نشریه علمی تحقیقات جنگل و صنوبر ایران
جلد ۲۸ شماره ۱، صفحه ۷۲-۶۱، (۱۳۹۹)

شناسه دیجیتال (DOI): 10.22092/ijfpr.2020.341386.1893
شناسه دیجیتال (DOR): 98.1000/1735-0883.1399.28.5.79.1.1575.41

ارزیابی و پهنه‌بندی تناسب اراضی برای جنگل‌کاری با استفاده از روش فازی تحلیل شبکه‌ای (مطالعه موردی: حوزه آبخیز سقزچی‌چای، استان اردبیل)

فرحناز رشیدی [۱*] و داریوش ناصری [۲]

۱*- نویسنده مسئول، استادیار پژوهش، مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران
پست الکترونیک: rashidi@rifr-ac.ir

۲- عضو باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، واحد اردبیل، دانشگاه آزاد اسلامی، اردبیل، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۰/۱۳ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۱/۱۷

چکیده

با گسترش روزافزون جنگل‌زدایی، افزایش فرسایش خاک و رسوب در پایین‌دست حوزه‌های آبخیز، ضرورت توسعه جنگل در این مناطق آشکارتر می‌شود. در همین راستا، پیش از هرگونه اجرای پروژه جنگل‌کاری باید مکان‌یابی مناطق مستعد و ارزیابی توان بوم‌شناختی منطقه مورد توجه قرار گیرد. هدف اصلی پژوهش پیش‌رو، بررسی قابلیت توسعه جنگل در حوزه آبخیز سقزچی‌چای شهرستان نمین استان اردبیل با استفاده از روش‌های ارزیابی چندمعیاره بود. ابتدا نقشه‌های کاربری سال‌های ۱۹۸۹ و ۲۰۱۹ با روش ماشین بردار پشتیبان با صحت کلی ۹۵/۵ درصد و ضریب کاپا ۰/۹۱ تهیه شد. با مقایسه دو نقشه فوق، اراضی جنگلی تخریب‌شده شناسایی شدند. این اراضی به‌عنوان مکان‌های با اولویت احیا و غنی‌سازی جنگل در منطقه معرفی شدند. در ادامه، ۱۲ معیار با استفاده از روش‌های تحلیل شبکه‌ای و فازی به‌ترتیب وزن‌دهی و هم‌مقیاس شدند. درنهایت، روی‌هم‌گذاری لایه‌ها با روش ترکیب خطی وزنی انجام و نقشه تناسب جنگل‌کاری تهیه شد. نتایج نشان داد که ۲۸/۸۱ درصد از منطقه مورد مطالعه، پتانسیل زیاد یا خیلی زیادی برای توسعه جنگل دارند. معیارهای بارش، درجه‌حرارت و عمق خاک به‌عنوان مهم‌ترین عوامل برای توسعه جنگل شناخته شدند. تلفیق نتایج پتانسیل توسعه جنگل با کاربری فعلی جنگل نشان داد که ۴۱/۹۴ درصد از سطح جنگل‌های فعلی منطقه مورد مطالعه در طبقه با توان زیاد یا خیلی زیاد و ۴۱/۱ درصد نیز در طبقه با پتانسیل متوسط برای توسعه جنگل قرار گرفته‌اند. درمجموع، حوزه آبخیز سقزچی‌چای، قابلیت توسعه جنگل را داشت. همچنین، مدل فازی تحلیل شبکه‌ای (ANP Fuzzy) به‌خوبی قادر به شناسایی مناطق مناسب برای توسعه جنگل بود.

واژه‌های کلیدی: ارزیابی توان بوم‌شناختی، ارزیابی چندمعیاره، ترکیب خطی وزنی، توسعه جنگل.

مقدمه

رشد زیاد جمعیت باعث ایجاد مشکلات خاصی درزمینه افزایش تقاضا برای غذا و محصولات کشاورزی دیگر و نیز منجر به تخریب سرزمین، فرسایش خاک و جنگل‌زدایی‌های گسترده شده است (Fresco *et al*., 1992). جنگل‌زدایی یک پدیده جهانی است که نه‌تنها تنوع زیستی بلکه معیشت افراد وابسته به جنگل‌ها را نیز تهدید می‌کند. این پدیده، عامل اصلی از بین رفتن تنوع زیستی در کشورهای درحال توسعه است (Dlamini, 2016). با توجه به از بین رفتن جنگل‌ها و افزایش جمعیت انسانی، توسعه جنگل از اهمیت ویژه‌ای

برخوردار است (Yousefi *et al*., 2013). جنگل‌کاری باعث توسعه سطح جنگل، افزایش تنوع زیستی، حاصلخیزی خاک، ایجاد مخزن ذخیره کربن در خاک و کنترل فرسایش می‌شود (Sagheb-Talebi, 2005). از آنجایی‌که هدف از جنگل‌کاری، دستیابی به یک بوم‌نظام جدید و پایدار است، انتخاب محل مناسب آن بسیار اهمیت دارد و یک تصمیم‌گیری چندمعیاره (MCDM) محسوب می‌شود (Fazlollahi Mohammadi *et al*., 2015).

تصمیم‌گیری چندمعیاره ازجمله روش‌های مناسب برای انتخاب مناطق مستعد برای جنگل‌کاری هستند. در بین روش‌های MCDM، روش تحلیل شبکه‌ای (Analytical Network Process) و نیز روش تحلیل سلسله‌مراتبی (Analytical Hierarchy Process) برای مطالعات منابع طبیعی، بیشتر مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته‌اند (Rashidi & Sharifian, 2019). در روش ANP به ارتباط‌های متقابل خارجی، داخلی و بازخورد بین عناصر توجه می‌شود. برخلاف این روش، در AHP ارتباط‌ها به‌صورت یک‌طرفه درنظر گرفته می‌شود. بررسی مطالعات نشان می‌دهد که بیشتر پژوهش‌های ارزیابی اراضی برای جنگل‌کاری با روش AHP انجام شده‌اند، در حالی‌که در مطالعات تصمیم‌گیری چندمنظوره در منابع طبیعی به‌نظر می‌رسد که روش تحلیل شبکه‌ای نسبت به AHP ارجحیت داشته و مدل‌سازی دقیق‌تری از تنظیمات پیچیده ارائه می‌کند (Wolfslehner *et al*., 2005; Aragonés-Beltrán *et al*., 2010; Chatterjee *et al*., 2015).

