نشریه دانش آب و خاک / جلد ۲۸ شماره ۲صفحه‌های ۱۷۷ تا ۱۸۹ / سال ۱۳۹۷

ارزیابی تناسب اراضی برای جو دیم با استفاده از تکنیک فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) و GIS در بخشی از کوهین

سید امین موسوی[1*]، فریدون سرمدیان[2]، عباس طاعتی[3]

تاریخ دریافت: ۹۵/۰۷/۰۱ تاریخ پذیرش: ۹۶/۰۹/۲۵

۱-دانشجوی دکتری گروه مهندسی علوم خاک، دانشگاه تبریز
۲-استاد گروه مهندسی علوم خاک، دانشگاه تهران
۳-دانشجوی دکتری گروه مهندسی علوم خاک، دانشگاه شهرکرد
*مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: amin_mousavi@ut.ac.ir

چکیده

بهره‌برداری از اراضی در نتیجه‌ی افزایش جمعیت، درسطح وسیعی افزایش یافته است. بنابراین لازم است به منظور افزایش عملکرد و استفاده‌ی پایدار، اراضی در راستای استعداد خود مورد بهره‌برداری قرار گیرند. از آنجا که ارزیابی تناسب اراضی مسئله چند عاملی است نیاز به تکنیکی دارد تا عوامل را همزمان ارزیابی کند. در این راستا روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره (از جمله تحلیل سلسله مراتبی AHP) بطور گسترده استفاده شده است. هدف از این تحقیق، ارزیابی تناسب اراضی برای جو دیم در قسمتی از اراضی کوهین به مساحت ۵۰۰ هکتار با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) و GIS می‌باشد. بر اساس مطالعه ۲۳ پروفیل خاک، تفسیر عکس‌های هوایی منطقه (۱/۴۰۰۰۰)، خصوصیات مورفولوژی خاک‌ها در ۱۶ واحد مختلف (واحد اراضی) منطقه، ارزیابی تناسب اراضی در این واحدها صورت گرفت. بدین منظور، نه معیار شامل درصد آهک، درصد کربن آلی، درصد سنگریزه سطحی، عمق خاک، بافت خاک، pH، ACEC، درصد شیب و شرایط اقلیمی بعنوان فاکتورهای موثر در رشد جو دیم انتخاب شدند. با استفاده از پرسش‌نامه‌های تکمیل شده (۳۰ پرسشنامه) توسط کارشناسان و نرم افزارExpert Choice، وزن‌های همه فاکتورها محاسبه، سپس با ضرب مقادیر واقعی نرمال شده همه معیارها در وزن‌های نسبی محاسبه شده، وزن نهایی هر یک از معیارها مشخص شد. نتایج نشان داد که از بین ۱۶ واحد اراضی، حداکثر و حداقل شاخص به ترتیب ۶۴/۲۵ (واحد ۱۱) و ۳۷/۱۲ (واحد ۴) وجود دارد. همچنین در تمام واحدها بیش‌ترین و کم‌ترین وزن به ترتیب متعلق به معیار شیب و اقلیم بود.

واژه‌های کلیدی: تناسب اراضی، جو، کوهین، عکس‌های هوایی

Land Suitability Evaluation of Rainfed Barley Using Analytical Hierarchy Process Technique and GIS in a Part of Kuhin Area

SA Mousavi1* , F Sarmadian2 , A Taati3

Received: 2016-09-22 Accepted: 2017-12-16
[1-]Ph.D. Student, Soil Sci, Dept., Univ. of Tabriz, Iran
[2-]Prof., Soil Sci, Dept., Univ. of Tehran, Iran
[3-]Ph.D. Student, Soil Sci, Dept., Univ. of Shahrekord, Iran
*Corresponding Author, Email: amin_mousavi@ut.ac.ir

Abstract

Land utilization has tremendously been increased as a result of growing the population. Therefor it's necessary to utilized the lands in accordance with their potential to increase their productivity and sustainability. As assessing the land suitability is a multifactorial issue, it's needed a special technique to assess all the factors simultaneously. In this way, multi-criteria decision making methods (such as the Analytical hierarchical process) are widely used. The purpose of the present study is the land suitability assessment of rainfed barley in a part of kuhin area with 500 ha land using Analytical Hierarchical Process (AHP) and GIS. According to the study of 23 soil profiles, region aerial photos interpretation (1/40000), soil morphological characteristics in 16 different units (land units) the land evaluation was carried out. For this, 9 criteria including $CaCo_3$%, OC%, Surface gravel%, depth, texture, apparent CEC, pH, slope% and climate condition were selected as the effective factors on barley growth. The weight for each factor was calculated using 30 questionnaires which were completed by the experts and software of Expert Choice, then the overall weight for each criterion on was obtained by multiplying the normalized attributes and relative weights. The results showed that among 16 land units the maximum and minimum calculated indices were 64.25 (unit 11) and 37.12 (unit 4), respectively. Also in all units the maximum and minimum weight related to slope and climate, respectively.

