نشریه تولید گیاهان زراعی
جلد یازدهم، شماره اول، بهار ۹۷
۱-۲۲
http://ejcp.gau.ac.ir
DOI: 10.22069/EJCP.2018.8803.1684

ارزیابی تناسب کشت گندم با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی، سنجش از دور و فرآیند تحلیل شبکه‌ای در حوزه قره‌سوی شهرستان گرگان

***میثم بادسار[۱]، بهنام کامکار[۲]، افشین سلطانی[۲]، امید عبدی[۳]**

[۱]دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد مهندسی کشاورزی اکولوژیک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان،
[۲]استاد گروه زراعت، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان،
[۳]کارشناس‌ارشد اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان گلستان

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۱۲/۱۸؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۴/۶

چکیده

سابقه و هدف: در سال‌های اخیر خوارزمیک‌های متعددی برای اهداف ارزیابی اراضی طراحی شده‌اند که وجه مشترک تمامی آن‌ها ایجاد محیطی برای الگوسازی ومدل کردن روش‌های ارزیابی است. با توجه به اهمیت گندم به‌عنوان یک محصول راهبردی در تأمین غذای انسان‌ها و همچنین استفاده بهینه از منابع موجود و ارزیابی مزارع کشت گندم در راستای تولید پایدار، این پژوهش به‌منظور ارزیابی زراعی- بوم‌شناختی مزارع گندم پاییزه در حوزه قره‌سوی شهرستان گرگان با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS)، سنجش از دور (RS) و روش فرآیند تحلیل شبکه‌ای انجام شد.

مواد و روش‌ها: بدین‌منظور با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ و با استفاده از روش نظارت‌شده نقشه مزارع گندم استخراج شد. از متغیرهای محیطی دمای متوسط، دمای کمینه، دمای بیشینه، بارش سالانه، شیب، جهات شیب، ارتفاع از سطح دریا، ماده آلی، شوری، بافت و اسیدیته خاک نیز برای ارزیابی زراعی- بوم‌شناختی استفاده شدند. در ابتدا نیازهای بوم- شناختی در مورد متغیرهای مورد استفاده، از منابع علمی استخراج شد و نقشه‌های مربوط به این متغیرها تهیه و طبقه‌بندی شدند. از فرآیند تحلیل شبکه‌ای برای تعیین وزن معیارها از طریق تجزیه و تحلیل پرشس‌نامه استفاده شد. سپس در قالب یک مدل، لایه‌های مذکور به روش همپوشانی در محیط GIS تلفیق شدند و ارزیابی شکل گرفت.

یافته‌ها: نتایج به‌دست آمده از تجزیه و تحلیل پرسشنامه به‌روش ANP نشان داد که معیار خاک به جهت کشت گندم با توجه به شرایط حوزه مورد مطالعه با ضریب ۰/۶۶ در رتبه اول و بعد از آن به‌ترتیب اقلیم و توپوگرافی قرار گرفتند. در بین عوامل خاکی بیشترین وزن به شوری خاک و ماده آلی به‌ترتیب با ضریب ۰/۳۳ و ۰/۱۶ و کمترین وزن به بافت خاک با ۰/۰۸۴ تعلق داشت. در بین عوامل اقلیمی، بارش با ۰/۰۹۷ بیشترین و دمای بیشینه با ۰/۰۱۵ کمترین ضریب را به خود اختصاص دادند. همچنین برای عوامل توپوگرافی، ارتفاع از سطح دریا بیشترین و جهات شیب کمترین ضریب را به خود اختصاص دادند.

*مسئول مکاتبه: m.badsar@yahoo.com

نتیجه‌گیری: نتایج نشان داد که حدود ۹۹/۴۱ درصد از مزارع گندم، در طبقه بسیار مناسب و ۰/۵۸ درصد در طبقه مناسب قرار گرفت. ارتفاع کم‌تر اراضی، شیب‌های کم‌تر و رو به جنوب، دماها و بارش سالیانه مناسب و همچنین بافت، ماده آلی و هدایت الکتریکی در حد مطلوب ازجمله عواملی هستند که باعث قرار گرفتن این مناطق در این طبقه شده‌اند. بنابراین مزارع فعلی گندم حوزه قره‌سو دارای محدودیت چندانی از عوامل توپوگرافی، اقلیمی و عوامل خاکی به لحاظ کشت گندم نبوده و این نیز بیان‌گر این مطلب است که کشاورزان مناطق مناسبی را جهت کشت گندم انتخاب نموده‌اند. این منطقه می‌تواند به‌شرط مدیریت عوامل محدودکننده و کاهنده تولید از تولید بالایی برخوردار باشند. اما باید در نظر داشت که کشت مداوم گندم در سال‌های اخیر موجب مشکلات زیادی در سامانه‌های زراعی استان گلستان شده است. بنابراین اگرچه کشاورزان به درستی این گیاه را برای کشت در این منطقه انتخاب کرده‌اند، اما باید با معرفی گیاهان جایگزین که نیازهای اکولوژیک مشابه دارند از تکرار کشت آن جلوگیری کرد. بنابراین می‌توان ارزیابی‌های مشابهی روی سایر گیاهان پاییزه انجام داد.

واژه‌های کلیدی: لندست ۸، شاخص‌های گیاهی، طبقه‌بندی نظارت‌شده، فن سوپرماتریس

مقدمه

کاربری کشاورزی به‌منزله فعالیتی که به‌طور تنگاتنگ با محیط سروکار دارد، برای داشتن کارایی بالاتر و تناسب بیشتر با محیط زیست، نیازمند شناسایی علمی روزافزون توان محیطی است (۲۵). در سال‌های اخیر خوارزمیک‌های متعددی برای اهداف ارزیابی اراضی طراحی شده‌اند که وجه مشترک تمامی آن‌ها ایجاد محیطی برای الگوسازی و مدل کردن روش‌های ارزیابی است. شناخته‌ترین نوع تحلیل‌های مکانی عملیات انطباق لایه‌ها در محیط GIS[1] می‌باشد که نتیجه آن یک نقشه جدید بوده که در نهایت متخصصان، مدیران و کشاورزان را در امر تصمیم‌گیری مدبرانه یاری می‌نماید (۲۸). سنجش از دور[2] فن‌آوری بسیار مفیدی است که می‌توان از آن برای به‌دست آوردن لایه‌های اطلاعاتی از خاک و پوشش گیاهی استفاده کرد (۳۳). تصاویر سنجش از دور به‌علت رقومی بودن، ارائه اطلاعات به‌هنگام، فراهم آوردن دید همه‌جانبه، استفاده از قسمت‌های مختلف طیف الکترومغناطیس برای ثبت ویژگی پدیده‌ها، قابلیت تکرارپذیری، سرعت انتقال و تنوع اشکال داده‌ها از ارزش زیادی برخوردارند (۱۳).

بسیاری از مسائل تصمیم‌گیری در برنامه‌ریزی‌های منطقه‌ای از نوع مسائل چندمعیاره[3] است که طی چند دهه گذشته یکی از قوی‌ترین روش‌ها در برنامه‌ریزی تبدیل شده است. به‌کارگیری روش‌های چندمعیاره مستلزم انجام عملیاتی است که عمده‌ترین آن‌ها عبارت‌اند از: تشکیل ماتریس ارزیابی، استاندارد کردن داده‌ها، تعیین وزن عوامل و تحلیل اطلاعات (۳۰). فرآیند تحلیل شبکه‌ای حالت عمومی از AHP و شکل گسترده آن محسوب می‌شود که در آن موضوعات با وابستگی متقابل و بازخورد را نیز می‌توان در نظر گرفت. به‌همین دلیل در سال‌های اخیر استفاده از ANP به‌جای AHP در اغلب زمینه‌ها افزایش پیدا کرده است (۳۶). فرآیند تحلیل شبکه‌ای هر موضوع و مسئله‌ای را مانند شبکه‌ای از معیارها و زیرمعیارها و گزینه‌ها (همه این‌ها عناصر[4] نامیده

1- Geographical Information System (GIS)
2- Remute Sensing (RS)
3- Multi Criteria Decision Making (MCDM)
4- Elements

می‌شوند) که با یکدیگر در خوشه‌هایی جمع شده‌اند، در نظر می‌گیرد. تمامی عناصر در یک شبکه می‌توانند، به هر شکل، دارای ارتباط با یکدیگر باشند. به‌عبارت دیگر، در یک شبکه، بازخورد و ارتباط متقابل بین و میان خوشه‌ها امکان‌پذیر است (۱۵).

تاکنون پژوهشی در مورد تناسب اراضی و ارزیابی‌های زراعی- بوم‌شناختی زمینه‌های زراعی با روش ANP به‌ویژه برای محصولات مهم نظیر گندم صورت نگرفته است. کاظمی و همکاران (۲۰۱۲) به پهنه‌بندی زراعی- بوم‌شناختی اراضی کشاورزی استان گلستان جهت کشت کلزا با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی و فرایند سلسله مراتبی پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد ۲۱/۳۴ و ۳۵/۰۴ درصد اراضی زراعی استان جهت کشت کلزا به‌ترتیب بسیار مستعد و نیمه‌مستعد هستند (۲۱). محمدی و گیوی (۲۰۰۱) در ارزیابی تناسب اراضی برای گندم آبی در منطقه فلاورجان (اصفهان) از نظریه مجموعه‌های فازی استفاده نمودند. آن‌ها نتیجه گرفتند که همبستگی به‌مراتب بیشتر مشاهده شده، بین شاخص اراضی و عملکرد محصول در روش فازی، نشان‌دهنده پتانسیل کاربری و مفید بودن این روش در ارزیابی تناسب اراضی است (۲۵). پاکپور رباتی و همکاران (۲۰۱۳) در تحقیقی با استفاده از GIS به ارزیابی اراضی مستعد جهت کشت ذرت، جو و آفتابگردان در مناطقی از استان آذربایجان غربی پرداختند. نتایج نشان داد که در محدوده مورد مطالعه طبقه‌های اقلیمی برای جو کاملا مناسب و برای ذرت و آفتابگردان به‌دلیل محدودیت رطوبت نسبی در طول دوره رشد متوسط می‌باشد. همچنین محدودیت‌های عمده خاک در مناطق مورد مطالعه برای محصولات شامل pH، آهک، بافت، ذرات درشت‌تر از شن و توپوگرافی می‌باشند (۲۸). باقرزاده و همکاران (۲۰۱۲) در اراضی دشت نیشابور اقدام به ارزیابی کیفی تناسب اراضی برای کشت گندم، ذرت و پنبه با استفاده از GIS نمودند. نتایج آن‌ها نشان داد که کشت گندم و حتی ذرت در دشت نیشابور با انجام اقدامات اصلاحی و بهبود خواص فیزیکی خاک راندمان بهتر و تناسب بالاتری را برای محصولات رقم می‌زند، اما برای محصول پنبه با توجه به درجه اقلیمی پایین دشت نیشابور برای این گیاه و شدت محدودیت موجود، کشت این محصول توصیه نمی‌شود (۷). بگلی (۲۰۰۳) برای پهنه‌بندی زراعی- بوم‌شناختی با استفاده از اطلاعات مربوط به خاک، توپوگرافی و عوامل اقلیمی اقدام به تعیین تناسب اراضی برای ذرت دانه‌ای، گندم، جو، گوجه، چغندرقند، آفتابگردان و سویا به‌روش وزنی در کشور ایتالیا نمود (۸). حسین و همکاران (۲۰۰۷) از روش ارزیابی چندمعیاره با کمک سامانه اطلاعات جغرافیایی برای طبقه‌بندی تناسب اراضی به‌منظور کشت در تیلاپیا[1] در بنگلادش استفاده کردند (۱۶). افضلی و همکاران (۲۰۱۱) جهت مکان‌یابی محل‌های مناسب دفن مواد زائد جامد شهری شهر اصفهان با در نظر گرفتن اهمیت منابع آب و اولویت‌بندی آن‌ها از فرآیند تحلیل شبکه‌ای استفاده کرد. نتایج اهمیت قابل‌توجه منابع آب را گوشزد کرده و در اولویت‌بندی محل‌های پیشنهادی دفن زباله محل موقعیت بهینه را انتخاب نموده‌اند.

