مرتع و آبخیزداری، مجله منابع طبیعی ایران
دوره ۷۱، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۷
ص ۸۹۹-۸۸۵

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱۱/۱۴
تاریخ تصویب: ۱۳۹۷/۰۸/۱۶

تهیه نقشهٔ رقومی خاک با مدل جنگل‌های تصادفی و ارزیابی تناسب اراضی برای بخشی از منطقهٔ آبیک، استان قزوین

❖ **سید عرفان خاموشی؛** دانشجوی دکتری، گروه علوم و مهندسی خاک، دانشگاه تهران، کرج، ایران.

❖ **فریدون سرمدیان*؛** استاد گروه علوم و مهندسی خاک، دانشگاه تهران، کرج، ایران.

❖ **علی کشاورزی؛** استادیار گروه علوم و مهندسی خاک، دانشگاه تهران، کرج، ایران.

چکیده

خاک یک محیط پویا بوده و با مدیریت و کاربری ناصحیح اراضی، به‌راحتی مستعد تخریب می‌گردد. بنابراین افزایش تخریب این منبع محدود، امنیت غذایی جهان را شدیداً در معرض خطر قرار می‌دهد. لذا استفادهٔ مناسب و پایدار از اراضی به امری مهم و اجتناب‌ناپذیر مبدل شده است. هدف از مطالعهٔ حاضر تهیهٔ نقشهٔ رقومی خاک با استفاده از مدل درخت تصمیم به‌منظور ارزیابی تناسب اراضی کشاورزی در منطقهٔ آبیک استان قزوین، جهت اهداف مدیریتی و برنامه‌ریزی برای استفادهٔ پایدار از اراضی است. بدین منظور، با استفاده از روش مکعب لاتین مشروط اقدام به نمونه‌برداری از منطقه شد و پس از انجام آنالیزهای آزمایشگاهی، با استفاده از مدل جنگل‌های تصادفی اقدام به مدل‌سازی و تهیهٔ نقشهٔ خاک منطقه شد. همچنین از روش پارامتریک، ارزیابی تناسب اراضی برای محصولات غالب در منطقه استفاده شد. نتایج حاصل نشان داد که در ارزیابی تناسب اراضی برای گندم آبی با آبیاری سطحی ۷۵/۲۷ در صد از کل منطقه در کلاس S2 و ۲۴/۷۳ در صد از اراضی در کلاس S3 قرار دارند. در ارزیابی تناسب اراضی برای ذرت با آبیاری سطحی ۱۴/۷۸ درصد از اراضی در کلاس S1، ۸۴/۸۲ درصد در کلاس S2 و ۰/۳۹ درصد از اراضی نیز در کلاس S3 قرار گرفت. نتایج ارزیابی تناسب اراضی برای یونجه با آبیاری سطحی نشان داد که ۱۱/۱۰ درصد از اراضی در کلاس S1، ۸۸/۴۹ درصد در کلاس S2 و ۰/۴ درصد نیز در کلاس S3 قرار گرفتند.

کلید واژگان: روش پارامتریک ریشهٔ دوم، مکعب لاتین مشروط، گندم، ذرت، یونجه، قزوین.

* نویسنده مسئول: شماره تماس: ۰۲۲۴۰۲۲۲۳۲۶۲۸+
Email: fsarmad@ut.ac.ir

۱. مقدمه

دولت‌ها و سازمان‌های برنامه‌ریز به‌طور مؤثر برای افزایش استفاده از توان اراضی نیاز به اطلاعاتی در مورد ظرفیت زمین‌های کشاورزی دارند. مؤسسات مدیریت منابع که معمولاً با داده‌های محدود پایه کار می‌کنند، به دنبال راه‌های خلاقانه برای پاسخگویی به تقاضای رو به رشد اطلاعات مربوط به منابع زمین هستند. درزمینهٔ جهانی، نیاز به تکنیک‌های ارزیابی عملی و کارآمد برای شناسایی مناطق باقیماندهٔ زمین‌های زراعی در سراسر جهان و همچنین خاک‌های مناسب برای توسعهٔ پایدار کشاورزی وجود دارد [۱۰]. ارزیابی تناسب اراضی در استفادهٔ مؤثر از اراضی یک منطقه نقش مهمی ایفا می‌کند، زیرا به دلیل فشارهای روزافزون افزایش جمعیت، استفادهٔ متناسب با توان اراضی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است [۹]. از طرف دیگر در مناطق نیمه‌خشک جهان دسترسی به زمین‌های کشاورزی مطلوب محدود است و این افزایش فشار بر اراضی به‌نوبهٔ خود منجر به فرسایش و تخریب اراضی می‌شود [۶].

ارزیابی اراضی بخشی جدایی‌ناپذیر از برنامه‌ریزی برای استفادهٔ بهینه از اراضی برای مدیریت پایدار است. در اصل، هدف از ارزیابی اراضی مقایسه و تطبیق هریک از استفاده‌های بالقوهٔ اراضی با خواص منحصربه‌فرد اراضی، برای واحدهای اراضی است [۲۶]. بنابراین به نظر می‌رسد انجام مطالعات ارزیابی دقیق و قابل‌اعتماد به‌منظور توسعهٔ برنامه‌ریزی‌های استفاده از اراضی امری اجتناب‌ناپذیر باشد، همان‌طور که امروزه در بیشتر کشورهای درحال‌توسعه، ارزیابی تناسب اراضی به‌عنوان عامل اصلی برای انتخاب محصول سازگار با خاک و شرایط محیطی در نظر گرفته می‌شود [۱۶].

به‌منظور بهره‌برداری بهینه از خاک لزوم یک برنامه‌ریزی صحیح و طولانی‌مدت در زمینهٔ استفاده از اراضی بر اساس استعداد و نوع نیازهای جامعهٔ امروز انسانی مشهود است [۱۴]. در این راستا می‌توان از نقشه‌های خاک، به‌عنوان منابع معمول و اصلی اطلاعات منابع اراضی نام برد [۴]. اغلب نقشه‌های خاک به‌عنوان منبع داده‌هایی از خاک محسوب می‌شوند که در جهت تصمیم‌گیری راجع به‌تناسب اراضی برای اهداف مختلف، استفاده می‌شوند [۸]. نقشه‌برداری رقومی خاک[1] امروزه نه‌تنها به‌عنوان یک روش برای پیش‌بینی کلاس‌ها و خصوصیات خاک، بلکه به‌عنوان ابزاری در جهت ارزیابی خاک و قابلیت‌های استفادهٔ آن نیز شناخته‌شده است. به‌طورکلی، سه‌گام اصلی در نقشه‌برداری رقومی خاک وجود دارد، گام اول، داده‌های ورودی، با تولید نقشه‌های پایه، اندازه‌گیری و کالیبراسیون متغیرهای کمکی مکانی به‌هم‌پیوسته از داده‌های در دسترس شروع می‌شود [۱۳]. گام دوم، برآورد یا تخمین خصوصیات خاک است. این خصوصیات با استفاده از روابط کمی بین اندازه‌گیری‌های نقطه‌ای خاک و متغیرهای کمکی مکانی پیوسته، به دست می‌آید. گام سوم، خواص مکانی خاک به‌دست‌آمده، برای پیش‌بینی بیشتر توابع دشوار خاک، مانند اندازه‌گیری مقدار آب خاک در دسترس، تراکم کربن و تثبیت فسفر استفاده می‌شود [۱۸].

از روش‌های نوین در پیش‌بینی کلاس‌های خاک در یک منطقه و تهیهٔ نقشهٔ رقومی خاک، می‌توان به استفاده از مدل جنگل‌های تصادفی[2] اشاره کرد. جنگل‌های تصادفی در حقیقت مجموعه‌هایی از درخت‌های پیش‌بینی کننده با احتمال یکسان و دارای پراکندگی یکسان هستند. اساس این روش بر انتخاب خطای داده‌های بزرگ‌تر به‌عنوان خطای اصلی و ایجاد همبستگی بین خطاهای دیگر داده‌ها به ترتیب است. همان‌گونه که مشهود است انتخاب خطای عمومی بر اساس بزرگ‌ترین داده‌ها، پیش‌بینی دقیق و قابل استنادی به ما می‌دهد؛ اما زمانی این پیش‌بینی دقیق‌تر هم می‌شود که داده‌های

[1] Digital soil mapping
[2] Random Forests

ورودی به مدل بدون اعمال تغییرات باشد [۲].

