هیدروژئومورفولوژی، شماره ۲، بهار ۱۳۹۴، صص ۱۱۵-۹۹
وصول مقاله: ۱۳۹۳/۱۱/۰۳ تأیید نهایی مقاله: ۱۳۹۴/۰۱/۲۱

ارزیابی کیفی تناسب اراضی حوضه آبخیز شیردارکلا برای گندم دیم در محیط GIS

غلام‌عباس فلاح قالهری[۱]

عباسعلی داداشی رودباری[۲]

چکیده

کسانی که برای بهره‌برداری علمی و صحیح از زمین و طبیعت برنامه‌ریزی می‌کنند، اغلب به تصمیم‌گیری‌هایی نیازمندند که در یک دوره کوتاه از زمان بتوانند محیط را به سمت توسعه پایدار سوق داده، موجب رقابت اقتصادی شوند. در این راستا، مجموعه‌ای از نقشه‌های تناسب استفاده از زمین بسیار مناسب خواهد بود. در حالت مطلوب، این نقشه‌ها باید با معیارهای پیچیده ترکیب و نهایتاً یکپارچه‌سازی شوند. در این پژوهش با استفاده از دستورالعمل‌های ارزیابی تناسب اراضی در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) به ارزیابی کیفی تناسب اراضی حوضه آبخیز **شیردارکلا** واقع در استان **مازندران** برای تناسب فعلی و آینده محصول گندم دیم اقدام شده است. نتایج نشان دادند که در حوضه آبخیز شیردارکلا، اقلیم، رژیم رطوبتی خاک و گروه هیدرولوژی خاک، مهم‌ترین معیارها برای ایجاد تناسب اراضی هستند و عوامل محدودیت مهم عبارتند از رخنمون سنگی، شیب، پستی و بلندی زیاد و فرسایش آبی با توجه اطلاعات به‌دست‌آمده تناسب اراضی فعلی، ۱۲درصد از اراضی منطقه برای کشت دیم مناسب (S_1)، ۱۵ درصد تناسب متوسط (S_2) و ۷۳ برای کشت دیم نامناسب (N_2) است. برای تناسب شرایط آتی ۱۹ درصد از اراضی منطقه برای کشت دیم مناسب (S_1)، ۸ درصد تناسب متوسط (S_2) و ۷۳ برای کشت دیم نامناسب (N_2) تشخیص داده شد. کلیه اراضی کوهستانی دارای قابلیت چرا، تپه‌ها از نظر محدودیت‌های موجود مانند کوهستانی و دارای قابلیت استفاده مرتع می‌باشد و کلیه اراضی تراس‌های فوقانی دارای اولویت استفاده با قابلیت زراعت دیم و آبی به شرط تأمین آب است.

واژگان کلیدی: تناسب اراضی، GIS،گندم دیم، شیردارکلا.

---

۱ ـ استادیار آب و هواشناسی، دانشگاه حکیم سبزواری
۲ـ دانشجوی کارشناسی ارشد آب و هواشناسی کاربردی، دانشگاه حکیم سبزواری (نویسنده مسئول) E-mail:dadashiabbasali@gmail.com

مقدمه

پهنه‌بندی اکولوژیکی-کشاورزی می‌تواند به‌عنوان ابزاری برای ارزیابی منابع اراضی، برنامه‌ریزی و مدیریت بهتر از منابع اراضی مورد استفاده قرار گیرد که به‌عنوان پایه و اساس توسعه کشاورزی و الگوی مناسب و با اهمیت برای ارزیابی منابع اراضی، برنامه‌ریزی و مدیریت بهتر منابع مورد استفاده قرار می‌گیرد (FAO, 2002). هدف از این نوع بررسی‌ها، فراهم آوردن یک پایگاه جامع و کامل از خصوصیات منابع اراضی به‌منظور برنامه‌ریزی، سازمان‌دهی و بهره‌برداری بهینه اراضی از طریق خصوصیات و مشخص نمودن پتانسیل موجود و هم‌چنین محدودیت‌های اراضی است (FAO, 2002). به‌طورکلی، فرآیند تخصیص کاربری زمین[1]، شامل سه مرحله اصلی ارزیابی تناسب زمین[2]، ارزیابی تقاضا[3] و تخصیص است (سانته ریواریا[4] و همکاران، ۲۰۰۸؛ کریمی و همکاران، ۲۰۱۲). تناسب زمین، از طریق مطالعه شرایط زیست‌محیطی و اجتماعی - اقتصادی مورد نیاز برای انواع کاربری‌ها و مقایسه آن‌ها با ویژگی‌های زمین، انجام می‌پذیرد (FAO, 1976). در مرحله بعد، ارزیابی تقاضای زمین که به معنای برآورد مساحت مورد نیاز برای انواع کاربری‌های در سطح واحد تقاضا تعریف می‌شود، صورت می‌گیرد (کریمی و همکاران، ۱۳۸۸). در نهایت تخصیص زمین به معنای تعریف کاربری مناسب برای واحدهای زمین، بر اساس تناسب زمین، تقاضا و قوانین تغییر کاربری انجام می‌شود (وربورگ و اورمارس، ۲۰۰۹). در کشورهای مختلف، مطالعات متعددی در این زمینه انجام گرفته است. با این همه، انتخاب معیارها و شاخص‌های مناسب برای تصمیم‌گیری، مهم‌ترین اثر را بر رتبه نهایی گزینه‌ها دارد. لذا انتخاب شاخص‌های مناسب برای تصمیم‌گیری، یکی از مهم‌ترین مراحل تصمیم‌گیری است (کریمی و همکاران، ۱۳۸۹). راهبرد اساسی در تحلیل تصمیم این است که مسایل تصمیم‌گیری را به بخش‌های کوچک و قابل‌فهم تقسیم کرده، و در راستای حصول به یک راه حل معنادار باهم ترکیب کرد (مالچسفکی[5]، ۱۳۹۰). سازمان خواروبار و کشاورزی جهانی (فائو) در سال‌های ۱۹۷۶، ۱۹۸۳ و ۱۹۸۵ مبانی و چارچوب ارزیابی اراضی را منتشر کرد. از نکات بارز این روش‌ها می‌توان به رویکرد استفاده از مدل‌های ساده و کلاسیک اشاره نمود، موضوعی که منجر به توسعه استفاده از سیستم ارزیابی فائو شد (باقرزاده و همکاران، ۱۳۹۱). تاکنون مطالعات فراوانی در داخل و خارج کشور با محور ارزیابی تناسب اراضی انجام گرفته است که می‌توان به مطالعات ونگ و همکاران (۲۰۰۴) با استفاده از برنامه‌ریزی خطی چن منظوره فازی، که مساحت مورد نیاز فرآیند تخصیص کاربری را تعیین کرده‌اند، اشاره کرد. این تحقیق، کل منطقه مورد مطالعه را به هفت حوضه

1- Land Use Allocation
2- Land Suitability Evaluation
3- Demand Assessment
4- Sante-Riveir
5- Malczewski

