

## پیش‌بینی مستعدترین پهنه‌های کشاورزی حوزه آبخیز تجن با به‌کارگیری روش ارزیابی چندمعیاره (MCE)

فاطمه رجائی<sup>۱\*</sup>، عباس اسماعیلی ساری<sup>۲</sup>، عبدالرسول سلمان ماهینی<sup>۳</sup>، مجید دلاور<sup>۴</sup>، مصطفی قلی‌پور<sup>۵</sup>،  
علی‌رضا مساح بوانی<sup>۶</sup>

۱. دکتری محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس، نور، ایران
  ۲. استاد، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس، نور، ایران
  ۳. دانشیار، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران
  ۴. استادیار، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران
  ۵. دانشجوی دکتری محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران
  ۶. دانشیار، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران، تهران، ایران
- (تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۵/۱۹؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۱۲/۰۱)

### چکیده

در چند دهه اخیر تغییر اکثر کاربری‌ها بدون در نظر گرفتن قابلیت‌ها و محدودیت‌های محیط زیستی، مشکلات بسیاری مانند تخریب خاک و آلودگی اکوسیستم‌های آبی را به دنبال داشته است، بنابراین، ضرورت تحقیق حاضر، بررسی چگونگی کاهش آثار تغییرات کاربری اراضی احتمالی آینده در حوزه آبخیز تجن با بررسی توانایی بالقوه اراضی به‌عنوان راهکاری برای حفاظت از منابع طبیعی است. از این رو، مدل‌سازی تغییر سرزمین (LCM) برای بررسی میزان تغییرات احتمالی کاربری اراضی آتی به‌کار گرفته شد و در ادامه، با بهره‌گیری از سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) و روش ارزیابی چندمعیاره (ترکیب خطی وزنی)، مستعدترین مناطق کشاورزی تعیین شد. نتایج نشان داد در طول دوره ۲۰۱۰ تا ۲۰۴۰، کاربری جنگلی ۳۴۷۳۹ هکتار کاهش، و کاربری کشاورزی و مرتع به‌ترتیب، ۲۷۰۷۱ و ۷۶۶۸ هکتار افزایش خواهد داشت و نیز ۳۴۷۳ و نیز ۳۴۷۳ هکتار از مستعدترین مناطق محتمل تغییر کاربری جنگل به کاربری کشاورزی و مرتع استخراج شد. بنابراین، انتظار می‌رود بررسی تغییرات کاربری اراضی آینده براساس قابلیت اکولوژیکی می‌تواند به حفاظت از جنگل‌های هیرکانی برای پیشگیری از تغییرات غیراصولی کاربری اراضی در دوره آتی منطقه کمک کند.

### کلیدواژگان

ارزیابی چندمعیاره، توان اکولوژیکی اراضی، حوزه آبخیز تجن، کاربری کشاورزی.

\* نویسنده مسئول، رایانامه: Fateme.rajaei@yahoo.com

## مقدمه و بیان مسئله

جنگل‌های کره زمین در طول چند دهه گذشته به شدت در حال کاهش هستند. بزرگ‌ترین علت مستقیم جنگل‌زدایی، توسعه کشاورزی است، به طوری که ۷۰ تا ۹۵ درصد از جنگل‌های از دست رفته در مناطق استوایی و ۷۰ تا ۸۰ درصد از تبدیل جنگل‌ها در آفریقا و حدود ۷۰ درصد در مناطق نیمه گرمسیری آسیا، و بیش از ۹۰ درصد در آمریکای لاتین به کاربری کشاورزی تبدیل شده است (Gutierrez Velez et al., 2011, p.2). در دهه‌های اخیر، مانند دیگر کشورهای در حال توسعه، روند کاهش چشمگیری در مساحت جنگل‌های ایران دیده شده است. در همین زمینه، بخش عمده‌ای از جنگل‌های هیرکانی در چند دهه اخیر تحت فشار شدید تغییرات کاربری‌های اراضی در استان مازندران قرار گرفته است. براساس آمار به دست آمده از گذشته نه چندان دور تا امروز حدود ۱/۶ میلیون هکتار از کل جنگل‌های هیرکانی به دلیل تغییرات شدید کاربری‌های اراضی کاهش یافته است (Yousefi et al., 2013, p.3). در همین زمینه، ۱۶۲۸۶۷ هکتار از جنگل‌های استان مازندران بین سال‌های ۱۳۶۳ تا ۱۳۸۹ با تخریب چشمگیری مواجه شده است (میرزایی و همکاران، ۱۳۹۲). همچنین، روند کاهشی جنگل‌ها در شرق استان با نرخ سالانه جنگل‌زدایی ۰/۰۶- طی سال‌های ۱۳۶۶ تا ۱۳۸۰ ادامه داشته است که با توجه به این روند، ۱۹۶۴ هکتار از جنگل‌های هیرکانی شرق استان طی این سال‌ها کاهش یافته است (Shoostari et al., 2012, p.5).

بنابراین، کنترل و اعمال محدودیت‌هایی بر فعالیت‌های انسانی ضروری به نظر می‌رسد اما در این بین، محدودیت‌هایی نیز وجود دارد، زیرا از دیدگاه اقتصادی - اجتماعی اعمال محدودیت‌های سخت‌گیرانه پذیرفتنی نیست. مطالعات انجام گرفته در چین نیز نشان داد با توجه به تمایل شدید برای فعالیت‌های کشاورزی برای جلوگیری از فقر و افزایش امنیت تأمین غذایی، کنترل سخت‌گیرانه در این زمینه برای کنترل آلودگی کشاورزی، بسیار دشوار است. بنابراین، ناکارآمد بودن نگرش تک‌بعدی و لزوم جامع‌نگری در اتخاذ بهترین تصمیم‌ها و شیوه‌های مدیریتی، بهره‌گیری از تخصص‌های مختلف و ارائه گزینه‌ها و سناریوهای مختلف مدیریتی را برای انتخاب بهترین سناریوی تغییرات

