

# کاربرد روش تصمیم‌گیری چندمعیاره و مدل تلفیقی ANP-DEMATEL در آنالیز تناسب اراضی کشاورزی (مطالعه موردی: دشت قزوین)

حمیدرضا پورخباز\*<sup>۱</sup>، سعیده جوانمردی<sup>۲</sup>، احمدرضا یآوری<sup>۳</sup>، حسنعلی فرجی سبکبار<sup>۴</sup>

۱. استادیار گروه محیط‌زیست، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه صنعتی خاتم‌الانبیا بهبهان

۲. کارشناس ارشد برنامه‌ریزی، مدیریت و آموزش محیط‌زیست، دانشکده محیط‌زیست دانشگاه تهران

Sajavanmardi@yahoo.com

۳. دانشیار گروه برنامه‌ریزی، مدیریت و آموزش محیط‌زیست، دانشکده محیط‌زیست دانشگاه تهران

Ayavari@ut.ac.ir

afarajji@yahoo.com

۴. دانشیار گروه کارتوگرافی، دانشکده جغرافیای دانشگاه تهران

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۱/۷/۲۳

تاریخ وصول مقاله: ۱۳۹۱/۶/۲۵

## چکیده

تغییر شکل نواحی پیرامون شهرها، به علت روند توسعه بی‌رویه شهر باعث کاهش اراضی کشاورزی حاشیه می‌شود. در بخش کشاورزی، اهداف پایدار معمولاً شامل حفظ یا افزایش محیط طبیعی، تهیه نیازهای غذایی انسان، زیست‌پذیری (رشد) اقتصادی و رفاه اجتماعی می‌شود. از آنجا که، کشاورزی آثار زیست‌محیطی بزرگی در نواحی حاشیه شهرها دارد، ارزیابی اراضی کشاورزی ضروری به نظر می‌رسد. بنابراین، آنالیز تناسب اراضی کشاورزی (ALSA) شرط لازم بهره‌برداری از منابع اراضی برای تولید پایدار کشاورزی است. روند توسعه شهرنشینی روزافزون و رشد بی‌رویه دشت قزوین طی سال‌های اخیر و در حال حاضر، و به تبع آن توسعه فیزیکی ناموزون شهر، همچنین اهمیت منطقه از لحاظ توان‌های بالقوه کشاورزی و عوامل مورد نیاز این کاربری در منطقه، تعیین قسمت‌های بالقوه اراضی کشاورزی را ایجاب می‌کند. این تحقیق، کاربرد روش تلفیقی تصمیم‌گیری چندمعیاره و مدل ANP-DEMATEL را در ارزیابی اراضی کشاورزی پیرامون شهرها بیان می‌کند. بر اساس مدل اکولوژیک حرفی ایران، داده‌های شیب، اقلیم، خصوصیات خاک، دبی آب و تراکم پوشش گیاهی به‌منزله معیارهای اصلی تأثیرگذار در کاربری کشاورزی انتخاب شدند. سپس در قالب یک مدل، به کمک تصمیم‌گیری چندمعیاره (MCDM) و با استفاده از فرایند تحلیل شبکه‌ای و DEMATEL، لایه‌های مذکور به روش وزن‌دهی ساده (SAW) در محیط نرم‌افزار ArcGIS 9.3 تلفیق شدند و ارزیابی شکل گرفت. نتایج نشان داد که در منطقه مطالعاتی شش طبقه کاربری کشاورزی وجود دارد، به طوری که بخش‌های شمالی برای توسعه کشاورزی نامناسب‌اند. در هر صورت، نقشه‌ها مشخص کرد که مجموع مساحت پلی‌گون‌های مناطق بسیار مناسب تا متوسط کشاورزی ۹۸۵۹۸/۲۰ هکتار است. در واقع، این مدل جدید با ترکیب روش‌های مختلف، راه‌حل مؤثری را برای کمک به تصمیم‌گیری گروهی ارزیابان ارائه داد و از این طریق وزن نهایی معیارهای مؤثر در کاربری کشاورزی مشخص شد.

## کلیدواژه

DEMATEL، روش وزن‌دهی ساده، فرایند تحلیل شبکه‌ای، کاربری کشاورزی.

## ۱. سرآغاز

شود (مقدس جعفری، ۱۳۷۹؛ بحرینی و کریمی، ۱۳۸۱). بر این اساس، شناسایی قابلیت‌ها و توانمندی‌های سرزمین پیش از بارگذاری فعالیت‌های گوناگون بسیار حائز اهمیت

توسعه و حفظ توازن اکولوژیک زمانی محقق خواهد شد که به تناسب قابلیت‌ها و توانمندی‌ها از سرزمین استفاده

ارزیابی و طبقه‌بندی سرزمین با مقایسه بین ویژگی‌های اکولوژیک واحدهای زیست‌محیطی و مدل‌های اکولوژیک حرفی ایران انجام می‌شود. برای ارزیابی توان اکولوژیک کاربری کشاورزی، مدل حرفی با شش طبقه توان تناسب (بسیار زیاد، زیاد، متوسط، کم، ضعیف و نامناسب) ارائه شده است. مخدوم (۱۳۷۰) برنامه‌ریزی آبخیز شمالی رودخانه کارون را به روش دو ترکیبی (مخدوم، ۱۳۷۲)، نوری و همکاران (۱۳۸۹) ارزیابی توان اکولوژیک برای تعیین مناطق مستعد کشاورزی را به روش تجزیه و تحلیل سیستمی در محیط GIS انجام دادند. مینایی (۱۳۸۸) مدل آمایشی کشاورزی را با استفاده از منطق فازی و GIS در فریدون‌شهر اجرا کرد. در این مطالعه از پارترهای اکولوژیک مدل حرفی (شیب و خصوصیات خاک) برای تعیین توان کشاورزی استفاده شد. Hossain و همکاران (۲۰۰۷) از روش ارزیابی چندمعیاره (MCE) با کمک سامانه اطلاعات جغرافیایی برای طبقه‌بندی تناسب اراضی به منظور کشت Tilapia در بنگلادش استفاده کردند. همچنین، Thapa و Murayama (۲۰۰۷) ارزیابی اراضی پسرانه شهری را برای کاربری کشاورزی با استفاده از دو تکنیک GIS و AHP در استان Hanoi ویتنام انجام دادند. Nisar Ahamed و همکاران (۲۰۰۰) تحقیقی در خصوص مدل عضویت فازی با کمک GIS برای آنالیز تناسب اراضی کشاورزی انجام دادند. هدف ارزیابی تناسب اراضی کشاورزی برای محصولات معین بود، که از روش تناسب چندمعیاره و عضویت فازی استفاده شد. از سایر تحقیقات در این زمینه می‌توان به محفوظی (۱۳۷۸)، محمدی و گیوی (۱۳۸۰)، Mohaddes و همکاران (۲۰۰۸) و Yang و همکاران (۲۰۰۸) اشاره کرد. داشتن امکانات مناسب اقلیمی در ناحیه قزوین موجب شده است این ناحیه یکی از قطب‌های مهم کشاورزی در سطح کشور به شمار رود. روند توسعه شهرنشینی روزافزون و رشد بی‌رویه این شهر طی سال‌های اخیر و در حال حاضر و به