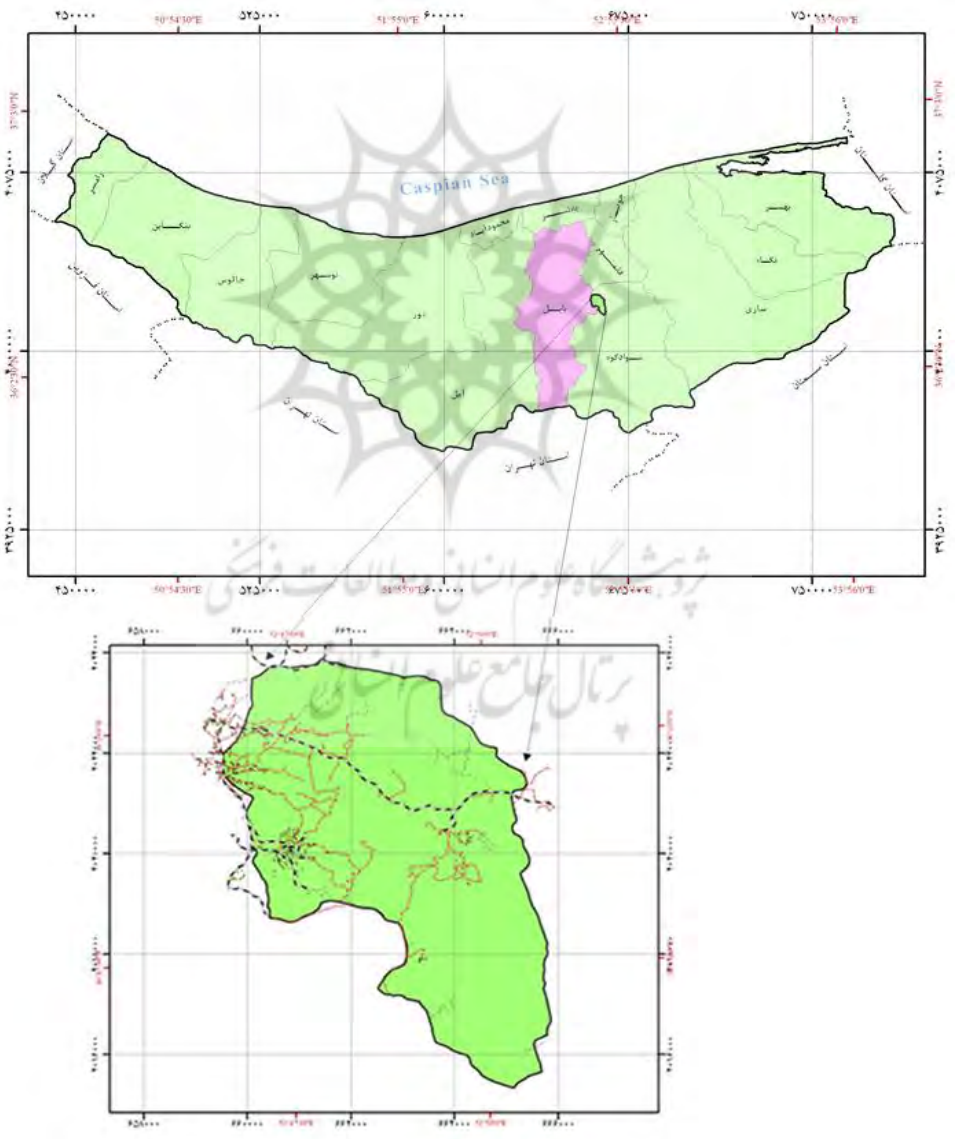
مدیریتی تقسیم و مساحت مورد نیاز کاربری‌ها را به تفکیک هر حوضه مشخص کرده است. نیلسون (۲۰۰۴) پهنه‌بندی اکولوژیکی- کشاورزی را برای موز و آناناس با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی و سنجش از دور انجام داد. هم‌چنین در کنیا شبنده[1] و همکاران (۲۰۰۲) به ارزیابی تناسب اراضی برای محصولات گندم، جو، ذرت، چغندر و پنبه پرداختند. لیو و روسی[2](۲۰۰۶) نیز به‌تناسب اراضی برای آبیاری در شهر دانلینگ واقع در ۷۰ کیلومتری شمال غرب چنگدو انجام دادند. بردا[3] و همکاران (۲۰۰۴)، اراضی متناسب منطقه عودرمل[4] در تونس را به منظور کشت محصولات زرعی شامل گندم، جو، سورگوم، سیب‌زمینی، لوبیا، پیاز، هندوانه، گوجه‌فرنگی، هویج، زیتون و نخود، را در شرایط دیم و آبیاری (سطحی و قطره‌ای) تعیین کردند؛ و مشخص شد که مهم‌ترین عامل محدود کننده در منطقه شیب اراضی است. هم‌چنین در ایران مادح خاکسار و همکاران (۱۳۸۷) به ارزیابی تناسب اراضی کشت ذرت دانه‌ای و هندوانه تابستانه در دشت گرگر خوزستان پرداختند. باقرزاده و همکاران (۱۳۹۱) نیز با ارزیابی کیفی تناسب اراضی دشت نیشابور مناطق مستعد کشت گندم، ذرت و پنبه را با استفاده از سامانه GIS تعیین نمودند. در همین راستا می‌توان به پژوهش افشار و همکاران (۲۰۰۹) که به ارزیابی کمی تناسب زمین به منظور کشت گندم آبی در منطقه شهری کیان استان چهارمحال و بختیاری پرداختند، اشاره نمود. بررسی پیشینه پژوهش حاضر نشان داد که اکثر پژوهش‌های انجام شده در خصوص تناسب اراضی صرفاً با دید بهره‌وری از زمین و افزایش سطح زیر کشت انجام شده است، و دیدگاه توسعه پایدار ضمن ملحوظ داشتن استفاده بهینه از زمین در آنها لحاظ نشده است. لذا در پژوهش حاضر سعی بر این است تا ضمن بررسی شرایط فعلی منطقه، توان بالقوه منطقه را در آینده نیز بررسی کرده، با مشارکت بیشتر پارامترها در ارائه تصمیم نهایی نتیجه‌ای قابل قبول‌تر نسبت تحقیقات مشابه ارائه شود. سطح تولیدات حاضر بیشتر محصولات، به‌دلیل شرایط محیطی و به‌خصوص به‌دلیل مشکلات و محدودیت‌های که در تخصیص منابع به فعالیت‌های مختلف وجود دارد، خیلی کمتر از وضعیت بالقوه زمین است (فرهادی، ۲۰۰۹). و همان‌طور که پیش‌تر نیز اشاره شد، فرایند تخصیص زمین، شامل سه مرحله اصلی ارزیابی تناسب زمین، ارزیابی تقاضا و تخصیص است و از آنجا که هر مطالعه مربوط به تناسب زمین، از طریق مطالعه شرایط زیست‌محیطی و اجتماعی- اقتصادی مورد نیاز برای انواع کاربری‌ها و مقایسه آن‌ها با ویژگی‌های زمین انجام می‌پذیرد، پژوهش پیش رو ضمن توجه به اصل مدیریت و توسعه پایدار در راستای آن‌چه در قالب مقدمه آمده است، با هدف درجه‌بندی خصوصیات ارضی برای کشت گندم دیم بر اساس روش FAO و تعیین

1- Shepande
2- Liu and Rossi
3- Breda
4- Oudrmel

کلاس‌های تناسب کیفی اراضی حوضه آبخیز **شیردارکلا** در شهرستان بابل واقع در استان **مازندران** صورت گرفته است.

معرفی محدوده مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در پژوهش حاضر حوضه آبخیز شیردارکلا از زیرحوضه‌های رودخانه بابلرود در استان مازندران از ۳۴ ′۴۶ ″ ۵۲ ° تا ″۵۸ ′۵۰ ° ۵۲ شرقی و ″۶ ′۱۶ ° ۳۶ تا ″۴۸ ′۲۰ ° ۳۶ شمالی کشیده شده است. وسعت این حوضه ۳۱۲۴/۰۲ هکتار و در بخش شرقی شهرستان بابل واقع شده است. مشخصات جغرافیایی منطقه در شکل (۱) و شرایط آب و هوایی منطقه مورد مطالعه در جدول (۱) ارائه شده است.

