میزان تبخیر و تعرق واقعی و بارندگی سالانه را بر حسب میلی‌متر در پیکسل x نشان می‌دهند. برای هر نوع کاربری اراضی، نسبت تبخیر و تعرق در بیان آبی بر اساس منحنی بودیکو است که توسط فو و همکاران^۳ (۱۹۸۱) و ژانگ و همکاران^۴ (۲۰۰۴) ارائه شده است:

$$\frac{AET_x}{P_x} = 1 + \frac{PET_x}{P_x} - \left[1 + \left(\frac{PET_x}{P_x}\right)^w\right]^{1/w} \quad (2)$$

$$PET_x = K_c(I_x) \times ET_0 \quad (3)$$

$$ET_0 = 0.0013 \times 0.408 \times RA \times (T_{avg} + 17) \times (TD - 0.0123p)^{0.76} \quad (4)$$

$$w_x = Z \frac{AWC_x}{P_x} + 1.25 \quad (5)$$

که PET_x بیانگر تبخیر و تعرق پتانسیل است و w_x یک پارامتر غیر فیزیکی را نشان می‌دهد که مشخص‌کننده خصوصیات اقلیمی و خاکی طبیعی است. ET_0 تبخیر و تعرق مرجع است که شرایط اقلیم محلی را بر تبخیر و تعرق پوشش گیاهی مرجع مثل علف و یونجه را که در آن محل رشد یافته بیان می‌کند. K_c ضریب تبخیر و تعرق گیاهی وابسته به یک نوع کاربری (I_x) است که تا حد زیادی توسط ویژگی‌های رویشی سرزمین و کاربری اراضی تعیین می‌شود (آلن و همکاران، ۱۹۹۸). RA میزان تابش فرازمینی بر حسب ($MJ m^{-2} d^{-1}$) است. T_{avg} میانگین حداکثر و حداقل دمای روزانه و TD اختلاف میانگین حداقل و حداکثر دمای روزانه بر حسب درجه سانتی‌گراد هستند. P میزان بارندگی سالانه بر حسب میلی‌متر است. Z یک ثابت تجربی است که به‌عنوان "فاکتور فصلی"^۵ در نظر گرفته می‌شود و الگوی بارش محلی و ویژگی‌های هیدروژئولوژیکی را نشان می‌دهد. این ثابت با تعداد رویدادهای باران در سال (N) همبستگی مثبت دارد. حداقل مقدار Z زمانی است که عمق ریشه صفر (خاک لخت) باشد و برابر با $1/25$

1 Water yield

2 Budyko

3 Fu et al.

4 Zhang et al.

5 Allen et al.

6 Seasonal factor

خواهد بود و مقدار حداکثر آن به ۵ محدود می‌شود (دناهو و همکاران^۱، ۲۰۱۲؛ یانگ و همکاران^۲، ۲۰۰۸). AWC^3 محتوای حجمی آب قابل دسترس گیاهی است که بر اساس بافت خاک و عمق ریشه‌زایی مؤثر تعیین می‌شود. AWC مقدار آب مورد استفاده توسط گیاه موجود در خاک را تعیین می‌کند و بر مبنای ظرفیت آب قابل دسترس گیاهی ($PAWC^4$) و حداقل عمق لایه محدودکننده ریشه (Rld) و عمق ریشه‌زایی (Rd) پوشش گیاهی برآورد می‌شود.

$$AWC_x = \text{Min}(Rld, Rd) \times PAWC \quad (6)$$

عمق لایه محدودکننده ریشه، عمق خاکی است که در آن نفوذ ریشه به دلیل ویژگی‌های فیزیکی یا شیمیایی مهار می‌شود. عمق ریشه‌زایی پوشش گیاهی اغلب به‌عنوان عمقی در نظر گرفته می‌شود که در آن ۹۵ درصد از زیست‌توده ریشه گیاهی وجود دارد. $PAWC$ ظرفیت آب قابل دسترس گیاهی است که تفاوت بین ظرفیت مزرعه و نقطه پژمردگی را مشخص می‌کند و ضریب آن ($PAWF^5$) بر اساس فرمول زیر برآورد می‌شود:

$$PAWF = 54.509 - 0.132 \times SA\% - 0.003 \times (SA\%)^2 - 0.055 \times SI\% - 0.006 \times (SI\%)^2 - 0.738 \times CL\% + 0.007 \times (CL\%)^2 - 2.688 \times OM\% + 0.501 \times (OM\%)^2 \quad (7)$$

که در آن $CL\%$ ، $SI\%$ ، $SA\%$ و $OM\%$ به ترتیب درصد محتوای رس، سیلت، ماسه و مواد آلی را نشان می‌دهند (یانگ و همکاران^۶، ۲۰۲۱؛ لانگ و همکاران^۷، ۲۰۱۷).

۲-۴- اثرات تغییر کاربری اراضی بر تولید آب

در این مطالعه، پس از تهیه داده‌های مورد نیاز (جدول ۱)، با استفاده از مدل تولید آب در اینوست، اثرات تغییر کاربری اراضی در منطقه مطالعاتی در دو بازه زمانی ۳۰ ساله (۱۹۹۰ تا ۲۰۲۰ و ۲۰۲۰ تا ۲۰۵۰) بر تولید آب مورد ارزیابی قرار گرفت. برای این منظور، نقشه‌های کاربری اراضی برای سال‌های ۱۹۹۰ و ۲۰۲۰ بر اساس تصاویر چند طیفی لندست ۵ و ۸ و با استفاده از روش حداکثر احتمال در محیط $ENVI 5.3$ نقشه‌سازی شدند. همچنین، با استفاده از روش اتوماتای سلولی - زنجیره مارکف^۸ در محیط $TerrSet$ نقشه کاربری اراضی برای سال ۲۰۵۰ مدل‌سازی گردید. طی سه سناریو، تولید آب بر اساس نقشه‌های کاربری اراضی ۱۹۹۰، ۲۰۲۰ و ۲۰۵۰ محاسبه و میزان تغییرات تولید آب در دو بازه زمانی ۳۰ ساله برآورد گردید. لازم به ذکر است که در این باره سایر ورودی‌ها در اجرای مدل ثابت در نظر گرفته شدند.