است. بنابراین، تمرکز بر استعدادهای مختلف چشم‌اندازها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است و در این زمینه اشتباه در کاربری زمین می‌تواند منابع یک منطقه را به خطر اندازد (Smith and Kelly, 2003; Ogden, 2007). کاربری کشاورزی<sup>۱</sup> به منزله فعالیتی که به طور تنگاتنگ با محیط سروکار دارد، برای داشتن کارایی بالاتر و تناسب بیشتر با محیط زیست، نیازمند شناسایی علمی روزافزون توان محیطی است (محمدی و گیوی، ۱۳۸۰). از این رو، طبقه‌بندی تناسب اراضی کشاورزی بر اساس اطلاعات محلی برای برنامه‌ریزی کاربری اراضی (ارزیابی توان اکولوژیک) لازم و حیاتی است (Sicat, et al., 2005). در هر صورت برای داشتن توسعه پایدار و درخور، برنامه‌ریزی سرزمین امری ضروری است که شالوده این برنامه‌ریزی، ارزیابی توان محیط زیست است (مخدوم، ۱۳۷۲). بسیاری از مسائل تصمیم‌گیری در برنامه‌ریزی‌های منطقه‌ای از نوع مسائل چندمعیاره است (عسگری و همکاران، ۱۳۸۱; Feng and Xu, 1999)، که تحلیل ارزیابی و تصمیم‌گیری چندمعیاره طی چند دهه گذشته، به یکی از قوی‌ترین روش‌ها در برنامه‌ریزی تبدیل شده است (عسگری و همکاران، ۱۳۸۱, Anderson, 1987, Malczewski, 2004). در روش‌های تعاملی تصمیم چندمعیاره، قوت شاخص می‌تواند ضعف‌های شاخص‌های دیگر را بپوشاند و در واقع وزن کل شاخص‌ها مدنظر است. در این روش‌ها هر گزینه با چند شاخص ارزیابی می‌شود و انتخاب گزینه از طریق تعیین سطح مورد نظر برای معیارها یا مقایسه‌های زوجی معیارها و گزینه‌ها صورت می‌گیرد. از جمله این روش‌ها می‌توان به DEMATEL<sup>۲</sup>، AHP، ANP<sup>۳</sup>، Borda، VIKOR، SAW<sup>۴</sup> اشاره کرد (عطایی، ۱۳۸۹). به کارگیری روش‌های چندمعیاره مستلزم انجام عملیاتی است که عمده‌ترین آنها عبارت‌اند از: تشکیل ماتریس ارزیابی، استاندارد کردن داده‌ها، تعیین وزن عوامل و تحلیل اطلاعات. در ایران

درصد از آب‌های سطحی استان تأمین می‌شود (سازمان برنامه و بودجه استان قزوین، ۱۳۸۷).

### مواد و روش بررسی

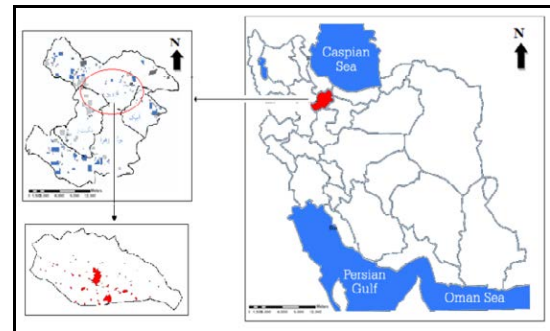
تحقیق حاضر بر پایه پارامترهای اکولوژیک (فیزیکی و زیستی) لازم منطقه قزوین برای ارزیابی توان اکولوژیک کاربری کشاورزی شامل درصد شیب (So)، دما (Ct)، بارندگی (Cp)، رطوبت نسبی (Ch)، سرعت باد غالب (Cw)، بافت خاک (Pte)، عمق خاک (Pd)، تحول‌یافتگی خاک (Ps)، دانه‌بندی خاک (Pg)، شرایط زهکشی خاک (Pdr)، فرسایش خاک (Es)، حاصلخیزی خاک (Pf)، درصد تراکم پوشش گیاهی (Vgo)، دبی آب (Wc) و منطقه حفاظت‌شده (Pr) است (مخدوم و همکاران، ۱۳۸۳) که برای تعیین بردار وزن در سه خوشه بیوهیدروکلیماتولوژی، شکل زمین و خاک قرار گرفتند.

این تحقیق از نوع کاربردی و روش جمع‌آوری اطلاعات به دو شکل اسنادی (کتابخانه‌ای) و میدانی (پیمایشی) انجام گرفته است، همچنین از مدل‌های اکولوژیک حرفی و روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره مانند DEMATEL، ANP، SAW و نرم‌افزارهای 9.3 ArcGIS، Super Decision 2.0.8، Excel 2007 و MATLAB 7.11.0 جهت انجام تحقیق استفاده شده است. بدین منظور، ابتدا آماده‌سازی پارامترهای اکولوژیک لازم برای ارزیابی توان اکولوژیک کاربری کشاورزی انجام گرفت. برای ساخت و طبقه‌بندی مجدد لایه شیب مورد نیاز تحقیق از لایه DEM رستری منطقه استفاده شد. در پایان مرحله آماده‌سازی معیارها و استخراج محدودیت‌ها و فاکتورها، محدودیت‌ها به صورت صفر و یک (بر اساس منطبق بولین) طبقه‌بندی مجدد (استانداردسازی) شدند. سپس با استفاده از منطق اشتراک (AND)، روی هم‌گذاری شدند. پیش از انجام عملیات ادغام کردن نقشه‌ها، لازم است که کلیه لایه‌های مورد استفاده از اعداد و مقادیر معیار

تبع آن توسعه فیزیکی ناموزون شهر، همچنین اهمیت منطقه از لحاظ توان‌های بالقوه کشاورزی و عوامل مورد نیاز این کاربری در منطقه، تعیین نقاط بالقوه اراضی کشاورزی را ایجاد می‌کند. هدف تحقیق حاضر، اجرای مدل اکولوژیک و تجزیه و تحلیل تناسب اراضی در منطقه مورد مطالعه برای کاربری کشاورزی با شناسایی فاکتورهای فیزیکی و زیستی دخیل در این کاربری است. با توجه به هدف تحقیق، سؤالی که پیش می‌آید این است که آیا آنالیز تناسب اراضی کاربری کشاورزی با اجرای مدل اکولوژیک حرفی آن انجام می‌شود؟ بنابراین فرض می‌شود که ارزیابی توان اکولوژیک برای تعیین نقاط مستعد کشاورزی با مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره قابل انجام است.

### محدوده و قلمرو پژوهش

منطقه مورد مطالعه در دشت قزوین در طول جغرافیایی ۴۹ درجه و ۳۰ دقیقه تا ۵۰ درجه و ۳۰ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۶ درجه تا ۳۶ درجه و ۳۰ دقیقه شمالی قرار دارد (شکل ۱).



شکل ۱. محدوده منطقه مطالعاتی

دشت و پدیده اوروگرافیک کوهستانی سبب شده است که در برخی نقاط آن بارندگی و دما به حداکثر و در برخی به حداقل خود برسد. البته شایان یادآوری است که پدیده‌های توپوگرافی و اقلیمی توأم در پارامترهای جوی این منطقه مؤثرند. منابع آبی منطقه از دو بخش آب‌های سطحی و زیرزمینی تأمین می‌شوند، که در بخش کشاورزی به ترتیب حدود ۷۲ درصد از منابع آب زیرزمینی و ۲۸