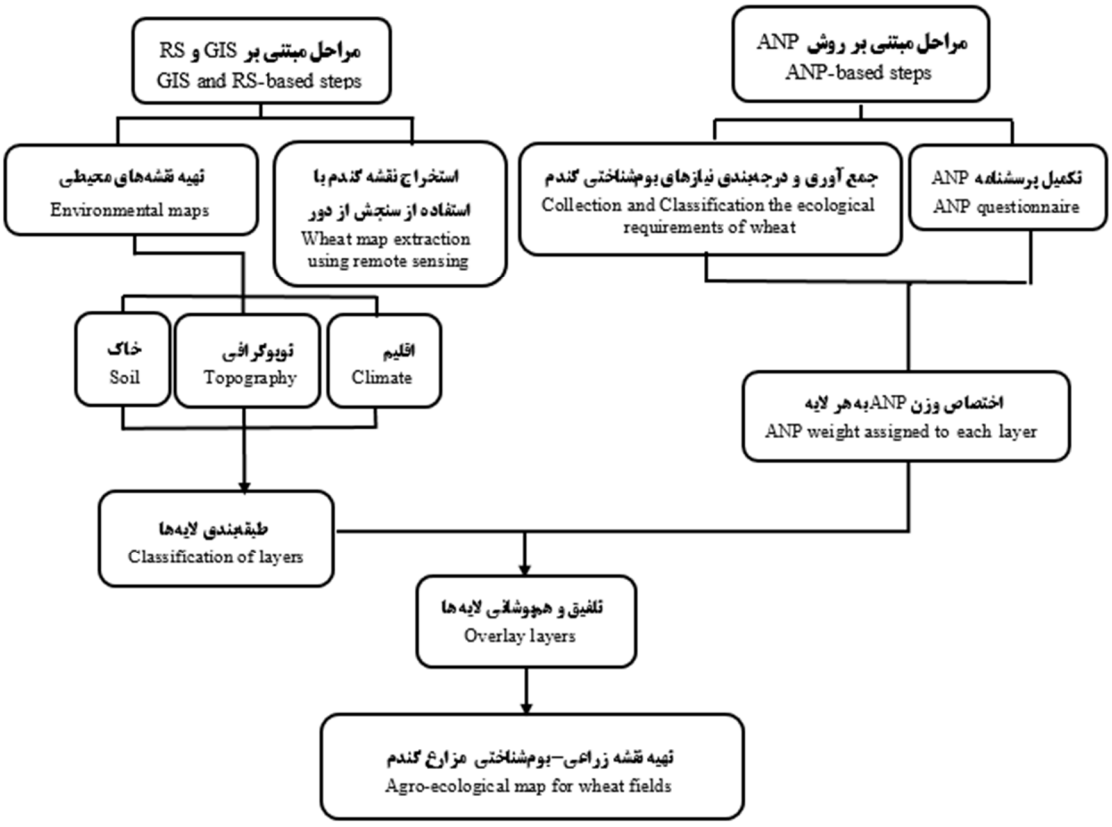
با توجه به اهمیت گندم به‌عنوان یک محصول راهبردی و همچنین استفاده بهینه از منابع موجود و ارزیابی مزارع کشت گندم در راستای تولید پایدار، این تحقیق در محدوده مزارع گندم حوزه قره‌سو با تأکید بر ابزارهایی نظیر GIS، سنجش از دور و معرفی روش‌های نوین مانند فرآیند تحلیل شبکه‌ای برای ارزیابی زراعی- بوم‌شناختی مزارع گندم انجام شده است.

1- Tilapia

مواد و روش‌ها

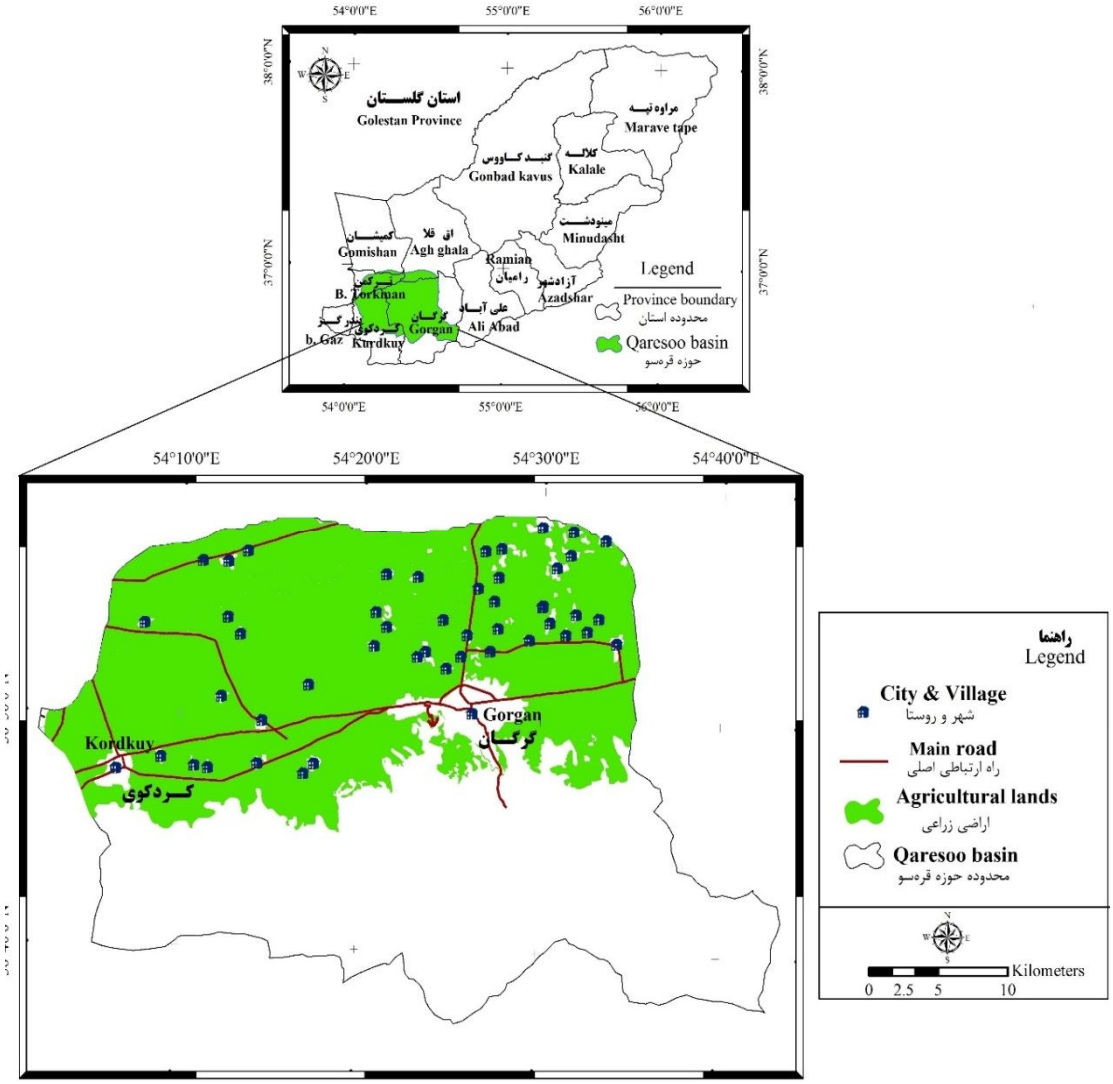
شکل (۱) مراحل ارزیابی زراعی- بوم‌شناختی مزارع گندم در حوزه قره‌سو را با استفاده از رهیافت‌های GIS، RS و روش تحلیل شبکه‌ای نشان می‌دهد.

منطقه مورد مطالعه: این تحقیق در سال زراعی ۹۲-۱۳۹۱ در حوزه قره‌سو که در حدود ۸ درصد استان گلستان را با مساحت ۱۶۱۰ کیلومترمربع تشکیل داده و بخش اعظم آن در شهرستان گرگان واقع شده است انجام شد (شکل ۲). حوزه قره‌سو در مختصات جغرافیایی ۳۶ درجه و ۳۴ دقیقه تا ۳۷ درجه و ۵۷ دقیقه عرض شمالی و ۵۴ درجه و ۳ دقیقه تا ۵۴ درجه و ۴۱ دقیقه طول شرقی قرار دارد. این حوزه دارای ۱۲۴ روستا و ۲ شهرستان (گرگان و کردکوی) می‌باشد و در بخش شمالی به دشت و نقاط کم ارتفاع و در بخش جنوبی به دامنه‌ها و نقاط مرتفع‌تر منتهی می‌شود. ارتفاع آن در پایین‌ترین نقطه ۱۳ متر پایین‌تر و در بالاترین نقطه ۳۲۲۱ متر بالاتر از سطح دریا می‌باشد.



شکل ۱- نمودار جریانی مراحل انجام کار در این پژوهش.

Figure 1. Flow chart of the methodology adopted for the present study.



شکل ۲- موقعیت جغرافیایی محدوده اراضی زراعی حوزه قره‌سو در استان گلستان.

Figure 2. Geographical position of agricultural areas of Qaresoo basin, Golestan province.

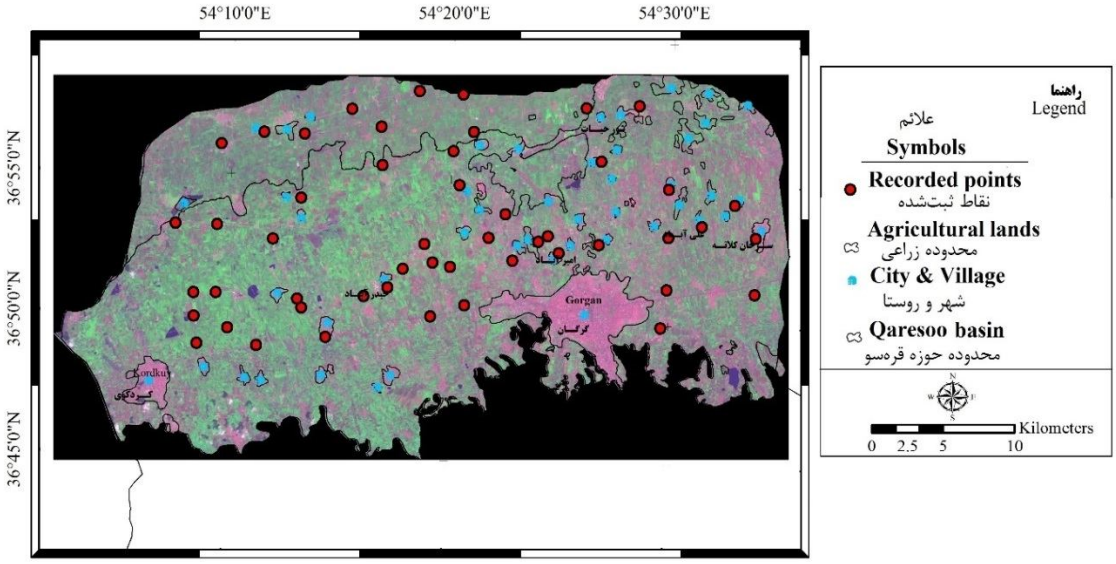
استخراج نقشه مزارع گندم از تصاویر ماهواره‌ای با استفاده از سنجش از دور

پیش‌پردازش داده‌های ماهواره‌ای: بدین‌منظور از تصویر ماهواره لندست ۸ دارای ۱۱ باند با قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متر استفاده شد که مربوط به تاریخ ۱۶ فروردین و ۱۷ اردیبهشت سال ۱۳۹۴ بوده و از پایگاه اطلاعاتی ناسا[1] تهیه شدند. در مرحله اول تصاویر خام برای پردازش‌های اولیه مورد بررسی قرار گرفتند. بررسی‌ها نشان دادند تصاویر از نظر وجود خطای هندسی و پرتوسنجی (رادیومتری و اتمسفری) نیازی به اصلاح نداشتند.