1 Donohue et al.

2 Yang et al.

3 Available Water Content

4 Plant Available Water Content

5 Plant Available Water Fraction

6 Yang et al.

7 Lang et al.

8 Cellular Automate – Markov (CA-Markov)

۲-۵- اثرات خردشدگی سیمای سرزمین بر تولید آب

سنجه‌های سیمای سرزمین شاخص‌هایی هستند که جنبه‌های مختلف سیمای سرزمین را از نظر مساحت، شکل، ترکیب، توزیع و هندسه به صورت ارزش‌های کمی نشان می‌دهند که در نتیجه آن تحلیل، ارزیابی، پایش و طرح‌ریزی مکانی الگوی کاربری اراضی تسهیل می‌شود. بعلاوه، با کمک آن‌ها می‌توان میزان خردشدگی زیستگاه‌ها و سیمای سرزمین را ارزیابی کرد (احمدی میرقاند و همکاران^۱، ۲۰۱۸؛ پنگ و همکاران^۲، ۲۰۱۶؛ مک گاریگل و همکاران^۳، ۲۰۰۲). در این مطالعه، ارزیابی اثرات خردشدگی سیمای سرزمین بر تولید آب با استفاده از مهم‌ترین سنجه‌های سیمای سرزمین شامل تعداد لکه (NP^۴)، تراکم لکه (PD^۵)، بزرگ‌ترین لکه (LPI^۶) و شکل سیمای سرزمین (LSI^۷) مدنظر قرار گرفت که در جدول ۲ توصیف و تشریح شده‌اند. برای این منظور، سنجه‌های سیمای سرزمین بر مبنای نقشه کاربری اراضی سال ۲۰۲۰ منطقه مطالعاتی و در محیط Fragstats در سطح زیرحوضه‌ها محاسبه شدند و رابطه آن‌ها با میزان تولید آب بر اساس رگرسیون وزنی مکانی (GWR^۸) در محیط Arc GIS 10.5 موردبررسی قرار گرفت.

جدول ۲- سنجه‌های سیمای سرزمین و توصیفات آن‌ها (مک گاریگل و همکاران، ۲۰۰۲)

سنجه	واحد	توصیف
تعداد لکه	...	تعداد لکه‌های موجود در یک سیمای سرزمین مشخص را نشان می‌دهد. هر چه بزرگ‌تر از یک باشد خردشدگی بیشتر سیمای سرزمین را بیان می‌کند.
تراکم لکه	تعداد به ازای ۱۰۰ هکتار	تعداد لکه‌های موجود در سیمای سرزمین به نسبت کل مساحت آن را نشان می‌دهد. هر چه بزرگ‌تر از یک باشد خردشدگی بیشتر سیمای سرزمین را بیان می‌کند.
شاخص بزرگ‌ترین لکه	%	شاخصی است برای اندازه‌گیری کل سیمای سرزمین بر حسب بزرگ‌ترین لکه و بین ۱ تا ۱۰۰ متغیر است. هر چه بزرگ‌تر از یک باشد خردشدگی کمتر سیمای سرزمین را نشان می‌دهد.
شاخص شکل سیمای سرزمین	....	شاخصی استاندارد برای اندازه‌گیری کل لبه یا تراکم لبه در یک سیمای سرزمین مشخص است و هر چه بزرگ‌تر از یک باشد نشان‌دهنده پیچیدگی بیشتر مرز سیمای سرزمین است.