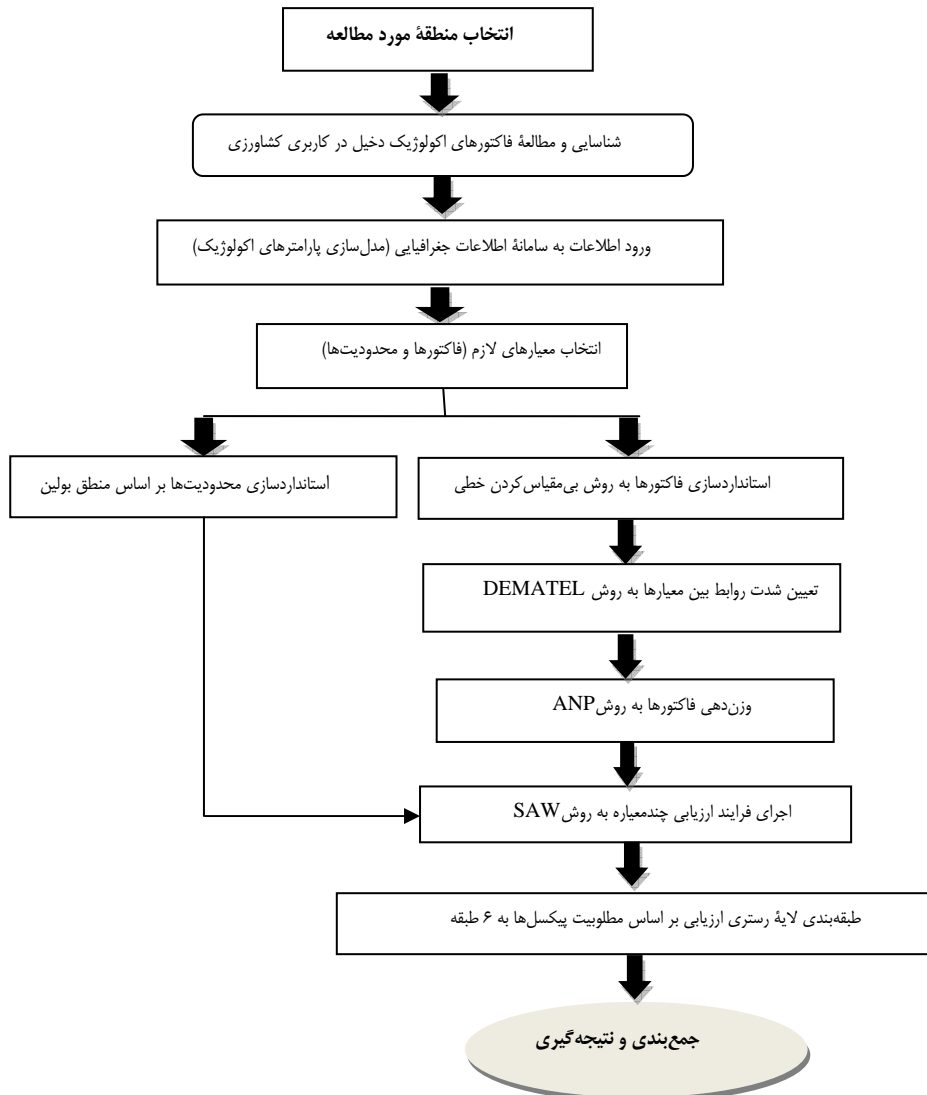
فاكتورها، مراحل مربوط به تلفيق لايه‌ها با استفاده از قواعد تصميم‌گيري MCDM<sup>v</sup> به منظور دست‌يابي به مناطق مستعد کاربري کشاورزي آغاز شد. براي تلفيق اين لايه‌ها از روش وزن‌دهي ساده (SAW) در محيط نرم‌افزار ArcGIS 9.3 استفاده شد. در مرحله بعد، براي مشخص شدن طبقات کاربري کشاورزي روي نقشه ارزشيابي، از هيستوگرام و نقاط شکست مقادير مطلوبيت نقشه کمک گرفته شد. در نهايت، اقدام به طبقه‌بندي مجدد طبقات کاربري کشاورزي شد و نقشه نهايي ارزشيابي به دست آمد (شکل ۲).

ارائه شده استاندارد شوند تا با استفاده از قواعد تصميم‌گيري قابليت ادغام داشته باشند. در اين تحقيق، جهت اجرائي مدل حرفي، فاكتورها به روش ارزشيابي چندمعياره SAW بي‌مقياس شدند. براي بي‌مقياس کردن خطي فاكتورهاي مثبت و منفي به ترتيب از روابط زير استفاده مي‌شود:

$$r_{ij} = \frac{X_{ij}}{X_j^{(max)}} \quad (1)$$

$$r_{ij} = \frac{X_j^{(min)}}{X_{ij}} \quad (2)$$

جهت تعيين بردار وزن معيارها و تلفيق روش‌هاي DEMATEL و ANP استفاده شد. پس از وزن‌دهي



شکل ۲. فرایند اجرائي تحقيق

$$D = A \times S \quad (۴)$$

$$(۵)$$

$$i, j = 1, 2, \dots, n$$

$$s = \min \left[ \frac{1}{\max_i \sum_{j=1}^n |z_{ij}|}, \frac{1}{\max_j \sum_{i=1}^n |z_{ij}|} \right]$$

۳. محاسبه ماتریس روابط کل: ماتریس روابط کل T می‌تواند بر اساس معادله زیر به دست آید، در حالی که منظور از I ماتریس واحد است:

$$T = D (I - D)^{-1} \quad (۶)$$

مجموع سطرها و ستون‌ها به ترتیب با بردارهای r و c در ماتریس T نشان داده می‌شوند (Kangas, et al., 2003). بردار محور افقی r + c بردار برتری است که میزان اهمیت هر معیار را بیان می‌کند، محور عمودی c - r بردار رابطه نامیده می‌شود و تأثیر خالصی را که معیار i در کل سیستم می‌گذارد نشان می‌دهد.

۴. تعیین مقدار آستانه: از آنجا که ماتریس T اطلاعاتی در زمینه اینکه یک معیار چه میزان اثر می‌گذارد را می‌دهد، لازم است تصمیم‌گیرنده، یک مقدار آستانه برای فیلتر کردن آثار جزئی به وجود آورد. در دیاگرام (مدل ساختاری) تنها آثار بزرگ‌تر از آستانه وارد می‌شوند.

۵. اجرا و تحلیل مدل مفهومی ساختاری (دیاگرام علت و معلولی): دیاگرام علت و معلول می‌تواند بر اساس ترسیم زوج مرتب‌های (r + c, r - c) به دست آید که درون‌بینی با ارزشی برای تصمیم‌گیری فراهم می‌کند (Shrestha, et al., 2004). برای ترسیم دیاگرام علی (مدل مفهومی) ماتریس F ساخته می‌شود. مقادیر ماتریس بر اساس ماتریس T و مقدار آستانه (ω) تعیین می‌شوند. اگر  $f_{ij} \geq \omega$  باشد، آنگاه  $f_{ij}$  برابر ۱ می‌شود و در غیر این صورت مقدار صفر را دریافت می‌کند.

### فرایند تحلیل شبکه‌ای (ANP)

فرایند تحلیل شبکه، یکی از تکنیک‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره و فرم توسعه‌یافته فرایند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) است. این روش برای حل مسائلی که در آن‌ها

### روش آزمون ارزیابی و تصمیم‌گیری (DEMATEL)

این روش، مبتنی بر نظریه گراف و روش جامع برای ساختن و تحلیل مدل ساختاری مرتبط با روابط علی و معلولی پیچیده میان عوامل یک مسئله است. دیاگرام‌ها می‌توانند مفهوم شدت اثر (رابطه) متقابل رابطه علی و معلولی را به صورت عددی توصیف کنند (Wu, 2008). این روش برای ساختاردهی به یک دنباله از اطلاعات مفروض کاربرد دارد، به طوری که شدت ارتباطات را به صورت امتیازدهی بررسی، بازخورهای توأم با اهمیت آن‌ها را تجسس و روابط انتقال‌ناپذیر را محاسبه می‌کند. پایه روش DEMATEL بر اساس این فرض بنا شده که سیستم شامل مجموعه‌ای از معیارهاست و مقایسه زوجی روابط میان این معیارها می‌تواند به وسیله معادلات ریاضی مدل شود (Tseng, 2009). مراحل این روش به صورت زیر خلاصه می‌شوند:

۱. ساخت ماتریس اولیه رابطه مستقیم و محاسبه ماتریس میانگین: برای تعیین شدت رابطه و تأثیر متقابل (ضریب اثرگذاری) معیارها از نظرهای متخصصان استفاده می‌شود. ارزیابی و جهت تأثیر بین دو معیار بر اساس امتیازهای جدول ۱ به کار می‌رود. برای دخالت‌دادن دیدگاه‌های H پاسخ‌دهنده، ماتریس میانگین  $A = [a_{ij}]$  به صورت زیر می‌تواند ساخته شود:

$$a_{ij} = \frac{1}{H} \sum_{k=1}^H x_{ij}^k \quad (۳)$$

#### جدول ۱. مقادیر کمی معادل با مفاهیم کلامی ماتریس اولیه

مقادیر کمی	مفاهیم کلامی
۰	بی تأثیر
۱	تأثیر بسیار کم
۲	تأثیر کم
۳	تأثیر متوسط
۴	تأثیر شدید
۵	تأثیر بسیار شدید

منبع: Wu, 2008

۲. محاسبه ماتریس نرمال رابطه مستقیم: ماتریس اولیه رابطه مستقیم D از طریق معادله‌های زیر نرمال می‌شود:

استاندارد می‌شود. در نتیجه ماتریس جدیدی به دست می‌آید که جمع هر یک از ستون‌های آن برابر ۱ خواهد بود.

