

مقایسه روش فائو و فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) برای ارزیابی تناسب اراضی

برای گندم دیم در منطقه کوهین

سید امین موسوی¹، فریدون سرمدیان و عباس طاعتی

دانشجوی سابق کارشناس ارشد گروه مهندسی علوم خاک دانشگاه تهران؛ amin_mousaviut@yahoo.com

استاد گروه مهندسی علوم خاک دانشگاه تهران؛ fsarmad@ut.ac.ir

دانشجوی سابق کارشناس ارشد گروه مهندسی علوم خاک دانشگاه تهران؛ taatyabbas@ut.ac.ir

دریافت: 94/2/22 و پذیرش: 95/8/6

چکیده

بهره‌برداری از اراضی در نتیجه‌ی افزایش جمعیت، در سطح وسیعی افزایش یافته است. به همین روی لازم است در جهت استفاده بهینه و پایدار اراضی و تثبیت عملکرد، اراضی در راستای استعداد خود مورد بهره‌برداری قرار گیرند. از آنجایی که ارزیابی تناسب اراضی مسئله‌ای چند عاملی است، انجام آن نیاز به تکنیکی دارد تا عوامل را همزمان ارزیابی کند. در این راستا می‌توان از مدل‌های تصمیم‌گیری چند معیاره از جمله تحلیل سلسله مراتبی (AHP) استفاده کرد. در این تحقیق، ارزیابی تناسب اراضی برای گندم دیم با استفاده از روش فائو و فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) در قسمتی از اراضی کوهین مقایسه شده است. بر اساس تفسیر عکس‌های هوایی 1/40000 منطقه، مطالعه 23 پروفیل خاک و همچنین در نظر گرفتن خصوصیات مورفولوژی خاک‌ها، 16 واحد خاک (واحد اراضی) در منطقه مشخص گردید، و ارزیابی تناسب اراضی در این واحدها صورت گرفت. بدین منظور، 9 خصوصیت خاک به عنوان معیار شامل درصد آهک، درصد کربن آلی، درصد سنگریزه سطحی، عمق خاک، بافت خاک، ACEC² pH، شیب و اقلیم (بارندگی در طی دوره رشد، بارندگی در مرحله رشد رویشی، میانگین درجه حرارت در طی دوره رشد و میانگین درجه حرارت در مرحله رشد رویشی) انتخاب و بعد از آن به مقایسه معیارها در غالب ماتریس تصمیم پرداخته شد. مقایسه شاخص اراضی به دست آمده از روش فائو و تحلیل فرآیند سلسله مراتبی نشان داد که شاخص اراضی در تمامی واحدهای اراضی در روش تحلیل فرآیند سلسله مراتبی بیشتر از روش فائو بود. بیشترین شاخص اراضی در واحد 5 به میزان 72/5 و کمترین شاخص به میزان 48/52 در واحد 11 به دست آمد. همچنین مقایسه هبستگی بین شاخص اراضی و عملکرد گندم مشاهده شده نشان داد که این ضریب برای روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (r=0/858) بیشتر از روش فائو (r=0/739) بوده است.

واژه‌های کلیدی: شاخص اراضی، عکس هوایی، همبستگی

¹ نویسنده مسئول، آدرس: تهران - خیابان ولیعصر (عج) - ترسیده به میدان منیریه - خ فرهنگ - کوچه شهید بهروز نژادادگر (شانزدهم) - بن

بست زمانی - پلاک 1 - واحد 2

است. به علاوه از یک مبنای تئوریک قوی برخوردار بوده و براساس اصول بدیهی بنا نهاده شده است. توجه محققین در دهه‌های اخیر معطوف به مدل‌های چند معیاره برای تصمیم‌گیری‌های پیچیده نظیر تصمیم‌گیری در رابطه با بررسی تناسب اراضی گردیده است. در این تصمیم‌گیری‌ها به جای استفاده از یک معیار ممکن است از چندین معیار سنجش استفاده گردد. این روش شامل یکسری تکنیک‌ها است که اجازه می‌دهد طیفی از معیارهای وابسته، امتیازدهی و وزن‌دهی شده و سپس به وسیله کارشناسان و گروه‌های ذینفع رتبه بندی شود. روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره پتانسیل زیادی را به منظور کاهش دادن هزینه و بالا بردن دقت در تصمیم‌گیری‌های مکانی دارا می‌باشد و می‌تواند چهارچوبی مناسب برای حل مسئله فراهم آورد. استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی همراه با در نظر گرفتن قابلیت‌های این روش انتظار می‌رود که به منظور بررسی تناسب اراضی نتایج رضایت بخشی 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 تصمیم‌گیری چند معیاره در مناطقی که در آن محدودیت آب وجود داشت اشاره نمود (مالسزکی، 2005). هانگلا-تی-تو و همکاران (2012) 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 چند معیاره و GIS به منظور دستیابی به مصرف بهینه منابع اراضی برای کشاورزی پایدار اعلام کردند. 8 پارامتر از تناسب محصول و 5 پارامتر محیطی تناسب اراضی را در نظر گرفتند و آنالیز تناسب با استفاده از روابط فازی انجام دادند. نتایج نشان داد که تناسب فیزیکی اراضی در 26% کل ناحیه کاملاً متناسب در 56% و 38% مناطق متوسط و کم بود. آکینسی و همکاران (2013) در مطالعه‌ای تحت عنوان تعیین تناسب کاربری کشاورزی با استفاده از تکنیک AHP عنوان داشتند که در این مسیر از پارامترهای گروه‌های خاک، کلاس‌های استعداد اراضی، تحت کلاس‌های قابلیت کاربری اراضی، عمق خاک، شیب، جهت شیب، ارتفاع، درجه‌ی فرسایش و دیگر خصوصیات خاک استفاده شد. به منظور تعیین اوزان از نظرات کارشناس استفاده گردید و در نهایت نقشه‌ی نهایی تناسب اراضی با توجه به طبقه‌بندی فائو به پنج کلاس تقسیم شد. در ایران نیز فیضی زاده و بلشک (2013) در