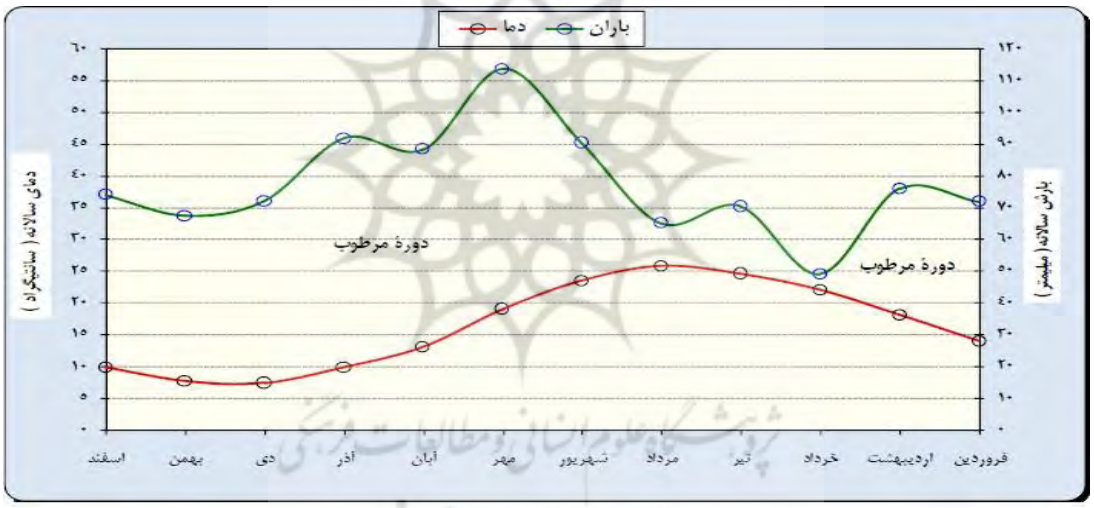


شکل (۱) نقشه موقعیت حوضه آبخیز شیردارکلا در شهرستان بابل واقع در استان مازندران

منطقه از نظر شرایط اکولوژی، جزو مناطق مرطوب تا خیلی مرطوب بوده، دارای آب هوای معتدل است. متوسط بارندگی سالانه آن حدود ۹۱۸ میلی متر، میانگین رطوبت نسبی ۸۰ درصد، میانگین حداکثر درجه حرارت سالانه ۳۰/۹ درجه سانتی گراد و تعداد روزهای یخبندان ۵۶ روز است. با توجه به دسترسی آب فراوان و خاک مناسب ارزیابی توان تناسب اراضی را در منطقه نامبرده ضروری نموده است.

جدول (۲) شرایط آب و هوا و اقلیم منطقه مورد مطالعه

متوسط بارندگی سالانه	۹۱۸ میلی‌متر	متوسط دمای سالانه	۱۶/۱°C
بیشترین میزان ماهانه	مهرماه (۱۲ درصد)	حداکثر ماهیانه	۳۰/۹°C مردادماه
بیشترین میزان فصلی	پاییز (۳۲ درصد)	حداقل ماهیانه	۳/۱°C بهمن‌ماه
کمترین میزان ماهانه	خردادماه (۵ درصد)	رطوبت نسبی سالانه	۸۰ درصد
کمترین میزان فصلی	بهار (۲۱ درصد)	تعداد روزهای یخبندان	۵۶ روز در سال
اقلیم به روش دومارتن	خیلی مرطوب	مجموع ساعات آفتابی	۱۹۱۶ ساعت
جهت و سرعت باد غالب	غربی و جنوبی ۱/۶ m/s	اقلیم به روش آمبرژه	مرطوب و معتدل



شکل (۲) منحنی آمبروترمیک منطقه مورد مطالعه

با توجه به شکل ۲ می‌توان مشاهده نمود که در منطقه در هیچ یک از ماه‌ها دما بر بارندگی فزونی ندارد و در نتیجه این منطقه فاقد دوره خشک است و تمامی ماه‌ها در منطقه در دوره مرطوب قرار می‌گیرند.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش، به‌منظور وزن‌دهی به پارامترها از روش جمع وزنی ساده (SAW) به‌شرح زیر استفاده شده است.

روش مجموع ساده وزنی یکی از قدیمی‌ترین روش‌های به‌کار گرفته‌شده در روش‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه است. به‌طوری‌که با مفروض بودن بردار W (اوزان اهمیت از شاخص‌ها) برای آن، مناسب‌ترین گزینه (A) به‌صورت تابع (۱) محاسبه می‌شود (اصغرپور، ۱۳۸۵: ۲۳۴-۲۳۲).

$$A \sim A_i \left| Max_i \left| \frac{\sum_j w_i . w_{ij}}{\sum_j j} \right| \right. \qquad \text{رابطه (۱)}$$

و اگر $\left| \sum_j w_j \cong 1 \right.$ باشد، طبق رابطه (۲) داریم:

$$A \cong \sim A_i \left| \max_i \left| \sum_j w_j . r_{ij} \right| \right. \qquad \text{رابطه (۲)}$$

به‌بیان‌دیگر، تابع مطلوبیت تصمیم‌گیرنده این تکنیک خطی است و قابلیت جمع‌پذیری شاخص‌های تضمین‌شده را دارد. در این روش، از شکل خطی برای بی‌مقیاس‌سازی یا بهنجارسازی ماتریس داده‌ها استفاده می‌شود. در این پژوهش، اطلاعات نامبرده و اطلاعاتی را که در ادامه می‌آید، وارد محیط نرم‌افزار ARCGIS کردیم و با استفاده از قابلیت Weighted Overlay نرم‌افزار نام‌برده نقشه‌های نهایی را تهیه شد. توضیح این نکته لازم است که همپوشانی لایه‌های تهیه‌شده بر اساس رابطه (۳) انجام‌شده است (مخدوم، ۱۳۸۰: ۳۴).

$$p \cong W1S1 . \ W2S2 . \ W3S3 . \ .... \ WnSn \qquad \text{رابطه (۳)}$$

در این رابطه، P نتیجه حاصل از همپوشانی پارامترها است. W، نام هر یک از پارامترهای مورد استفاده در این پژوهش است که شرح کامل آن در ادامه آمده است و S ارزش وزنی طبقات هر یک از پارامترها است.

به بررسی تناسب اجزای واحد اراضی، جهت تعیین استفاده‌های مختلف از آن و به بررسی نیازمندی‌های هر یک از فعالیت‌ها و به تعیین محدودیت‌های موجود و به تعیین راهکارهایی جهت رفع هر یک از محدودیت‌های احتمالی اقدام شده که در نهایت منجر به تعیین تناسب آتی اجزای واحد اراضی شد. در تناسب اجزای واحد اراضی سطوح مختلفی از تناسب وجود دارد که در ادامه به آن پرداخته می‌شود، ولی به‌طورکلی هر یک از اجزای واحد اراضی دارای پتانسیل‌های ایستا و پویایی است که قابلیت استفاده از اراضی را در بر خواهد داشت؛ به‌عبارت‌دیگر هر یک از اجزای واحد اراضی برای انجام فعالیت‌ها قابل استفاده بود. در مقابل فعالیت‌های دیگر محدودیت دارد که میزان قابلیت و محدودیت تعیین کننده نوع استفاده از اراضی خواهد بود.