روش‌های بسیاری جهت استفاده در تعیین موقعیت های حفر پروفیل خاک وجود دارد که یکی از کارآمدترین روش‌های نمونه‌برداری هدفمند، روش مکعب لاتین مشروط[1] است. این روش در سال ۲۰۰۶ توسط میناسنی و مک براتنی به‌منظور استفاده در تعیین نقاط نمونه‌برداری ارائه شد. روش ارائه‌شده بر پایهٔ روش نمونه‌برداری مربع لاتین است که در سال ۱۹۷۹ تو مک کی پیشنهاد داده شد اما با این تفاوت که در روش مربع لاتین شرطی تمامی نقاطی که برای نمونه‌برداری مشخص می‌شود در جهان واقعی وجود دارند.

محققان بسیاری با استفاده از نقشه‌های رقومی خاک اقدام به ارزیابی تناسب اراضی در مناطق مختلف دنیا کرده‌اند. در مطالعه‌ای در دشت قزوین از نقشهٔ رقومی خاک برای پهنه‌بندی تناسب اراضی محصولات زراعی غالب منطقه استفاده شد و نتایج نشان داد که نقشه‌های رقومی خاک می‌تواند مبنای بسیار خوبی برای مطالعات ارزیابی تناسب اراضی باشد [۱۶]. اخیراً نیز ارزیابی تناسب اراضی زمین‌های کشاورزی شمال کوئینزلند برای ۲۰ محصول مختلف با استفاده از تکنیک نقشهٔ رقومی خاک انجام شد [۲۴]. در قسمتی از کشور ترکیه در ابتدا اقدام به تهیهٔ نقشهٔ خاک شد سپس با توجه به شرایط منطقه ۱۰ نوع کاربری اراضی و احتیاجات آن مشخص گردید، درنهایت خصوصیات واحد نقشه‌برداری با احتیاجات انواع کاربری مورد مقایسه قرار داده شد [۲۵]. همچنین در کشور موزامبیک از نتایج خروجی از نقشهٔ رقومی خاک در جهت ارزیابی تناسب اراضی استفاده شد [۲۷]. در تا سمانی استرالیا نیز با هدف توسعهٔ اراضی تحت آبیاری از تکنیک‌های نقشهٔ رقومی خاک و تناسب اراضی بهره گرفته شد [۱۲].

با توجه به اهمیت استراتژیک نقشه‌های پایهٔ اراضی برای هر منطقه [۲۳] و کمبود اطلاعات مدیریتی در مناطقی با وسعت زیاد، نیاز به یک‌سری اطلاعات دیجیتالی و دقیق از خاک و ویژگی‌های آن در سراسر منطقه و استفاده از خروجی های رقومی برای اعمال ارزیابی به سبک فائو [۱۰]، هدف از مطالعهٔ حاضر تهیهٔ نقشهٔ رقومی خاک، برای به دست آوردن اطلاعات خاک منطقه جهت بررسی و اجرای برنامه‌های مدیریتی در آینده و استفاده از این نقشه در جهت ارزیابی تناسب اراضی برای محصولات غالب منطقه هست. همچنین با تعیین کلاس‌های تناسب اراضی، عوامل محدودکننده نظیر خصوصیات خاک و اقلیم در جهت رسیدن به حداکثر محصول مشخص می‌گردد. این مطالعات بر مبنای راهنمای ارزیابی اراضی فائو (۱۹۷۶) [۷] و راهنمای ارزیابی اراضی انجام می‌گیرد [۲۱، ۲۲].

۲. روش‌شناسی

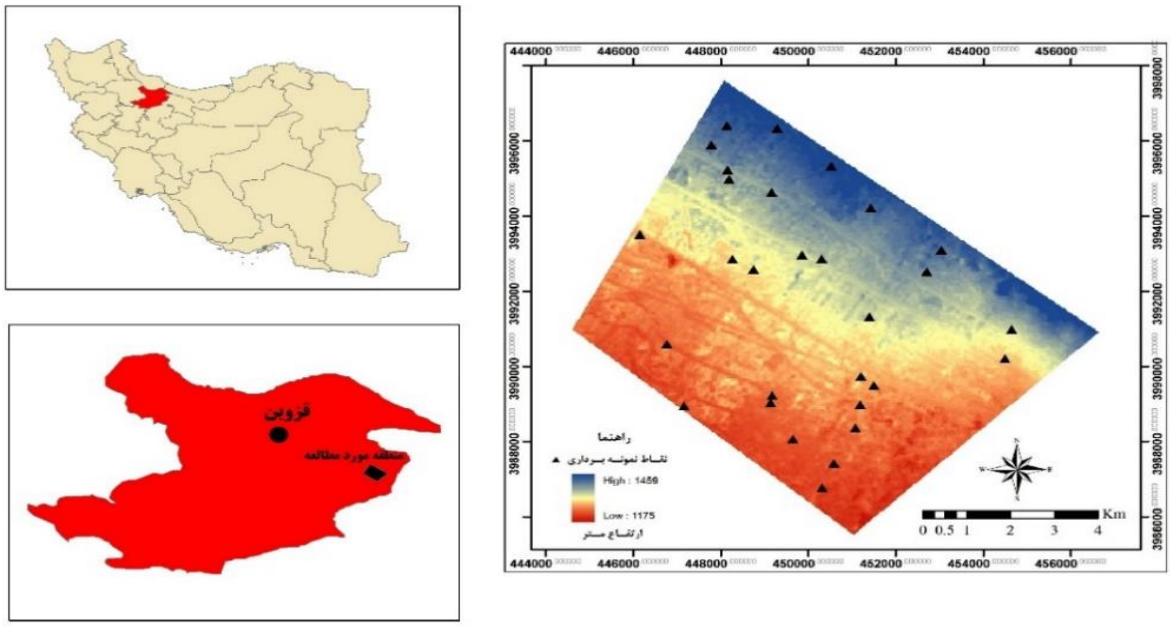
۱،۲. معرفی منطقهٔ مورد مطالعه

منطقهٔ موردمطالعه با مساحت ۷۲۶۱ هکتار در شرق استان قزوین در محدودهٔ شهرستان آبیک و بین ´۲°۳۶ تا ´۵°۳۶ عرض شمالی و ´۲۴°۵۰ تا ´۲۹°۵۰ طول شرقی واقع‌شده است (شکل۱). میانگین بارندگی سالیانه این منطقه ۲۷۸ میلی‌متر و متوسط دمای سالیانه ۱۴/۸۸ درجه سانتی‌گراد است. رژیم‌های رطوبتی و حرارتی منطقه به ترتیب زریک و ترمیک طبقه‌بندی شدند. حداقل و حداکثر ارتفاع منطقه از سطح دریا به ترتیب ۱۱۷۵ و ۱۴۵۹متر است. برخی از گیاهان بومی منطقهٔ مورد مطالعه شامل: گلرنگ وحشی (*Carthamus*)، کنگر وحشی (*Gundelia tournefortii L*)، گراس (*Cortaderia Selloana Gold Band*)، گرامینه (*Geraminceae*)، درمنه (*Artemisia siberia*)، پنیرک (*Malva sylvestris*)، گون (*Astragalus*)، تلخه بیان (*Sophora alopecuriodes*) و... . محصولات زراعی در منطقهٔ مورد مطالعه بیشتر گندم، ذرت، جو و یونجه هستند.

[1] Conditioned Latin Hypercube

۲،۲. نمونه‌برداری و تهیه نقشهٔ رقومی خاک

برای تعیین نقاط حفر پروفیل‌ها از روش نمونه‌برداری مکعب لاتین مشروط[1][۱۵]، استفاده شد. با استفاده از دستگاه GPS و نقاط مشخص‌شده توسط روش مکعب لاتین مشروط، اقدام به حفر پروفیل‌ها توسط بیل مکانیکی شد، نهایتاً ۹۷ نمونه خاک جمع‌آوری شد و برای انجام آزمایش‌های بافت خاک، واکنش خاک، قابلیت هدایت الکتریکی، کربن آلی، آهک و ظرفیت تبادل کاتیونی به آزمایشگاه منتقل شد. همچنین تمامی پروفیل‌ها بر اساس روش طبقه‌بندی آمریکایی (۲۰۱۴) تشریح و طبقه‌بندی گردید.



