دانشگاه گنبدکاووس
نشریه "حفاظت زیست‌بوم گیاهان"
دوره هشتم، شماره هفدهم
http://pec.gonbad.ac.ir

علمی-پژوهشی

مکان‌یابی اجرای عملیات بوته‌کاری با استفاده از مدل تحلیل سلسله مراتبی فازی (FAHP)(مطالعه موردی: حوزه آبخیز مراوه‌تپه، استان گلستان)

ابراهیم کیخا[1]، اکبر فخیره[2]*، حامد روحانی[2]، بهاره بهمنش[2]

[1] دانش‌آموخته کارشناسی ارشد مرتع‌داری، دانشکده‌ی کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه گنبدکاووس
[2]استادیار گروه منابع طبیعی، دانشکده‌ی کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه گنبدکاووس، گنبدکاووس

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۹/۹ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۷/۱۵

چکیده

بوته‌کاری یکی از روش‌های احیای مراتع تخریب یافته است که اجرای اصولی آن به ملاحظه همزمان چندین عامل وابسته می‌باشد. لذا در این تحقیق به‌منظور مکان‌یابی اجرای عملیات بوته‌کاری در مراتع حوزه آبخیز مراوه‌تپه، از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی فازی (FAHP) استفاده گردید. در این پژوهش از معیارهای پوشش‌گیاهی، خاک‌شناسی، فیزیوگرافی و اقلیم به همراه چهارده زیرمعیار استفاده شد. با استفاده از مدل FAHP ماتریس‌های مقایسات زوجی فازی معیارها و زیرمعیارها ایجاد شد و با اعداد فازی مثلثی ارجحیت نسبی هر یک بر دیگری با نظر کارشناسان ارائه گردید. سپس وزن‌های معیارها و زیرمعیارها با استفاده از مدل تحلیل توسعه‌ای چانگ به‌دست آمد. آن‌گاه لایه‌های اطلاعاتی زیرمعیارها تهیه شد و وزن‌های FAHP در آن‌ها اعمال گردید. در گام آخر لایه‌های اطلاعاتی وزن‌دهی شده باهم تلفیق شد و نقشه اولویت‌بندی شده جهت اجرای عملیات بوته‌کاری فراهم آمد. نتایج بیان‌گر آن است که معیارهای اقلیم و خاک‌شناسی به‌ترتیب با وزن‌های ۰/۵۲۹ و ۰/۲۵۴ و زیرمعیارهای متوسط بارندگی سالیانه، EC و درصد تاج پوشش به‌ترتیب با وزن‌های ۰/۳۱۳، ۰/۱۴۵ و ۰/۱۲۱ به‌عنوان مهم‌ترین عوامل اکولوژیکی، بیشترین تأثیر را در مکان‌یابی این عملیات دارند. همچنین نتایج نشان داد که مناطق با اولویت عالی برای اجرای پروژه اصلاحی بوته‌کاری ۹/۰۷ درصد از کل منطقه موردمطالعه را شامل می‌شود. درنهایت به‌منظور ارزیابی صحت مکان‌یابی صورت گرفته، اقدام به

*نویسنده مسئول: fakhireh@gonbad.ac.ir

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-07-04]

اعتبارسنجی مدل از طریق بازدید صحرایی و با بررسی خصوصیات اکولوژیکی، گردید. صحت نتایج ۹۲/۷۹ درصد محاسبه گردید. نتایج نشان داد که استفاده از مدل تحلیل سلسله مراتبی و فازی به‌دلیل ساده‌سازی فرایندهای پیچیده و رفع عدم قطعیت، می‌تواند در تصمیم‌گیری‌ها قدرت انتخاب مناسب‌تری را در اختیار مدیران قرار می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: **تحلیل سلسله مراتبی فازی، تحلیل توسعه‌ای چانگ، مقایسات زوجی فازی، اعداد فازی مثلثی**

مقدمه

مراتع یکی از گسترده‌ترین عرصه‌های محیط‌زیست را تشکیل می‌دهد که دخالت بدون برنامه‌ریزی و بهره‌برداری فراتر از ظرفیت، منجر به تخریب آن شده و تسریع روند بیابان‌زایی را در پی داشته است. لذا در این شرایط استفاده از روش‌های اصلاح، احیاء و توسعه مراتع توصیه می‌گردد (جوادی و همکاران، ۱۳۹۰) که بوته‌کاری یکی از متداول‌ترینِ این روش‌ها می‌باشد؛ اما ازآنجایی‌که این‌گونه تحلیل‌های فضایی- مکانی، اغلب چندمتغیره و چندمعیاره هستند، برنامه‌ریزان با طیف وسیعی از داده‌ها و اطلاعات مواجه‌اند؛ که استفاده، تلفیق و تحلیل داده‌ها به دلیل حجم زیاد، ماهیت و اهمیت متفاوت، بسیار پیچیده و مشکل است (سنایی و همکاران، ۱۳۸۹). موضوع دیگر چگونگی انتخاب یک گزینه از میان چندین گزینه موجود است. لذا به‌منظور انتخابی صحیح و دقیق، تعیین وزن‌های نسبی معیارها ضرورت پیدا می‌کند. بنابراین نیاز به استفاده از روشی کارآمد است که اجازه برآورد وزن‌ها را دهد. یکی از این روش‌ها، فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP)[۲] می‌باشد (Trong Duc, 2006). از مزایای مهم روش AHP استفاده از آن در تصمیم‌گیری‌های گروهی است. به‌طوری‌که می‌توان براساس معیارها و گزینه‌های مؤثر در تصمیم‌گیری گزینه مناسب‌تر را انتخاب نمود (معماریانی و آذر، ۱۳۷۴). از AHP برای رتبه‌بندی، انتخاب، ارزیابی و الگوسازی گزینه‌های متفاوت در تصمیم‌گیری‌ها استفاده می‌شود (Gass and Rapcsák, 2004). اگرچه AHP توانایی بالایی در ارزیابی‌های چندمعیاره دارد، اما قادر به اعمال عدم قطعیت‌های موجود در مقایسات زوجی و بررسی تأثیر آن در فرآیند انتخاب نمی‌باشد (Wang and Chen, 2007). در مواقعی که عدم اطمینان در اولویت‌بندی معیارها و تردید در تصمیم‌گیری‌ها وجود دارد می‌توان از تئوری‌های فازی، بهره جست (سپهر و همکاران، ۱۳۹۱). از طرفی وجود معیارهای مختلف موجب می‌شود با مقیاس‌های متنوع مواجه شویم که به‌منظور استانداردسازی مقیاس‌ها می‌توان از منطق فازی[۳] بهره برد. در سال‌های اخیر استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری

[2]Analytic Hierarchy Process (AHP)
[3]Fuzzy logic

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-07-04]

چندمعیاره فازی[4] که تلفیقی از منطق فازی و فرآیندهای تصمیم‌گیری چندمعیاره می‌باشند، به‌سرعت گسترش‌یافته است (Chang, 1996). یکی از جامع‌ترین و پرکاربردترینِ این روش‌ها، مدل تحلیل سلسله مراتبی فازی (FAHP)[5] می‌باشد. مهدوی (۱۳۹۱)، مطیعی‌لنگرودی و همکاران (۱۳۹۱)، فرهادوند (۱۳۹۲)، امان‌پور و همکاران (۱۳۹۳)، نیک‌زاد و همکاران (۱۳۹۳)، صادقی‌روش و خسروی (۱۳۹۳)، قریشی (۱۳۹۴)، محمدی و همکاران (۱۳۹۵)، محمودی و همکاران (۱۳۹۷)،؛ قربان‌نیا و همکاران (۱۳۹۷)، راهداری و همکاران (۱۳۹۸)، آکینسی و همکاران (Akinci et al., 2013)، المامون و همکاران (Al Mamun et al., 2018)، هایدارا و همکاران (Haidaraa et al., 2019) در تحقیقات خود از AHP و منطق فازی بهره برده‌اند و همگی بر کارآمد بودن این دو مدل تأکیددارند. مراتع حوزه آبخیز مراوه‌تپه به‌علت بهره‌برداری غیراصولی و فشار شدید چرای دام به‌شدت تخریب یافته، لذا نیاز است با استفاده از روش‌های مرتع‌کاری نظیر بوته‌کاری به بازیابی توان اراضی مرتعی آن کمک کرد. ازآنجایی‌که در انتخاب مناسب‌ترین مکان‌ها جهت اجرای عملیات بوته‌کاری، عوامل و معیارهای فراوانی دخیل هستند، به‌منظور کاهش خطاهای انسانی به‌جای استفاده از روش‌های سنتی، تصمیم بر آن شد که از روش‌های نوین تصمیم‌گیری به‌منظور مکان‌یابی اجرای عملیات بوته‌کاری استفاده کنیم. لذا در تحقیق حاضر از مدل تلفیقی تحلیل سلسله مراتبی فازی (FAHP) به‌منظور شناسایی مناطق مناسب جهت اجرای عملیات بوته‌کاری در مراتع حوزه آبخیز مراوه‌تپه بهره برده شد و میزان کارایی مدل مذکور مورد ارزیابی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