Keywords: Aerial photos, Barley, Kuhin, Land suitability

مقدمه

رشد جمعیت و بالا رفتن سطح استانداردهای زندگی باعث بیش‌تر شدن تقاضا برای مواد غذایی گردیده است. این مسئله موجب شده تا انسان به سمت استفاده مطلوب‌تر از زمین و افزایش تولید محصولات زراعی و باغی معطوف گردد. منابع اراضی، محدود و تخریب شونده هستند، از طرف دیگر شاهد بهره‌برداری‌های نامناسب از اراضی و آثار سوء ناشی از این

بهره‌برداری‌ها هستیم. کشاورزی به منظور تامین غذای جمعیت رو به رشد بشر می‌بایست علاوه بر قدرت تولید زیاد، پایداری دراز مدت استفاده از اراضی و حفظ منابع اراضی را نیز مورد توجه قرار دهد. از این رو یافتن شیوه‌ای جدید در توسعه کشاورزی که بر مبنای حفاظت منابع مربوط استوار باشد، ضروری است. برای نیل به این مقصود، شناخت ظرفیت تولید اراضی و انتخاب نوع کاربری متناسب با این ظرفیت از جایگاه و اهمیت ویژه‌ای برخوردار است که یکی از راه‌های رسیدن به این مهم، ارزیابی تناسب اراضی است. ارزیابی اراضی عبارت است از کارایی اراضی برای اهداف خاص مورد نظر که شامل تفسیر و اجرای مطالعات پایداری مربوط به اقلیم، خاک، پوشش گیاهی و سایر جنبه‌های اراضی با در نظر گرفتن نیازهای انواع کاربری مورد نظر است. بنابراین ارزیابی و مدیریت خاک و اراضی از اهمیت روزافزونی بر خوردار است و ارایه یک برنامه کاربردی، برای استفاده موثر و کارا از اراضی بیش از پیش احساس شده است (تکا و هافتو ۲۰۱۲). در تعریف دیگری ارزیابی تناسب اراضی فرآیندی است که کارآیی اراضی را برای انوع خاصی از استفاده‌ها در طول زمان پیش‌بینی می‌کند (سونولد و همکاران ۲۰۱۰). از آن جا که ارزیابی تناسب اراضی مسئله چند عاملی است، نیازمند به تکنیکی است تا بتواند عوامل را همزمان ارزیابی کند. ابداعات و پیشرفت‌های فناوری در زمینهٔ سامانه اطلاعات جغرافیایی[1] حجم عظیمی از داده‌های خام را به صورت نقشه و جدول مهیا نموده است، اما برای استفاده از چنین داده‌هایی نیاز به روش‌هایی است تا اطلاعات مورد نیاز استخراج شوند.

توجه محققان در دهه‌های اخیر به مدل‌های چند معیاره[2] برای تصمیم‌گیری‌های پیچیده نظیر تصمیم‌گیری در رابطه با بررسی تناسب اراضی معطوف گردیده است. در این تصمیم‌گیری‌ها به جای استفاده از یک معیار ممکن است از چندین معیار سنجش استفاده شود. این روش شامل تکنیک‌هایی است که اجازه می‌دهد طیفی از معیارهای وابسته، امتیازدهی و وزن دهی شده و سپس به وسیله کارشناسان و گروه‌های ذینفع رتبه‌بندی گردد (هاشم‌وند ۱۳۹۲). روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره پتانسیل زیادی را بمنظور کاهش دادن هزینه و بالا بردن دقت در تصمیم‌گیری‌های مکانی دارا می‌باشد و می‌تواند چهارچوبی مناسب برای حل مسئله فراهم آورد. یکی از روش‌های مطرح در زمینه‌ی تصمیم‌گیری‌های چندمعیاره، روش تحلیل سلسله مراتبی[3] می‌باشد، و با در نظر گرفتن قابلیت‌های این روش انتظار می‌رود که به منظور بررسی تناسب اراضی نتایج رضایت‌بخشی به همراه داشته باشد. این تکنیک در کشورهای مختلف برای مقاصد متفاوت به کار گرفته شده است. به عنوان نمونه می‌توان به مطالعه ارزیابی تناسب و برآورد پتانسیل تولید اراضی کشاورزی از طریق استفاده از روش تصمیم گیری چند معیاره در مناطقی که در آن محدودیت آب وجود داشت اشاره نمود (مالسزکی ۲۰۰۵). تین ونگ و همکاران (۲۰۰۹) به بررسی تناسب اراضی برای زراعت اقلام مهمی از محصولات زراعی از جمله نیشکر در ناحیه کانچانابوری[4] تایلند پرداختند. بمنظور رسیدن به این هدف ترکیبی از تصمیم‌گیری چند معیاره (MCDM) و چهارچوب FAO برای کشت غلات مورد استفاده قرار گرفت. تی‌تو و تین لانگ (۲۰۱۲) نیز تناسب اراضی را برای کشت موز با استفاده از تکنیک AHP در منطقه‌ای از ویتنام انجام دادند. آن‌ها هدف از این تحقیق را بررسی تناسب اراضی برای تولید موز با استفاده از تصمیم‌گیری‌های چندمعیاره و GIS بمنظور دستیابی به مصرف بهینهٔ منابع اراضی برای کشاورزی پایدار اعلام کردند. در این تحقیق ۸ پارامتر از تناسب محصول و ۵ پارامتر محیطی تناسب اراضی در نظر گرفته شد و آنالیز تناسب با استفاده از روابط فازی انجام یافت. نتایج نشان داد که تناسب فیزیکی اراضی در ۲۶٪ کل ناحیه کاملا متناسب (S_1)، در ۵۶٪ متوسط (S_2) و در ۳۸٪ مناطق بحرانی (S_3) می‌باشد. آکینسی و تورگات (۲۰۱۳) در

1- Geographic information system (GIS)
2- Multi-criteria models (MCM)
3- Analytic hierarchy process (AHP)
4- Kanchanaburi

