

## بررسی تغییرات کاربری اراضی حوضه سد کارده به روش آنالیز شدت

مهدی مهدیزاده کاریزکی- دانشجوی دکتری آبیاری و زهکشی دانشگاه فردوسی مشهد، ایران  
امین علیزاده- استاد گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران  
حسین انصاری<sup>۱</sup>- استاد گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران  
هادی معماریان خلیل آباد- دانشیار دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه بیرجند، ایران

تاریخ تصویب: ۱۳۹۸/۶/۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۴/۳۰

### چکیده

پوشش زمین و کاربری اراضی از مهم ترین عوامل هیدرولوژیکی در حوضه های آبخیز می باشند؛ زیرا در کیفیت و حجم کل رواناب نقش مؤثری دارند. بررسی میزان افزایش، کاهش، انتقال و ثبات بین کاربری ها درک بهتری از نحوه تغییرات پوشش و کاربری اراضی یک منطقه می دهد. این تحقیق تغییرات را در میان کلاس های طبقه بندی شده کاربری اراضی حوضه آبخیز سد کارده (شمال شرق ایران) ارزیابی و شدت آن ها را در سه بعد زمان، طبقه و شدت انتقال تحلیل می کند. با استفاده از تصاویر ماهواره ای و بررسی های میدانی، منطقه مورد مطالعه در سال های ۱۹۸۷، ۱۹۹۸، ۲۰۰۸ و ۲۰۱۶ به پنج طبقه مرتع، زراعت آبی و باغات، زراعت دیم، برون زدگی سنگی بدون پوشش و مناطق مسکونی طبقه بندی شد. تحلیل شدت تغییرات کاربری ها بر اساس روش ریاضی ابداعی آلدویک و پنتیوس (۲۰۱۲) که شدت های مشاهداتی را با شدت یکنواخت مقایسه می کند، انجام شد. برای هر بازه زمانی، جدول تقاطعی ایجاد شد و شدت تغییرات هر کاربری در سه بعد زمان، طبقه و انتقال بررسی شد. نتایج نشان داد که بیشترین میزان تغییرات کاربری اراضی مربوط به سه کاربری مرتع، زراعت آبی و دیم بوده و در بازه زمانی ۱۹۹۸-۱۹۸۷ رخ داده است، اما شدت این تغییرات در بازه زمانی ۲۰۱۶-۲۰۰۸ بیشتر بود. در تمامی دوره ها کاربری مرتع به عنوان یک پتانسیل در تبدیل به سایر کاربری ها نقش مؤثر داشته و تغییرات کاربری ها الگوی منظمی نداشتند. در اثر تغییرات شدید و غیراصولی تبدیل کاربری مرتع به اراضی زراعی دیم و آبی و بالعکس، کاربری بدون پوشش ۴ درصد افزایش نشان داد. نتایج نشان می دهد که همانند سایر مناطق مشابه در کشورهای

در حال توسعه، تغییرات کاربری اراضی با رشد جمعیتی، شرایط اقلیمی و اقتصادی کشور مرتبط است و می‌تواند بر منابع طبیعی تأثیر مخرب بگذارد.

**کلیدواژه‌ها:** کاربری اراضی، پوشش، طبقه‌بندی، شدت تغییرات، حوضه آبخیز.

## ۱- مقدمه

کشور ایران با متوسط بارندگی معادل ۰/۳ میانگین جهانی در زمره کشورهای خشک و نیمه‌خشک جهان قرار دارد و منابع آب مطلوبی ندارد (ابریشم چی و تجریشی، ۲۰۰۵؛ یار احمدی، ۱۳۹۳). یکی از مهم‌ترین مخاطرات محیطی و بحران‌های اکولوژیکی که امروزه جهان با آن روبرو است، پدیده تغییر کاربری اراضی است (موسوی و همکاران، ۲۰۱۴). به منظور تأمین امنیت غذایی، تغییر کاربری و پوشش اراضی ارتباط مستقیم با بهره‌برداری از سه منبع آب، زمین و هوا دارد (FAO, 2012).

طی دهه‌های اخیر، توسعه سریع شهرها موجب تغییرات وسیعی در الگوی کاربری اراضی در پیرامون شهرها شده است (صدر موسوی و همکاران، ۱۳۹۲). فعالیت‌های بدون برنامه و مهارنشده در کشورهای در حال توسعه سبب ایجاد تغییرات سریع در کاربری اراضی می‌شود (Nath et al., 2015). افزایش جمعیت و رشد شهرنشینی، تقاضا برای تأمین غذا را افزایش داده است که این امر موجب تغییرات شدید در کاربری اراضی و بیلان آب حوضه‌های آبخیز شده است (Adhikari et al., 2014). هیتایزو و همکاران (۲۰۱۵) با ارزیابی تغییر کاربری کشاورزی در آفریقای جنوبی به این نتیجه رسیدند که تغییر کاربری کشاورزی در این کشور تحت تأثیر بهره‌وری محصولات زراعی، امنیت غذایی و صرفه‌جویی در استفاده از نیروی کار قرار گرفته است (Hitayezu et al., 2015). تاپا و مورایاما (۲۰۱۱) نیز عوامل اصلی تغییر کاربری اراضی در کشور نپال را توپوگرافی و فاصله از مراکز جمعیتی می‌دانند (Thapa & Murayama, 2011). مینایی و کاینز (۲۰۱۸) در تحقیق خود در خصوص تحلیل تغییرات کاربری اراضی و پوشش زمین در حوضه آبخیز گرگان‌رود در استان گلستان طی دوره ۲۰۰۴-۱۹۷۲ نشان دادند که گسترش قابل توجه مناطق شهری دلیل اصلی تغییر کاربری اراضی کشاورزی و جنگلی در طی دوره مورد مطالعه بوده است (Minaei & Kainz, 2018). در تحقیق دیگری که توسط ایمانی و همکاران (۲۰۱۴) برای پایش تغییرات کاربری اراضی در محدوده استان همدان طی سه دهه انجام شد، نتیجه گرفتند که طی این سال‌ها رشد مناطق مسکونی و صنعتی موجب تغییر کاربری اراضی حوضه‌های مجاور شده است.

تغییر کاربری اراضی در کمیت و کیفیت رواناب‌های سطحی نقش اساسی دارد (Royalli, 2013). تغییر کاربری اراضی در یک حوضه آبخیز تأثیر قابل توجهی بر چرخه هیدرولوژی و منابع آب حوضه دارد (زاهدی و همکاران، ۲۰۱۲؛ معماریان و همکاران، ۲۰۱۳). در مطالعه انجام شده توسط ماونگی و همکاران (۲۰۱۶) در خصوص رواناب

رودخانه نیان گورس<sup>۱</sup> در کنیا مشخص شد که حدود ۹۷ درصد تغییر در رواناب ناشی از تغییر کاربری اراضی جنگلی به کشاورزی است (Mwangi et al., 2016). سلمانی و همکاران (۱۳۹۱) در تحلیل کاربری اراضی حوضه آبخیز قزاقلی استان گلستان گزارش کردند که بهبود کاربری حوزه باعث کاهش مقادیر رواناب از طریق افزایش نفوذپذیری به آبخوان سطحی می شود و با تخریب منطقه مقدار رواناب افزایش یافته و مقادیر نفوذپذیری به آبخوان سطحی و تبخیر و تعرق واقعی کاهش چشم گیری می یابد. اهمیت این موضوع سبب شده تا محققان و متخصصان توجه ویژه ای به تغییرات کاربری اراضی داشته باشند و بررسی تغییر در پوشش و کاربری اراضی، موضوع مهمی برای توسعه پایدار در سراسر جهان تلقی می شود (Sanneke van & Verburg, 2013 ; Chakravarty et al., 2012). اطلاع از نسبت کاربری ها و تغییرات آن در گذر زمان یکی از مهم ترین موارد در برنامه ریزی ها می باشد. با بررسی تغییرات کاربری ها در گذر زمان می توان تغییرات آبی را پیش بینی نموده و اقدامات مقتضی را انجام داد (سردشتی و همکاران، ۲۰۱۱). بهترین روش برای بررسی تغییرات کاربری اراضی به کمیت در آوردن آن است (مینایی و کاینز، ۲۰۱۶). بررسی میزان افزایش، کاهش، انتقال و ثبات بین طبقات کاربری ها درک بهتری از نحوه تغییرات پوشش و کاربری نشان می دهد (Abino et al., 2016). طی دو دهه گذشته، اکثر مطالعات تغییر کاربری اراضی از جمله مطالعات نودشان و همکاران (۲۰۱۷) و صفونیان و همکاران (۲۰۱۵)، با استفاده از روش ساده آنالیز ماتریس تغییر انجام شده است (Minaei & Kainz, 2018). انجام مطالعات تغییر کاربری اراضی به صورت کلی و بدون تفکیک شدت های آن، به اشتباه خطای قابل ملاحظه ای را وارد محاسبات می کند که نتایج حاصل از آن رضایت بخش نیست (Huang et al., 2012). ماتریس های انتقال ساده تنها اطلاعات محدودی را ارائه می دهند و نتوانسته اند شدت تبدیل کاربری ها را نشان دهند. از این رو یک روش دقیق تر برای تمایز ساختن جزئیات تغییرات کاربری ها ضروری است (Manandhar et al., 2010). آلدویک و پونتیوس (۲۰۱۲) روشی را برای آنالیز شدت تغییرات ابداع کردند که می تواند تغییرات طبقات کاربری را در سه سطح: ۱- تغییرات کاربری در طول زمان<sup>۲</sup> ۲- میزان افزایش سطح زمین و کاهش<sup>۳</sup> آن برای هر طبقه<sup>۴</sup> ۳- شدت تغییرات کاربری ها و انتقال آنها از یک طبقه به طبقه دیگر<sup>۵</sup> را مورد بررسی قرار دهد. آنالیز شدت یک قالب کمی برای محاسبه اختلاف بین طبقات است و در یک ماتریس مربع انتقالی خلاصه می شود که ردیف ها و ستون های آن دارای طبقات یکسان می باشند. با آنالیز شدت در هر سطح می توان میزان انحراف بین شدت تغییرات مشاهده ای و شدت تغییرات یکنواخت مفروض را به دست آورد (Aldwaik & Pontius, 2012). توسعه بی رویه و بدون برنامه، استقرار صنایع و تأمین غذای ساکنین کلان شهر مشهد بر عرصه های طبیعی و منابع آب حوضه های