کاربری اراضی در آینده ضروری کرده است. از طرف دیگر، اتکا به وضعیت کاربری گذشته و بهره‌گیری از داده‌های تاریخی به‌تنهایی نمی‌تواند در طراحی برنامه‌ها و اقدامات اجرایی بهبود مدیریت اراضی به‌کار گرفته شود. از طرف دیگر، شناخت کامل وضعیت کاربری اراضی، تغییرات گذشته آن و پیش‌بینی تغییرات در آینده می‌تواند نقش مهمی در مدیریت پایدار منابع داشته باشد. به همین منظور، مدل‌های مختلفی برای بررسی پیش‌بینی کاربری اراضی آینده شامل مدل‌های احتمالاتی، مدل‌های بهینه‌سازی شبکه خودکار، مدل‌های تجربی و غیره طراحی شده است (Eastman, 2006, p.10; Verburg et al., 2006, p.10; Verburg et al., 2006, p.13; Pontius et al., 2006, p.14; Schuz, et al., 2006, p.14; Roy, 2009, p.11). در مطالعاتی که اخیراً انجام گرفته است، مدل LCM با توجه به دارا بودن سه رویه مدل‌سازی، ظرفیت انتقال شامل شبکه عصبی پرسپترون چندلایه<sup>۱</sup>، رگرسیون لجستیک<sup>۲</sup> و یادگیری بر مبنای نمونه وزنی مشابهت<sup>۳</sup> بیشتر به‌کار گرفته شده است (Roy et al., 2014, p.2; Kunte & Kotha., 2013, p.2).

با توجه به بحران روند کاهش جنگل‌ها در حوزه آبخیز تجن در استان مازندران، مسئله تحقیق حاضر شناسایی مناسب‌ترین مناطق برای اجرای توسعه‌های آینده براساس قانون تصمیم «رویکرد ارزیابی چندمعیاره»<sup>۴</sup> و معیارهایی مانند تغییرات کاربری اراضی با تأکید بر مدل‌سازی پویایی کاربری اراضی براساس عوامل طبیعی و عوامل انسانی است. در واقع، تحقیق حاضر مستعدترین مناطق را برای کاربری کشاورزی به‌عنوان راهکاری برای حفاظت از منابع طبیعی ارزیابی می‌کند. همچنین، مجموعه ابزارهایی را برای تحلیل تغییرات پوشش کاربری اراضی حوضه تجن و پیش‌بینی آن معرفی می‌کند که می‌توان با به‌کارگیری آن‌ها توانایی بالقوه اراضی در حوزه آبخیز تجن را بررسی کرد. با نگاهی به تحقیقات مرتبط با تغییرات کاربری اراضی، می‌توان بیان کرد که حفاظت از جنگل‌های هیرکانی در راستای کاهش آثار محیط زیستی می‌تواند به پیشگیری از روند

1. Multi-Layer Perceptron Neural Network
2. Logistic Regression
3. Similarity Weighted Instance – based Learning (SimWeight)
4. Multi-Criteria Evaluation (MCE)

غیرعادی تغییرات غیراصولی کاربری اراضی در دوره آتی منطقه کمک کند. بنابراین، ضرورت تحقیق حاضر، نیاز به بررسی چگونگی کاهش آثار تغییرات کاربری اراضی احتمالی آتی جنگل‌های هیرکانی حوضه تجن با بررسی توانایی بالقوه اراضی است.

### پیشینه تحقیق

در ایران برای دستیابی به آمایش سرزمین، روش ارزیابی توان اکولوژیک محیط زیست، چندعامله است و ارزیابی و طبقه‌بندی سرزمین با مقایسه ویژگی‌های اکولوژیک واحدهای محیط زیستی و مدل‌های اکولوژیک حرفی ایران انجام می‌گیرد. در جدول ۱ به برخی تحقیقات انجام‌گرفته در این زمینه اشاره شده است.

احمدی‌زاده و همکاران (۱۳۸۲) در تحقیقی با عنوان «تعیین و به‌کارگیری مدل‌های کمی اکولوژیک در محیط GIS در منطقه قره‌تیکان- زاوین»، به تعیین مدل کمی براساس وزن‌دهی عوامل و پارامترهای مختلف مؤثر، توان اراضی منطقه مورد مطالعه را تعیین کرد. در این تحقیق، همه داده‌های عددی و غیرعددی استاندارد شد و با به‌کارگیری روش ترکیب خطی وزنی (WLC)<sup>۱</sup> در محیط GIS<sup>۲</sup> توان اکولوژیک برای کاربری‌های مختلف را تعیین شد. در پایان، نقشه نهایی کاربری‌ها با دو مدل وزنی و کیفی با یکدیگر مقایسه شدند که نتایج، نشان‌دهنده توافق بیشتر مدل وزنی با کاربری فعلی اراضی است (احمدی‌زاده و همکاران، ۱۳۸۲، ص ۱۴۰).