مطالعه‌ای تعیین تناسب کاربری کشاورزی با استفاده از تکنیک AHP از پارامترهای گروه‌های خاک، کلاس‌های استعداد اراضی، تحت کلاس‌های قابلیت کاربری اراضی، عمق خاک، درصد و جهت شیب، ارتفاع، درجه‌ی فرسایش و دیگر خصوصیات خاک استفاده و پس از تعیین وزن‌ها بر اساس نظر کارشناسان، در نهایت نقشه‌ی نهایی تناسب اراضی را با توجه به طبقه‌بندی فائو به پنج کلاس تقسیم نمودند. در ایران نیز فیضی‌زاده و بلشک (۲۰۱۳) در مطالعه‌ای تعیین تناسب اراضی کشاورزی را با استفاده از GIS و تصمیم‌گیری چندمعیاره در استان آذربایجان شرقی به کاربردند. آن‌ها فاکتورهای تناسب متفاوتی از جمله خصوصیات خاک، اقلیم و آب در دسترس را بکار برده و در این راستا از نظر سهام‌داران در سطوح مختلف نیز استفاده نمودند. از ساختار سلسله مراتبی نیز به منظور دسته‌بندی فاکتورهای مختلف و تعیین وزن‌ها برای نقشه‌ی تناسب نهایی اراضی کشاورزی تحت آبیاری و دیم استفاده شد. نتایج نشان داد که از ۲۲۷۰۰۰ هکتار از اراضی مطالعه شده، ۶۵۶۷۶ هکتار، مناسب برای کشت آبی و ۱۲۰۸۷۲ هکتار، مناسب برای کشت دیم هستند. براساس گزارش فائو غذای مورد نیاز برای یک و نیم میلیارد نفری که تا سال ۲۰۲۰ به جمعیت کره زمین افزوده می‌شود باید از تولید بیشتر برروی اراضی کشاورزی تأمین گردد (فائو ۲۰۰۷). در صورتی که توسعه کشاورزی صورت نگیرد امکان تأمین غذا وجود نخواهد داشت. ازسوی دیگر اراضی منابع طبیعی دارای اکوسیستم پیچیده بوده که از زیر سیستم‌های مختلف تشکیل شده است. لذا استفاده از منابع طبیعی بایستی متناسب با استعداد و محدودیت‌های اراضی و با برنامه‌ریزی به منظور حفظ پایداری اراضی انجام گیرد. بدین منظور این تحقیق با هدف ارزیابی تناسب اراضی برای جو دیم با استفاده از تکنیک فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) و GIS در بخشی از اراضی کوهین استان قزوین انجام شد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه شامل بخشی از اراضی منطقه کوهین واقع در محور قزوین- رشت در استان قزوین می‌باشد که بین طول‌های جغرافیایی "۴۹°۳۴'۵۸ تا "۴۹°۳۷'۱۳ شرقی و عرض‌های جغرافیایی "۳۶°۲۲'۱۴ تا "۲۲°۳۶'۵۱ شمالی قرار دارد. مساحت منطقه مورد مطالعه حدود ۵۰۰ هکتار و کاربری غالب آن مرتع و دیم می‌باشد. این منطقه دارای بارندگی سالیانه ۳۵۱/۲۶ میلی‌متر و متوسط دمای ۱۲/۲۰ درجه سلسیوس می‌باشد. بر اساس نقشه رژیم‌های رطوبتی و حرارتی خاک‌های ایران رژیم رطوبتی و حرارتی خاک منطقه مورد مطالعه، به ترتیب زریک و مزیک می‌باشد (بنایی ۱۳۷۷). در مطالعات صحرایی ابتدا موقعیت حفر ۲۳ پروفیل بر اساس الگوی نمونه‌برداری به صورت شبکه منظم بر روی تصاویر گوگل ارث[1] مشخص و مختصات تعیین شده به دستگاه جی‌پی‌اس[2] داده شد و با استفاده از جی‌پی‌اس مکان دقیق نقاط نمونه‌برداری در صحرا تعیین و اقدام به حفر و تشریح پروفیل‌ها گردید. در نهایت ۷۵ نمونه خاک تهیه و برای انجام آزمایش‌های فیزیکی و شیمیایی به آزمایشگاه منتقل شد. برخی خصوصیات مورفولوژیکی، فیزیکی و شیمیایی پروفیل‌های بررسی شده در هر یک از واحدهای اراضی موجود در منطقه در جدول ۱ ارائه شده است. تمامی پروفیل‌های خاک بر اساس روش طبقه‌بندی خاک آمریکایی (بی‌نام ۲۰۱۴) تشریح و رده‌بندی گردید و خاک‌های منطقه مورد مطالعه در دو رده اینسپتی سول و انتی سول قرار گرفتند. جدول ۲ رده‌بندی خاک‌ها و شکل ۱ نیز واحدهای اراضی در منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهند.

1-Google Earth
2- Global positioning system (GPS)

جدول ۱-برخی خصوصیات مورفولوژیکی، فیزیکی و شیمیایی پروفیل‌های بررسی شده در هر یک از واحدهای اراضی.