۵. محاسبه بردار وزنی عمومی - سوپرماتریس حد: در مرحله بعد، سوپرماتریس وزنی، به توان حدی می‌رسد تا عناصر ماتریس همگرا و مقادیر سطری آن با هم برابر شوند. در این مورد جمع سطر سوپرماتریس وزنی به صورت زیر همگرا می‌شود:

$$\lim_{k \rightarrow \infty} W^k \quad (9)$$

### روش وزن‌دهی ساده (SAW)

SAW معروف‌ترین روشی است که در تصمیم‌گیری چندمعیاره استفاده می‌شود. این روش بر مبنای GIS شامل تعریف مجموعه معیارها، استاندارد کردن هر لایه، تعریف وزن‌ها و ایجاد امتیاز نهایی هر گزینه است. در این روش پس از بی‌مقیاس‌سازی خطی مقادیر ماتریس تصمیم‌گیری (در بالا به آن اشاره شد)، با ضرب این ماتریس در وزن معیارها، ماتریس تصمیم بی‌مقیاس‌شده وزن‌دار به دست می‌آید. در واقع ترکیب خطی وزن‌دار را می‌توان به صورت رابطه زیر نشان داد (Eastman, 2006):

$$S = \sum W_i X_i \Pi^C_i \quad (10)$$

که در آن: S: مطلوبیت،  $W_i$ : وزن فاکتور  $i$ ،  $X_i$ : امتیاز معیاری فاکتور  $i$ ،  $C_i$ : امتیاز محدودیت  $i$  و  $\Pi$  عمل‌گر حاصل ضرب است.

بدین ترتیب، حاصل ضرب‌ها به صورت برداری، جمع شده تا مجموع امتیازهای هر پیکسل حاصل شود (Voogd, 1983).

### نتایج

نتایج حاصل از مطالعات پارامترهای اکولوژیک منطقه مورد نظر به صورت نقشه‌های رقومی درآمده‌اند. حال، با توجه به مدل ارزیابی اکولوژیک کاربری کشاورزی، نقشه‌های پارامترهای منطقه مورد مطالعه، طبقه‌بندی مجدد شدند که شکل ۳ برخی از این پارامترهای اکولوژیک را نشان می‌دهد. با استفاده از این نقشه‌ها و اطلاعات توصیفی

معیارها و گزینه‌ها از هم مستقل نیستند، به کار می‌رود (عطایی، ۱۳۸۹). در فرایند تجزیه و تحلیل شبکه‌ای، اندازه‌گیری مقادیر و اهمیت نسبی مانند فرایند تحلیل سلسله مراتبی با مقایسه‌های زوجی و به کمک طیف ۱ تا ۹ انجام می‌شود. مراحل روش ANP به شرح زیر است:

۱. ساخت مدل (شبکه) تحلیل: در این مرحله معیارهایی که در تصمیم‌گیری نهایی مؤثرند و به روش DEMATEL همراه نظرخواهی از متخصصان مشخص شدند، به یکدیگر متصل می‌شوند و ساختار شبکه‌ای را تشکیل می‌دهند.

۲. تشکیل ماتریس‌های مقایسه زوجی و محاسبه بردارهای وزن: ماتریس‌های مقایسه زوجی تأثیر معیارها و زیرمعیارها، با در نظر گرفتن سطوح بالاتر شبکه و ارتباطات داخلی تشکیل می‌شوند، تا بتوان به کمک آن‌ها وزن عناصر را به دست آورد. پس از آنکه مقایسه زوجی به صورت کامل انجام شد، بردار وزن ( $w$ ) محاسبه می‌شود که ساعتی روش زیر را پیشنهاد کرده است:

$$Aw = \lambda_{\max} w \quad (7)$$

که در آن  $\lambda_{\max}$  بزرگ‌ترین مقدار ویژه ماتریس A است. بردار  $w$  با استفاده از  $\alpha = \sum_{i=1}^n w_i$  نرمال می‌شود.

برای تعیین میزان سازگاری مقایسه‌ها از شاخص سازگاری وزن معیارها استفاده می‌شود، که این شاخص با استفاده از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (8)$$

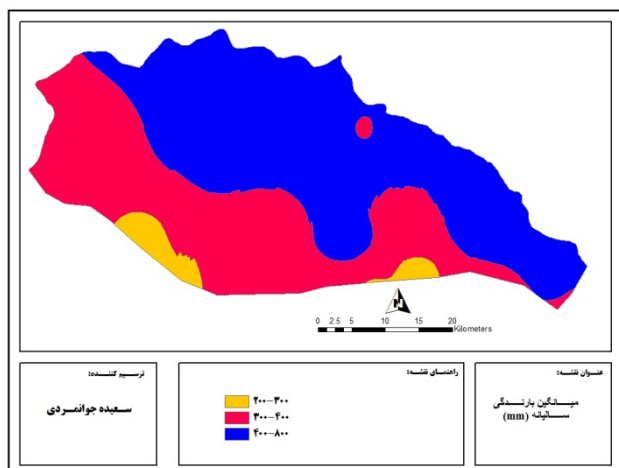
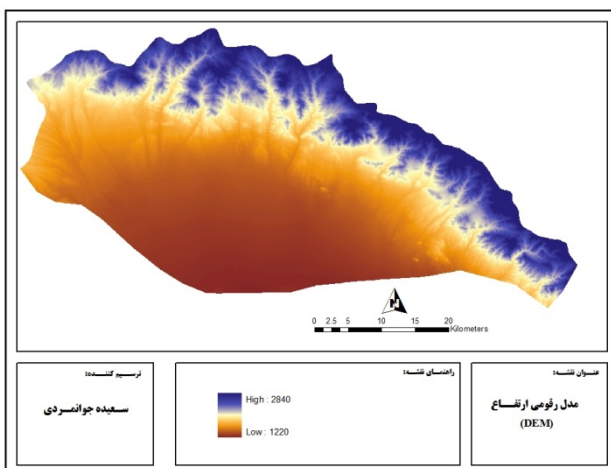
در کل اگر CI کمتر از ۰/۱ باشد، مقایسه تأیید می‌شود.  
۳. تشکیل سوپرماتریس اولیه: بر اساس مقایسه زوجی که در مرحله قبل انجام شد، چند ماتریس ساخته و وزن نسبی هر ماتریس محاسبه می‌شود. سپس، وزن‌های حاصل در سوپرماتریس وارد می‌شوند که رابطه متقابل بین عناصر سیستم را نشان می‌دهند.

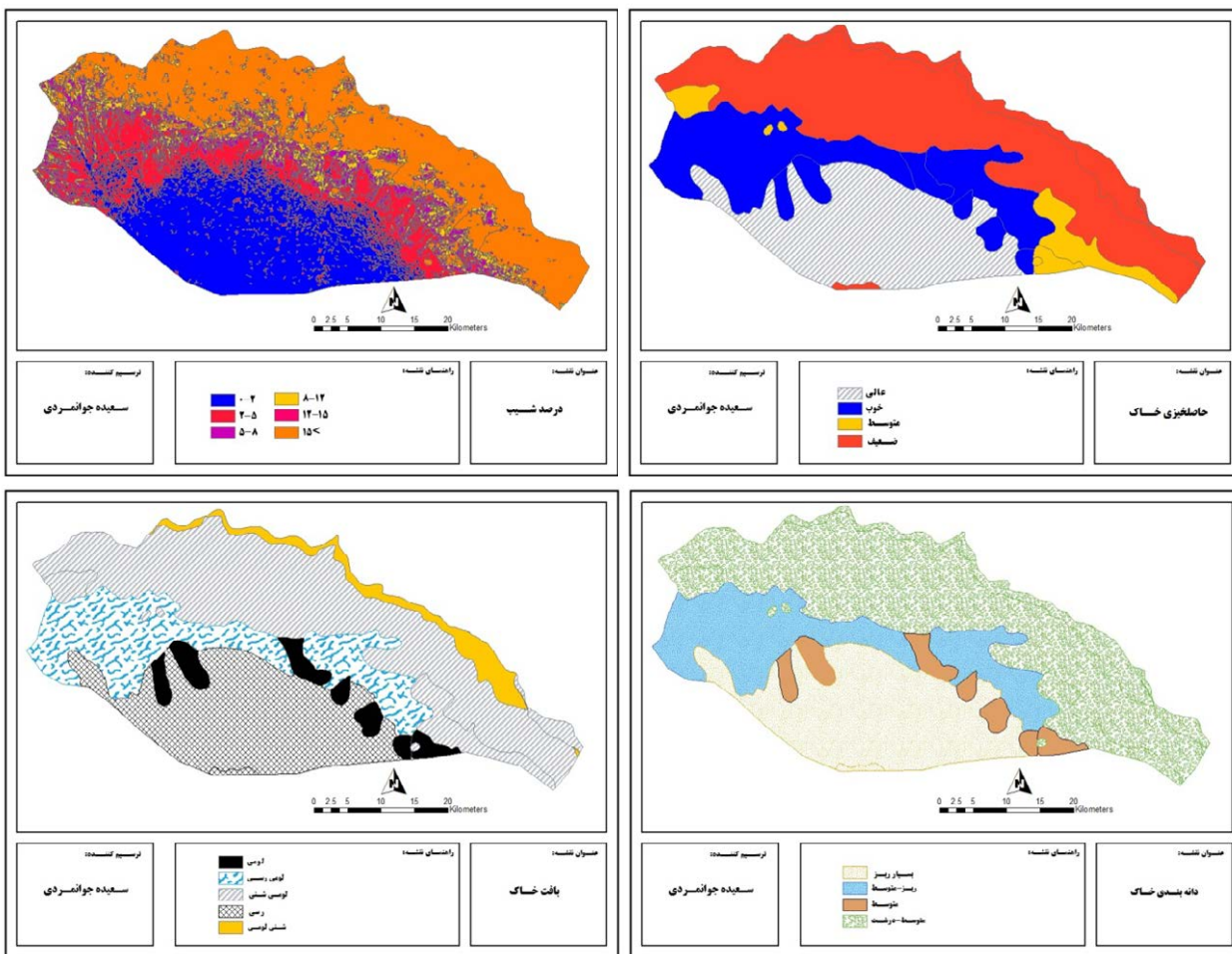
۴. تشکیل سوپرماتریس وزنی: برای آنکه از عناصر ستون سوپرماتریس اولیه متناسب با وزن نسبی آن‌ها فاکتور گرفته و جمع ستون برابر ۱ شود، هر ستون ماتریس