در مطالعه امیری و همکاران (۱۳۸۷)، دو روش ارزیابی سیستمی سرزمین، روش مک‌هارگ یا همپوشانی نقشه‌ها و روش ارزیابی چندمعیاره (MCE)<sup>۳</sup> برای ارزیابی توان اکولوژیک جنگل در حوضه دوهزار سه‌هزار استان مازندران به‌کار گرفته شد. در روش مک‌هارگ، مناطق مناسب و نامناسب بر روی لایه‌های رقومی بولین<sup>۴</sup> با نقشه‌سازی و طبقه‌بندی عامل‌های اکولوژیک براساس

- 
1. Wiegthed Linear Combination
  2. Geographic Information System
  3. Multi Criterai Evaluation
  4. Boolean

مدل‌های اکولوژیک حرفی ایران تولید شد. از هفت طبقه جنگلداری ایران در مدل‌های حرفی، طبقه‌های ۳، ۴ و ۵ موجود بودند. سپس، روش منطق بولین- فازی از روش MCE برای عوامل و محدودیت‌ها به‌کار گرفته شد، کاربرد این روش حاکی از وجود همه هفت طبقه جنگلداری در منطقه مورد مطالعه بوده است. نتایج، امکان ارتقای ارزیابی توان جنگل از روش سیستمی مک‌هارگ به روش ارزیابی چندمعیاره (MCE) با به‌کارگیری منطق فازی و AHP<sup>۱</sup> را تأیید کرد (امیری و همکاران، ۱۳۸۷، ص ۱۱). در مطالعه‌ای دیگر سنایی و همکاران (۱۳۸۹) با به‌کارگیری روش ارزیابی چندمعیاره با دو راهبرد WLC و OWA<sup>۲</sup>، مناطق مناسب علوفه‌کاری در زاخرد فارس را ارزیابی کردند. نتایج نشان داد راهبرد WLC نسبت به راهبرد OWA روشی محافظه‌کارانه به شمار می‌رود (سنایی و همکاران، ۱۳۸۹، ص ۸).

جدول ۱. به‌کارگیری توان اکولوژیک در برخی پژوهش‌های انجام گرفته

پژوهش	عنوان پژوهش
Feizizadeh & Blaschke (2013)	به‌کارگیری GIS، AHP و متغیرهای مختلف محیطی برای بررسی مناطق مناسب زمین‌های کشاورزی در تبریز
Araya et al. (2010)	بررسی متغیرهای مختلف محیطی برای یافتن مکان مناسب برای کشت حبوبات و جو در حوضه Giba در شمال اتیوپی
Bhagat et al. (2009)	تجزیه و تحلیل و تناسب اراضی برای تولید غلات در هیمال (هند) با به‌کارگیری GIS
کریمی و همکاران (۱۳۹۴)	به‌کارگیری فرایند AHP و GIS، توان و ظرفیت حوزه آبخیز بابلرود برای انواع کاربری‌های مرسوم و سپس، با به‌کارگیری تکنیک MOLA <sup>۳</sup> کاربری‌ها را در سطح حوضه اولویت‌بندی کردند.
Kazemi et al. (2016)	بررسی تناسب اراضی برای کشت دیم باقلا در گنبد کاووس با به‌کارگیری GIS و AHP

همان‌طور که مرور مطالعات انجام گرفته نشان داد، مطالعات مختلفی در زمینه ارزیابی توان اکولوژیک سرزمین با سیستم اطلاعات جغرافیایی و روش‌های ارزیابی چندمعیاره برای

1. Analytical Hierarchy process
2. Order Weighted Averaging
3. Multi-Objective Land Allocation

کاربری‌های مختلف در حال حاضر انجام گرفته است، اما مطالعه‌ای در زمینه ارزیابی توان اکولوژیک کاربری‌های دوره آینده انجام نگرفته است که از نوآوری تحقیق حاضر است. پژوهش‌هایی از این قبیل برای پیش‌بینی و مکان‌یابی مناطق مستعد می‌تواند برای مدیران مفید و ابزار مناسبی برای مدیریت پایدار منطقه فراهم کند.

### مبانی نظری

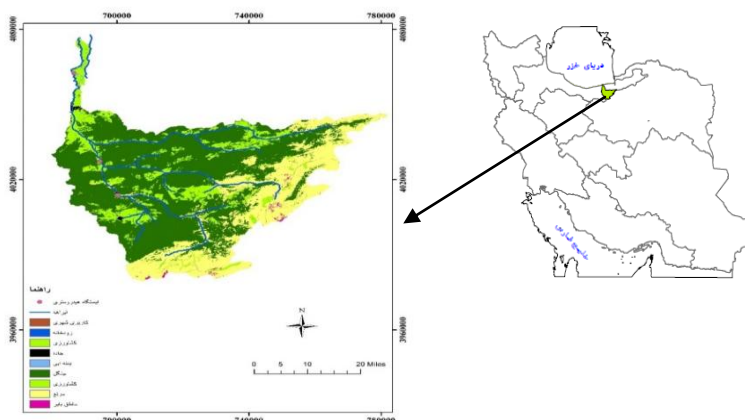
در روش ارزیابی چندمعیاره (MCE) معیارها به روش‌های مختلفی ادغام می‌شوند که مهم‌ترین آن‌ها عبارت‌اند از: رویکرد بولین، ترکیب خطی وزن‌دار و میانگین‌گیری وزن‌دار ترتیبی (سلمان ماهینی و کامیاب، ۱۳۸۸، ص ۱۹۹). در روش WLC ترکیب خطی از اهمیت عوامل و اولویت طبقات مختلف در تناسب سرزمین، راهبردی تجمعی اتخاذ می‌شود و مجموعه اولویت عوامل و اولویت طبقات درونی آن‌ها را حتی اگر به برترین رتبه تعلق نداشته باشند، در تصمیم‌گیری لحاظ می‌کند. این راهبرد از نظر عملکرد با اجرای شرط (AND) در تصمیم‌گیری مقایسه‌شدنی است. راهبرد WLC محافظه‌کارانه با لحاظ‌کردن اولویت‌های پایین‌تر دیگر نقشه‌های موضوعی شرکت‌کننده در ارزیابی تناسب، مکان‌های واجد تناسب برای کاربری را در درجات تناسب کمتر ارزیابی می‌کند که البته از نظر جمع‌نگری به عوامل به آنچه در طبیعت اتفاق می‌افتد، نیز نزدیکتر است.