واحدهای اراضی	درصد سنگریزه سطحی	عمق خاک (cm)	درصد آهک	درصد OC	بافت خاک	درصد شیب	EC ($dS\ m^{-1}$)	pH	ACEC ($Cmol^{+}\ kg^{-1}$)
۱	۷/۲۷	۱۴۰	۱۱/۵۶	۰/۸۹	C	۲	۰/۸۸	۸/۰۲	۲۵/۵۴
۲	۱۵/۵۶	۱۳۰	۲۱/۰۹	۰/۶۵	CL	۴	۰/۵۵	۷/۹۳	۲۳/۹۷
۳	۱۸/۶۶	۱۲۰	۳۵/۳۷	۰/۴۸	SL	۸	۰/۵۴	۸/۰۴	۲۳/۹۰
۴	۵/۵۲	۱۰۰	۱۶/۳۳	۰/۷۶	L	۸	۰/۶۴	۷/۸۱	۲۱/۶۹
۵	۱۰/۰۲	۱۱۰	۱۸/۷۸	۰/۶۷	L	۸	۰/۶۹	۸/۰۱	۲۲/۶۷
۶	۱۵/۴۱	۱۴۰	۲۷/۷۶	۰/۴۲	SL	۴	۰/۶۲	۸/۰۶	۲۵/۴۴
۷	۱۸/۳۲	۱۳۰	۲۸/۷۱	۰/۲۹	C	۱۲	۰/۶۴	۷/۷۶	۲۹/۴۸
۸	۲۲/۵۹	۱۳۰	۱۴/۲۹	۰/۷۹	SCL	۵	۰/۶۰	۷/۹۱	۱۹/۷۲
۹	۲۸/۴۳	۱۰۵	۱۲/۹۳	۰/۴۷	SCL	۱۲	۰/۸۵	۸/۰۵	۱۸/۴۶
۱۰	۳۳/۶۹	۱۱۰	۱۴/۶۳	۰/۳۹	C	۱۶	۱/۰۴	۷/۹۵	۱۶/۵۷
۱۱	۳۲/۰۴	۱۵۰	۱۷/۹۶	۰/۳۷	SC	۵	۰/۷۶	۷/۷۵	۱۷/۸۵
۱۲	۳۳/۲۰	۱۰۰	۲۲/۴۵	۰/۲۶	CL	۲۰	۰/۶۱	۸/۰۳	۱۷/۲۲
۱۳	۳۴/۸۶	۱۰۰	۲۶/۵۳	۰/۲۳	C	۲۵	۰/۸۵	۷/۸۵	۱۶/۵۷
۱۴	۳۴/۸۲	۴۵	۲۱/۰۹	۱/۲۴	SCL	۲۰	۱/۳۱	۸/۱۲	۲۱/۲۲
۱۵	۳۷/۳۲	۱۴۰	۲۷/۶۲	۰/۴۷	C	۲۰	۰/۷۵	۷/۹۴	۱۸/۱۴
۱۶	۳۸/۳۳	۱۶۵	۲۵/۵۸	۰/۳۱	CL	۱۶	۰/۸۹	۸/۲۱	۱۴/۶۴

C: Clay, CL: Clay loam, SL: Sandy loam, L: Loam, SCL: Sandy clay loam, SC: Sandy clay

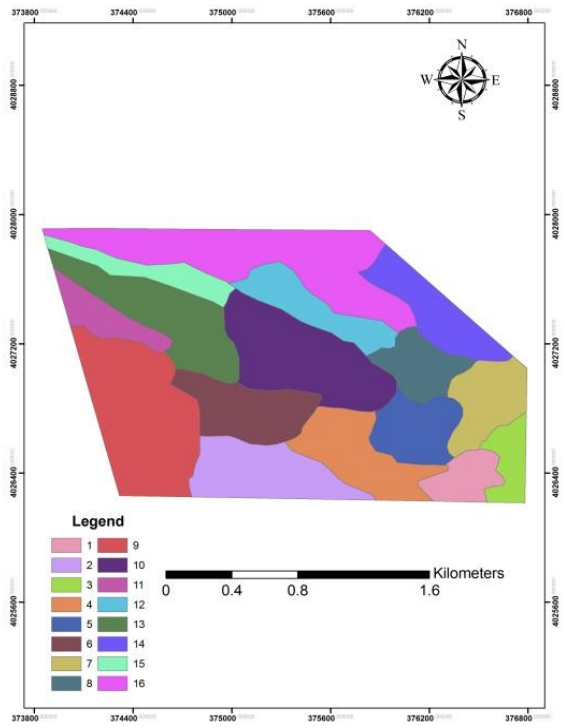
جدول ۲-رده‌بندی خاک‌های منطقه مورد مطالعه بر اساس طبقه‌بندی خاک آمریکایی (۲۰۱۴).

واحدهای اراضی	رده‌بندی
۱	Fine, mixed, Superactive, mesic, TypicCalcixerepts
۲	Fine, mixed, Superactive, Calcareous,Shallow, mesic, TypicCalcixerepts
۳	Fine-loamy, mixed, Superactive, mesic,TypicHaploxerepts
۴	Fine-loamy, mixed,Superactive, mesic, TypicCalcixerepts
۵	Loamy-skeletal, mixed, Superactive, mesic, TypicXerortents
۶	Fine, mixed, Semiactive, mesic, TypicCalcixerepts
۷	Fine, mixed, active, mesic, TypicHaploxerepts
۸	Fine, mixed, active, mesic, TypicCalcixerepts
۹	Loamy-skeletal, mixed, Superactive, mesic, TypicCalcixerepts
۱۰	Clay over coarse-loamy, mixed,Superactive,mesic, TypicCalcixerepts
۱۱	Very Fine, mixed, Superactive, mesic,TypicCalcixerepts
۱۲	Fine-loamy, mixed, Semiactive, mesic, TypicCalcixerepts
۱۳	Clayey-skeletal,mixed, active, mesic, TypicCalcixerepts
۱۴	Fine, mixed, active, Shallow, mesic, TypicHaploxerepts
۱۵	Fine, mixed, Superactive, mesic, TypicHaploxerepts
۱۶	Fine-loamy, mixed, active, mesic, TypicHaploxerepts

ارزیابی تناسب اراضی

ساختن سلسله مراتب

اولین قدم در فرآیند تحلیل سلسله مراتبی، ایجاد یک نمایش گرافیکی از مسئله می‌باشد که در راس آن هدف کلی مسئله و در سطوح بعدی معیارها و گزینه‌ها نشان داده می‌شوند. هر چند که یک قاعده ثابت و قطعی برای رسم سلسله مراتبی وجود ندارد ولی در یک نگاه کلی می‌توان گفت که روش ساختن یک سلسله مراتبی به نوع تصمیمی که باید اتخاذ شود بستگی دارد (ساعتی ۱۹۹۰). در سلسله مراتب طراحی شده برای این تحقیق در بالاترین سطح هدف (بررسی تناسب اراضی محصول مورد نظر)، در سطح دوم معیارها شامل خاک، اقلیم و توپوگرافی، در سطح سوم زیرمعیارها و در آخر کلاس‌های تناسب اراضی به عنوان گزینه‌های مورد انتظار در نظر گرفته شده است. معیارهای انتخاب شده برای محصول جو دیم در این تحقیق شامل درصد آهک، درصد کربن آلی، درصد سنگریزه سطحی، عمق خاک، بافت خاک، pH و ACEC در کنار شیب نماینده توپوگرافی و شاخص اقلیمی می‌باشد.



