نشریه حفاظت منابع آب و خاک، سال هشتم، شماره اول، پاییز ۱۳۹۷

ISSN 2251-7480

پتانسیل‌یابی اراضی مستعد کشت گردو در استان تهران با روش Fuzzy AHP

مسعود سلیمانی[۱] ، سعید حمزه[۲*] و رامین پاپی[۳]

۱) دانشجوی کارشناسی ارشد سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران

۲*) استادیار گروه سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران

۳) دانشجوی کارشناسی ارشد سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران

*** نویسنده و مسئول مکاتبات:** saeid.hamzeh@ut.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۶/۰۱ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۹/۱۳

چکیده

گردو به‌عنوان یکی از محصولات پربازده، نقش قابل توجهی در وضعیت اجتماعی و اقتصادی کشاورزان در بسیاری از مناطق کشور دارد و با توجه به بازده اقتصادی این محصول در سال‌های اخیر، شاهد افزایش چشمگیر سطح زیر کشت آن هستیم. درخت گردو بسیار به شرایط آب و هوایی وابسته است، بنابراین لازم است قبل از کشت آن که نیاز به سرمایه‌گذاری اولیه نسبتاً بالایی دارد، اقداماتی در خصوص شناسایی مناطق مناسب و مستعد کاشت صورت گیرد. لذا هدف از انجام پژوهش حاضر ارزیابی و شناسایی اراضی مستعد برای کاشت گردو در سطح کل استان تهران جهت حصول بازده تولید مطلوب می‌باشد. بدین‌منظور از پارامترهای اقلیمی (شامل دما، رطوبت نسبی، بارندگی و سرعت باد) مربوط به ۱۲ ایستگاه سینوپتیکی در داخل استان و ۸ ایستگاه در استان‌های مجاور با طول دوره آماری ۱۱ سال (۲۰۰۴ تا ۲۰۱۴ میلادی)، توپوگرافی و کاربری اراضی به‌منظور مکان‌یابی و پهنه‌بندی مناطق مستعد کشت گردوی ایرانی استفاده شده است. ابتدا از تمامی پارامترهای مورد نظر لایه اطلاعاتی رستری تولید شد. سپس با بررسی مطالعات پیشین و نظر کارشناسان در ارتباط با خصوصیات فیزیولوژیکی و نیازهای رویشی درخت گردو، آستانه‌های مطلوب و نامطلوب جهت رشد درخت تعیین و با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی و تهیه پرسشنامه میزان ارجحیت و تأثیرگذاری هریک از پارامترها محاسبه شد. در ادامه با استفاده از تابع عضویت فازی کلیه لایه‌های اطلاعاتی نرمال‌سازی شده و در نهایت از طریق ابزار هم‌پوشانی فازی در محیط نرم افزار ArcGis، نقشه پهنه‌بندی نهایی تهیه و استخراج گردید. مطابق با این نقشه، از میان کل اراضی استان تهران ۲۴۳۸۸۲/۹۵۶۲ هکتار معادل ۱۷/۸۲ درصد جهت کاشت گردوی ایرانی دارای استعداد بسیار مناسب می‌باشد. همچنین نتایج نهایی حاکی از آن است که از میان پارامترهای مؤثر بر رشد گردو سه عامل دما، رطوبت نسبی و جهت شیب از تأثیر و اهمیت ویژه‌ای برخوردار هستند.

کلید واژه‌ها: پارامترهای اقلیمی؛ پهنه‌بندی؛ سامانه اطلاعات جغرافیایی؛ فرآیند تحلیل سلسله مراتبی؛ گردوی ایرانی

مقدمه

گردو یکی از درختان مهم و ارزنده گروه پهن برگان است که گونه‌های مختلفی از آن در رویشگاه‌های وسیعی در دنیا و ایران به‌طور طبیعی روئیده و کاشته می‌شوند. گردو جزء درختان چند منظوره بوده و به لحاظ اقتصادی بسیار پراهمیت محسوب می‌شود. کشور ایران قسمتی از رویشگاه‌های وسیع گردو را شامل می‌شود به‌طوری‌که در برخی از کشورها گردو را با نام "گردوی ایرانی" نام می‌برند، زیرا ابتدا از ایران به خاور میانه و از آن‌جا به یونان و روم و سپس به انگلستان و بعد به امریکا برده شده است (طباطبایی و همکاران، ۱۳۷۷). درخت گردو متعلق به تیره Juglandaceae و جنس Juglans است

(European Atlas of Forest Tree Species 103). جنس Juglans شامل بیست و یک گونه است که از بین آن‌ها گردوی ایرانی بسیار مهم بوده و به‌صورت تجاری در بسیاری از کشورها پرورش داده می‌شود (جلیلی مرندی و حکیمی رضائی، ۱۳۸۰). تولید محصولات کشاورزی در سه دهه اخیر به‌طور جدی مورد توجه قرار گرفته و بیش‌ترین سهم را در صادرات غیرنفتی به خود اختصاص داده است (اداره کل آمار و اطلاعات، ۱۳۸۳ ـ ۱۳۸۶). لذا با توجه به اهمیت گردو به لحاظ غذایی و اقتصادی و پیرو مشکلات اخیر در بسیاری از مناطق کشور در رابطه با از بین رفتن و کاهش بازده درختان میوه خصوصاً درخت گردو بر اثر سرمازدگی، پتانسیل‌یابی اراضی بر اساس نیازهای اقلیمی و توپوگرافیکی گردو قبل از کاشت می‌تواند پشتیبان مدیران، مسئولین منابع طبیعی، کشاورزان و باغداران باشد. در مطالعه حاضر تلاش بر این است تا با به‌کارگیری سامانه اطلاعات جغرافیایی (*GIS*) و ابزارهای کاربردی آن و روش تحلیل سلسله مراتبی (*AHP*)، کل اراضی استان تهران را به لحاظ خصوصیات اقلیمی و توپوگرافیکی و کاربری مورد بررسی قرار داده و پهنه‌های مستعد و دارای پتانسیل برای کاشت و احداث باغات گردو شناسایی و استخراج گردند.

در این راستا فلاحتی و همکاران (۱۳۹۱) در قالب مطالعه‌ای، اراضی مستعد برای توسعه باغ‌های گردو در استان تهران را با استفاده از روش تلفیق بولین در محیط GIS و با تأکید بر عناصر اقلیمی و نیازهای رویشی در مراحل مختلف رشد گیاه شناسایی کردند. نتایج نشان داد که از میان کل اراضی استان تهران، ۲/۶۳۰۰۹۴ هکتار جهت توسعه باغات گردو مستعد می‌باشند. در پژوهشی دیگر حجازی‌زاده و همکاران (۱۳۹۲) با استفاده از پارامترهای اقلیمی و زمینی و روش تحلیل سلسله مراتبی اقدام به مکان‌یابی کشت زیتون در استان فارس نمودند که بر اساس نتایج حاصل از کار آن‌ها، ۳۵/۲۵ درصد از اراضی استان جهت کشت زیتون با استعداد بسیار مناسب شناسایی شدند. اشرفی و همکاران (۱۳۹۲) با هدف مکان‌یابی و پتانسیل‌یابی اراضی مستعد کشت عناب در استان خراسان جنوبی با تلفیق بکارگیری سنجش از دور و GIS و روش تحلیل سلسله مراتبی پژوهشی انجام دادند. که مطابق با نتایج آن‌ها حدود ۲۰ درصد از کل اراضی استان، جهت کاشت عناب دارای پتانسیل مناسب و بسیار مناسب شناسایی شدند. رشید سرخ آبادی و همکاران (۱۳۹۳) با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی فازی و بر اساس عوامل اقلیمی در یک دوره آماری ۱۰ ساله، اقدام به پهنه‌بندی زعفران در شهرستان تربت حیدریه نمودند. نتایج نشان دهنده این واقعیت بود که نقش هر یک از عناصر اقلیمی بارش، دما و تعداد ساعات آفتابی، متناسب با مراحل مختلف رشد، در مناطق مختلف شهرستان متفاوت بود و از کل مساحت شهرستان تربت حیدریه، ۴ درصد از اراضی دارای کیفیت بسیار مناسب برای کشت، ۵/۵۰ درصد دارای کیفیت مناسب، ۲۷ درصد دارای شرایط متوسط، ۸/۵ درصد ضعیف و حدود ۱۰درصد از اراضی منطقه را نقاط بسیار ضعیف در بر می‌گیرند.

کوراوند و همکاران (۱۳۹۴) مطالعه‌ای پیرامون مکان‌یابی زمین‌های مستعد برای کاشت بادام کوهی در شهرستان ایذه با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی و GIS انجام دادند. که در این مطالعه منطقه مورد نظر به لحاظ پارامترهای اقلیمی، توپوگرافیکی، زمین‌شناسی، ژئومورفولوژیکی و خصوصیات خاک شامل عمق و بافت مورد ارزیابی قرار گرفت و پیرو نتایج حاصل، ۳۷ درصد از اراضی شهرستان معادل ۸۱۴ هکتار جهت کاشت بادام بسیار مناسب شناسایی شدند. دیالمی و همکاران (۱۳۹۶) با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی تناسب اراضی استان بوشهر را برای کاشت نخل خرمای رقم کبکاب بر اساس معیارهای اقلیمی و خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد ارزیابی قرار دادند و پیرو نتایج حاصل از پژوهش آن‌ها ۷۵ درصد از اراضی منطقه مورد مطالعه در

استان بوشهر برای کاشت این نوع نخل، خیلی مناسب و در کلاس تناسب S1 و ۲۵ درصد نسبتاً مناسب بوده و در کلاس تناسب S2 قرار می‌گیرند. در مطالعاتی که تا کنون پیرامون پتانسیل‌یابی، مکان‌یابی و پهنه‌بندی مناطق مستعد جهت کشت درختان میوه صورت گرفته، توجه چندانی به حساسیت عامل دما در فرآیند رشد، رویش و بازده تولید محصول درختان مبذول نگردیده است. در واقع در این مطالعات از شاخص میانگین دمای سالیانه و یا ماهیانه برای بررسی تأثیرات عامل دما استفاده شده است که شاخص میانگین با سرشکن کردن داده‌ها هیچ‌گاه حالات بحرانی دما را در یک منطقه نشان نمی‌دهد، لذا در پژوهش حاضر با توجه به حساسیت فوق‌العاده زیاد درخت گردو به آستانه‌های دمایی، از شاخص آماری مد استفاده شده و حداکثر و حداقل دماهای ماهیانه ثبت شده در طول دوره آماری برای منطقه مورد مطالعه در طول فصول و ماه‌های مختلف از مراحل رویشی گیاه، در نظر گرفته و بررسی شده است. همچنین در این پژوهش تلاش بر این است تا ضمن پهنه‌بندی نواحی مستعد کشت گردو با روش تصمیم‌گیری چند معیاره AHP در محیط GIS، مناسب‌ترین روش درون‌یابی نیز جهت تولید نقشه پهنه‌بندی پارامترهای اقلیمی معرفی گردد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

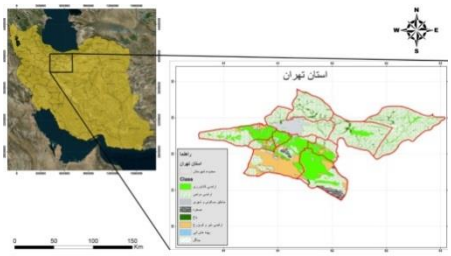
استان تهران به مرکزیت شهر تهران، با وسعتی حدود ۱۲۹۸۱ کیلومتر مربّع، بین ۳۴ تا ۳۶٫۵ درجه عرض شمالی و ۵۰ تا ۵۳ درجه طول شرقی واقع شده است. اقلیم استان تهران، نیمه‌خشک با متوسط بارندگی سالیانه حدود۲۴۰ میلی‌متر است. بیش‌ترین بارش سالیانه ۶۰۰ میلی‌متر، در کوهپایه‌های البرز و کم‌ترین بارش سالیانه ۶۰ میلی‌متر، در محدوده دشت ورامین گزارش شده است. منطقه مورد مطالعه جزئی از مناطق تابشی زیاد محسوب می‌شود که در فصول سرد سال خورشید مایل‌تر تابیده و طول روز کوتاه‌تر و در فصول گرم هم خورشید عمودی‌تر تابیده و طول روز طولانی‌تر می‌شود (علیجانی، ۱۳۷۴). منطقه مورد مطالعه در شکل ۱ نشان داده شده است.