به‌طورکلی سه سطح شامل رده، کلاس یا درجه و تحت کلاس در مطالعه ارزیابی وجود دارد. مفاهیم هر یک از سطوح مطالعاتی فوق به‌طور خلاصه عبارتند از (FAO, 1981). رده‌های تناسب اراضی[1]: این سطح از مطالعه تنها بیانگر تناسب اراضی برای نوع استفاده مورد نظر است، بدین معنی که تعداد دو رده شامل اراضی مناسب[2] با علامت (S) و نامناسب[3] با علامت (N) وجود دارد. کلاس و یا درجـه تناسب اراضی[4]: رده‌های مناسب و نامناسب بـه رده‌های مختلف تناسب اراضی تقسیم می‌شوند. در رده‌های مناسب تعداد ۳ و در رده نامناسب تعداد ۲ کلاس وجود دارد که علایم اسمی و مفاهیم هر یک به‌طور خلاصه عبارت‌اند از: خیلی مناسب[5] با علامت (S_1) به اراضی‌ای اطلاق می‌شود که کیفیت‌های مؤثر آن‌ها هیچ‌گونه محدودیت مهمی برای کاربرد نوع استفاده در ارضی ایجاد ننمایند، به‌عبارت‌دیگر کاربری نوع استفاده در اراضی تحت برنامه‌ریزی و مدیریت صحیح می‌تواند حداکثر محصول و یا عایدی را تولید نماید؛ تناسب متوسط[6] با علامت (S_2) (این کلاس به اراضی اطلاق می‌شود که یک یا چند کیفیت از کیفیت‌های مؤثر آن‌ها مقدار کمی محدودیت برای کاربرد نوع استفاده در اراضی ایجاد نماید، به‌عبارت‌دیگر، این محدودیت‌ها باعث مقداری کاهش در میزان محصول و یا عایدی تحت برنامه‌ریزی و مدیریت صحیح نسبت به اراضی کلاس (S_1) خواهد داشت)؛ تناسب کم[7] با علامت(S_3) این کلاس به اراضی‌ای اطلاق می‌شود که کیفیت‌های مؤثر آن در مجموع مقدار متوسطی محدودیت برای کاربرد نوع استفاده ایجاد می‌نمایند. بهره‌برداری از این اراضی تحت مدیریت و برنامه‌ریزی صحیح در جهت نوع استفاده اقتصادی است ولی مقدار محصول و عایدی کاهش فراوانی نسبت به اراضی کلاس (S_2) خواهد داشت؛ نامناسب فعلی با علامت[8] (N_1) شامل اراضی است که کیفیت‌های مؤثر آن به مقدار خیلی زیادی محدودیت برای کاربرد نوع استفاده ایجاد می‌نمایند. این محدودیت‌ها تا آن اندازه زیاد هستند که کاربرد موفقیت‌آمیز و اقتصادی نوع استفاده را در این اراضی در وضعیت فعلی غیرممکن ساخته است. با این وضع، نوع محدودیت‌ها به نحوی است که محتملاً در شرایط آتی و با پیشرفت فنّاوری امکان بهره‌برداری اقـتصادی در این اراضی وجود خواهد داشت؛ نامناسب دائمی[9] با عـلامت (N_2) این کلاس به اراضی اطلاق می‌شود که کیفیت‌های مؤثر آن به مقدار زیاد محدودیت برای کاربرد نوع استفاده ایجاد می‌نمایند. شدت این محدودیت‌ها تا آن اندازه زیاد است که امکان بهره‌برداری اقتصادی از اراضی را در هر زمان غیرممکن می‌سازند.

1- Land suitability order
2- Suitable
3- Non suitable
4- Land suitability class
5- Highly Suitable
6- Moderate Suitable
7- Marginally Suitable
8- Currently Not Suitable
9- Permanently Not suitable

محدودیت‌های موجود در اراضی (خصوصیت[1] یا کیفیت[2]) که وجود آن‌ها باعث تعیین درجه و یا کلاس اراضی می‌شود، خود معرف تحت درجات و یا تحت کلاس‌های تناسب اراضی هستند. تحت رده‌ها در اغلب موارد شامل یک یا دو کیفیت از اراضی می‌باشند که وجود محدودیت در آن‌ها موجب کاهش درجه تناسب اراضی می‌شود و علایم آن‌ها به طور قراردادی با حروف کوچک لاتین است در جلوی درجات تناسب اراضی نوشته می‌شود. علائم قراردادی محدودیت‌های مهم که در تعیین تناسب اراضی مؤثرشناخته‌شده‌اند: به‌شرح زیر انتخاب‌شده‌اند (a): معرف محدودیت شوری خاک، (t): معرف محدودیت توپوگرافی، (r): معرف رخنمون سنگی، (e): معرف فرسایش آبی، (c): معرف محدودیت اقلیم، (d): معرف محدودیت عمق خاک،(g): معرف سنگریزه و یا سنگلاخی بودن اراضی، (P): معرف محدودیت در وجود خشکی حاکم بر خاک‌ها عدم رطوبت قابل استفاده به مقدار لازم، (X): معرف محدودیت بافت و نفوذپذیری خاک و (v): محدودیت ضعف پوشش گیاهی.

در مطالعات تناسب اراضی، طبقه‌بندی اراضی در شرایط فعلی[3] و طبقه‌بندی تناسب اراضی در شرایط آتی[4] انجام می‌شود. مطالعات طبقه‌بندی تناسب اراضی در شرایط فعلی با جهت‌گیری تناسب اراضی برای زراعت دیم، پس از ترسیم واحدهای نقشه به‌وسیله تقسیمات رخساره‌های ژئومورفولوژی و مطالعات خاک بر اساس پیشنهادهای فائو (فائو، ۱۹۸۱) برای مناطق دارای افت و خیز ارتفاعی زیاد نیاز به تلفیق اطلاعات می‌باشد که عبارتند از: ۱- شیب غالب که بر اساس پیشنهاد فائو به سه کلاس: اراضی آبی بالای ۸ درصد شیب و عدم عملیات حفاظت خاک، اراضی دیم بالای ۱۲ درصد شیب و عدم عملیات حفاظت خاک، اراضی بالای ۲۰ درصد و عدم عملیات حفاظت خاک تقسیم شدند (وزن نسبی ۰/۲۵۱)؛ ۲- پتانسیل فرسایش لغزشی (وزن نسبی ۰/۲۲۳)؛ ۳- اشکال و وضعیت فرسایش موجود که از نقشه زمین‌شناسی منطقه استخراج گردیدند (وزن نسبی ۰/۱۷۸)؛ ۴- حساسیت خاک به فرسایش که مبنای تقسیم‌بندی آن به پیشنهاد فائو از گروه هیدرولوژیکی خاک اقتباس گردید که در جدول ۳ آمده است (وزن نسبی ۰/۱۲۹)؛ ۵- نوع کاربری فعلی اراضی که ملاحظات زیر مورد توجه قرار گرفته است (وزن نسبی ۰/۱۲۲):

۵-۱- اراضی کوه‌های نسبتاً مرتفع که در حال حاضر برای جنگل در نظر گرفته می‌شوند، ۲۵ تا ۶۰ درصد شیب دارند و میزان رواناب در آنها سریع است و از لحاظ تغییر کاربری به کشاورزی مجاز نبوده، مختص استفاده جنگل‌های حفاظتی با مدیریت مناسب می‌باشند.

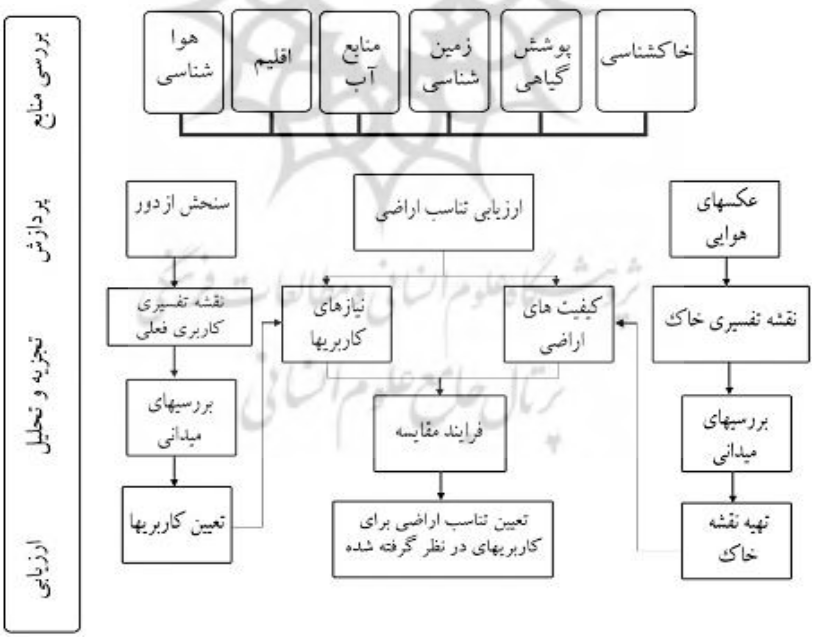
۵-۲- اراضی تپه‌ای که دارای شیب‌های متفاوتی از ۱۲ تا ۲۵ درصد هستند. اینها اراضی هستند که جریان

1- Land Characteristic
2- Land Quality
3- Current land suitability classification
4- Potential land suitability classification

سطحی در آنها سریع است در حال حاضر تحت کاربری جنگل هستند و به‌لحاظ تغییر کاربری به هر یک از دیگر کاربری‌ها غیرمجاز می باشند. البته در برخی از نقاط این اراضی که شیبی کمتر از ۲۰ درصد دارند، می تواند تحت شرایط خاص برای کاربری باغ مورد استفاده قرار گیرد.