---

1 Nyangores

2 Time level

3 Gain & Loss

4 Category level

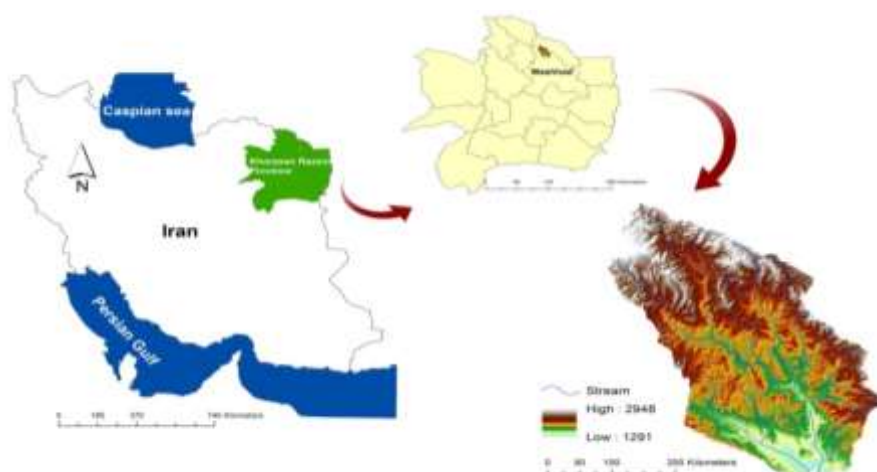
5 Transition intensity level

اطراف اثرات زیادی داشته است و موجب تغییر کاربری اراضی حوضه‌های آبخیز مجاور شده است (شاهرخی و همکاران، ۱۳۹۳). این تحقیق به بررسی تغییرات در میان کلاس‌های طبقه‌بندی شده کاربری اراضی حوضه آبخیز سد کارده با استفاده از تحلیل سه بعدی تغییرات از طریق بررسی در سه دست آوردن، از دست دادن، بدون تغییر و انتقال طبقات می‌پردازد و اندازه و شدت آن‌ها را در سه سطح زمان، طبقه و انتقال ارزیابی می‌کند. نتایج حاصل از این مطالعه می‌تواند در مطالعات برنامه‌ریزی و مدیریت جامع حوضه‌های آبخیز، کنترل سیل و اصلاح برنامه‌ریزی منابع آب حوضه آبخیز کارده استفاده شود.

## ۲- مواد و روش

### ۲-۱- منطقه مورد مطالعه

حوزه سد کارده با مساحتی در حدود ۵۴۴۲۵ هکتار در شمال شرق ایران و در ۴۲ کیلومتری شمال کلان‌شهر مشهد واقع است. این منطقه در دامنه جنوبی رشته‌کوه‌های هزار مسجد و زون کپه‌داغ در محدوده مختصات  $33^{\circ} 26' 59''$  تا  $48^{\circ} 44' 09''$  طول شرقی و  $37^{\circ} 17' 36''$  تا  $25^{\circ} 08' 36''$  عرض شمالی قرار دارد (شکل ۱). حوضه کارده حوضه‌ای کوهستانی و دارای دامنه‌هایی با شیب نسبتاً تند بوده و بلندترین نقطه آن در ارتفاعات هزار مسجد با ارتفاع ۲۹۴۸ متر و پست‌ترین نقطه حوضه در محل سد کارده با ارتفاع ۱۲۹۱ متر و ارتفاع متوسط آن ۲۰۱۴ متر از سطح دریا است. شکل عمومی آن به صورت کشیده و مستطیلی است و شیب عمومی منطقه ۳۴ درصد و محیط حوضه ۱۱۷ کیلومتر است. وضعیت زمین‌شناسی حوضه آبخیز کارده بخشی از زون کپه‌داغ شمال شرق ایران بوده و دارای سازندهای اغلب آهکی می‌باشد. حوضه آبخیز کارده دارای بافت روستایی است که مهم‌ترین فعالیت اقتصادی آنها دامداری، باغداری و زراعت است (اعظمی و سعیدیان، ۲۰۱۰).



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مطالعاتی

## ۲-۲- طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای

به منظور استخراج کاربری اراضی از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۵ و ۸ استفاده شد. بهترین زمان انتخاب تصاویر ماهواره‌ای فصل تابستان است که پوشش گیاهی کامل و درجه ابرناکی تصاویر صفر درصد می‌باشد (Emre Tekel, 1999). برای بررسی تغییرات کاربری اراضی در حوضه آبخیز سد کارده یک بازه زمانی ۳۰ ساله در ۳ دهه به ترتیب در بازه‌های زمانی سال ۳۰ ساله در ۳ دهه از سال ۱۹۸۷ تا ۲۰۱۶ در نظر گرفته شد. تاریخ و مشخصات تصاویر ماهواره‌ای مورد استفاده در این تحقیق به شرح جدول ۱ است.

جدول ۱ - مشخصات تصاویر ماهواره‌ای مورد استفاده در تفکیک کاربری اراضی

تاریخ	ماهواره	سنجنده	باندها
22 Sep 1987	Landsat 5	TM	Band1=Blue , Band2=Green , Band3=Red , Band4=Near Infrared(NIR) , Band5=Shortwave Infrared (SWIR 1) , Band7=Shortwave Infrared (SWIR 2)
18 Jul 1998	Landsat 5	TM	Band1=Blue , Band2=Green , Band3=Red , Band4=Near Infrared(NIR) , Band5=Shortwave Infrared (SWIR 1) , Band7=Shortwave Infrared (SWIR 2)
13 Jul 2008	Landsat 5	TM	Band1=Blue , Band2=Green , Band3=Red , Band4=Near Infrared(NIR) , Band5=Shortwave Infrared (SWIR 1) , Band7=Shortwave Infrared (SWIR 2)
17 Jun 2016	Landsat 8	OLI	Band1=Ultra Blue , Band2=Blue , Band3=Green , Band4=Red , Band5=Near Infrared(NIR) , Band6=Shortwave Infrared (SWIR 1) , Band7=Shortwave Infrared (SWIR 2)

در تصاویر تهیه شده برای تصحیح خطای اتمسفریک از تکنیک تفاضل پیکسل‌های تاریک متعلق به آب عمیق استفاده شد (معماریان و همکاران، ۲۰۱۳). پس از پردازش تصاویر ماهواره‌ای طبقه‌بندی تصاویر به روش تلفیقی فازی حداکثر احتمال<sup>۳</sup> صورت گرفت.

۲-۲-۱- روش حداکثر احتمال (MLC)<sup>۴</sup>

رایج‌ترین روش برای طبقه‌بندی پوشش زمین، روش حداکثر احتمال است. الگوریتم این روش بر مبنای احتمال اختصاص یک پیکسل به کلاس هدف است (Lillesand, 1999). در معادله اصلی، فرض شده است که همه طبقات از لحاظ این احتمال مشابه هستند و توزیع همه باندها عادی است. برای این روش معادله (۱) معمولاً استفاده می‌شود (Richards, 2016).

1 Landsat Thematic Mapper (TM)

2 Landsat data continuity mission (LDCM)

3 Fuzzy-Maximum Likelihood (Fuzzy-ML)

4 Maximum Likelihood method

$$g_i(x) = [\ln a_c] - [0.5 \ln |cov_c|] - [0.5(cov_c^{-1})(x - M_c)(x - M_c)^T]$$

که در این معادله  $c$  کلاس مورد نظر و  $ac$  احتمال اختصاص یک پیکسل به کلاس  $c$  است.  $x$  متغیر چند بعدی (  $n$  تعداد باند) است.  $COV_c$  و  $M_c$  ماتریس کوواریانس و بردار میانگین نمونه تعلیمی کلاس  $c$  را نشان می‌دهد. تابع  $\ln$  لگاریتم طبیعی و  $T$  تابع انتقال است.

### ۲-۲-۲- طبقه‌بندی فازی<sup>۱</sup>

بر اساس تئوری احتمال اگر رخداد  $A$  معرف مجموعه‌ای از عناصر در یک مجموعه بزرگ ( $\phi$ ) باشد، آنگاه تابع چگالی احتمال  $A$  یعنی  $P(A)$  به صورت رابطه (۲) تعریف می‌شود (برنتس و مادر<sup>۲</sup>، ۲۰۰۱): رابطه (۲)

$$P(A) = \int_{\phi} H_A(S)$$

که در این رابطه  $S$  عنصر موجود در مجموعه  $\phi$  و  $HA$  تابع عضویت است. در طبقه‌بندی تصاویر، رخداد  $A$  در واقع یک طبقه محسوب می‌شود.  $S$  بردار سنج پدیده در یک پیکسل یعنی همان  $DN$  است. تابع عضویت  $HA$  بیان کننده این است که آیا  $S$  به طبقه  $A$  متعلق است که رتبه عضویت آن برابر یک است یا خیر که رتبه عضویت آن برابر صفر است. معمولاً این روش به صورت ترکیب با روش‌های معمول طبقه‌بندی مثل حداکثر احتمال بکار گرفته می‌شود (معماریان و همکاران، ۲۰۱۳). در مطالعه حاضر طبقه‌بندی تصاویر و محدوده‌های هر کاربری با استفاده از روش فازی و حداکثر احتمال تعیین گردید. بدین صورت که فاصله طیفی و نقشه طبقه‌بندی شده همراه با ماتریس وزن به سیستم معرفی شده و سپس با اعمال الگوریتم فازی بروی تصویر طبقه‌بندی شده، هر پیکسل به چندین کلاس تعلق اختصاص داده شد که نهایتاً با استفاده از ماتریس ضرایب وزنی و کانولوشن<sup>۳</sup> هر پیکسل به کلاس خاصی تعلق یافت. کانولوشن یکی از قوی‌ترین تکنیک‌های مورد استفاده در پردازش تصاویر محسوب می‌شود. با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و بررسی‌های میدانی منطقه مطالعاتی به ۵ طبقه به شرح جدول ۲ دسته‌بندی شد. شکل ۲ نقشه کاربری اراضی را پس از اعمال الگوریتم فازی- حداکثر احتمال ۴ بر روی تصاویر ماهواره‌ای نشان می‌دهد. به منظور تهیه نقشه واقعیت زمینی ۵ از ۱۰۰ نمونه تصادفی استفاده شد که از طریق مقایسه پیکسل به پیکسل نقشه‌های طبقه‌بندی شده با واقعیت زمینی ارزیابی صحت نقشه‌ها صورت گرفت. نقاط کنترل زمینی طوری در نظر گرفته شدند