در پژوهشی، Mohammadi و Mohammadi Limaei (۲۰۱۸) پایداری جنگل‌های هیرکانی را از نظر اقتصادی، اجتماعی و محیط‌زیستی با دو روش AHP و ANP بررسی کردند. براساس نتایج آن‌ها، روش ANP نقاط قوت بیشتری نسبت به AHP دارد. روابط متقابل بین معیارها و ایجاد شبکه در ANP از مهم‌ترین دلایل برتری این روش بیان شد. Demiral و همکاران (۲۰۰۹) دو روش AHP فازی و ANP فازی را برای ارزیابی سیاست‌گذاری‌های پوشش زمین در ترکیه بررسی کردند. نتایج پژوهش مذکور، برتری ANP فازی را تأیید کرد. Wolfslehner و همکاران (۲۰۰۵) از روش‌های AHP و ANP برای ارزیابی مدیریت پایدار جنگل‌های اتریش استفاده کردند. آن‌ها بیان کردند که در ارزیابی معیارها، شاخص‌ها و تصمیم‌های پیچیده در مدیریت پایدار جنگل، روش ANP به‌دلیل ایجاد ساختار شبکه‌ای و ارتباط بین معیارها از پتانسیل بیشتری نسبت به روش دیگر برخوردار است.

با توجه به پویایی منابع طبیعی، تغییرات در مقیاس‌های مختلف و نیز ذهنی بودن مقایسه‌ها در ANP می‌توان گفت که عدم قطعیت، جزئی از پژوهش‌ها است، در حالی‌که تلفیق ANP با روش فازی از مقدار عدم قطعیت در آنالیزهای تصمیم‌گیری می‌کاهد (Promentilla *et al*., 2008; Elaalem, 2013; Mosadeghi *et al*., 2015; Rahdari *et al*., 2019). به‌منظور استانداردسازی عوامل که از مقیاس‌های متفاوتی برخوردار هستند و با توجه به مسئله عدم قطعیت، استفاده از روش فازی کاربرد زیادی دارد (Mosadeghi *et al*., 2015). استانداردسازی معیارها با استفاده از روش فازی، تعیین آستانه و نوع تابع فازی (S شکل کاهنده یا افزاینده، J شکل کاهنده یا افزاینده، ذوزنقه‌ای و تعریف‌شده توسط کاربر) با توجه به نقش هر معیار در فرایند ارزیابی براساس مرور منابع و نظر کارشناسان و خبرگان مشخص می‌شود (Rahimi *et al*., 2015; Nguyen et al., 2017; Davtalab & Alesheikh, 2018)، بنابراین، با توجه به بررسی‌های انجام‌شده، روش فازی تحلیل شبکه‌ای (FANP) در ارزیابی عوامل بوم‌شناختی نسبت به روش‌های دیگر MCDM مزایای زیادی دارد (Chatterjee *et al*., 2015). Demiral و Tuzun (۲۰۱۱) با استفاده از ANP فازی، روش‌های جلوگیری از فرسایش خاک را در ترکیه ارزیابی کردند. نتایج این پژوهش بیانگر آن بود که کشاورزی و جنگل‌کاری، راهکارهای اساسی برای حل این مشکل هستند. Rashidi و Sharifian (۲۰۱۹) نیز به‌منظور توسعه جنگل، توان بوم‌شناختی حوزه آبخیز ارنگه استان البرز را با استفاده از روش ANP فازی بررسی کردند.

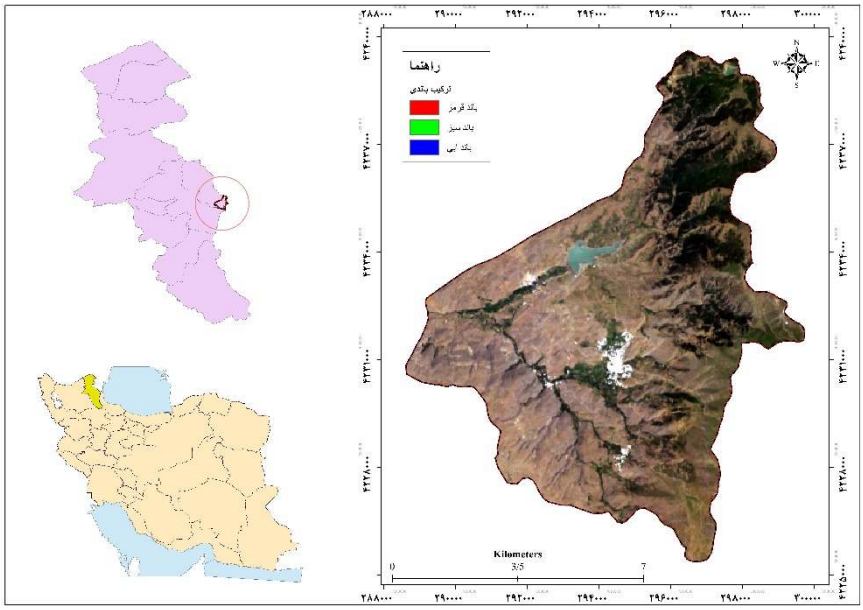
مرور پیشینه پژوهش نشان می‌دهد که ارزیابی تناسب اراضی به‌منظور جنگل‌کاری با روش FANP کمتر انجام گرفته است. با توجه به کارایی این روش و اهمیت جنگل‌کاری موفق با تعیین توان بوم‌شناختی، پژوهش پیش‌رو در حوزه آبخیز سقزچی‌چای استان اردبیل با استفاده از FANP انجام شد. در این پژوهش با استفاده از روش تحلیل شبکه به‌همراه GIS، یک سیستم پشتیبان تصمیم‌گیری محیط‌زیستی معرفی می‌شود. در این سیستم، تلاش‌های زیادی به‌منظور توسعه فناوری لازم در خصوص آگاهی سازمان‌های مدیریت و سیاست‌گذاری محیط‌زیست و کمک به آن‌ها در یافتن راه‌حل مسائل پیچیده انجام می‌گیرد (Jahani *et al.*, 2016).