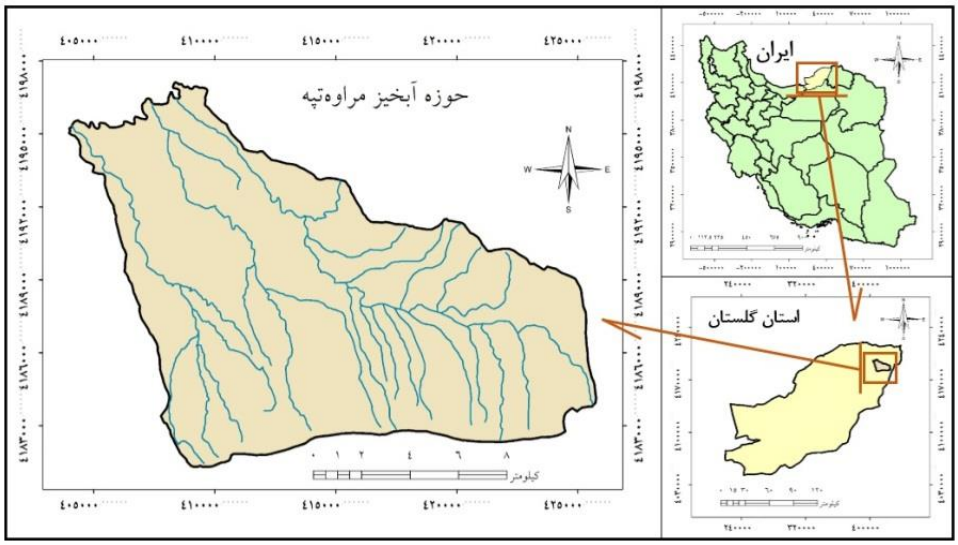
منطقه مورد مطالعه

حوزه آبخیز مراوه‌تپه یکی از زیر حوزه‌های رودخانه مرزی اترک می‌باشد و در قسمت جنوبی شهر مراوه‌تپه قرار دارد. منطقه موردمطالعه با وسعتی بالغ بر ۱۹۴۴۴ هکتار در محدوده جغرافیایی ً ۳۱/۲۷ -۵۴ -۵۵ الیً ۲۶/۶ -۰۹ -۵۶ طول شرقی وً ۱۸/۷ -۴۶ -۳۷ الیً ۱۳/۱ -۵۵ -۳۷ عرض شمالی واقع‌شده است (شکل ۱). اقلیم حاکم بر منطقه نیمه‌خشک بوده و میزان بارندگی سالانه آن به‌طور متوسط ۳۸۳/۸ میلی‌متر در سال می‌باشد. تبخیر و تعرق پتانسیل سالانه حوزه ۲۶۲۵/۱ میلی‌متر، متوسط دمای سالیانه ۱۵ درجه سلسیوس، حداکثر ارتفاع حوضه ۱۳۴۰ متر و حداقل ارتفاع آن در

[4]Fuzzy multi-criteria decision making
[5] Fuzzy Analytic Hierarchy process (FAHP)

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-07-04]

خروجی حوضه ۱۸۰ متر از سطح دریا می‌باشد. رطوبت نسبی حوزه نیز از ۶۸/۳۲ در خردادماه تا ۷۸/۳ در دی‌ماه متغیر است (اسدی نلیوان و همکاران، ۱۳۹۶).



شکل ۱- موقعیت منطقه موردمطالعه

مدل تحلیل سلسله مراتبی فازی (FAHP)

روش FAHP ابتدا در مطالعات ون لارهوون و پدریکز موردتوجه قرار گرفت (Van Laarhoven and Pedrycz, 1983). پس‌ازآن مدل‌های FAHP متعددی در پژوهش‌های محققین ارائه شد. چانگ در سال ۱۹۹۶ روشی نوین را بر پایه ارزش‌های تحلیل توسعه‌ای از مقایسات زوجی فازی معرفی نمود. تحلیل توسعه‌ای یکی از متداول‌ترین روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره فازی است که مبتنی بر استفاده از اعداد فازی مثلثی و مقایسه‌های زوجی می‌باشد (Chang, 1996). در این روش پس از تشکیل سلسله مراتب تصمیم‌گیری، با توجه به میزان اهمیت هر معیار یک عدد فازی مثلثی به آن اختصاص می‌یابد و ماتریس‌های مقایسه زوجی برای هر سطح از سلسله مراتب ایجاد می‌شود (امان‌پور و همکاران، ۱۳۹۳).

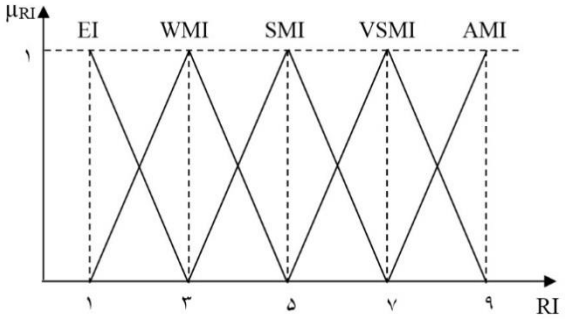
در مدل تحلیل سلسله مراتبی فازی، موضوع اساسی در اولویت‌دهی فازی آن است که بتوان بردار اولویت‌های ستونی ناشناخته $W^T= [W_i], (i=1, ..., n)$ را از مجموعه قضاوت‌های فازی $X= [X_{ij}], (j=1, ..., n)$ که در قالب ماتریس‌های مقایسات زوجی فازی بیان‌شده‌اند، استخراج نمود. برای این منظور هر یک از قضاوت‌ها در ماتریس مقایسه فازی X و به‌صورت اعداد فازی مثلثی $X= (l_{ij}, m_{ij}, u_{ij})$ بیان می‌گردند که در آن m_{ij} محتمل‌ترین ارزش عدد فازی X_{ij} و همچنین l_{ij} و u_{ij} نیز به‌ترتیب کم‌ترین

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-07-04]

و بیشترین میزان آن را به خود اختصاص می‌دهند. جدول (۱) و شکل (۲) مقیاس‌های فازی مورداستفاده در مدل FAHP را نشان می‌دهند (داداش‌پور و خدابخش، ۱۳۹۲).

جدول ۱- مقیاس و اعداد فازی و معکوس آن

مقیاس زبانی برای وزن دهی	اعداد فازی	معکوس فازی
عیناً یکسان (JE)	(۱، ۱، ۱)	(۱، ۱، ۱)
اهمیت برابر (EI)	(۳، ۱، ۱)	(۱/۳، ۱، ۱)
نسبتاً مهم‌تر (WMI)	(۵، ۳، ۱)	(۱/۵، ۱/۳، ۱)
مهم‌تر (SMI)	(۷، ۵، ۳)	(۱/۷، ۱/۵، ۱/۳)
خیلی مهم‌تر (VSMI)	(۹، ۷، ۵)	(۱/۹، ۱/۷، ۱/۵)
کاملاً مهم‌تر (AMI)	(۹، ۹، ۷)	(۱/۹، ۱/۹، ۱/۷)



شکل ۲- مقیاس‌های زبانی در بیان درجه اهمیت

روش چانگ مبتنی بر تحلیل توسعه‌ای، بردار اولویت‌ها را محاسبه می‌نماید. بر این اساس ارزش توسعه برای هر یک از ستون‌های ماتریس مقایسات زوجی از رابطه (۱) محاسبه می‌شود.

$$S_k = \sum_j^m X_{kj} \otimes \frac{1}{\left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m X_{ij}\right]}$$

رابطه۱

محاسبات به‌صورت مؤلفه به مؤلفه صورت می‌پذیرد و پس از محاسبه هر یک از S_K ها، اکنون باید درجه بزرگی یا درجه امکان[۶] آن‌ها نسبت به یکدیگر محاسبه شود. درجه امکان برای دو عدد فازی S_1 و

[6]Degree of Possibility

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-07-04]

S_2 که نسبت به هم رابطه $S_1= (l_1, m_1, u_1) \geq S_2= (l_2, m_2, u_2)$ دارند، از رابطه (۲) محاسبه می‌گردد.

$$V(S_1 \geq S_2) = SUP\left(\min\left(\propto_{s_1}^{x}.\propto_{s_2}^{y}\right)\right) = hgt(S_1 \cap S_2)$$

رابطه ۲

در ضمن میزان بزرگی یک عدد فازی از n عدد فازی دیگر به‌صورت زیر برقرار است.