شکل ۱. موقعیت منطقهٔ موردمطالعه و محل نقاط نمونه‌برداری

پس از پایان آنالیزهای آزمایشگاهی با استفاده از داده‌های به دست آمده اقدام به نام‌گذاری خاک‌ها تا سطح فامیل بر اساس کلید رده‌بندی ۲۰۱۴[2] گردید و پس از مشخص شدن نام خاک‌ها آن‌ها کدگذاری شدند و متغیرهای کمکی (شیب، جهت شیب، ارتفاع شاخص‌های پوشش گیاهی، پوشش گیاهی اصلاح‌شده خاک و باندهای مستخرج از تصاویر ماهواره لندست ۸)، برای هر کدام از پروفیل‌ها از طریق نرم افزار آرک جی ای اس استخراج شد و به‌عنوان متغیر وابسته در نظر گرفته شدند. همچنین تمام لایه‌های کمکی به فرمت رستری با اندازهٔ پیکسلی ۳۰ متر تهیه شدند، این اطلاعات به‌عنوان متغیرهای وابسته در مدل اسکورپن شناخته می‌شوند. تمامی اطلاعات با فرمت نهایی xlxs. تبدیل شده و برای فرایند مدل‌سازی در نرم‌افزارهای مربوطه آماده شدند. پس از آماده‌سازی داده‌ها با استفاده از نرم افزار متلب ۲۰۱۵[3] اقدام به اجرای مدل گردید که در این تحقیق از مدل جنگل های تصادفی با اجرای ۵۰۰ درخت پیش‌بینی استفاده شد [۱۷].

[1] Conditioned Latin Hypercube Sampling (cLHS)
[2] Key to soil taxonomy 2014
[3] MATLAB 2015

۳,۲. ارزیابی تناسب اراضی

پس از تهیهٔ نقشهٔ رقومی خاک، از واحدهای خاک به‌دست امده (شکل ۲) به‌عنوان واحد اراضی برای ارزیابی تناسب اراضی محصولات گندم، ذرت و یونجه به روش فائو ۱۹۷۶ استفاده گردید [۷]. در این روش ابتدا محدود کننده ترین عوامل از خصوصیات اراضی تعیین شد، سپس در هر یک از واحدهای خاک با نیازهای رویشی گندم، ذرت و یونجه انطباق داده شد و از طریق روش پارامتریک [۲۲] و ریشهٔ دوم (معادله ۱) کلاس نهایی اراضی تعیین گردید.

$$i = Rmin \times \sqrt{\frac{A}{100} \times \frac{B}{100} \times \dots}$$ معادلهٔ ۱

در این معادله i شاخص اراضی، A,B,C,... درجات اختصاص داده‌شده به هرکدام از خصوصیات اراضی و Rmin خصوصیت با درجه حداقل می‌باشد. درروش پارامتریک به هریک از سطوح محدودیت درجه‌بندی در مقیاس ۱۰۰-۰ نسبت داده می‌شود و درنهایت شاخص نهایی اراضی از روش ریشهٔ دوم به دست می‌آید و سپس با توجه به شاخص اراضی، کلاس تناسب اراضی به دست می‌آید (جدول ۱).

جدول ۱. طبقه‌بندی شاخص تناسب اراضی [۲۳]

شاخص اراضی	کلاس تناسب	
	علائم	تعاریف
۱۰۰-۷۵	S1	خیلی مناسب
۷۵-۵۰	S2	نسبتاً مناسب
۵۰-۲۵	S3	تناسب کم
۲۵-۰	N	نامناسب

همچنین مشخصات اقلیمی بلندمدت ۲۰ سالهٔ منطقه از ایستگاه‌های هواشناسی منطقه جهت ارزیابی اقلیم [۲۲] منطقه استخراج گردید که نتایج آن در جدول ۲ آورده شده است.

جدول ۲. آمار هواشناسی بلندمدت منطقه

	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC
کمینهٔ دما (C^o)	-۲/۸۶	-۳/۰۶	۲/۴	۸	۱۳/۰۸	۱۵/۶۴	۱۶/۷۴	۲۱/۲	۱۳/۲۴	۶/۸۴	۶/۱۱	۰/۲
بیشینهٔ دما (C^o)	۶/۷۸	۹/۶	۱۳/۶	۲۰/۸	۲۶/۳۲	۳۲/۵۶	۳۵/۵	۳۲/۲	۳۱/۱۸	۲۴/۳۸	۱۵/۷۳	۹
متوسط دما (C^o)	۱/۹۶	۳/۳	۸/۰	۱۴/۴	۱۹/۷	۲۴/۱	۲۶/۱	۲۶/۷	۲۲/۲۱	۱۵/۶۱	۱۰/۹۲	۴/۶
میانگین‌بارندگی‌ماهانه (mm)	۳۲/۵	۲۹/۸	۵۲/۲	۳۶/۶	۲۲/۸	۲/۸	۲/۳	۱/۱۵	۰/۱۸	۲۳	۳۴/۱	۴۱
رطوبت نسبی (٪)	۷۰	۶۴	۵۸	۵۵	۵۲	۴۲	۴۳	۴۱	۴۲	۴۹	۵۷	۶۹
سرعت باد (m/s)	۰/۹۷	۱/۵۳	۱/۹۹	۱/۵۳	۱/۵۳	۱/۷۸	۱/۷۳	۱/۷۳	۱/۴۸	۱/۲۴	۱/۱۷	۱/۰۷
ساعت آفتابی (h/day)	۵/۱	۵/۷	۶/۴	۷/۴	۱۰/۴	۱۱/۲	۱۱/۸	۱۱/۱	۱۰/۲	۸/۰۱	۶/۰۶	۴/۶

۳. نتایج

۱,۳. نقشهٔ رقومی خاک

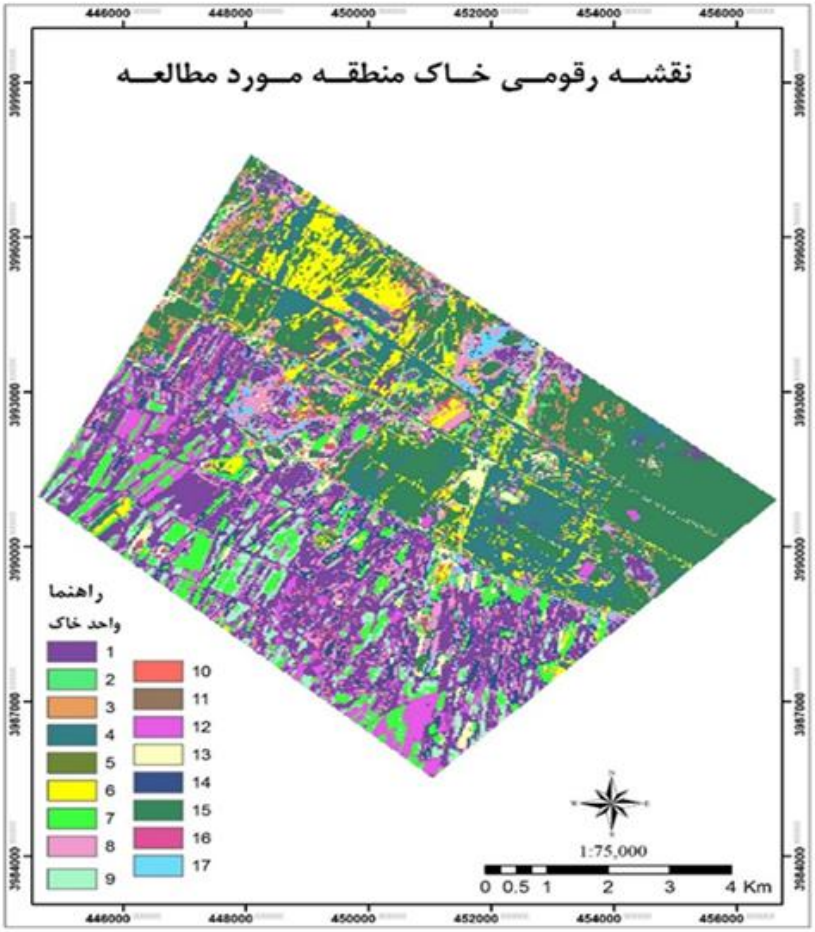
نقشهٔ رقومی خاک با ضریب کاپا و دقت کلی به‌ترتیب ۰/۸۳ و ۸۷/۵ درصد به دست آمدند. ضریب کاپای به دست آمده در ردهٔ تقریباً عالی می‌باشد [۱۳]که بر پایهٔ آن می‌توان گفت مدل جنگل‌های تصادفی پیش بینی مطلوبی را از کلاس‌های خاک انجام داده است. خاک‌های منطقهٔ موردمطالعه در قالب ۱۷ فامیل مختلف خاک در ۵