## تلفیق لایه‌ها با روش SAW

در این روش، نقشه استاندارد شده هر فاکتور در وزن آن ضرب و مجموع آن برای تمام فاکتورها، مجدداً در نقشه محدودیت ضرب شد. نقشه نهایی ارزیابی کاربری کشاورزی منطقه (شکل ۵) نمایانگر لایه‌ای با طیفی از مطلوبیت‌های متفاوت پیکسل هاست، که مطلوبیت بیشتر نشان‌دهنده درجه توان بالاتر و مطلوبیت کمتر بیانگر درجه توان پایین تر برای کاربری کشاورزی است. میزان مطلوبیت هر پیکسل تجلی بخش میزان مطلوبیت فاکتورها و وزن‌های اختصاص داده شده به آنهاست. از روی هیستوگرام این نقشه و نقاط شکست مقادیر مطلوبیت نقشه، اقدام به طبقه‌بندی طبقات شش‌گانه کاربری کشاورزی شد. مراتع متراکم و نیمه‌متراکم (به منزله محدودیت)، شرایط نامناسب بافت و ساختمان خاک و کوهستانی بودن شمال منطقه، باغات و اراضی جنگلی در جنوب، از عوامل مهم محدودکننده توسعه کشاورزی منطقه مورد نظر است، که در نتایج حاصل این محدودیت‌ها مشخص شده است. البته پس از بررسی‌های میدانی واقعیت‌های محیطی منطقه نشان می‌دهد که بخش‌های شمالی، همچنین نوار کوچکی از حاشیه جنوبی قزوین، در حال حاضر دارای اراضی کشاورزی است، بنابراین باید از توسعه بی‌رویه در جهات مختلف جلوگیری شود.

مربوط به منطقه، پایگاه اطلاعاتی برای تحلیل منابع محیطی تهیه شد. برای رفع مشکل وابستگی داخلی معیارها، از DEMATEL استفاده و ضریب تأثیرگذاری معیارها از طریق ماتریس مجموع تأثیرات معیارها بررسی شد. بدین منظور ابتدا ماتریس روابط کل معیارها (جدول ۲)، سپس مجموع تأثیرات معیارها (جدول ۳) آماده شد. جدول مجموع تأثیرات نشان می‌دهد که شیب و دبی آب بیشترین تأثیر را دارند و در این میان شیب مهم‌ترین معیار است. سپس، برای انجام مقایسه‌های صحیح، پس از تهیه ماتریس حد آستانه (جدول ۴) و به تبع آن مدل مفهومی ساختاری (شکل ۴)، معیارها طبق جدول ۵ در ۳ خوشه قرار گرفتند و نظرهای کارشناسی تحلیلی در روش مذکور، به صورت جدول سوپرماتریس حد (جدول ۷) تهیه شدند و در نهایت وزن نهایی معیارها مطابق جدول ۶ به دست آمد. همان‌طور که مشاهده می‌شود معیارهای شیب، میزان آب، حاصل‌خیزی و فرسایش خاک و تراکم پوشش گیاهی بالاترین آثار را در ارزیابی توان کاربری کشاورزی داشته است. مقایسه لایه‌های تهیه‌شده با واقعیت‌های محیطی منطقه طی بازدیدهای دوره‌ای انجام و مشخص شد. بخش‌هایی از مناطق شمالی، به علت داشتن درصد شیب‌های نسبتاً بالا، مراتع متراکم، فرسایش زیاد و بافت نامناسب خاک و با توجه به ضریب اثرگذاری بالای این معیارها برای انجام کاربری کشاورزی چندان مناسب نبودند، که بررسی نقشه کاربری اراضی منطقه نیز این موضوع را تأیید می‌کرد.





شکل ۳. نقشه‌های پارامترهای اکولوژیکی

جدول ۲. ماتریس روابط کل معیارها (T)

معیارهای اکولوژیکی	حاصلخیزی خاک	بافت خاک	عمق خاک	فرسایش خاک	دانه‌بندی خاک	زهکشی خاک	شیب	تراکم پوشش گیاهی	میزان آب	دما
حاصلخیزی خاک	۰/۱۹۶	۰/۲۳۲	۰/۱۷۴	۰/۲۸۰	۰/۲۰۸	۰/۲۷۹	۰/۱۷۹	۰/۳۴۱	۰/۲۲۲	۰/۱۸۵
بافت خاک	۰/۳۶۹	۰/۲۰۳	۰/۲۳۲	۰/۳۸۶	۰/۳۳۰	۰/۴۲۲	۰/۲۴۶	۰/۴۰۴	۰/۳۳۰	۰/۲۲۹
عمق خاک	۰/۲۷۴	۰/۱۹۳	۰/۱۴۲	۰/۲۸۷	۰/۲۱۲	۰/۳۰۹	۰/۲۱۳	۰/۳۳۱	۰/۲۵۴	۰/۱۶۱
فرسایش خاک	۰/۳۷۲	۰/۲۸۱	۰/۲۸۶	۰/۲۸۴	۰/۲۹۱	۰/۳۷۴	۰/۲۹۹	۰/۴۲۲	۰/۳۱۸	۰/۱۸۳
دانه‌بندی خاک	۰/۳۳۸	۰/۲۵۳	۰/۲۳۳	۰/۳۵۴	۰/۲۰۲	۰/۳۷۷	۰/۲۵۸	۰/۳۸۰	۰/۲۸۷	۰/۱۸۷
زهکشی خاک	۰/۲۶۶	۰/۲۲۳	۰/۱۹۵	۰/۲۹۳	۰/۲۴۰	۰/۲۳۳	۰/۲۱۹	۰/۳۲۰	۰/۲۶۰	۰/۱۹۲
شیب	۰/۳۶۱	۰/۲۹۸	۰/۳۰۸	۰/۴۴۱	۰/۳۱۹	۰/۴۴۳	۰/۲۲۸	۰/۴۴۳	۰/۳۶۹	۰/۲۴۵
تراکم پوشش گیاهی	۰/۳۳۸	۰/۲۳۴	۰/۲۱۲	۰/۳۷۲	۰/۲۷۸	۰/۳۵۱	۰/۲۲۳	۰/۲۸۳	۰/۲۸۸	۰/۲۳۷
میزان آب	۰/۳۸۲	۰/۲۸۵	۰/۲۷۵	۰/۳۹۵	۰/۳۱۶	۰/۴۲۶	۰/۳۳۴	۰/۴۶۰	۰/۲۶۳	۰/۲۷۲
دما	۰/۲۷۹	۰/۱۸۵	۰/۱۷۴	۰/۲۹۷	۰/۲۴۳	۰/۳۶۱	۰/۲۵۹	۰/۳۶۹	۰/۳۰۵	۰/۱۴۶