امروزه منابع اراضی به علت افزایش فشار جمعیت بر روی منابع طبیعی به تدریج در حال کم شدن هستند. جمعیت رو به رشد جهان نیاز به افزایش منابع غذایی دارند. جمعیت رو به رشد جهان و افزایش سریع منابع غذایی باعث افزایش تقاضا در موازات خود شده است. به علاوه سیاست‌های کاربری اراضی در کشورهای در حال توسعه به صورتی است که در آنها از اطلاعات تکنیکی کمی استفاده می‌شود که این امر باعث حذف بسیاری از جزئیات تکنیکی می‌شود (نیور، 2006). تا قبل از سال 1973 سیستم‌هایی که برای طبقه‌بندی تناسب اراضی یا قابلیت اراضی معرفی می‌شدند اراضی را به طور کلی برای چند نوع بهره‌برداری ارزیابی می‌نمودند، به طور خلاصه می‌توان به مهم‌ترین این سیستم‌ها به صورت زیر اشاره کرد:

1- طبقه‌بندی قابلیت اراضی به روش وزارت کشاورزی ایالت متحده آمریکا (USDA).

2- روش ارزیابی تناسب اراضی برای نباتات خاص (به روش سازمان جهانی خوار و بار جهانی)، (فائو، 1976).

3- سیستم پارامتریک برای اهداف ارزیابی کلی.

برخی از این تکنیک‌ها در کشورهای توسعه یافته استفاده شده‌اند، اما اطلاعات موجود در این نوع استفاده‌ها گاهاً با دانش منطقه‌ای و شرایط منطقه‌ای ارتباطی ندارد. وجود GIS و روش‌های تصمیم‌گیری‌های چند معیاره¹، امکان ترکیب کردن اطلاعات حاصل از منابع مختلف را به منظور مدیریت و طراحی کاربری‌ها، را می‌دهد (مالسزکی، 1999). یکی از روش‌های تصمیم‌گیری‌های چند معیاره، فرآیند تحلیل سلسله مراتبی² می‌باشد. این تکنیک بر اساس مقایسه‌های زوجی بنا نهاده شده و امکان بررسی سناریوهای مختلف را به مدیران می‌دهد. فرآیند تحلیل سلسله مراتبی یکی از جامع‌ترین سیستم‌های طراحی شده برای تصمیم‌گیری با معیارهای چندگانه است، زیرا این تکنیک امکان فرموله کردن مسئله را به صورت سلسله مراتبی فراهم می‌کند و همچنین امکان در نظر گرفتن معیارهای مختلف کمی و کیفی را در مسئله دارد. این فرآیند گزینه‌های مختلف را در تصمیم‌گیری دخالت داده و امکان تحلیل حساسیت روی معیارها و زیرمعیارها را دارد. علاوه بر این بر مبنای مقایسه زوجی بنا نهاده شده، که قضاوت و محاسبات را تسهیل می‌نماید. همچنین میزان سازگاری و ناسازگاری تصمیم را نشان می‌دهد که از مزایات ممتاز این تکنیک در تصمیم‌گیری چند معیاره

¹ Multi-criteria Decision making (MCDM)

² Analytic Hierarchy Process (AHP)