شکل ۱- نقشه واحدهای اراضی منطقه مورد مطالعه.

تعیین ضریب اهمیت معیارها، زیر معیارها و گزینه‌های موثر در کشت جو دیم برای جمع‌آوری داده‌های فرآیند سلسله مراتب تحلیلی و وزن معیارها و زیر معیارها از پرسشنامه AHP استفاده شد. این پرسشنامه‌ها حاوی مقایسه‌های مشترک برای کلیه عوامل تاثیرگذار بر روی کشت جو است که توسط ۳۰ متخصص شامل، اساتید دانشگاه و کارشناسان جهاد کشاورزی منطقه تکمیل شد. پس از جمع‌آوری پرسشنامه‌ها تعیین وزن‌ها بوسیله

نرم‌افزار Expert Choice انجام شد. در اصل در این مقایسه‌ها میزان ارجحیت عناصر بر یکدیگر مشخص می‌شود. این مقیاس‌بندی توسط ساعتی (۱۹۹۱) ارایه شده است که در جدول ۳ نشان داده شده است.

جدول ۳- مقادیر ترجیحات برای مقایسه زوجی (ساعتی و وارگاس ۱۹۹۱).

ترجیحات	مقدار عددی
کاملا مرجع یا کاملا مهم‌تر یا کاملا مطلوب‌تر	۹
ترجیح یا اهمیت یا مطلوبیت خیلی قوی	۷
ترجیح یا اهمیت یا مطلوبیت قوی	۵
کمی مرجع یا کمی مهم‌تر یا کمی مطلوب‌تر	۳
ترجیح یا اهمیت یا مطلوبیت یکسان	۱
ترجیحات بین فواصل فوق	۲،۴،۶،۸

تعیین وزن نسبی پارامترهای اصلی و مؤثر در کشت جو دیم

در این مرحله برای هر معیار در هر سطح از مجموع نظرات اساتید و کارشناسان، میانگین هندسی گرفته شد و سپس میانگین‌ها به نرم‌افزار Expert choice وارد گردید و یک جدول نهایی در هر سطح به دست آمد که این جدول اولویت‌بندی معیارها را در همان سطح نشان می‌دهد. یکی از مزیت‌های فرآیند تحلیل سلسله مراتبی امکان بررسی سازگاری در قضاوت انجام شده در تعیین ضریب اهمیت معیارها و زیرمعیارها است.
شیوه‌ای که برای بررسی سازگاری در قضاوت‌های در نظر گرفته شده است، محاسبه ضریبی به نام ضریب ناسازگاری است که از تقسیم شاخص سازگاری به شاخص تصادفی بودن حاصل می‌شود. چنانچه این ضریب کوچکتر یا مساوی ۰/۱ باشد، سازگاری در قضاوت‌ها مورد قبول است در غیر این صورت باید در قضاوت‌ها تجدید نظر شود (آرماکوست و همکاران ۱۹۹۹). برای به دست آوردن ضریب اهمیت زیرمعیارهای مربوط به هر پروفیل در هر واحد اراضی، با استفاده از روش ترکیب خطی با ضرب نمودن میزان هر یک از معیارها همانند درصدهای آهک، کربن آلی و سنگریزه سطحی، عمق خاک، بافت خاک، pH وACEC، شیب و شاخص اقلیمی در هر واحد اراضی، در میزان وزن نسبی به دست آمده آن‌ها توسط نرم‌افزار Expert choice، وزن نهایی هر یک از معیارهای مربوطه برای هر پروفیل در هر واحد اراضی به دست آمد. به دلیل ناهم‌جنس بودن مقادیر واقعی هر معیار پروفیل در هر واحد اراضی، این مقادیر توسط معادله ۱ نرمال گردید تا همه داده‌ها در محدوده ۱-۰ قرار گیرند (تی‌تو و تین لانگ ۲۰۱۲).

$$Xnorm = 0.5\left[\frac{X0-\bar{X}}{Xmax-Xmin}\right] + 0.5 \qquad [۱]$$

که در این معادله Xnorm مقدار نرمال شده داده ورودی X، $\bar{X}$ میانگین داده‌ها، Xmax و Xmin بترتیب بیشینه و کمینه داده‌ها می‌باشد. در زیر وزن نهایی به دست آمده برای یکی از پروفیل‌های خاک واقع شده در یکی از واحدهای اراضی، برای محصول جو دیم نشان داده شده که در واقع وزن نهایی در اینجا شاخص اراضی به دست آمده با استفاده از AHP می‌باشد.