- 1 Fuzzy classification
- 2 Branth & Mather
- 3 Convolution
- 4 fuzzy-ML
- 5 Ground truth map

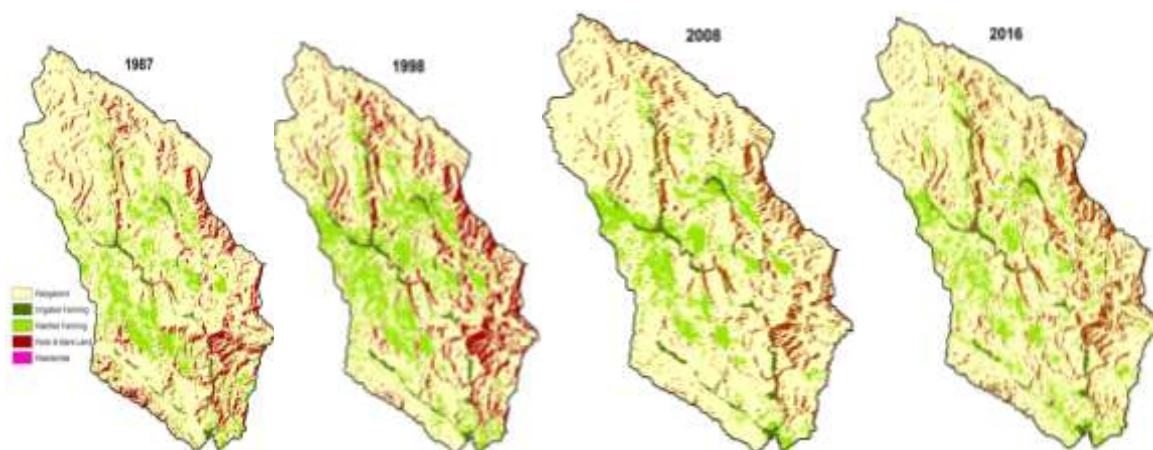
که در کل تصویر پراکنده باشند. برای ارزیابی دقت و صحت تصاویر طبقه‌بندی شده با نقشه‌های واقعیت زمینی ماتریس خطا تشکیل شد و بر اساس آن صحت کلی و ضریب کاپا<sup>۱</sup> محاسبه گردید (Richards, 1999).

جدول ۲- کلاس‌بندی پوشش و کاربری اراضی محدوده مطالعاتی

شماره کلاس	نام کلاس	شرح	علامت اختصاری
۱	مرتع	Rangeland	PAST
۲	زراعت آبی و باغات	Irrigated Farming	ORCD
۳	زراعت دیم	Rain fed Farming	AGRL
۴	برون‌زدگی سنگی - بدون پوشش	Rock out crop - Bare Land	BARR
۵	مناطق مسکونی	Residential	URML

ضریب کاپا (K) به منظور خلاصه کردن اطلاعات ایجاد شده به وسیله ماتریس خطا بکار برده شد (Marder, 1999).

$$K = \frac{N \sum_{i=1}^r x_{ii} - \sum_{i=1}^i x_{+i} x_{i+}}{N^2 - \sum_{i=1}^r x_{+i} x_{i+}} \quad (\text{رابطه ۳})$$



شکل ۲- کاربری اراضی منطقه مطالعاتی در دوره‌های مطالعاتی

که در این رابطه  $x_{ij}$  ورودی‌های قطری ماتریس خطا،  $x_{i+}$  مجموع ردیف  $i$  ماتریس خطا،  $x_{+i}$  مجموع ستون  $i$  ماتریس خطا و  $N$  تعداد عناصر در ماتریس خطا می‌باشد. ارزش صفر در معیار کاپا نشان دهنده این است که بین اطلاعات حاصل از طبقه‌بندی و اطلاعات واقعیت زمینی هیچ‌گونه مطابقتی<sup>۲</sup> وجود ندارد در حالی که ارزش یک معیار کاپا نشان دهنده مطابقت کامل بین اطلاعات حاصل از طبقه‌بندی و اطلاعات واقعیت زمینی است (Marder, 1999).

1 Kappa

2 Agreement

## ۲-۳- محاسبات شدت تغییرات

بعد از طبقه‌بندی تصاویر، تغییرات آن در بازه‌های زمانی ۱۹۹۸-۱۹۸۷، ۲۰۰۸-۱۹۹۸ و ۲۰۱۶-۲۰۰۸ در سه سطح زمان<sup>۱</sup>، طبقه<sup>۲</sup> و انتقال<sup>۳</sup> بررسی شد. اگرچه ماتریس‌های تغییر که برای تعیین کاربری اراضی استفاده می‌شوند، باعث ایجاد اطلاعات مرتبط می‌شوند، اما هم‌زمان تغییرات همه زمان‌ها را در نظر نمی‌گیرند. بنابراین آنها درک خوبی از روند تغییر سطح زمین را نشان نمی‌دهند (Mallinis, 2014). تحلیل شدت چند سطحی که شدت تغییرات کاربری را در سه سطح زمان، طبقه و انتقال بررسی می‌کند، براساس روش ابداعی آلدویک و پوتیوس (۲۰۱۲) انجام شد. برای هر بازه زمانی جدول تقاطعی<sup>۴</sup> ایجاد شد. تغییرات در سطح زمان<sup>۵</sup> تغییرات کلی کاربری را در طول زمان و در هر بازه زمانی نشان می‌دهد. در این سطح برای هر دوره زمانی شدت تغییرات سالانه مشاهده‌ای با نرخ یکنواخت تغییرات مقایسه می‌شود. شدت تغییرات در سطح طبقه<sup>۶</sup> میزان و شدت بدست‌آوردن و از دست‌دادن زمین برای هر طبقه را نشان می‌دهد. شدت تغییرات در سطح انتقال<sup>۷</sup> جابجایی از یک طبقه به طبقه دیگر را نشان می‌دهد (Aldwaik et al., 2012). آلدویک و پوتیوس (۲۰۱۲) روابط زیر را برای محاسبه شدت تغییرات ارائه کرده‌اند:

شدت تغییرات در سطح زمان: برای محاسبه شدت تغییرات در سطح زمان روابط (۴) و (۵) بکار می‌رود:

$$U = \frac{100 \sum_{t=1}^{T-1} \left\{ \sum_{i=1}^j \left[ \left( \sum_{i=1}^j C_{tij} \right) - C_{tij} \right] \right\} \div \left\{ \sum_{j=1}^j \left( \sum_{i=1}^j C_{tij} \right) \right\}}{(Y_T) - (Y_1)} \quad (4)$$

$$= \frac{(100 \times \text{area of change during all intervals}) \div (\text{area of study region})}{\text{duration of all intervals}}$$

$$S_t = \frac{100 \times \left\{ \sum_{j=1}^j \left[ \left( \sum_{i=1}^j C_{tij} \right) - (C_{tjj}) \right] \right\} \div \left\{ \sum_{j=1}^j \left( \sum_{i=1}^j C_{tij} \right) \right\}}{(Y_{t+1}) - (Y_t)} \quad (5)$$

$$= \frac{(100 \times \text{area of change during interval } [Y_t Y_{t+1}]) \div (\text{area of study region})}{\text{duration of interval } [Y_t Y_{t+1}]}$$

شدت تغییرات در سطح طبقه: برای محاسبه شدت تغییرات در سطح طبقه روابط (۶) و (۷) و (۸) بکار می‌رود:

$$P_t = \frac{100 \times \left\{ \sum_{j=1}^j \left[ \left( \sum_{i=1}^j C_{tij} \right) - C_{tjj} \right] \right\} \div \{Y_{t+1} - Y_t\}}{\sum_{j=1}^j \left( \sum_{i=1}^j C_{tij} \right)} \quad (6)$$

$$= \frac{100 \times (\text{area of change during interval } [Y_t, Y_{t+1}]) \div (\text{duration of interval } [Y_t, Y_{t+1}])}{\text{area of study region}}$$

1 Time interval

2 Category

3 Transition

4 Cross-tabulation

5 Time interval level

6 category intensity level

7 Transition intensity level



$$L_{ti} = \frac{100 \times \left\{ \left( \sum_{j=1}^j C_{tij} \right) - (C_{tii}) \right\} \div \{ Y_{t+1} - Y_t \}}{\sum_{j=1}^j C_{tij}} \quad (7)$$

$$= \frac{100 \times (\text{area of gross loss of category } i \text{ during } [Y_t, Y_{t+1}]) \div (\text{duration of interval } [Y_t, Y_{t+1}])}{\text{area of category } i \text{ at time } Y_t}$$

$$G_{tj} = \frac{100 \times \left\{ \left( \sum_{i=1}^j C_{tij} \right) - C_{tjj} \right\} \div \{ Y_{t+1} - Y_t \}}{\sum_{i=1}^j C_{tij}} \quad (8)$$

$$= \frac{100 \times (\text{area of gross gain of category } j \text{ during } [Y_t, Y_{t+1}]) \div (\text{duration of interval } [Y_t, Y_{t+1}])}{\text{area of category } j \text{ at time } Y_{t+1}}$$