حوزه آبخیز سقزچی‌چای استان اردبیل، پوشش جنگلی ادامه‌دار جنگل‌های هیرکانی محسوب می‌شود. در سال‌های اخیر، سطح جنگل‌های این حوزه به‌دلیل مسائل اقتصادی-اجتماعی موجود در منطقه، روند کاهشی داشته و در معرض تخریب قرار گرفته است. ادامه این روند سبب افزایش فرسایش، رسوب خاک در پایین‌دست حوزه، زیاد شدن کدورت آب سطحی منطقه و نیز افزایش هزینه‌های لای‌روبی در بندهای آبخیزداری در منطقه شده است. اگر در این حوزه به مکان‌یابی اصولی جنگل‌کاری توجه شود، می‌توان علاوه‌بر کاهش هزینه‌ها از موفق بودن این طرح‌ها نیز مطمئن بود. درنتیجه، زمینه لازم برای احیا و توسعه جنگل در این منطقه فراهم می‌شود. از این‌رو، هدف اصلی این پژوهش، ارزیابی توان بوم‌شناختی منطقه و اولویت‌بندی مناطق مناسب جنگل‌کاری با استفاده از روش FANP در سطح حوزه آبخیز مورد مطالعه است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

حوزه آبخیز سقزچی‌چای با مساحت ۷۵۹۳/۹۹ هکتار در شهرستان نمین در شرق استان اردبیل قرار دارد (شکل ۱). این حوزه بین طول شرقی ۲۸۸۶۲۰ تا ۲۹۹۷۲۰ و عرض شمالی ۴۲۲۵۳۷۳ تا ۴۲۳۹۵۹۳ در سیستم تصویر UTM Zone 39 N قرار گرفته است. کمینه و بیشینه ارتفاع آن به‌ترتیب ۱۳۹۵ و ۲۴۱۲ متر از سطح دریا است. چهار سامان عرفی حور، رز، سقزچی و تفیه در این حوزه واقع شده‌اند.



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه در استان اردبیل و کشور

جهت عمومی آبراهه‌ها در منطقه، شرقی- غربی است و خروجی حوزه در غرب آن قرار دارد. میانگین سالانه بارش، درجه‌حرارت و رطوبت نسبی به‌ترتیب برابر با ۳۹۴ میلی‌متر، ۹/۰۳ درجه سانتیگراد و ۷۰ درصد هستند. در این حوزه، کاربری‌های مختلف شامل جنگل، مرتع، زراعت آبی و دیم، مناطق انسان‌ساخت و آب‌بندان مشاهده می‌شوند. یک تیپ جنگلی (راش- لورستان) و سه تیپ مرتعی (تیپ اول: گون- علف گوسفندی- علف یک‌ساله، تیپ دوم: کلاه میرحسن- یال اسب- گون و تیپ سوم: علف گوسفندی- گون پنبه‌ای- علف پشمکی- گندمک) در حوزه مورد مطالعه حضور دارند (Anonymous, 2009).

روش پژوهش

به‌منظور ارزیابی توان بوم‌شناختی منطقه از مجموعه لایه‌های اطلاعاتی توپوگرافی (ارتفاع، شیب و جهت شیب)، اقلیمی (دما و بارش)، خاک (عمق، بافت، گروه هیدرولوژیک، نفوذپذیری و میزان فرسایش) و زیستی (تیپ و تراکم پوشش گیاهی) استفاده شد. همچنین، لایه کاربری اراضی به‌عنوان لایه محدودیت درنظر گرفته شد. لایه‌های ارتفاع، شیب و جهت با استفاده از لایه توپوگرافی با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ و نقشه‌های اقلیم با کاربرد اطلاعات دما و بارش منطقه در محیط ArcGIS تولید شد. لایه‌های تیپ و خاک با فرمت رقومی مربوط به مطالعات تفصیلی- اجرایی سال ۱۳۸۸ حوزه آبخیز سقزچی‌چای نمین از اداره کل منابع طبیعی استان اردبیل تهیه شد. نقشه تراکم پوشش گیاهی با استفاده از شاخص نرمال‌شده تفاوت پوشش گیاهی (NDVI) به‌دست آمد.

به‌منظور تهیه نقشه کاربری اراضی از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۵ و ۸ منطقه به ترتیب مربوط به خردادماه ۱۳۶۸ و تیرماه ۱۳۹۸ استفاده شد. تصاویر پس از دریافت از تارنمای مرکز تحقیقات زمین‌شناسی آمریکا از نظر صحت هندسی کنترل شدند. سپس، تصحیح رادیومتریکی تصاویر با استفاده از دستور Radiometric Calibration و تصحیح اتمسفری نیز با استفاده از دستور Flaash Atomospheric Correction در محیط نرم‌افزار ENVI 5.3 انجام شد. نمونه‌های تعلیمی با استفاده از برداشت‌های زمینی با کاربرد GPS، استفاده از تصاویر گوگل‌ارث (بیشتر برای تصویر سال ۱۳۶۸) و تفسیر چشمی برای هر دو تصویر مشخص شد. به‌منظور ورود به فرایند طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای، تمامی باندها به‌جز باند پانکروماتیک (لندست ۵ و ۸) و باند سیروز (لندست ۸) به‌کار گرفته شد. از شاخص‌های NDVI و SAVI به‌عنوان باندهای مصنوعی برای افزایش دقت طبقه‌بندی استفاده شد. لایه شیب برای تفکیک بهتر اراضی مرتعی از زراعت دیم و لایه ارتفاع برای تفکیک بهتر جنگل از زراعت آبی به‌کار برده شد. به‌منظور طبقه‌بندی و تهیه نقشه کاربری اراضی نیز از روش طبقه‌بندی نظارت‌شده ماشین بردار پشتیبان استفاده شد. دقت طبقه‌بندی با شاخص‌های کاپا و صحت کلی ارزیابی شد. پس از اطمینان از دقت قابل قبول، اراضی جنگلی تخریب‌یافته از سال ۱۳۶۸ تا ۱۳۹۸ شناسایی شدند و به‌عنوان مکان‌های با اولویت احیا و غنی‌سازی جنگل معرفی شدند.