۵-۳- اراضی متعلق به بخشی از اراضی کشاورزی (باغ‌ها و شالیزارها). در این اراضی البته در برخی نقاط پر شیب در صورت رعایت تراس‌بندی عملیات کشاورزی مجاز است، لیکن در اراضی حاشیه رودخانه کشاورزی با خطر وقوع سیلاب همراه است و نیز اگر شیب از حد مجاز ۸ درصد بیشتر باشد، اراضی برای کاربری کشاورزی آبی غیرمجاز تشخیص داده شده‌اند.

۶- داده‌های اقلیمی جهت زراعت دیم (نوع اقلیم، متوسط بارندگی سالیانه، متوسط تبخیر سالیانه و درجه حرارت سالیانه) (وزن نسبی ۰/۰۹۷). بر اساس محدودیت‌های خاک وضعیت فاکتورهای فوق کلاس تناسب اراضی جهت زراعت دیم تعیین می‌شود. تعیین گروه‌های هیدرولوژیکی خاک‌ها در منطقه مورد مطالعه بر اساس روش اداره حفاظت خاک وزارت کشاورزی آمریکا (S.C.S) و بر اساس بازدید های میدانی از منطقه انجام شد (شکل ۵).



شکل (۲) فرایند ارزیابی تناسب اراضی به روش فائو

نتایج و بحث

خاک‌های منطقه شیردار کلا در سه رده انتی سول[1]، انسپتیسول[2]و الفیسول[1] قرارگرفته است.

1- Entisols
2- Enceptisols

جدول (۳) گروه‌های هیدرولوژیکی خاک‌های منطقه

گروه‌های هیدرولوژیکی	مساحت	
	هکتار (ha)	درصد (٪)
B	۱۶۱۸	۵۱/۷۰
C	۱۵۰۶	۴۸/۳

به استناد اطلاعات هواشناسی منطقه در حوضه شیردارکلا و نقشه رژیم‌های حرارتی و رطوبتی خاک منتشرشده در سال ۱۳۷۷ موسسه تحقیقات آب و خاک و با استفاده از نرم‌افزار Franklin Newhall و روش توسعه‌یافته (ون وامبیک[2]، ۱۹۸۶) و نقشه خاک‌های کشور موسسه تحقیقات آب و خاک رژیم رطوبتی خاک منطقه موردمطالعه یودیک[3] و رژیم حرارتی خاک ترمیک[4] می‌باشد. واحد اراضی منطقه به شرح زیر قابل‌تعریف‌اند (جدول ۴). هم‌چنین مساحت هر یک از اجزا در جدول (۵) آمده است.

جدول (۴) واحد اراضی منطقه

واحد اراضی	نوع واحد
واحد اراضی ۱/۵	کوه‌ها با پوشش خاکی کمتر از ۱۰ درصد
واحد اراضی ۲/۵	تپه‌ها با پوشش خاکی کوه رفتی
واحد اراضی ۳/۵	فلات‌ها با پستی و بلندی کم تا متوسط
واحد اراضی ۴/۱	دشت‌های دامنه‌ای با پستی و بلندی کم تا متوسط
واحد اراضی ۵/۲	دشت‌های رسوبی رودخانه‌ای مسطح با پوشش خاکی عمیق

جدول (۵) مساحت تیپ‌ها و واحدها و اجزاء واحد اراضی و درصد آن‌ها نسبت به‌کل حوضه

تیپ اراضی	مساحت		واحد اراضی	اجزاء واحد اراضی	مساحت	
	هکتار	درصد			هکتار	درصد
کوهستان (۱)	۲۹۴	۹/۴۷	۱/۵	۱/۵/۱	۲۹۴	۹/۴۷
				۲/۵/۱	۳۳۸	۱۰/۸۱
				۲/۵/۲	۳۲۲	۱۰/۳
تپه‌ها (۲)	۱۹۸۱	۶۳/۳۷	۲/۵	۲/۵/۳	۱۱۹	۳/۸
				۲/۵/۴	۲۴۸	۷/۹۳
				۲/۵/۵	۳۲۵	۱۰/۴
				۲/۵/۶	۳۶۶	۱۱/۷۱
				۲/۵/۷	۲۶۳	۸/۴۲
تراس فوقانی (۳)	۳۰۰	۹/۵۹	۳/۵	۳/۵/۱	۳۰۰	۹/۵۹
دشت دامنه‌ای (۴)	۱۸۵	۵/۹۲	۴/۱	۴/۱/۱	۱۸۵	۵/۹۲
دشت رسوبی (۵)	۳۶۴	۱۱/۶۵	۵/۲	۵/۲/۱	۳۶۴	۱۱/۶۵
کل	۳۱۲۴	۱۰۰	کل	کل	۳۱۲۴	۱۰۰

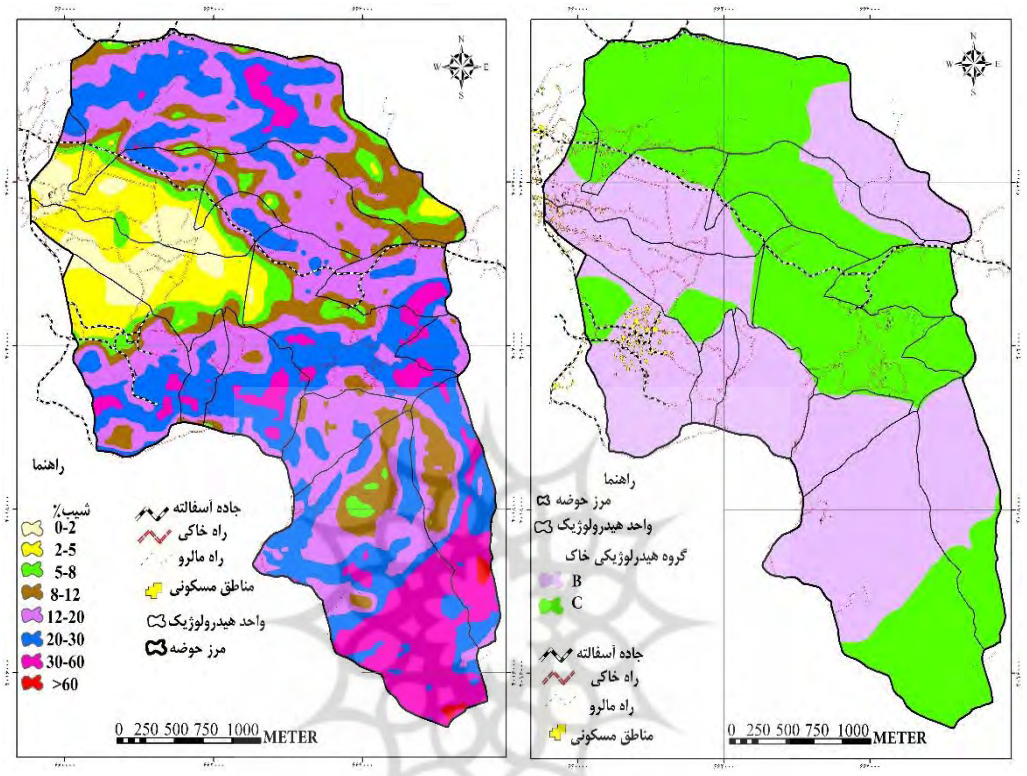
1- Alfisols
2- Wambeke
3- Udic
4- Thermic