شدت تغییرات در سطح انتقال: بررسی شدت تغییرات در این سطح، اطلاعات مفیدی در خصوص شدت انتقال کاربری از طبقه مشخص  $m$  به طبقه متفاوت دیگر  $n$  می‌دهد. برای این منظور ابتدا باید الگوی به دست آوردن<sup>۱</sup> زمین در طبقه  $n$  و سپس مقدار از دست دادن<sup>۲</sup> زمین در طبقه  $m$  بررسی شود. معادلات ۹ و ۱۰ نشان می‌دهد که کدام طبقات دیگر به شدت از هدف قرار دادن<sup>۳</sup> طبقه  $n$  اجتناب<sup>۴</sup> می‌کنند. معادله ۹ شدت انتقال مشاهده شده<sup>۵</sup> به طبقه  $n$  را از هر طبقه  $i$  نشان می‌دهد ( $i \neq n$ ). معادله ۹ تعداد  $J-1$  شدت در هر دوره زمانی ایجاد می‌کند یعنی یک شدت برای هر طبقه بدون<sup>۶</sup>  $n$  در هر دوره زمانی. معادله ۱۰ برای هر بازه زمانی یک شدت یکنواخت برای طبقه  $n$  تولید کرده که شدت انتقال سالانه به طبقه  $n$  را تعیین می‌کند با این فرض که طبقه  $n$  به طور یکنواخت از میان طبقات دیگر زمین به دست می‌آورد. شدت یکنواختی که از معادله ۱۰ به دست می‌آید میانگین وزنی تعداد  $J-1$  شدتی است که توسط معادله ۹ تولید شده است که وزن هر طبقه  $i$  مساحت  $i$  همان طبقه است در بازه زمانی  $Y_t$ . در تحلیل شدت تغییرات در سطح انتقال، برای بررسی ایستایی از  $m$  به  $n$  اگر طبقه  $n$  به طبقه  $m$  در تمام دوره‌های زمانی تغییر یابد یا بالعکس در تمام بازه‌های زمانی مطالعاتی تغییر نیابد، این نوع از تبدیل از  $n$  به  $m$  ثابت یا ماننا<sup>۷</sup> تعریف می‌شود (آلدویک و پونتیس، ۲۰۱۲). برای تحلیل شدت انتقال برای هر بازه زمانی<sup>۲</sup> مجموعه خروجی ایجاد می‌شود یکی از آنها مربوط به، به دست آوردن زمین در طبقه  $n$  است و دیگری مربوط به از دست دادن زمین در طبقه  $m$ . معادلات ۱۱ و ۱۲ نیز به همین ترتیب میزان از دست دادن زمین را نشان می‌دهند. به عبارت دیگر، معادلات ۱۱ و ۱۲ تعیین می‌کنند که کدام طبقات دیگر از هدف‌گیری طبقه  $m$  جلوگیری<sup>۸</sup> می‌کنند. همچنین این معادلات برای این واقعیت بکار برده

1 Gain

2 Loss

3 Target

4 Avoid

5 Observed Intensity

6 Non n category

7 Stationary

8 Avoid

می‌شوند که اگر طبقه  $m$  در پایان دوره زمانی در یک موقعیت مشخصی وجود داشته باشد، در طول آن بازه زمانی نمی‌تواند از آن محل حذف شده باشد. معادله ۱۱ شدت انتقال مشاهده‌ای از طبقه  $m$  به هر طبقه  $J$  را نشان می‌دهد ( $m \neq J$ ). معادله ۱۱ تعداد  $J-1$  شدت در هر بازه زمانی تولید می‌کند. معادله ۱۲ فقط یک خروجی دارد که شدت یکنواخت سالانه از طبقه  $m$  به هر طبقه دیگر در هر بازه زمانی نشان می‌دهد. شدت یکنواخت شرایطی را نشان می‌دهد که طبقه  $m$  متعلق به طبقات دیگر است و در آن همه طبقات به غیر از طبقه  $m$  هرکدام نسبت به اندازه خود از طبقه  $m$  زمین از دست می‌دهند<sup>۱</sup>. حروف اختصاری در فرمول‌های ارائه شده به شرح جدول ۳ است.

$$R_{tin} = \frac{(\text{area transition from } i \text{ to } n \text{ during } [Y_t, Y_{t+1}]) \div (\text{duration of } [Y_t, Y_{t+1}])}{\text{area of category } i \text{ at time } Y_t} = \frac{(C_{tin}) \div (Y_{t+1} - Y_t)}{\sum_{j=1}^j C_{tij}} \times 100 \quad (9)$$

$$W_{tn} = \frac{(\text{area of gross gain of category } n \text{ during } [Y_t, Y_{t+1}]) \div (\text{duration of } [Y_t, Y_{t+1}])}{\text{area that is not category } n \text{ at time } Y_t} \quad (10)$$

$$= \frac{\left[ \left( \sum_{i=1}^j C_{tin} \right) - (C_{tnn}) \right] \div (Y_{t+1} - Y_t)}{\sum_{j=1}^j \left[ \left( \sum_{i=1}^j C_{tij} \right) - (C_{tnj}) \right]} \times 100$$

$$Q_{tmj} = \frac{100 \times (\text{area of transition from } m \text{ to } j \text{ during } [Y_t, Y_{t+1}]) \div (\text{duration of } [Y_t, Y_{t+1}])}{\text{area of category } j \text{ at time } Y_{t+1}} = \frac{(C_{tmj}) \div (Y_{t+1} - Y_t)}{\sum_{i=1}^j C_{tij}} \quad (11)$$

$$V_{tm} = \frac{100 \times (\text{area of gross loss category } m \text{ during } [Y_t, Y_{t+1}]) \div (\text{duration of } [Y_t, Y_{t+1}])}{\text{area that is not category } m \text{ at time } Y_{t+1}} \quad (12)$$

$$= 100 \times \frac{\left[ \left( \sum_{j=1}^j C_{tmj} \right) - (C_{tmm}) \right] \div (Y_{t+1} - Y_t)}{\sum_{i=1}^j \left[ \left( \sum_{j=1}^j C_{tij} \right) - C_{tim} \right]}$$

در فرآیند تحلیل شدت در هر سطح، ثبات الگوی تغییرات در فواصل زمانی مورد مطالعه ارزیابی شد. ثبات یعنی اینکه الگوی تغییر کاربری در یک فاصله زمانی، مشابه الگوی تغییر کاربری در فاصله یا دوره زمانی دیگر است. ایستایی<sup>۲</sup> برای هر یک از سطوح تجزیه و تحلیل شدت، تعریف مشخصی دارد. ایستایی در سطح زمان بدان معنی است که شدت تغییر سالانه مشاهده شده برابر با تغییر سالانه یکنواخت برای همه فواصل زمانی است. ایستایی در سطح طبقه بدان معنی است که بدست آوردن یا ازدست دادن هر طبقه بزرگ‌تر یا پایین‌تر از خط یکنواخت شدت<sup>۳</sup> در همه فواصل است. همین اصطلاح در سطح انتقال بدان معنی است که بدست آوردن یا ازدست دادن هر طبقه در هر فاصله زمانی یک دسته خاص را هدف قرار داده یا از یک دسته خاص جلوگیری می‌کند (Aldwaik & Pontius, 2012).

1 Lose

2 Stationary

3 Uniform Line

## ۳- نتایج و بحث

جدول شماره ۴ نتایج طبقه‌بندی اراضی و مطابقت آن با واقعیت زمینی را در هر بازه زمانی نشان می‌دهد. صحت کلی و ضریب کاپای محاسبه شده برای کلیه دوره‌های زمانی در دامنه مناسبی قرار دارد اختلاف زیادی با یکدیگر ندارند (ویرا و گارت، ۲۰۰۵).

## جدول ۳- علائم و حروف اختصار

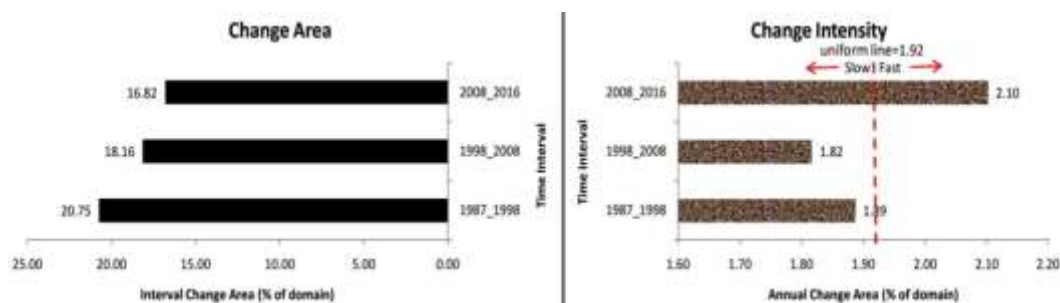
$G_{ij}$ شدت تغییرات سالانه به دست آوردن زمین از طبقه $j$ برای دوره زمانی $[Y_t, Y_{t+1}]$	J تعداد طبقات
$L_{ij}$ شدت تغییرات سالانه از دست دادن زمین از طبقه $i$ برای دوره زمانی $[Y_t, Y_{t+1}]$	$i$ زمان شروع
$R_{im}$ شدت تغییرات سالانه انتقال از طبقه $i$ به طبقه $m$ در طول دوره زمانی $[Y_t, Y_{t+1}]$ که $i \neq m$	$j$ زمان خاتمه
$W_{im}$ مقدار شدت یکنواخت انتقال به طبقه $m$ از کلیه طبقات بدون $n$ در طول دوره زمانی $[Y_t, Y_{t+1}]$	$m$ اندیس برای از دست دادن طبقه در انتقال
$Q_{mij}$ شدت تغییرات سالانه انتقال از طبقه $m$ به طبقه $j$ در طول دوره زمانی $[Y_t, Y_{t+1}]$ که $j \neq m$	$n$ اندیس برای به دست آوردن طبقه در انتقال
$V_{im}$ مقدار شدت یکنواخت انتقال از طبقه $m$ به تمام طبقات بدون $m$ در طول دوره زمانی $[Y_t, Y_{t+1}]$	T تعداد دوره‌های زمانی
	$t$ اندیس برای نشان دادن گام‌های زمانی
	$Y_t$ سال در گام زمانی $t$
	$C_{ij}$ تعداد یکسلی‌هایی که در زمان $Y_t$ از طبقه $i$ به طبقه $j$ در زمان $Y_{t+1}$ منتقل می‌شود.
	$S_t$ شدت تغییرات سالانه برای دوره زمانی $[Y_t, Y_{t+1}]$
	U مقدار خط یکنواخت برای آنالیز شدت تغییرات در سطح زمان