پردازش تصاویر ماهواره‌ای به‌منظور بارزسازی مزارع گندم: از تصاویر رنگی کاذب، به‌عنوان یکی از روش‌های بارزسازی در این تحقیق استفاده شد. از ترکیب ۳ باند مختلف و اختصاص هر رنگ از سه رنگ قرمز، سبز و آبی (RGB) به هر باند، تصویر رنگی ساخته شد. جهت جداسازی کاربری‌های مختلف اراضی از تصاویر رنگی کاذب ۲-۵-۷ و ۳-۵-۶ استفاده شد.

1- www.usgs.com

تهیه نقشه مزارع گندم به‌روش نظارت‌شده: جهت تفکیک دقیق نواحی کشت گندم و همچنین ارزیابی نهایی اراضی تحت کشت گندم با واقعیت زمینی، از نقاط ثبت‌شده (شکل ۳) با GPS مدل گارمین ۵۵۰ و تصاویر پایگاه گوگل ارث برای تشخیص بهتر عوارض موجود استفاده شد.



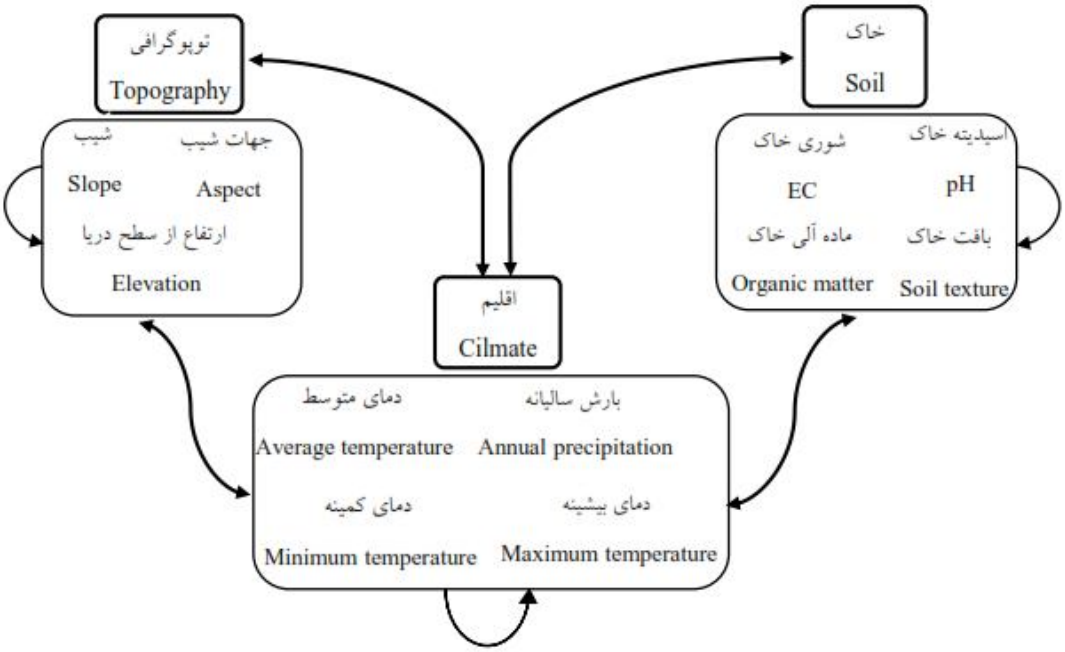
شکل ۳- موقعیت جغرافیایی مزارع گندم ثبت‌شده جهت تفکیک مزارع گندم از تصویر ماهواره‌ای ۱۶ فروردین.

Figure 3. Geographical position of recorded wheat fields to detect wheat fields from satillate image (5 April).

سپس در محیط GIS در هر ۲ تصویر اخذشده اقدام به انتخاب نمونه‌های آموزشی براساس روش[1] USDA شد. در این مرحله به ترکیب باندهای ۲ تا ۷، شاخص NDVI و باند PC1 مربوط به تصویر هر ماه، اضافه شد. نمونه‌های تعلیمی در محیط GIS به شکل جداگانه به یک لایه چندضلعی تبدیل شدند و چندضلعی طبقه‌ها به محیط نرم‌افزار ERDAS IMAGING 11 منتقل شدند و در آخر در فضای این نرم‌افزار طبقه‌بندی صورت گرفت. به‌منظور ارزیابی صحت نقشه استخراج‌شده، روش‌های طبقه‌بندی حداقل فاصله از میانگین[2]، حداکثر احتمال[3] و فاصله ماهالانوبیس[4] برای هر ماه مورد ارزیابی قرار گرفتند.

فرآیند تحلیل شبکه‌ای: بدین‌منظور در گام اول مدل مربوطه ساخته و به یک ساختار شبکه‌ای تبدیل شد. خوشه‌ها در این مطالعه شامل توپوگرافی، عوامل خاک و اقلیم بودند. خوشه توپوگرافی شامل گره‌های شیب، جهت شیب و ارتفاع؛ خوشه عوامل خاک نیز شامل گره‌های اسیدیته خاک، بافت خاک، شوری و ماده آلی؛ و خوشه اقلیم شامل بارش، دمای بیشینه، دمای متوسط و دمای کمینه بود. در ساخت مدل شبکه‌ای ممکن است خوشه با یک یا تمامی عناصر خوشه‌های دیگر در ارتباط باشند. این ارتباط با پیکان (فلش) نشان داده می‌شود. همچنین ممکن است عناصر درون یک خوشه بین خودشان دارای ارتباط متقابل باشند (وابستگی درونی) که این‌گونه ارتباط‌ها به‌وسیله یک کمان متصل به آن خوشه نشان داده می‌شود (شکل ۴).

1- U.S. Geological Survey
2- Minimum Distance
3- Maximum likelihood
4- Mahalanobi Distance



شکل ٤- مدل ANP برای وزن‌دهی و اولویت‌بندی عوامل محدودکننده کشت گندم در حوزه قره‌سو.

Figure 4. ANP model for weighting and ranking of cultivation limiting factors of wheat in Qaresoo basin.

عناصر تصمیم در هر یک از خوشه‌ها، بر اساس میزان اهمیت آن‌ها در ارتباط با معیارهای کنترلی دو به دو مقایسه می‌شوند. خود خوشه‌های اقلیم، عوامل خاکی و عوامل توپوگرافی نیز بر اساس نقش و تأثیر آن‌ها در دستیابی به هدف، دو به دو مورد مقایسه قرار گرفتند. وابستگی‌های متقابل بین عناصر یک خوشه نیز باید دو به دو باهم مقایسه شوند. اهمیت نسبی عناصر بر اساس مقیاس ۹ کمیتی ساعتی (۱۹۹۹) سنجیده شد. در این قسمت اهمیت داخلی محاسبه می‌شود که نشانگر اهمیت نسبی (ضرایب اهمیت) عناصر یا خوشه‌هاست (۳۶). پس از آن که مقایسه زوجی به‌صورت کامل انجام شد، بردار وزن (w) محاسبه می‌شود که ساعتی (۱۹۹۹) روش زیر را پیشنهاد کرده است:

رابطه (۱) $Aw= \lambda_{max}\, w$

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

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

رابطه (۲) $CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n-1}$

برای تأیید مقایسه، CI باید کمتر از ۰/۱ باشد.

در گام دوم ابر ماتریس تشکیل و به ابر ماتریس حد تبدیل شد. برای دستیابی به اولویت کلی در یک سیستم با تأثیرات متقابل، بردارهای اولویت داخلی در ستون‌های مناسب یک ماتریس وارد می‌شوند. در نتیجه، یک ابر ماتریس که هر بخش آن ارتباط بین ۲ خوشه در یک سیستم را نشان می‌دهد، به‌دست می‌آید. بعد از تشکیل ابر ماتریس اولیه با جایگزینی بردار اولویت‌های داخلی (ضرایب اهمیت) عناصر و خوشه‌ها در ابر ماتریس اولیه، ابر ماتریس ناموزون[1] به‌دست می‌آید.

1- Unweighted super matrix

جدول ۱- ترجیحات کمّی و کیفی برای مقایسه زوجی (ساعتی، ۱۹۹۹).

Table 1. Quantitative and qualitative preferences for pariwise comparisons (Saaty, 1999).

ترجیحات (قضاوت شفاهی) Preferences	مقدار عددی Numerical scale
کاملاً برتر یا و یا کاملاً مطلوب‌تر Extreme preference	9
ترجیح یا اهمیت یا مطلوبیت خیلی قوی Very strong or demonstrated preference	7
ترجیح یا اهمیت یا مطلوبیت قوی Strong preference	5
کمی برتر یا کمی مطلوب‌تر Moderate preference	3
ترجیح یا اهمیت یا مطلوبیت یکسان Equal preference	1
مقادیر حد واسط Intermediate values	2,4,6,8

جدول ۲- نیازمندی‌های گندم و طبقات ارزیابی هر عامل در حوزه قره‌سو.

Table 2. Wheat requirements and evaluation classes of each factor in Qaresoo basin.

نامناسب دائمی Permanently not suitable (N2)	نامناسب موقتی Currently not suitable (N1)	متوسط Marginally suitable (S3)	مناسب Suitable (S2)	خیلی مناسب Highly suitable (S1)	عامل محیطی Environmental factors
<200	200-250	250-350	350-450	450-1000	بارش سالانه (میلی‌متر) Annual precipitation (mm)
<42	36-42	30-36	25-30	20-25	دمای بیشینه سالیانه (سانتی‌گراد) Annual maximum temperature (ºC)
<2	2-4	4-7	7-10	10-15	دمای کمینه سالیانه (سانتی‌گراد) Annual minimum temperature (ºC)
<8	8-10	10-12	12-16	16-18	دمای متوسط سالیانه (سانتی‌گراد) Annual average temperature (ºC)
>9.5	4.5> 9.1-9.5	4.5-5 8.6-9	5.1-5.5 8.1-8.5	5.6-8	اسیدیته خاک pH
>13	8.1-13	6-8.1	4-6	<4	شوری خاک (دسی زیمنس بر متر) EC ($ds.m^{-1}$)
-	<0.5	0.5-1	1-1.5	1.5<	ماده آلی (درصد) Organic matter (%)
>25	16-25	8-16	2-8	<2	شیب (درصد) Slope (%)
>3000	2200-3000	1700-2200	1000-1700	0-1000	ارتفاع از سطح دریا (متر) Elevation (m)
شنی S	شنی لومی L-S	لوم شنی S-L	لوم رسی شنی S-C-L رسی سیلتی Si-C رسی C لوم رسی C-L لوم L	سیلتی Si لوم سیلتی Si-L لوم رسی سیلتی Si-C-L	بافت خاک Soil texture
_	شمال، غرب North, West	_	جنوب، شرق South, East	_	جهات شیب Aspect

منابع: تووآن و همکاران، ۲۰۱۱؛ ترینتافیلیس و همکاران، ۲۰۰۱؛ العام، ۲۰۱۰؛ کافی و همکاران، ۲۰۰۳؛ محمدی و همکاران، ۲۰۰۱؛ کاظمی، ۲۰۱۲.