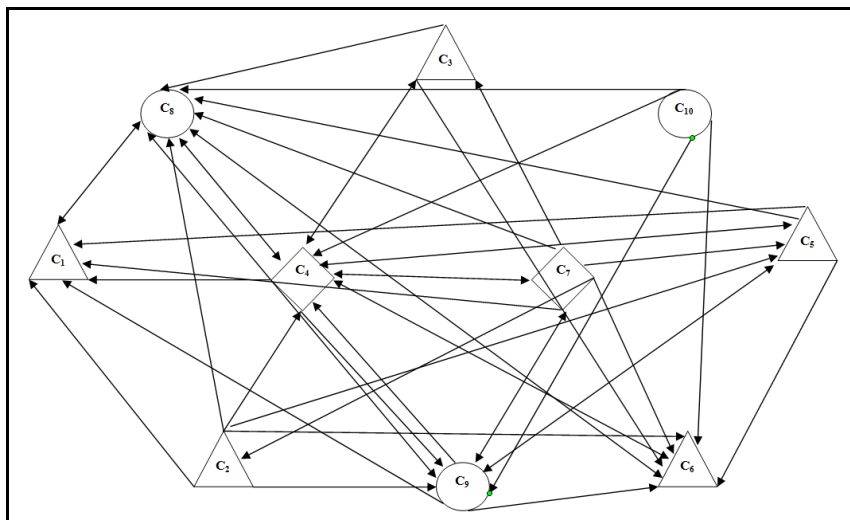


جدول ۳. مجموع تأثیرات معیارها

معیارهای اکولوژیکی	r	c	r + c	r - c
حاصلخیزی خاک	۲/۲۹۷	۳/۱۷۶	۵/۴۷۳	-۰/۸۸۰
بافت خاک	۳/۱۵۲	۲/۳۸۸	۵/۵۴۰	۰/۷۶۴
عمق خاک	۲/۳۷۸	۲/۲۳۲	۴/۶۰۹	۰/۱۴۶
فرسایش خاک	۳/۱۰۸	۳/۳۸۹	۶/۴۹۸	-۰/۲۸۱
دانه‌بندی خاک	۲/۸۷۰	۲/۶۳۹	۵/۵۰۸	۰/۲۳۱
زهکشی خاک	۲/۴۴۲	۳/۵۷۴	۶/۰۱۶	-۱/۱۳۳
شیب	۳/۴۵۴	۲/۴۵۹	۵/۹۱۴	۰/۹۹۵
تراکم پوشش گیاهی	۲/۸۱۵	۳/۷۵۳	۶/۵۶۸	-۰/۹۳۷
میزان آب	۳/۴۰۷	۲/۸۹۵	۶/۳۰۲	۰/۵۱۲
دما	۲/۶۱۹	۲/۰۳۷	۴/۶۵۶	۰/۵۸۳

جدول ۴. ماتریس حد آستانه (ماتریس F)

معیارهای اکولوژیکی	حاصلخیزی خاک	بافت خاک	عمق خاک	فرسایش خاک	دانه‌بندی خاک	زهکشی خاک	شیب	تراکم پوشش گیاهی	میزان آب	دما
حاصلخیزی خاک	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱	۰	۰
بافت خاک	۱	۰	۰	۱	۱	۱	۰	۱	۱	۰
عمق خاک	۰	۰	۰	۱	۰	۱	۰	۱	۰	۰
فرسایش خاک	۱	۰	۱	۰	۱	۱	۱	۱	۱	۰
دانه‌بندی خاک	۱	۰	۰	۱	۰	۱	۰	۱	۱	۰
زهکشی خاک	۰	۰	۰	۱	۰	۰	۰	۱	۰	۰
شیب	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۰	۱	۱	۰
تراکم پوشش گیاهی	۱	۰	۰	۱	۰	۱	۰	۰	۱	۰
میزان آب	۱	۰	۰	۱	۱	۱	۱	۱	۰	۰
دما	۰	۰	۰	۱	۰	۱	۰	۱	۱	۰



شکل ۴. مدل مفهومی ساختاری (نقشه تأثیر- رابطه) بر اساس مقدار آستانه  $P = 0.29$

جدول ۵. سوپر ماتریس وزنی

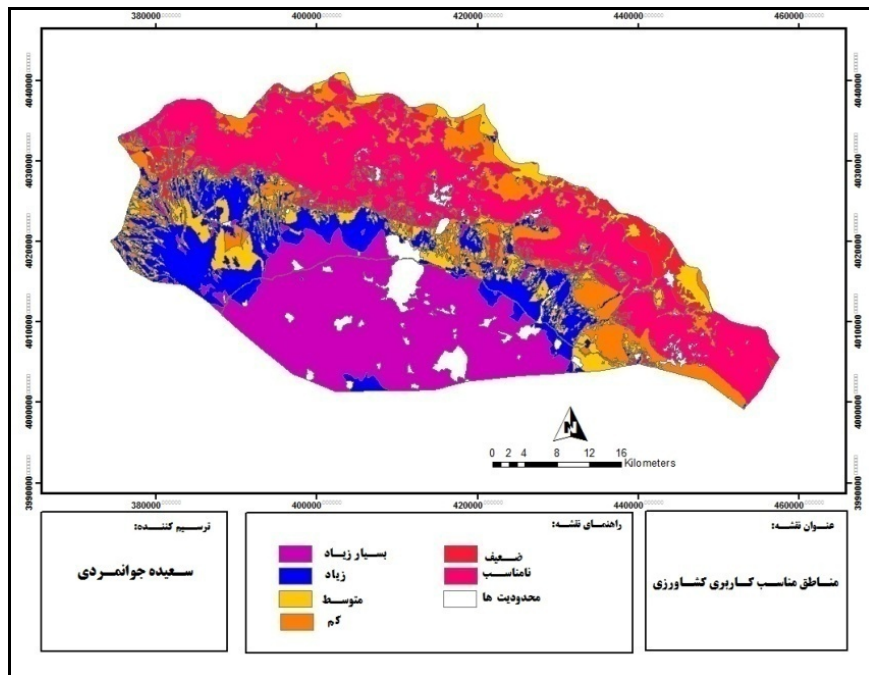
بیوهیدروکلیماتولوژی			شکل زمین		خاک					خوشه‌ها و گره‌ها ( معیارها و زیرمعیارها )			
دما	میزان آب	تراکم پوشش گیاهی	شیب	فرسایش خاک	دانه‌بندی خاک	زهکشی خاک	عمق خاک	بافت خاک	حاصل خیزی خاک	خاک	خاک		
۰	۰/۱۶۷	۰/۵۰	۰/۰۸۳	۰/۱۶۷	۰	۰	۰	۰	۰			حاصل‌خیزی خاک	خاک
۰	۰	۰	۰	۰	۰/۳۳۳	۰/۲۱۶	۰	۰	۰			بافت خاک	
۰	۰	۰	۰	۰	۰/۳۳۳	۰/۲۱۶	۰	۰	۰			عمق خاک	
۰/۳۳۳	۰	۰	۰	۰/۱۶۷	۰	۰/۰۷۰	۰	۰	۰	زهکشی خاک			
۰	۰/۱۶۷	۰	۰/۲۵۰	۰/۱۶۷	۰	۰	۰	۰	۰	دانه‌بندی خاک	شکل زمین		
۰/۱۶۷	۰/۰۳۳	۰	۰/۱۶۷	۰	۰/۰۷۰	۰/۲۱۶	۰/۱۹۹	۰/۱۹۹	۰/۱۹۹	فرسایش خاک			
۰/۱۶۷	۰/۳۰۰	۰	۰/۱۶۷	۰/۱۶۷	۰/۰۷۰	۰/۰۷۰	۰/۱۹۹	۰/۱۹۹	۰/۱۹۹	شیب	بیوهیدروکلیماتولوژی		
۰	۰/۳۳۳	۰	۰/۳۳۳	۰/۳۳۳	۰	۰	۰	۰	۰	تراکم پوشش گیاهی			
۰/۳۳۳	۰	۰/۲۵۰	۰	۰	۰/۲۱۳	۰/۲۱۳	۰/۶۰۳	۰/۶۰۳	۰/۶۰۳	میزان آب			
۰	۰	۰/۲۵۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	دما			