## جدول ۴- نتایج طبقه‌بندی

سال	ضریب کاپا	صحت کلی %	مرتع (هکتار)	زراعت آبی و باغات (هکتار)	زراعت دیم (هکتار)	برون‌زدگی سنگی بدون پوشش (هکتار)	مناطق مسکونی (هکتار)
۱۹۸۷	۰/۸۲	۸۴	۳۸۶۳۵/۲۷	۹۹۱/۷۵	۷۰۰۳/۹۶	۵۷۷۷/۶۱	۲۹/۶۲
۱۹۹۸	۰/۸۰	۸۲	۳۴۰۶۰/۳۳	۱۴۷۵/۱۶	۹۴۵۹/۳۱	۷۳۹۴/۸۸	۳۷/۲۱
۲۰۰۸	۰/۸۰	۸۰	۳۸۹۷۱/۸۴	۱۳۳۹/۴۶	۶۵۴۱	۵۵۱۲/۴۵	۵۲/۰۴
۲۰۱۶	۰/۸۲	۸۶	۳۸۵۶۹/۹۸	۱۱۸۶/۰۵	۶۵۴۹/۲۹	۶۰۱۲/۸۴	۹۰/۶۷

شکل ۳ مقدار و شدت کلی تغییرات را در سطح زمان نشان می‌دهد. نمودار سمت چپ مقدار و نمودار سمت راست شدت تغییرات را نمایش می‌دهد (Aldwaik et al., 2012). بازه زمانی ۱۹۸۷-۱۹۹۸ با ۲۰/۷۵ درصد دامنه بیشترین میزان تغییرات و بازه زمانی ۲۰۱۶-۲۰۰۸ با ۲/۱۰ درصد دامنه بیشترین شدت تغییرات را داشتند که عمدتاً به دلیل رشد و توسعه سریع شهرنشینی و افزایش مهاجرت به کلان‌شهر مشهد در این دوره زمانی است (شاه‌رخ‌ی و

همکاران، ۱۳۹۳). رشد سریع شهرنشینی و افزایش تقاضا برای غذا موجب ایجاد تغییرات سریع در کاربری اراضی حوضه‌های مجاور شده است که می‌تواند توجه‌کننده افزایش تغییرات کاربری اراضی در حوضه مطالعاتی باشد (تاجبخش و همکاران، ۲۰۱۶).



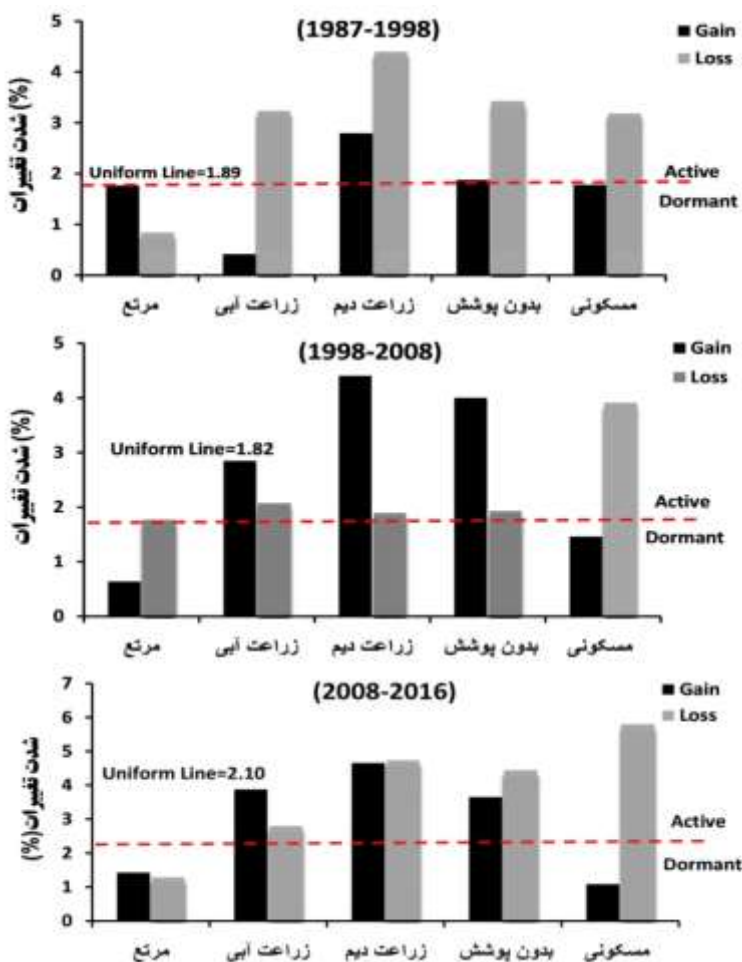
شکل ۳ - شدت کلی تغییرات در بازه زمانی ۱۹۸۷-۲۰۱۶

بررسی میزان افزایش، کاهش، انتقال و ثبات بین طبقات کاربری‌ها درک بهتری از نحوه تغییرات پوشش و کاربری نشان می‌دهد (Abino, 2015). شکل ۴ شدت تغییرات در سطح هر طبقه را در هر دوره زمانی به تفکیک نشان می‌دهد. خط شدت یکنواخت<sup>۱</sup> (UL) تغییرات سالانه فعال یا غیر فعال بودن<sup>۲</sup> تغییرات هر طبقه را نشان می‌دهد. مقدار این خط در دوره‌های زمانی اول تا سوم به ترتیب ۱/۸۹، ۱/۸۲ و ۲/۱۰ درصد است. در کلیه دوره‌های زمانی کاربری زراعت دیم و آبی و همچنین طبقه بدون پوشش سنگی در افزایش و کاهش سطح فعال بودند. تغییرات شدید و غیراصولی تبدیل مراتع به اراضی آبی و دیم موجب افزایش طبقه بدون پوشش سنگی شده است که عمدتاً ناشی از عدم وجود قوانین بازدارنده برای حفظ و احیای مراتع، رشد و توسعه بی‌رویه کلان‌شهر مشهد و افزایش مهاجرت می‌باشد از طرف دیگر توسعه زیرساخت‌هایی مانند راه، برق و سیستم‌های نوین آبیاری در منطقه موجب گسترش زراعت آبی و باغات در شیب‌های تند مراتع در این دوران شده است. در تحقیق مشابهی که در این بازه زمانی توسط محسنی و همکاران (۲۰۰۰) انجام شده است روند افزایش تخریب و فرسایش مراتع را به دلیل افزایش مهاجرت گزارش کردند. در تحقیق دیگری که توسط گلرنگ و همکاران (۱۳۹۳) برای بررسی مدل مشارکتی طرح‌های آبخیزداری در حوضه آبخیز کارده انجام و اثرات اجتماعی و اقتصادی این طرح‌ها بررسی شد، نتایج حاکی از آن بود که اجرای طرح‌های آبخیزداری در جلوگیری از مهاجرت روستاییان به شهرها و اشتغال آنها نقشی نداشتند. موسوی و همکاران (۱۳۹۴) نیز در تحقیق خود بر روند تغییرات کاربری اراضی در حوضه ابرکوه گزارش کردند که در مجموع

1 Uniform Line

2 Active & inactive

روند کلی تغییرات طبقات افزایشی است. تغییرات کاربری از نوع مخرب و ویرانگر بوده و ازلحاظ فضایی منطبق بر محدوده اطراف مراکز تجمع انسانی رخ داده است. کاربری بایر و صخره‌ای رشد ۲ تا ۵ درصدی داشتند.



شکل ۴- آنالیز شدت تغییرات هر طبقه در دوره‌های زمانی مختلف

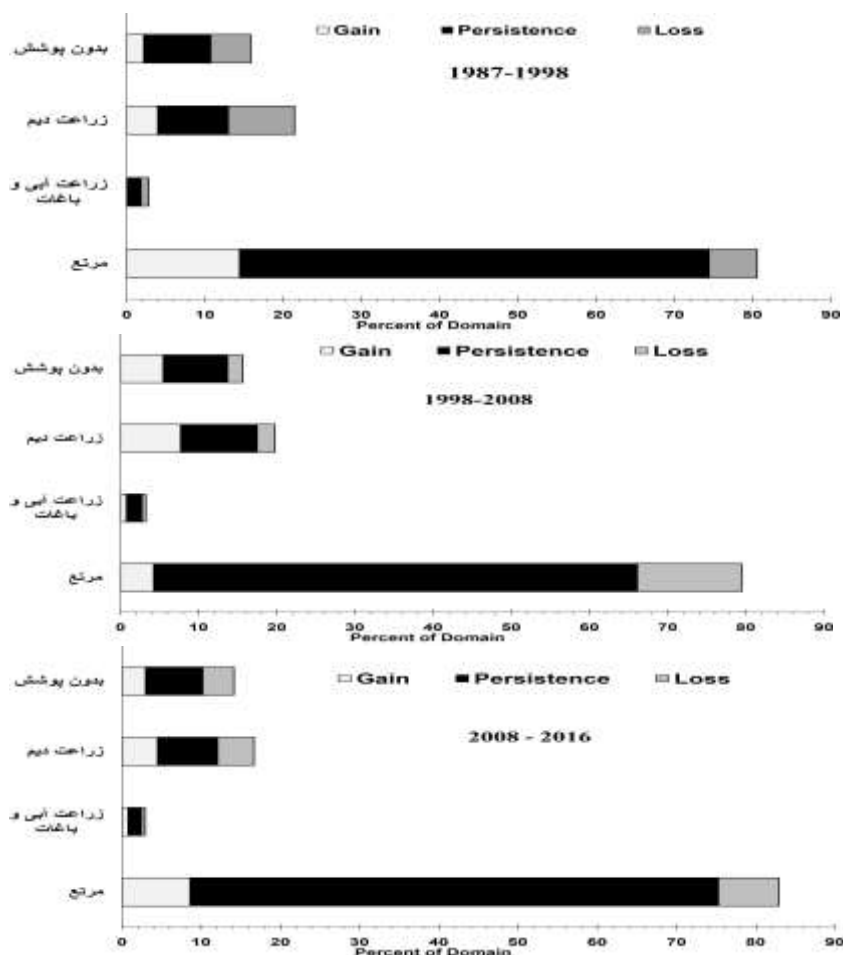
در مطالعات کاربری اراضی شناسایی مناطقی که هیچ تغییری در آنها رخ نداده است، همانند بررسی شدت تغییرات کاربری‌ها مهم است (Abino, 2015). شکل ۵ ثابت<sup>۱</sup> طبقات را در هر دوره زمانی نسبت به سطح افزایش<sup>۲</sup> و کاهش<sup>۳</sup> آنها نشان می‌دهد. کاربری مرتع که حدود ۷۰ درصد سطح حوضه آبخیز کارده را به خود اختصاص داده است در مقابل سایر کاربری‌ها بیشترین ثابت با مقادیر ۶۰، ۶۲ و ۶۷ درصد دامنه را به ترتیب برای دوره‌های زمانی