$V(S_1 \geq S_2, S_3, \ldots, S_n)= V(S \geq S_1) ,\ldots, V(S \geq S_n)$ رابطه۳

اکنون با محاسبه درجه امکان معیارها می‌توان وزن آن‌ها را تعیین نمود. برای این منظور رابطه (۴) موردتوجه قرار می‌گیرد.

$$W'_{x_i} = \min[V(S_1 \geq S_k)]$$

رابطه ۴

سپس می‌توان بردار اولویت معیارها را از رابطه (۵) محاسبه کرد.

$$W' = (W'_{x_1}.\cdots.W'_{x_n})^T$$

رابطه ۵

ازآنجایی‌که بردار اولویت به‌دست‌آمده از رابطه (۸) غیراستاندارد بوده لذا لازم است با استفاده از رابطه (۶) بردار اولویت‌های ماتریس را استاندارد نمود.

$$W_{x_i} = \frac{W'_{x_i}}{\sum_{i=i}^{n} W_{x_i}}$$

رابطه ۶

تعیین میزان سازگاری ماتریس‌های مقایسه زوجی یکی از مهم‌ترین موضوعاتی است که باید در فرآیند تصمیم‌گیری بررسی شود. سازگاری قضاوت‌ها در فرآیند مذکور با محاسبه نسبت سازگاری (CR)[۷] مورد ارزیابی قرار می‌گیرد (رابطه ۷).

$$CR = \frac{CI}{RI}$$

رابطه۷

در رابطه فوق (CI)[۸] شاخص سازگاری و (RI)[۹] شاخص نسبت یک ماتریس تصادفی است که با استفاده از اطلاعات ارائه‌شده در جدول (۲) به دست می‌آید.

جدول ۲- شاخص ناسازگاری ماتریس تصادفی

N	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰
RI	۰	۰	۰/۵۸	۰/۹	۱/۱۲	۱/۲۴	۱/۳۲	۱/۴۱	۱/۴۵	۱/۴۹

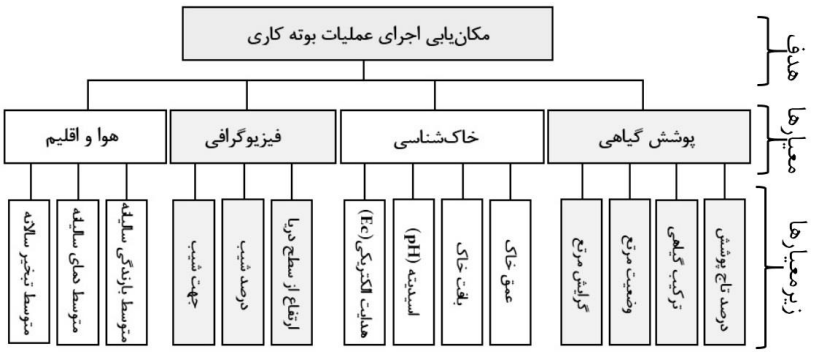
[7]Consistency Ratio (CR)
[8]Consistency Index (CI)
[9]Random Consistency Index (RI)

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-07-04]

چنانچه CR محاسبه‌شده کمتر از ۰/۱ باشد، مقایسات زوجی و قضاوت‌های انجام‌گرفته موردقبول می‌باشد. در غیر این صورت باید در مقایسه‌های انجام‌گرفته تجدیدنظر شود (قاسمی و دانش، ۱۳۹۱).

تعیین معیارها و زیرمعیارها و ایجاد ساختار سلسله مراتبی

در این پژوهش، معیارها و زیرمعیارهای مؤثر در مکان‌یابی اجرای عملیات بوته‌کاری تعیین شد و سپس سلسله مراتب تصمیم‌گیری بر مبنای آن ایجاد گردید. داده‌ها و اطلاعات لازم از عوامل اکولوژیکی مؤثر در مکان‌یابی پروژه بوته‌کاری در سطح مراتع حوزه آبخیز مراوه‌تپه، تهیه گردید و همچنین ماهیت روش بوته‌کاری نیز موردبررسی و مطالعه قرار گرفت (جنگجو، ۱۳۸۸؛ انصاری، ۱۳۸۸). با مرور منابع و بررسی ضوابط موجود (آذرنیوند و همکاران، ۱۳۸۶؛ آذرنیوند و زارع‌چاهوکی، ۱۳۹۲؛ جنگجو، ۱۳۸۸؛ انصاری، ۱۳۸۸) (جدول ۳) و همچنین نظر کارشناسان و متخصصین، معیارها و زیرمعیارهای مؤثر در مکان‌یابی اجرای عملیات بوته‌کاری تعیین و ساختار سلسله مراتبی تدوین شد. چهار معیار اصلی و چهارده زیر معیار در این تحقیق مورداستفاده قرار گرفت. معیار پوشش گیاهی شامل زیر معیارهای درصد تاج پوشش، ترکیب گیاهی، وضعیت مرتع و گرایش مرتع، معیار خاک‌شناسی شامل زیرمعیارهای عمق خاک، EC، pH و بافت خاک، معیار فیزیوگرافی شامل زیرمعیارهای ارتفاع از سطح دریا، درصد شیب و جهت شیب و معیار هوا و اقلیم شامل زیرمعیارهای متوسط بارندگی سالیانه، متوسط دمای سالیانه و متوسط تبخیر سالانه، در نظر گرفته شد (شکل ۳). همچنین هر یک از زیرمعیارها شامل طبقاتی می‌باشند که در جدول (۴) به آن‌ها اشاره گردیده است.



شکل ۳- معیارها و زیرمعیارها

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-07-04]

جدول ۳- شرایط مطلوب جهت بوته‌کاری

عوامل اصلی	منابع / عوامل فرعی	(انصاری، ۱۳۸۸)	(جنگجو، ۱۳۸۸)	(آذرنیوند و زارع‌چاهوکی، ۱۳۹۲)	(آذرنیوند و همکاران، ۱۳۸۶)
پوشش گیاهی	درصد پوشش	به‌طورکلی اهمیت و ضرورت اصلاح و احیای مناطقی که درصد پوشش کمتری دارند، بیشتر می‌باشد.			
	ترکیب گیاهی	-	-	گونه‌های موجود غالباً از گونه‌های نامطلوب باشد	-
	وضعیت مرتع	فقیر تا خیلی فقیر	-	فقیر تا خیلی فقیر	-
	گرایش مرتع	منفی	-	-	-
خاک	عمق خاک	عمیق تا نیمه عمیق	عمیق	عمیق تا نیمه عمیق	-
	بافت خاک	متوسط تا نیمه‌سنگین	متوسط	متوسط	-
	قابلیت هدایت الکتریکی EC(ds/m)	EC ۲۰≤	در خاک‌های کمی شور هم انجام می‌شود	خاک‌های شور نیز قابل‌استفاده است	-
	اسیدیته	۸-۷	-	خاک‌های قلیایی نیز قابل‌استفاده است	-
فیزیوگرافی	شیب	-	-	-	-
	جهت شیب	شیب‌های شمالی در اولویت هستند، بعد دامنه‌های غربی و شرقی و سپس دامنه‌های جنوبی به خاطر رطوبت بسیار کم و تبخیر و تعرق زیاد در اولویت بعدی قرار دارند.			
	ارتفاع از سطح دریا	-		کمتر از ۲۰۰۰ و ۲۵۰۰ متر	-
هوا و اقلیم	متوسط بارندگی سالیانه	حداقل ۲۰۰ میلی‌متر	۱۵۰-۴۵۰ میلی‌متر	۲۰۰ میلی‌متر	P > ۲۰۰
	متوسط دمای سالانه	میانگین دمای سالیانه برای گونه‌های مهم مرتعی بومی و غیربومی جهت اصلاح مراتع مناطق ایران‌وتورانی نیمه‌خشک سرد تا مرطوب، خزری و مناطق کوهستانی ایران در حدود ۱۵/۵ –۴ درجه سانتی‌گراد می‌باشد.			
	تبخیر	به‌طورکلی هر چه میزان تبخیر کمتر باشد احتمال موفقیت روش اصلاحی احیایی بیشتر خواهد شد.			

اطلاعات پایه و تهیه لایه‌های اطلاعاتی

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-07-04]

اطلاعات پایه مربوط به معیار پوشش‌گیاهی (زیرمعیارهای: درصد تاج پوشش، ترکیب گیاهی، وضعیت مرتع و گرایش مرتع) با مطالعات میدانی و اندازه‌گیری و ارزیابی تیپ‌های گیاهی منطقه موردمطالعه به‌دست‌آمده و سپس در محیط نرم‌افزار ArcGIS لایه‌های اطلاعاتی مربوطه تهیه شد. اطلاعات پایه مربوط به معیار خاک‌شناسی (زیرمعیارهای: عمق خاک، EC، pH و بافت خاک) با استفاده از داده‌های موجود در طرح تفصیلی حوزه آبخیز مراوه‌تپه حاصل شد و در محیط نرم‌افزار ArcGIS لایه‌های اطلاعاتی مربوطه تهیه شد.