در استان تهران به دلیل وجود تنوع ارتفاعی همواره با تنوع پارامترهای اقلیمی (نظیر دما، بارش و رطوبت نسبی) در مناطق مختلف سطح استان از فیروزکوه و دماوند گرفته تا محدوده دشت ورامین مواجه هستیم. به لحاظ ارتفاعی بیش‌ترین مساحت استان در طبقه ارتفاعی ۱۵۰۰–۱۰۰۰ متر واقع شده است. هم چنین به لحاظ شیب، بیش‌ترین مساحت استان در طبقات شیب ۲۰–۰ درصد قرار گرفته است (اشکال ۸ ـ۱ و ۸ ـ۲).

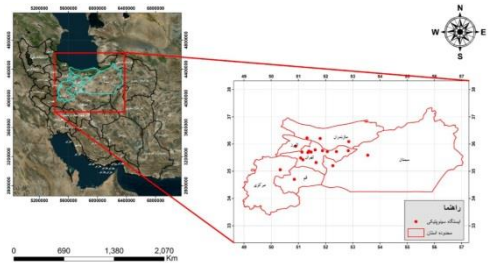
داده های مورد استفاده

در پژوهش حاضر جهت تولید نقشه‌های اقلیمی از داده‌های مربوط به ۱۲ ایستگاه سینوپتیکی واقع در استان تهران و هشت ایستگاه سینوپتیکی خارج از محدوده استان واقع در استان‌های مازندران، البرز، مرکزی، قم و سمنان به‌عنوان داده‌های کمکی و همچنین جهت حصول نتایج قابل اعتمادتر استفاده شده است (شکل ۲). سپس بازه زمانی ۱۱ ساله از ۲۰۰۴ تا ۲۰۱۴ (۱۳۹۳ ـ۱۳۸۳)، به دلیل اینکه تمامی ایستگاه‌ها تقریباً این بازه زمانی را پوشش می‌دادند، انتخاب شد و در نهایت خصوصیات و معیارهای اقلیمی در بازه زمانی مذکور مورد بررسی قرار گرفت. داده‌های اقلیمی ناقص موجود در سری زمانی تعیین شده با استفاده از روش تفاضل‌ها و نسبت‌ها مورد بازسازی قرارگرفت. لیستی از کلیه ایستگاه‌های سینوپتیکی مورد استفاده در جدول ۱ آورده شده است.

به‌منظور تولید نقشه‌های توپوگرافیکی شامل ارتفاع، شیب و جهت شیب از مدل ارتفاعی رقومی (*DEM*) ماهواره Aster با رزولوشن ۳۰ متر در محیط GIS و از طریق دستورات Slope و Aspect استفاده شد.



شکل ۱. منطقه مورد مطالعه (استان تهران)



شکل ۲. نقشه پراکنش مکانی ایستگاه‌های سینوپتیکی استفاده شده

جدول ۱. لیست ایستگاه‌های سینوپتیکی استفاده شده

موقعیت مکانی ـ استان	نام ایستگاه سینوپتیکی	شماره
تهران	آبعلی	۱
تهران	تهران ـ مهرآباد	۲
تهران	چیتگر	۳
تهران	دماوند	۴
تهران	دوشان تپه	۵
تهران	ژئوفیزیک	۶
تهران	تهران ـ شمال (شمیران)	۷
تهران	شهریار	۸
تهران	فرودگاه امام خمینی	۹
تهران	فیروزکوه	۱۰
تهران	فیروزکوه ـ آلودگی	۱۱
تهران	ورامین	۱۲
قم	قم	۱۳
البرز	کرج	۱۴
مرکزی	ساوه	۱۵
سمنان	سمنان	۱۶
سمنان	گرمسار	۱۷
مازندران	آلاشت	۱۸
مازندران	بلده	۱۹
مازندران	سیاه بیشه	۲۰

روش تحقیق

معیارهای مورد بررسی در این تحقیق، شامل چهار پارامتر اقلیمی (دما، بارش، رطوبت نسبی و سرعت باد)، سه پارامتر توپوگرافیکی (ارتفاع، شیب و جهت شیب) و کاربری اراضی می‌باشند. در این پژوهش با توجه به حساسیت زیاد درخت گردو به آستانه‌های دمایی (حداقل و حداکثر دما) در فصول و ماه‌های مختلف سال، لذا مراحل رویشی گیاه به شش مرحله به شرح زیر تفکیک شد و سپس آستانه‌های دمایی مناسب جهت رشد و بازده تولید مطلوب گیاه در این مراحل مورد بررسی قرار گرفت:

۱. مرحله جوانه‌زنی گیاه (فروردین ماه)
۲. مرحله گل‌دهی گیاه (اردیبهشت ماه)
۳. مرحله رشد میوه (ماه‌های خرداد، تیر، مرداد)
۴. مرحله رسیدن محصول (شهریور ماه)
۵. مرحله رسیدن شاخه‌ها و ریزش برگ‌ها (ماه‌های مهر و آبان)
۶. دوره استراحت یا خواب زمستانی گیاه (ماه‌های آذر، دی، بهمن، اسفند)

در ادامه جهت بررسی آستانه‌های دمایی در هر یک از مراحل رویشی گیاه، از شاخص‌های حداقل و حداکثر دما بنا به ضرورت به شرح زیر استفاده شد:

۱. حداقل و حداکثر دمای فروردین ماه
۲. حداقل دمای اردیبهشت ماه
۳. حداقل و حداکثر دمای خرداد، تیر، مرداد ماه
۴. حداقل و حداکثر دمای شهریور ماه
۵. حداقل دمای مهر ماه
۶. حداقل دمای آبان ماه
۷. حداقل دمای آذر، دی، بهمن، اسفند ماه

همچنین میانگین بارش تجمعی سالیانه، میانگین درصد رطوبت نسبی سالیانه و حداکثر سرعت باد ثبت شده در اردیبهشت ماه نیز جهت تصمیم‌گیری و انتخاب مناطق مستعد کشت گردو در نظر گرفته شدند. سپس از کلیه شاخص‌های اقلیمی فوق‌الذکر به تفکیک ایستگاه سینوپتیکی در محیط نرم افزار ArcGis لایه اطلاعاتی نقطه‌ای تولید شد. در ادامه با رجوع به کتب و مقالات علمی مرتبط، آستانه‌ها و نیازهای اقلیمی و توپوگرافیکی مناسب جهت رشد گردو شناسایی و استخراج گردید (در قسمت نتایج و بحث به‌طور کامل شرح داده شده است). جهت اعمال فرآیند هم‌پوشانی فازی در محیط GIS می‌بایستی کلیه‌ی لایه‌های اطلاعاتی در فرمت رستری باشند. لذا بدین‌منظور جهت پهنه‌بندی هر یک از شاخص‌های اقلیمی فوق و تولید لایه رستری از آن‌ها، روش‌های مختلف درون‌یابی مورد بررسی قرار گرفت و دقیق‌ترین روش متناسب با خصوصیات آماری هر یک از لایه‌ها تعیین و اعمال شد. مراحل کلی انجام پژوهش مطابق با شکل ۳ می باشد.

درون یابی

تهیه نقشه‌های پراکندگی و ادغام آن‌ها توسط روش‌های آمار فضائی و GIS در گرایش‌های مختلف علوم مکانی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار بوده و برای تهیه این نقشه‌ها از روش‌های درون‌یابی بهره می‌گیرند (قهرودی تالی، ۱۳۸۱). با توجه به اندازه‌گیری نقطه‌ای پارامترهای اقلیمی در ایستگاه‌های هواشناسی و عدم پوشش تمام سطح حوزه‌ها، لذا پیش‌بینی این نوع داده‌ها ضروری است. تکنیک‌های مختلفی جهت برآورد داده‌های اقلیمی در نقاط فاقد داده وجود دارد که یکی از آن‌ها استفاده از روش‌های درون‌یابی است. روش‌های درون‌یابی در منابع مختلف به شیوه‌های گوناگونی دسته‌بندی می‌شوند اما در یک دسته‌بندی کلی به روش‌های زمین آمار (نظیر کریجینگ) و قطعی (نظیر فاصله وزنی معکوس) تقسیم می‌شوند (https://www.esri.com). انتخاب نوع روش درون‌یابی تا حد زیادی به هدف کاربر و ماهیت مجموعه داده مورد استفاده بستگی دارد، در واقع برتری روش‌های درون‌یابی بر یکدیگر به لحاظ دقت، بر اساس هدف و نوع داده‌ای که در اختیار داریم مشخص

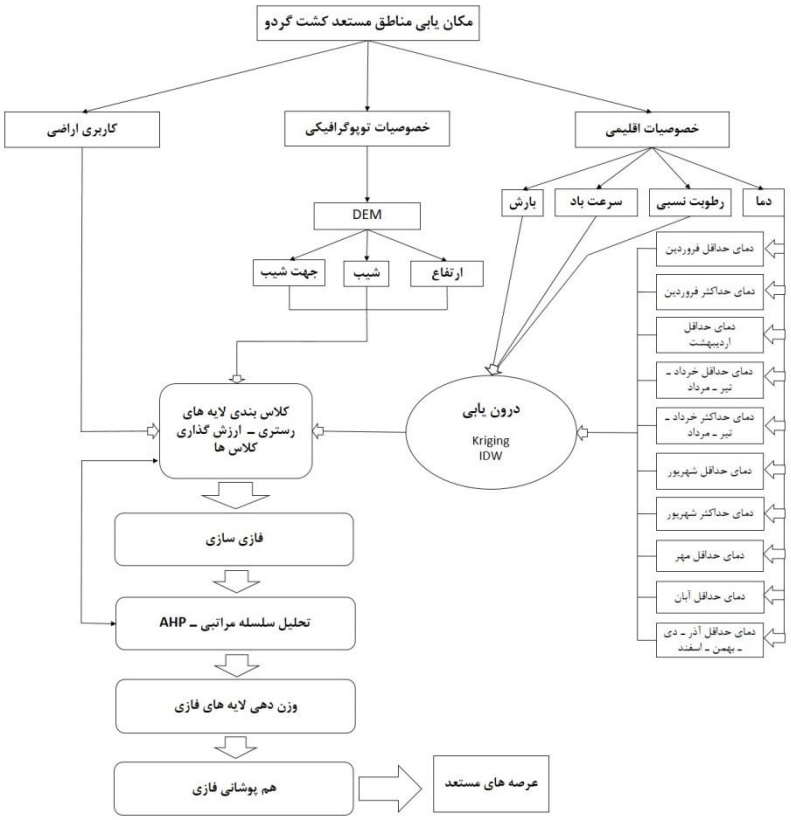
می‌شود. در مطالعات پیشین جهت تولید نقشه‌های پهنه‌بندی اقلیمی عموما از روش کریجینگ (*Kriging*) و فاصله وزنی معکوس (*IDW*) استفاده شده است. لذا در مطالعه حاضر جهت پهنه‌بندی پارامترهای اقلیمی و تولید لایه رستری از آن‌ها، دو روش کریجینگ و فاصله وزنی معکوس مورد بررسی قرار گرفت. دو الگوریتم درون‌یابی مذکور بسیار پیچیده و گسترده می‌باشند که شرح کامل آن‌ها از چارچوب این پژوهش خارج است و لذا به شرح خلاصه‌ای از کارایی و منطق اصلی آن‌ها در قالب موارد زیر بسنده می کنیم.

فاصله وزنی معکوس (*IDW*)

در روش IDW در فرآیند وزن‌دهی به همسایه‌های یک نقطه، فرض اساسی بر این است که نقاط نزدیک به هم دارای مقادیر نزدیک به هم هستند. بر اساس این فرض مطابق معادله ۱ نقاط با توجه به فاصله‌ای که نسبت به نقطه مجهول دارند وزن‌دهی می‌شوند، که این امر باعث می‌شود تا نقاطی که دورتر از نقطه مجهول قرار دارند، در تعیین مقدار نقطه، تأثیر کم‌تری داشته باشند (https://www.esri.com):

$$Z(S_O) = \sum_{i=1}^{N} \lambda_i Z(S_i) \qquad (۱)$$

که در این رابطه $Z(S_i)$، برابر با مقدار اندازه‌گیری شده در موقعیت i ام است، λ_i وزن مقدار اندازه‌گیری شده در موقعیت i ام است. S موقعیت پیش‌بینی و N تعداد نقاط اندازه‌گیری شده یا معلوم می‌باشد. λ_i تابعی از فاصله بین آن‌ها می‌باشد یا به‌عبارتی هرچه فاصله کم‌تر است، تأثیر نقطه مجهول بیش‌تر است، لذا معکوس فواصل بین آن‌ها به‌عنوان وزن در مدل به کار می‌رود.