L: Loam; C: Clay; Si: Silt; S: Sand; Si-L: Silty loam; Si-C-L: Silty Clay Loam; C-L: Clay Loam; L-S: Laomy Sand; S-L: Sandy Loam; S-C-L: Sandy Clay Loam; Si-C: Silty Clay

در مرحله بعد، ابر ماتریس موزون[1] از طریق ضرب مقادیر ابر ماتریس ناموزون در ماتریس خوشه‌ای محاسبه می‌شود. سپس از طریق نرمال کردن ابر ماتریس موزون، ابر ماتریس از نظر ستونی به حالت تصادفی تبدیل می‌شود (۳۲). سپس با به توان رسانیدن تمامی عناصر ابر ماتریس موزون تا زمانی که واگرایی[2] حاصل شده یا به‌عبارت دیگر تمامی عناصر ابر ماتریس همانند هم شوند ادامه یافته تا ابر ماتریس حد[3] تشکیل شود (۳۶).

در گام سوم گزینه برتر انتخاب شد. گزینه‌ای که بیشترین اولویت کلی را داشته باشد، به‌عنوان برترین گزینه برای موضوع موردنظر انتخاب می‌شود (۳۶).

تکمیل پرسشنامه برای انجام مقایسات زوجی با استفاده از ANP برای جمع‌آوری داده‌های فرآیند تحلیل شبکه‌ای و تعیین وزن معیارها و زیرمعیارها از پرسشنامه استفاده شد. جهت تکمیل پرسشنامه از محققان زراعت مراکز تحقیقاتی و اساتید دانشگاه در حوزه زراعت بر اساس طیف ۹ قسمتی ساعتی (جدول ۱) نظرخواهی شد. پس از جمع‌آوری پرسشنامه‌ها، جهت تعیین اوزان از نرم‌افزار Super Decision 2.2.6 استفاده شد.

تهیه جدول نیازمندی‌های بوم‌شناختی گندم: برای انجام این مطالعه، با توجه به آمار و اطلاعات حاصل از مطالعات انجام شده، اطلاعات و مستندات علمی مستخرج از مقالات علمی- پژوهشی در ارتباط مستقیم یا غیرمستقیم با موضوع مورد مطالعه، فاکتورهای لازم برای کشت گندم مشخص گردیدند.

مبنای این درجه‌بندی بر اساس روش پیشنهادی تووآن و همکاران (۲۰۱۱)، ترینتافیلیس و همکاران (۲۰۰۱)، العام (۲۰۱۰)، کافی و همکاران (۲۰۰۳)، محمدی و همکاران (۲۰۰۱) و کاظمی (۲۰۱۲) بود. سپس بر اساس جدول نیازمندی‌ها (جدول ۲)، لایه‌های اطلاعاتی در محیط GIS تهیه شد.

تهیه نقشه‌ها و لایه‌های اطلاعاتی محیطی

تهیه لایه‌های اقلیمی: آمار درازمدت بارش از سازمان هواشناسی استان گلستان تهیه شد. بدین منظور تعداد ۶۳ ایستگاه باران‌سنجی، هم‌دیدی و اقلیم‌شناسی استان، مورد مطالعه قرار گرفت. دوره آماری ایستگاه‌ها، بر اساس تاریخ فعالیت آن‌ها تا سال ۱۳۹۲ بود. جهت نرمال بودن داده‌های بارش استان از تبدیلات خودکار Log استفاده شد. به‌دلیل وجود روند در داده‌های بارش از روش کریجینگ جهانی لایه بارش برای استان تهیه، سپس براساس مزارع گندم حوزه مورد مطالعه استخراج و بر مبنای جدول ۲ طبقه‌بندی شد.

لایه دمایی کمینه، متوسط و بیشینه حوزه نیز از پژوهش محمودان (۲۰۱۴) دریافت شد (۲۴). این لایه‌ها نیز برای مزارع گندم و براساس جدول نیازمندی‌های گندم (جدول ۲) استخراج و سپس برش داده شد.

تهیه لایه‌های توپوگرافی: لایه‌های عوامل توپوگرافی شامل شیب، جهت شیب و ارتفاع از سطح دریای محدوده مورد مطالعه، پس از استخراج مدل رقومی ارتفاعی[4] (DEM) با کیفیت ۲۰ متر محدوده مورد مطالعه از نقشه‌های توپوگرافی ۳ بعدی و اصلاح خطاهای بزرگ و کوچک آن در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی، تهیه و براساس طبقه‌بندی نیازمندی‌های گندم (جدول ۲)، طبقه‌بندی شدند و مساحت هر طبقه محاسبه شد.

تهیه لایه‌های خاک: جهت ساخت لایه اسیدیته و ماده آلی تعداد ۱۳۸ نقطه و برای شوری خاک حوزه

1- Weighted super matrix
2- Convergence
3- Limit super matrix
4- Digital Elevation Model

۷۰ نقطه نمونه‌برداری شده مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان گلستان استفاده شد. وضعیت نرمال بودن داده‌ها با کمک ابزار Histogram در محیط GIS بررسی شد. جهت میان‌یابی اسیدیته و ماده آلی به‌دلیل عدم وجود روند از کریجینگ معمولی و برای شوری خاک به‌خاطر وجود روند در داده‌های شوری خاک حوزه از کریجینگ جهانی استفاده شد. سپس به ارزیابی مدل‌های موجود در GIS پرداخته شد. لایه خروجی برای محدوده اراضی گندم استخراج و براساس جدول نیازمندی‌های گندم به عوامل خاکی (جدول ۲) طبقه‌بندی و مساحت هر طبقه محاسبه شد.

لایه بافت خاک از سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری کشور دریافت شد. این لایه‌ها نیز براساس مزارع گندم برش و سپس براساس جدول (۲) طبقه‌بندی و مساحت هر طبقه محاسبه شد.

ارزیابی مزارع گندم جهت تعیین وضعیت کشت گندم: بعد از تحلیل شبکه‌ای عوامل محیطی، کار تلفیق و روی هم‌گذاری ضرایب مربوط به هر یک از عوامل براساس طبقه‌بندی مبتنی بر جدول (۲)، با استفاده از حسابگر شبکه‌ای[1] به‌روش هم‌پوشانی وزنی انجام شد. لایه خروجی بعد از طبقه‌بندی و محاسبه مساحت هر طبقه جهت تعیین وضعیت اراضی زراعی حوزه قره‌سو جهت کشت گندم مورد استفاده قرار گرفت. لازم به ذکراست که این پژوهش بدون در نظر گرفتن وضعیت منابع آبی، مدیریت زراعی و مسائل اقتصادی و اجتماعی انجام شده است.

نتایج و بحث

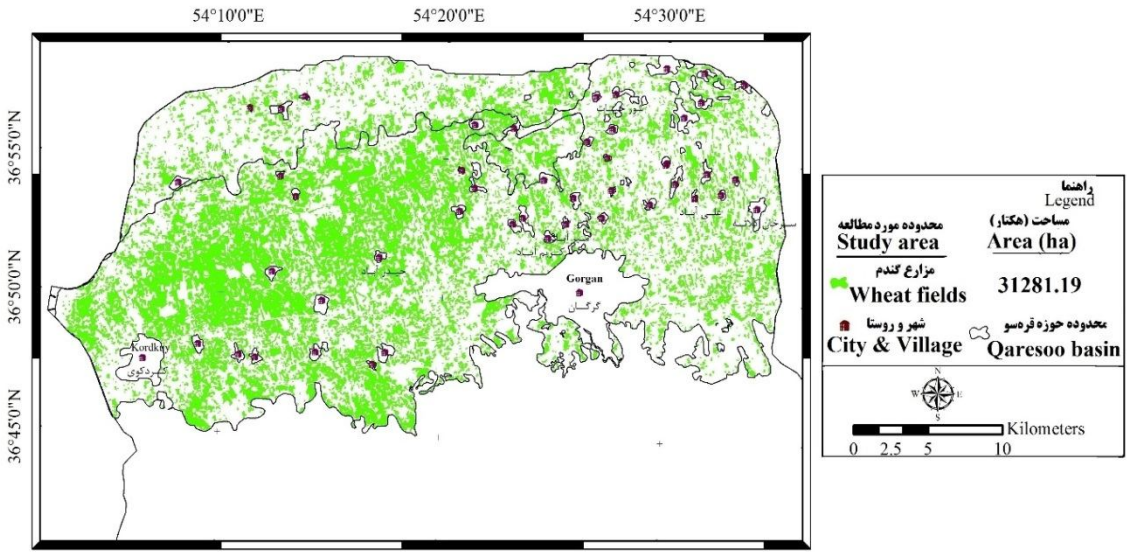
نتایج ارزیابی صحت نقشه استخراج‌شده گندم: صحت تفکیک با استفاده از نقاط کنترل زمینی مورد سنجش قرار گرفت که روش حداقل فاصله از میانگین مربوط به ۱۶ فروردین با صحت کلی ۰/۸۶ انتخاب شد (جدول ۳).

جدول ۳- ارزیابی صحت کلی نقشه‌های استخراج‌شده مزارع گندم برای تصاویر ماهواره‌ای.

Table 3. Evaluation of general accuracy for extracted wheat fields by satellite images

تاریخ تصویر Image date / روش طبقه‌بندی Method Classification	۱۶ فروردین 5 April	۱۷ اردیبهشت 7 May
	ضریب صحت کلی General accuracy assessment coefficient	
حداقل فاصله از میانگین Minimum Distance	0.86	0.82
حداکثر احتمال Maximum likelihood	0.74	0.82
فاصله ماهالانوبیس Mahalanobi Distance	0.78	0.84

1- Raster Calculator



شکل ۵- موقعیت مزارع گندم تفکیک‌شده از تصویر ماهواره‌ای در محدوده اراضی زراعی حوزه قره‌سو.