1 Ahmadi Mirghaed et al.

2 Peng et al.

3 McGarigal et al.

4 Number of Patch

5 Patch Density

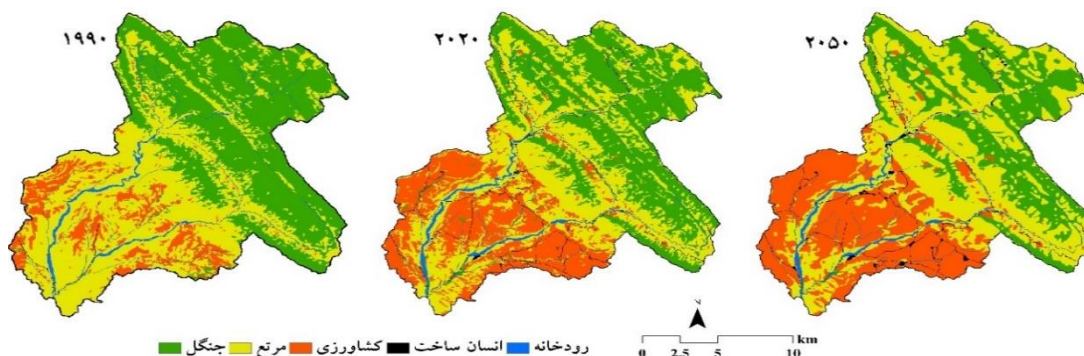
6 Largest Patch Index

7 Landscape Shape Index

8 Geographically Weighted Regression

۳- نتایج و بحث

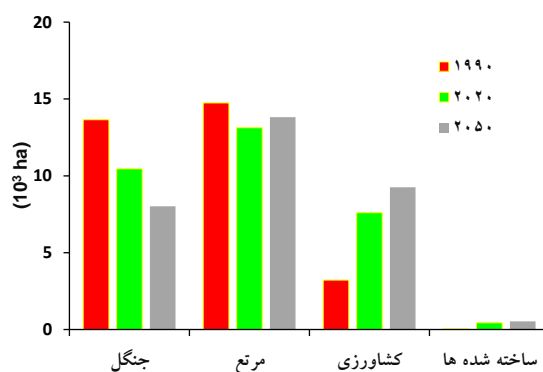
نقشه‌های کاربری اراضی منطقه برای سال‌های ۱۹۹۰، ۲۰۲۰ و ۲۰۵۰ در شکل ۲ مشخص شده‌اند. نتایج نشان داد که کاربری‌های جنگل و مرتع بیشترین مساحت نیمه شمالی حوضه را در بر گرفته‌اند؛ در حالی که در نیمه جنوبی حوضه کاربری‌های کشاورزی، مرتع و ساخته شده‌ها گسترش یافته‌اند. کاربری‌های جنگل، مرتع، کشاورزی، ساخته شده‌ها و رودخانه‌ها به ترتیب ۱۰۴۵۵، ۱۳۱۳۳، ۷۴۰۴، ۴۳۲ و ۸۸۶ هکتار از مساحت منطقه را در سال ۲۰۲۰ در بر گرفته‌اند. در سال ۱۹۹۰، مساحت اختصاص یافته به کاربری‌های مذکور به ترتیب ۱۳۶۵۴، ۱۴۷۴۴، ۳۲۱۴، ۴۵ و ۸۵۱ هکتار بوده است و بر اساس ادامه شرایط کنونی حاکم بر منطقه در ۳۰ سال آینده پیش‌بینی می‌شود که مقادیر مساحت‌های مذکور در سال ۲۰۵۰ به ترتیب به ۸۰۱۳، ۱۳۸۲۰، ۹۲۵۵، ۵۳۴ و ۸۸۷ هکتار تغییر یابند. بدین ترتیب مشخص شد که در ۳۰ سال گذشته مساحت جنگل‌ها و مراتع در منطقه مطالعاتی به ترتیب حدود ۳۱۹۹ و ۱۶۱۱ هکتار کاهش و مساحت اراضی کشاورزی و ساخته شده‌ها به ترتیب ۴۳۸۸ و ۳۸۷ هکتار افزایش یافته‌اند. پیش‌بینی می‌شود که در ۳۰ سال آینده نیز ۲۴۴۲ هکتار از مساحت جنگل‌های منطقه کاسته شود و مساحت کاربری‌های کشاورزی، مراتع و ساخته شده‌ها به ترتیب ۱۶۵۱، ۶۸۷ و ۱۰۲ هکتار افزایش یابد.



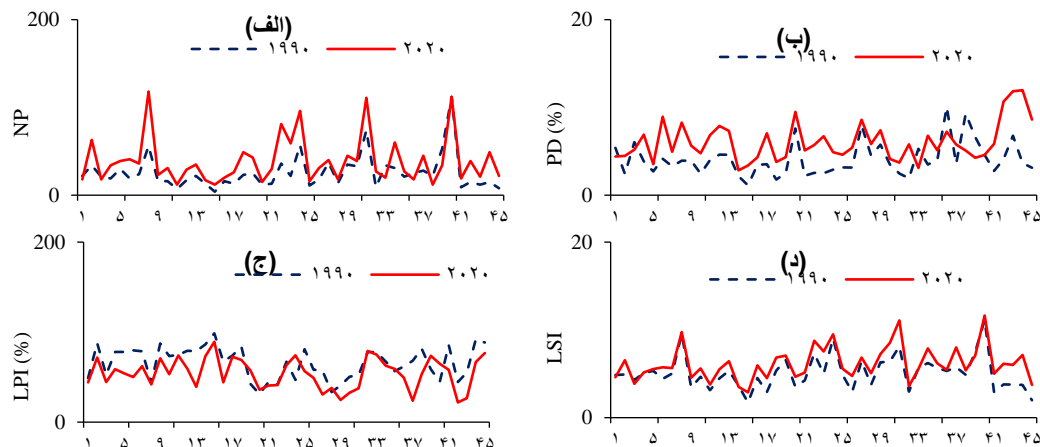
شکل ۲- نقشه‌های کاربری اراضی منطقه مطالعاتی در سال‌های ۱۹۹۰، ۲۰۲۰ و ۲۰۵۰

شکل ۳ روند تغییر مساحت اختصاص یافته به کاربری‌ها در منطقه مطالعاتی در سال‌های ۱۹۹۰، ۲۰۲۰ و ۲۰۵۰ را نشان می‌دهد. نتایج نشان می‌دهند که طی ۳۰ ساله گذشته توسعه و فعالیت‌های کشاورزی در منطقه با شدت زیاد و بدون توجه به ظرفیت اکولوژیک و شرایط محیط‌زیستی منطقه انجام شده است که در پی آن اراضی جنگلی و مراتع تخریب و به کشاورزی و ساخته شده‌ها تبدیل شده‌اند. این عوامل باعث افزایش خردشدگی زیستگاه‌ها و از هم‌گسیختگی سیماهای سرزمین حوضه شده است. در صورتی که همین روند و شرایط در توسعه کاربری‌ها در منطقه ادامه داشته باشد پیش‌بینی می‌شود که در ۳۰ سال آینده نیز بیش از ۲۵ درصد مساحت اراضی جنگلی تخریب و به کاربری‌های دیگر تبدیل شود. شکل ۴ نیز روند تغییرات کاربری اراضی بر مبنای سنجش‌های سیمای سرزمین شامل

تعداد لکه، تراکم لکه، شاخص شکل سیمای سرزمین و شاخص بزرگ‌ترین لکه را در بازه زمانی ۳۰ ساله (۱۹۹۰ تا ۲۰۲۰) در مقیاس زیرحوضه‌ها مشخص کرده است. نتایج حاکی از آن است که در ۳۰ سال اخیر تعداد لکه، تراکم لکه و شاخص شکل سیمای سرزمین در زیرحوضه‌ها روند افزایشی داشته درحالی‌که شاخص بزرگ‌ترین لکه کاهش یافته است. این موارد نشان می‌دهد که خردشدگی و گسستگی لکه‌های کاربری در منطقه طی ۳۰ سال اخیر افزایش یافته است که ناشی از توسعه فعالیت‌های کشاورزی و افزایش ساخته‌سازها بخصوص توسعه جاده و راه است.