شکل ۳. فلوچارت مراحل انجام پژوهش

کریجینگ (Kriging)

در این روش مقدار نقطه مجهول با استفاده از ترکیب خطی از نقاط مرجع دارای مقادیر معلوم که در همسایگی آن قرار دارند به‌دست می‌آید. تفاوت ماتریس وزنی که در این روش تعیین می‌شود با ماتریس وزنی که در روش IDW استفاده می‌شود، در این است که در ماتریس وزنی IDW فقط فاصله مؤثر است ولی در ماتریس وزنی این روش علاوه بر فاصله، روند موجود در مقادیر مربوط به نقاط مرجع (نقاط معلوم) یا همان همبستگی مکانی بین داده‌ها نیز در نظر گرفته می‌شود (https://www.esri.com).

از مهم‌ترین ویژگی‌های کریجینگ آن است که به ازای هر تخمین، خطای مرتبط با آن را نیز محاسبه می‌کند. که در روش‌های کلاسیک (مانند رگرسیون و فاصله وزنی معکوس) معمولاً این چنین نیست (حسنی پاک، ۱۳۸۶). کریجینگ یکی از روش‌های پیشرفته زمین آمار است که بر اساس تحلیل نیم تغییرنما (*Semi-Variogram*) استوار می‌باشد. نیم تغییرنما یکی از روش‌های محاسبه تغییرات مکانی است که هدف اصلی از برقرار کردن تابع آن، شناسایی ساختار تغییرپذیری متغیر نسبت به فاصله مکانی می‌باشد. معادله کلی الگوریتم کریجینگ برای برآورد مقادیر یک متغیر به‌صورت معادله ۲ بیان می‌شود (علوی‌پناه و همکاران، ۱۳۸۷):

$$Z^* = \sum_{i=1}^{n} w_i z(x_i) \qquad (۲)$$

که در این رابطه $z(x_i)$ برابر با میزان داده برآورد شده برای نقطه مجهول، w_i مجموعه‌ای از وزن‌هاست که به نحوی انتخاب می‌شوند تا $z(x_i)$ برآورد ناریب با حداقل خطای zx_i باشد و به صورت معادله ۳ محاسبه می‌شود:

$$\lambda_i = \frac{D^{-a}}{\sum_{i=1}^{n} D^{-a}} \qquad (۳)$$

در این رابطه a مقداری ثابت است که بین یک تا شش متغیر می‌باشد، n تعداد کل نقاط و D برابر با فاصله هر یک از نقاط است. برای تعیین میزان همبستگی مکانی یک متغیر در فواصل نمونه‌برداری شده و استخراج پارامترهای لازم در مراحل درون‌یابی از واریوگرام استفاده می‌شود (شعبانی و همکاران، ۱۳۹۰). برای محاسبه ضرایب کریجینگ که یک تخمین‌گر زمین آماری است، به محاسبه مقدار واریوگرام نیازمندیم که بدین‌منظور از انواع مدل‌های خطی، نمایی، گوسین و کروی استفاده می‌شود (حسنی پاک، ۱۳۸۶). واریوگرافی اولین قدم برای مدل‌سازی ساختار مکانی به‌منظور استفاده در کریجینگ است و واریوگرام از طریق معادله ۴ محاسبه می‌شود (Webster and Oliver, 2000):

$$\gamma(\mathrm{h}) = \frac{1}{2n(h)} \sum_{i=1}^{n(h)} [\mathrm{Z}(x_i) - \mathrm{Z}(x_{i+h})]^2 \qquad (۴)$$

که در آن $\gamma(\mathrm{h})$ مقدار نیم تغییرنما برای جفت نقاطی که به فاصله h از هم قرار دارند، n تعداد زوج نقاطی است که به فاصله h از یکدیگر قرار دارند، $\mathrm{Z}(x_i)$ مقدار مشاهده شده متغیر در نقطه x و $\mathrm{Z}(x_{i+h})$ مقدار مشاهده شده متغیری است که به فاصله h از x قرار دارد.

فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP)

به طور کلی فرآیند تحلیل سلسله مراتبی تکنیکی منعطف، ساده و قوی است که در شرایط تصمیم‌گیری که معیارهای تصمیم‌گیری متضاد، انتخاب بین گزینه‌ها را با مشکل مواجه می‌سازند، مورد استفاده قرار می‌گیرد. این روش امکان فرموله کردن مسئله را به‌صورت سلسله مراتبی فراهم و همچنین امکان در نظر گرفتن عوامل مختلف کمّی و کیفی را در حل مسائل دارا می‌باشد (Saaty, 1980). اولین مرحله در این الگوریتم ایجاد درخت‌واره سلسله مراتبی است. مدل AHP دارای سطوح سلسله مراتبی است. بالاترین سطح بیان کننده هدف تصمیم‌گیری، سطوح میانی معیار و زیرمعیارهای

تصمیم‌گیری و سطح آخر گزینه‌ها هستند. بعد از ایجاد ساختار سلسله مراتبی، اولویت عناصر در هر سطح تعیین می‌گردد (Raid *et al.*, 2011). اولویت عناصر نسبت به یکدیگر در رابطه با هدف از طریق تشکیل یک ماتریس مقایسه‌ای طبق ماتریس معادله ۵ محاسبه می‌شود (Galankashi *et al.*, 2016):

$$A=\begin{bmatrix}\frac{W_1}{W_1} & \cdots & \frac{W_1}{W_n}\\ \vdots & \ddots & \vdots\\ \frac{W_n}{W_1} & \cdots & \frac{W_n}{W_n}\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}a_{11} & \cdots & a_{1n}\\ \vdots & \ddots & \vdots\\ a_{n1} & \cdots & a_{nn}\end{bmatrix} \qquad (۵)$$

که در این معادله، A ماتریس مقایسه زوجی و aij بیانگر شدت برتری معیار i بر معیار j است. پس از تشکیل ماتریس مقایسات زوجی، می‌بایستی وزن پارامترها در هر سطح از ساختار سلسله مراتبی محاسبه گردد. بدین‌منظور روش‌های مختلفی نظیر حداقل مربعات، حداقل مربعات لگاریتمی، بردار ویژه و روش‌های تفریقی توسعه داده شده است. روش بردار ویژه، تکنیکی رایج جهت محاسبه وزن پارامترها از طریق یک ماتریس مقایسه زوجی است که در این روش، معیارها و زیرمعیارها دو به دو با یکدیگر مقایسه و درجه اهمیت هر معیار، نسبت به دیگری مشخص می‌شود (Malczewski, 2006). بعد از تعیین ضرایب اهمیت معیارها و زیرمعیارها، ضریب اهمیت گزینه‌ها با توجه به ارجحیت هر یک از گزینه‌ها در ارتباط با هر یک از زیرمعیارها، مورد قضاوت و داوری قرار می‌گیرد (Arbameri *et al*, 2014). در این حالت، قضاوت‌ها بر مبنای مقایسه زوجی و بر اساس مقیاس ۹ کمّیتی ساعتی صورت پذیرفته و نتیجه در ماتریس مقایسه زوجی معیارها، یا گزینه‌ها ثبت می‌شود. سپس از طریق نرمال کردن میانگین هندسی ردیف‌های این ماتریس‌ها، ضرایب اهمیت مورد نظر به دست می‌آید و در نهایت بردار نرمال وزن آن‌ها از طریق معادلات ۶ تا ۹ محاسبه می‌شود (Yan, *et al*., 2012):

$$M_i=\prod_j^n a_{ij}\,, i=1,2,3,\dots n \qquad (۶)$$

$$\overline{W}=\sqrt[n]{M_i} \qquad (۷)$$

$$\overline{W}=[\overline{W_1},\overline{W_2},\dots\overline{W_n}]^T \qquad (۸)$$

$$W_i=\frac{\overline{W_i}}{\sum_{j=1}^n \overline{W_j}} \qquad (۹)$$

در این معادلات Mi حاصل‌ضرب سطرهای ماتریس، $\overline{W}$ میانگین هندسی و Wi بیانگر وزن نرمال شده است. در مرحله بعد از طریق تلفیق ضرایب اهمیت مزبور، امتیاز نهایی هر یک از گزینه‌ها تعیین خواهد شد. برای این کار از اصل ترکیب سلسله مراتبی ساعتی که منجر به یک بردار اولویت با در نظر گرفتن همه قضاوت‌ها در تمامی سطوح سلسله مراتبی می‌شود استفاده خواهد شد (Moreno, 2005):

$$V_{ij}=j\sum_{k=1}^{n}\sum_{i=1}^{m}W_kW_i(g_{ij}) \qquad (۱۰)$$

در این معادله Vij امتیاز نهایی گزینه، W_k ضریب اهمیت معیار، Wi ضریب اهمیت زیرمعیار و gij امتیاز گزینه در ارتباط با زیرمعیار است. یکی از مزیت‌های این فرآیند امکان بررسی سازگاری در قضاوت‌ها برای تعیین ضریب اهمیت معیارها و زیرمعیارها است که قبل از آن می‌بایست بردار ضریب ویژه محاسبه شود (معادله ۱۱ و ۱۲):

$$W=[W_1,W_2,\dots W_n]^T \qquad (۱۱)$$

$$\lambda_{max}=\sum_{i=1}^{n}\frac{(AW)_i}{nW_i} \qquad (۱۲)$$

در این معادلات W بردار وزن نرمال و λ_{max} بردار مقادیر ویژه است. سپس ضریب ناسازگاری ازطریق تقسیم شاخص ناسازگاری به شاخص تصادفی بودن حاصل می‌شود (معادله ۱۳):

$$C.R.=\frac{C.I.}{R.I.} \qquad (۱۳)$$

در این معادله *C.R.* ضریب ناسازگاری، *C.I.* شاخص ناسازگاری و *R.I.* شاخص تصادفی بودن است. که *C.I.* از طریق معادله ۱۴ محاسبه می‌شود:

$$C.I.=\frac{\lambda_{max}-n}{n-1} \qquad (۱۴)$$

و در نهایت *R.I.* مطابق با جدول ۲ به دست می‌آید (Kaganski *et al.*, 2018):

جدول ۲. شاخص تصادفی بودن (R.I)