جدول (۶) تناسب اجزاء واحد اراضی در شرایط فعلی برای زراعت دیم

اجزاء واحد اراضی	محدودیت‌های اساسی موجود	شدت محدودیت	سطوح تناسب اراضی تحت کلاس	کلاس
۱/۱۵	شیب زیاد تا خیلی زیاد، پستی و بلندی زیاد، فرسایش آبی و جریان سطحی خیلی سریع، میزان سنگریزه (۳۵-۴۰ درصد) در سطح و عمق خاک.	شدید	teg	N_2
۲/۵/۱	شیب زیاد تا خیلی زیاد، پستی و بلندی زیاد، فرسایش آبی و جریان سطحی خیلی سریع، میزان سنگریزه (۳۰-۳۵ درصد) در سطح و عمق خاک.	شدید	teg	N_2
۲/۵/۲	شیب زیاد تا خیلی زیاد، پستی و بلندی زیاد، فرسایش آبی و جریان سطحی خیلی سریع، میزان سنگریزه (۳۰-۳۵ درصد) در سطح و عمق خاک.	شدید	teg	N_2
۲/۵/۳	شیب زیاد تا خیلی زیاد، پستی و بلندی زیاد، فرسایش آبی و جریان سطحی خیلی سریع، میزان سنگریزه (۳۵-۴۰ درصد) در سطح و عمق خاک.	شدید	teg	N_2
۲/۵/۴	شیب زیاد تا خیلی زیاد، پستی و بلندی زیاد، فرسایش آبی و جریان سطحی خیلی سریع.	شدید	te	N_2
۲/۵/۵	شیب زیاد تا خیلی زیاد، پستی و بلندی زیاد، فرسایش آبی.	شدید	te	N_2
۲/۵/۶	شیب زیاد تا خیلی زیاد، پستی و بلندی زیاد، فرسایش آبی.	شدید	te	N_2
۲/۵/۷	شیب زیاد تا خیلی زیاد، پستی‌وبلندی زیاد، فرسایش آبی.	شدید	te	N_2
۳/۵/۱	فرسایش آبی، میزان سنگریزه (۳۵-۴۰ درصد) در سطح و عمق خاک.	کم	eg	S_2
۴/۱/۱	شیب متوسط، جریان سطحی خیلی سریع، میزان سنگریزه (۳۵-۴۰ درصد) در سطح و عمق خاک.	کم	tg	S_2

شرایط اقلیمی منطقه برای زراعت دیم کاملاً مناسب است و هیچ‌گونه محدودیتی وجود ندارد. تعیین کاربری اراضی در اجزای مختلف اراضی از نظر نوع کاربری‌های جنگل اصلی به شرح زیر است. در تعریف کلی این اجزا واحد اراضی کوه‌های نسبتاً مرتفع هستند که در حال حاضر برای ایجاد جنگل مورد استفاده قرار می‌گیرند و این اراضی ۲۵ تا ۶۰ درصد شیب دارند که میزان رواناب در آن‌ها سریع است و از لحاظ تغییر کاربری به کشاورزی، مجاز نبوده و مختص استفاده جنگل‌های حفاظتی با مدیریت مناسب می‌باشند. این اراضی جزو اراضی تپه‌ای در منطقه می‌باشند که شیب‌های متفاوتی از ۱۲ تا ۲۵ درصد دارند و نیز این‌ها اراضی‌ای هستند که جریان سطحی سریع دارند (شکل ۵) و درحال حاضر تحت کاربری جنگل هستند و به لحاظ تغییر کاربری به هریک از دیگر کاربری‌ها غیرمجازند. البته در برخی از نقاط این اراضی که شیبی کمتر از ۲۰ درصد دارند، در صورت مشاهده می‌تواند تحت شرایط خاص برای کاربری باغ مورد استفاده قرار گیرند. این اراضی شامل اراضی می‌باشند که مهم‌ترین بخش از اراضی کشاورزی (باغ‌ها و شالیزارهای) محدوده مطالعاتی در این اراضی واقع شده است. در این اراضی البته در برخی نقاط پرشیب در صورت رعایت تراس‌بندی عملیات کشاورزی است ولی در اراضی حاشیه رودخانه کشاورزی با خطر وقوع سیلاب همراه است

و نیز اگر شیب از حد مجاز ۸ درصد بیشتر باشد اراضی برای کاربری کشاورزی آبی غیرمجاز تشخیص داده شده‌اند (شکل ۴).

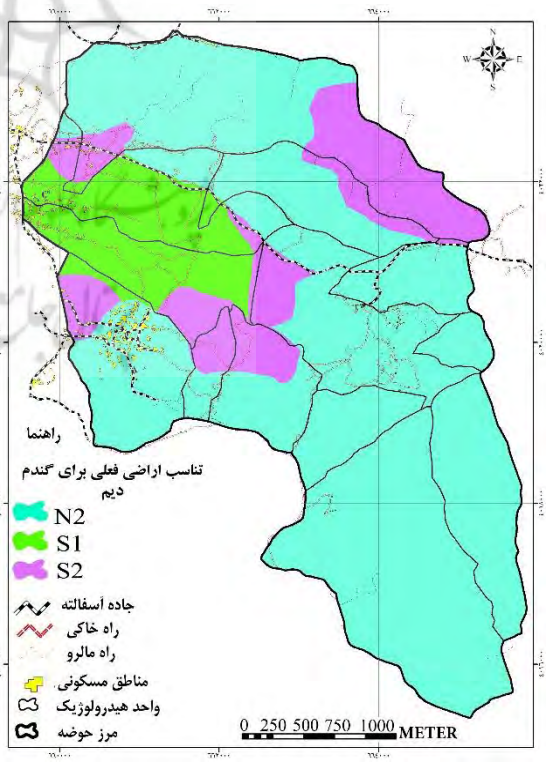


شکل (۴) نقشه شیب منطقه موردمطالعه **شکل (۵) نقشه گروه هیدرولوژیکی خاک**

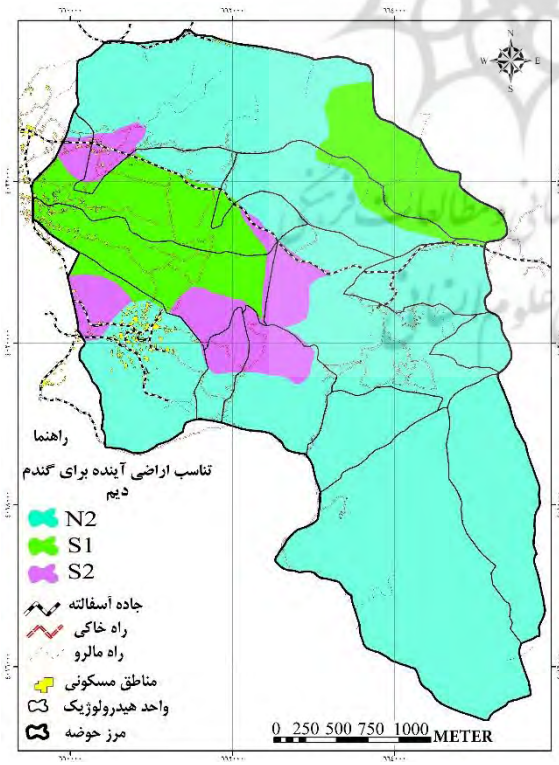
در شکل‌های ۶ و ۷ تناسب فعلی و آتی اراضی را برای زراعت دیم نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل‌ها نیز مشخص است و بر اساس اطلاعات مندرج در جداول ۶ و ۷ در شرایط فعلی فقط ۱۲ درصد از حوضه آبخیز شیردارکلا که در شمال‌غرب حوضه قرار گرفته است، دارای شرایط مطلوب را به‌منظور کشت گندم دارد و در شرایط آتی ضمن اجرای طرح‌های اصلاحی زمین، این مقدار به ۱۹ درصد خواهد رسید. جزئیات کامل مساحت و درصد هر یک از بخش‌های تناسب‌سنجی شده کشت گندم دیم در حوضه آبخیز شیردارکلا در جدول (۸) آمده است.