1 Stationary

2 Gain

3 Loss

۱۹۹۸-۱۹۸۷، ۱۲۰۰۸-۱۹۹۸ و ۲۰۱۶-۲۰۰۸ دارد. دوره زمانی ۱۹۹۸-۱۹۸۷ بیشترین افزایش سطح و تغییر از طبقه زراعت دیم به طبقه مرتع را داشت که می‌تواند عمدتاً ناشی از شرایط اقلیمی مساعد و جمعیت کم در آن دوره باشد (رهنما و همکاران، ۲۰۱۳). در بازه زمانی ۱۹۹۸-۲۰۰۸ بیشترین کاهش سطح و تغییر از طبقه مرتع به طبقه زراعت دیم رخ داده است که عمدتاً ناشی از افزایش بی‌رویه مهاجرت و به تبع آن افزایش تقاضا برای تأمین غذا از حوضه‌های مجاور است (رهنما و همکاران، ۲۰۱۳). نکته اصلی که در تمام دوره‌های زمانی مشاهده می‌شود این است که همواره افزایش کاربری زراعت دیم و آبی با تخریب و کاهش کاربری مرتع همراه است (ندوشان و همکاران، ۲۰۱۷). با این وجود، به‌عنوان نتیجه‌گیری تحلیل شدت در سطح طبقه می‌توان ماندگاری طبقات مرتع و بدون پوشش را در از دست دادن زمین بیان کرد. نتایج این تحلیل با یافته‌های مدنیان و صفونیان (۲۰۱۵) مطابقت دارد.



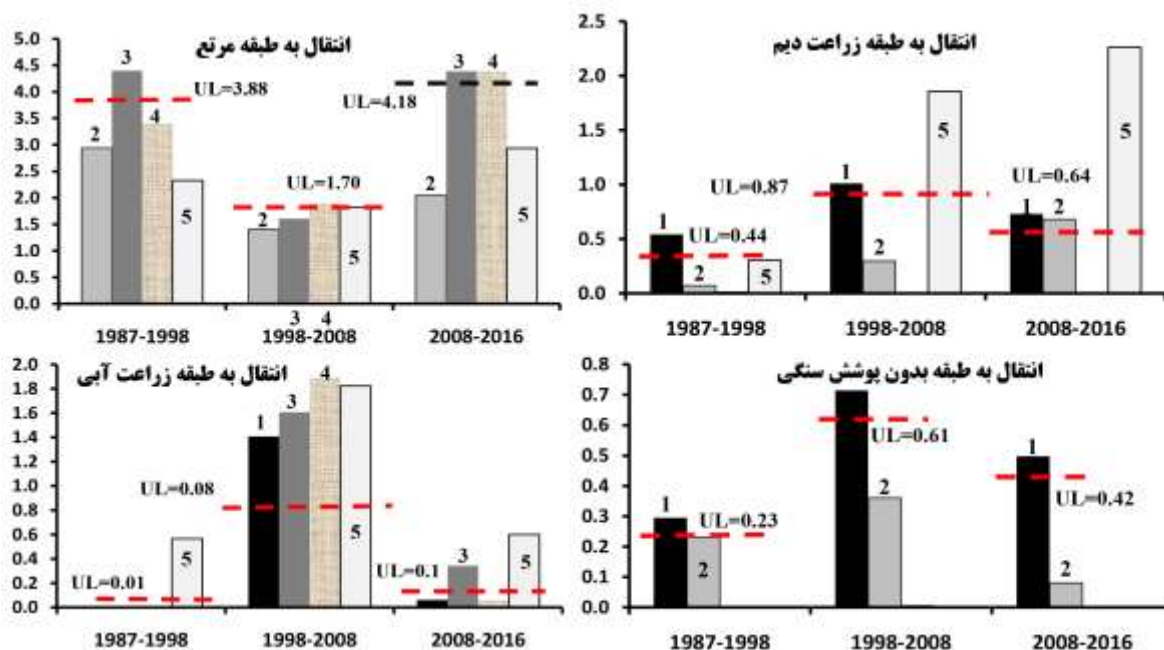
شکل ۵- آنالیز شدت و ماندگاری در مقابل افزایش و کاهش تغییرات در دوره‌های زمانی مختلف

تجزیه و تحلیل شدت در سطح انتقال پیچیده تر از دو سطح قبلی است. شکل های ۶ و ۷ طبقات فعال را که در فرآیند تحلیل شدت انتقال محاسبه شده اند، نشان می دهد. اگر شدت تغییرات سالانه هر طبقه بیشتر از خط شدت یکنواخت تغییرات سالانه باشد و در بالای این خط قرار گیرد بدین مفهوم است که تغییرات معنی دار است و به عنوان هدف<sup>۱</sup> تلقی می شود. شکل ۶ تحلیل شدت انتقال با رویکرد افزایشی به سمت هر طبقه در طول سه دوره زمانی را نشان می دهد. همان طور که ملاحظه می شود برخی از طبقات در زیر خط شدت یکنواخت تغییرات سالانه بوده و در طول دوره های مختلف تغییر نکردند به عنوان مثال انتقال از طبقه زراعت آبی و باغات به طبقه مرتع بدون تغییر بود. بالعکس در تمامی دوره ها شدت تغییرات سالانه طبقه مرتع بیشتر از مقادیر شدت یکنواخت تغییرات سالانه طبقه های زراعت دیم و بدون پوشش سنگی بود که به عنوان طبقه هدف برای انتقال به سمت طبقه های زراعت دیم و بدون پوشش سنگی می باشد. بیشترین شدت این انتقال از طبقه مرتع به کاربری زراعت دیم و بدون پوشش سنگی به ترتیب با ۰/۵۳ و ۰/۳ درصد طبقات در دوره ۱۹۸۷-۱۹۹۸ بوده که در دوره های بعدی روند کاهشی دارد. در افزایش سطح طبقه های مناطق مسکونی و زراعت آبی و باغات، طبقه زراعت دیم که خط شدت یکنواخت تغییرات سالانه را قطع کرده است طبقه هدف می باشد. شکل ۷ طبقاتی که در از دست دادن سطح<sup>۲</sup> هدف بودند را نشان می دهد. در تمامی بازه های زمانی با رویکرد کاهش سطح، طبقه مرتع هدف بوده و این کاهش سطح از طبقه مرتع به کاربری زراعت دیم و بدون پوشش سنگی بوده است. مقادیر شدت یکنواخت تغییرات سالانه آن به ترتیب برای دوره های اول تا سوم ۰/۸۸، ۰/۶۶ و ۰/۲۸ درصد طبقات می باشند. همچنین در دوره های ۱۹۹۸-۲۰۰۸ و ۲۰۰۸-۲۰۱۶ شدت انتقال از طبقه زراعت دیم به زراعت آبی و مناطق مسکونی معنی دار بوده و در این دوران از سطح طبقه زراعت دیم به نفع سطح طبقه زراعت آبی و مناطق مسکونی کاسته شده است که عمدتاً می تواند ناشی از خشکسالی های اخیر و برداشت بی رویه از منابع آب های سطحی و زیرزمینی برای توسعه اراضی آبی و باغات در این دوره باشد (شرکت آب منطقه ای خراسان رضوی، ۱۳۹۳). این حوضه دارای بافت روستایی بوده و تغییرات کاربری مناطق مسکونی نسبت به سطح وسیع حوضه و طبقات دیگر ناچیز بود. از مقایسه نتایج حاصل از شدت انتقال بین طبقات مشخص شد که به طور معمول اراضی مرتعی بیشترین تناسب را برای تغییر کاربری به اراضی دیم دارند؛ چراکه در واقع برای چنین تغییری کمترین هزینه ها لازم می باشد به همین دلیل است معمولاً اراضی دیم در مجاورت مراتع بوده و یا آنها را احاطه کرده اند (موسوی و همکاران، ۲۰۱۴). مینایی و کاینز (۲۰۱۸) نیز در تحقیق مشابهی در حوضه آبخیز گرگان رود طی سال های ۱۹۷۲ تا ۲۰۱۴ گزارش کردند که پس از تأسیس پارک ملی گلستان در سال ۱۹۷۶ و نیاز به منابع انرژی متفاوت برای جمعیت محلی، کاربری مرتع با بیشترین سطح پوشش در تبدیل به اراضی