منطق فازی، منطقی چندمقداری است، یعنی پارامترها و متغیرهای آن، علاوه بر اختیار اعداد ۰ یا ۱، می‌توانند همه مقادیر بین این دو عدد را نیز اختیار کنند. نظریه مجموعه فازی یک پایه ریاضی غنی برای درک مشکلات تصمیم‌گیری و ایجاد قوانین تصمیم‌گیری در ارزیابی و ترکیب معیارها تولید می‌کند. توابع عضویت می‌تواند به صورت خطی، S شکل، J شکل و تعریف‌شده توسط کاربر باشد. هر یک از این توابع شکل افزایشی یکنواخت، کاهش‌ی یکنواخت و متقارن دارند (Eastman, 2009, p.40).

## روش تحقیق

### منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در تحقیق حاضر، حوزه آبخیز رودخانه تجن (حدود ۴۰۰۰ کیلومتر مربع) است. منطقه مورد مطالعه بین طول جغرافیایی  $53^{\circ} 04' 57''$  تا  $53^{\circ} 18' 26''$  و عرض جغرافیایی  $36^{\circ} 09' 17'' - 36^{\circ} 29' 49''$  واقع شده است. در شکل ۱ موقعیت حوزه آبخیز تجن در کشور نشان داده شده است. مرتفع‌ترین نقطه حوزه آبخیز تجن در جنوب شرقی حوضه با ارتفاع ۳۶۷۰ متر و پست‌ترین نقطه در خروجی حوضه با ارتفاع ۲۶- متر از سطح دریا واقع شده است. همچنین، مناطق حفاظت‌شده دودانگه، چهاردانگه و پارک ملی بولا در این محدوده واقع شده‌اند که نشان‌دهنده اهمیت حفظ زیستگاه‌های طبیعی این حوزه آبخیز است. میانگین سالانه دما حدود ۱۵ درجه سلسیوس با آب و هوای گرم و مرطوب، و میانگین بارش ۸۳۴ میلی‌متر در سال است.



شکل ۱. موقعیت حوضه آبخیز تجن در کشور

## روش کار

این تحقیق شامل دو مرحله کلی است. ابتدا، نقشه کاربری اراضی دوره آتی با به‌کارگیری مدل‌ساز تغییر سرزمین تولید شد. در ادامه، توان اکولوژیکی پهنه‌های محتمل تغییر در آینده در حوضه

آبخیز تجن تعیین و سپس، مستعدترین پهنه‌های کشاورزی انتخاب شد. مدل و روش کار در تحلیل توان‌سنجی زمین، مبتنی بر مدلی اکولوژیکی است که براساس تلفیق، یا همان همپوشانی معیارها است که بر مبنای روش آمایش سرزمین مخدوم طراحی شد. برای تلفیق معیارها روش ترکیب خطی وزنی به کار گرفته شد. در ادامه، مراحل کار به تفکیک شرح داده می‌شود.

### مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی آینده حوزه آبخیز تجن به کارگیری مدل‌سازی تغییر سرزمین (LCM)

مدل‌سازی تغییر سرزمین، شرایطی را فراهم می‌کند که بتوان پس از بارزسازی و تجزیه و تحلیل تغییرات، به طرح‌ریزی و مدل‌سازی تجربی تغییرات کاربری‌ها و پوشش اراضی در آینده پرداخت. مراحل اصلی مدل‌سازی تغییر سرزمین به منظور مدل‌سازی و بررسی تغییرات کاربری‌ها به این شرح است: ۱. تهیه نقشه‌های کاربری اراضی؛ ۲. تجزیه و تحلیل و بارزسازی تغییرات (آنالیز تغییرات)؛ ۳. مدل‌سازی ظرفیت انتقال کاربری‌ها؛ ۴. پیش‌بینی تغییرات پوشش اراضی؛ ۵. ارزیابی صحت مدل‌سازی (صحت‌سنجی)؛ ۶. مدل‌سازی ظرفیت انتقال و پیش‌بینی تغییرات آینده. مدل‌سازی و تهیه نقشه کاربری اراضی آینده حوزه آبخیز تجن توسط رجائی و همکاران (۱۳۹۵) ارائه شده است (رجائی و همکاران، ۱۳۹۵، ص ۴).

### ارزیابی مستعدترین مناطق مناسب کشاورزی در آینده

تهیه نقشه مطلوبیت منطقه برای کاربری کشاورزی به کمک روش ارزیابی چندمعیاره در چند مرحله به صورت جزئی این شرح بیان می‌شود: ۱. تعیین هدف، تعیین و شناسایی معیارهای مؤثر؛ ۲. استانداردسازی معیارها (عامل و محدودیت)؛ ۳. وزن‌دهی عوامل؛ ۴. تلفیق به کمک روش ترکیب خطی (WLC).

### تهیه نقشه محدودیت‌ها و معیارها، استانداردسازی و وزن‌دهی

شناسایی و توسعه معیارها، اولین مرحله در فرایند ارزیابی چندمعیاره است. معیارها شامل دو دسته محدودیت و عامل هستند. محدودیت‌ها به صورت لایه‌های بولین و عامل‌ها به صورت لایه‌های فازی تهیه می‌شوند و با توجه به معیارها می‌توان آن‌ها را به روش‌های مختلف استاندارد



کرد (ماهینی و همکاران، ۱۳۸۸، ص ۷۶). فازی‌سازی در نرم‌افزار ایدریسی توسط دستور FUZZY انجام گرفت. در این پژوهش توابع خطی و در برخی موارد از توابع تعریف‌شده توسط کاربر به‌کار گرفته شده است.