Figure 5. Geographical position of detected wheat fields by satillate image in agricultural lands, Qaresoo basin

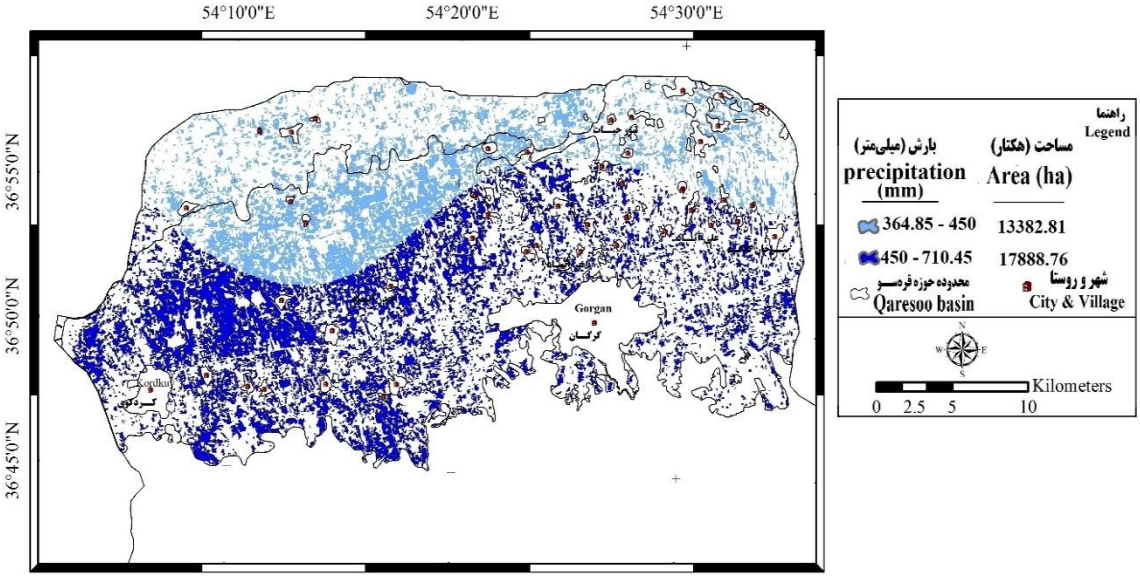
سپس در محیط GIS با استفاده از تابع حذف[1] پلی‌گون‌های کوچک مزارع گندم، جهت انطباق با قابلیت‌های DEM حذف شدند (شکل ۷). بر این اساس مساحت مزارع گندم در حوزه قره‌سو ۳۱۲۸۱/۱۹ هکتار برآورد شد.

نتایج حاصل از تحلیل شبکه‌ای عوامل محدودکننده کشت گندم: جهت محاسبه ابر ماتریس حد، تمامی داده‌های داخل ماتریس مقایسات زوجی پس از نرمال‌شدن، در قالب ابر ماتریس اولیه به نام ابر ماتریس ناموزون[2] به‌دست آمدند. سپس برای تبدیل ابر ماتریس به ابر ماتریس موزون، سوپرماتریس ناموزون در ماتریس خوشه‌ای[3] ضرب شد. در نهایت با توان رساندن ابر ماتریس موزون، ابر ماتریس حد به‌دست آمد. در گام نهایی، با نرمال‌سازی وزن‌های به‌دست آمده برای انواع زیرمعیار مورد مطالعه در تعیین عوامل محدودکننده کشت گندم، نتایج تحقیق اولویت‌بندی شد (جدول ۴). نتایج به‌دست آمده از تجزیه‌وتحلیل پرسشنامه به‌روش ANP نشان داد که معیار خاک به جهت کشت گندم با توجه به شرایط حوزه مورد مطالعه با ضریب ۰/۶۶ در رتبه اول قرار دارد و بعد از آن به‌ترتیب اقلیم و توپوگرافی قرار دارند. در بین عوامل خاکی بیشترین وزن به شوری خاک و ماده آلی به‌ترتیب با ضریب ۰/۳۳ و ۰/۱۶ و کمترین وزن به بافت خاک با ۰/۰۸۴ تعلق داشت. در بین عوامل اقلیمی، بارش با ۰/۰۹۷ بیشترین و دمای بیشینه با ۰/۰۱۵ کمترین ضریب را به خود اختصاص دادند. همچنین برای عوامل توپوگرافی، ارتفاع از سطح دریا بیشترین و جهات شیب کمترین ضریب را به خود اختصاص دادند. در این آزمایش با این‌که از لحاظ اقلیمی و توپوگرافی حوزه مورد مطالعه دارای محدودیت چندانی نبوده، اما از لحاظ شوری در مناطق شمالی حوزه و کمبود ماده آلی به‌طور پراکنده در قسمت‌های میانی حوزه محدودیت وجود داشت. بیدادی و همکاران (۲۰۱۴) در تحقیقی به پهنه‌بندی مناطق مستعد کشت سویا در حوزه قره‌سو با استفاده از GIS و فن AHP پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد که نقش از بین عوامل اقلیمی و توپوگرافی موثر بر

1- Eliminate
2- Unweighted Matrix
3- Cluster matrix

کشت سویا در حوزه مورد مطالعه نقش عوامل اقلیمی بیش‌تر است. همچنین گزارش کردند هدایت الکتریکی با ضریب وزنی ۰/۳۶ به‌عنوان مهم‌ترین عامل در کشت سویا مطرح می‌باشد و به‌عنوان یک عامل محدودکننده در کشت این محصول محسوب می‌شود (۱۰). کاظمی و همکاران (۲۰۱۲) در پهنه‌بندی زراعی بوم‌شناختی اراضی زراعی استان گلستان جهت کشت کلزا با استفاده از GIS و فن AHP گزارش کردند که وزن عوامل اقلیمی برای کشت کلزا ۰/۴۴۳ و وزن عوامل توپوگرافی و خاکی به‌ترتیب معادل ۰/۱۶۴ و ۰/۳۹۲ است (۲۱). اعمی ازغدی و همکاران (۲۰۱۰) در مطالعه‌ای که برای ارزیابی حاصلخیزی خاک انجام داده بودند و قسمتی از تحقیق آن‌ها با روش AHP انجام شد نشان دادند که فسفر، پتاسیم و مواد آلی خاک در میزان حاصلخیزی خاک اهمیت دارند (۱). نتایج نشان داد که میزان مواد آلی خاک، فسفر و پتاسیم به‌ترتیب در حاصلخیزی خاک بیشترین نقش را ایفا می‌کنند. در تحقیق تاپا و مورایاما (۲۰۰۸) که با استفاده از GIS و AHP در منطقه هانوی تایلند انجام شد، عامل خاک بیشترین ضریب را نسبت به سایر عوامل مورد بررسی داشت.

نتایج تهیه لایه‌های اقلیمی: براساس نقشه به‌دست آمده برای بارش سالیانه (شکل ۸) بارش از سمت شمال به جنوب استان روند افزایشی دارد که در حوزه قره‌سو نیز این مطلب صادق است. می‌توان تغییرات بارندگی در این مناطق را به‌دلیل شرایط توپوگرافی منطقه و دوری یا نزدیکی به دریا دانست. میانگین بارش سالیانه استان گلستان در ۶۳ ایستگاه هواشناسی مورد مطالعه معادل ۴۷۸/۵۱ میلی‌متر بود.



شکل ۸- توزیع مکانی بارش سالیانه مزارع گندم در اراضی زراعی حوزه قره‌سو.

Figure 8. Spatial distribution of annual precipitation in wheat-grown fields in agricultural lands, Qaresso basin.

جدول ٤- ضرایب نرمال‌شده با خوشه‌ها و ضرایب زیرمعیارهای مربوط به عوامل محدودکننده گندم در حوزه قره‌سو.

Table 4. Normalized coefficients by clusters and factor subcriteria related to the limiting factors of wheat in Qaresoo basin.

معیارها Criteria	زیر معیارها (عامل محیطی) Subcriteria	نرمال شده با خوشه‌ها Normalized by clusters	ضرایب Coefficients
عامل اقلیمی Climatic factor	بارش Precipitation	0.530	0.0974
	دمای بیشینه Maximum Temp	0.274	0.0150
	دمای متوسط Average Temp	0.081	0.0504
	دمای حداقل Minimum Temp	0.112	0.0207
		جمع Sum	0.1835
عامل توپوگرافی Topograpgy factor	ارتفاع از سطح دریا Elevaton	0.428	0.0640
	جهت شیب Aspect	0.242	0.0293
	شیب Slope	0.132	0.0561
		جمع Sum	0.1494
عامل خاک Soil factor	اسیدیته خاک Soil pH	0.126	0.0886
	بافت خاک Soil texture	0.195	0.0845
	شوری خاک EC	0.428	0.332
	ماده آلی Organic matter	0.375	0.161
		جمع Sum	0.6661
		ضریب ناسازگاری	0.07

پارسائی و مفیدی خواجه (۲۰۰۹) عنوان کردند که از جنوب به سمت شمال و از ساحل به سمت شرق استان گلستان از میزان بارندگی‌ها کاسته می‌شود (۲۹). عساکره و همکاران (۲۰۱۰) بیان داشتند که میانگین بارش سالانه در استان گلستان از شمال به جنوب افزایش پیدا می‌کند که کمترین میزان بارندگی در نواحی شمالی و بیشترین میزان در نواحی جنوبی استان رخ می‌دهد و نقش ارتفاع در میزان بارندگی بیش از طول و عرض جغرافیایی است (۴). مساعدی و کاهه (۲۰۰۸) با بررسی تأثیر بارندگی بر عملکرد گندم و جو در استان گلستان در طی یک دوره ۲۰ ساله نتیجه گرفتند که با افزایش و کاهش بارندگی سالیانه، عملکرد گندم دارای روند کاهشی و افزایشی می‌باشد (۲۶). علیجانی و همکاران (۲۰۱۱) با بررسی اثر بارش و دما بر عملکرد گندم آبی اظهار داشتند که متغیر بارندگی بر عملکرد گندم اثر مثبت دارد و تأثیر کاهش بارندگی روی عملکرد بیشتر از افزایش درجه حرارت بوده است و در استان‌هایی مانند استان

گلستان که دارای نوسان‌های توزیع مکانی بارندگی بیشتری هستند، نوسانات عملکرد نیز بیشتر است (۲). لایه بارش اراضی گندم حوزه قره‌سو نشان داد مناطق جنوبی حوزه به‌دلیل نزدیکی به ارتفاعات دارای بارش بیشتری نسبت به مناطق شمالی بود. همچنین کل اراضی گندم حوزه نیز از نظر بارش سالیانه دارای ارزش بسیار مناسب (S1) و مناسب (S2) برای کشت گندم بود.

نیازهای دمایی گندم در حوزه قره‌سو دامنه تغییرات زیادی ندارد، بنابراین دماهای کمینه و بیشینه در طبقه‌بندی براساس جدول ۲ در طبقه بسیار مناسب (S1) و دمای متوسط در طبقه مناسب (S2) قرار گرفتند.

بیدادی (۲۰۱۲) عنوان نمود که قسمت‌های شمالی حوزه که بخش اعظم کاربری زراعی حوزه قره‌سو را شامل می‌شود، از لحاظ دمای کمینه، متوسط و بیشینه برای کشت گندم دارای محدودیت نمی‌باشند (۹). علیجانی و همکاران (۲۰۱۱) در تحقیقی به‌این نتیجه رسیدند که افزایش دما طی این سال‌ها موجب کاهش عملکرد شده است (۲). لیانگ‌ژی و همکاران (۲۰۰۵) به بررسی تغییرات آب و هوا بر عملکرد گندم در چین پرداختند و نتیجه گرفتند افزایش دما بر عملکرد محصولات اثر منفی دارد (۲۳).

لایه‌های توپوگرافی مزارع گندم: وضعیت ارتفاع کل مزارع گندم حوزه مورد مطالعه در دامنه ارتفاعی ۳۲- تا ۴۱۲ متر قرار داشتند. براساس جدول (۲) کل مزارع گندم در اراضی زراعی برای کشت این گیاه دارای ارزش بسیار مناسبی (S1) بودند. بیدادی (۲۰۱۲) در تحقیق خود عنوان نمود که کل حوزه قره‌سو در دامنه ارتفاعی ۱۳- تا ۳۲۲۱ متر قرار دارد. همچنین وی گزارش کرد که قسمت‌های جنوبی حوزه قره‌سو نسبت به قسمت‌های شمالی آن دارای ارتفاع بیشتری است (۹). ارتفاع نقش مهمی در تنوع اقلیم و کشت محصول دارد. ارتفاع از یک‌سو با تأثیرگذاری در نسبت بارش و از سوی دیگر با تأثیر مستقیم بر دما نقش مهمی در توسعه کشت یا ایجاد محدودیت برای کشت ایفا می‌کند (۱۲). تغییرات ارتفاعی در اراضی کشاورزی شهرستان گرگان از صفر تا بیش از ۳۰۰۰ متر متغیر می‌باشد و مناطق جنوبی این شهرستان به مناطق مرتفع کوهستانی محدود می‌شوند (۲۰).