n	۳	۴	۵	۶
R.I.	۰/۵۱	۰/۸۹	۱/۱۲	۱/۲۵

n	۷	۸	۹	۱۰
R.I.	۱/۳۵	۱/۴۲	۱/۴۶	۱/۴۹

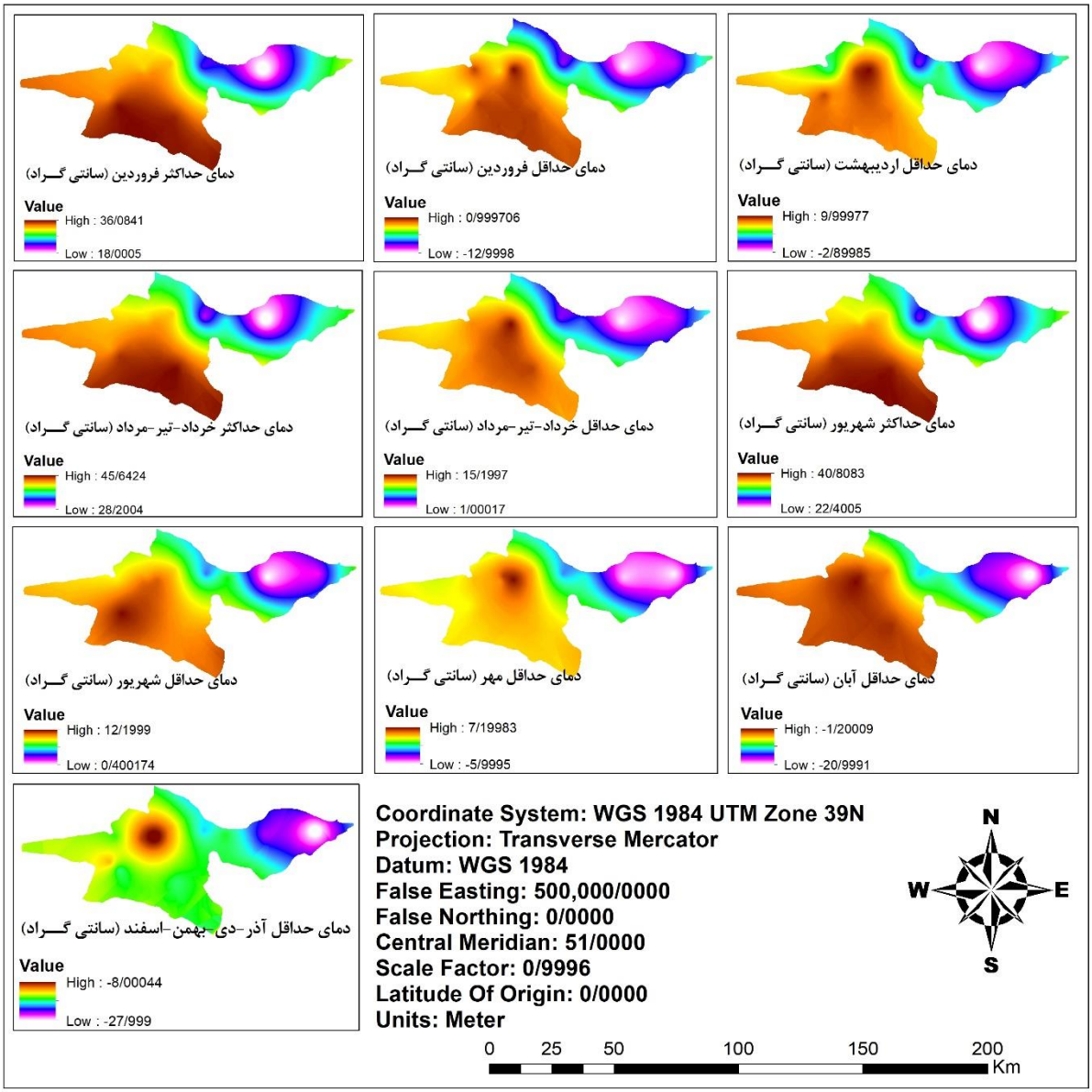
نتایج و بحث

نتایج مربوط به درون‌یابی و پهنه‌بندی

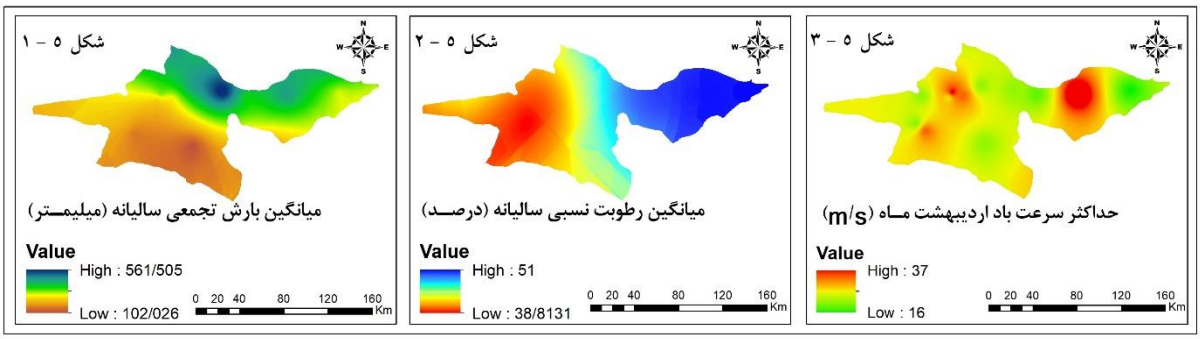
در مطالعه حاضر با استفاده از ابزار تجزیه و تحلیل زمین آمار (*Geostatistical Analysis*) در محیط GIS، کلیه‌ی لایه‌های نقطه‌ای مربوط به پارامترهای اقلیمی با سه روش کریجینگ ساده، معمولی و عام با مدل‌های سمی وریوگرام مختلف درون‌یابی شدند. سپس با استفاده از پارامتر مقدار مجذور میانگین مربع خطا (*RMSE*) که مهم‌ترین معیار جهت ارزیابی تخمین می‌باشد، نتایج حاصل مورد ارزیابی قرار گرفتند و در نهایت بهترین روش کریجینگ و بهترین مدل سمی وریوگرام متناسب با داده‌های اقلیمی مورد استفاده، با کم‌ترین RMSE نسبت به سایر روش‌ها انتخاب و درون‌یابی و پهنه‌بندی به وسیله آن انجام شد. تمامی پارامترهای اقلیمی مورد استفاده به جز سرعت باد، با روش کریجینگ عام و مدل‌های سمی وریوگرام مختلف درون‌یابی شدند. از آن‌جا که روند تغییرات سرعت باد منطقه‌ای است و در واقع نظیر ارتفاع، بارش و یا دما از روند تغییرات تدریجی برخوردار نیست و همچنین به دلیل ماهیت آماری داده‌های مربوط به سرعت باد در این پژوهش که از واریانس و انحراف معیار بالا و در مقابل همبستگی اندکی برخوردار هستند، لذا در فرآیند درون‌یابی این پارامتر، هیچ کدامیک از روش‌های کریجینگ با مدل‌های سمی وریوگرام مختلف نتایج قابل قبول و دقیقی را نشان ندادند (به دلیل میزان RMSE بالا). با توجه به پیش فرض موجود در رابطه با هر یک از دو روش درون‌یابی مذکور، در روش IDW فقط عامل فاصله بین نقاط معلوم و مجهول حائز اهمیت است و همبستگی بین داده‌ها مطرح نیست. لذا این روش برای درون‌یابی داده‌های سرعت باد به کار گرفته شد و در نهایت نتیجه بسیار مطلوب‌تری را نسبت به درون‌یابی با روش کریجینگ به همراه داشت. سطح درون‌یابی شده حاصل، روند تغییرات مقادیر سرعت باد در کل منطقه را به خوبی نشان می‌دهد. نتایج حاصل از بررسی الگوریتم‌های درون‌یابی زمین آمار و قطعی جهت انتخاب بهترین روش با توجه به نوع داده در این پژوهش، در جدول ۳ خلاصه شده است. شایان ذکر است که به دلیل تعدد ایستگاه‌های سینوپتیکی انتخاب شده و پراکنش مکانی مناسب آن‌ها در سرتاسر منطقه مورد مطالعه (شکل ۲)، نقشه‌های پهنه‌بندی حاصل از دقت خوبی برخوردار بوده و نتایج تا حد انتظار به واقعیت نزدیک است (اشکال ۴ و ۵).

جدول ۳. نتایج حاصل از ارزیابی دقت روش کریجینگ

پارامتر اقلیمی	روش درون‌یابی	مدل درون‌یابی	مدل سمی وریوگرام	RMSE
بارش تجمعی سالیانه	کریجینگ	عام	نمائی	۰/۹۵
دمای حداقل و حداکثر ماهیانه	کریجینگ	عام	نمائی	۰/۸۲
میانگین درصد رطوبت نسبی سالیانه	کریجینگ	عام	گوسین	۰/۷۹
حداکثر سرعت باد	IDW	–	–	–



شکل ۴. نقشه‌های پهنه‌بندی حداقل و حداکثر دمای ماهیانه به تفکیک مراحل رشد گردو در دوره آماری ۲۰۱۴ – ۲۰۰۴ با استفاده از روش درون‌یابی کریجینگ



شکل ۵. نقشه‌های پهنه‌بندی: ۱. میانگین بارش تجمعی سالیانه در دوره آماری ۲۰۱۴ – ۲۰۰۴ با استفاده از روش درون‌یابی کریجینگ، ۲. میانگین درصد رطوبت نسبی سالیانه در دوره آماری ۲۰۱۴ – ۲۰۰۴ با استفاده از روش درون‌یابی کریجینگ و ۳. حداکثر سرعت باد در اردیبهشت ماه با استفاده از روش IDW

طبقه‌بندی و وزن‌گذاری لایه‌های اطلاعاتی

پارامترهای اقلیمی

۱. دما

به‌طور کلی اگر چه بشر توانایی تغییر دادن آب و هوای یک منطقه را ندارد ولی با آگاهی از نحوه خسارت سرمای منطقه به درختان گردو در سال‌های قبل، می‌تواند با انتخاب صحیح محل احداث باغ گردو و اتخاذ تدابیر پیش‌گیری کننده، به مقدار زیادی از خسارت سرما بکاهد. دما، سرمای زمستانه و بهاره، بارندگی و گرمای تابستان از عوامل اقلیمی مهمی هستند که می‌بایست در انتخاب محـل کاشت درختان گردو به این عوامل توجه داشت (طباطبایی و همکاران، ۱۳۷۷). به‌طور کلی گردوی ایرانی بهترین سازگاری را با شرایط آب و هوای مدیترانه‌ای دارد یعنـی تابستان‌های گرم و خشک و زمستان‌های معتدل را می‌پسندد. درخت گردو در طول فصول مختلف سال نسبت به گرما و سرمای بیش از حد حساس بوده و به‌طور کلی دما به‌عنوان یک عامل محدودکننده در رشد و بازده تولید گردو به‌حساب می‌آید. لذا بدین‌منظور در پژوهش حاضر جهت شناسایی مناطق مستعد کشت گردو در استان تهران با استفاده از شاخص مد و استخراج حداقل و حداکثر دماهای ثبت شده در طول دوره آماری ۲۰۱۴ – ۲۰۰۴ توسط ایستگاه‌های سینوپتیکی انتخاب شده، بحرانی‌ترین دماهای حداقل و حداکثر رخ داده در مناطق گوناگون واقع در سطح استان در مراحل مختلف از رشد گردو مد نظر قرار گرفته است و سپس بر اساس نیازهای دمایی گردو در مراحل مختلف رشد آن، تمامی لایه‌های اطلاعاتی تولید شده مربوط به آستانه‌های دمایی، به‌شرح زیر کلاس‌بندی و با استفاده از مقیاس ۹ کمّیتی ساعتی اهمیت‌بندی شدند (زبردست، ۱۳۸۰):

جدول ۴. مقیاس نه کمّیتی ساعتی

تعریف	میزان اهمیت
فاقد اهمیت	۱
اهمیت برابر تا متوسط	۲
اهمیت متوسط	۳
اهمیت متوسط تا قوی	۴
اهمیت قوی	۵
اهمیت قوی تا بسیار قوی	۶
اهمیت بسیار قوی	۷
اهمیت بسیار قوی تا فوق العاده قوی	۸
اهمیت فوق العاده قوی	۹

۱– ۱. دمای حداقل فروردین ماه

فروردین ماه مرحله شروع رشد و جوانه‌زنی گیاه می‌باشد، سرمای ۲– تا ۳– درجه سانتی‌گراد در این مرحله موجب از بین رفتن برگ‌ها، شاخه‌ها و گل‌ها شده و در نتیجه سبب وارد آمدن خسارات جدی به درخت و کاهش محصول آن می‌شود (جلیلی مرندی و حکیمی رضائی، ۱۳۸۰). بر اساس موارد ذکر شده لایه پهنه‌بندی شده مربوط به حداقل دمای فروردین ماه به شش کلاس طبقه‌بندی شده و به مناطق دارای دماهای بالاتر از آستانه ۳– درجه سانتی‌گراد (گرم‌تر) ارزش وزنی بالاتر و به مناطق دارای دماهای پائین‌تر از ۳– درجه به مراتب ارزش وزنی کم‌تری اختصاص داده شد (شکل۶ –۱).

۱ ـ ۲. دمای حداکثر فروردین ماه

همان‌طور که در مورد قبل ذکر شد فروردین ماه مرحله جوانه‌زنی گیاه می‌باشد لذا در این مرحله جهت رشد مطلوب گیاه و آسیب نرسیدن به جوانه‌ها، دما نبایستی خیلی بالا و خیلی پائین باشد. بر این اساس در روند کلاس‌بندی به مناطق دارای دماهای خیلی بالا ارزش وزنی کم و به مناطق دارای دماهای متعادل ارزش به مراتب بالاتری اختصاص داده شد (شکل ۶ –۲).

۱ ـ ۳. دمای حداقل اردیبهشت ماه

اردیبهشت ماه مرحله گل‌دهی گیاه می‌باشد. سرمای بهاره می‌تواند در بسیاری از درختان میوه من جمله گردو باعث ایجاد خسارت شود. بنابراین با توجه به اینکه لایه حاضر مربوط به حداقل دماهای ثبت شده در منطقه مورد مطالعه در طول دوره آماری ۲۰۱۴ – ۲۰۰۴ می‌باشد و همچنین دمای خیلی پائین در این مرحله از رشد درخت باعث آسیب دیدن گل‌ها و به تبع آن کاهش بازده درخت می‌شود که اصطلاحاً به آن سرمازدگی گفته می‌شود. لذا در فرآیند کلاس‌بندی این لایه به پهنه‌های دارای دماهای بالاتر ارزش وزنی بیش‌تری نسبت به پهنه‌های دارای دمای کم‌تر، اختصاص داده شد (شکل ۶ –۳).

۱ ـ ۴. دمای حداقل خرداد ـ تیر ـ مرداد

دمای پائین در این مرحله از رشد گردو مناسب نیست زیرا موجب می‌شود میوه‌ها به اندازه کافی پر نشوند و از طرفی هوای خنک در طی فصل رشد، برداشت محصول را به تأخیر انداخته و در نتیجه باغداران متضرر می‌شوند، بنابراین هوای خنک و فصل رشد کوتاه از عوامل محدودکننده در پرورش گردو به شمار می‌روند (جلیلی مرندی و حکیمی رضائی، ۱۳۸۰). همچنین دمای کم‌تر از حد اعتدال در این مرحله سبب نارس باقی ماندن و کاهش کیفیت مغز گردو می‌شود (طباطبایی و همکاران، ۱۳۷۷). دما در طی فصول رشد گردو باید بیش تر از ۱۰ درجه سانتی‌گراد باشد (Barengo, 2001; Mohni *et al.*, 2009). بر اساس موارد فوق و با توجه به اینکه لایه حاضر مربوط به حداقل دماهای ثبت شده برای این مرحله از رشد درخت می‌باشد لذا پهنه‌هایی از منطقه مورد مطالعه که در طول دوره آماری دمای بالاتری برای آن‌ها ثبت شده است برای ما از ارزش بیش‌تری برخوردار هستند و در فرآیند کلاس‌بندی و وزن‌دهی، ارزش وزنی بیش‌تری به آن‌ها نسبت داده شد (شکل ۶ –۴).