زیرگروه، ۴ گروه بزرگ، ۳ تحت رده و ۲ رده شناسایی شدند. جدول ۳ رده‌بندی واحدهای خاک را نشان می‌دهد، در شکل ۲ نیز واحدهای خاک در منطقه را نشان داده‌شده است.

۲,۳. نتایج ارزیابی اقلیم منطقه

میانگین درجه حرارت در سیکل رشد گندم برابر ۲۴/۲۸ درجه سانتی‌گراد می‌باشد که درجه‌بندی آن ۶۹ به دست آمد و در کلاس تناسب S2 قرار گرفت همچنین در مرحلهٔ رویشی درجه حرارت برابر با ۲۳/۲۴ درجه سانتی‌گراد بود و درجه‌بندی آن ۸۲ به دست آمد و کلاس تناسب اقلیمی آن S2 شد. میانگین درجه حرارت در مرحلهٔ گلدهی ۲۰/۴ درجه سانتی‌گراد بود که درجه‌بندی آن ۹۷ می‌باشد و در کلاس S1 قرار می‌گیرد. برای مرحله رسیدن میانگین درجه حرارت برابر با ۲۲/۴ شد که درجه‌بندی آن ۹۷ به دست آمد و در کلاس S1 طبقه‌بندی شد.

میانگین درجه حرارت در سیکل رشد ذرت برابر ۲۷/۲ درجه سانتی‌گراد می‌باشد که درجه‌بندی آن ۹۳ به دست آمد و در کلاس تناسب S1 قرار گرفت همچنین میانگین حداقل درجه حرارت در سیکل رشد برابر با ۲۴ درجه سانتی‌گراد بود و درجه‌بندی آن ۸۵ به دست آمد و کلاس تناسب اقلیمی آن S1 شد. درصد رطوبت نسبی در مرحلهٔ توسعه ۴۱/۷۶ درصد می‌باشد که درجه‌بندی آن ۸۴ به دست آمد و در کلاس S2 قرار گرفت همچنین میانگین درصد رطوبت نسبی در مرحله بلوغ ۴۸/۱ درصد می‌باشد که درجه‌بندی آن ۹۶ به دست آمد و کلاس طبقه‌بندی اقلیمی آن S1 شد.



شکل۲. پیش‌بینی کلاس‌های خاک منطقه توسط مدل جنگل‌های تصادفی در سطح فامیل خاک (جدول ۳)

جدول ۳. نتایج رده‌بندی خاک‌های منطقه تا سطح فامیل

واحد خاک	فامیل خاک
۱	Coarse-loamy over fragmental, mixed, superactive, calcareous, thermic Typic Xerorthents
۲	Coarse-loamy over fragmental, mixed, superactive, thermic Typic Calcixerepts
۳	Coarse-loamy over loamy skeletal, mixed, superactive, thermic Typic Calcixerepts
۴	Coarse-loamy over sandy, mixed, superactive, calcareous, thermic Typic Xerofluvents
۵	Coarse-loamy, mixed, superactive, thermic Fluventic Haploxerepts
۶	Coarse-loamy, mixed, superactive, thermic Typic Calcixerepts
۷	Coarse-loamy, mixed, superactive, thermic Typic Haploxerepts
۸	Fine-loamy over fragmental, mixed, superactive, thermic Typic Haploxerepts
۹	Fine-loamy over sandy skeletal, mixed, superactive, thermic Typic Haploxerepts
۱۰	Fine-loamy, mixed, superactive, thermic Fluventic Haploxerepts
۱۱	Fine-loamy, mixed, superactive, thermic Typic Calcixerepts
۱۲	Fine-loamy, mixed, superactive, thermic Typic Haploxerepts
۱۳	Loamy-skeletal over fragmental, mixed, superactive, thermic Typic Calcixerepts
۱۴	Loamy-skeletal, mixed, superactive, calcareous, thermic Typic Xerofluvents
۱۵	Loamy-skeletal, mixed, superactive, thermic Typic Calcixerepts
۱۶	Sandy skeletal, mixed, superactive, thermic Typic Calcixerepts
۱۷	Sandy- skeletal, mixed, superactive, calcareous, thermic Typic Xerorthents

میانگین درجه حرارت در سیکل رشد یونجه یک ساله ۱۸/۲ بود که درجه‌بندی آن ۷۵ به دست آمد و در کلاس S2 قرار گرفت همچنین میانگین درصد رطوبت نسبی در کل سیکل رشد برابر ۵۲/۵ درصد بود که درجه‌بندی آن ۹۴ می‌باشد و در کلاس S1 قرار دارد.

۳،۳. نتایج کلاس تناسب اراضی

محدود کننده‌ترین عوامل برای تعیین کلاس تناسب اراضی شاخص‌های اقلیمی، شیب، واکنش خاک، کربن آلی خاک، آهک، میزان سنگریزه، بافت خاک و عمق خاک تعیین گردید که از پروفیل‌های شاهد در هر کدام از واحدهای خاک استخراج‌شده بود، (جدول ۴). پس از تعیین درجات مختلف هرکدام از شاخص‌ها از طریق روش ریشه دوم کلاس تناسب هریک از محصولات گندم، ذرت و یونجه تعیین گردید.

نتایج کلاس تناسب اراضی منطقه برای گندم با آبیاری سطحی نشان داد که بیشترین وسعت منطقهٔ مربوط به کلاس S2 و کمترین مساحت را کلاس S3 دارد. ضمناً در منطقهٔ موردمطالعه اراضی بدون محدودیت برای کشت گندم وجود ندارد (جدول ۵، شکل ۳).

در تعیین کلاس تناسب اراضی برای ذرت با آبیاری سطحی بیشترین وسعت منطقه مربوط به کلاس تناسب S2 و کمترین میزان مساحت مربوط به کلاس S3 است. همچنین ۱۴/۷۸ درصد از منطقه نیز برای کشت ذرت بدون محدودیت گزارش‌شده است (جدول ۶، شکل ۴).

نتایج روش ریشه دوم برای تعیین کلاس تناسب اراضی یونجه با آبیاری سطحی در منطقه نشان داد که ۱۱/۱۰ درصد از اراضی برای کشت این محصول هیچ‌گونه محدودیتی ندارند و همچنین بیشترین وسعت منطقه مربوط به کلاس S2 و کمترین وسعت مربوط به کلاس S3 است (جدول ۷، شکل ۵).