برای توسعه جنگل در مناطق دیگر از روش ارزیابی چندمعیاره استفاده شد. برای این منظور، ابتدا وزن‌دهی به معیارها با روش تحلیل شبکه‌ای انجام گرفت. در محیط نرم‌افزار Super Decisions پنج خوشه هدف، معیارهای فیزیوگرافی، خاک، اقلیم و زیستی ایجاد شد. ارتباط مستقیم بین خوشه هدف با خوشه‌های دیگر و ارتباط متقابل بین عناصر داخل یک خوشه یا خوشه‌های دیگر تعریف شد. با توجه به مقدار نرخ ناسازگاری در قضاوت‌ها و مقایسات زوجی (کمتر از مقدار ۰/۱)، ضریب اهمیت هریک از معیارها به‌دست آمد. با درنظرگیری سوپر ماتریس وزن‌دارنشده و سوپرماتریس وزن‌دارشده، ماتریس حد تهیه شد و وزن معیارها مشخص شدند. هرکدام از معیارها، واحدهای اندازه‌گیری متفاوتی دارند، بنابراین از روش فازی‌سازی (در دامنه عددی صفر تا ۲۵۵) برای هم‌مقیاس‌سازی معیارها استفاده شد (جدول ۱). لایه‌های فازی‌شده با اعمال وزن مربوطه با استفاده از روش ترکیب خطی وزنی روی‌هم‌گذاری شدند و طبقات تناسب منطقه برای توسعه جنگل تهیه شد.

جدول ۱- عوامل و توابع فازی مورد استفاده برای استانداردسازی در ارزیابی قابلیت جنگل‌کاری

خوشه	معیار	تابع فازی	حدود توابع فازی			
			a	b	c	d
فیزیوگرافی	ارتفاع (متر)	S شکل- سیمتریک	۱۳۹۵	۱۵۰۰	۱۷۰۰	۱۹۰۰
	شیب (درصد)	S شکل- کاهشی	-	-	۲۵	۶۰
	جهت شیب	تعریف‌شده	N	E	W	S
		توسط کاربر	۲۵۵	۱۷۰	۸۵	۰
اقلیم	بارش (میلی‌متر)	S شکل- افزایشی	۴۰۰	۴۵۰	-	-
	دما (سانتیگراد)	S شکل- افزایشی	۸	۱۰	-	-
	فرسایش خاک	تعریف‌شده	کم	متوسط	زیاد	
		توسط کاربر	۲۵۵	۱۷۰	۸۵	
	بافت خاک	تعریف‌شده	لومی	لومی شنی	رسی	فاقد بافت
		توسط کاربر	۲۵۵	۱۷۰	۸۵	۰
خاک	عمق خاک (سانتی‌متر)	تعریف‌شده	بیشتر از ۱۰۰	۷۵ تا ۱۰۰	۵۰ تا ۷۵	کمتر از ۵۰
		توسط کاربر	۲۵۵	۱۷۰	۸۵	۰
	نفوذپذیری خاک	تعریف‌شده	خیلی زیاد	متوسط		
		توسط کاربر	۲۵۵	۱۲۷		
	گروه هیدرولوژیک خاک	تعریف‌شده	B	C	D	فاقد بافت
		توسط کاربر	۲۵۵	۱۷۰	۸۵	۰
پوشش	تراکم پوشش (NDVI)	S شکل- افزایشی	۰	۷۳	-	-
	تیپ پوشش (مرتعی و جنگلی)	تعریف‌شده	Ca.be+Fa.or+ Ce.au+Pr.do+Cr+Tu	As.spp+Ac.li +St.ba	As.spp+Fe.ov +An.gr	Fe.ov+As.spp+ Br.sp+Ag.sp
		توسط کاربر	۲۵۵	۱۷۰	۸۵	۰

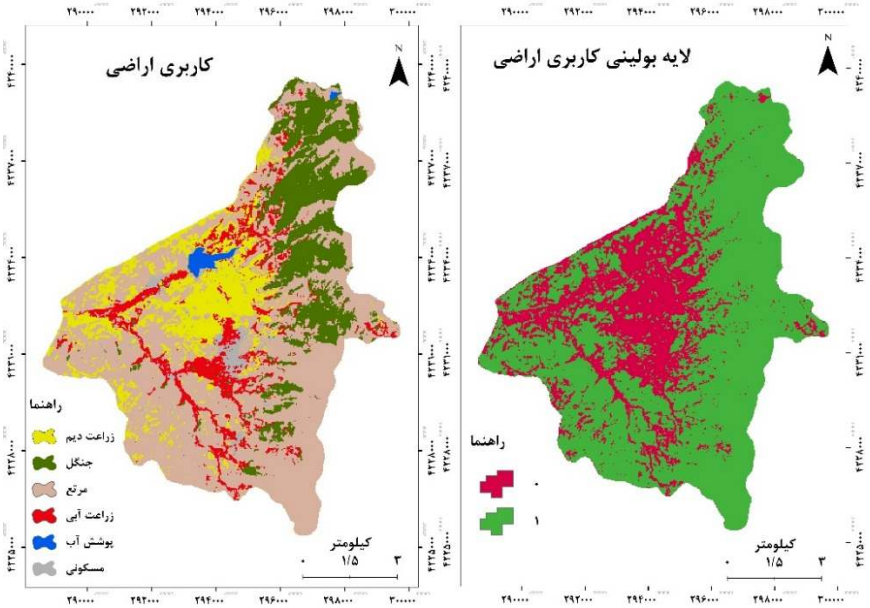
نتایج

نتایج وزن‌دهی به معیارها با استفاده از روش تحلیل شبکه‌ای در جدول ۲ آمده است. براساس نظرات ۱۵ نفر از کارشناسان متخصص در حوزه جنگل‌کاری، مهم‌ترین معیارها برای توسعه جنگل به‌ترتیب بارش، درجه‌حرارت، عمق خاک، شیب و ارتفاع بودند، در حالی‌که تیپ پوشش گیاهی، میزان فرسایش و نفوذپذیری خاک، کم‌اهمیت‌ترین معیارها به‌دست آمدند. نقشه معیارها براساس توابع مورداستفاده (جدول ۱) فازی شد. با اعمال وزن‌های محاسبه‌شده در لایه‌های فازی‌شده، نقشه اولیه تناسب اراضی منطقه برای توسعه جنگل به‌دست آمد. در اراضی تحت زراعت دیم و آبی و نیز مسکونی و پوشش آبی در منطقه نمی‌توان جنگل‌کاری انجام داد، بنابراین از لایه کاربری اراضی تهیه‌شده از روش ماشین بردار پشتیبان با دقت