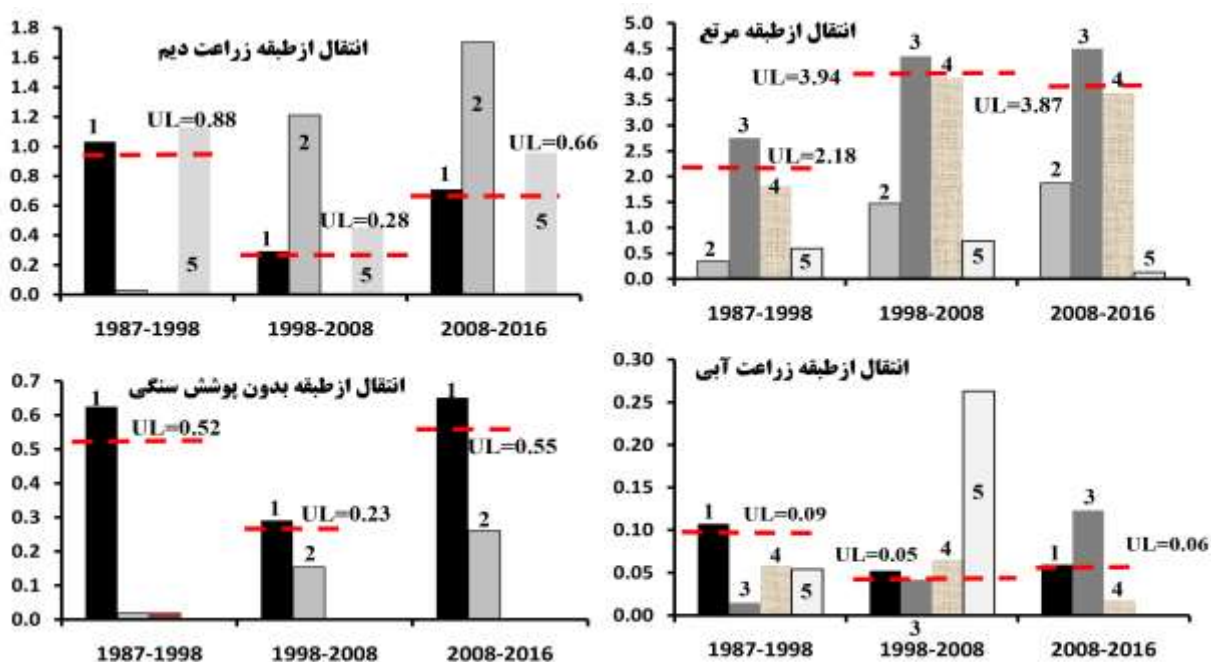
1 Target

2 Loss

کشاورزی و مناطق مسکونی، دستخوش بیشترین تغییرات بوده است. نتایج حاصل از این تحلیل با نتایج مطالعات ندوشان (۲۰۱۷) نیز مطابقت دارد.



شکل ۶ - آنالیز شدت انتقال با رویکرد هدف افزایشی (۱- مرتع ۲- زراعت آبی و باغات ۳- زراعت دیم ۴- بدون پوشش ۵- مسکونی)



شکل ۷ - آنالیز شدت انتقال با رویکرد هدف کاهش‌ی (۱- مرتع ۲- زراعت آبی و باغات ۳- زراعت دیم ۴- بدون پوشش ۵- مسکونی)



## ۴- جمع‌بندی

این مطالعه به منظور تعیین پوشش و کاربری اراضی حوضه آبخیز سد کارده واقع در شمال شرقی ایران و در مجاورت کلان‌شهر مشهد انجام شد و تغییرات آن برای اولین بار با استفاده از آنالیز چند بعدی در یک بازه ۳۰ ساله (از ۱۹۸۷ تا ۲۰۱۶) ارزیابی شد. تاکنون اکثر مطالعات تغییر کاربری اراضی از جمله مطالعات نودشان و همکاران (۲۰۱۷) و صفونیان و همکاران (۲۰۱۵) با استفاده از روش ساده آنالیز ماتریس تغییر انجام شده است. انجام مطالعات تغییر کاربری اراضی به صورت کلی و با استفاده از ماتریس‌های انتقال ساده تنها اطلاعات محدودی را ارائه می‌دهند و خطای قابل ملاحظه‌ای را وارد محاسبات می‌کند (مینایی و کاینز، ۲۰۱۸). بررسی میزان افزایش، کاهش، انتقال و ثبات بین طبقات کاربری‌ها درک بهتری از نحوه تغییرات پوشش و کاربری نشان می‌دهد (آیینو، ۲۰۱۵). نتایج مطالعه حاضر با روش سه بعدی توانست نحوه تغییرات افزایش، کاهش، انتقال و ثبات بین طبقات کاربری‌ها را نشان دهد. یافته‌ها نشان داد که در تمامی دوره‌های مطالعاتی کاربری مرتع پوشش غالب منطقه بوده است. کاربری زراعت دیم، آبی و باغات همانند کاربری مرتع به‌عنوان فراوان‌ترین پوشش اراضی حوضه در تمامی دوره‌ها بودند. این حوضه بافت روستایی داشته و تغییرات کاربری مناطق مسکونی نسبت به سطح وسیع حوضه و طبقات دیگر ناچیز بود. نتایج نشان داد که بیشترین میزان تغییرات کاربری اراضی مربوط به سه کاربری مرتع، زراعت آبی و دیم بوده و در بازه زمانی ۱۹۹۸-۱۹۸۷ رخ داده است، اما شدت این تغییرات در بازه زمانی ۲۰۱۶-۲۰۰۸ بیشتر بود. رشد و توسعه بی‌رویه کلان‌شهر مشهد و افزایش مهاجرت و به تبع آن افزایش تقاضا برای تأمین غذا باعث شده تا به عرصه‌های منابع طبیعی حوضه‌های مجاور فشار مضاعف وارد شود (رهنما و همکاران، ۲۰۱۳؛ تاجبخش و همکاران، ۲۰۱۶). تحلیل نتایج حاصل از شدت تغییرات کاربری‌ها مشخص کرد که این حوضه همانند سایر مناطق مشابه در کشور دستخوش تغییرات زیادی بوده و با رشد جمعیتی، شرایط اقلیمی و اقتصادی کشور مرتبط می‌باشد. به دلیل قوانین اشتباه برای واگذاری و احیای اراضی، کاربری مرتع بیشترین تبدیل را به سایر کاربری‌ها داشت زیرا که در واقع چنین تغییری بیشترین دسترسی و کمترین هزینه‌ها را دارد (مینایی و کاینز، ۲۰۱۸؛ موسوی و همکاران، ۲۰۱۴). همچنین توسعه زیرساخت‌ها از قبیل راه، برق و روش‌های نوین آبیاری در این حوضه موجب گسترش اراضی کشاورزی و باغات در شیب‌های تند مراتع شده و در سال‌های متأثر از خشکسالی که این اراضی توسعه یافته قابل بهره‌برداری نبودند، تحت کشت دیم و سپس به مرتع و اراضی بدون پوشش تبدیل شدند. تغییرات شدید و غیراصولی کاربری اراضی در شیب‌های تند موجب افزایش ۴ درصدی طبقه بدون پوشش در این حوضه شده است. از آنجاکه تغییر کاربری و افزایش اراضی بدون پوشش با تغییر در ضریب رواناب موجب افزایش دبی پیک سیلاب‌ها می‌شود (زراعتکار و همکاران، ۱۳۹۳) و نیز تأثیر قابل توجهی بر منابع آب حوضه دارد (غفاری و همکاران، ۱۳۸۸؛ معاریان و همکاران، ۲۰۱۳)، لذا لزوم حفظ کاربری فعلی و بهبود آن یکی از راه‌کارهای اساسی در جهت مدیریت حوضه آبخیز مورد مطالعه

می‌باشد. نتایج این مطالعه می‌تواند پایه و اساس تصمیم‌گیری و مطالعات آتی مرتبط با مدیریت جامع حوضه آبخیز کارده باشد.

#### کتابنامه

- زراعتکار، ز؛ حسن پور، ف؛ تابع، م؛ ۱۳۹۳. ارزیابی روش‌های برآورد دبی پیک سیلاب در حوضه آبریز شهری جهت کنترل سیلاب. *مجله سطوح آبخیز باران*. شماره ۱۲، ص ۳۲-۲۳.
- سلمانی، م؛ محسنی ساروی، م؛ روحانی، ح؛ سلماجه، ع؛ ۱۳۹۱. ارزیابی تغییر کاربری و تأثیر آن روی رژیم هیدرولوژیکی در حوضه آبخیز قزاقلی استان گلستان. *پژوهشنامه مدیریت حوضه آبخیز*. شماره ۶، ص ۶۰-۴۳.
- شاهرخی، م. ی؛ تاجبخش، م. و معماریان، ه؛ ۱۳۹۳. بررسی تأثیر گسترش فیزیکی شهر مشهد بر روند تغییرات مراتع پیرامون شهر با بهره‌گیری از تکنیم GIS و سنجش از دور. پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست دانشگاه بیرجند.
- صدر موسوی، م، یزدانی چهاربرج، ر؛ ۱۳۹۲. ارزیابی و شبیه‌سازی رشد شهری شهرهای میانه اندام با استفاده از مدل CA-Markov (نمونه موردی: شهر مراغه)، همایش معماری پایدار و توسعه شهری، سیویلیکا، بوکان.
- غفاری، گ؛ قدوسی، ج؛ احمدی، ح؛ ۱۳۸۸. بررسی تغییر کاربری اراضی بر پاسخ‌های هیدرولوژی حوضه آبخیز (مطالعه موردی: حوضه آبخیز زنجان‌رود). *مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک*. ۱۶ (۱): ۱۸۰-۱۶۳.
- گزارش بیلان آب دشت مشهد؛ ۱۳۹۳. شرکت آب منطقه‌ای خراسان رضوی
- گلرنگ، ب؛ صادقی، ح؛ معماریان، ه؛ مشایخی، م؛ ۱۳۹۳. بررسی مدل مشارکتی در طرح‌های آبخیز داری. کنگره استحصال آب و آبخیزداری. دانشگاه بیرجند.
- یاراحمدی، د؛ ۱۳۹۳. تحلیل هیدروکلیماتولوژی نوسان‌های سطح آب دریاچه ارومیه. *پژوهش‌های جغرافیای طبیعی*. سال ۴۶ (۱): ۷۷ - ۹۲.