جهت تهیه لایه‌های اطلاعاتی مربوط به معیار فیزیوگرافی (زیرمعیارهای: ارتفاع از سطح دریا، درصد شیب و جهت شیب) از نقشه توپوگرافی منطقه استفاده شد. همچنین به‌منظور تهیه لایه‌های اطلاعاتی مربوط به معیار اقلیم (زیرمعیارهای: متوسط بارندگی سالیانه، متوسط دمای سالیانه و متوسط تبخیر سالانه) از آمار ۳۰ ساله اقلیمی هواشناسی متعلق به سازمان هواشناسی و وزارت نیرو شامل ایستگاه‌های سینوتپیک مراوه‌تپه در خروجی حوزه و ایستگاه‌های قازانقایه، چات، هوتن، قرناق، آق تقی و قپان بهره‌برده شد. سپس در محیط نرم‌افزار ArcGIS لایه‌های اطلاعاتی زیرمعیارهای مربوط به معیارهای فیزیوگرافی و اقلیم تهیه گردید.

تشکیل ماتریس مقایسات زوجی و فازی سازی

به‌منظور تعیین ضریب اهمیت معیارها و زیرمعیارها نسبت به هم ماتریس مقایسات زوجی فازی تشکیل شد. در روشAHP معیارها به‌صورت زوجی مقایسه شده و ماتریس‌های مقایسات زوجی تشکیل می‌شوند (بنی‌حبیب و لقب‌دوست‌آرانی، ۱۳۹۲). ماتریس‌های مقایسات زوجی فازی معیارها و زیرمعیارها در قالب پرسشنامه‌هایی جهت ارزیابی و انجام مقایسات به ۱۰ نفر از کارشناسان امر داده شد. پس از جمع‌آوری پرسشنامه‌ها، تصحیح و تعدیل قضاوت‌ها و سلایق شخصی کارشناسان در وزن‌دهی مقایسات، میانگین هندسی این پرسشنامه‌ها جهت محاسبه وزن معیارها و زیرمعیارها و میزان ناسازگاری مقایسه‌های زوجی وارد نرم‌افزار صفحه گسترده اکسل و Expert Choice11 شد.

مدل‌سازی مکان‌یابی عملیات اصلاحی بوته کاری

بعد از وزن‌دهی به لایه‌ها، ابتدا زیرمعیارهای مربوط به هر معیار هم‌پوشانی شدند که برای این کار از مدل هم‌پوشانی شاخص یا مجموع ساده وزن‌دار (SAW)[10] استفاده گردید. سپس لایه‌های وزنی مربوط به معیارها حاصل گردید و آن‌ها نیز با همین روش با هم تلفیق شدند. این روش متداول‌ترین

[10]- Simple Additive Weighting

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-07-04]

مدل در کار بر روی مسائل تصمیم‌گیری چند معیاره مکانی می‌باشد (پرهیزگار و غفاری‌گیلانده، ۱۳۹۰). در این روش پس از بی مقیاس کردن ماتریس تصمیم، با استفاده از ضرایب وزنی معیارها، ماتریس تصمیم بی مقیاس شده وزن دار به‌دست‌آمده و با توجه به این ماتریس، امتیاز هر گزینه محاسبه می‌شود (عطائی، ۱۳۸۹). در این روش نقشه‌های معیار و زیرمعیارها با استفاده از رابطه زیر با هم ترکیب می‌شوند؛ که در آن A_i امتیاز گزینه i ام و xij نمره گزینه i ام در مورد صفت j ام می‌باشد؛ و wj وزن صفت j ام می‌باشد.

$$A_i = \sum w_j x_{ij} \quad . \quad \sum w_j = 1$$

رابطه ۸

نقشه نهایی مکان‌یابی از مدل FAHP حاصل شد و با توجه به وزن نهایی به‌دست‌آمده عملیات طبقه‌مجدد[11] نقشه‌ی نهایی به روش Natural- break در ۵ کلاس: نامناسب، ضعیف، متوسط، خوب و عالی، انجام گرفت.

صحت‌سنجی مکان‌یابی

پس از مکان‌یابی لازم بود که از میزان انطباق مکان‌های پهنه‌بندی شده در نرم‌افزار ArcGIS9 با واقعیت زمینی اطمینان حاصل شود. بنابراین از طریق انتخاب کاملاً تصادفی حداقل بیست نقطه در منطقه موردمطالعه، انتخاب شد. سپس با انجام بازدیدهای میدانی و کنترل عوامل اکولوژیکی مؤثر در مناسب بودن هر محل برای عملیات بوته‌کاری، اعتبار نقشه‌های پهنه‌بندی شده تعیین گردید (جعفری و همکاران، ۱۳۹۳). شکل (۴) مراحل کلی انجام پروژه را به‌صورت شماتیک نشان می‌دهد.

شکل ۴- مراحل کلی روش پژوهش

نتایج

[11]- Reclassify

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-07-04]

نتایج مربوط به ارزش نسبی معیارها و زیر معیارها

ماتریس زوجی مقایسات فازی ادغام‌شده معیارها در جدول (۳) آمده است. به‌منظور محاسبه وزن نسبی معیارها و نیز تعیین سهم هر یک از معیارها در مکان‌یابی پروژه اصلاحی بوته‌کاری با توجه به روابط (۱) تا (۹) وزن نسبی فازی هر معیار محاسبه شد. بر اساس جدول (۳) معیار اقلیم با وزن فازی ۰/۵۲۹ مهم‌ترین عامل انتخاب شد و در رتبه دوم معیار خاک‌شناسی با وزن ۰/۲۵۴ قرار گرفت.

به‌طور مشابه، وزن نسبی هر یک از زیرمعیارها پس از انجام مقایسات زوجی، با استفاده از روابط مذکور محاسبه گردید که در جدول (۴) تا (۷) ماتریس زوجی مقایسات فازی با استفاده از تابع مثلثی در هر یک از زیرمعیارها نشان داده‌شده است. پس از محاسبه میانگین هندسی هر یک از شاخص‌های زیرمعیارهای موردتحقیق از ماتریس زوجی مقایسات فازی، وزن فازی زیرمعیارها محاسبه شد (جدول ۴ تا ۷).

آنچه در این تحقیق برای ما اهمیت دارد وزن کلیه زیرمعیارهای اکولوژیکی مؤثر در مکان‌یابی پروژه اصلاحی بوته‌کاری مراتع نسبت به هدف مطالعه می‌باشد (جدول ۸). در این جدول اولویت تمامی عوامل فرعی اکولوژیکی در کنار یکدیگر دیده می‌شود که مجموع کلیه وزن‌ها ۱ می‌باشد. نتایج حاصل از جدول (۸) نشان می‌دهد که مهم‌ترین زیرمعیارهای اکولوژیکی مؤثر در مکان‌یابی بوته‌کاری مراتع در حوزه موردمطالعه به‌ترتیب متوسط بارندگی سالیانه، EC و درصد تاج پوشش با وزن ۰/۳۱۳، ۰/۱۴۵ و ۰/۱۲۱ می‌باشند.

لازم به ذکر است که شاخص‌ها به روش مستقیم وزن داده شد. به‌طوری‌که پوشش تاجی به ۴ طبقه تقسیم‌شده بود که وزن طبقات اول تا چهارم به‌ترتیب برابر ۰/۶۵، ۰/۲۱، ۰/۰۸ و ۰/۰۶ و به همین ترتیب دیگر شاخص‌ها برای سایر زیرمعیارها نیز وزن‌دهی شد.

جهت بررسی سازگاری ماتریس‌های مقایسات زوجی بعد از غیر فازی کردن مقایسات و با استفاده از رابطه (۱۰) نرخ ناسازگاری محاسبه شد که نتایج بیانگر این است که نرخ ناسازگاری ماتریس‌های غیرفازی مقایسات زوجی معیارها و زیرمعیارها، بین ۰/۰۳ تا ۰/۰۹ (کمتر از ۰/۱) است؛ لذا قضاوت‌های انجام‌شده سازگار بوده و استفاده از آن‌ها در فرآیند مکان‌یابی پروژه بوته‌کاری بلامانع است.