براساس موقعیت جهات شیب و وضعیت شیب مزارع گندم حوزه قره‌سو (شکل ۹) ۶۶ درصد از مساحت مزارع تحت بررسی رو به شمال و ۹/۱۲ درصد نیز در شیب رو به جنوب واقع شده است. کاربرد جهات شیب در کشاورزی در تعیین دامنه‌های جنوبی و شمالی به‌منظور کشت محصولات خاص کشاورزی می‌باشد. در عرض‌های میانی نیم‌کره شمالی، دامنه‌های جنوب‌شرقی تا جنوب‌غربی، گرم‌ترین دامنه‌ها از نظر دریافت انرژی بیشتر خورشیدی هستند. از آنجایی‌که شیب‌های جنوبی و شرقی بهترین شیب برای رویش گیاه هستند، بنابراین در فرآیند پهنه‌بندی رتبه برتر به این دو جهت اختصاص یافت (۹).

میزان شیب در مناطق شمالی کمتر از ۲ درصد بود (حدود ۷۹/۲۸ درصد از مساحت مزارع گندم حوزه قره‌سو) که از این نظر دارای ارزش بسیار مناسبی (S1) برای کشت گندم می‌باشند. همچنین مناطق جنوبی دارای شیب بیشتر از ۲۵ درصد که سهم ناچیزی از مساحت حوزه را در بر گرفته است (حدود ۰/۲ درصد)، براساس جدول (۲) در طبقه نامناسب دائمی (N2) قرار گرفتند. این مناطق به‌دلیل نزدیکی به ارتفاعات دارای شیب تند و ارزش پایینی برای کشت گندم داشتند. موقعیت شیب، بیشترین تأثیر را روی عملکرد گندم پاییزه دارد (سیها، ۱۹۸۴) و با عملکرد گندم همبستگی منفی نشان می‌دهد (۲۷). موقعیت شیب می‌تواند حرکت مواد و آب را در خاک

کنترل کرده و در موقعیت‌های مکانی متفاوت ویژگی‌های متفاوتی را در خاک ایجاد کند (۵).

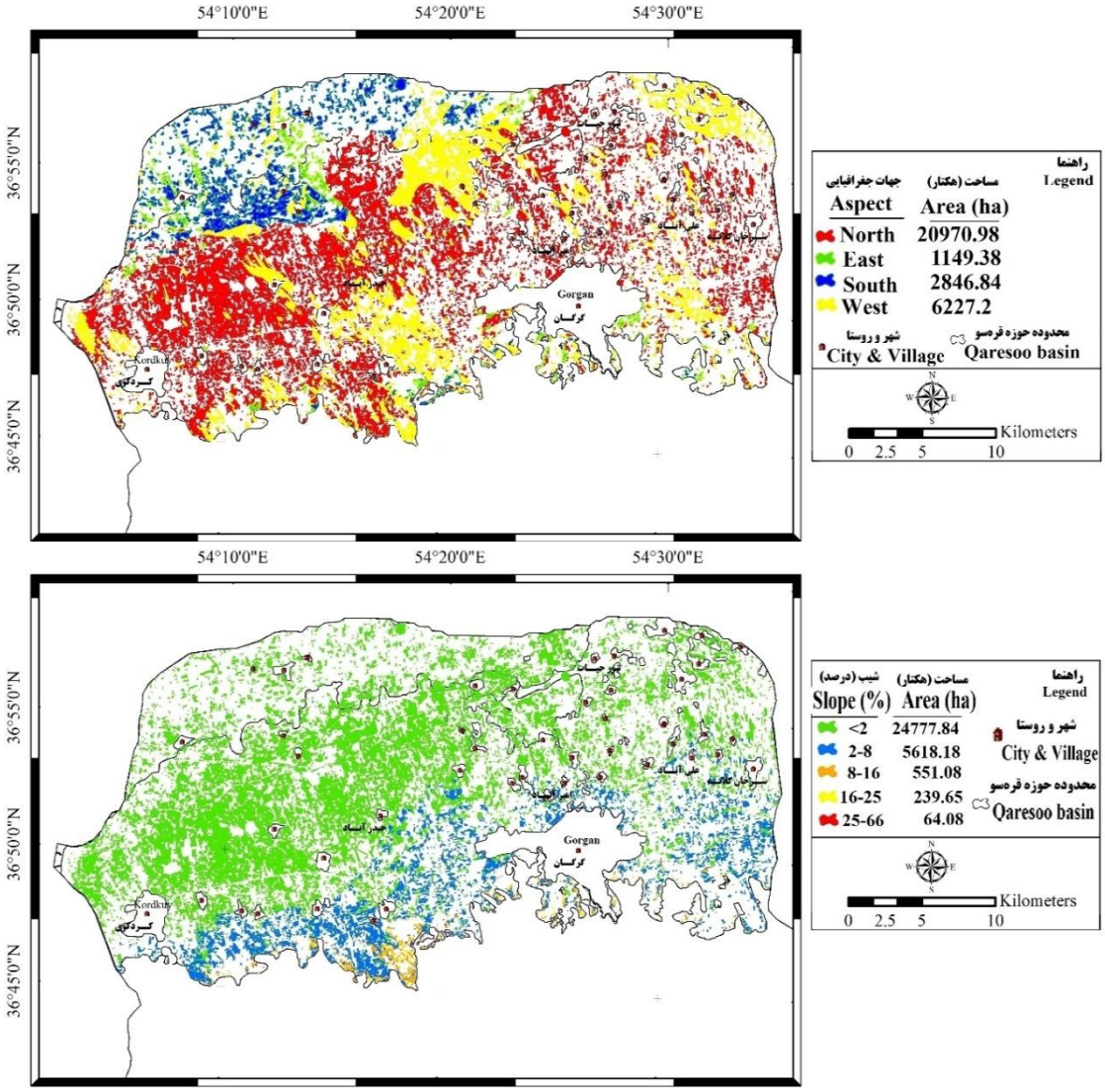
شیب یکی از مشخصه‌های فرسایش خاک است و عامل مهمی در تصمیم‌گیری‌های زراعی از جمله انتخاب گیاه، روش‌های تهیه بستر بذر، آبیاری و سایر موارد است. هرچه شیب زمین کمتر باشد، برای کشت دیم محصولات مناسب‌تر است، زیرا شیب کم باعث می‌شود تا آب‌های ناشی از بارندگی در زمین نفوذ نماید و ذخیره رطوبتی خاک افزایش پیدا کند. از طرف دیگر دامنه تغییرات حرارتی در شیب کم، کمتر از شیب زیاد می‌باشد و این نیز یک عامل مثبت برای رشد گیاه محسوب می‌گردد (۳). نیمه شمالی شهرستان گرگان که بیشتر اراضی کشاورزی نیز در این منطقه قرار دارند، اکثرا دارای شیب مناسب جهت کشت گیاهان زراعی می‌باشند و نیمه‌جنوبی به‌دلیل مرتفع و کوهستانی بودن، در بیشتر موارد شیب بالاتری نسبت به نیمه شمالی دارد. نقشه شیب در اراضی کشاورزی استان گلستان به‌گونه‌ای است که می‌توان آن را به دو قلمرو جلگه‌ای و کوهستانی تقسیم کرد. تقریبا در سراسر اراضی کنونی استان، شیب زمین از ارتفاعات به‌سوی جلگه و دریای خزر (از شمال به جنوب به‌سوی سواحل جنوبی و از شرق به غرب به‌سوی سواحل شرقی دریا) کاهش می‌یابد. قلمرو غربی و مرکزی استان و تا حدودی قسمت‌های شرقی استان در حد فاصل ارتفاعات از شیب کم (۵-۰ درصد) برخوردار است (۲۰).

لایه‌های خاک‌شناسی مزارع گندم: کل مساحت اراضی زراعی حوزه قره‌سو دارای pH بین ۸-۷/۴۶ بوده که براساس جدول نیازمندی‌های گندم (جدول ۲) جهت کشت گندم در طبقه بسیار مناسب (S1) قرار گرفت و هیچ محدودیتی از نظر pH خاک در حوزه مشاهده نمی‌شود.

شهبازی و همکاران (۲۰۱۳) عنوان کردند که بیش از ۹۷ درصد خاک‌های کشور pH بین ۸/۵-۶/۵ دارند که سهم آن دسته از خاک‌هایی که اسیدیته آن‌ها بین ۸/۵-۷/۵ می‌باشد بسیار بیشتر بوده و حدود ۸۳ درصد می‌باشد.

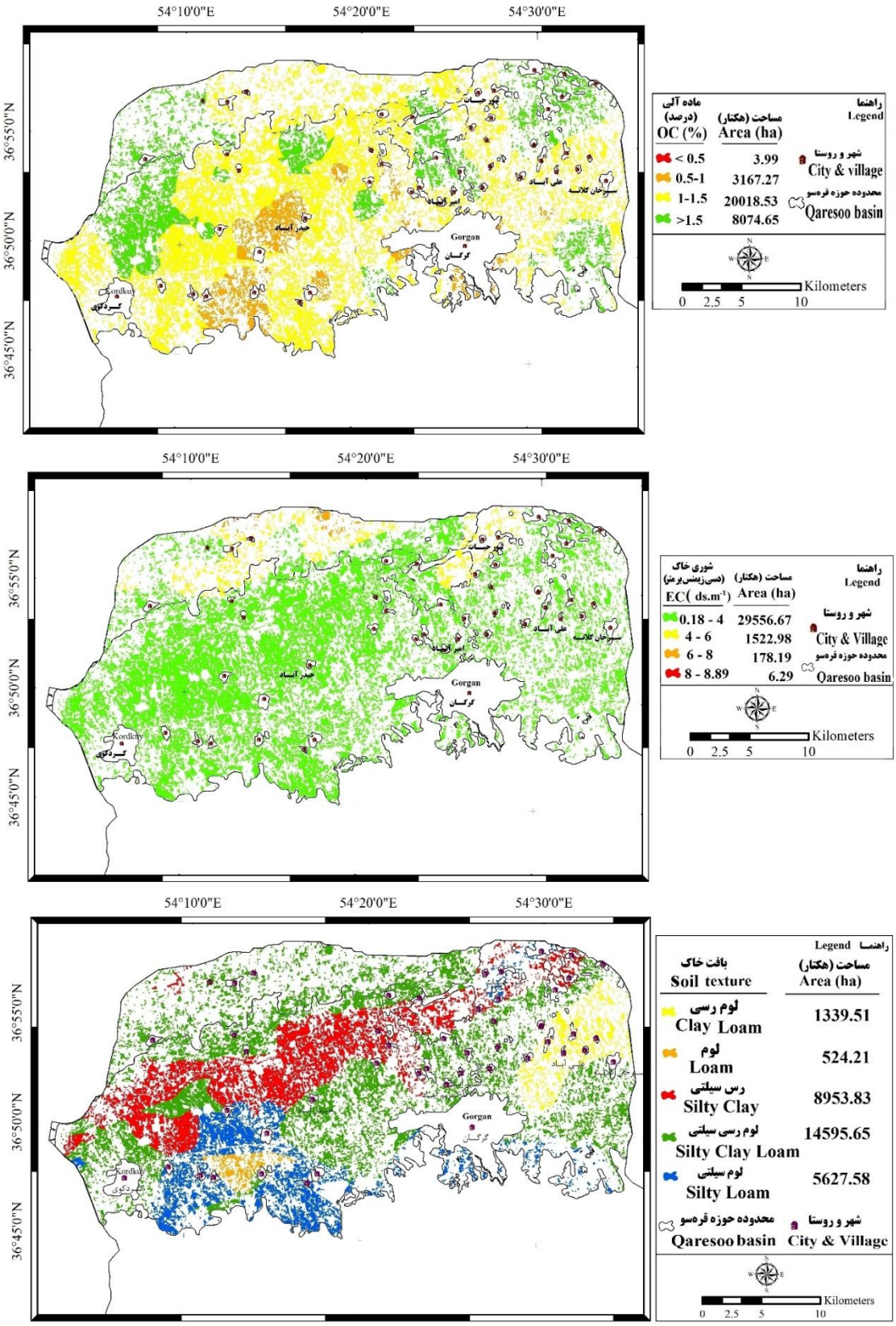
ماده آلی، شوری و بافت خاک مزارع گندم در شکل (۱۱) نشان داده شده است. ماده آلی حوزه بین مقادیر ۰/۴۲ تا ۲ درصد متغیر بود. ۶۴/۰۳ درصد از مساحت مزارع گندم حوزه قره‌سو بین ۱ تا ۱/۵ درصد ماده آلی داشتند. کشاورز و همکاران (۲۰۱۳) در تحقیق خود گزارش کردند که بین عملکرد گندم و ماده آلی همبستگی مثبت و معنی‌داری وجود دارد (۲۲).