جدول ۶. وزن نهایی معیارها

معیارها	حاصل‌خیزی خاک	بافت خاک	عمق خاک	زهکشی خاک	دانه‌بندی خاک	فرسایش خاک	شیب	تراکم پوشش گیاهی	میزان آب	دما
وزن نهایی	۰/۱۵۰	۰/۰۳۵	۰/۰۳۵	۰/۰۱۸	۰/۰۹۶	۰/۱۳۳	۰/۲۰۰	۰/۱۳۱	۰/۱۶۹	۰/۰۳۳

جدول ۷. سوپرماتریس حد

بیوهیدروکلیماتولوژی			شکل زمین		خاک					خوشه‌ها و گره‌ها (معیارها و زیرمعیارها)	
تراکم پوشش گیاهی	میزان آب	دما	شیب	فرسایش خاک	دانه‌بندی خاک	زهکشی خاک	عمق خاک	بافت خاک	حاصلخیزی خاک		
۰/۱۴۶	۰/۱۴۶	۰/۱۴۶	۰/۱۴۶	۰/۱۴۶	۰/۱۴۶	۰/۱۴۶	۰/۱۴۶	۰/۱۴۶	۰/۱۴۶	حاصلخیزی خاک	خاک
۰/۰۳۴	۰/۰۳۴	۰/۰۳۴	۰/۰۳۴	۰/۰۳۴	۰/۰۳۴	۰/۰۳۴	۰/۰۳۴	۰/۰۳۴	۰/۰۳۴	بافت خاک	
۰/۰۳۴	۰/۰۳۴	۰/۰۳۴	۰/۰۳۴	۰/۰۳۴	۰/۰۳۴	۰/۰۳۴	۰/۰۳۴	۰/۰۳۴	۰/۰۳۴	عمق خاک	
۰/۰۱۷	۰/۰۱۷	۰/۰۱۷	۰/۰۱۷	۰/۰۱۷	۰/۰۱۷	۰/۰۱۷	۰/۰۱۷	۰/۰۱۷	۰/۰۱۷	زهکشی خاک	
۰/۰۹۳	۰/۰۹۳	۰/۰۹۳	۰/۰۹۳	۰/۰۹۳	۰/۰۹۳	۰/۰۹۳	۰/۰۹۳	۰/۰۹۳	۰/۰۹۳	دانه‌بندی خاک	
۰/۱۰۹	۰/۱۰۹	۰/۱۰۹	۰/۱۰۹	۰/۱۰۹	۰/۱۰۹	۰/۱۰۹	۰/۱۰۹	۰/۱۰۹	۰/۱۰۹	فرسایش خاک	شکل زمین
۰/۱۶۴	۰/۱۶۴	۰/۱۶۴	۰/۱۶۴	۰/۱۶۴	۰/۱۶۴	۰/۱۶۴	۰/۱۶۴	۰/۱۶۴	۰/۱۶۴	شیب	
۰/۱۵۹	۰/۱۵۹	۰/۱۵۹	۰/۱۵۹	۰/۱۵۹	۰/۱۵۹	۰/۱۵۹	۰/۱۵۹	۰/۱۵۹	۰/۱۵۹	تراکم پوشش گیاهی	بیوهیدروکلیماتولوژی
۰/۲۰۵	۰/۲۰۵	۰/۲۰۵	۰/۲۰۵	۰/۲۰۵	۰/۲۰۵	۰/۲۰۵	۰/۲۰۵	۰/۲۰۵	۰/۲۰۵	میزان آب	
۰/۰۴۰	۰/۰۴۰	۰/۰۴۰	۰/۰۴۰	۰/۰۴۰	۰/۰۴۰	۰/۰۴۰	۰/۰۴۰	۰/۰۴۰	۰/۰۴۰	دما	



شکل ۵. نقشه نهایی ارزیابی کاربری کشاورزی منطقه مطالعاتی

### بحث و نتیجه‌گیری

روش ارزیابی چندمعیاره (MCE) از اصولی‌ترین روش‌های تصمیم‌گیری در GIS است (Bogardi, et al., 1996)، که به‌منزله ابزار پشتیبان تصمیم‌گیری فضایی برای برنامه‌ریزی سرزمین به کار می‌رود (Mayas, et al., 1997, Wood and Dragicevic, 2006). از آنجا که مدل‌های تصمیم‌گیری متعارف برای تبیین معیارها از کارایی لازم برخوردار نیستند، بنابراین در این تحقیق، از مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره استفاده شد که امکان ورود همزمان چندین تصمیم‌گیرنده را با معیارها، اهداف و گزینه‌های گوناگون فراهم می‌آورند. نوآوری که در تحقیق حاضر صورت گرفته، استفاده از مدل تلفیقی ANP-DEMATEL برای تجزیه و تحلیل اولیه روابط متقابل میان معیارها و وزن‌دهی فاکتورها با توجه به ضریب تأثیرگذاری‌شان است. در واقع، این مدل جدید با ترکیب روش‌های مختلف، راه‌حل مؤثری را برای کمک به تصمیم‌گیری گروهی ارزیابان ارائه داد و از این طریق وزن نهایی معیارهای مؤثر در کاربری کشاورزی مشخص شد. در مرحله تلفیق لایه‌ها به روش ساده وزنی، نقشه نهایی ارزیابی توان (شکل ۵) حاکی از آن است که منطقه مورد مطالعه از لحاظ توان کاربری کشاورزی به ۵ طبقه (بسیار زیاد، زیاد، متوسط، کم، ضعیف) تقسیم شد، که قسمت‌های شمالی منطقه مورد نظر از لحاظ شیب، بافت، عمق، دانه‌بندی، فرسایش و حاصلخیزی خاک برای کاربری کشاورزی محدودیت دارد. در هر صورت، مجموع مساحت پلی‌گون‌های مناطق بسیار مناسب تا متوسط کشاورزی ۹۸۵۹۸/۲۰ هکتار است. نتایج نهایی نشان می‌دهد، توسعه اراضی کشاورزی با درجه مرغوبیت بالا، از شرق تا غرب و به سمت جنوب منطقه (با مساحت حدود ۵۰ درصد) گسترش دارد. مقایسه این نتایج با واقعیت‌های زمینی نشان‌دهنده این است که در حال حاضر مسیر توسعه اراضی کشاورزی به سمت حاشیه جنوبی شهر و بخش‌هایی از شمال منطقه است، که با توجه به رشد شهر

و اراضی باغی نامناسب برای توسعه کاربری مورد نظر شناخته شدند. اما همان‌طور که ذکر شد نتایج عملی تحقیق حاکی از آن است که به علت قرار داشتن باغات در مسیر گسترش بی‌رویه اراضی کشاورزی در منطقه مطالعاتی و در نتیجه اختلال در یکپارچگی باغات بدون برنامه‌ریزی‌های مناسب توسعه، همچنین در نظر نگرفتن معیارهای زیست‌محیطی تأثیرگذار و توان کاربری، از توسعه بی‌رویه در جهات مختلف بایستی جلوگیری شود. مقایسه تحقیق حاضر با مطالعات مشابه موضوعی نشان می‌دهد که نوری و همکاران (۱۳۸۹) برای تعیین مناطق مستعد کشاورزی بدون در نظر گرفتن وزن و اهمیت معیارها و تنها با تلفیق آن‌ها با منطق بولین، ارزیابی توان اکولوژیک را انجام دادند که این باعث ایجاد گپ و ارائه‌نکردن پهنه‌های دقیق کاربری موردنظر می‌شود. از طرف دیگر مینایی (۱۳۸۸) برای ارائه مدل آمایشی کشاورزی از منطق فازی و GIS استفاده کرد، هر چند که در مطالعه مشابه تحقیق حاضر از روش فازی برای ارزیابی استفاده و نتایج خوبی ارائه شده، اما از مهم‌ترین معیار زیست‌محیطی یعنی میزان آب در ارزیابی کاربری کشاورزی استفاده نکرده است. ثانیاً، در تعیین وزن معیارها روش AHP به کار گرفته شده است، که در این روش روابط معیارها و ضریب تأثیرشان لحاظ نمی‌شود و این دقت و کیفیت کار را کاهش می‌دهد. (Murayama و Thapa ۲۰۰۷) نیز در ارزیابی اراضی پسرکانه شهری برای کاربری کشاورزی از دو تکنیک GIS و AHP استفاده کردند. در مطالعه مشابه تحقیق حاضر عملیات استانداردسازی و تلفیق خطی لایه‌ها انجام گرفته، اما از مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره برای ارائه بهتر نتایج استفاده چندانی نشده است. در مطالعه دیگری Nisar Ahamed و همکاران (۲۰۰۰) برای آنالیز تناسب اراضی کشاورزی از مدل عضویت فازی و GIS استفاده کردند که با وجود تحقیق مناسب و استفاده از توابع عضویت فازی در رفع محدودیت طبقه‌بندی‌های کلاسیک، اما مسئله روابط معیارها و ضریب تأثیرشان مدنظر قرار