عامل‌های به‌کارگرفته‌شده برای ارزیابی توان کاربری کشاورزی شامل لایه‌های مرتع، زمین‌شناسی، خاک، فرسایش، اقلیم، منابع آب، کاربری اراضی، ارتفاع، شیب، جهت، تراکم پوشش گیاهی، فاصله از روستا، فاصله تا جاده، و فاصله تا شهر است. این لایه‌ها با توجه به نوع لایه به روش‌های مختلف فازی‌کردن، فازی شدند. همچنین، به‌منظور اجرای روش ارزیابی چندمعیاره برای هر عامل باید وزنی در نظر گرفته شود. در این مطالعه وزن هر یک از عامل‌ها براساس نظر کارشناسی و توسط فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی محاسبه شد. لایه محدودیت برای کاربری کشاورزی شامل مناطق با شیب بیش از ۱۲ درصد، ارتفاع بیشتر از ۳۰۰۰ متر، بارندگی کمتر از ۱۲۰ میلی‌متر، حریم ۱۰۰ متری از روستاها، ۶۰ متری جاده‌ها، ۶۰ متری منابع آب، ۳۰ متری مناطق شهری، ۳۰۰ متری سد، اراضی مسکونی، پارک ملی و مناطق حفاظت شده است.

#### تلفیق معیارها به روش ترکیب خطی وزن دار (WLC)

مرحله بعد در روش ارزیابی چندمعیاره ادغام لایه‌هاست. در ارزیابی حاضر روش ترکیب خطی وزن دار به‌منظور ادغام لایه‌ها به‌کار گرفته شده است. در این روش معیارها در یک محدوده عددی پیوسته استاندارد شده و سپس، براساس میانگین‌گیری وزنی ترکیب می‌شوند. ابتدا، عامل‌ها براساس وزنی که به آن‌ها داده می‌شود، با هم جمع می‌شوند. سپس، لایه به‌دست‌آمده در لایه‌های محدودیت ضرب می‌شود و یک لایه فازی که نشان‌دهنده مطلوبیت کل منطقه است، به‌دست می‌آید. روش ترکیب خطی وزن دار براساس رابطه زیر محاسبه می‌شود (سلیمان ماهینی و کامیاب، ۱۳۸۸، ص ۷۸):

$$S = \sum W_i \text{ II } X_i * C_j$$

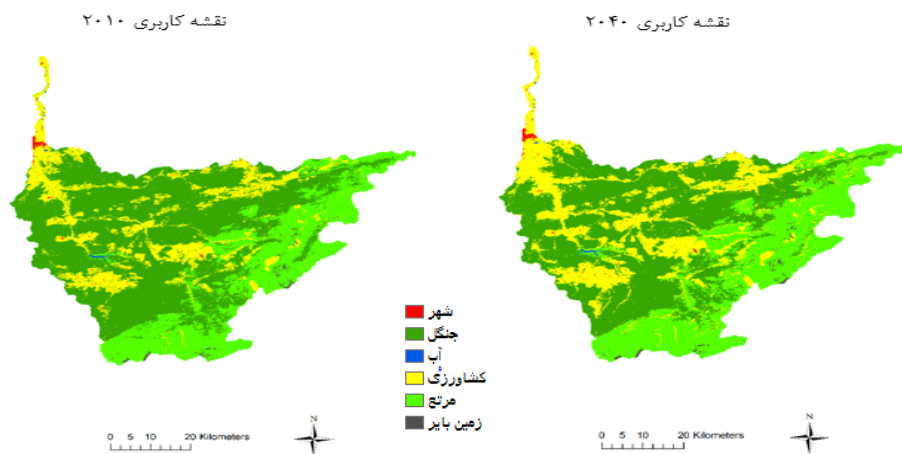
S: تناسب برای هر کاربری مورد نظر؛  $W_i$ : وزن هر یک از لایه‌ها؛  $X_i$ : لایه فازی (عامل)؛

II: علامت ضرب؛  $C_i$ : لایه بولین (محدودیت).

این روش از طریق دستور MCE در نرم‌افزار ادریسی اجرا شد. نتایج این روش نقشه‌های ارزیابی توان بوم‌شناختی برای کاربری کشاورزی است. در انتها ۱۰ درصد از مستعدترین مناطق برای کاربری کشاورزی که قرار است در سال ۲۰۴۰ تغییر یابد، انتخاب و به کاربری سال ۲۰۱۰ افزوده می‌شود.

### یافته‌های تحقیق

نتایج مدل‌ساز تغییر سرزمین نشان داد تغییرات مهمی بین سه کاربری عمده منطقه جنگل، مرتع و کشاورزی در حوزه آبخیز تجن مشاهده شد (شکل ۲).



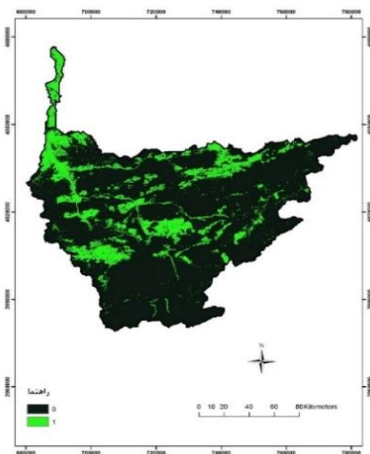
شکل ۲. نقشه کاربری سال ۲۰۴۰ و ۲۰۱۰

در طول دوره ۲۰۱۰-۱۹۸۴، مناطق جنگلی، ۶۶۴۹۳ هکتار کاهش، و کاربری مرتع و کشاورزی به ترتیب، ۳۳۹۰۴ و ۳۱۲۹۲ هکتار افزایش یافته است. براساس نتایج پژوهش حاضر، در سال ۱۹۸۴ مساحت کل جنگل‌ها ۸٫۴ برابر کاربری کشاورزی و در سال ۲۰۱۰ این میزان به ۳٫۱ برابر رسید. مراتع در سال ۲۰۱۰ حدود ۳۰ درصد (۱۰۵۰۰۰ هکتار) نسبت به سال ۱۹۸۴ (۷۳۰۰۰)