جدول (۷) تناسب اجزاء واحد اراضی در شرایط آتی برای زراعت دیم

اجزاء واحد اراضی	محدودیت‌های اساسی موجود	شدت محدودیت	سطوح تناسب اراضی تحت کلاس	کلاس
۱/۵/۱	شیب زیاد تا خیلی زیاد، پستی و بلندی زیاد، فرسایش آبی و جریان سطحی خیلی سریع، میزان سنگریزه (۳۵-۴۰ درصد) در سطح و عمق خاک.	شدید	teg	N2
۲/۵/۱	شیب زیاد تا خیلی زیاد، پستی‌وبلندی زیاد، فرسایش آبی و جریان سطحی خیلی سریع، میزان سنگریزه (۳۰-۳۵ درصد) در سطح و عمق خاک.	شدید	teg	N2
۲/۵/۲	شیب زیاد تا خیلی زیاد، پستی و بلندی زیاد، فرسایش آبی و جریان سطحی خیلی سریع، میزان سنگریزه (۳۰-۳۵ درصد) در سطح و عمق خاک.	شدید	teg	N2
۲/۵/۳	شیب زیاد تا خیلی زیاد، پستی‌وبلندی زیاد، فرسایش آبی و جریان سطحی خیلی سریع، میزان سنگریزه (۳۵-۴۰ درصد) در سطح و عمق خاک.	شدید	teg	N2
۲/۵/۴	شیب زیاد تا خیلی زیاد، پستی و بلندی زیاد، فرسایش آبی و جریان سطحی خیلی سریع.	شدید	te	N2
۲/۵/۵	شیب زیاد تا خیلی زیاد، پستی و بلندی زیاد، فرسایش آبی.	شدید	te	N2
۲/۵/۶	شیب زیاد تا خیلی زیاد، پستی و بلندی زیاد، فرسایش آبی.	شدید	te	N2
۲/۵/۷	شیب زیاد تا خیلی زیاد، پستی و بلندی زیاد، فرسایش آبی.	شدید	te	N2
۳/۵//۱	-	-	-	S2
۴/۱/۱	شیب متوسط، جریان سطحی خیلی سریع، میزان سنگریزه (۳۵-۴۰ درصد) در سطح و عمق خاک.	کم	tg	S2



شکل (۶) تناسب فعلی اراضی برای زراعت گندم دیم



شکل (۷) تناسب آتی اراضی برای زراعت گندم دیم

جدول (۸) مساحت و درصد اراضی حوضه آبخیز شیردارکلا برای تناسب فعلی و آتی محصول گندم دیم

تناسب	مساحت به هکتار (تناسب فعلی)	درصد (تناسب فعلی)	مساحت به هکتار (تناسب آتی)	درصد (تناسب آتی)
N2	۲۲۷/۲۵۴	۷۳	۲۲۷/۲۵۴	۷۳
S1	۳۶۳/۹۷۷	۱۲	۵۸۱/۵۰۲۲	۱۹
S2	۴۸۵/۷۹۱۵	۱۵	۲۶۸/۲۶۶۶	۸

نتیجه‌گیری

یکی از الویت‌های اصلی بخش کشاورزی استفاده صحیح از منابع آب و خاک است. محدودیت اراضی قابل کشت و ازدیاد روز افزون جمعیت و نیاز بشر به استفاده مناسب‌تر از منابع طبیعی موجب شده است که بهره‌برداری از زمین به‌گونه‌ای باشد که علاوه بر دستیابی به حداکثر محصول، از این منبع برای بقای خود و آیندگان نیز حفاظت شود. در پژوهش حاضر ضمن ملحوظ داشتن اصل مدیریت و توسعه پایدار به درجه‌بندی خصوصیات اراضی برای کشت گندم دیم بر اساس روش FAO و تعیین کلاس‌های تناسب کیفی اراضی حوضه آبخیز شیردارکلا در شهرستان بابل واقع در استان مازندران اقدام شد. بدین منظور برای دست‌یابی به هدف مطروحه شش گروه داده: شیب غالب، پتانسیل فرسایش لغزشی، اشکال و وضعیت فرسایش موجود، حساسیت خاک به فرسایش، نوع کاربری فعلی اراضی و داده‌های داده‌های اقلیمی جهت زراعت دیم با استفاده روش وزنی SAW وزن‌دهی شدند و سپس با استفاده از قابلیت Weighted Overlay نرم‌افزار ARCGIS برای تهیه نقش‌های مورد نیاز اقدام شد. منطقه مورد مطالعه از نظر وضع ظاهری، اراضی مورد مطالعه به پنج واحد فیزیوگرافی کوهستان‌ها، تپه‌ها، تراس‌ها و فلات‌های فوقانی، اراضی دشت‌های رودخانه و دشت‌های دامنه‌ای تقسیم می‌شود. به‌طورکلی، این تیپ‌ها پنج واحد اراضی و یازده جزو واحد اراضی را دربر می‌گیرند. بررسی‌ها نشان داده‌اند که عوامل مهم محدودیت‌زا در منطقه مورد مطالعه، به‌ترتیب رخنمون سنگی، شیب، پستی و بلندی زیاد و فرسایش آبی است. یافته‌های تحقیق بیانگر این هستند که ۲۲۷۴/۲۵۴ هکتار از اراضی حوضه آبخیز شیردارکلا در شرایط فعلی نامناسب دائمی (N_2) شناخته شده است. این مقدار از اراضی ۷۳ درصد از کل حوضه را در برگرفته است. مهم‌ترین عواملی را که موجب به‌وجود آمدن چنین شرایطی در بخش اعظم منطقه مورد مطالعه شده‌اند را می‌توان شیب زیاد تا خیلی زیاد، پستی و بلندی زیاد، فرسایش آبی و جریان سطحی خیلی سریع، میزان سنگریزه (در بیشتر موارد بیشتر ۳۰ درصد) در سطح و عمق خاک مطرح کرد. در شرایط آتی نیز با توجه به موارد اشاره شده هیچ‌یک از راهبردهای اقتصادی، اکولورژیک و موارد منع قانونی به‌منظور تغییر کاربری اراضی اجازه تغییر ساختار این بخش از منطقه را نمی‌دهند و به این ترتیب همین مقدار از شرایط فعلی که مطرح شد، شرایط آتی نیز برای کشت دیم نمی‌تواند مناسب باشد. بر این اساس در شرایط آتی نیز همان شرایط فعلی نامناسب دایمی (N_2) در نظر گرفته شد. دومین پهنه از نظر وسعت در