جدول ۳- ماتریس مقایسات فازی ادغام‌شده

وزن فازی	اقلیم			فیزیوگرافی			خاک‌شناسی			پوشش گیاهی		
۰/۲۲۰	۰/۵۵	۰/۳۵	۰/۲۵	۷/۷۸	۶/۷۴	۵/۶۶	۰/۸۷	۰/۵۳	۰/۳۹	۱	۱	۱	پوشش گیاهی
۰/۲۵۴	۰/۵۲	۰/۳۸	۰/۳۱	۴/۴۰	۳/۵۹	۲/۷۳	۱	۱	۱	۲/۵۵	۱/۸۹	۱/۱۵	خاک‌شناسی
۰/۰۵۶	۰/۱۷	۰/۱۴	۰/۱۳	۱	۱	۱	۰/۳۷	۰/۲۸	۰/۲۳	۰/۱۸	۰/۱۵	۰/۱۳	فیزیوگرافی

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-07-04]

۰/۵۲۹	۱	۱	۱	۷/۹۱	۶/۹۰	۵/۸۸	۳/۲۶	۲/۶۲	۱/۹۱	۳/۹۲	۲/۹۰	۱/۸۳	اقلیم

جدول ۴- ماتریس مقایسات فازی ادغام‌شده زیرمعیارهای مربوط به معیار پوشش گیاهی

وزن فازی	گرایش مرتع			وضعیت مرتع			ترکیب گیاهی			درصد پوشش			
۰/۶۲۴	۴/۸۷	۳/۸۳	۲/۷۵	۶/۹۳	۵/۹۲	۴/۹۱	۵/۷۴	۴/۶۷	۳/۵۴	۱	۱	۱	درصد پوشش
۰/۲۰۲	۳/۲۹	۲/۶۷	۱/۹۹	۲/۷۷	۱/۹۴	۱/۰۷	۱	۱	۱	۰/۲۸	۰/۲۱	۰/۱۷	ترکیب گیاهی
۰/۱۲۹	۲/۳۵	۱/۸۳	۱/۲۳	۱	۱	۱	۰/۹۳	۰/۵۱	۰/۳۶	۰/۲۰	۰/۱۷	۰/۱۴	وضعیت مرتع
۰/۰۹۹	۱	۱	۱	۰/۸۱	۰/۵۵	۰/۴۳	۰/۵۰	۰/۳۷	۰/۳۰	۰/۳۶	۰/۲۶	۰/۲۱	گرایش مرتع

جدول ۵- ماتریس مقایسات فازی ادغام‌شده زیرمعیارهای مربوط به معیار خاک‌شناسی

وزن فازی	EC			pH			عمق			بافت			
۰/۰۵۸	۰/۲۱	۰/۱۷	۰/۱۴	۰/۴۲	۰/۲۸	۰/۲۱	۰/۲۱	۰/۱۷	۰/۱۴	۱	۱	۱	بافت
۰/۳۵۶	۰/۸۱	۰/۵۵	۰/۴۳	۴/۴۰	۳/۶۱	۲/۷۷	۱	۱	۱	۶/۹۰	۵/۸۸	۴/۸۶	عمق
۰/۱۳۱	۰/۲۷	۰/۲۲	۰/۱۹	۱	۱	۱	۰/۳۶	۰/۲۸	۰/۲۳	۴/۶۸	۳/۵۸	۲/۳۹	pH
۰/۴۹۶	۱	۱	۱	۵/۲۷	۴/۵۰	۳/۷۰	۲/۳۵	۱/۸۳	۱/۲۳	۶/۹۰	۵/۸۸	۴/۸۵	EC

جدول ۶- ماتریس مقایسات فازی ادغام‌شده زیرمعیارهای مربوط به معیار فیزیوگرافی

وزن فازی	ارتفاع			جهت شیب			درصد شیب			
۰/۵۹۶	۳/۸۷	۲/۸۳	۱/۷۴	۳/۲۵	۲/۶۱	۱/۸۹	۱	۱	۱	درصد شیب
۰/۲۷۳	۲/۱۵	۱/۷۶	۱/۲۸	۱	۱	۱	۰/۵۳	۰/۳۸	۰/۳۱	جهت شیب
۰/۱۹۱	۱	۱	۱	۰/۷۸	۰/۵۷	۰/۴۶	۰/۵۷	۰/۳۵	۰/۲۶	ارتفاع

جدول ۷- ماتریس مقایسات فازی ادغام‌شده زیرمعیارهای مربوط به معیار اقلیم

وزن فازی	تبخیر			دما			بارش			
۰/۶۸۹	۵/۸۷	۴/۸۴	۳/۷۹	۴/۳۹	۳/۵۸	۲/۷۴	۱	۱	۱	بارش
۰/۲۰۵	۲/۰۲	۱/۵۲	۱/۱۲	۱	۱	۱	۰/۳۶	۰/۲۸	۰/۲۳	دما
۰/۱۴۰	۱	۱	۱	۰/۹۰	۰/۶۶	۰/۵۰	۰/۲۶	۰/۲۱	۰/۱۷	تبخیر

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-07-04]

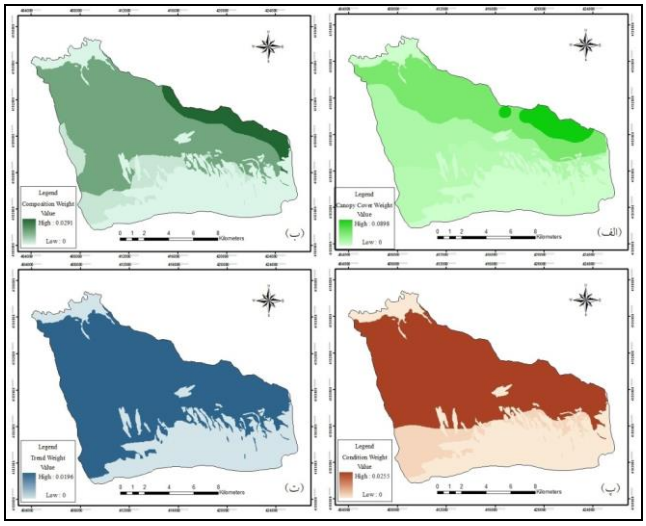
جدول ۸- نتایج وزن‌های حاصل از مدل AHP برای زیرمعیارهای اکولوژیکی نسبت به هدف

ردیف	زیرمعیار	وزن	ردیف	زیرمعیار	وزن
۱	متوسط بارندگی سالیانه	۰/۳۱۳	۸	pH	۰/۰۳۶
۲	EC	۰/۱۴۵	۹	درصد شیب	۰/۰۳۰
۳	درصد تاج پوشش	۰/۱۲۱	۱۰	وضعیت مرتع	۰/۰۲۳
۴	عمق خاک	۰/۰۹۶	۱۱	گرایش مرتع	۰/۰۱۷
۵	متوسط دمای سالیانه	۰/۰۹۲	۱۲	بافت خاک	۰/۰۱۵
۶	متوسط تبخیر سالیانه	۰/۰۵۴	۱۳	جهت شیب	۰/۰۱۳
۷	ترکیب گیاهی	۰/۰۳۷	۱۴	ارتفاع	۰/۰۰۸
نرخ ناسازگاری			۰/۰۷		

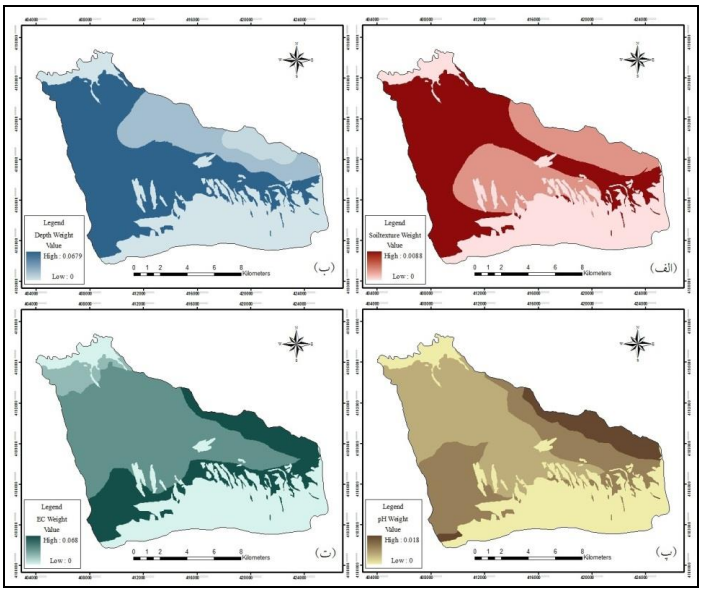
تهیه نقشه‌های زیرمعیارها و معیارهای موردمطالعه

بعد از محاسبه وزن زیرمعیارهای مختلف در محیط ArcGIS9 با اعمال وزن‌های محاسبه‌شده، نقشه‌های مربوط به زیرمعیارها به‌دست‌آمده که به ترتیب در شکل‌های (۵) تا (۸) نمایش داده‌شده است. پس از تلفیق زیرمعیارهای مربوط به هر معیار، نقشه اهمیت نسبی مکانی معیارها نیز حاصل آمد (شکل‌های ۹ تا ۱۲).