۱ ـ ۵. دمای حداکثر خرداد ـ تیر ـ مرداد

درخت گردو در طول تابستان به گرمای بیش از اندازه، حساس است و دمای بالاتر از ۳۸ درجه سانتی‌گراد موجب آفتاب سوختگی پوست سبز و چروکیدگی مغز گردو می‌شود و گاهی اوقات نیز میوه‌ها پوک می‌شوند (طباطبایی و همکاران، ۱۳۷۷؛ جلیلی مرندی و حکیمی رضائی، ۱۳۸۰). بر این اساس لایه مربوطه به‌صورت شکل ۶ –۵ کلاس بندی و وزن‌گذاری شد.

۱ ـ ۶. دمای حداقل شهریور ماه

شهریور ماه مرحله رسیدن میوه گردو می‌باشد. در این مرحله برای رسیدن محصول می‌بایستی دمای محیط در طول چندین هفته قبل از برداشت بین ۲۷ تا ۳۲ درجه سانتی‌گراد باشد، دماهای پائین در این مرحله باعث به تعویق افتادن زمان برداشت محصول و چروکیده شدن مغز گردو می‌گردد (طباطبایی و همکاران، ۱۳۷۷؛ جلیلی مرندی و حکیمی رضائی، ۱۳۸۰). بنابراین جهت طبقه‌بندی و وزن‌دهی دماهای مختلف در این مرحله، به مناطقی که دارای حداقل دمای کم‌تری هستند (مناطق گرم‌تر) نسبت به مناطق دارای حداقل دمای بالاتر (سردتر) ارزش وزنی بیش‌تری اختصاص داده شد (شکل ۶ –۶).

۱ ـ ۷. دمای حداکثر شهریور ماه

همانطور که شرح داده شد در این مرحله از رشد گردو دماهای بالاتر از ۳۸ درجه سانتی گراد به‌عنوان عامل محدودکننده محسوب می‌شود و باعث آفتاب سوختگی پوست سبز و پوک شدن میوه‌ها و سیاه شدن مغز گردو می‌شود که اصطلاحاً به آن بادزدگی گفته می‌شود. شرایط و آستانه‌های ذکر شده برای گونه گردوی ایرانی می‌باشد و اثر درجه حرارت بالا بر روی گونه‌های مختلف گردو متفاوت است (طباطبایی و همکاران، ۱۳۷۷؛ جلیلی مرندی و حکیمی رضائی، ۱۳۸۰). با استناد به موارد فوق لایه مربوط به دمای حداکثر شهریور ماه مطابق با شکل ۶ –۷ کلاس‌بندی و وزن‌گذاری شد. در فرآیند طبقه‌بندی به

مناطق دارای دمای کم‌تر از ۲۵ درجه سانتی‌گراد و مناطق دارای دمای بالاتر از ۳۸ درجه سانتی‌گراد ارزش وزنی ۱ نسبت داده شد و به سایر کلاس‌های دمایی بین دو حد آستانه ذکر شده، بر اساس اهمیت آن‌ها ارزش وزنی مناسب اختصاص داده شد.

۱ ـ ۸. دمای حداقل مهرماه

مهر ماه مرحله رسیدن شاخه‌ها، زرد شدن و ریزش برگ‌ها می‌باشد. دماهای پائین تر از ۳- درجه سانتی‌گراد در این مرحله به شاخ و برگ درخت آسیب وارد می‌کند (جلیلی مرندی و حکیمی رضائی، ۱۳۸۰). لذا در روند طبقه‌بندی این لایه به مناطق دارای دماهای بالاتر از آستانه ۳- درجه سانتی‌گراد ارزش وزنی بیش‌تر و به مناطق دارای دماهای پائین‌تر از ۳- درجه سانتی‌گراد، ارزش وزنی به مراتب کم‌تری نسبت داده شد (شکل ۶ –۸).

۱ ـ ۹. دمای حداقل آبان ماه

درخت گردو در طی فصول پائیز (اواخر پائیز) و زمستان نسبت به سرمای بیش از حد حساس است. برخی از گونه‌های گردو نظیر گردوی ایرانی در این فصول می‌توانند تا دمای حداکثر ۱۱- درجه سانتی‌گراد را تحمل کنند (طباطبایی و همکاران، ۱۳۷۷؛ جلیلی مرندی و حکیمی رضائی، ۱۳۸۰؛ Mohni *et al.*, 2009). لذا جهت طبقه‌بندی این لایه به پهنه‌های دارای دماهای سردتر، ارزش وزنی کم‌تر و به پهنه‌های دارای دماهای گرم‌تر ارزش وزنی بالاتری اختصاص داده شد (شکل ۶ –۹).

۱ ـ ۱۰. دمای حداقل آذر – دی – بهمن – اسفند

گردو نیز مانند سایر میوه‌های مناطق معتدله در دوره استراحت و خواب زمستانه به مقدار سرمای معینی نیاز دارد تا خواب آن برطرف شود که به این ترتیب در فصل بهار رشد رویشی و گلدهی کافی خواهد داشت. در صورت عدم وجود سرمای کافی، باز شدن جوانه‌ها و گلدهی در فصل بهار نامنظم شده و به تاخیر می‌افتد و این امر موجب کاهش محصول و خشک شدن سرشاخه‌های درخت می‌شود. نیاز سرمایی ارقام مختلف گردو متفاوت است و از ۴۰۰ الی ۱۶۰۰ ساعت متغیر می‌باشد. بنابراین اغلب تولید گردو در مناطقی از ایران است که نیاز سرمایی درختان برطرف می‌شود. اگر نیاز سرمایی گردو به‌علت زمستان گرم تأمین نشود، درختان تا اواخر خرداد خواب می‌مانند و چون در این حالت جوانه به اندازه کافی رشد نمی‌کند، محصول کافی تولید نخواهد شد. گونه‌های معمولی گردو در طول دوره خواب زمستانه، می‌توانند سرمای ۱۱- درجه سانتی‌گراد را بدون هیچ گونه خسارت جدی تحمل کنند (جلیلی مرندی و حکیمی رضائی، ۱۳۸۰). معمولاً درختان گردو سرما را تا ۲۵- الی ۳۰- درجه سانتی‌گراد در دوره خواب زمستانه تحمل می‌کنند اما برخی از گونه‌های مقاوم به سرما نظیر براودویو (*Broad View*) دمای ۳۷- تا ۴۰- درجه سانتی‌گراد را نیز می‌توانند تحمل کنند (طباطبایی و همکاران، ۱۳۷۷). بنابراین جهت کلاس‌بندی و ارزش‌گذاری کلاس‌های این لایه، به دماهای بالاتر از ۱۱- درجه (گرم‌تر) بالاترین ارزش وزنی و به مناطق دارای دماهای پائین‌تر از آستانه ۱۱- درجه، ارزش وزنی به مراتب کم‌تری نسبت داده شد (شکل ۶ –۱۰).

۲. رطوبت نسبی

رطوبت نسبی هوا در بسیاری از موارد سبب شادابی، طراوت و آزادی رشد درختان گردو می‌شود و انجام وظایف فیزیولوژیکی گیاه مانند عمل کربن‌گیری، تنفس، تبخیر و تعرق را تنظیم و تسهیل می‌نماید. درختان گردو در هنگام کافی بودن رطوبت هوا می‌توانند بدون نیاز به نشان دادن واکنش‌های دفاعی و مبارزه‌ای، به رشد آزاد و معمولی خود ادامه دهند. خشکی هوا سبب کوتاهی و رطوبت باعث طولانی شدن دوره رشد درختان گردو می‌گردد. از طرفی هنگامی که رطوبت نسبی هوا بالا باشد به دلیل کاهش تبخیر نیاز به آبیاری درخت گردو نیز کاهش می‌یابد (طباطبایی و همکاران، ۱۳۷۷). دما با رطوبت نسبی رابطه عکس دارد. در رطوبت نسبی کم و

دمای بالاتر از ۴۰ درجه سانتی‌گراد به گردو خسارات جدی وارد می‌شود (جلیلی مرندی و حکیمی رضائی، ۱۳۸۰). با توجه به موارد فوق لایه مربوط به میانگین درصد رطوبت نسبی سالیانه به صورت جدول ۵ و شکل ۷ ـ۱ کلاس‌بندی و هر کلاس نیز ارزش گذاری شد.

جدول ۵. وزن‌گذاری نقشه میانگین درصد رطوبت نسبی

میانگین رطوبت نسبی سالیانه (درصد)	ارزش وزنی
< ۴۰	۱
۴۰ – ۴۳	۲
۴۳ – ۴۵	۳
۴۵ – ۴۸	۴
> ۴۸	۵

۳. بارندگی

در صورتی که میزان بارندگی سالیانه حدود ۸۰۰ میلی‌متر باشد می‌توان درخت گردو را با موفقیت کاشت ولی لازم به ذکر است که در مناطق خشک‌تر و با میزان بارندگی کم‌تر آبیاری تکمیلی نیز ضروری است. در شرایط آب و هوایی بسیار خشک احتمال دارد که درختان رشد مطلوبی داشته باشند ولی میوه‌ها به خوبی پر نمی‌شوند (جلیلی مرندی و حکیمی رضائی، ۱۳۸۰). برای کاشت موفق درختان گردو سالیانه بین ۵۰۰ تا ۷۰۰ میلی‌متر بارندگی لازم است (Mohni *et al.*, 2009). لذا با توجه به استانداردهای فوق لایه میانگین بارش تجمعی سالیانه مطابق با جدول ۶ و شکل ۷ ـ۲ کلاس‌بندی شد و به مناطق دارای بارندگی سالیانه بیش‌تر، ارزش وزنی بالاتری نسبت داده شد.

جدول ۶. وزن‌گذاری نقشه میانگین بارش تجمعی سالیانه

میانگین بارش تجمعی سالیانه (میلی‌متر)	ارزش وزنی
< ۱۵۰	۱
۱۵۰ – ۳۰۰	۳
۳۰۰ – ۴۵۰	۴
> ۴۵۰	۵

۴. سرعت باد

وزش بادهای شدید به علت کاهش سریع رطوبت، زخمی کردن و شکستن شاخه‌ها خسارات زیادی را به درختان گردو وارد می‌کند. ولی بادهای ملایم و فصلی به‌ویژه در هنگام باز شدن گل‌های نر گردو (در اردیبهشت ماه) از نظر کمک به گرده افشانی بسیار حائز اهمیت می‌باشند (طباطبایی و همکاران، ۱۳۷۷). بر این اساس در پژوهش حاضر جهت تشخیص مکان‌های مستعد برای کشت گردو در استان تهران، شاخص اقلیمی حداکثر سرعت باد در طول دوره آماری ۲۰۱۴ – ۲۰۰۴ در اردیبهشت‌ماه در نظر گرفته شد و کلاس‌بندی و ارزش‌گذاری کلاس‌های این لایه اطلاعاتی به صورت جدول ۷ و شکل ۷ ـ۳ صورت گرفت.

جدول ۷. وزن‌گذاری نقشه حداکثر سرعت باد

حداکثر سرعت باد اردیبهشت ماه (m/s)	ارزش وزنی
۱۶ – ۱۹	۷
۱۹ – ۲۲	۶
۲۲ – ۲۵	۵
۲۵ – ۲۸	۴
۲۸ – ۳۱	۳
۳۱ – ۳۴	۲
> ۳۴	۱

پارامترهای توپوگرافیکی

۱. ارتفاع

با توجه به ویژگی‌های فیزیولوژیکی و میزان سازگاری برای کشت گردو، طبقه‌های ارتفاعی ۷۵۰ – ۰ متر

نامناسب، ۱۵۰۰ – ۷۵۰ متر مناسب و ۲۰۰ – ۱۵۰۰ متر خیلی مناسب شناسایی شدند و طبقات ارتفاعی بالاتر از ۲۰۰۰ متر نیز به دلیل محدودیت‌های موجود در رابطه با احداث باغ و همچنین عامل سرمازدگی، برای کشت گردو نامناسب شناسایی شدند (جلیلی مرندی و حکیمی رضائی، ۱۳۸۰؛ فلاحتی و همکاران، ۱۳۹۱). لذا بر این اساس لایه ارتفاع به صورت جدول ۸ و شکل ۸ ـ۱ کلاس‌بندی و وزن‌گذاری شد.