جدول ۴. مشخصات فیزیکی و شیمیایی پروفیل‌های شاهد

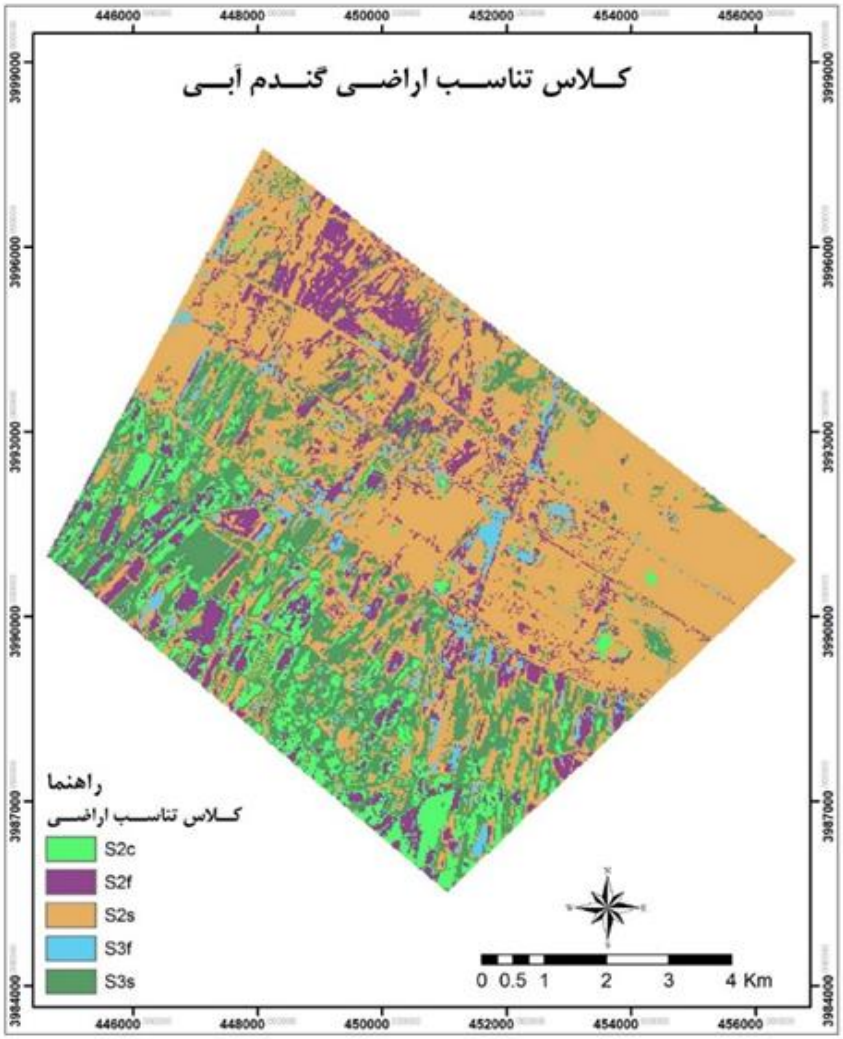
افق	عمق cm	EC dS/m	آهک ٪	OC ٪	رس ٪	سیلت ٪	شن ٪	بافت
				پروفیل شماره ۱				
Ap	۲۵-۰	۰/۴۷۶	۲/۸۲	۰/۶۹	۴/۷۵	۱۱/۴۱	۸۳/۸۴	loamy fine sand
C1	۵۳-۲۵	۰/۳۷۴	۴/۶۲	۰/۰۹	۴/۵۰	۱۲/۹۱	۸۲/۶۰	loamy fine sand
C2	۱۶۰-۵۳	۰/۴۴۳	۳/۳۲	۰/۰۹	۴/۲۵	۳/۱۸	۹۲/۵۸	fine sand
				پروفیل شماره ۲				
Ap	۲۵-۰	۰/۶۱۷	۲/۱۷	۱/۴۶	۱۵/۲۶	۲۲/۹۵	۶۱/۷۹	sandy loam
Bk	۸۵-۲۵	۰/۴۳۲	۱۲/۲۰	۰/۲۶	۱۵/۵۲	۲۵/۳۶	۵۹/۱۲	sandy loam
C	۱۴۰-۸۵	۰/۳۹۳	۷/۳۶	۰/۳۴	۶/۲۵	۵/۲۷	۸۸/۴۸	fine sand
				پروفیل شماره ۳				
Ap	۱۵-۰	۰/۵۶۹	۱۰/۷۶	۱/۰۳	۱۱/۱۱	۲۹/۴۹	۵۹/۴۰	sandy loam
Bk	۶۰-۱۵	۰/۳۹۸	۲۰/۲۲	۰/۶۱	۹/۳۵	۴۰/۲۹	۵۰/۳۶	loam
Bck	۱۷۰-۶۰	۰/۹۴۷	۲۸/۴۵	۰/۵۴	۹/۵۰	۳۳/۸۶	۵۶/۶۴	sandy loam
				پروفیل شماره ۴				
Ap	۲۰-۰	۰/۳۴۴	۴/۳۳	۰/۹۴	۹/۵۱	۵/۴۷	۸۵/۰۱	loamy fine sand
C1	۶۰-۲۰	۰/۳۳۴	۲/۸۲	۰/۲۶	۱۰/۲۵	۱۳/۷۲	۷۶/۰۲	sandy loam
C2	۱۶۰-۶۰	۱/۳۷۵	۳/۹۰	۰/۲۶	۸/۰۰	۵/۷۴	۸۶/۲۶	loamy fine sand
				پروفیل شماره ۵				
Ap	۲۵-۰	۰/۴۰۲	۴/۱۹	۰/۶۹	۹/۵۱	۲۶/۲۳	۶۴/۲۶	sandy loam
Bk1	۸۰-۲۵	۰/۲۷۵	۳/۵۴	۰/۲۶	۱۰/۳۰	۳۰/۶۹	۵۹/۰۲	sandy loam
Bk2	۱۱۰-۸۰	۰/۶۵۹	۸/۰۹	۰/۳۴	۱۴/۰۸	۲۴/۱۳	۶۱/۷۹	sandy loam
C	۱۷۰-۱۱۰	۰/۶۵۰	۸/۵۲	۰/۴۳	۱۱/۰۳	۱۴/۰۶	۷۴/۹۱	sandy loam
				پروفیل شماره ۶				
Ap	۲۰-۰	۰/۴۳۸	۱۰/۴۰	۰/۶۹	۱۴/۰۵	۱۹/۹۲	۶۶/۰۳	sandy loam
Bk1	۶۰-۲۰	۰/۲۸۲	۱۵/۲۷	۱/۲۰	۱۱/۵۲	۲۲/۴۴	۶۶/۰۳	sandy loam
Bk2	۹۰-۶۰	۰/۴۱۳	۱۱/۴۰	۰/۱۷	۱۱/۵۲	۱۳/۶۲	۷۴/۸۶	sandy loam
Bck	۱۷۰-۹۰	۰/۳۸۴	۱۰/۰۴	۰/۱۷	۱۴/۸۵	۲۳/۲۱	۶۱/۹۴	sandy loam
				پروفیل شماره ۷				
Ap	۲۵-۰	۰/۵۹۵	۶/۷۱	۰/۹۱	۱۵/۳۵	۳۵/۸۸	۴۴/۷۷	loam
Bw1	۷۰-۲۵	۱/۴۶۹	۸/۵۲	۰/۴۸	۱۸/۴۳	۴۳/۲۶	۳۸/۳۱	loam
Bw2	۱۳۰-۷۰	۱/۴۷۵	۶/۲۸	۰/۲۴	۱۲/۵۶	۳۲/۲۹	۵۵/۱۴	sandy loam
				پروفیل شماره ۸				
Ap	۲۰-۰	۰/۷۷۷	۶/۵۷	۰/۶۰	۱۳/۷۵	۲۴/۲۰	۶۲/۰۵	sandy loam
Bw	۵۰-۲۰	۰/۶۳۸	۳/۰۳	۰/۳۴	۱۹/۵۸	۱۷/۵۲	۶۲/۹۰	sandy loam
C	۱۲۰-۵۰	۰/۴۴۳	۵/۷۰	۰/۰۹	۶/۲۵	۶/۲۴	۸۷/۵۱	loamy fine sand
				پروفیل شماره ۹				
Ap	۲۰-۰	۰/۶۲۹	۵/۲۷	۱/۲۱	۲۳/۱۸	۳۲/۳۸	۴۴/۴۴	loam
Bw1	۴۰-۲۰	۰/۷۲۷	۶/۹۳	۰/۹۷	۲۱/۳۵	۳۱/۱۸	۴۷/۴۷	loam
Bw2	۷۰-۴۰	۰/۷۲۶	۶/۵۰	۰/۳۰	۱۱/۵۰	۱۸/۸۳	۶۹/۶۷	sandy loam

ادامه جدول ۴.