- Abino, A. C., Kim, S. Y., Jang, M. N., Lee, Y. J. & Chung, J. S., 2015. Assessing Land Use and Land Cover of the Marikina Sub-Watershed, Philippines.
- Abrishamchi, A., & Tajrishi, M., (2005). Interbasin water transfer in Iran. In *Water Conservation, Reuse, and Recycling: Proceedings of an Iranian-American Workshop* (pp. 252-272). National Academies Press.
- Adhikari, S., Southworth, J. & Nagendra, H., 2014. Understanding Forest Loss and Recovery: A Spatiotemporal Analysis of Land Change in and around Bannerghatta National Park, India. *J. Land Use Sci.*, 10:1-23.
- Aldwaik, S.Z. & Pontius, R.G., Jr., 2012. Intensity analysis to unify measurements of size and stationarity of land changes by interval, category, and transition. *Landsc. Urban Plan.* 2012, 106, 103-114.
- Azami Rad, M. & Saedian, F., 2010. Investigate the flood probability in terms of infiltration and runoff in geology formations in the Kardeh Catchment Basin.

- Brandt, T. & Mather P.M., 2001. Classification methods for remotely sensed data. Taylor & Francis, London and New York, 210 p.
- Chakravarty, S., Ghosh, S. K., Suresh, C. P., Dey, A. N. & Shukla, G., 2012. Deforestation: Causes, Effects and Control Strategies. *Global Perspectives on Sustainable Forest Management* 27.
- Emre Tekel A., 2005. Operational hydrological forecasting of snowmelt runoff by remote sensing and geographic information systems integration.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations., 2012. The State of the World's Land and Water Resources for Food and Agriculture, FAO, Rome.
- Golrang, B. M., 2017. Mixed-Method Evaluation of Watershed Management: Practices from Kushk-Abad Basin, Iran. Springer.
- Hitayezu P, Wale E & Ortmann G. 2015. Assessing agricultural land use change in the midlands region of KwaZulu-Natal, South Africa: Application of mixed-multinomial logit. *International Association of Agricultural Economists, Conference, August 9-14, Milan, Italy.*
- Huang, J., Pontius Jr, R. G., Li, Q. & Zhang, Y., 2012. Use of Intensity Analysis to Link Patterns with Processes of Land Change from 1986 to 2007 in a Coastal Watershed of Southeast China. *Appl. Geogr.*, 34: 371-384
- Huang, J.; Pontius, R.G., Jr.; Li, Q. & Zhang, Y., 2012. Use of intensity analysis to link patterns with processes of land change from 1986 to 2007 in a coastal watershed of southeast China. *Appl. Geogr.* 34, 371–384.
- Imani Harsini, J., M. Kaboli, J. Fegghi, A. Taherzadeh & A. Asadi., 2014. Studying Land Use-Cover Changes During the Last Three Decades in Hamedan Province Using Satellite Images. *Natural Environment*, 67: 1-12.
- Kirch, B., 2002. Land Use Impacts on Water Resources. Land and Water Development Division, FAO, Rome Italy, 10pp.
- Lambin, E. F., & Geist, H. J. 2006. Land-use and land-cover change: Springer.
- Lillesand, T.M.; Kiefer, R.W. & Chipman, J.W., 2004. Remote Sensing and Image Interpretation; John Wiley & Sons Ltd: New York, NY, USA.
- Mallinis, G., Koutsias, N. & Arianoutsou, M., 2014. Monitoring Land Use/Land Cover Transformations from 1945 to 2007 in Two Peri-Urban Mountainous Areas of Athens Metropolitan Area, Greece. *Sci. Total Environ.*, 490: 262-278.
- Manandhar. R., Odeh, Inakwu O. A. Odeh & Pontius Jr, R. G., 2010. Analysis of Twenty Years of Categorical Land Transitions in the Lower Hunter of New South Wales, Australia. *Agri. Ecosyst. Environ.*, 135: 336-346.
- Memarian, H., Balasundram, S. K., & Khosla, R., 2013. Comparison between pixel-and object-based image classification of a tropical landscape using Système Pour l'Observation de la Terre-5 imagery. *Journal of Applied Remote Sensing*, 7(1), 073512.
- Memarian, H., Balasundram, S. K., Talib, J. B., Teh Boon Sung, C., Mohd Sood, A., & Abbaspour, K. C., 2013. KINEROS2 application for land use/cover change impact analysis at the Hulu Langat Basin, Malaysia. *Water and Environment Journal*, 27(4), 549-560.
- Memarian, H.; Tajbakhsh, M. & S. K. Balasundram, S. K., 2013. "Application of swat for impact assessment of land use/cover change and best management practices: a review," *International Journal of Advancement in Earth and Environmental Sciences*, vol. 1, no. 1, pp. 36–40.
- Minaei, M. & Kainz, W., 2016. Watershed Land Cover/Land Use Mapping Using Remote Sensing and Data Mining in Gorganrood, Iran. *ISPRS Int. J. Geo-Info.*, 5: 57.

- Minaei, M., & Kainz, W., 2018. Land cover change dynamics based on intensity analysis in gorganrood watershed, Iran. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 20(5), 965-978.
- Minaei, M. & Irannezhad, M., 2016. Spatio-Temporal Trend Analysis of Precipitation, Temperature, and River Discharge in the Northeast of Iran in Recent Decades. *Theor. Appl. Climatol.*
- Mohseni, S.M., S.H. Hoseini, H. Ahmadi & A. Najafinejad., 2008. Assessment of watershed management projects (case study: Ramian Watershed, Golestan).
- Mousavi, H.; Ranjbar, A.; & M. Haseli., 2014. Monitoring and Trending of Landuse Changes in Abarkooh Basin using Satellite Images (1976-2014), *The Journal of Geographical Data (SEPEHR)*, 25(97), 129-146.
- Mwangi, H.M.; Julich, S.; Patil, S.D.; McDonald, M.A. & Feger, K.H., 2016. Relative contribution of land use change and climate variability on discharge of Upper Mara River, Kenya. *J. Hydrol. Reg. Stud.* 5, 244–260.
- Nadoushan, M. A., Abari, M. F., Radnezhad, H. & Sadeghi, M., 2017. Monitoring Land Use/Cover Changes Using Remotely Sensed Imagery in Isfahan, Iran. *Indian J. Geo-Marine Sci.*, 46: 538-544.
- Naseri, S., Jafari, M., Tavakoli, H., & Arzani, H., 2014. Effects of mechanical erosion control practices on soil and vegetation carbon sequestration (case study: Catchment Basin of Kardeh-Iran).
- Nath R, Luan Y, Yang W, Yang C, Chen C, Li Q & Cui X., 2015. Changes in Arable Land Demand for Food in India and China: A Potential Threat to Food Security, 7: 5371–5397.
- Pontius, R. G., Gao, Y., Giner, N., Kohyama, T., Osaki, M., & Hirose, K., 2013. Design and Interpretation of Intensity Analysis Illustrated by Land Change in Central Kalimantan, Indonesia. *International Journal of Lands* 2, 351-369.
- Pontius, R.G., Jr. & Malizia, N.R., 2004. Effect of category aggregation on map comparison. In *Geographic Information Science*; Springer: Adelphi, MD, USA. pp. 251–268.
- Pontius, R.G., Jr.; Shusas, E. & McEachern, M., 2004. Detecting important categorical land changes while accounting for persistence. *Agric. Ecosyst. Environ.* 100, 251–268.
- Rahim Rahnama, M., Homaeefar, A., & Piruz, T., 2013. Evaluating of Mashhad urban development plans from compact city viewpoint. *American Journal of Engineering Research (AJER)*, 2(9), 208-213.
- Richards, J. A. & Jia, X., 2006. *Remote Sensing Digital Image Analysis*, 4th ed., Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg.
- Richards, J. A., & Richards, J. A., 1999. *Remote sensing digital image analysis (Vol. 3)*. Berlin et al.: Springer.
- Royalli, D., 2013. The Hydro-geomorphic impact of land use in small head water. *Earth Systems and Environmental Sciences*, 130: 28-47.
- Sanneke van Asselen, S. & Verburg, P. H., 2013. Land cover change or land-use intensification: simulating land system change with a global-scale land change model. *Global Change Biology* 19, 3648–3667.
- Sardashti, M., Ghanavati, E., Rezayian, P., and Morshedi, J. 2011. Land use of change detection Taleghan watershed from year 1987-2002 using Landsat satellite imagery and remote sensing, National conference of Geomatics, Tehran, Geological Survey Iran. Pp: 1312-1319.
- Sharifi, L.; Kamel, S.; & B. Feizizadeh., 2015. Monitoring Bioenvironmental Impacts of Dam Construction on Land Use Cover Changes in Sattarkhan Basin Using Multi-Temporal Satellite Imagery, *Iranica Journal of Energy and Environment*, 6 (1), 39-46.

- Soffianian, A. & Madanian, M., 2015. Monitoring Land Cover Changes in Isfahan Province, Iran Using Landsat Satellite Data. *Environ. Monitor. Assess.*, 187. doi:10.1007/s10661-015-4442-5
- Tajbakhsh, M., Memarian, H., & Shahrokhi, Y., 2016. Analyzing and modeling urban sprawl and land use changes in a developing city using a CA-Markovian approach. *Global Journal of Environmental Science and Management*, 2(4), 397-410.
- Thapa, R. B. & Murayama, Y., 2011. Urban Growth Modeling of Kathmandu Metropolitan Region, Nepal *Computers, Environment and Urban Systems*. 35(1), 25-34.
- Viera, A. J., & Garrett, J. M., 2005. Understanding interobserver agreement: the kappa statistic. *Fam med*, 37(5), 360-363.
- Wang, Z. et al., 2004. Object-oriented classification and application in land use classification using SPOT-5 PAN imagery. in *Geosci. Rem. Sens. Symp.*, Vol. 5, pp. 3158–3160 (2004).
- Zahedi, E., Mohammadi, M., & Bardi, S., 2012. Evaluation of urban land use change and impact on watershed hydrology Ziarat. *Proceedings of the Seventh National Conference on Science and Watershed Engineering*. Pp: 134-141.
- Zhou, P., Huang, J., Pontius R. G., & Hong, H., 2014. "Land Classification and Change Intensity Analysis in a Coastal Watershed of Southeast China". *International Journal of Sensors* 14(7): 11640-11658 .