براساس یافته‌های شهبازی و بشارتی (۲۰۱۳)، ۴۲/۱ درصد از اراضی زراعی استان گلستان دارای ۱/۵-۱ درصد ماده آلی می‌باشند. کربن آلی به‌عنوان یک متغیر حائز اهمیت تلقی می‌شود، بنابراین تهیه نقشه کربن آلی خاک نه تنها توزیع کربن آلی در اراضی زراعی را نشان خواهد داد، بلکه محل وقوع کمبود آن را مشخص می‌کند.



شکل ۹- جهات شیب و وضعیت شیب مزارع گندم در محدوده زراعی حوزه قره‌سو.

Figure 9. Aspect and slope of wheat-grown fields in agricultural lands, Qaresso basin.



شکل ۱۰- توزیع مکانی ماده آلی، شوری و بافت خاک مزارع گندم در محدوده اراضی حوزه مورد مطالعه.

Figure 10. Spatial distribution of organic matter, EC and soil texture of wheat-grown fields in agricultural lands, Qaresso basin.

شوری خاک حدود ۹۴/۵۳ درصد از مزارع گندم کمتر از ۴ دسی زیمنس بر متر بود. همچنین اراضی با شوری خاک بین ۴ تا ۶ دسی زیمنس بر متر ۴/۸۷ درصد از مساحت مزارع گندم را شامل شدند. آستانه تحمل شوری گندم حدود شش دسی زیمنس بر متر است و هدایت الکتریکی ۷/۴، ۹/۵، ۱۳ و ۲۰ دسی زیمنس بر متر به‌ترتیب سبب ۱۰، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ درصد کاهش عملکرد گندم می‌شود (اقبال، ۲۰۰۳). آنچه در مورد میزان آستانه تحمل به شوری اهمیت دارد این است که عوامل مختلفی مانند ترکیبات نمک، میزان آب خاک، موجودات زنده خاک، شرایط فیزیکی خاک، توزیع نمک در پروفیل خاک، حاصلخیزی خاک، اقلیم، روش تهیه بستر، مرحله رشدی گیاه و حتی برخی مواقع نوع رقم بر میزان آستانه تحمل به شوری گیاهان زراعی تاثیر دارند. بیدادی (۲۰۱۲) میزان شوری کمتر از ۴ دسی زیمنس بر متر حوزه قره‌سو را در حدود ۹۳ درصد مساحت حوزه گزارش نمود (۹).

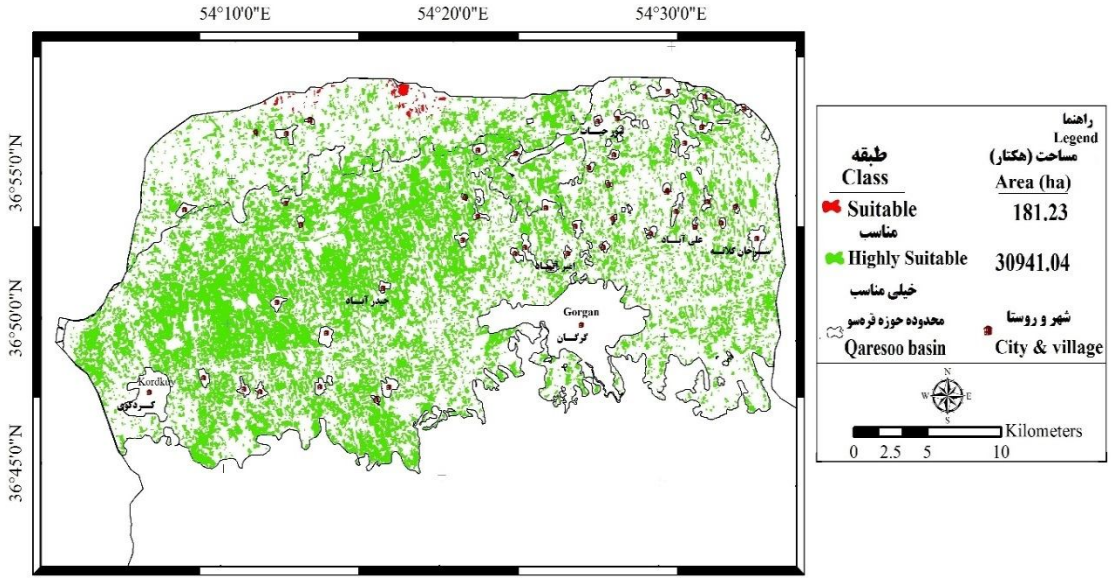
قربانی و بصیری (۲۰۱۳) گزارش کردند که تنش شوری سبب کاهش ارتفاع بوته، شاخص سطح برگ، تعداد پنجه در بوته، تعداد سنبله بارور، تعداد دانه در سنبله، مقدار ماده خشک، شاخص برداشت و عملکرد دانه گندم خواهد شد، ولی بیش‌تر پژوهش‌ها نشان می‌دهند که تنش شوری تا محدوده متوسط تاثیری بر وزن هزار دانه گندم ندارد و فقط تنش‌های شوری زیادتر (بیش از ۸ دسی زیمنس بر متر) می‌تواند سبب کاهش وزن هزار دانه شود (۱۳ و ۱۴).

بیشترین مساحت بافت خاک مزارع گندم حوزه مورد مطالعه از نوع لوم رسی سیلتی (حدود ۴۸/۱۰ درصد) و بعد از آن، بافت رسی سیلتی (۲۸/۸۴ درصد) است. کمترین مساحت بافت خاک نیز مربوط به بافت لومی (در حدود ۱/۶۸ درصد) بود. بافت خاک مهم‌ترین ویژگی فیزیکی خاک است که بر تولید محصول و مدیریت مزرعه موثر است.

نتایج ارزیابی زراعی- بوم‌شناختی مزارع گندم در حوزه قره‌سو: نقشه‌های ارزیابی زراعی- بوم‌شناختی مزارع گندم حوزه قره‌سو در شکل (۱۱) ارائه شد. نتایج نشان داد که حدود ۹۹/۴۱ درصد از مزارع گندم، در طبقه بسیار مناسب و حدود ۰/۵۸ درصد در طبقه مناسب قرار گرفت. نتایج حاکی از آن است که مزارع فعلی گندم حوزه قره‌سو دارای محدودیت از نظر عوامل توپوگرافی، اقلیمی و عوامل خاکی به لحاظ کشت گندم نبود و این نیز بیان‌گر این مطلب است که کشاورزان مناطق مناسبی را جهت کشت گندم انتخاب نموده‌اند.

با توجه به نقشه ارزیابی زراعی- بوم‌شناختی مساحت بیشتری از اراضی شرایط مطلوبی برای کشت گندم دارد و انتظار تولید محصول با عملکرد بالا می‌رود. همچنین در مناطقی که به‌لحاظ شوری خاک دارای محدودیت می‌باشند، با انجام عملیات‌های مدیریتی جهت کاهش شوری می‌توان عملکرد در حد مطلوبی را پیش‌بینی کرد. تحمل به شوری گندم به شدت تحت تأثیر عوامل اقلیمی می‌باشد (۳۱). کشاورزانی که عملیات زراعی را به‌موقع و از نهاده‌های کشاورزی به‌طور بهینه و از دانش فنی بالایی برخوردار باشند حصول عملکرد بالا در مزارع گندم آن‌ها انتظار می‌رود. جدایی (۲۰۰۰) با بررسی عوامل موثر بر عملکرد گندم آبی در ارومیه عنوان نمود کیفیت خاک عامل اساسی در تبیین اختلاف عملکردها نبوده و در مقابل کارکردهای مدیریتی مزارع از مهم‌ترین عوامل موثر بر تغییرات مقادیر عملکردها بود (۱۷). محمودان (۲۰۱۴) به مقایسه عملکرد گندم در سیستم‌های زراعی رایج در حوزه قره‌سوی شهرستان گرگان و مزارع پیشرفته استان گلستان در حوزه گرگان‌رود، واقع در شهرستان آق‌قلا پرداخت. نتایج

پژوهش نشان داد مدیریت مزرعه مهم‌ترین عامل در تولید گندم بوده و با مدیریت بهتر می‌توان به تولید عملکرد بالاتری دست یافت (۲۴). ایوبی و همکاران (۲۰۰۹) در تحقیقی بر روی عملکرد گندم و خصوصیات خاک در یک مزرعه در شهرستان گرگان پرداختند. نتایج نشان داد که تغییرپذیری ناشی از مدیریت عامل مهمّی در تغییرپذیری ویژگی‌های خاک و عملکرد گندم در مزرعه مورد مطالعه بود (۶).



شکل ۱۱. ارزیابی زراعی- بوم‌شناختی مزارع گندم جهت تعیین مزارع مستعد برای کشت گندم در محدوده زراعی حوزه قره‌سو با روش ANP.

Figure 11. Agro-ecologycal assessment of wheat-grown fields to determine susceptible wheat fields in agricultural lands, Qaresso basin using ANP method.

مزارع بسیار مناسب جهت کشت گندم: این مناطق به‌دلیل دارا بودن شرایط اقلیمی، توپوگرافی و خاکی مناسب در طول دوره رشد گندم دارای عملکرد بالایی هستند و یا می‌توانند چنین عملکردی را در صورت فراهم بودن سایر متغیرهای موردنیاز داشته باشند. این مناطق مکان بسیار مناسبی برای تأمین نیازمندی‌های محیطی و زراعی گندم هستند که کل اراضی آبی و بخش اعظم اراضی دیم را شامل می‌شود. ارتفاع کم‌تر اراضی، شیب‌های کم‌تر (به‌جز مناطق جنوبی) و جهات شیب در حد مناسب، دماها و بارش بسیار مناسب و همچنین هدایت الکتریکی، اسیدیته و بافت خاک در حد مطلوب و ماده آلی مناسب (به‌جز مناطق میانی حوزه) از جمله عواملی بود که باعث قرار گرفتن این مزارع در این پهنه شدند.