افق	عمق cm	EC dS/m	آهک ٪	OC ٪	رس ٪	سیلت ٪	شن ٪	بافت
				پروفیل شماره ۱۰				
Ap	۳۰-۰	۱/۳۹۸	۷/۲۲	۰/۴۸	۱۴/۵۹	۴۰/۱۳	۴۵/۲۸	loam
Bw	۷۰-۳۰	۰/۴۳۴	۶/۱۴	۰/۴۲	۲۱/۹۱	۴۲/۰۱	۳۶/۰۷	loam
Bk1	۱۱۰-۷۰	۰/۶۷۶	۶/۱۴	۰/۱۸	۱۴/۷۹	۱۵/۳۵	۶۹/۸۴	sandy loam
Bk2	۱۶۰-۱۱۰	۰/۷۸۲	۹/۶۰	۱/۵۷	۱۷/۰۴	۲۶/۵۷	۵۶/۳۹	sandy loam
				پروفیل شماره ۱۱				
Ap	۲۰-۰	۰/۳۷۱	۱۰/۹۰	۱/۴۶	۱۵/۸۹	۳۵/۳۴	۴۸/۷۷	loam
Bk1	۴۰-۲۰	۰/۲۹۰	۲۳/۱۸	۰/۷۷	۲۹/۴۸	۳۲/۷۹	۳۷/۷۳	clay loam
Bk2	۷۰-۴۰	۰/۳۹۴	۳۴/۸۰	۰/۶۰	۲۴/۶۸	۳۶/۹۰	۳۸/۴۲	loam
Bck	۱۲۰-۷۰	۰/۶۱۴	۳۳/۳۶	۰/۲۶	۱۵/۶۲	۳۰/۱۹	۵۴/۲۰	sandy loam
				پروفیل شماره ۱۲				
Ap	۲۵-۰	۰/۵۶۱	۴/۸۴	۱/۰۳	۱۷/۰۴	۲۹/۳۹	۵۳/۵۷	sandy loam
C1	۷۰-۲۵	۰/۸۰۶	۵/۴۲	۰/۸۶	۱۶/۷۷	۳۶/۸۶	۴۶/۳۷	loam
C2	۱۱۰-۷۰	۰/۵۶۲	۶/۷۱	۰/۳۴	۲۳/۱۸	۴۸/۰۹	۲۸/۷۳	loam
2Bwb	۱۶۰-۱۱۰	۰/۴۱۰	۷/۳۶	۰/۳۴	۲۷/۲۷	۴۵/۲۷	۲۷/۴۷	clay loam
2Bkb	۱۹۰-۱۶۰	۰/۳۴۱	۱۱/۸۴	۰/۲۶	۲۹/۸۰	۴۱/۸۸	۲۸/۳۲	clay loam
				پروفیل شماره ۱۳				
Ap	۲۰-۰	۰/۴۱۴	۸/۳۸	۰/۷۷	۱۰/۷۷	۱۹/۶۴	۶۹/۵۹	sandy loam
Bw	۴۵-۲۰	۰/۴۴۳	۹/۱۷	۰/۴۳	۱۳/۰۲	۲۲/۶۸	۶۴/۳۰	sandy loam
Bck	۹۰-۴۵	۰/۳۲۶	۱۵/۳۱	۰/۱۷	۹/۵۱	۱۸/۳۲	۷۲/۱۷	sandy loam
				پروفیل شماره ۱۴				
Ap	۳۰-۰	۰/۴۵۱	۵/۵۶	۱/۱۱	۱۴/۳۱	۳۰/۸۰	۵۴/۸۹	sandy loam
C1	۶۰-۳۰	۰/۶۵۸	۵/۱۳	۰/۴۳	۸/۷۵	۳۵/۸۷	۵۵/۳۸	sandy loam
C2	۱۰۰-۶۰	۰/۴۵۰	۲/۷۴	۰/۱۷	۴/۴۷	۴/۱۶	۹۱/۳۷	fine sand
2Bkb	۱۶۰-۱۰۰	۰/۹۹۶	۱۱/۹۱	۰/۳۴	۱۸/۵۱	۵۲/۳۱	۲۹/۱۸	silt loam
				پروفیل شماره ۱۵				
Ap	۲۰-۰	۰/۵۷۸	۱۸/۴۸	۱/۶۳	۱۳/۹۷	۴۴/۰۴	۴۱/۹۸	loam
Bk	۱۱۰-۲۰	۰/۶۰۳	۲۷/۲۹	۰/۵۱	۱۱/۸۹	۵۶/۹۷	۳۱/۱۴	silt loam
Bck	۱۶۰-۱۱۰	۰/۵۰۶	۴۴/۷۷	۰/۳۴	۱۹/۹۵	۴۰/۸۰	۳۹/۲۵	loam
				پروفیل شماره ۱۶				
Ap	۲۵-۰	۰/۴۸۸	۵/۹۲	۰/۸۵	۱۳/۵۳	۱۲/۰۹	۷۴/۳۸	sandy loam
Bk	۶۵-۲۵	۰/۶۲۰	۸/۶۶	۰/۳۶	۱۵/۵۲	۲۲/۵۴	۶۱/۹۴	sandy loam
				پروفیل شماره ۱۷				
Ap	۲۰-۰	۰/۵۴۸	۹/۲۴	۰/۸۶	۹/۰۰	۲۲/۷۲	۶۸/۲۸	sandy loam
C	۱۴۰-۲۰	۰/۳۷۳	۶/۱۴	۰/۰۹	۸/۷۵	۱۱/۳۷	۷۹/۸۹	loamy fine sand

جدول ۵. کلاس تناسب اراضی منطقه برای گندم با آبیاری سطحی

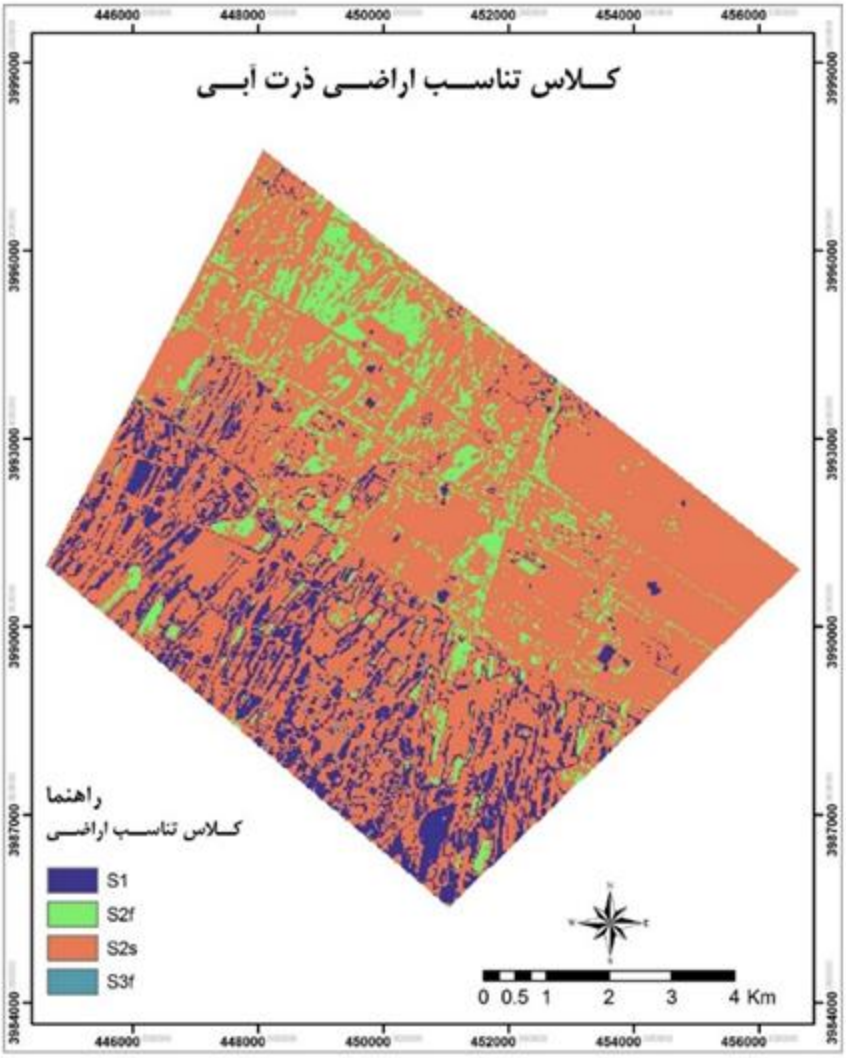
کلاس تناسب اراضی	مساحت (هکتار)	درصد
S2s	۳۶۹۰/۲۴	۵۰/۸۱
S2f	۱۰۷۴/۴۳	۱۴/۸
S2c	۷۰۱/۲۳	۹/۶۶
S3f	۲۷۸/۷۵	۳/۸۴
S3s	۱۵۱۶/۹۲	۲۰/۸۶