(وزن معیار عمق خاک * داده نرمال شده عمق خاک) + (وزن معیار کربن آلی * داده نرمال شده کربن آلی) + (وزن معیار pH *داده نرمال شده pH) + (وزن معیار CEC ظاهری * داده نرمال شده CECظاهری) + (وزن معیار بافت* داده نرمال شده بافت)+ (وزن معیار سنگریزه سطحی* داده نرمال شده سنگریزه سطحی)+ (وزن معیار آهک *داده نرمال شده آهک)+ (وزن معیار شیب *داده نرمال شده شیب)+ (وزن معیار اقلیم *داده نرمال شده اقلیم) = شاخص اراضی در ادامه، کلاس تناسب اراضی با استفاده از جدول ۳ و بر اساس شاخص‌های اراضی و در نهایت نقشه تناسب اراضی برای واحدهای اراضی با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS ترسیم شد. در قسمت دوم این تحقیق، ارزیابی تناسب اراضی با استفاده از روش پارامتریک ریشه دوم (سایس و همکاران ۱۹۹۱) برای محصول جو دیم می‌باشد. از کل خصوصیات اندازه‌گیری شده با توجه به بررسی‌های بعمل آمده و منابع موجود (سایس و همکاران ۱۹۹۱) تعداد هشت خصوصیت جهت تعیین شاخص تناسب اراضی به روش پارامتریک (ریشه دوم) انتخاب شد. این هشت خصوصیت برای محصول جو دیم شامل درصد شیب، بافت خاک، درصد سنگریزه سطحی، درصد آهک، CEC ظاهری، درصد کربن آلی، عمق خاک، pH و اقلیم می‌باشند. جهت محاسبه شاخص تناسب اراضی به روش پارامتریک (ریشه دوم) ابتدا ارزیابی اقلیم انجام و شاخص اقلیمی، بسته به محصول مورد نظر، بر مبنای خصوصیات اقلیمی تابش، درجه حرارت، بارندگی و رطوبت نسبی بدست می‌آید. برای ارزیابی هر خصوصیت اقلیمی، مقدار آن در دوره مربوط به رشد محصول مورد نظر با استفاده از آمار هواشناسی منطقه محاسبه شده و با جداول نیازهای محصول ارایه شده توسط سایس و همکاران (۱۹۹۱) مقایسه و درجه آن تعیین شد. درجات خصوصیات اقلیمی به روش پارامتریک ریشه دوم تلفیق و شاخص اقلیمی محاسبه و در نهایت کلاس تناسب اراضی و اقلیم با استفاده از جدول ۴ تعیین شد. در این روش، یک درجه‌بندی کمی به هر خصوصیت اراضی اختصاص داده می‌شود. اگر خصوصیتی برای محصول مورد نظر کاملاً مطلوب باشد، درجه بیشینه ۱۰۰ به آن اختصاص می‌یابد. اگر همان خصوصیت دارای محدودیت باشد درجه کم‌تری به آن اختصاص می‌یابد. در روش ریشه دوم برای بدست آوردن شاخص اراضی و شاخص اقلیم از معادله ۲ استفاده می‌شود.

$$I = Rmin \times \sqrt{\frac{A}{100} \times \frac{B}{100} \times \dots} \qquad [۲]$$

در این معادله I، شاخص اراضی، A,B,C,...، درجات اختصاص داده شده به هر کدام از خصوصیات اراضی، R_{min}، خصوصیت با درجه کمینه می‌باشد.

جدول ۴-کلاس‌های تناسب اراضی بر اساس شاخص اراضی در روش پارامتریک (ریشه دوم) (سایس و همکاران ۱۹۹۱).

شاخص	کلاس‌های تناسب
٪۱۰۰-٪۷۵	S1(خیلی مناسب)
٪۷۵-٪۵۰	S2(نسبتاً مناسب)
٪۵۰-٪۲۵	S3(تناسب بحرانی)
٪۲۵-۰	N(نامناسب)

نتایج و بحث

نتایج ارزیابی اقلیم

نتایج ارزیابی اقلیم برای کشت جو دیم نشان داد که به طور کلی اقلیم محدودیت زیادی برای رشد ایجاد نمی‌کند و کلاس تناسب اقلیم، بر اساس روش پارامتریک ریشه دوم نسبتاً مناسب (S2) می‌باشد.

نتایج تعیین وزن نسبی پارامترهای اصلی و موثر در کشت جو دیم

جدول ۵ ماتریس مقایسه زوجی برای معیارهای موثر در کشت جو دیم و جدول ۶ نیز وزن و ترتیب ارجحیت هر یک از معیارها را در رابطه با جو دیم نشان می‌دهد.

همان طور که در جدول ۵ دیده می‌شود کارشناس با توجه به کدهای ارجحیت که در روش ساعتی (۱۹۹۰) آمده است به کددهی معیارها با توجه به اهمیت هر کدام بر دیگری پرداخته است. یعنی به طور مثال با توجه به ویژگی‌های منطقه و گیاه جو دیم تصمیم‌گیرنده تشخیص داده است که شیب نسبت به درصد آهک دارای درجه "کمی مرجع" یا کد ۳ می‌باشد، در حالی که برای شیب نسبت به اقلیم درجه‌ی " کاملا مرجع" یا کد ۹ تشخیص داده است. همان طور که دیده می‌شود ضریب ناسازگاری این مقایسه ۰/۰۹۱ می‌باشد و به علت این که از ۰/۱ کم‌تر است مقایسه درست بوده و نیازی به تکرار نیست.

همان طور که در جدول ۶ مشاهده می‌شود، مجموع ضرایب اهمیت معیارهای فوق معادل عدد یک است و این نشان دهنده نسبی بودن اهمیت معیارها است و شیب به عنوان محدود کننده‌ترین عامل بالاترین وزن و اقلیم نیز پایین‌ترین وزن را به خود اختصاص داده‌اند. مصطفی و همکاران (۲۰۱۱)، در ارزیابی تناسب اراضی با استفاده از تکنیک فرآیند تحلیل سلسله مراتبی و مقایسات زوجی، برای محصول جو در هند با شرایط آب و هوایی مشابه با منطقه مورد مطالعه در این تحقیق نشان دادند که بیش‌ترین اهمیت مربوط به معیار درصد کربنات کلسیم با وزنی برابر ۰/۳۳۰۴ و کم‌ترین اهمیت مربوط به معیار درصد اشباع بازی با وزنی برابر ۰/۰۳۲۶ می‌باشد. همچنین ضریب ناسازگاری را ۰/۰۸ برآورد نمودند.