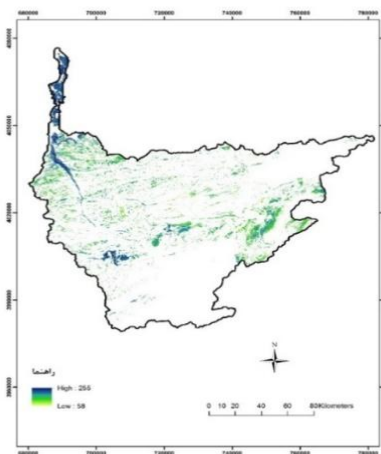
هکتار) افزایش نشان داد. در حالی که کشاورزی بیشترین افزایش مساحت را تجربه کرده است. به‌طوری که از سال ۱۹۸۴ تا ۲۰۱۰ کاربری کشاورزی افزایش ۵۱ درصدی را نشان داد. ۱۹ درصد از منطقه در سال ۱۹۸۴ (۳۲۰۰۰ هکتار) و در سال ۲۰۱۰، ۲۶ درصد (۶۶۰۰۰ هکتار) به کاربری کشاورزی تبدیل شده‌اند.

تجزیه و تحلیل تغییر کاربری در حوزه آبخیز مطالعاتی در دوره آتی یک روند کاهشی مداوم در پوشش جنگلی را نشان داد، به‌طوری که در طول دوره ۲۰۱۰ تا ۲۰۴۰، کاربری جنگلی ۳۴۷۳۹ هکتار کاهش و کاربری مرتع کشاورزی ۷۶۶۸ و ۲۷۰۷۱ هکتار افزایش خواهد داشت.

در مرحله دوم تحقیق، همان‌طور که بیان شد، در گام‌های اول معیارها و محدودیت‌های مؤثر منطقه شناسایی و نقشه‌سازی شدند و پس از فازی کردن نقشه‌ها در گام بعدی، به‌منظور اجرای روش ارزیابی چندمعیاره برای هر عامل باید وزنی در نظر گرفته شود. در این مطالعه وزن هر یک از عوامل براساس نظر کارشناسی (۱۵ متخصص محیط زیست) و توسط فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی و دستور Weight در نرم‌افزار IDRISI Selva 17.2 به‌دست آمده است. عوامل‌های شیب، بافت خاک، فاصله از منابع آبی و میزان بارندگی به‌ترتیب، بیشترین وزن را دارند.



شکل ۴. نقشه آمایش نهایی کاربری کشاورزی آینده



شکل ۳. نقشه ارزیابی توان بوم‌شناختی کاربری کشاورزی

در گام بعد، با به‌کارگیری روش ترکیب خطی وزن‌دار (WLC) نقشه‌های استاندارد شده‌ی عامل‌ها با در نظر گرفتن وزن‌های متناظر آن‌ها و لایه‌های بولینی شده‌ی محدودیت‌ها در نرم‌افزار ایدریسی تلفیق شد. نقشه‌ی رستری نهایی، نقشه‌ی مطلوبیت برای کاربری کشاورزی است و با افزایش ارزش از صفر تا ۲۵۵ تناسب افزایش می‌یابد (شکل ۳).

در گام آخر، ۱۰ درصد از مستعدترین پهنه‌های مساعد برای کاربری کشاورزی که در سال ۲۰۴۰ احتمال می‌رود تغییر یابد، انتخاب و به نقشه‌ی کاربری سال ۲۰۱۰ اضافه شد. نقشه‌ی نهایی در شکل ۴ و جدول ۲ نشان داده شده است، به طوری که ۲۷۰۰ هکتار از مستعدترین مناطق کاربری جنگلی و ۷۶۶ هکتار از مناطق کاربری مرتعی به عنوان مستعدترین مناطق محتمل تغییر به کاربری کشاورزی در آینده انتخاب شد. البته شایان ذکر است، نمی‌توان برای همیشه این روند را ادامه داد و سقف آن براساس کل زمین‌هایی که به نحوی قابلیت تبدیل به کشاورزی را دارند، تعیین می‌شود و این مساحت را می‌توان از روی نقشه‌ی توان به دست آورد.

جدول ۲. مساحت سه کاربری عمده در دوره‌های زمانی گذشته، حال، آینده و سناریوی حفاظتی و احیای محتمل آینده

نوع کاربری اراضی	سال ۱۹۸۴	سال ۲۰۱۰	سال ۲۰۴۰	سناریوی مدیریتی حفاظتی و احیای محتمل آینده (۲۰۴۰)
کاربری جنگل	۲۷۷۸۲۴	۲۱۲۰۸۱	۱۷۷۳۴۲	۲۰۸۶۰۸
کاربری کشاورزی	۳۲۶۷۴	۶۶۷۲۸	۹۳۷۹۹	۶۹۴۲۸
کاربری مرتع	۷۳۳۵۵۵	۱۰۵۱۴۷	۱۱۲۸۱۵	۱۰۵۹۱۳

## بحث و نتیجه

تغییرات چشمگیری در اراضی حوزه آبخیز تجن طی ۲۶ سال اخیر رخ داده است، به طوری که در دوره ۱۹۸۴ تا ۲۰۱۰، مناطق جنگلی هیرکانی به شدت کاهش و به طور عمده به کاربری‌های کشاورزی و مرتع تبدیل شده‌اند. بیشترین میزان تخریب در حوزه آبخیز تجن در اطراف زمین‌های کشاورزی قبلی به علت در دسترس بودن آن‌ها رخ داده است. از طرف دیگر، تغییرات کاربری

اراضی شدید و فعالیت روستاییان و حضور دام در مناطق جنگلی از دیگر عوامل تخریب جنگل است (جورابیان شوشتری و همکاران، ۱۳۹۲، ص ۶). فعالیت‌های کشاورزی اغلب محرک اصلی در پویایی سیمای سرزمین است. همچنین، رشد زمین‌های مرتعی در منطقه مورد مطالعه می‌تواند به دلیل تبدیل کاربری جنگل به کاربری کشاورزی باشد. در نهایت نیز به دلیل توانایی پایین این زمین‌ها، پس از چندبار کشت حاصلخیزی لازم را ندارند، رها شده و توسط مراتع جایگزین می‌شوند (طالبی و همکاران، ۱۳۸۸، ص ۱۰).