شکل ۳- مساحت اختصاص یافته به هر کاربری در منطقه مطالعاتی در سال‌های ۱۹۹۰، ۲۰۲۰ و ۲۰۵۰

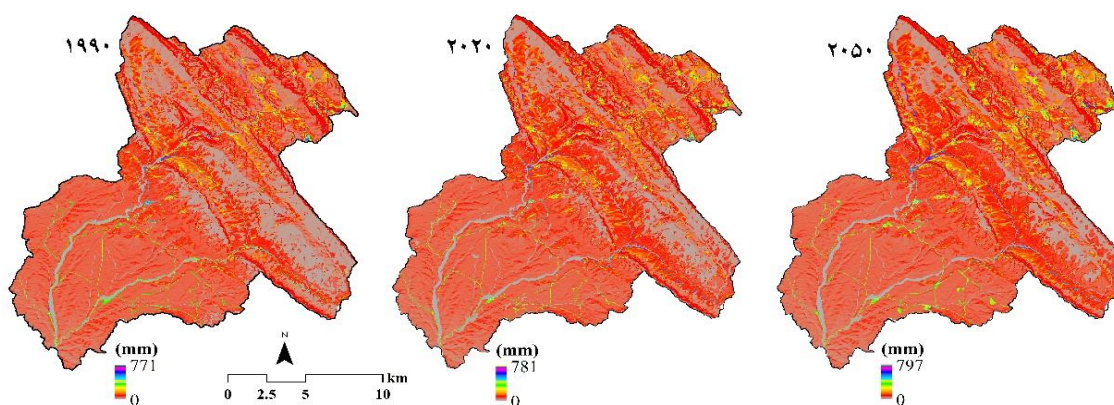


شکل ۴- روند تغییرات کاربری اراضی بر اساس سنجه‌های سیمای سرزمین (NP¹: تعداد لکه، PD²: تراکم لکه‌ها، LPI³: شاخص بزرگ‌ترین لکه و LSI⁴: شاخص شکل سیمای سرزمین) در مقیاس زیرحوضه‌ها در بازه زمانی

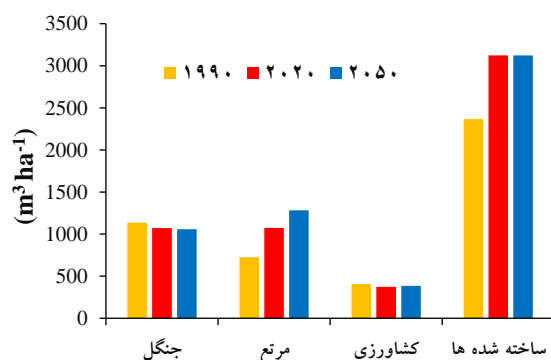
۱۹۹۰ تا ۲۰۲۰

- 1 Number of Patch
- 2 Patch Density
- 3 Largest Patch Index
- 4 Landscape Shape Index

نتایج ارزیابی تولید آب در حوضه آبخیز تراز با استفاده از اینوست در سطح پیکسل برای سال‌های ۱۹۹۰، ۲۰۲۰ و ۲۰۵۰ در شکل ۵ نشان داده شده است. اسداللهی و همکاران^۱ (۲۰۲۰) نیز میزان تولید آب در حوضه آبخیز گرگانرود در استان گلستان را بین ۶۴ تا ۵۳۳ میلی‌متر در هکتار برآورد کردند. مشخص گردید که میانگین تولید آب در حوضه در یک پیکسل ۳۰×۳۰ متر برای سال‌های ۱۹۹۰، ۲۰۲۰، ۲۰۵۰ به ترتیب ۷۷، ۸۲ و ۸۷ میلی‌متر (به ترتیب معادل ۸۵۰، ۹۰۹ و ۹۶۹ میلی‌متر در هکتار) است. کل حجم آب تولیدی قابل دسترس در منطقه در سال ۲۰۲۰ معادل ۲۶۵ میلیون مترمکعب است که به‌طور متوسط ۸۵۷ مترمکعب در هکتار را شامل می‌شود. همچنین میزان آب تولیدی قابل دسترس در منطقه برای سال‌های ۱۹۹۰ و ۲۰۵۰ به ترتیب ۲۴/۸ و ۲۸/۳ میلیون مترمکعب در سال برآورد شده است که به‌طور میانگین برابر با ۸۱۲ و ۹۱۱ مترمکعب در هکتار است. بدین ترتیب تولید آب در بازه زمانی ۱۹۹۰ تا ۲۰۲۰ به میزان ۱/۷ مترمکعب در سال (به‌طور میانگین ۴۵ مترمکعب در هکتار) در کل حوضه تغییر یافته است و پیش‌بینی می‌شود در بازه زمانی ۲۰۲۰ تا ۲۰۵۰ به میزان ۱/۸ مترمکعب در سال (به‌طور میانگین ۵۴ مترمکعب در هکتار) تغییرات افزایشی داشته باشد.