جدول ۵-تعیین وزن نسبی و ایجاد ماتریس تصمیم برای معیارهای موثر در کشت جو دیم.

معیار / معیار	A (%شیب)	B (بافت)	C (%آهک)	D (ACEC)	E (%OC)	F (%سنگریزه)	G (عمق خاک)	H (pH)	I (شاخص اقلیم)
A (%شیب)	۱	۲	۳	۵	۶	۷	۸	۹	۹
B (بافت)		۱	۳	۴	۴	۶	۷	۸	۸
C (%$CaCo_3$)			۱	۳	۵	۳	۵	۷	۸
D (ACEC)				۱	۳	۵	۶	۴	۷
E (%OC)					۱	۲	۵	۶	۴
F (%سنگریزه)						۱	۴	۵	۵
G (عمق خاک)							۱	۳	۳
H (pH)								۱	۱
I (شاخص اقلیم)									۱

ضریب ناسازگاری: ۰/۰۹۱

جدول ۶-وزن و ترتیب ارجحیت هر یک از معیارها را در رابطه با جو دیم.

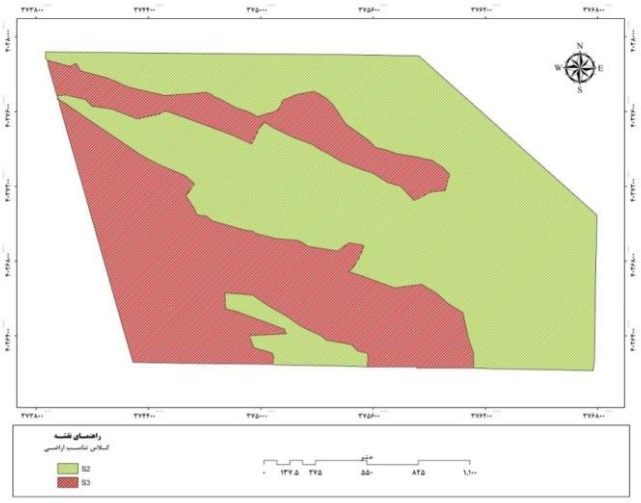
اقلیم	pH	عمق خاک	درصد سنگریزه	درصد OC	ACEC	درصد آهک	بافت خاک	درصد شیب	معیار
۰/۰۱۹	۰/۰۲۰	۰/۰۳۳	۰/۰۶۰	۰/۰۷۳	۰/۱۱۱	۰/۱۵۲	۰/۲۲۷	۰/۳۰۵	وزن

کلاس تناسب اراضی در هر واحد اراضی با استفاده از روش AHP و پارامتریک ریشه دوم برای جو دیم در جدول ۷ نشان داده شده است.

با توجه به جدول ۷، بیشینه شاخص اراضی در واحد ۱۱ به میزان ۶۴/۲۵ و کمینه شاخص به میزان ۳۷/۱۲ در واحد چهار به دست آمد. کلاس تناسب اراضی در واحدهای اراضی با استفاده از هر دو روش AHP و پارامتریک ریشه دوم برای کشت جو دیم در کلاس S2 و S3 قرار گرفتند؛ اما شاخص به دست آمده از روش AHP نسبت به پارامتریک ریشه دوم دارای مقادیر بیش‌تری است. عمده‌ترین عامل محدودیت که باعث قرار گرفتن واحدهای اراضی در کلاس S2 و S3 شده است، محدودیت‌های مربوط به میزان درصد شیب (شیب بیش از ۱۶ درصد)، درصد سنگریزه سطحی، درصد کربن آلی و درصد آهک می باشد که با اصلاح این محدودیت‌ها می‌توان شاخص اراضی را در واحدها افزایش داد. هاشم‌وند (۱۳۹۲) ارزیابی تناسب اراضی را برای محصول جو با استفاده از تکنیک فرآیند سلسله مراتبی در منطقه آبیک استان قزوین به کار برد و کلاس تناسب اراضی را S1، S2، S3 و N به دست آورد. در تحقیقی دیگر اشرف و همکاران (۲۰۱۰) در منطقه دامغان استان سمنان، ارزیابی تناسب اراضی با استفاده از سیستم چند معیاره و GIS را برای محصول جو به کار بردند. آن‌ها از معیارهای شیب، زهکشی، بافت، سنگریزه، عمق، آهک، گچ، حاصلخیزی خاک، EC، ESP و اقلیم برای ارزیابی تناسب استفاده و بیش‌ترین و کم‌ترین وزن را به ترتیب برای ESP و شیب به دست آوردند؛ و کلاس تناسب برای این محصول را S2، S3 و N گزارش نمودند. شکل ۲ نقشه تناسب اراضی با استفاده از روش AHP که در محیط GIS تهیه شده است را برای جو دیم نشان می‌دهد

جدول ۷- کلاس تناسب اراضی در هر واحد اراضی با استفاده از روش AHP و پارامتریک (ریشه دوم) برای جو دیم.