جدول ۸. وزن‌گذاری نقشه طبقات ارتفاعی

طبقه ارتفاعی (متر)	ارزش وزنی
< ۱۰۰۰	۲
۱۰۰۰ – ۱۵۰۰	۳
۱۵۰۰ – ۲۰۰۰	۵
> ۲۰۰۰	۱

۲. شیب

براساس نقشه شیب منطقه، زمین‌های با شیب بین صفر تا ۲۰ درصد، به عنوان زمین‌های بسیار مناسب و زمین‌های با شیب بین۲۰ تا ۳۰ درصد، به‌عنوان زمین‌های مناسب در نظر گرفته شدند. زمین‌های با شیب بالای ۳۰ درصد، به‌دلیل عدم توجیه اقتصادی برای احداث باغ، مشکل بودن عملیات زراعی مانند آبیاری، شخم، برداشت محصول و همچنین مسائل مربوط به حفاظت خاک، به‌عنوان زمین‌های نامناسب شناخته شدند (فلاحتی و همکاران، ۱۳۹۱). بر اساس موارد فوق و نظر کارشناسان لایه شیب مطابق با جدول ۹ و شکل ۸ ـ۲ کلاس‌بندی و ارزش‌گذاری شد.

جدول ۹. وزن‌گذاری نقشه طبقات شیب

طبقات شیب (درصد)	ارزش وزنی
۰ – ۲۰	۵
۲۰ – ۳۰	۳
> ۳۰	۱

۳. جهت شیب

به‌طور کلی شیب‌های شمالی در مقایسه با شیب‌های جنوبی جهت کاشت گردو مناسب‌تر هستند. در شیب‌های شمالی، رشد درختان میوه به علت خنک بودن هوا نسبت به شیب‌های جنوبی دیرتر آغاز می‌شود. تعرق درختان در شیب‌های شمالی به‌طور محسوس کم‌تر از شیب‌های جنوبی بوده و خاک نیز رطوبت خود را به کندی از دست می‌دهد (جلیلی مرندی و حکیمی رضائی، ۱۳۸۰). شیب‌های شمالی یا شرقی در مقایسه با شیب‌های جنوبی و غربی کم‌تر به خشکی گرایش دارند و اصطلاحا مرطوب‌تر هستند و جهت کاشت گردو مناسب‌تر می‌باشند (Parker *et al.*, 1992). با توجه به موارد فوق لایه جهت شیب مطابق با جدول ۱۰ و شکل ۸ ـ۳ کلاس‌بندی و ارزش‌گذاری شد.

جدول ۱۰. وزن گذاری نقشه جهت شیب

جهت شیب	ارزش وزنی
شمالی	۷
شرقی	۵
جنوبی	۱
غربی	۱
شمال شرقی	۴
جنوب شرقی	۲
شمال غربی	۳
جنوب غربی	۱

کاربری اراضی

با توجه به اینکه لایه کاربری اراضی در فرمت برداری (*Vector*) و به‌صورت توصیفی و کیفی می‌باشد لذا جهت اعمال محاسبات ریاضیاتی بر روی آن، می بایستی با استفاده از روشی آن را طبقه‌بندی و ارزش‌گذاری کرد. بدین منظور مطابق با روش AHP و از طریق مقایسات زوجی زیرکلاس‌های این لایه، میزان اهمیت و تأثیرگذاری (ارزش وزنی) هر زیرکلاس نسبت به سایر زیرکلاس‌ها و نیز هدف، محاسبه شد (جدول ۱۱). سپس وزن محاسبه

شده برای هر کلاس به مساحت مربوط به آن در لایه کاربری اراضی نسبت داده شد (شکل ۹). پس از انجام مقایسات زوجی از طریق روش AHP، از میان کلاس‌های کاربری اراضی استان تهران بنا بر نظر کارشناسان، دو کلاس باغ و اراضی کشاورزی به ترتیب بیش‌ترین ارزش وزنی را به خود اختصاص دادند و جهت کشت گردو این دو کاربری در اولویت ارجح نسبت به سایر کلاس‌ها قرار گرفتند.

فازی‌سازی لایه‌های اطلاعاتی

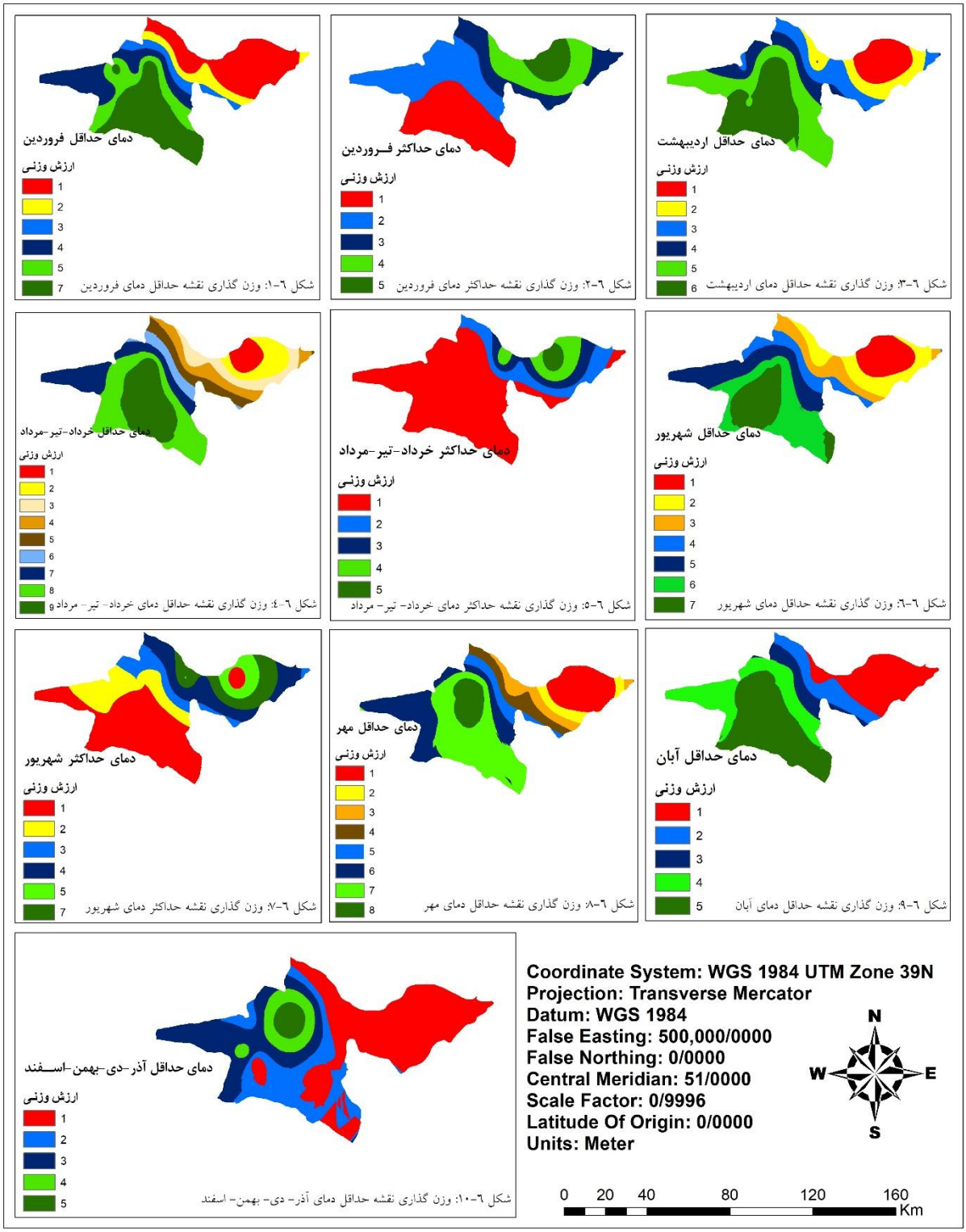
مرحله تعریف مجموعه فازی برای متغیرهای ورودی را اصطلاحا فازی‌سازی گویند. فازی‌سازی یعنی قرار دادن ورودی‌ها و معیارها از هر دامنه عددی در دامنه بین صفر تا یک.هر دامنه عددی موجود در لایه‌های ورودی را می‌توان بر اساس توابع مورد نظر به صورت فازی نرمال‌سازی کرد که انتخاب این اعداد و طبیعتاً انتخاب نوع تابع فازی‌سازی براساس هدف پروژه و نوع تأثیری که متغیر مورد استفاده در هدف نهایی پروژه دارد تعیین می‌گردد (https://www.esri.com). به‌طور کلی عملیات فازی‌سازی به واسطه چندین تابع نظیر خطی و گوسین صورت می‌گیرد. در پروژه حاضر با توجه به هدف و همچنین ماهیت هر کدام از لایه‌های اطلاعاتی، جهت نرمال‌سازی آن‌ها از تابع خطی استفاده شد. پیش‌زمینه اعمال توابع فازی‌سازی این است که لایه اطلاعاتی ابتدا کلاس‌بندی و ارزش‌گذاری شود که این کار در مرحله قبل بر روی کلیه لایه‌ها اعمال شد. در ادامه جهت فازی‌سازی کلیه لایه‌های اطلاعاتی رستری کلاس‌بندی شده، در محیط نرم‌افزار GIS، ابزار عضویت فازی (*Fuzzy Membership*) به‌کار گرفته شد و با توجه به زیاد بودن تعداد لایه‌ها، جهت سهولت انجام کار از ابزار Model Builder استفاده شد.

تعیین ارجحیت پارامترها

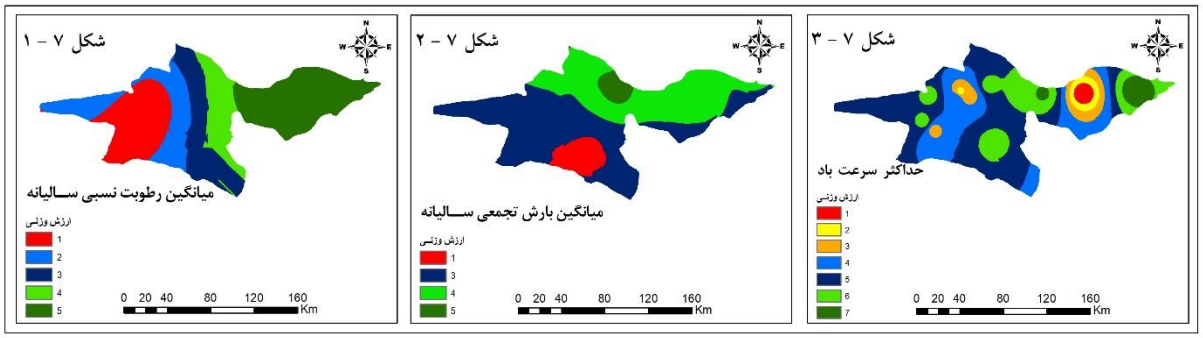
در پژوهش حاضر جهت تعیین میزان اهمیت و تأثیرگذاری هر کدامیک از معیارهای اقلیمی، توپوگرافیکی و کاربری اراضی در تعیین مناطق مستعد برای کاشت گردو در استان تهران، از روش AHP استفاده شد. بدین‌منظور ابتدا بر اساس استانداردهای این روش، پرسشنامه طراحی شد و بنا بر نظر کارشناسان از طریق مقایسه زوجی معیارها، زیر معیارها و گزینه‌ها وزن نسبی هر کدام محاسبه شد. سپس در محیط نرم افزار Expert Choice برای معیارها ساختار سلسله مراتبی تشکیل داده شد و با وارد کردن وزن‌های نسبی محاسبه شده در سطح مقایسه‌ای معیار، زیر معیار و گزینه، وزن‌های مطلق با کم‌ترین نرخ ناسازگاری برای هر کدام به‌دست آمد. در نهایت از طریق ضرب‌های متوالی ماتریس وزن‌ها در هر سطح از ساختار سلسله مراتبی، وزن نهایی هر یک از لایه‌های اطلاعاتی محاسبه شد (جدول ۱۱).