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-07-04]

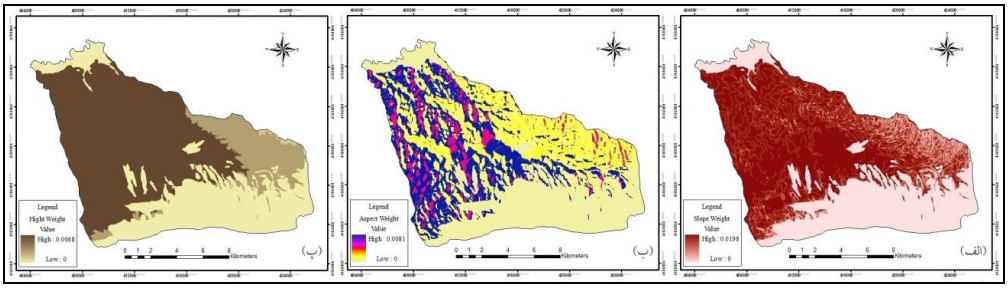


شکل ۵- نقشه‌های اهمیت نسبی مکانی در زیرمعیارهای مربوط به معیار پوشش گیاهی (الف: زیرمعیار پوشش تاجی؛ ب: زیرمعیار ترکیب گیاهی؛ پ: زیرمعیار وضعیت مرتع؛ ت: زیرمعیار گرایش مرتع)

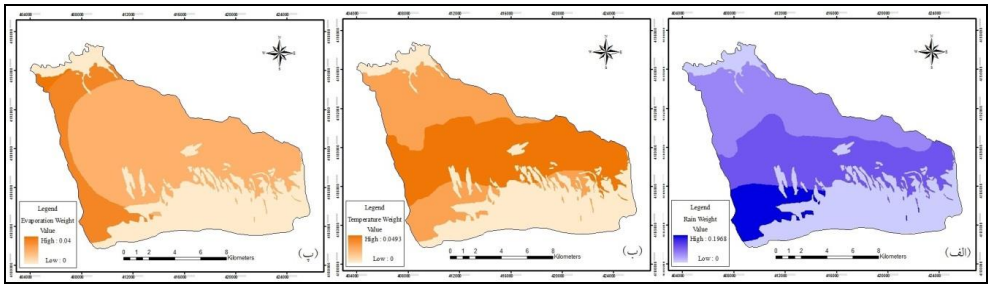


شکل ۶- نقشه‌های اهمیت نسبی مکانی در زیرمعیارهای مربوط به معیار خاک‌شناسی (الف: زیرمعیار بافت خاک؛ ب: زیرمعیار عمق خاک؛ پ: زیرمعیار pH؛ ت: زیرمعیار EC)

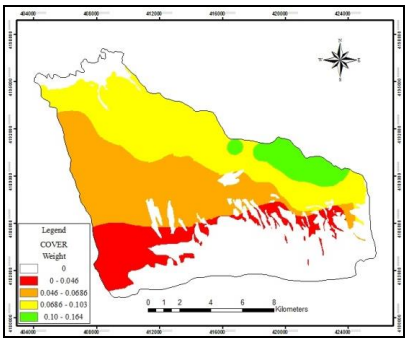
[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-07-04]



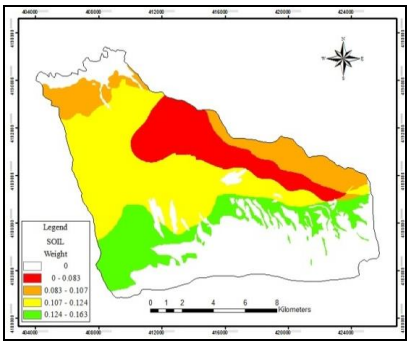
شکل ۷- نقشه‌های اهمیت نسبی مکانی در زیرمعیارهای مربوط به معیار فیزیوگرافی (الف: زیرمعیار درصد شیب؛ ب: زیرمعیار جهت شیب؛ پ: زیرمعیار ارتفاع از سطح دریا)



شکل ۸- نقشه‌های اهمیت نسبی مکانی در زیرمعیارهای مربوط به معیار اقلیم (الف: زیرمعیار متوسط بارندگی سالانه؛ ب: زیرمعیار متوسط دمای سالانه؛ پ: زیرمعیار متوسط تبخیر سالانه)

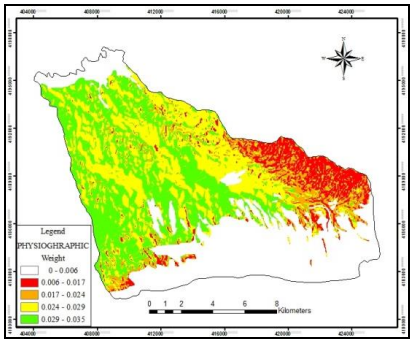


شکل ۹- نقشه اهمیت نسبی مکانی در معیار پوشش گیاهی

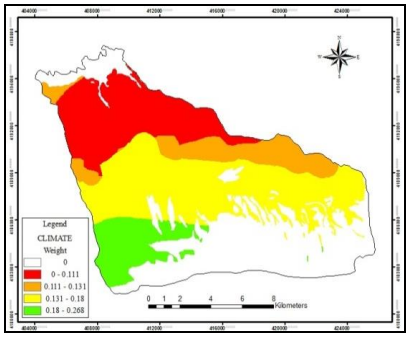


شکل ۱۰- نقشه اهمیت نسبی مکانی در معیار خاک‌شناسی

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-07-04]



شکل ۱۱- نقشه اهمیت نسبی مکانی در معیار فیزیوگرافی

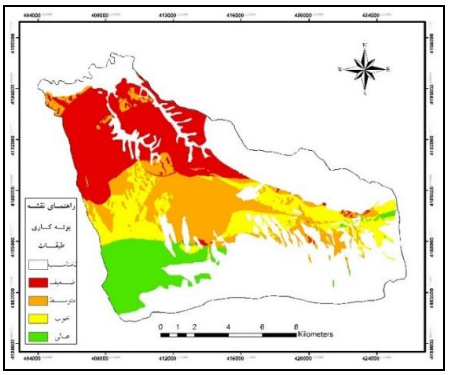


شکل ۱۲- نقشه اهمیت نسبی مکانی در معیار اقلیم

شکل (۱۳) نقشه نهایی مکان‌یابی پروژه بوته‌کاری را نشان می‌دهد. این نقشه حاصل هم‌پوشانی نقشه‌های اهمیت نسبی مکانی معیارهای پوشش‌گیاهی، خاک‌شناسی، فیزیوگرافی و اقلیم است. نتایج مکان‌یابی بوته‌کاری به روش طبقه‌بندی Natural- break در جدول (۱۰) ارائه‌شده است. بررسی نتایج نشان داد که ۱۷۵۵ هکتار (۹/۰۷ درصد) از منطقه موردمطالعه به‌منظور اجرای پروژه بوته‌کاری در طبقه عالی قرار دارد این نواحی از شرایط بسیار مناسبی برای اجرای موفقیت‌آمیز پروژه بوته‌کاری برخوردار هستند.

جدول ۱۰- مساحت طبقات بوته‌کاری

طبقات بوته‌کاری	مساحت (هکتار)	درصد مساحت
نامناسب	۸۸۳۱	۴۵/۶۲
ضعیف	۱۳۱۴	۶/۷۹
متوسط	۳۰۲۶	۱۵/۶۳
خوب	۴۴۳۳	۲۲/۸۹
عالی	۱۷۵۵	۹/۰۷



شکل ۱۳- نقشه نهایی مکان‌یابی پروژه بوته‌کاری در منطقه مراوه‌تپه

صحت‌سنجی نتایج مکان‌یابی

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-07-04]

پس از پهنه‌بندی مکان‌های مناسب برای اجرای عملیات بوته کاری، اقدام به اعتبارسنجی مدل از طریق بازدیدهای میدانی از مناطقی که توسط مدل به‌عنوان مناطق با اولویت عالی تعیین‌شده بودند، گردید. نتایج ارزیابی بیانگر آن بود که صحت نتایج مدل مورداستفاده برای پروژه بوته‌کاری ۹۲/۷۹ درصد می‌باشد.

بحث و نتیجه‌گیری

در مطالعه حاضر یک مدل تصمیم‌گیری مبتنی بر رویکرد فازی جهت مکان‌یابی اجرای عملیات بوته‌کاری ارائه‌شده است. برای این منظور، در ابتدا با استفاده ازنظر تیم کارشناسی این تحقیق و جمع‌بندی نتایج پرسشنامه‌ای، میزان ارجحیت معیارها و زیرمعیارهای مهم در فرآیند مکان‌یابی تعیین گردید. در ادامه با استفاده از تحلیل توسعه‌ای چانگ معیارها و زیرمعیارها مورد ارزیابی قرار گرفت و فرآیند تصمیم‌گیری مکانی با تلفیق لایه‌های وزن‌دهی شده تحقق پذیرفت.

تعیین نرخ ناسازگاری قضاوت‌های پرسشنامه‌ای یکی از مهم‌ترین موضوعاتی است که باید همواره در فرآیند تصمیم‌گیری لحاظ شود. با توجه به نتایج میزان نرخ ناسازگاری بین ۰/۰۳ تا ۰/۰۹ محاسبه شده‌است که کمتر از ۰/۱ به‌دست‌آمده و این ارقام تأییدکننده صحت وزن‌دهی‌های انجام‌شده می‌باشد که با نتایج قریشی (۱۳۹۴)، راهداری و همکاران (۱۳۹۸)، المامون و همکاران (Al Mamun et al., 2018) و هایدارا و همکاران (Haidaraa et al., 2019) مطابقت دارد.