استفاده نادرست از منابع به تخریب منابع موجود در زمین، فقر و مسائل اجتماعی دیگری منجر خواهد شد. از طرفی، با توجه به عملی نبودن توقف توسعه، بررسی روش‌های کاهش آثار توسعه ضروری به نظر می‌رسد. بنابراین، در صورت تداوم تغییرات در آینده به‌کارگیری تکنیک‌های توسعه با کمترین اثرات (LID)<sup>۱</sup> در برنامه‌ریزی و طراحی کاربری اراضی جامع با هدف کاهش آثار تغییرات کاربری اراضی ضروری است، به طوری که قسمت اعظم مسائل زمین با برنامه‌ریزی و آمایش سرزمین و استفاده پایدار از منابع طبیعی و انسانی برطرف می‌شود. علاوه بر این، تعیین کاربری‌های مناسب برای اراضی به‌منظور استفاده بهینه از سرزمین و جلوگیری از تخریب منابع گامی مؤثر در استراتژی توسعه پایدار است. بنابراین، با توجه به وضعیت منابع زیستی کشور، باید هر گونه برنامه‌ریزی درباره استقرار فعالیت‌های مختلف با نگرش به استعداد و قابلیت‌های زمین و با لحاظ کردن دیدگاه و تفکر آمایشی و اصول پایداری توسعه صورت پذیرد.

در این مطالعه تلفیق AHP و GIS و همچنین به‌کارگیری تکنیک WLC برای تخصیص و اولویت‌بندی کاربری کشاورزی به کار گرفته شد. روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره با تعیین کردن میزان اهمیت هر گزینه در فرایند ارزیابی بر دقت کار می‌افزایند. واضح است در فرایند ارزیابی توان و قابلیت سرزمین برای هر نوع کاربری بعضی پارامترها تأثیر بیشتر و بعضی، تأثیر کمتری دارند. در روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره با وزنی که به هر پارامتر داده می‌شود، میزان اهمیت

آن در فرایند ارزیابی تعیین می‌شود. مقایسه نقشه‌های تناسب سرزمین حاصل از راهبرد WLC برای کل منطقه، امکان انتخاب نواحی متناسب برای کشاورزی در حوضه تجن را با بالاترین درجه از اولویت تناسب فراهم کرده است. مقایسه نتایج این راهبرد با روش ارزیابی تناسب اکولوژیک که مکان‌های مناسب را بدون اولویت‌گذاری در درجه تناسب ارائه می‌کند، نشان می‌دهد به‌کارگیری راهبردهای WLC امکان انتخاب‌های متنوع‌تر و جزئی‌تری را در اختیار مدیران منطقه قرار می‌دهد. روش خطی وزن‌دار دربردارنده رویکرد جبرانی است بدین معنا که پایین‌بودن امتیاز یک معیار، توسط بالا بودن معیاری دیگر جبران می‌شود (Eastman, 2009, p.63).

در این پژوهش میزان انطباق اکولوژیکی تغییرات محتمل کاربری اراضی آینده براساس توان و قابلیت طبیعی آن می‌تواند از خسارت‌های احتمالی وارد به محیط زیست از جمله تولید رواناب و سیلاب، فرسایش خاک، تأثیر بر زیستگاه‌ها، اثر بر آب‌های زیرزمینی و غیره جلوگیری کند که در نهایت، باعث تعادل اکوسیستم‌های طبیعی می‌شود. آنچه در اینجا به‌طور مختصر اشاره شده است، لزوم به‌کارگیری روش‌های ارزیابی چندمعیاره و توجه کافی برای کاهش پیامدها و افزایش انطباق اکولوژیکی به‌منظور دستیابی به توسعه پایدار و درخور در دوره آینده است، به‌طوری که سرزمین یک منبع محدود و آسیب‌پذیر است و بسیاری از سودمندی‌های آن اگر به‌جا استفاده شود، ابدی و تجدیدشدنی خواهد بود.

## منابع و مأخذ

۱. احمدی‌زاده، سعید (۱۳۸۲). تعیین و به‌کارگیری مدل‌های کمی اکولوژیک در محیط GIS مطالعه موردی منطقه قره‌تیکان - زاوین. رساله دکتری، رشته جنگلداری، دانشگاه تربیت مدرس.
۲. امیری، محمدجواد، جلالی، علی، سلمان ماهینی، عبدالرسول، حسینی، محسن، آذری دهکردی، فرود (۱۳۸۷). ارزیابی پتانسیل اکولوژیکی حوضه دوهزار و سه هزار در شمال ایران با استفاده از GIS. مجله مطالعات زیست‌محیطی ایران، شماره ۵۰، صفحات ۴۴-۳۳.
۳. رجائی، فاطمه، اسماعیلی ساری، عباس، سلمان ماهینی، عبدالرسول، دلاور، مجید، و مساح بوانی، علی‌رضا (۱۳۹۵). ارزیابی تغییرات کاربری اراضی در حوضه آبخیز رودخانه تجن با تکیه بر سنجه‌های سیمای سرزمین. علوم و تکنولوژی محیط زیست، در حال چاپ.
۴. سلمان ماهینی، عبدالرسول، فضلی، حمید، دریانبرد، رضا، و کامیاب، حمیدرضا (۱۳۸۸). پهنه‌بندی و تعیین درجه حساسیت اکولوژیکی نواحی ساحلی جنوب دریای خزر. طرح پژوهشی، سازمان حفاظت محیط زیست.
۵. سنایی، مریم، فلاح شمسی، و رشید، فردوسی، حامد (۱۳۸۹). ارزیابی چندمعیاره زمین (MCE) با دو راهبرد WLC و OWA در مکان‌یابی مناطق مناسب علوفه‌کاری (مطالعه موردی: زاخرد فارس)، مجله علمی پژوهشی مرتع، شماره ۲، صفحات ۲۱۷-۲۲۶.
۶. طالبی امیری، شیما، آذری دهکردی، فرود، صادقی، سید حمیدرضا، و صوف‌باف، رضا (۱۳۸۸). تحلیل تخریب سیمای سرزمین حوضه آبخیز نکا با استفاده از سنجه‌های اکولوژی سیمای سرزمین. علوم محیطی، دوره ۶، شماره ۳، صفحات ۱۴۴-۱۳۳.
۷. کرمی، امید، حسینی نصر، سید محمد، جلیلونند، حمید، و میریعقوبزاده، میرحسن (۱۳۹۲). تعیین توان حوضه آبخیز بابلرود برای کاربری‌های مختلف با استفاده از فنون تصمیم‌گیری چندمعیاره. پژوهش‌نامه مدیریت حوضه آبخیز، شماره ۱۱، صفحات ۱۸۰-۱۷۱.
۸. وفایی، ساسان، درویش‌صفت، علی اصغر، و پیر باوقار، مهتاب (۱۳۹۲). پایش و پیش‌بینی روند