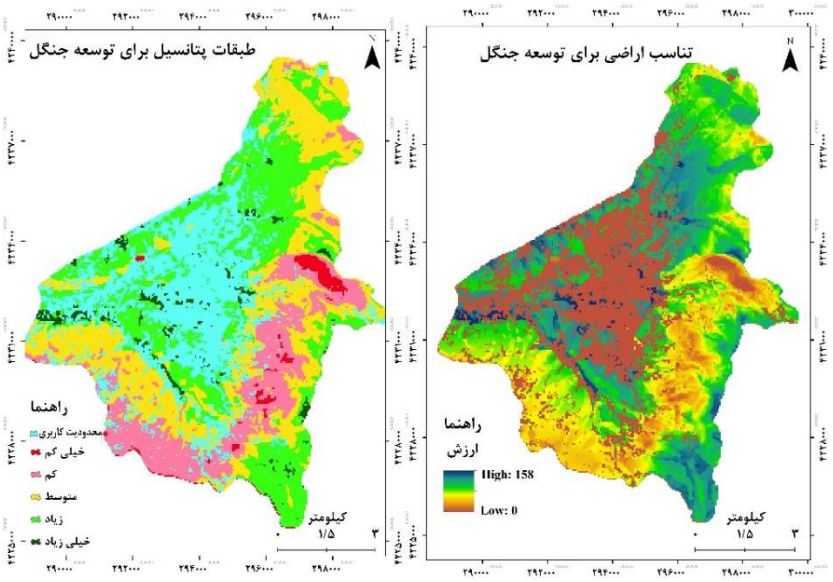
ضریب کاپا ۰/۹۱ و صحت کلی ۹۵/۵ درصد استفاده شد و برای کاربری‌های مسکونی، پوشش آبی، زراعت دیم و زراعت آبی به روش بولین (شکل ۲) ارزش صفر درنظر گرفته شد. همچنین، ارزش یک برای کاربری‌های مرتع و جنگل در نقشه اولیه تناسب درنظر گرفته شد و نقشه تناسب نهایی به‌دست آمد (شکل ۳). براساس نقشه تناسب، بیشتر قسمت‌های مرکزی و غربی منطقه به‌دلیل اعمال محدودیت کاربری اراضی، فاقد تناسب برای توسعه جنگل هستند. مناطق با توان خیلی کم به‌صورت چند لکه پراکنده در شرق و جنوب منطقه وجود داشتند. همچنین، مناطق با توان کم به‌صورت نواری در جنوب و شرق منطقه گسترده شده بودند. مناطق با توان متوسط در جنوب، شرق و شمال منطقه و مناطق با توان زیاد در قسمت‌هایی از شمال، جنوب، جنوب شرق، مرکز و غرب منطقه پراکنش داشتند. لازم به ذکر است که مناطق با توان خیلی زیاد در قسمت‌هایی از غرب و مرکز به‌سمت شمال منطقه قرار گرفته بودند. به‌طور کلی، ۲۰۷۳/۵۶ هکتار (۲۷/۳۹ درصد) از منطقه دارای محدودیت کاربری اراضی برای توسعه جنگل هستند، اما ۱۷۲/۴۵ هکتار از اراضی منطقه، پتانسیل خیلی زیادی برای این مورد داشتند. مناطق با تناسب زیاد، متوسط، کم و خیلی کم برای توسعه جنگل به‌ترتیب ۲۰۰۹/۴۴، ۲۰۳۲/۷۲، ۱۱۵۶/۴۵ و ۱۲۴/۷ هکتار مساحت داشتند (جدول ۳).

جدول ۲- وزن معیارها برای توسعه جنگل در منطقه سقزچی‌چای

ردیف	معیار	وزن
۱	بارش	۰/۲۹۸۴۳
۲	درجه‌حرارت هوا	۰/۱۴۳۸۳
۳	عمق خاک	۰/۱۰۰۶۵
۴	شیب	۰/۰۸۸۴۲
۵	ارتفاع	۰/۰۸۶۳۳
۶	جهت دامنه	۰/۰۸۶۰۷
۷	تراکم پوشش گیاهی	۰/۰۵۶۹
۸	گروه هیدرولوژیک خاک	۰/۰۴۷۶۱
۹	بافت خاک	۰/۰۳۵۶۸
۱۰	نفوذپذیری خاک	۰/۰۳۵۱۱
۱۱	میزان فرسایش خاک	۰/۰۱۷۲۲
۱۲	تیپ پوشش گیاهی	۰/۰۰۳۷۵
مجموع		۱



شکل ۲- نقشه کاربری اراضی و بولینی برای توسعه جنگل



شکل ۳- نقشه تناسب و طبقات تناسب برای توسعه جنگل

به‌منظور معرفی اولویت مناطق برای توسعه جنگل از نقشه تغییرات سطح جنگل طی سی سال گذشته در حوزه مورد مطالعه استفاده شد. نتایج نشان داد که سطح جنگل ۳۶۶ هکتار در این منطقه کاهش داشت، بنابراین این مناطق با توجه به پتانسیل طبیعی منطقه به‌عنوان اولویت اول برای احیا جنگل معرفی شدند. مناطق با پتانسیل خیلی زیاد و پتانسیل زیاد نیز به‌عنوان اولویت بعدی برای توسعه جنگل انتخاب شدند (شکل ۴). برای ارزیابی دقت روش مورد استفاده برای توسعه جنگل در منطقه، طبقات پتانسیل به‌دست‌آمده با سطح جنگل تهیه‌شده برای سال ۱۳۹۸ روی‌هم‌گذاری شدند (جدول ۴). از مجموع ۱۳۳۴ هکتار جنگل در منطقه (سال ۱۳۹۸)، ۱۰/۸۴ هکتار در طبقه

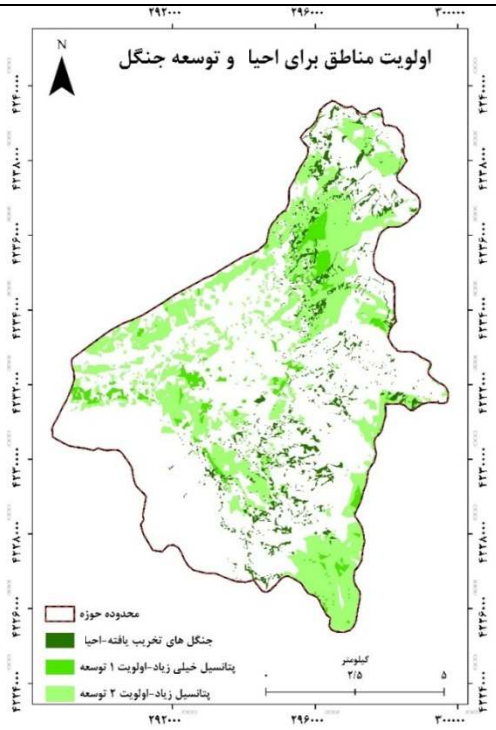
پتانسیل خیلی زیاد، ۵۴۴/۹۷ هکتار در طبقه پتانسیل زیاد و ۵۴۴/۷ هکتار نیز در طبقه پتانسیل متوسط برای توسعه جنگل قرار داشتند. همچنین، ۲۲۵/۰۹ هکتار در طبقه پتانسیل خیلی کم و یا کم قرار داشتند. این یافته‌ها نشان‌دهنده دقت بسیار خوب مدل مورداستفاده هستند.