مزارع مناسب جهت کشت گندم: این مناطق از نظر شرایط بوم‌شناختی، برای کشت گندم مناسب بوده، ولی در شرایط ضعیف‌تری نسبت به مناطق بسیار مناسب قرار دارند. همچنین این مناطق جزء اراضی دیم محسوب می‌شوند، ولی می‌توان عملکرد محصول گندم به نسبت خوبی را از آن‌ها انتظار داشت. این مناطق از نظر شرایط توپوگرافی و دمایی (بیشینه، متوسط و کمینه)، بارش، بافت و اسیدیته خاک دارای شرایط بهتری بوده و تنها عاملی که باعث پایین آمدن شرایط برای کشت گندم این مناطق شده شوری خاک است. لازم به ذکر است که این مزارع در مناطق

شمالی حوزه قرار داشته و دارای شوری بین ۸/۸۹-۸ دسی زیمنس بر متر هستند.

نتیجه‌گیری کلی

امروزه ارزیابی مناطق مناسب کشت گیاهان زراعی مهم نظیر گندم و استفاده بهینه از منابع موجود برای رسیدن به عملکردی بالا جهت دستیابی به پایداری اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی با استفاده از ابزارها و روش‌های نوین برای رسیدن به نتیجه دلخواه با هزینه کم و با کارایی بالا در جهت ارائه راه‌حل موثر امری ضروری است. با کمک فرایند تحلیل شبکه‌ای (ANP) می‌توان از طریق شکستن یک مسئله پیچیده تصمیم‌گیری، در نظر گرفتن ارتباط متقابل سطوح مختلف تصمیم نسبت به‌هم و همچنین ارتباط داخلی معیارهای تصمیم در یک سطح که در سایر روش‌های تصمیم‌گیری نادیده گرفته می‌شود، به تصمیم‌گیران کمک کرد. با بررسی نتایج حاصل از روش تحلیل شبکه‌ای برای ارزیابی مزارع فعلی گندم حوزه قره‌سو می‌توان چنین استنباط کرد که این مزارع از لحاظ توپوگرافی، اقلیمی و عوامل خاکی دارای محدودیت جدی نمی‌باشند و انتظار حصول عملکرد بالا در این حوزه می‌رود. البته برخی از مزارع گندم در قسمت شمالی حوزه دارای شوری بالاتر از آستانه تحمل (۶ الی ۸/۸۹ دسی زیمنس برمتر) هستند، ولی این مزارع هم دارای ارزش مناسب برای کشت گندم می‌باشند. باید توجه داشت که تولید محصولات زراعی وابسته به یک عامل نیستند و برهمکنش عوامل تولید باعث تعیین میزان عملکرد خواهد شد. بنابراین نمی‌توان بیان کرد که شوری در این مکان عامل محدودکننده بوده و این مزارع فاقد توجیه اقتصادی هستند. در مجموع برآیند این تحقیق بیانگر این بوده که کشاورزان حوزه قره‌سو مکان‌های با ارزش زراعی- بوم‌شناختی بالا را جهت کشت گندم در این حوزه انتخاب کرده‌اند و این منطقه می‌تواند به‌شرط مدیریت عوامل محدودکننده و کاهنده تولید از تولید بالایی برخوردار باشند.

منابع

1. Ama Azghadi, A., Khorasani, R., Mokaram, M., and Moazi, A. 2010. Soil fertility evaluation based on soil K., P., and organic matter factors for wheat by using Fuzzy logic-AHP and GIS techniques. J. Water and Soil., 24: 973-984.
2. Alijani, F., Karbasi, A.R., and Mozaffarimosen, M. 2011. Effect of temperature and precipitation on wheat yield. J. Agric. Econ. Develop., 76: 143-166.
3. Arokhi, S., Hejam, S., and Lotfi, A. 2009. Efficiency of geostatistical methods in favorable areas for wheat cultivation using geographical information system (Case study: Tehran province). Proc. 18th Geomatic Conf., 5-6 may, Tehran. 11p.
4. Asakereh, H., and Mazini, F. 2010. Analysis of the probability distribution for the annual precipitation in the golestan province. Iran-water Resour. Res., 6(1): 51-55.
5. Asgarian, R., Kavian, A.A., Jafarianjelodar, Z., and Bahmanyar, M.A. 2011. Effect of slope position on soil characteristics in agricultural lands around the city of Sari. 1th National Congress of science and new technologies in agriculture, Zanjan, Iran. 4p.
6. Ayoubi, SH., Mohammad Zamani, S., and Khormali, F. 2009. Prediction wheat yield using by soil characteristics and principal component analysis. Iran. J. Soil Water Res., 40(1): 51-57.
7. Bagherzade, H.M., Bagherzade, A., and Moeinrad, H. 2012. Qualitative land suitability evaluation for wheat (*Triticum aestivum* L.) and cotton (*Gossypium herbaceum* L.) products using GIS. Journal of Agroecol., 4: 41-51.

8. Bagli, S., Terres, JM., Gallego, J., Annoni, A., and Dallemand, J.F. 2003. Agro-Pedo-Climatological Zoning of Italy, European commission directorate general joint research center–ISPRA.
9. Bidadi, M.J. 2012. Land suitability analysis on wheat-soybean rotation using geographical information system and remote sensing (A case study: Qaresoo basin). Thesis submitted for the degree of Masre of Science, University of Gorgan, Iran. 112p.
10. Bidadi, M.J., Kamkar, B., and Abdi, O. 2014. Suitable areas zoning of soybean cropping in Qaresoo basin by geographical information systems (GIS). Electronic J. Crop Prod. 7: 175-187.
11. Elaalem, M. 2010. The Application of Land Evaluation Techniques in Jeffara Plain in Libya using Fuzzy Methods. Thesis submitted for the degree of Doctor of Philosopy, University of Leicester, United Kingdom.
12. Feizizadeh, B., Abdali, H., Rezaei Banfsheh, M., and Mohammadi, Gh. 2012. Zoning of susceptible area to rainfed wheat in the Eastern Azerbaijan province by Geospatial analysis of GIS. Agronomy. 96: 75-91.
13. Feizizadeh, B., and Haji mirrahimi, M. 2008. Application of remote sensing data in extraction land use maps. Geomatics 2008 and 4th Conference unification geographical names, Tehran, 11 May.
14. Ghorbani, M.H., and Harutyunyan, H. 2011. Response growth and yield to plant density and row space under rainfed conditions in wheat. Electronic Journal of Crop Production. 4: 139-154.
15. Garcia-Melon, M., Onate J.F., Aznar-Bellver, J., Aragonés-Beltran, P., Poveda-Bautista, R. 2008. Farmland appraisal based on the analytic network Process. J. Global Optim. 42: 143-155.
16. Hossain, M.S., Chowdhury, S.R., Das, N.G., and Rahaman, M.M. 2007. Multi-criteria evaluation approach to GIS-based land suitability classification for tilapia farming in Bangladesh. Aquacul. Inter., 15: 425-443.
17. Jodaei, A.R. 2000. Study of effective factors in wheat yield at Urmia. 3th Conference of Agricultural Economics. Mashhad, Iran, 951-971. (In Persian)
18. Kafi, M., Kamkar, B., and Mahdavidamghani, A.M. 2003. Crop Responses to Environment. Mashhad Jahad Daneshgahi Press, Iran. 297p.
19. Kazemi, H. 2012. Agroecological zoning of agricultural lands in Golestan province. Ph.D. Thesis in Agronomy Tarbiat Modares University. 280p.
20. Kazemi, H. 2013. Agroecological zoning of Gorgan agricultural lands for hulless barley cropping base on Boolean logic. Elect. J. Crop Prod., 6(5): 165-185.
21. Kazemi, H., Tahmasebi Sarvestani, Z., Kamkar, B., Shataee, S., and Sadeghi, S. 2012. Agroecological zoning of agricultural lands in Golestan province for canola cultivation by Geographic Information System (GIS) and Analytical Hierarchy Process (AHP). Elect. J. Crop Prod., 5: 123-39.
22. Keshavarz, P., Zangiabadi, M., and Abbaszadeh, M. 2013. Effect of clay content and soil salinity on soil organic carbon relationships with yield. Iran. J. of Soil. Res., 3: 359-371.
23. Liangzhi, Y., Mark, W., Cheng, F., Stanly, W. 2005. Impact of global warming on Chinese Wheat productivity. International Food Policy Research Institute, EPT Discussion paper. 143: 1-14.
24. Mahmoodan, S. 2014. Comparison of wheat yield between common and modern wheat cropping system using geographical information system approach. Thesis submitted for the degree of Master of Science, University of Gorgan, Iran. 100p. (In Persian)
25. Mohammadi, J., and Givi, J. 2001. Land suitability evaluation for wheat using fuzzy-set theory (a case study: Flavarjan, Isfahan). J. Water and Soil Sci., 1: 103-115.
26. Mosaedi, A., and Kahe, M. 2008. The Assessing Precipitation Effects on Yield Productions of Wheat and Barley in Golestan Province. J. Agric. Sci. Nat. Resour., 15: 1-15.

27. Norouzi, M., Jlalian, A., Ayoubi, Sh.A., and Khademi, J. 2008. Evaluation of the relationship between topography and characteristics of wheat production (a case study: Chahar Mahal and Bakhtiari province, Ardal region). Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources, Water Soil Sci., 46: 759-770.
28. Pakpour rabati, A., Jafarzadeh, A.A., Shahbazi, F., and Ammary, P. 2013. Assessment of Ausceptible land for some agricultural crops in some regions of west azerbaijan province using geographical information system. J. Water Soil Sci., 23: 165-176.
29. Parsaei, L., and Mofidi Khajeh, A.M. 2009. Management of watershed Gorgan gulf: challenges, goals and landscape. 5th National Conference of Watershed Management Science and Engineering (Sustainable Management of Natural Disasters), Gorgan, Iran. 12p.
30. Pourkhabbaz, H.M., Javanmardi, S., Yavari, A.R., and Farajisabokbar, H.A. 2013. Application of multi criteria evaluation and ANP-DEMENTAL method for land suitability analysis (A case study: Qazvin plain). J. Environ. Stud., 3: 164-151.
31. Ranjbar, Gh.H., and Banakar, M.H. 2010. Salinity effect on four trade varieties of wheat. Iranian Journal of Soil Research., 3: 237-242.
32. Saaty, T.L. 1999. Fundamentals of the Analytic Network Process. Proceedings of ISAHP, Kobe, Japan.
33. Sanaeinejad, H., Astaraei, A.R., Mirhosseini, P., Keshavarzi, A., and Ghaemi, M. 2008. Use of satellite imagery for vegetation studies (comparison of different vegetation indices a case study: Neyshabur region). 5th National Congress of Agricultural Machinery Engineering and Mechanization, Mashhad, Iran.
34. Triantafilis, J., Ward, W.T., McBratney, A.B. 2001. Land suitability assessment in the Namoi Valley of Australia, using a continuous model. Aust. Aca. Sci., 39(2): 273-290.
35. Tuan, N.T., Jian-Jan, Q., Verdoot, A., H.L, Van Rant, E. 2011. Temperature and precipitation suitability evaluation for the winter wheat and summer maize cropping system in the huang-huai-hai plain of china. Agric. Sci. in China., 10(2): 275-288.
36. Zebardast, J. 2010. Application of analytic network process (ANP) in urban and regional planning. Fine Arts Archit. magaz., 41: 79-90.