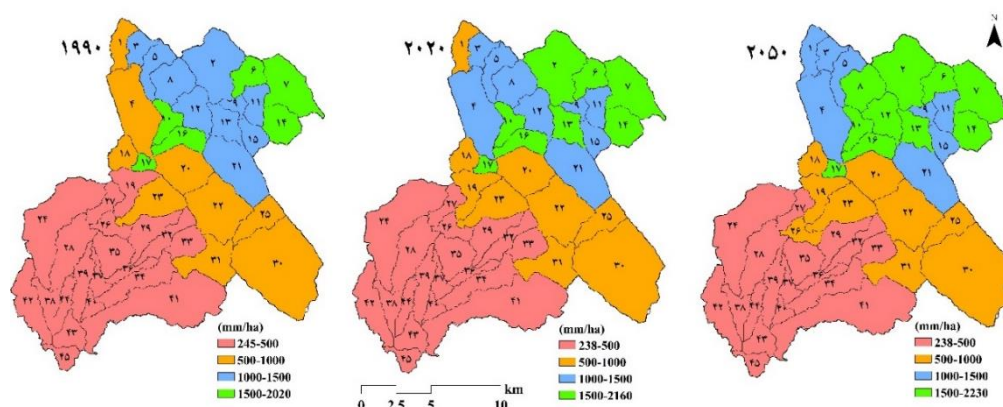


شکل ۵- نقشه‌های تولید آب (mm/pixel) منطقه مطالعاتی در ۱۹۹۰، ۲۰۲۰ و ۲۰۵۰



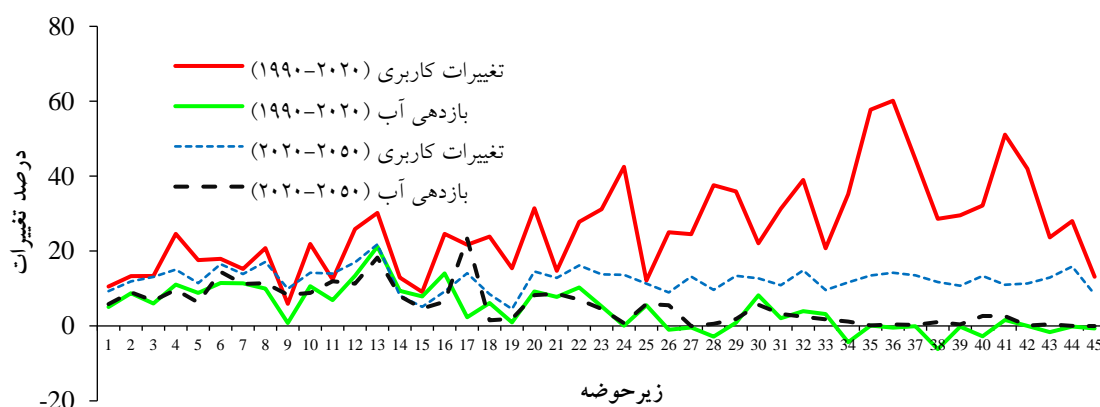
شکل ۶- میانگین تولید آب برای هر کاربری در سال‌های ۱۹۹۰، ۲۰۲۰ و ۲۰۵۰

میانگین تولید آب قابل دسترس در کاربری‌های جنگل، مرتع، کشاورزی و ساخته‌شده‌ها در سال ۲۰۲۰ به ترتیب ۱۰۷۱، ۱۰۷۴، ۳۷۴ و ۳۱۲۳ مترمکعب در هکتار و در سال ۱۹۹۰ به ترتیب ۱۱۳۵، ۷۲۴، ۴۰۵ و ۲۳۶۶ مترمکعب در هکتار محاسبه شد. میانگین تولید آب برای کاربری‌های مذکور به ترتیب ۱۰۵۷، ۱۲۸۳، ۳۸۵ و ۳۱۲۴ مترمکعب در هکتار برای سال ۲۰۵۰ پیش‌بینی شده است (شکل ۶). بر این اساس می‌توان نتیجه گرفت که در حال حاضر بیشترین میزان تولید آب در منطقه در کاربری ساخته‌شده‌ها و در وهله بعد به ترتیب در مراتع، جنگل‌ها و اراضی کشاورزی اتفاق می‌افتد. احمدی میرقلند و همکاران (۱۳۹۶) نیز میزان تولید آب در کاربری‌های جنگل، مرتع، کشاورزی و ساخته‌شده‌ها در حوضه آبخیز قره‌سو در استان گلستان را به ترتیب ۸۴۰، ۵۵۶، ۹۵۳ و ۱۱۱۵ مترمکعب در هکتار برآورد کردند. تبخیر و تعرق زیاد و قدرت حفظ و نگهداری آب در جنگل‌ها از جمله دلایلی است که باعث کاهش آب تولیدی قابل دسترس در جنگل‌های منطقه نسبت به مراتع و ساخته‌شده‌ها شده است. همچنین، میزان نفوذپذیری خاک، توپوگرافی و مکان جغرافیایی کاربری‌ها نیز در این اختلاف اثرگذارند. لانگ و همکاران (۲۰۱۷) نیز تأکید کردند که جنگل‌ها باعث کاهش تولید آب و ساخته‌شده‌ها باعث افزایش آن می‌شوند. مقایسه تولید آب قابل دسترس در سال‌های ۱۹۹۰، ۲۰۲۰ و ۲۰۵۰ حاکی از افزایش آن در کاربری‌های مختلف دارد که از جمله علل آن می‌توان به تغییر شرایط محیط‌زیستی اکوسیستم‌ها و تغییر نفوذپذیری خاک‌ها در اثر تبدیل کاربری‌ها اشاره کرد. افزایش رواناب‌های سطحی و کاهش ذخیره آب‌های زیرزمینی در منطقه در طولانی مدت از جمله پیامد این فرآیند خواهد بود. یلنگ و همکاران^۱ (۲۰۲۱) تأیید کردند که تبدیل کاربری‌های جنگل و مرتع به ساخته‌شده‌ها باعث افزایش رواناب‌های سطحی می‌شود.