تلفیق و هم‌پوشانی لایه‌های اطلاعاتی

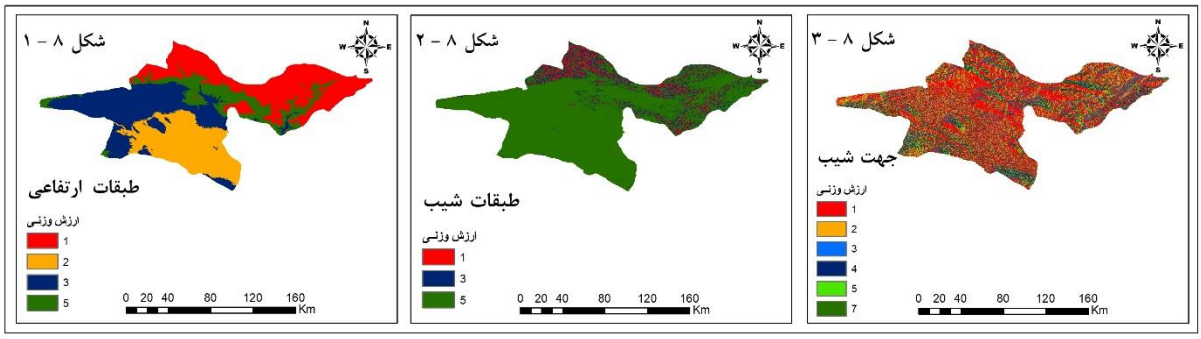
پس از محاسبه ضریب اهمیت هر یک از معیارها (لایه اطلاعاتی) از طریق روش AHP، در نهایت با استفاده از ابزار Raster Calculator در محیط نرم افزار GIS وزن هر معیار به لایه اطلاعاتی فازی و نرمال شده مربوط به آن نسبت داده شد. سپس برای کلیه‌ی لایه‌های رستری فازی سیستم مختصات و سیستم تصویر یکسان تعریف شد. در ادامه تمامی نقشه‌های فازی تهیه شده با یکدیگر تلفیق و هم‌پوشانی داده شدند و نقشه درجات عضویت فازی نهایی در رابطه با پهنه‌بندی مناطق مستعد کشت گردو در استان تهران استخراج گردید (شکل ۱۰ ـ ۱). سپس جهت غیرفازی کردن نقشه عضویت فازی نهایی، از دستور کلاس‌بندی مجدد (*Reclassify*) استفاده و دامنه مقادیر فازی به چهار کلاس مطابق با شکل ۱۰ ـ ۲ طبقه‌بندی شد.



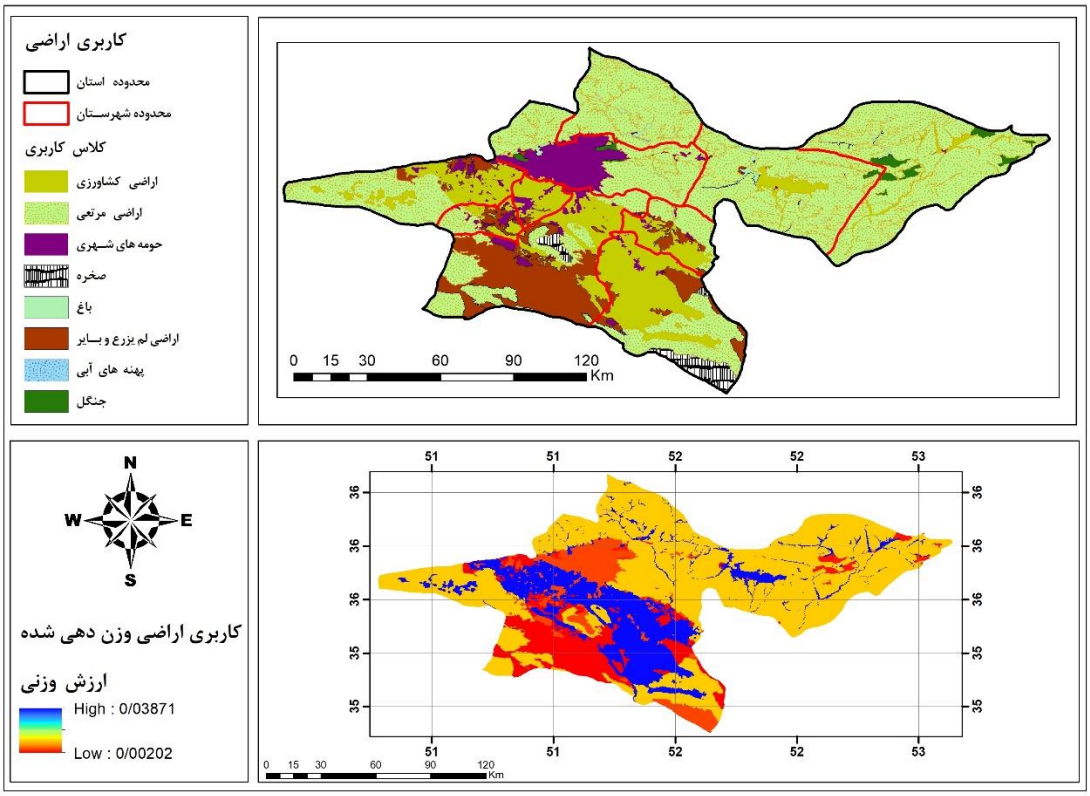
شکل ۶. کلاس‌بندی و وزن‌گذاری نقشه‌های حداقل و حداکثر دمای ماهیانه به تفکیک مراحل رشد گردو در دوره آماری ۲۰۱۴ – ۲۰۰۴



شکل ۷. کلاس‌بندی و وزن‌گذاری نقشه‌های: ۱. میانگین درصد رطوبت نسبی سالیانه، ۲. میانگین بارش تجمعی سالیانه و ۳. حداکثر سرعت باد اردیبهشت ماه در دوره آماری ۲۰۱۴ – ۲۰۰۴



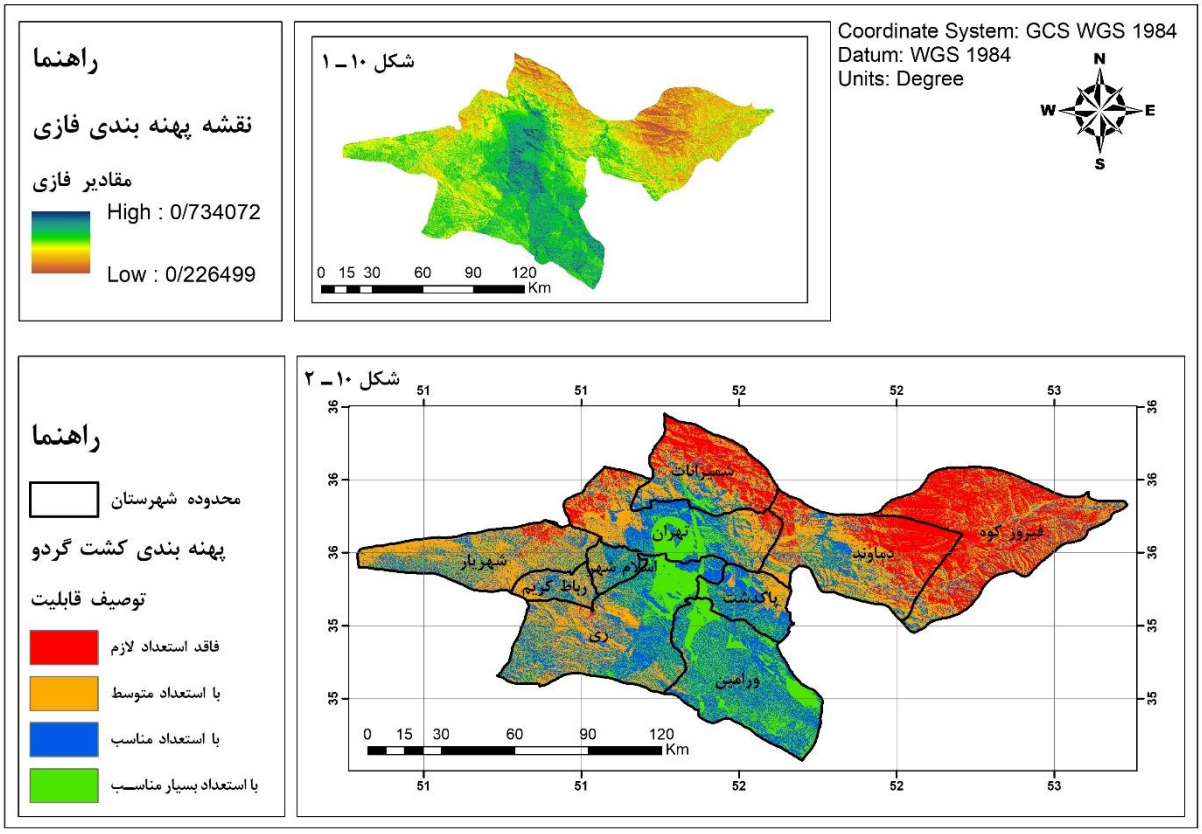
شکل ۸. کلاس‌بندی و وزن‌گذاری نقشه‌های: ۱. طبقات ارتفاعی، ۲. طبقات شیب و ۳. جهت شیب



شکل ۹. کلاس‌بندی و وزن‌گذاری نقشه کاربری اراضی

جدول ۱۱. اوزان محاسبه شده برای معیارها، زیرمعیارها و گزینه‌ها از طریق روش AHP

معیار	وزن AHP	زیرمعیار	وزن AHP	گزینه	وزن AHP
خصوصیات اقلیمی	۰/۷۳۱	دما	۰/۶۳۲	دمای حداقل فروردین ماه	۰/۰۱۸
				دمای حداکثر فروردین ماه	۰/۱۹۵
				دمای حداقل اردیبهشت ماه	۰/۱۷۲
				دمای حداقل خرداد، تیر، مرداد	۰/۱۲۲
				دمای حداکثر خرداد، تیر، مرداد	۰/۰۱۴
				دمای حداقل شهریور ماه	۰/۱۱۹
				دمای حداکثر شهریور ماه	۰/۰۶۵
				دمای حداقل مهر ماه	۰/۰۴۱
				دمای حداقل آبان ماه	۰/۰۳۹
				دمای حداقل آذر، دی، بهمن، اسفند	۰/۲۱۶
		بارش	۰/۰۵۱		
		رطوبت نسبی	۰/۲۳۶		
		سرعت باد	۰/۰۸۱		
خصوصیات توپوگرافیکی	۰/۱۸۸	ارتفاع	۰/۰۸۴		
		شیب	۰/۲۱۱		
		جهت شیب	۰/۷۰۵		
کاربری اراضی	۰/۰۸۱	اراضی کشاورزی	۰/۲۶۵		
		اراضی مرتعی	۰/۰۸۸		
		حومه‌های شهری	۰/۰۴۲		
		صخره	۰/۰۴۲		
		باغ	۰/۴۷۸		
		اراضی لم‌یزرع و بایر	۰/۰۲۹		
		پهنه‌های آبی	۰/۰۲۵		
		جنگل	۰/۰۳۱		



شکل ۱۰. ۱: نقشه عضویت فازی معیارهای مؤثر در پهنه‌بندی اراضی مستعد کشت گردو، ۲: نقشه پهنه‌بندی کلاس‌بندی شده اراضی مستعد کشت گردو در استان تهران

نتیجه‌گیری

پس از اعمال هم‌پوشانی فازی طبق مراحل فوق، نقشه پهنه‌بندی نهایی حاصل شد (شکل ۱۰ ـ ۱) که مطابق با شکل ۱۰ ـ ۲ به چهار کلاس طبقه‌بندی شد. این نقشه نشان‌دهنده عرصه‌های بسیار مستعد تا غیر مستعد جهت کشت گردوی ایرانی به صورت پیکسل مبنا در استان تهران می‌باشد. مطابق با شکل ۱۰ ـ ۲ از میان کل اراضی استان تهران، ۲۴۳۸۸۲/۹۵۶۲ هکتار با در نظر گرفتن کلیه‌ی شرایط اقلیمی، توپوگرافی و کاربری اراضی جهت کشت گردوی ایرانی بسیار مناسب و دارای پتانسیل مستعد می‌باشند (جدول ۱۲).