شکل۳. نقشهٔ کلاس تناسب اراضی برای گندم با آبیاری سطحی

جدول ۶. کلاس تناسب اراضی برای ذرت با آبیاری سطحی

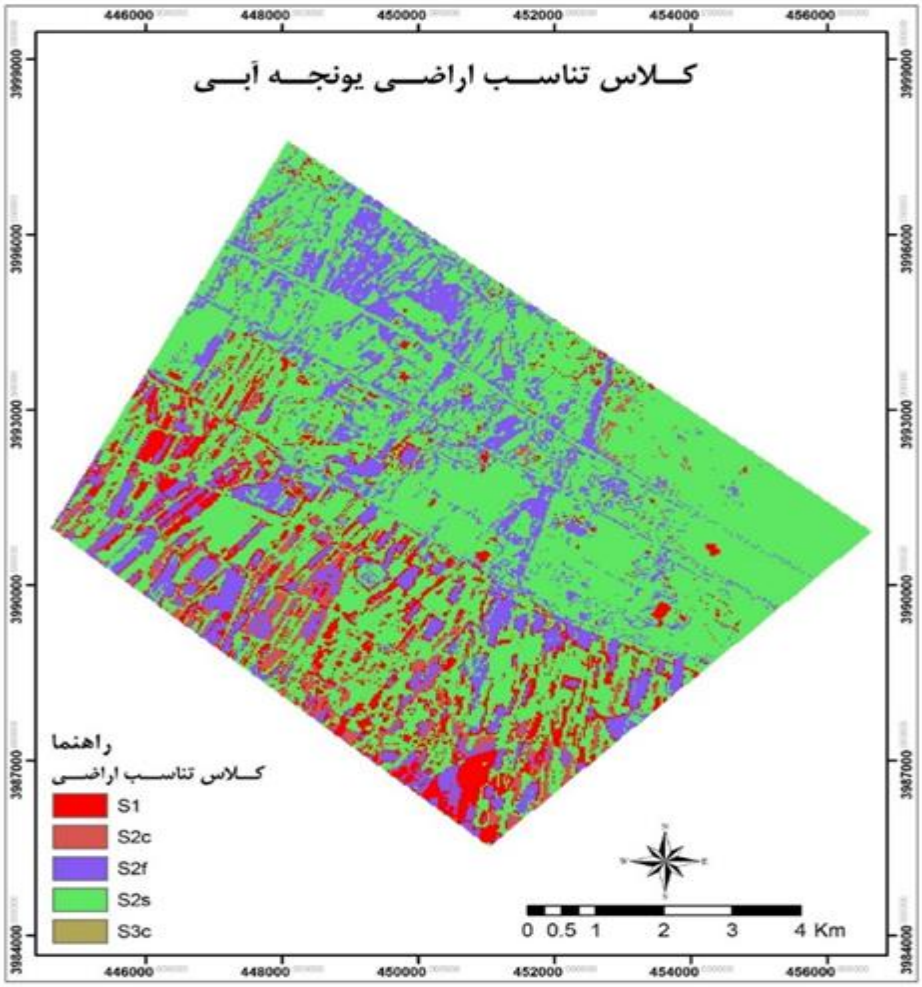
کلاس تناسب اراضی	مساحت (هکتار)	درصد
S1	۱۰۷۳/۷۲	۱۴/۷۸
S2s	۵۲۶۶/۰۸	۷۲/۵۲
S2f	۸۹۲/۹۲	۱۲/۳
S3f	۲۸/۸۶	۰/۳۹



شکل ۴. نقشهٔ کلاس تناسب اراضی برای ذرت با آبیاری سطحی

جدول ۷. کلاس تناسب اراضی یونجه با آبیاری سطحی

کلاس تناسب اراضی	مساحت (هکتار)	درصد
S1	۸۰۶/۳۸	۱۱/۱۰
S2s	۴۶۸۹/۵۳	۶۴/۵۸
S2f	۱۴۳۰/۹۱	۱۹/۷
S2c	۳۰۵/۹۰	۴/۲۱
S3c	۲۸/۸۶	۰/۴



شکل ۵. نقشهٔ کلاس تناسب اراضی برای یونجه با آبیاری سطحی

۴. بحث و نتیجه‌گیری

نتایج تشریح پروفیل‌ها و مطالعات صحرایی نشان داد که منطقه داری ۱۷ نوع خاک مختلف در سطح فامیل می‌باشد. نقشه رقومی خاک منطقه که با استفاده از متغیرهای کمکی مستخرج از مدل رقومی ارتفاع و تصاویر ماهواره لندست ۸ از طریق مدل جنگل‌های تصادفی با ضریب کاپای ۰/۸۳ تهیه شد، نشان از توانایی مناسب این مدل برای پیش‌بینی کلاس خاک منطقه دارد. همچنین این نتایج با نتایج محققان دیگر از لحاظ توانایی و دقت بالای مدل همخوانی داشت [۳، ۱۷]. بر اساس خروجی نقشهٔ رقومی خاک، منطقهٔ موردمطالعه از دو نوع خاک انتی‌سول و اینسپتی‌سول‌ها تشکیل‌شده‌اند به‌طوری‌که در شمال و شمال غربی منطقه که ازنظر ارتفاع بالاتر از قسمت‌های جنوبی است، فامیل خاک Loamy-skeletal, mixed, superactive, thermic Typic Calcixerepts نوع خاک قالب منطقه است.

بیشترین کلاس تناسب اراضی منطقه برای گندم با آبیاری سطحی کلاس S2 با محدودیت خصوصیات فیزیکی خاک (سنگریزه و بافت خاک) است. پژوهشگران دیگر، ارزیابی تناسب اراضی را برای گندم در بخشی از قزوین انجام دادند که نتایج آن‌ها نیز نشان داد بیشترین محدودیت اراضی منطقه مربوط به خصوصیات فیزیکی خاک بود [۱۹]. در تعیین کلاس تناسب اراضی برای ذرت با آبیاری سطحی کلاس تناسب S2 با محدودیت خواص فیزیکی خاک (بافت و سنگریزه) بود که نتایج به‌دست‌آمده با نتایج برخی دیگر از محققان که به ترتیب تعیین تناسب اراضی را برای ذرت در بخشی از ایران و نیجریه انجام دادند مطابقت نشان داد و آن‌ها نیز بیشتر محدودیت در کشت ذرت را مربوط به خصوصیات فیزیکی خاک گزارش کردند [۱، ۱۱].تعیین کلاس تناسب اراضی یونجه در منطقه نشان داد که بیشترین وسعت منطقه مربوط به کلاس S2 با محدودیت خصوصیات فیزیکی خاک (بافت و سنگریزه) است. سایر محققان نیز نتایج مشابهی را برای ارزیابی کلاس تناسب اراضی محصول یونجه گزارش کردند [۲۰و۵]. به‌طورکلی در ارزیابی تناسب اراضی برای محصولات عمدهٔ منطقه، بیشترین کلاس تناسب اراضی برای هر سه محصول گندم، ذرت و یونجه، کلاس S2 با محدودیت خصوصیات فیزیکی خاک شناسایی‌شده که در قسمت‌های شمالی منطقه که ارتفاع بیشتری دارند عمدتاً این محدودیت به خاطر وجود سنگریزهٔ سطحی و تحتانی و عامل محدودکنندهٔ دیگر عمق خاک می‌باشد اما در قسمت‌های جنوبی محدودیت بیشتر بر اثر وجود بافت‌های درشت‌تر از لومی و همچنین محدودیت عمق خاک در بعضی مناطق نیز وجود سنگریزه مشاهده شد.