واحد اراضی	روش AHP		روش پارامتریک (ریشه دوم)	
	شاخص اراضی	کلاس تناسب	شاخص اراضی	کلاس تناسب
۱	۵۷/۶۷	S2	۵۰/۲۷	S2
۲	۵۱/۱۰	S2	۴۷/۳۵	S3
۳	۴۳/۸۵	S3	۳۲/۷۶	S3
۴	۳۷/۱۲	S3	۳۰/۱۲	S3
۵	۶۳/۸۶	S2	۵۲/۴۵	S2
۶	۵۸/۳۴	S2	۴۵/۳۳	S3
۷	۵۱/۵۰	S2	۴۰/۲۷	S3
۸	۵۹/۳۳	S2	۵۳/۰۴	S2
۹	۴۸/۱۷	S3	۴۲/۸۶	S3
۱۰	۴۶/۶۷	S3	۳۸/۲۹	S3
۱۱	۶۴/۲۵	S2	۵۵/۵۴	S2
۱۲	۵۱/۲۳	S2	۴۳/۷۳	S3
۱۳	۶۱/۹۷	S2	۵۴/۴۰	S2
۱۴	۵۱/۴۶	S2	۴۲/۲۱	S3
۱۵	۵۴/۴۰	S2	۴۱/۱۷	S3
۱۶	۵۲/۲۷	S2	۳۹/۷۶	S3



شکل ۲- نقشه تناسب اراضی برای جو دیم با استفاده از روش AHP.

نتیجه‌گیری کلی

در این مطالعه برای ارزیابی تناسب اراضی محصول جو دیم بر اساس روش AHP از نه معیار درصد آهک، درصد کربن آلی، درصد سنگریزه سطحی، عمق خاک، بافت خاک، pH و ACEC، درصد شیب و شاخص اقلیمی استفاده شد. با استفاده از ۳۰ پرسشنامه که توسط کارشناسان تکمیل شده بود و همچنین نرم افزار Expert Choice وزن‌های همه معیارها محاسبه گردید. نتایج نشان داد معیار شیب به عنوان محدود کننده‌ترین عامل بالاترین وزن و اقلیم پایین‌ترین وزن را دارا می باشد. نتایج ارزیابی تناسب اراضی با استفاده از روش‌های AHP و پارامتریک ریشه دوم نشان داد که کلاس‌های تناسب در واحدهای اراضی، S2 و S3 می‌باشد؛ اما شاخص اراضی به دست آمده از روش AHP به مراتب بالاتر از پارامتریک ریشه دوم محاسبه شد. بیشترین محدودیت‌های موجود در منطقه را می‌توان به محدودیت‌های مربوط به میزان درصد شیب (شیب بیش از ۱۶ درصد)، و درصد سنگریزه سطحی، درصد کربن آلی و درصد آهک نسبت داد. که با اصلاح این محدودیت‌ها شاخص اراضی در واحدها قابل افزایش می‌باشد. به علاوه دخیل نمودن عوامل بیش‌تری در ارزیابی تناسب اراضی برای محصولات مختلف نقش مهمی را ایفا نموده و تلفیق این روش با GIS می‌تواند در مطالعات ارزیابی تناسب اراضی نتایج رضایت بخشی به همراه داشته باشد.

منابع مورد استفاده

Akinci H and Turgut B, 2013. Agricultural land use suitability analysis using GIS and AHP technique. Computers and Electronics in Agriculture 97: 71–82.

Anonymus. 2014. Keys to Soil Taxonomy. 12th edition. Soil Conservation Service, U. S. Depart.Of Agriculture, Washington DC.

Armacost R, Hosseini J and Pet-Edwards J, 1999. Using the analytic hierarchy process as a two phase integrated decision approach for Large Nominal Groups. Group Decision and Negotiation 8: 535-555.

Ashraf SH, Afshari H, Munokyan R and Ebadi AG, 2010.Multicriteria land suitability evaluation for barley by using GIS in Damghanplain (Northeast of Iran). Journal of Food, Agriculture & Environment 8(3&4): 626-628.

Anonymous, 2007. Land evaluation: Towards a revised framework. Land and Water Discussion Paper. No. 6, FAO, Rome.

Banaei MH, 1998. Soil Moisture and Temperature Regimes of Iran. Soil and Water Research Institute of Iran.

Feizizadeh B and Blaschke T, 2013. Land suitability analysis for Tabriz County, Iran: a multi-criteria evaluation approach using GIS. Journal of Environmental Planning and Management 56(1): 1-23.

Hashemvand P, 2013. Land suitability evaluation in Ghazvin plain by using GIS and AHP technique. MS, Faculty of Engineering and Technology of Agriculture, University of Tehran.

Malczewski J and Rinner C, 2005. Exploring multi criteria decision strategies in GIS with linguistic quantifiers: a case study of residential quality evaluation. Journal of Geographical Systems 7(2): 168-249.

Mustafa AA, Singh M, Sahoo RN, Ahmed N, Khanna M, Sarangi A and Mishra AK, 2011. Land Suitability Analysis for Different Crops:A Multi Criteria Decision Making Approach using Remote Sensing and GIS.Researcher 3(12): 61-84.

Saaty TL, 1990. Decision making for leaders. RWS Publication,USA.

Saaty TL and vargas LG, 1991. Predictin, Proecton and forecasting. Kluwer Academic Publishers,Dorderecht.

Sonneveld W, Hack-ten Broeke M, Van Diepen CA and Boogaard HL, 2010. Thirty years of systematic land evaluation in the Netherlands. Geoderma. 156: 84–92.

Sys C, Van Ranst E and Debaveye J, 1991. Land Evaluation. Part I: Principles in Land Evaluation and Crop Production Calculations. General Administration for Development cooperation. Agricultural Publisher. No. 7, Brussels, Belgium, 274p.

Teka k and Haftu M, 2012. Land suitability characterization for crop and fruit production in midlands of Tigray, Ethiopia, African Journals 4: 64-76.

Thi Thu HL and Tien Long N, 2012. Multicriteria analysis for land suitability assessment for gialun banana in nam Dong district, Thua Thien Hue Province. International Research on Food Security, Natural Resource Management and Rural Development. 19-21 September, Vietnam Tropentag, Gottingen, Germany.

Tienwong K, Dasananda S and Navanugraha C, 2009. Integration of land evaluation and the analytical hierarchical process method for energy crops in Kanchanaburi,Thailand. ScienceAsia 35: 170–177.