- تغییرات مکانی کاربری اراضی با استفاده از مدل LCM، (مطالعه موردی: منطقه مریوان). مجله جنگل ایران، دوره ۵، شماره ۳، صفحات ۳۳۶-۳۲۳.
۹. یوسفی، صالح، مرادی، حمیدرضا، حسینی، سید حمزه، و میرزایی، سمیه (۱۳۹۰). آشکارسازی تغییرات کاربری اراضی مریوان با استفاده از تصاویر ETM و TM. سنجش‌ازدور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی (کاربرد سنجش‌ازدور و GIS در علوم منابع طبیعی)، دوره ۲، شماره ۳، صفحات ۹۷-۱۰۵.

10. Arayaa, A., Keesst, S. D., & Stroosnijder, L. (2010). A new agro-climatic classification for crop suitability zoning in northern semi-arid Ethiopia. *Agricultural and Forest Meteorology*, 150(7-8), 1057-1064.
11. Bhagat, R. M., Sharda, S., Sood, R. S., & Ran, V. (2009). Land suitability analysis for cereal production in Himachal Pradesh (India) using Geographical Information System. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 37, 233-244.
12. Eastman, J. R. (2006). IDRISI Andes. Guide to GIS and Image Processing, Clark Labs, Clark University, Worcester, MA.
13. Emadodin, I. (2008). Human-induced soil degradation in Iran. *Ecosystem Services Workshop*, Salzau Castle, 13 – 15 May, Kiel, Northern Germany.
14. Feizizadehab, B., & Blaschke, T. (2013). Land suitability analysis for Tabriz County, Iran: a multi-criteria evaluation approach using GIS. *Journal of Environmental Planning and Management*, 56(1), 1-23.
15. Gutierrez-Velez, V. H., de Fries, R. S., Pinedo-Vasquez, M., Uriarte, M., Padoch, C., Baethgen, W., Fernandes, K., & Lim, Y. (2011). High-yield oil palm expansion spares land at the expense of forests in the Peruvian Amazon. *Environmental Research Letters*, 6, 5-14.
16. Joorabian Shooshtari, Sh., Hosseini, S. M., Esmaili-Sari, & A., Gholamalifard, M. (2012). Monitoring land cover change, degradation and restoration of the Hyrcanian forests in northern Iran (1977-2010). *Journal of Environmental Sciences*, 3(3), 1038-1056.
17. Kazemia, H., Sadeghib, Sohrab., & Akincica, Halil. (2016). Developing a land evaluation model for faba bean cultivation using geographic information system and multi-criteria analysis (A case study: Gonbad-Kavous region, Iran). *Ecological Indicators*, 63, 37-47.
18. Kotha M., & Kunte P. D. (2013). land-cover change in Goa-An Integrated RS-GIS Approach, *International Journal of Geoinformatics*, 9(2), 37-43.
19. Pontius Jr., R. G., Cornell, J. D., & Hall, C. A. S. (2001). Modeling the spatial pattern of land-use change with GEOMOD2: application and validation for Costa Rica. *Agric. Agriculture, Ecosystems & Environment Journal*, 85, 191-203.
20. Roy H. G., Fox D. M., & Emsellem K. (2014). Predicting Land Cover Change in a



- Mediterranean Catchment at Different Time Scales, *Computational Science and Its Applications*, 8582, 315-330.
21. Ryu, J. S., Lee, K. S., & Chang, H. W. (2007). Hydrogeochemical and isotopic investigations of the Han River basin, South Korea, *Journal of Hydrology*, 345(1-2), 50-60.
  22. Saura, S., Estreguil, C., Mouton, C., & Rodríguez-Freire, M. (2011). Network analysis to assess landscape connectivity trends: Application to European forests (1990-2000). *Ecological Indicators*, 11(2), 407-416.
  23. Schulz, J. J., Cayuela, L., Echeverria, C., Salas, J., & Rey Benayas, J. M. (2010). Monitoring land cover change of the dryland forest landscape of Central Chile (1975-2008). *Applied Geography*, 30(3), 436-447.
  24. Vaclavik, T., & Rogan, J. (2009). Identifying trends in land use/land cover changes in the context of post-socialist transformation in Central Europe: A case study of the greater Olomouc region, Czech Republic. *GIS Science & Remote Sensing*, 46(1), 54-76.
  25. Verburg, P. H., Kok, K., Pontius J. R., & Veldkamp, A. (2006). Modelling Land-Use and Land- Cover Change. In Lambin, E. F. and Geist, H., eds., *Land-Use and Land-Cover Change: Local Processes, Global Impacts, Global Change - The IGBP Series*, pp.117-135, Berlin; New York: Springer.