منطقه تناسب متوسط (S_2) با مقدار ۱۵ درصد یا به‌عبارت دیگر ۴۸۵/۷۹۱۵ هکتار از کل مساحت حوضه آبخیز شیردارکلا است. از عوامل مهم ایجاد چنین شرایطی می‌توان به فرسایش آبی، میزان سنگریزه (۳۵-۴۰ درصد) در سطح و عمق خاک اشاره کرد. لذا با توجه به فناوری‌های موجود در عرصه اصلاح اراضی و کشاورزی پایدار ضمن در نظر گرفتن منع قانونی، می‌توان بخشی از این مناطق را اصلاح و تبدیل به اراضی با تناسب خیلی مناسب (S_1) نمود. بر این اساس، در شرایط آتی با اجرای این طرح اصلاحی می‌توان شاهد کاهش ۷ درصدی کاربری‌های با تناسب متوسط (S_2) بود. سهم این مناطق از کل حوضه به ۲۶۸/۲۶۶۶ هکتار خواهد رسید. در نهایت مناطقی با تناسب خیلی مناسب که در شرایط فعلی در شمال غرب حوضه آبخیز شیردارکلا، و در شرایط آتی ضمن اجرای طرح های اصلاحی که موارد محدودیت‌زای آن پیش‌تر مطرح شد، علاوه‌بر شمال غرب در بخشی از شمال شرق حوضه مورد مطالعه را نیز در بر خواهد گرفت. نهایتاً در شرایط فعلی برای تناسب خیلی مناسب (S_1) ۱۲ درصد و یا به‌عبارت دیگر ۳۶۳/۹۷۷ هکتار از کل حوضه برای کشت گندم دیم شرایط مطلوبی دارد. همین مقدار بر اساس آن‌چه پیش‌تر ذکر شده است می‌تواند افزایش ۲۱۷/۵۲۵۲ هکتاری داشته باشد و ۱۹ درصد از کل مساحت حوضه را دربرگیرد. از جمله عملیات‌های مهم عمرانی که می‌توان در اراضی دارای محدودیت به اجرا در آورد، عبارتند از تقویت پوشش گیاهی، کنترل چرا، کنترل فرسایش خاک و اجرای عملیات مکانیکی آبخیزداری، اجرای صحیح کشت اراضی و جلوگیری از شخم اراضی شیب‌دار. کلیه اراضی کوهستانی دارای قابلیت کاربری مرتع با چرای مشروط و کنترل‌شده هستند، شرایط تپه‌ها از نظر محدودیت‌های موجود مانند کوهستان است و برای کاربری مرتع قابلیت‌های متفاوتی دارند. هم‌چنین کلیه اراضی تراس‌های فوقانی دارای اولویت استفاده به عنوان زراعت دیم و آبی به‌شرط تأمین آب می‌باشند. در راستای تحقق هرچه سریع‌تر اهداف توسعه کشاورزی پایدار در حوضه آبخیز شیردارکلا و در سطح کشور پیشنهادهایی ارائه می‌شود: ۱- ایجاد بانک اطلاعات دقیق کشاورزی؛ ۲- ارزیابی الگوهای توسعه کشاورزی با توجه به متناسب بودن اراضی؛ ۳- بسترسازی مناسب برای بهره‌گیری از فناوری‌های نوین و دیدگاه‌های جدید در فرایند برنامه‌ریزی و تسریع مکانیسم‌های تصمیم‌گیری و تصمیم‌سازی.

منابع

اصغرپور، محمدجواد (۱۳۸۵)، **تصمیم‌گیری چندمعیاره**، انتشارات دانشگاه تهران، تهران.

باقرزاده، حمیدرضا؛ باقرزاده، علی؛ معین‌راد، حمید (۱۳۹۱)، **ارزیابی کیفی تناسب اراضی دشت نیشابور برای کشت گندم (Triticumaestivum, L.)، ذرت (Zea mays, L.) و پنبه (Gossypiumherbaceum, L.) با استفاده از GIS**، نشریه بوم‌شناسی کشاورزی، جلد ۴، شماره ۱، صص۴۱-۵۱.

کریمی، عبدالرضا؛ مهردادی، نادر؛ هاشمیان، سیدجمال‌الدین؛ نبی بیدهندی، غلامرضا؛ توکلی مقدم، رضا (۱۳۸۹)، **انتخاب فرایند بهینه تصفیه فاضلاب با استفاده از روش AHP**. نشریه آب و فاضلاب، ۲۱ (۷۶)، ۲-۱۲.

کریمی، محمد؛ مسگری، محمدسعدی؛ شریفی، محمدعلی (۱۳۸۸)، **ارائه مدلی GIS مبنا برای برنامه‌ریزی کاربری اراضی منطقه‌ای (منطقه مورد مطالعه: شهرستان برخوار و میمه)**، نشریه علمی-پژوهشی سنجش از دور و GIS ایران، سال اول، شماره چهارم، صص ۴۰-۲۱.

مادح خاکسار، سپیده، آینه‌بند، امیر؛ الباجی، محمد (۱۳۸۷)، **ارزیابی کیفی تناسب اراضی برای کشت ذرت دانه‌ای و هندوانه تابستانه در دشت گرگر خوزستان**، پژوهش در علوم زراعی، دوره ۱، شماره ۱، صص ۵۸-۷۱.

مالچفسکی، یاچک (۱۳۹۰)، **سامانه اطلاعات جغرافیایی و تحلیل و تصمیم چندمعیاری**، ترجمه پرهیزکار، اکبر؛ غفاری گیلانده، عطا، چاپ دوم، انتشارت سمت، تهران.

مخدوم، مجید (۱۳۸۰)، **ارزیابی و برنامه‌ریزی محیط‌زیست با سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS)**، انتشارات دانشگاه تهران.

- Afshar, H., Salehi, M., Mohammadi, J., and MehnatKesh, A., (2009), **Spatial variability of soil properties and yield of irrigated wheat in a quantitative suitability map; case study: the Shahrkyan zone, ChaharMahal and Bakhtiari province**, Soil and water Science Journal Agricultural Science and Technology 1: 172-161.

- Al-Subhi Al-Harbi, kamal M, (2001), **Application of the in project management**, internatinal journal of project management (19), 19-27.

- Breda, F., S. Rossi., C. Mbodj., I. Mahjoub, and N. Sghaiev. (2004), **Land evaluation in the oudrmel catchment. Tunisia. 24th course professional master**, Geomatics and natural resources evaluation. 10 Nov 2003- 23 June 2004. IAO. Florence. Italy.

- F.A.O, (1976), **A framework for land evaluation**, F.A.O soils bulletin, Pp. No 32. Rome.

- FAO, (1981), **A Framework for Land evaluation**, FAO soils bulletin 32.

- FAO, (1993), **Guidlines: Agro-ecological assessment for national planning: the example of Kenya**, FAO Soils Bulletin 67. Rome, FAO.

- FAO, (2002), **Global agro-ecological assessment for agriculture in the 21 st century**, Land and Water Digital Media Series 21. FAO, Rome.

- FarhadiBansouleh, B, (2009), **Development of a spatial planning support system for agricultural policy formulation related to land and water resources in Borkhar&Meymeh district**, Iran, Ph.D. Thesis,

- Karimi, M., Sharifi, M.A., Mesgari, M.S., (2012), **Modeling land use interaction using linguistic variables**, International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation 16, 42-53.

- Liu, W. and M. Rossi. (2006), **Land evaluation in Danling county, Sichuan province, China**, 26th Course Professional Master Geomatics and Natural Resources Evaluation, 7th Nov. 2005- 23rd June 2006. Florence. 153 Pp.

- Nilsson, E. and Svensson, A. (2005), **Agro-Ecological Assessment of Phonxay District, LouangPhrabang Province, Lao PDR**, Physical Geography and Ecosystems Analysis Lund University.

- Sante-Riveira, I., Crecente-Maseda, R., Miranda-Barros, D., (2008), **GIS-based planning support system for rural land-use allocation**, Computer and Electronics in Agriculture.

- Sante-Riveira, I., Crecente-Maseda, R., Miranda-Barros, D., (2008), **GIS-based planning support system for rural land-use allocation**, Computer and Electronics in Agriculture.

- Van Wambeke, A., & Forbes, T.R. (Eds.). (1986), **Guidelines for using Soil Taxonomy in the names of soil map units**. Soil Conservation Service, Soil Management Support Service.

- Verburg, P.H., and Overmars, K.P., (2009), **Combining top-down and bottom-up dynamics in land use modeling: exploring the future of abandoned farmlands in Europe with the Dyna-CLUE model, Landscape** Ecol, DOI 10.1007/s10980-009-9355-7.

- Wang, X., Yu, S., Huang, G.H., (2004), **Land allocation based on integrated GIS-optimization modeling at a watershed level**, Landscape and Urban Planning 66, 61-74.