پیرو بررسی نقشه‌های پهنه‌بندی اقلیمی تولید شده، نقشه توپوگرافی و کاربری اراضی، بخش گسترده‌ای از اراضی استان واقع در شهرستان فیروزکوه و نواحی شرقی شهرستان دماوند علی‌رغم برخورداری از میزان بارش تجمعی سالیانه، میانگین درصد رطوبت نسبی سالیانه و سرعت باد مطلوب جهت کشت و رشد مناسب گونه گردوی ایرانی، ولی به دلیل اینکه مناطق یاد شده عمدتا کوهستانی و دارای کاربری غالب مرتعی بوده و نسبت به سایر مناطق استان از میانگین ارتفاع بالاتری برخوردار هستند و نیز به سبب دارا بودن مقادیر دمای حداقل بسیار پایین (خیلی سرد) گاها تا ۲۷- درجه سانتی‌گراد در طول فصول سرد سال و ۱ تا ۵ درجه سانتی‌گراد در فصل تابستان (بر اساس داده‌های اقلیمی دوره آماری ۲۰۱۴ – ۲۰۰۴)، لذا جهت کشت این گونه از گردو مناسب نمی‌باشند و در صورت کاشت گونه گردوی مذکور در این مناطق، بازده مطلوبی حاصل نخواهد شد. برای این مناطق توصیه می‌شود از گونه‌هایی استفاده شود که مقاوم به سرما هستند. به‌عنوان مثال در شمال شرقی آمریکا که سرمای زمستان فوق‌العاده زیاد بوده و معمولاً به ۳۷- تا

۴۰- درجه سانتی‌گراد نیز می‌رسد، عمدتاً از گونه‌های بسیار مقاوم به سرما نظیر براودویو (*broad view*) که رویشگاه اصلی آن لهستان است، استفاده می‌کنند. گونه‌هایی نظیر شفر، لیتل پیچ، مک کینستر، مت کالف، کلبی و جکوبز نیز در مقابل سرمای زمستان مقاوم هستند و می‌توان آن‌ها را نیز در نظر گرفت (طباطبایی و همکاران، ۱۳۷۷). لازم به ذکر است که ممکن است در حال حاضر در مناطقی از استان تهران که در این پژوهش به‌عنوان مناطق غیر مستعد جهت کشت گردو شناسایی شده‌اند، گردو کشت شده باشد ولی کاشت و رشد کردن آن دلیل بر مناسب بودن منطقه نمی‌باشد، در واقع بایستی میزان تولید و کیفیت میوه مد نظر قرار گیرد. در پژوهش حاضر تصمیم‌گیری در خصوص تعیین پهنه‌های مناسب برای کشت گردو، بر مبنای حالات بحرانی حداقل و حداکثر دما و حداکثر سرعت باد، بارش تجمعی سالیانه و درصدرطوبت نسبی ثبت شده در طول پایه آماری ۲۰۱۴ – ۲۰۰۴، خصوصیات توپوگرافیکی و کاربری اراضی صورت گرفته است. با توجه به نقشه‌های پهنه‌بندی مربوط به خصوصیات اقلیمی و نقشه پهنه‌بندی نهایی، مناطق مستعد انتخاب شده، مناطقی هستند که دارای زمستان‌های تقریباً معتدل و تابستان‌های خشک، بارش سالیانه، رطوبت نسبی و سرعت باد متوسط تا خوب جهت کشت گردو می‌باشند. در مطالعات آینده پیرامون مکان‌یابی و پتانسیل‌یابی اراضی مستعد برای کاشت گردو در استان تهران، می‌توان بر اساس نتایج حاصل از این پژوهش بر روی پهنه‌هایی که مناسب و بسیار مناسب شناسایی شده‌اند، تمرکز کرد و با در نظر گرفتن معیارهایی اقدام به اولویت‌بندی آن‌ها نمود.

جدول ۱۲. مشخصات گروهی عرصه‌های مستعد جهت کاشت گردوی ایرانی در استان تهران

توصیف قابلیت	مساحت (هکتار)	مساحت (درصد)
فاقد استعداد لازم	۲۵۸۲۶۸/۴۶۱۱	۱۸/۸۷
با استعداد متوسط	۴۴۷۷۱۰/۰۰۹۴	۳۲/۷۲
با استعداد مناسب	۴۱۸۳۶۳/۲۶۸۰	۳۰/۵۷
با استعداد بسیار مناسب	۲۴۳۸۸۲/۹۵۶۲	۱۷/۸۲

منابع مورد استفاده

اشرفی، ع.، میکانیکی، ج. و دهقانی، م. ۱۳۹۲. ارزیابی توان‌های اکولوژیکی و پهنه‌بندی کشت عناب در استان خراسان جنوبی، مجله آمایش جغرافیائی فضا، فصلنامه علمی ـ پژوهشی دانشگاه گلستان. ۳ (۷): ۸۵ ـ ۶۸.

بی نام، ۱۳۸۳. اداره کل آمار و اطلاعات. وزارت جهاد کشاورزی. خشکبار، آمار و مزایا (www.maj.ir).

بی نام، ۱۳۸۶. اداره کل آمار و اطلاعات، آمارنامه‌های کشاورزی، معاونت برنامه‌ریزی و بودجه وزارت کشور.

جلیلی مرندی، ر. و حکیمی رضائی، ج. ۱۳۸۰. پرورش فندوق.بادام.گردو، جهاد دانشگاهی دانشگاه ارومیه.

حجازی‌زاده، ز.، سلیقه، م.، بلیانی، ی.، حسینی، م. و ماهوتچی، م. ۱۳۹۲. مکان‌یابی کشت زیتون با استفاده از پارامترهای اقلیمی و زمینی به روش تحلیل سلسله مراتبی (مطالعه موردی : استان فارس)، نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی. ۱۳ (۳۰): ۱۹۰ ـ ۱۷۲.

حسنی پاک، ع. ۱۳۸۶. زمین آمار. دانشگاه تهران. ص ۳۸۰.

دیالمی، ح.، گیوی، ج.، نادری خوراسگانی، م.، تقی‌زاده‌مهرجردی، ر. و احدپور برازجانی، م. ۱۳۹۶. ارزیابی تناسب اراضی برای کاشت نخل خرمای رقم کبکاب در استان بوشهر با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی. نشریه مدیریت خاک و تولید پایدار. ۷ (۲): ۴۵ ـ ۲۵.

رشید سرخ آبادی، م.، شهیدی، ع. و خاشعی، ع. ۱۳۹۳. پهنه‌بندی مکانی کشت زعفران بر اساس عوامل اقلیمی با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی (مطالعه موردی : شهرستان تربت حیدریه)، نشریه بوم شناسی کشاورزی. ۷ (۲): ۲۳۶ ـ ۲۲۵.

زبردست، ا. ۱۳۸۰. کاربرد فرآیند تحلیل سلسله مراتبی در برنامه‌ریزی شهری و منطقه‌ای، مجله هنرهای زیبا، شماره ۱۰، صفحه ۱۸.

شعبانی، ا.، متین فر، ح.، آرخی، ص. و رحیمی هرآبادی، س. ۱۳۹۰. مدلینگ فاکتور فرسایندگی باران با استفاده از روش زمین آمار (مطالعهٔ موردی: حوضهٔ آبخیز سد ایلام)، مجله کاربرد سنجش از دور و GIS در علوم منابع طبیعی. ۲ (۲): ۶۷ – ۵۵.

طباطبایی، م.، دهلوی، ا. و احمدی، ع. ۱۳۷۷. گردو، هیکوری وپکان، جهاد دانشگاهی (ماجد)، تهران.

علوی پناه، ک.، متین فر، ح. و رفیعی امام، ع. ۱۳۸۷. کاربرد فناوری اطلاعات در علوم زمین، انتشارت دانشگاه تهران، چاپ اول، ص ۴۵۷.

علیجانی، ب. ۱۳۷۴. آب و هوای ایران، انتشارات دانشگاه پیام نور، تهران.

فلاحتی، ف.، علیجانی، ب. و قهرودی تالی، م. ۱۳۹۱. مکان‌یابی اراضی مستعد توسعه‌ی باغ‌های میوه با تاکید بر عناصر و عوامل اقلیمی ـ کشاورزی با رویکرد RS _ GIS (مطالعه موردی : گردو ـ استان تهران)، مجله جغرافیا و پایداری محیط. ۲: ۵۴ ـ ۴۳.

قهرودی تالی، م. ۱۳۸۱. ارزیابی درون‌یابی به روش کریجینگ، پژوهش‌های جغرافیائی. ۴۳: ۱۰۸–۹۵.

کوراوند، ا. و مرشدی، ج. ۱۳۹۴. مکان‌یابی زمین‌های مناسب کاشت بادام کوهی با فنون GIS و روش AHP در حوضه آبخیز مورد غفار شهرستان ایذه، فصلنامه علمی پژوهشی اکوبیولوژی تالاب – دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز. ۷ (۲۶): ۸۶ ـ ۶۹.

Anonymous, European Atlas of Forest Tree Species 103.

Arabameri, A R., Ameripoor, Z., Kazemi mohsenabadi, S., and Biglari, M.R. 2014. Zoning Mashhad watershed for artificial recharge of underground aquifers using TOPSIS model and GIS technique. Global Journal Inc 14(8): 44-53 (in Persian).

Barengo, N. 2001. Noyer commun, Juglans regia L... Chaire de sylviculture EPFZ, Direction fédérale des forêts OFEFP, 8 p. (SEBA, Projet Favoriser les essences rares).

Galankashi, M. R., Helmi, S. A., Hashemzahi, P. 2016. Supplier selection in automobile industry: a mixed balanced scorecard-fuzzy AHP approach. Alexandria Engineering Journal, 55 (1). pp. 93-100. ISSN 1110-0168.

Kaganski, S., Majak, J. and Karjust, K. 2018. Fuzzy AHP as a tool for prioritization of key performance indicators. Procedia CIRP: 1st CIRP Conference on Manufacturing Systems (CIRP CMS 2018). Stockholm, Sweden, 16.05-18.05. Elsevier, 1227−1232.

Malczewski, J. 2006. Multicriteria Decision Analysis in Geographic Information Science. journal of geographical information science. ISBN 978-3-540-74757-4.

Mohni, C., Pelleri, F. and Hemery, G.E. 2009. The modern silviculture of Juglans regia L : a literature review. Die Bodenkultur, Vol. 60, p. 19-32.

Moreno-Jimenez, J.M 2005. A spreadsheet module for consistent consensus building in AHP-group decision making. Group Decision and Negotiation, 14.

Parker, D., Bockheim, J. and Meyer, D. 1992. Walnut Tips – Soil and Site Selection. Agricultural & Life Sciences, University of Wisconsin-Madison, No.58.

Riad, P. H. S., Billib, M., Hassan, A. A., Salam, M. A., Nour el din, M. 2011. Application of the overlay weighted model and boolean logic to determine the best locations for artificial recharge of groundwater. Journal of Urban and Environmental Engineering 5:57-66.

Saaty, T. L. 1980. The Analytical Hierarchy Process. McGraw Hill, New York. pp 350.

Webster, R. and Oliver, M.A. 2000. Geostatistics forenvironmenta scientists, Wiley press, 271 pp.

Yan, Zh., Wang, X., Fu, Y. 2012. Study on Early warning model of Coal mining engineering with Fuzzy AHP. Systems Engineering Procedia 5: 113 – 118.

https://www.esri.com.

ISSN 2251-7480

Potential assessment of suitable lands for walnut cultivation in Tehran province using fuzzy AHP method

Masoud Soleimani [1], Saeid Hamzeh [2*] and Ramin Papi [3]

1) Student of Remote Sensing and Geographic Information Systems, Faculty of Geography, University of Tehran
2) Assistant Professor of Remote Sensing and Geographic Information Systems, Faculty of Geography, University of Tehran
3) Student of Remote Sensing and Geographic Information Systems, Faculty of Geography, University of Tehran
*Corresponding author email: saeid.hamzeh@ut.ac.ir

Received: 23-08-2018 Accepted: 04-12-2018

Abstract

As a highly productive product, walnut plays an important role in the social and economic condition of farmers in various regions across Iran, and there has been a dramatic increase in the area under cultivation of this product in recent years due to its economic return. Walnut trees are highly sensitive to the climate conditions. Therefore, before Cultivation of this product, which requires a relatively high initial investment, it is necessary to take certain measures to identify and assess suitable lands for planting walnut trees. Therefore, this study aims to identify and assess suitable lands for planting walnut in the entire of Tehran province that would result in a desirable production efficiency. For this purpose, this study uses climatic parameters (including temperature, relative humidity, precipitation, and wind speed) from 12 synoptic stations within Tehran Province and 8 stations from adjacent provinces for an 11-year statistical period (from 2004 to 2014), topography, and land use for site selection and zoning of suitable regions for cultivation of Persian walnut. First, raster data layers were generated using all the parameters under study. Then, through a review of literature and expert views on physiological properties and growth requirements of walnut, the desirable and undesirable thresholds for its cultivation were determined. Next, analytic hierarchy process (AHP) and a researcher-made questionnaire were used to calculate the effectiveness and priority of each parameter. Furthermore, a fuzzy membership function was used to normalize the data layers. Finally, the final zoning map was prepared and extracted using fuzzy overlay tools in ArcGIS. According to this map, an area of 243882.9562 hectares, equal to 17.82% of the entire area of Tehran Province proved very suitable for cultivation of Persian walnut. Moreover, the findings indicate that the three parameters of temperature, relative humidity, and aspect have a special significance and effect on the growth of walnut trees.

Keywords: Analytical Hierarchy Process (AHP), Climatic Parameters, Information System (GIS), Persian Walnut, Zoning, Geographic