مطلوب‌تری را ارائه می‌دهد، پیشنهاد می‌شود پس از تعیین صحت و دقت این روش ارزیابی در چند حوزه آبخیز، به جای استفاده از روش منطق بولین برای ارزیابی توان اکولوژیک کاربری کشاورزی استفاده شود.

### یادداشت

- 1-Agricultural Land use
- 2-Decision Making Trial and Evaluation Laboratory
- 3-Analytic Network Process
- 4-Simple Additive Weighting
- 5-Reclassification
- 6-Digital Elevation Model
- 7-Multi Criteria Decision Making

نگرفته است و این می‌تواند به حجم مطالعه بیفزاید. در هر صورت، متولیان امر می‌توانند با کمک نتایج چنین مطالعاتی از توان منطقه برای کاربری کشاورزی در مکان‌های تعیین‌شده هر چه بهتر استفاده کنند. بنابراین پیشنهاد می‌شود:

۱. مدل ویژه‌ای برای ارزیابی توان اکولوژیک کاربری کشاورزی در مناطق مختلف ارائه شود و با اعمال وزن‌دهی پارامترهای اکولوژیک، از آن‌هایی که وزن بیشتری دارند استفاده شود تا تعدد معیارها و پارامترها، اجرای عمل ارزیابی را با مشکل مواجه نکند.
۲. با توجه به اینکه روش طبقه‌بندی SAW، نتایج

### منابع

- بحرینی، س.ح.، کریمی، ک؛ ۱۳۸۱. برنامه‌ریزی محیطی برای توسعه زمین، انتشارات دانشگاه تهران، تهران.
- سازمان برنامه و بودجه استان قزوین. ۱۳۸۷. سند ملی توسعه استان قزوین.
- عسگری، ع.، رازانی، ا.، رخشانی، پ. ۱۳۸۱. برنامه‌ریزی کاربری اراضی شهری، انتشارات نور علم، همدان.
- عطایی، م. ۱۳۸۹. تصمیم‌گیری چندمعیاره، انتشارات دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود.
- محفوظی، م. ۱۳۷۸. «آمایش سرزمین حوزه دادقان با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی»، پایان‌نامه کارشناسی ارشد برنامه‌ریزی و مدیریت محیط‌زیست، دانشگاه تهران.
- محمدی، ج.، گیوی، ج. ۱۳۸۰. «ارزیابی تناسب اراضی برای گندم آبی در منطقه فلاورجان (اصفهان) با استفاده از نظریه مجموعه‌های فازی»، مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، شماره اول، صص ۱۰۳-۱۱۵.
- مخدوم، م. ۱۳۷۲. شالوده آمایش سرزمین، انتشارات دانشگاه تهران، تهران.
- مخدوم، م.، درویش‌صفت، ع. ا. جعفرزاده، ه. مخدوم، ع. ۱۳۸۳. ارزیابی و برنامه‌ریزی محیط‌زیست با سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی، انتشارات دانشگاه تهران، تهران.
- جعفری، م. ح. ۱۳۷۹. «مدل‌های تبیین علی در رهیافت جامعه‌شناسی اثبات‌گرایی»، مجله دانشکده ادبیات و علوم انسانی دانشگاه اصفهان، دوره دوم، صص ۲۲-۲۳.
- مینایی، م. ۱۳۸۸. «پیاده‌سازی مدل آمایشی کشاورزی با استفاده از منطق فازی و GIS (منطقه مورد مطالعه: فریدون‌شهر)»، پایان‌نامه کارشناسی ارشد سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشگاه تهران.
- نوری، س. ه.، صیدایی، س. ا.، کیانی، ص. سلطانی، ز. نوروزی آورگانی. ۱۳۸۹. «ارزیابی توان اکولوژیک محیط برای تعیین مناطق مستعد کشاورزی با استفاده از GIS در بخش مرکزی شهرستان کیار»، مجله جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، شماره ۳۷، صص ۳۳-۴۶.
- Anderson, L.T. 1987. Seven methods for calculating land capability/suitability, Planning Advisory Service (PAS) Report No. 402.

- Bogardi, I., et al. 1996. Risk assessment and fuzzy logic as related to environmental science, SSSA special publ. No 47.
- Eastman, R. J. 2006. Guide to GIS and Image processing, Clark University, USA. 328 PP.
- Feng, S., and L.D., Xu. 1999. Decision support for fuzzy comprehensive evaluation of urban development, Fuzzy Sets and Systems, 105, pp. 1-12.
- Hossain, M.S., et al. 2007. Multi-criteria evaluation approach to GIS-based landsuitability classification for tilapia farming in Bangladesh, Aquacult Int .15, pp. 425-443.
- Kangas, J., et al. 2003. Evaluating the management strategies of a forestland estate-the S-O-S approach, Journal of Environmental Management, 69, pp. 349-358.
- Malczewski, J. 2004. GIS-based land-use suitability analysis: a critical overview, Progress in Planning, 62, pp. 3-65.
- Mayas, M.D., I., Bogardi, and A., Baodossy. 1997. Fuzzy logic and risk-based soil interpretations, Geothermal, 77, pp. 299-315.
- Mohaddes, S.A., et al. 2008. Fuzzy environmental-economic model for land use planning. American-Eurasian journal Agriculture & Environment Science, 3(6), 850-854.
- Nisar Ahamed, T.R., K., Gopal Rao, and J.S.R., Murthy. 2000. GIS-based fuzzy membership model for crop-land suitability analysis. Agricultural Systems, 63, 75-95.
- Ogden, D. 2007. Land Suitability Analysis for Dog Park Site in Keller, Texas, Course Project for GEOG 4550 "Advanced GIS", pp. 1-32.
- Shrestha, R.K., J.R.R., Alavalapati, and R.S., Kalmbacher. 2004. Exploring the potential for silvopasture adoption in South-central Florida: an application of SWOT-AHP method, Agricultural Systems, 81, pp. 185-199.
- Sicat, R.S., E.J.M., Carranza, and U.B., Nidumolu. 2005. Fuzzy modeling of farmers' knowledge for land suitability classification, Agricultural Systems, 83, pp. 49-75.
- Smith, W., and S., Kelly. 2003. Science, Technical expertise and the human environment, School of Geography and Environmental Science, The University of Auckland, New Zealand.
- Thapa, R.B., and Y., Murayama. 2007. Land evaluation for peri-urban agriculture using analytical hierarchical process and geographic information system techniques: A case study of Hanoi, Land Use Policy, 25, pp. 225-239.
- Tseng, M. L. 2009. A causal and effect decision making model of service quality expectation using grey-fuzzy DEMATEL approach. Expert Systems with Applications, 36, pp. 7738-7748.
- Voogd, H. 1983. Multi-criteria evaluation for urban and regional planning, Pion, Ltd. London.
- Wood, L.J., and S., Dragicevic. 2006. GIS-Based Multi criteria Evaluation and Fuzzy Sets to Identify Priority Sites for Marine Protection, Biodiversity and Conservation, 16(9), pp. 2539-2558.
- Wu, W. W. 2008. Choosing knowledge management strategies by using a combined ANP and DEMATEL approach, Expert Systems with Applications, 35, pp. 828-835.
- Yang, F., et al. 2008. Spatial analyzing system for urban land-use management based on GIS and multi-criteria assessment modeling. Progress in Natural Science, 18, 1279-1284.