جدول ۳- مساحت طبقه‌های مختلف پتانسیل برای توسعه جنگل

ردیف	طبقه پتانسیل	هکتار	درصد
۱	محدودیت کاربری اراضی	۲۰۷۳/۵۶	۲۷/۳۹
۲	خیلی کم	۱۲۴/۷	۱/۶۴
۳	کم	۱۱۵۶/۴۵	۱۵/۲۷
۴	متوسط	۲۰۳۲/۷۲	۲۶/۸۵
۵	زیاد	۲۰۰۹/۴۴	۲۶/۵۴
۶	خیلی زیاد	۱۷۲/۴۵	۲/۲۷

جدول ۴- مقایسه سطح فعلی جنگل با طبقه‌های پتانسیل توسعه جنگل

ردیف	کلاس پتانسیل	مساحت	درصد
۱	پتانسیل خیلی زیاد	۱۰/۸۴	۰/۸۱
۲	پتانسیل زیاد	۵۴۴/۹۷	۴۱/۱۳
۳	پتانسیل متوسط	۵۴۴/۷	۴۱/۱
۴	پتانسیل کم	۱۸۵/۲۵	۱۳/۹۸
۵	پتانسیل خیلی کم	۳۹/۸۴	۳



شکل ۴- نقشه اولویت‌بندی احیا و توسعه جنگل در حوزه سقزچی‌چای

بحث

پایش تغییرات عرصه‌های جنگلی در پژوهش پیش‌رو نشان داد که طی سی سال گذشته حدود ۳۶۶ هکتار از جنگل‌های حوزه آبخیز سقزچی‌چای اردبیل کاسته شده است، بنابراین احیا و توسعه جنگل‌ها ازجمله چالش‌های اصلی مدیریت منابع طبیعی در این منطقه محسوب می‌شود. در این پژوهش با مرور مطالعات مشابه و نیز درنظرگیری مهم‌ترین معیارهای مؤثر بر توسعه جنگل در منطقه مورد مطالعه از ۱۲ معیار برای ارزیابی توان توسعه جنگل استفاده شد (Zamani et al., 2014; Bagherzadeh, 2018; Rahdari et al., 2019; Rashidi & Sharifian, 2019). براساس نتایج وزن‌دهی تعیین اهمیت معیارها با استفاده از ANP، مقدار بارش با وزن ۰/۲۹۸ مهم‌ترین عامل در توسعه جنگل در منطقه مورد مطالعه محسوب می‌شود. بارندگی کمتر از ۴۰۰ میلی‌متر در برخی از قسمت‌های این منطقه به‌عنوان یک محدودیت اساسی برای توسعه جنگل مطرح است. در پژوهش‌های Karami و همکاران (۲۰۱۵) و Rahdari و همکاران (۲۰۱۹)، معیار موقعیت جنگل‌های فعلی و در پژوهش Elaalem (۲۰۱۳) نیز عامل خاک به‌عنوان بااهمیت‌ترین معیار مشخص شدند. مشابه با نتایج پژوهش پیش‌رو، Ananda و Herath (۲۰۰۹) و Zamani و همکاران (۲۰۱۴) معیارهای اقلیمی را به‌عنوان مهم‌ترین عوامل معرفی کردند. این یافته‌ها نشان می‌دهند که وزن‌های اختصاص‌یافته تحت‌نظر کارشناسان قرار دارند، بنابراین با توجه به موقعیت و شرایط بوم‌شناختی مختلف در مناطق متفاوت، معیارهای مختلفی اهمیت بیشتر و یا کمتر دارند.

یافته‌های دیگر این پژوهش نشان داد که با وجود بارش کمتر در قسمت‌های غربی منطقه مورد مطالعه، توان بسیار زیادی برای توسعه جنگل در این مناطق وجود داشت، اما این مناطق به‌دلیل نوع کاربری اراضی (زراعت دیم و آبی) به‌عنوان مناطق دارای محدودیت شناخته شدند. عامل شکل زمین نیز در این حوزه، اهمیت زیادی برای توسعه جنگل داشت. مناطق با شیب بیشتر از ۶۰ درصد به‌دلیل محدودیت عمق خاک و عملیات مکانیکی به‌عنوان مناطق با کمترین ارزش در فرایند فازی‌سازی تعیین شدند. Svoray و همکاران (۲۰۰۵) شیب کمتر از ۳۰ درصد را برای کشت بسیاری از گونه‌های جنگلی مناسب دانستند. همچنین، مناطق با ارتفاع بیشتر از ۱۹۰۰ متر از سطح دریا به‌دلایل وزش بادهای شدید، کاهش رطوبت و تأثیر اشعه ماورای بنفش به‌عنوان مناطق با ارزش صفر در فرایند فازی‌سازی تعیین شدند. در این پژوهش، جهت‌های شمالی و شرقی به‌دلیل رطوبت زیادتر نسبت به جهت‌های غربی و جنوبی (Marvie Mohadjer & Sefidi, 2012) پتانسیل بیشتری برای توسعه جنگل داشتند. Zamani و همکاران (۲۰۱۴) نیز جهت‌های شمالی و شرقی را به‌عنوان مناطق مناسب جنگل‌کاری گزارش کردند. Zarinibahador و همکاران (۲۰۱۵) بیان داشتند که فعالیت‌های زیستی و تحول خاک در جهت شمالی نسبت به جهت جنوبی بیشتر است. نتایج جدول ۳ نشان داد که ۲۸/۸۱ درصد از حوزه مورد مطالعه، توان زیاد یا بسیار زیاد برای توسعه جنگل دارند. این منطقه دارای بارش سالانه ۴۰۰ تا ۴۷۰ میلی‌متر، ارتفاع کمتر از ۱۹۰۰ متر از سطح دریا، عمق خاک متوسط تا عمیق، میانگین دمای سالانه هشت تا ۱۰ درجه سانتیگراد با شیب کمتر از ۴۰ درصد هستند. ۲۶/۸۵ درصد از منطقه نیز پتانسیلی متوسط برای توسعه جنگل دارند. این مناطق نسبت به مناطق با توان زیاد یا خیلی زیاد از تناسب کمتری برای توسعه جنگل برخوردار هستند. فقط ۱۶/۹۱ درصد از منطقه، پتانسیل کم یا خیلی کم برای توسعه جنگل دارد. این مناطق در شیب‌های بیشتر از ۴۰ درصد، ارتفاع بیشتر از ۱۹۰۰ متر از سطح دریا، بارش سالانه کمتر از ۴۲۰ میلی‌متر، جهت‌های شرقی یا جنوبی، عمق خاک کم یا فاقد عمق، میانگین دمای سالانه هوای کمتر از هشت درجه سانتیگراد و گروه هیدرولوژیک خاک C یا D قرار گرفتند. ۲۷/۳۹ درصد از منطقه نیز به‌دلیل قرارگیری کاربری‌های زراعی، مسکونی و پوشش آبی (سد سقزچی‌چای) در قالب مناطق دارای محدودیت برای توسعه جنگل جایی دارند. این یافته نشان می‌دهد که کاربری اراضی، یک عامل محدودکننده برای توسعه جنگل در این منطقه به‌شمار