بر اساس نتایج وزن‌دهی‌های صورت گرفته معیارهای اقلیم و خاک‌شناسی به‌ترتیب با وزن‌های ۰/۵۲۹ و ۰/۲۵۴ و زیرمعیارهای متوسط بارندگی سالیانه، EC و درصد تاج پوشش به‌ترتیب با وزن‌های ۰/۳۱۳، ۰/۱۴۵ و ۰/۱۲۱ به‌عنوان مهم‌ترین عوامل اکولوژیکی بیشترین تأثیر را در مکان‌یابی بوته‌کاری دارند. بوته‌کاری معمولاً در اقلیم خشک با بارندگی کمتر از ۲۰۰ میلی‌متر و در اقلیم نیمه‌خشک گرم در دامنه بارندگی ۲۰۰ تا ۳۵۰ میلی‌متر توصیه می‌شود (دستورالعمل مرتع‌کاری، ۱۳۸۷) بر همین اساس در این مطالعه عوامل اقلیمی جهت مکان‌یابی بوته‌کاری موردتوجه قرارگرفته است. در اغلب عملیات‌های مرتع‌کاری EC یک عامل محدودکننده است، اما در پروژه بوته‌کاری در مناطقی که خاک، EC آن به ۲۰ دسی زیمنس بر متر می‌رسد نیز می‌تواند اجرای آن موفقیت‌آمیز باشد (انصاری، ۱۳۸۸؛ جنگجو، ۱۳۸۸) که در مطالعه حاضر نیز این عامل به‌عنوان یکی از عوامل راهبردی تلقی شده است. بوته‌کاری در مراتعی که علوفه‌ای متناسب با توان تولید مرتع برای تعلیف دام نداشته باشند در دستور کار قرار می‌گیرد که در این مطالعه درصد تاج پوشش به‌عنوان یک عاملی که بیانگر توان تولید مرتع است موردتوجه قرارگرفته است. نتایج بررسی مهم‌ترین عوامل مربوط به پروژه بوته‌کاری در این مطالعه با نتایج آذرنیوند و همکاران (۱۳۸۶) و احمدآبادی (۱۳۹۰) مطابقت دارد.

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-07-04]

از منطق فازی به‌منظور رفع عدم قطعیت‌ها در مقایسات زوجی و استانداردسازی مقیاس معیارها در این مطالعه استفاده شد. نتایج نشان داد به‌دلیل ذهنی بودن قضاوت‌ها در فرایند مقایسات زوجی کاربرد منطق فازی به‌طور مؤثری باعث کاهش عدم قطعیت‌ها می‌شود. همچنین در مراحل تهیه و تلفیق نقشه‌ها استفاده از روش فازی و توابع عضویت آن‌ها برای استانداردسازی و بی‌مقیاس کردن لایه‌های اطلاعاتی معیارها باعث افزایش دقت و صحت نقشه نهایی مکان‌یابی شد. راهداری و همکاران (۱۳۹۸)، مصدقی و همکاران (Mosadeghi et al., 2015)، المامون و همکاران (Al Mamun et al., 2018)، هایدارا و همکاران (Haidaraa et al., 2019) و کاظمی و همکاران (Kazemi et al., 2020) همگی به توانایی بالای روش‌های فازی جهت رفع عدم قطعیت در قضاوت‌ها و استاندارسازی لایه‌های اطلاعاتی تأکیددارند که کاملاً مطابق با نتایج این پژوهش است.

پس از وزن‌دهی لایه‌های اطلاعاتی به روش FAHP و هم‌پوشانی آن‌ها با استفاده از مدل هم‌پوشانی WLC درنهایت نقشه پهنه‌بندی شده تهیه گردید. قریشی (۱۳۹۴)، شناور و همکاران (۱۳۹۵) و راهداری و همکاران (۱۳۹۸) بر کارآمد بودن مدل هم‌پوشانی WLC تأکیددارند که مطابق با نتایج مطالعه حاضر می‌باشد. نتایج نقشه پهنه‌بندی شده بیانگر آن بود که ۱۷۵۵ هکتار (۹/۰۷ درصد) از منطقه موردمطالعه در کلاس عالی جهت اجرای عملیات بوته‌کاری قرار دارد.

اعتبارسنجی مدل مکان‌یابی از طریق بازدید صحرایی از مناطق با اولویت عالی انجام شد. صحت نتایج ۹۲/۷۹ درصد محاسبه گردید؛ که نتایج صحت‌سنجی در این مطالعه در راستای نتایج جعفری و همکاران (۱۳۹۳) و قریشی (۱۳۹۴) می‌باشد.

به‌طورکلی نتایج این مطالعه نشان داد که استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره، سیستم اطلاعات جغرافیایی و منطق فازی ابزار کارآمدی را برای مکان‌یابی فراهم می‌کند که با نتایج محمدی و همکاران (۱۳۹۵)، محمودی و همکاران (۱۳۹۷)، قربان‌نیا و همکاران (۱۳۹۷)، راهداری و همکاران (۱۳۹۸)، المامون و همکاران (Al Mamun et al., 2018)، هایدارا و همکاران (Haidaraa et al., 2019) و کاظمی و همکاران (Kazemi et al., 2020) تطابق دارد.

یافته‌های این تحقیق توانایی سامانه اطلاعات جغرافیائی را در مدل‌سازی و کمک به کاهش هزینه‌ها و افزایش موفقیت اجرای طرح‌های اصلاح و توسعه مراتع را نشان می‌دهد. همچنین استفاده از مدل FAHP به مدیران و برنامه‌ریزان کمک می‌کند تا بتوانند بر اساس داده‌های مکانی، تصمیم‌گیری بهتری داشته‌باشند.

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-07-04]

منابع

احمدآبادی، س. ۱۳۹۰. مدل‌سازی عملیات نهال‌کاری در عرصه‌های با توان کاربری مرتع با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی و سنجش از دور در حوزه آبخیز کفتاره اردبیل. پایان‌نامه کارشناسی ارشد مرتعداری، دانشکده کشاورزی دانشگاه محقق اردبیلی. ۱۲۳ ص.

اسدی نلیوان، ا.، حیدری، ک.، سرپرست، م. ۱۳۹۶. شناسایی حوزه‌های دارای بیش‌ترین پتانسیل تخریب با رویکرد تجزیه و تحلیل سلسله مراتبی فازی (مطالعه موردی: حوزه آبخیز مراوه‌تپه). مجله علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، ۳۶:۱۱، ۱۰-۱.

امان‌پور، س.، رزمگیر، ف.، دامن‌باغ، ص.، حسینی سیاه گلی، م. ۱۳۹۳. تحلیل تطبیقی توزیع خدمات شهری در شهر اهواز با استفاده از تحلیل FAHP سلسله مراتبی. فصل نامه جغرافیا و برنامه ریزی شهری چشم انداز زاگرس. ۲۰:۶، ص ۱۵۹-۱۳۷.

انصاری، و. ۱۳۸۸. اصول فنی – اجرائی پروژه‌های اصلاح و احیاء مراتع. انتشارات پونه، ۱۷۶ ص.

آذرنیوند، ح.، زارع‌چاهوکی، م. ع. ۱۳۹۲. اصلاح مراتع. انتشارات دانشگاه تهران، ۳۵۴ ص.

آذرنیوند، ح.، نامجویان، ر.، ارزانی، ح.، جعفری، م.، زارع چاهوکی، م.ع. ۱۳۸۶. مکان‌یابی برنامه‌های اصلاح و احیاء مراتع با استفاده از GIS و مقایسه آن با پروژه‌های پیشنهادی در طرح‌های مرتع‌داری مراتع منطقه لار. مجله مرتع، ۲:۱، ص ۱۶۹-۱۵۹.

بنی‌حبیب، م.ا.، لقب‌دوست‌آرانی، ا. ۱۳۹۲. رتبه‌بندی رویکردهای مدیریت سیلاب با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی و ارزیابی داده‌های ترکیبی. فصلنامه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب، ۲، ص ۸۲-۷۲.

پرهیزگار، ا.، غفاری‌گیلانده، ع. ۱۳۹۰. سامانه اطلاعات جغرافیایی و تحلیل تصمیم چندمعیاری (ترجمه). انتشارات سازمان مطالعه و تدوین کتب علوم انسانی دانشگاه‌ها (سمت)، تهران، چاپ دوم، ۵۹۷ ص.

جعفری، م.، آذرنیوند، ح.، سوری، م. و مهدوی، س. خ. ۱۳۹۳. مکان‌یابی اجرای پروژه‌های پیتینگ و فاروئینگ به کمک سیستم تصمیم یارمکانی (مطالعه موردی: استان کرمانشاه). مجله تحقیقات مرتع و بیابان ایران، ۱:۲۱، ص ۱۰۸-۹۵.