شکل ۷- طبقه‌بندی زیرحوضه‌های منطقه مطالعاتی از نظر تولید آب (mm/ha) در ۱۹۹۰، ۲۰۲۰ و ۲۰۵۰

زیرحوضه‌های منطقه از نظر تولید آب در چهار طبقه خیلی کم (< 500 mm/ha)، کم ($500-1000$ mm/ha)، متوسط ($1000-1500$ mm/ha) و زیاد (> 1500 mm/ha) طبقه‌بندی شدند (شکل ۷). نتایج نشان داد که در سال ۲۰۲۰ از کل مساحت منطقه ۱۲۳۶۶، ۹۱۳۳، ۵۸۹۰ و ۵۱۶۶ هکتار به ترتیب به طبقات با تولید آب خیلی کم، کم، متوسط و زیاد اختصاص می‌یابد. این مقادیر در سال ۱۹۹۰ به ترتیب ۱۲۹۵۶، ۹۹۷۸، ۶۳۵۳ و ۳۱۶۷ هکتار است و در سال ۲۰۵۰ به ترتیب ۱۲۰۵۷، ۹۰۱۸، ۴۹۳۵ و ۶۴۴۵ هکتار خواهد بود. شکل ۸ نیز روند تغییرات کاربری اراضی و عملکرد آب در دو بازه زمانی ۳۰ ساله (۱۹۹۰ تا ۲۰۲۰ و ۲۰۲۰ تا ۲۰۵۰) را نشان می‌دهد.



شکل ۸- درصد تغییرات کاربری اراضی و تولید آب در منطقه مطالعاتی در مقیاس زیرحوضه‌ها در بازه زمانی

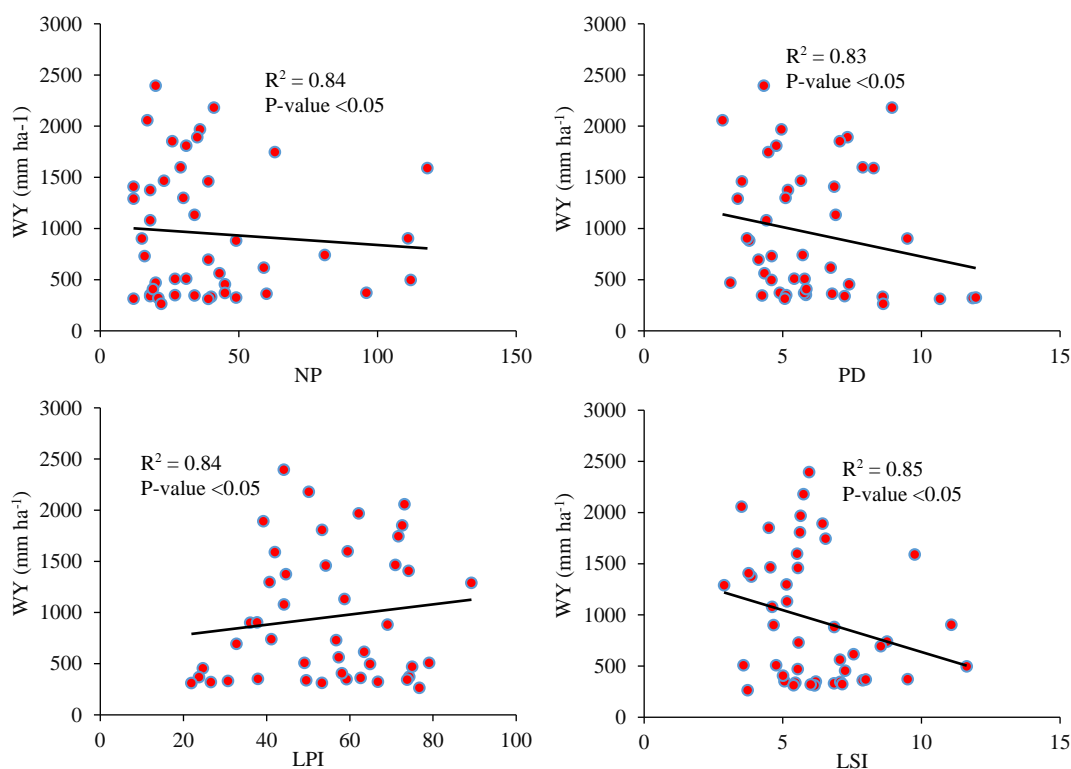
۱۹۹۰ تا ۲۰۵۰

این نتایج نشان می‌دهد که بخش‌های شمال شرقی حوضه نسبت به دیگر مناطق از نظر تولید آب دارای بازدهی بهتری هستند و کمترین بازدهی نیز در قسمت‌های جنوبی منطقه مشاهده شده است. بارندگی زیاد، وجود دره‌های و گودال‌های عمیق، نفوذپذیری خاک و تراکم پوشش گیاهی مناسب در نیمه شمالی حوضه از جمله عواملی هستند که در حفظ و ذخیره آب در این پهنه‌ها اثرگذارند و باعث افزایش تولید آب در این بخش‌ها نسبت به دیگر مناطق حوضه شده است. در سطح زیرحوضه‌ها نیز زیرحوضه‌های واقع در شمال حوضه از نظر تولید آب دارای بازدهی بهتری هستند درحالی‌که زیرحوضه‌های واقع در جنوب و جنوب غرب منطقه کمترین بازدهی به خود اختصاص داده‌اند.