می‌رود.

نتایج پتانسیل‌یابی برای توسعه جنگل و ارزیابی دقت روش مورداستفاده نشان می‌دهد که مدل فازی تحلیل شبکه‌ای، قابلیت مناسبی برای ارزیابی توان توسعه جنگل دارد. در این زمینه، استفاده از نظرات کارشناسان آگاه و آشنا به منطقه و انتخاب توابع فازی‌سازی مناسب، نقش بسیار مهمی دارد. نتایج این پژوهش گویای آن است که حوزه آبخیز سقزچی‌چای برای توسعه جنگل، قابلیت بوم‌شناختی زیادی دارد. همچنین، روش وزن‌دهی تحلیل شبکه‌ای ANP در کنار روش هم‌مقیاس‌سازی فازی توانست به‌خوبی پتانسیل منطقه برای توسعه جنگل را شناسایی کند. برنامه‌ریزی برای احیا جنگل در مناطق تخریب‌یافته و توسعه جنگل در مناطق با پتانسیل زیاد یا خیلی زیاد در این منطقه قابل‌اجرا است. فعالیت مرتع‌داری در مناطق با توان متوسط و برنامه‌های حفاظتی در مناطق با توان کم یا خیلی کم برای توسعه جنگل در کنار ارزیابی توان برای کاربری‌های دیگر در این منطقه توصیه می‌شود.

در این پژوهش با استفاده از ارتباط بین ANP و پایگاه داده (GIS)، یک سیستم پشتیبانی تصمیم‌گیری به‌منظور ارزیابی مناطق مناسب برای توسعه جنگل تشکیل شد. از دانش متخصصان برای تعیین خوشه‌ها، عناصر مؤثر بر قابلیت اراضی برای جنگل‌کاری و وزن خوشه‌ها و گره‌ها استفاده شد. درواقع، این مرحله گام اول در طراحی سیستم پشتیبان تصمیم‌گیری (کسب دانش) محسوب می‌شود. گام‌های دوم و سوم به‌ترتیب استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی برای طراحی سیستم و ارزیابی موفقیت سیستم هستند. سیستم‌های پشتیبان تصمیم‌گیری به‌عنوان ابزاری نو به‌منظور حل مسائل پیچیده محیط‌زیستی شناخته شده‌اند (Jahani *et al.*, 2016). باتوجه‌به اینکه نتایج پژوهش پیش‌رو شامل سه مرحله شکل‌گیری این سیستم هستند، این پژوهش می‌تواند تصمیم‌گیری مناسبی را به‌منظور انتخاب مناطق مناسب برای جنگل‌کاری ارائه دهد.

منابع مورد استفاده

- Anonymous, 2009. Detailed-executive studies of Saqezchichay watershed management project. Forest, Range and Watershed Management Organization, General Offices of Natural Resources and Watershed Management of Ardabil, 337p (In Persian).
- Aragonés-Beltrán, P., Pastor-Ferrando, J.P., García-García, F. and Pascual-Agulló, A., 2010. An Analytic Network Process approach for sitting a municipal solid waste plant in the Metropolitan Area of Valencia (Spain). Journal of Environmental Management, 91(5): 1071-1086.
- Bagherzadeh, A., 2018. Assessment of land suitability for Norway maple and black locust plantations in the northeast of Iran. Journal of Forest Science, 64(3): 129-138.
- Chatterjee, K., Bandyopadhyay, A., Ghosh, A. and Kar, S., 2015. Assessment of environmental factors causing wetland degradation, using Fuzzy Analytic Network Process: A case study on Keoladeo National Park, India. Ecological Modelling: 316: 1-13.
- Davtalab, M. and Alesheikh, A.A., 2018. Spatial optimization of biomass power plant site using fuzzy analytic network process. Clean Technologies and Environmental Policy, 20: 1033-1046.
- Demirel, T., Muşdal, H., Demirel, N. Ç. and Nilay Yücenur, G., 2009. Multi-Criteria Evaluation of Land Cover Policies Using Fuzzy AHP and Fuzzy ANP: The Case of Turkey. Human and Ecological Risk Assessment, 15: 746–764.
-Demirel, T. and Tüzün, S., 2011. Multi Criteria Evaluation of the Methods for Preventing Soil Erosion Using Fuzzy ANP: The Case of Turkey. Proceedings of the World Congress on Engineering 2011 Vol II WCE 2011, U.K., 6-8 July 2011.
- Dlamini, W.M., 2016. Analysis of deforestation patterns and drivers in Swaziland using efficient Bayesian multivariate classifiers. Modeling Earth Systems and Environment, 2(173): 14p.
- Elaalem, M., 2013. A comparison of parametric and fuzzy multi-criteria methods for evaluating land suitability for olive in Jeffara Plain of Libya. APCBEE Procedia, 5: 405-409.
- Fazlollahi Mohammadi, M., Najafi, A. and Ahmadlo, F., 2015. Using the Analytical Network Process (ANP) based on BOCR Model to select the most suitable region for forestation with almond species. Nusantara Bioscience, 7(2): 118-127.