جنگجو، م. ۱۳۸۸. اصلاح و توسعه مرتع. انتشارات جهاد دانشگاه مشهد، ۲۳۹ ص.

جوادی، س.ا.، موسویان، س.ج.، جعفری، م.، ارزانی، ح.، موسویان، س.م. ۱۳۹۰. بررسی تأثیر روش های اصلاح مرتع بر ویژگی های خاک در مراتع با خاک شور و سنگین (مطالعه موردی هور هندیجان)، مجله تحقیقات منابع طبیعی تجدید شونده، ۳، ص ۸-۱.

داداش‌پور، ه.، خدابخش، ح. ر. ۱۳۹۲. مکان‌یابی سایت‌های اسکان موقت با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی فازی (FAHP)؛ مطالعه موردی منطقه ۱۶ تهران. مجله جغرافیا و برنامه‌ریزی، ۴۶:۱۷، ص ۹۰-۶۷.

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-07-04]

راهداری، و.، سفیانیان، ع.، پورمنافی، س.، ملکی، س. ۱۳۹۸. ارزیابی قابلیت جنگل‌داری اراضی با استفاده از روش ارزیابی چند معیاره و فرایند تحلیل سلسله مراتبی فازی. مجله تحقیقات حمایت و حفاظت جنگلها و مراتع ایران، ۱:۱۷، ص ۳۹-۲۶.

سپهر، ع.، اختصاصی، م. ر.، المدرسی، س. ع. ۱۳۹۱. ایجاد سامانه شاخص‌های بیابان‌زایی بر اساس DPSIR (بهره گیری از روش فازی- تاپسیس). مجله جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، ۴۵:۲۳، ص ۵۳-۳۳.

سنایی، م.، فلاح شمسی، س. ر.، فردوسی‌آسمانجردی، ح. ۱۳۸۹. ارزیابی چند معیاره (MCE) زمین با دو راهبرد WLC و OWA در مکان‌یابی مناطق مناسب علوفه‌کاری (مطالعه موردی: زاخرد، فارس). مجله مرتع، ۲:۴، ص ۲۲۷-۲۱۶.

شناور، ب.، حسینی، س.م.، اورک، ن. ۱۳۹۵. ارزیابی توان سرزمین به منظور استقرار کاربری شهری با استفاده از روش ترکیب خطی وزن‌دار (WLC) در محیط سامانه اطلاعات مکانی (GIS). مجله علوم و تکنولوژی محیط زیست، ۳:۱۸، ص ۱۱۶-۹۹.

صادقی‌روش، م. ح.، خسروی. ح. ۱۳۹۳. ارزیابی راهبردهای بیابانزدایی با کاربرد مدل تحلیلی سلسل مراتبی فازی (FAHP) مطالعه موردی منطقه خضرآباد یزد. مجله علوم و تکنولوژی محیط زیست، ۲:۱۶، ص ۹۹-۸۷.

عطائی، م. ۱۳۸۹. تصمیم گیری چندمعیاره. انتشارات دانشگاه صنعتی شاهرود، ۳۴۵ ص.

فرهادوند، س. ۱۳۹۲. مکان‌یابی رویشگاه بالقوه دو گونه مرتعی*Panicum antidotale* و *pennisetum divisum*با استفاده از مدل تحلیل سلسله مراتبی و منطق فازی در محیط GIS (دشت نگازه اهواز). پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده آب و خاک دانشگاه زابل. ۱۲۲ ص.

قاسمی، س. ع.، دانش، ش. ۱۳۹۱. کاربرد روش تحلیل سلسله مراتبی فازی در تعیین گزینه بهینه نمک‌زدایی از آب‌های لب شور. مجله آب و خاک، ۴:۲۶، ص ۱۰۰۹-۹۹۹.

قربان‌نیا خیبری، و.، میرسنجری، م.، لیاقتی، ه.. ۱۳۹۷. شناسایی مناطق بالقوه توسعه اکوتوریسم در شهرستان دنا با استفاده از ارزیابی چند معیاره شاخص‌های ترکیبی ویژه. مجله مرتع، ۳:۱۲، ص ۳۲۹-۳۱۶.

قریشی، س. ک. ۱۳۹۴. مکان‌یابی عملیات بذرپاشی و کودپاشی مراتع با استفاده از تحلیل سلسله مراتبی و منطق‌فازی (مطالعه موردی: حوزه آبخیز انارچای مشگین شهر). پایان‌نامه کارشناسی ارشد رشته مرتع‌داری، دانشکده آب و خاک دانشگاه زابل، ۱۸۸ ص.

محمدی، ب.، عظیمی، م.، سپهری، ع. ۱۳۹۵. بررسی شایستگی مراتع شرق استان گلستان به‌منظور طبیعت‌گردی (مطالعه موردی مناطق تیل آباد و خوش ییلاق در شهرستان آزادشهر، استان گلستان). مجله مرتع، ۳:۱۰، ص ۳۲۷-۳۱۵.

محمودی، م.، روحی، ن.، صبوحی صابونی، م. ۱۳۹۷. تعیین مناسب‌ترین بازار هدف صادراتی کشمش ایران با استفاده از تحلیل سلسله مراتبی فازی. مجله اقتصاد کشاورزی و توسعه، ۱۰۱، ص ۱۲۴-۱۰۳.

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-07-04]

مطیعی‌لنگرودی، س. ح.، نصیری، ح.، عزیزی، ع.، مصطفایی، ا. ۱۳۹۱. مدل‌سازی توان اکولوژیک سرزمین از منظر کاربری‌های کشاورزی و مرتع‌داری با استفاده از روش FazzyAHP در محیط GIS (مطالعه موردی شهرستان مرودشت). مجله آمایش سرزمین، ۶:۴، ص ۱۲۴-۱۰۱.

معماریانی، ع.، آذر، ع. ۱۳۷۴. AHP تکنیکی نوین برای تصمیم‌گیری گروهی. دانش مدیریت، ۲۲، ص ۳۲-۲۸.

مهدوی، ع.، کرمی، ا.، میزایی، ج. ۱۳۹۱. کاربرد فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) و GIS در ارزیابی توان مرتع‌داری (مطالعه موردی: منطقه بدره، ایلام). چکیده مقالات پنجمین همایش ملی مرتع و مرتع‌داری ایران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد بروجرد، ۳۰۹ ص.

نیک‌زاد، و.، معرب، ی.، امیری، م.ج.، فروغی، ن. ۱۳۹۳. مکان‌یابی محل دفن پسماند با استفاده از منطق فازی در GIS و مدل تحلیل سلسله مراتبی فازی (FAHP) (ناحیه موردمطالعه: شهرستان مینودشت). مجله علوم و تکنولوژی محیط زیست، ۱۶، ص ۴۳۵-۴۲۱.

Akinci, H., Yavuz-ozalp, A., Turgut, B. 2013. Agricultural land use suitability analysis using GIS and AHP technique, J. Computers and Electronics in Agriculture, 97, 71-82.

Al Mamun, M.A., Howladar, M.F., Sohail, M.A. 2019. Assesment of surface water quality using Fuzzy Analytic Hierarchy Process (FAHP): A case study of Piyain River's sand and gravel quarry mining area in Jaflong, Sylhet. Groundwater for Sustainable Development, doi: https://doi.org/10.1016/j.gsd.2019.03.002

Chang, D.Y. 1996. Applications of the extent analysis method on fuzzy AHP. European Journal of Operational Research, 95(3):649-655.

Gass, S., Rapcsák, T. 2004. Singular value decomposition in AHP. European Journal of Operational Research, 154(3): 573-584.

Haidaraa, I., Tahrib, M., Maananc M., Hakdaouia, M. 2019. Efficiency of Fuzzy Analytic Hierarchy Process to detect soil erosion vulnerability. Geoderma, 354: 1-15.

Kazemi, F., Bahrami, A., Abdolahi Sharif, J. 2020. Mineral processing plant site selection using integrated fuzzy cognitive map and fuzzy analytical hierarchy process approach: A case study of gilsonite mines in Iran. Minerals Engineering, 147: 1-11.

Mosadeghi, R., Warnken, J., Tomlinson, R., Mirfenderesk, H. 2015. Comparison of AHP-Fuzzy and AHP in spatial multi criteria decision making model for urban land-use planning. Computer, environment and urban systems, 49: 54-65.

Trong Duc, T. 2006. Using GIS and AHP Technique for Land-use Suitability Analysis. International Symposium on Geoinformatics for Spatial Infrastructure Development in Earth and Allied Sciences, pp. 6.

Van Laarhoven, P.J.M., Pedrycz, W. 1983. A fuzzy extension of Saaty's priority theory. Fuzzy Sets and Systems,11:229-241.

Wang, T.C., Chen, Y.H. 2007. Applying consistent fuzzy preference relations to partnership selection. International Journal of Management Science, 35:384-388.

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-07-04]