نتایج GWR نیز در شکل ۹ نشان داده شده است. نتایج حاکی از آن است که تولید آب با سنجه‌های تعداد لکه، تراکم لکه و شاخص شکل سیمای سرزمین رابطه مکانی معنادار و معکوس دارد درحالی‌که رابطه آن با شاخص بزرگ‌ترین لکه یک رابطه معنادار و مستقیم است. در این رابطه ضریب تبیین (R^2) بین تولید آب با سنجه‌های تعداد لکه، تراکم لکه، شاخص شکل سیمای سرزمین و شاخص بزرگ‌ترین لکه به ترتیب ۰/۸۴، ۰/۸۳، ۰/۸۵ و ۰/۸۴ تعیین شد. بر این اساس می‌توان گفت که ویژگی‌های ساختاری سیمای سرزمین و الگوی کاربری حاکم بر منطقه می‌تواند تعیین‌کننده تولید آب باشد. ولدگبریل و یشیتلا^۱ (۲۰۲۱) تغییرات خدمات اکوسیستمی بر اثر تغییرات زمانی و مکانی کاربری اراضی را مورد تأیید قرار دادند. فام و همکاران^۲ (۲۰۱۸) نیز تأیید کردند که تغییرات کاربری اراضی و ویژگی‌های آن باعث تغییر خدمات اکوسیستمی می‌شود. در واقع با افزایش تعداد، تراکم و شکل لکه‌ها در یک قطعه از سرزمین خردشدگی و از هم گسستگی کاربری‌ها افزایش پیدا می‌کند که در نتیجه آن شرایط اکولوژیک اکوسیستم‌ها تحت تأثیر قرار می‌گیرد و در نتیجه این فرآیند تغییر و کاهش خدمات اکوسیستمی از جمله تولید آب اتفاق می‌افتد درحالی‌که با افزایش مساحت لکه‌ها (شاخص بزرگ‌ترین لکه) یک روند معکوس ایجاد می‌شود.

1 Weldegebriel and Yeshitela

2 Pham et al.



شکل ۹- رابطه بین تولید آب (WY) با سنججه‌های سیمای سرزمین (NP: تعداد لکه، PD: تراکم لکه‌ها، LPI: شاخص بزرگ‌ترین لکه و LSI: شاخص شکل سیمای سرزمین) بر اساس GWR

۴- جمع‌بندی

این مطالعه نشان داد که تغییرات کاربری اراضی طی ۳۰ سال گذشته در حوضه آبخیز تراز در استان خوزستان شدید بوده است؛ به طوری که بیش از ۴۵۰۰ هکتار از اراضی جنگلی و مراتع منطقه تخریب و به اراضی کشاورزی و ساخته‌شده‌ها تبدیل شده‌اند. پیش‌بینی می‌شود که در ۳۰ سال آینده نیز حدود ۲۴۴۲ هکتار از اراضی جنگلی در صورت ادامه شرایط محیط‌زیستی کنونی حاکم بر حوضه کاسته شود. نتایج مطالعه تأیید کرد که میزان تولید آب در منطقه در کاربری‌های مختلف متفاوت است؛ به طوری که بیشترین و کمترین میزان تولید آب به ترتیب در کاربری‌های ساخته‌شده‌ها و کشاورزی برآورد شده است. همچنین ثابت شد که ویژگی‌های سیمای سرزمین در تغییر تولید آب اثرگذار است. در این رابطه تولید آب با افزایش سنججه‌های تعداد، تراکم و شکل لکه‌های کاهش و با افزایش مساحت کاربری‌ها (شاخص بزرگ‌ترین لکه) افزایش می‌یابد. بر این اساس می‌توان گفت که با افزایش توسعه کاربری‌ها ویژگی‌های سیمای سرزمین تغییر و باعث افزایش گسستگی و خردشدگی زیستگاه‌ها می‌شود که در پی آن تغییر

خدمات اکوسیستمی از جمله تولید آب اتفاق می‌افتد. از این رو، برنامه‌ریزی و مدیریت مناسب در راستای توسعه کاربری‌ها و ارزیابی اثرات آن‌ها در منطقه مطالعاتی بسیار حائز اهمیت است.

تشکر و قدردانی

این مقاله مستخرج از طرح پژوهشی پس‌دکتری به شماره ۹۸۰۲۲۰۲۵ تحت حمایت صندوق حمایت از پژوهشگران و فناوران کشور است. نویسندگان از حمایت مسئولین و دست‌اندرکاران صندوق و همچنین ویراستاران و داوران محترم به خاطر ارائه نظرات و دیدگاه‌های ارزشمند در راستای افزایش کیفیت این مقاله قدردانی شایسته به عمل می‌آورند.

کتابنامه

احمدی میرقاند، فضل‌الله؛ ۱۳۹۷. به‌کارگیری خدمات اکوسیستم و ارزش‌های زیباشناختی سیمای سرزمین در فرآیند بهینه‌سازی تخصیص کاربری اراضی. رساله دکتری ارزیابی و آمایش محیط‌زیست. دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.