- Fresco, L.O., Huizing, H.G.J., Van Keulen, H., Luning, H.A. and Schipper, R.A., 1992. Land Evaluation and Farming Systems Analysis for Land Use Planning. FAO Working Document, Third Edition. Wageningen Agricultural University, Wageningen, 209p.
- Jahani, A., Feghhi, J., Makhdoum, M. and Omid, M., 2016. Environmental decision support systems (EDSSs): The study if concepts, developments and challenges from past to present. Environmental Researches, 7(13): 175-188 (In Persian).
- Karami, O., Hosseini Nasr, S.M., Jalilvand, H. and Miryaghubzadeh, M., 2015. Determination of Babolrood basin capability for various land Uses using multi criteria decision making methods. Journal of Watershed Management Research, 6(11): 171-181 (In Persian).
- Marvie Mohadjer, M.R. and Sefidi, K., 2012. Forest Ecology (translation). Jahad Daneshgahi Press, Tehran, 398p (In Persian).
- Mohammadi, Z. and Mohammadi Limaei, S., 2018. Multiple criteria decision making approaches for forest sustainability (Case study: Iranian Caspian forests). Forestry Research and Engineering: International Journal, 2(2): 114-120.
- Mosadeghi, R., Warnken, J., Tomlinson, R. and Mirfenderesk, H., 2015. Comparison of AHP-Fuzzy and AHP in a spatial multi-criteria decision making model for urban land-use planning. Computer, Environment and Urban Systems, 49: 54-65.
- Nguyen, X.L., Chou, T.Y., Fang, Y.M., Lin, F.C., Van Hoang, T. and Huang, Y.M., 2017. Optimal site selection for land use planning: A comparison between two approaches of Fuzzy Analytical Hierarchy process and Fuzzy Analytic Network Process. Proceedings of The IRES International Conference. Hanoi, Vietnam, 25-26 Apr. 2017: 5p.
- Promentilla, M.A.B., Furuichi, T., Ishii, K. and Tanikawa, N., 2008. A fuzzy analytic network process for multi-criteria evaluation of contaminated site remedial countermeasures. Journal of Environmental Management, 88(3): 479-495.
- Rahdari, V., Soffianian, A., Pormanafi, S. and Maleki, S., 2019. Assessment of land forestry capability using multi criteria evaluation and fuzzy analytical hierarchy process method. Iranian Journal of Forest and Range Protection Research, 17(1): 26-39 (In Persian).
- Rahimi, V., Pourkhabbaz, H.R., Aghdar, H. and Mohammadyari, F., 2015. Comparison of fuzzy AHP buckley and ANP models in forestry capability evaluation (Case study: Behbahan city fringe). Iranian Journal of Applied Ecology, 4(13): 15-31 (In Persian).
- Rashidi, F. and Sharifian, Sh., 2019. Ecological potential assessment for forest plantation using ANP method (Case study: Arangeh Watershed, Alborz Province). Journal of Wood and Forest Science and Technology, 26(1): 49-64 (In Persian).
- Sagheb-Talebi, Kh., 2005. Rehabilitation of temperate forests in Iran: 448-460. In: Stanturf, J.A. and Madsen, P. (Eds.). Restoration of Boreal and Temperate Forests. CRC Press, Boca Raton, Florida, 569p.
- Svoray, T., Bar (Kutiel), P. and Bannet, T., 2005. Urban land-use allocation in a Mediterranean ecotone: Habitat heterogeneity model incorporated in a GIS using a multi-criteria mechanism. Landscape and Urban Planning, 72(4): 337-351.
- Wolfslehner, B., Vacik, H. and Lexer, M.J., 2005. Application of the analytic network process in multi-criteria analysis of sustainable forest management. Forest Ecology and Management, 207(1-2): 157-170.
- Yousefi, M., Pourmajidian, M. R., Karimi, M. and Darvishi, L., 2013. Quantitative and qualitative evaluation of forest plantations by four species and suggestion the appropriate species in the Hyrcanian forest. European Journal of Experimental Biology, 3(5): 352-360.
- Zamani, S., Pire Bavaghar, M., Shabanian, N. and Ghazanfari, H., 2014. Suitability analysis for plantation development (Case study: Sanandaj). Iranian Journal of Forest and Poplar Research, 22(1): 1-12 (In Persian).
- Zarinibahador, M., Nabiollahi, K. and Norouzi, M., 2015. Influence of different slope aspects on some soil properties and forest soils evolution (Case study: Rostam Abad region, Guilan Province). Journal of Water and Soil, 29(3): 648-662 (In Persian).

Evaluation and zoning for reforestation using the ANP fuzzy method (Case study: Saqezchichay Watershed, Ardabil, Iran)

F. Rashidi [1*] and D. Naseri [2]

1*- Corresponding author, Assistant Prof., Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran. E-mail: rashidi@rifr-ac.ir
2- Young Researchers and Elite Club, Ardabil Branch, Islamic Azad University, Ardabil, Iran

Received: 03.01.2020 Accepted: 05.04.2020

Abstract

Increasing the expansion of deforestation in forested areas and increasing soil erosion and sediment in downstream of watersheds there necessitates forest development in those areas. So, before any forestry project, site selection of prone areas and land capability evaluation should be considered. The aim of this research was to study forest expansion capability using multi-criteria evaluation method in Saqezchichay watershed located in Namin, Ardabil province. First, land use maps for years 1989 and 2019 were prepared using the Support Vector Machine algorithm (Kappa coefficient = 0.91 and overall accuracy = 95.5%). Then, the degraded forestlands were identified and introduced as priority sites for reforestation. In the next step, 12 criteria were weighted using Analytical Network Process and were transformed to the same scale using the Fuzzy method. Finally, all layers were overlaid by the WLC method and resulted in a forestry capability map. Results showed that 28.81 percent of this area have a high or very high potential for reforestation. Moreover, precipitation, temperature, and soil depth were recognized as the most important criteria. The integrated map of the current forest area and the potential map revealed 41.94 percent of the current forest area was in an area with high or very high potential class, whereas 41.1 percent was located in an area with a moderate potential class for forest expansion. Based on the results, the study area has the capability for forest expansion. In addition, the ANP Fuzzy approach was able to identify suitable areas that are appropriate for forest expansion.

Keywords: Forest expansion, land capability evaluation, multi-criteria evaluation, weighted linear combination.