دو نوع عوامل محدودکننده در ارزیابی تناسب اراضی وجود دارند. نوع اول عواملی هستند که بعد عملیات مدیریتی و اصلاحی، از بین می‌روند مانند سنگریزه سطحی که با جمع‌آوری از بین می‌رود. نوع دوم عواملی هستند که تابع عملیات اصلاحی نیستند مانند بافت خاک. با توجه به این‌که در منطقهٔ مطالعاتی هر دو این عوامل باعث ایجاد محدودیت خاک شده‌اند، در مکان‌هایی که دارای محدودیت سنگریزه هستند با استفاده از روش‌های مختلف جمع‌آوری سنگریزه به صورت دستی و مکانیزه می‌توان این محدودیت را از بین برد و باعث ارتقاء کلاس تناسب اراضی و افزایش محصول گردید. اما در مناطقی که بافت خاک ایجاد محدودیت می‌کند به دلیل اینکه این‌گونه محدودیت‌ها قابلیت اصلاح ندارند از محصولاتی استفاده شود که در بافت خاک موجود بهترین عملکرد را دارا باشند.

References

[1] Abagyeh, S. O. I., Idoga, S., and Agber, P. I. (2016). Land suitability evaluation for maize (Zea mays) production in selected sites of the Mid-Benue valley, Nigeria. International Journal of Agricultural Policy and Research, 4(3), 46-51.

[2] Breiman, L. (2001). Random forests. Machine learning, 45(1), 5-32.

[3] Camera, C., Zomeni, Z., Noller, J. S., Zissimos, A. M., Christoforou, I. C., and Bruggeman, A. (2017). A high resolution map of soil types and physical properties for Cyprus: A digital soil mapping optimization. Geoderma, 285, 35-49.

[4] Daigle, J. J., Hudnall, W. H., Gabriel, W. J., Mersiovsky, E., and Nielson, R. D. (2005). The National Soil Information System (NASIS): Designing soil interpretation classes for military land-use predictions. Journal of terramechanics, 42(3), 305-320.

[5] Deng, F., Li, X., Wang, H., Zhang, M., Li, R., and Li, X. (2014). GIS-based assessment of land suitability for alfalfa cultivation: a case study in the dry continental steppes of northern China. Spanish Journal of Agricultural Research, 12(2), 364-375.

[6] Elaalem, M., Comber, A., and Fisher, P. (2011). A comparison of fuzzy AHP and ideal point methods for evaluating land suitability. Transactions in GIS, 15(3), 329-346.

[7] Agriculture Organization of the United Nations. Soil Resources, & Conservation Service. (1977). A framework for land evaluation. International Institute for Land Reclamation and Improvement.

[8] Geypens, M., Vanongeval, L., Vogels, N., and Meykens, J. (1999). Spatial variability of agricultural soil fertility parameters in a Gleyic Podzol of Belgium. Precision Agriculture, 1(3), 319-326.

[9] Gong, J., Liu, Y., and Chen, W. (2012). Land suitability evaluation for development using a matter-element model: A case study in Zengcheng, Guangzhou, China. Land Use Policy, 29(2), 464-472.

[10] Harms, B., Brough, D., Philip, S., Bartley, R., Clifford, D., Thomas, M and Gregory, L. (2015). Digital soil assessment for regional agricultural land evaluation. Global Food Security, 5, 25-36.

[11] Jahanbazi, L., Jafarzadeh, A. A., Shahbazi, F., and Momtaz, H. R. (2014). Qualitative Land Suitability Evaluation of Ahar Yakhfarvazan for Sugar Beet, Onion and Maize by Simple Limitation and Parametric Square Root Methods. Water and Soil Sciences, 24(3), 121-132. (in persian)

[12] Kidd, D. B., Webb, M. A., Grose, C. J., Moreton, R. M., Malone, B. P., McBratney, A. B., and Minasny, B. (2014). Operational digital soil assessment for enterprise suitability in Tasmania, Australia. GlobalSoilMap: basis of the global spatial soil information system. Taylor & Francis, London, 113-119.

[13] Landis, J. R., and Koch, G. G. (1977). The measurement of observer agreement for categorical data. Biometrics, 159-174.

[14] McBratney, A. B. Santos, M. M. and Minasny, B. (2003). On digital soil mapping. Geoderma, 117(1), 3-52.

[15] McKenzie, N. J., Grundy, M. J., Webster, R., and Ringrose-Voase, A. J. (Eds.). (2008). Guidelines for surveying soil and land resources. Csiro Publishing.

[16] Minasny, B. and McBratney, A. B. (2006). A conditioned Latin hypercube method for sampling in the presence of ancillary information. Computers & Geosciences, 32(9), 1378-1388.

[17] Mousavi, S., Sarmadian, F., Alijani, Z., and Taati, A. (2017). Land suitability evaluation for irrigating wheat by Geopedological approach and Geographic Information System: A case study of Qazvin plain, Iran. Eurasian Journal of Soil Science, 6(3), 275-284.

[18] Rad, M. R. P., Toomanian, N., Khormali, F., Brungard, C. W., Komaki, C. B., and Bogaert, P. (2014). Updating soil survey maps using random forest and conditioned Latin hypercube sampling in the loess derived soils of northern Iran. Geoderma, 232, 97-106.

[19] Sanchez, P. A., Ahamed, S., Carré, F., Hartemink, A. E., Hempel, J., Huising, J and Minasny, B. (2009). Digital soil map of the world. Science, 325(5941), 680-681.

[20] Sarmadian, F., and Taati, A. (2015). Agro-ecological zoning of the Qazvin area for wheat (*Triticum aestivum L.*) using RS and GIS. Journal of Agroecology, 7(3), 368-380. (in persian)

[21] Servati, M., Jafarzadeh, A. A., Ghorbani, M. A., Shahbazi, F., and Davatgar, N. (2014). Land Suitability Evaluation for Alfalfa in Khajeh Region Using the Parametric Square Root method and Fuzzy Set Theory. Water and Soil Sciences, 24(2), 93-105. (in persian)

[22] Sys, C. O., Van Ranst, E., Debaveye, J., and Beernaert, F. (1993). Land evaluation: Part III Crop requirements (Vols. 1-3). Bruxelles (Belgium): Administration Generale de la Cooperation au Developpement.

[23] Sys, C., Van Ranst, E., and Debaveye, J. (1991). Land evaluation part I, principles in land evaluation and crop production calculation. Agricultural Publication,

[24] Taghizadeh-Mehrjardi, R., Sarmadian, F., Tazeh, M., Omid, M., Toomanian, N., Rousta, M. J., and Rahimian, M. H. (2014). Comparison of different sampling methods for digital soil mapping in Ardakan region. Watershed Engineering and Management, 6(4), 353-363.

[25] Thomas, M., Clifford, D., Bartley, R., Philip, S., Brough, D., Gregory, L and Glover, M. (2015). Putting regional digital soil mapping into practice in Tropical Northern Australia. Geoderma, 241, 145-157.

[26] Tunçay, T., Bayramin, I., Erpul, G., and Kibar, M. (2011). Physical land suitability classification in a semi-arid condition: The Çiçekdaği State Farm-Kirsehir, Turkey. International Journal of Physical Sciences, 6(12), 2973-2982.

[27] Van Niekerk, A. (2010). A comparison of land unit delineation techniques for land evaluation in the Western Cape, South Africa. Land Use Policy, 27(3), 937-945.

[28] Van Zijl, G. M., Bouwer, D., Van Tol, J. J., and Le Roux, P. A. L. (2014). Functional digital soil mapping: a case study from Namarroi, Mozambique. *Geoderma*, *219*, 155-161.