احمدی میرقاند، فضل‌الله؛ محمدزاده، مرجان؛ سلمان ماهینی، عبدالرسول؛ میرکریمی، سیدحامد؛ ۱۳۹۶. ارزیابی عملکرد آب در اکوسیستم‌های حوضه آبخیز قره‌سو بر مبنای الگوی کاربری اراضی و پوشش سرزمین. فصلنامه علوم و تکنولوژی محیط‌زیست. https://jest.srbiau.ac.ir/article_11145.html

- Aghsaei, H., Dinan, N.M., Moridi, A., Asadolahi, Z., Delavar, M., Fohrer, N., Wagner, P.D., 2020. Effects of dynamic land use/land cover change on water resources and sediment yield in the Anzali wetland catchment, Gilan, Iran. *Science of the Total Environment*, 712: 136449. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.136449>
- Ahmadi Mirghaed, F., Mohammadzadeh, M., Salmanmahiny, A., Mirkarimi, S.H., 2020. Decision scenarios using ecosystem services for land allocation optimization across Gharehsoo watershed in northern Iran. *Ecological Indicators*, 117: 106645. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106645>
- Ahmadi Mirghaed, F., Souri, B., 2021. Relationships between habitat quality and ecological properties across Ziarat Basin in northern Iran. *Environment, Development and Sustainability*, 1-16. <https://doi.org/10.1007/s10668-021-01343-x>
- Ahmadi Mirghaed, F., Souri, B., Mohammadzadeh, M., Salmanmahiny, A., Mirkarimi, S.H., 2018. Evaluation of the relationship between soil erosion and landscape metrics across Gorgan Watershed in northern Iran. *Environmental monitoring and assessment*, 190(11): 643. <https://doi.org/10.1007/s10661-018-7040-5>
- Asadolahi, Z., Salmanmahiny, A., Sakieh, Y., 2017. Hyrcanian forests conservation based on ecosystem services approach. *Environmental Earth Sciences*, 76(10): 1-18. <https://doi.org/10.1007/s12665-017-6702-x>
- Derakhshan-Babaei, F., Nosrati, K., Mirghaed, F. A., Egli, M., 2021. The interrelation between landform, land-use, erosion and soil quality in the Kan catchment of the Tehran province, central Iran. *Catena*, 204, 105412. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2021.105412>

- Donohue, R.J., Roderick, M.L., McVicar, T.R., 2012. Roots, storms and soil pores: Incorporating key ecohydrological processes into Budyko's hydrological model. *Journal of Hydrology*, 436: 35-50. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2012.02.033>
- Droogers, P., Allen, R.G., 2002. Estimating reference evapotranspiration under inaccurate data conditions. *Irrigation and drainage systems*, 16(1): 33-45. <https://doi.org/10.1023/A:1015508322413>
- Fu, B., Li, Y., Wang, Y., Zhang, B., Yin, S., Zhu, H., Xing, Z., 2016. Evaluation of ecosystem service value of riparian zone using land use data from 1986 to 2012. *Ecological Indicators*, 69: 873-881. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.05.048>
- He, J., Huang, J., Li, C., 2017. The evaluation for the impact of land use change on habitat quality: A joint contribution of cellular automata scenario simulation and habitat quality assessment model. *Ecological Modelling*, 366: 58-67. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2017.10.001>
- Lang, Y., Song, W., 2019. Quantifying and mapping the responses of selected ecosystem services to projected land use changes. *Ecological Indicators*, 102: 186-198. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.02.019>
- Lang, Y., Song, W., Zhang, Y., 2017. Responses of the water-yield ecosystem service to climate and land use change in Sancha River Basin, China. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 101: 102-111. <https://doi.org/10.1016/j.pce.2017.06.003>
- Li, J., Zhang, C., Zhu, S., 2021. Relative contributions of climate and land-use change to ecosystem services in arid inland basins. *Journal of Cleaner Production*, 298: 126844. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126844>
- McGarigal, K., Cushman, S., Neel, M.C., Ene, E., 2002. FRAGSTATS: Spatial pattern analysis program for categorical and continuous maps. University of Massachusetts, Amherst, MA, USA. www.umass.edu/landeco/research/fragstats/fragstats.html
- Monrapussorn, S., 2018. Impact of climate and land use change on ecosystem services: A case study of Samutsakorn province, Thailand. *Ecological informatics*, 47: 45-49. <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2017.08.007>
- Peng, Y., Mi, K., Qing, F., Xue, D., 2016. Identification of the main factors determining landscape metrics in semi-arid agro-pastoral ecotone. *Journal of Arid Environments* 124: 249-256. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2015.08.009>
- Pham, T. G., Nguyen, H. T., Kappas, M., 2018. Assessment of soil quality indicators under different agricultural land uses and topographic aspects in Central Vietnam. *International Soil and Water Conservation Research*, 6(4): 280-288. <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2018.08.001>
- Schirpke, U., Kohler, M., Leitinger, G., Fontana, V., Tasser, E., Tappeiner, U., 2017. Future impacts of changing land-use and climate on ecosystem services of mountain grassland and their resilience. *Ecosystem services*, 26: 79-94. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2017.06.008>
- Sharp, R., Tallis, H.T., Ricketts, T., Guerry, A.D., Wood, S.A., Chapin-Kramer, B., 2020. InVEST 3.8.0.post52 + ug.g8cfdc4a User's Guide. Stanford: The Natural Capital Project.
- Weldegebriel, S. K., Yeshitela, K., 2021. Measuring the Semi-Century Ecosystem-Service Value Variation in Mekelle City Region, Northern Ethiopia. *Sustainability*, 13(18): 10015. <https://doi.org/10.3390/su131810015>
- Wu, Y., Zhang, X., Li, C., Xu, Y., Hao, F., Yin, G., 2021. Ecosystem service trade-offs and synergies under influence of climate and land cover change in an afforested semiarid basin, China. *Ecological Engineering*, 159: 106083. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2020.106083>
- Yang, J., Xie, B., Zhang, D., Tao, W., 2021. Climate and land use change impacts on water yield ecosystem service in the Yellow River Basin, China. *Environmental Earth Sciences*, 80(3): 1-12. <https://doi.org/10.1007/s12665-020-09277-9>

Zhang, M., Wang, K., Liu, H., Zhang, C., Yue, Y., Qi, X., 2018. Effect of ecological engineering projects on ecosystem services in a karst region: A case study of northwest Guangxi, China. *Journal of Cleaner Production* 183: 831-842. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.02.102>