"36°22'51" شمالی قرار دارد. مساحت منطقه مورد مطالعه حدود 500 هکتار می‌باشد و کاربری غالب آن مرتع و دیم می‌باشد. این منطقه دارای بارندگی سالانه 351/26 میلی‌متر و متوسط دمای 12/20 درجه سانتیگراد می‌باشد. رژیم رطوبتی و حرارتی خاک منطقه مورد مطالعه، به ترتیب زیریک و مزیک می‌باشد. در مطالعات صحرائی ابتدا موقعیت حفر 23 پروفیل بر اساس الگوی نمونه‌برداری به صورت شبکه منظم بر روی تصاویر گوگل ارث (Google Earth) مشخص و مختصات تعیین شده به دستگاه GPS داده شد و با استفاده از GPS مکان دقیق نقاط نمونه‌برداری در صحرا تعیین و اقدام به حفر و تشریح پروفیل‌ها گردید و در نهایت 75 نمونه خاک تهیه شده و برای انجام آزمایش‌های فیزیکی و شیمیایی مختلف به آزمایشگاه منتقل شد. تمامی مقاطع خاک بر اساس روش طبقه‌بندی خاک آمریکایی (2010) تشریح و طبقه‌بندی گردید و خاک‌های منطقه مورد مطالعه در دو رده اینسپتی سول و انتی سول طبقه‌بندی شدند. جدول (1) رده‌بندی خاک‌های منطقه مطالعاتی را نشان می‌دهد. شکل (1) نیز واحدهای اراضی در منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

مطالعه‌ای تعیین تناسب اراضی کشاورزی را با استفاده از GIS و تصمیم‌گیری چندمعیاره در استان تبریز به کاربرند. آنها در این مطالعه از فاکتورهای تناسب متفاوتی از جمله خصوصیات خاک، اقلیمی و آب در دسترس استفاده کرده‌اند. در این راستا از نظر سهام‌داران در سطوح مختلف استفاده شد. ساختار سلسله مراتبی به منظور دسته‌بندی فاکتورهای مختلف و تعیین اوزان برای نقشه‌ی تناسب نهایی اراضی کشاورزی تحت آبیاری و دیم استفاده شد. نتایج این تحقیق نشان داد که 65676 هکتار از اراضی مناسب برای کشت آبی و 120872 هکتار مناسب برای کشت دیم هستند. این تحقیق با هدف مقایسه ارزیابی تناسب اراضی برای گندم دیم با استفاده از روش فائو و فرآیند تحلیل سلسله مراتبی در بخشی از اراضی کوهین انجام شد.

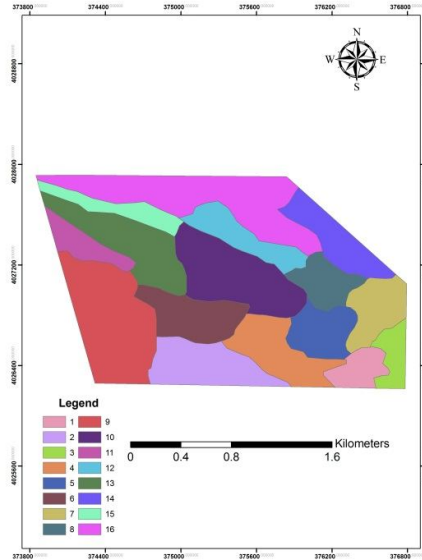
مواد و روش‌ها

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 "49°34'58" تا "49°37'13" شرقی و عرض‌های جغرافیایی "36°22'14" تا

جدول 1- رده‌بندی خاک‌های منطقه مورد مطالعه بر اساس طبقه‌بندی خاک آمریکایی (2010)

واحد‌های اراضی	رده‌بندی
1	Fine, mixed, Superactive, mesic, Typic Calcixerepts
2	Fine, mixed, Superactive, Calcareous, Shallow, mesic, Typic Calcixerepts
3	Fine-loamy, mixed, Superactive, mesic, Typic Haploxerepts
4	Fine-loamy, mixed, Superactive, mesic, Typic Calcixerepts
5	Loamy-skeletal, mixed, Superactive, mesic, Typic Xerortents
6	Fine, mixed, Semiactive, mesic, Typic Calcixerepts
7	Fine, mixed, active, mesic, Typic Haploxerepts
8	Fine, mixed, active, mesic, Typic Calcixerepts
9	Loamy-skeletal, mixed, Superactive, mesic, Typic Calcixerepts
10	Clay over coarse-loamy, mixed, Superactive, mesic, Typic Calcixerepts
11	Very Fine, mixed, Superactive, mesic, Typic Calcixerepts
12	Fine-loamy, mixed, Semiactive, mesic, Typic Calcixerepts
13	Clayey-skeletal, mixed, active, mesic, Typic Calcixerepts
14	Fine, mixed, active, Shallow, mesic, Typic Haploxerepts
15	Fine, mixed, Superactive, mesic, Typic Haploxerepts
16	Fine-loamy, mixed, active, mesic, Typic Haploxerepts



شکل 1- نقشه واحدهای اراضی منطقه مورد مطالعه

ارزیابی تناسب اراضی

اختصاص می‌یابد. در روش ریشه دوم برای به دست آوردن شاخص اراضی از معادله 1 استفاده می‌شود.

(1)

$$i = R \min \times \sqrt{\frac{A}{100} \times \frac{B}{100}} \times \dots$$

در این معادله $I =$ شاخص اراضی، A, B, C, \dots درجات اختصاص داده شده به هر کدام از خصوصیات اراضی، $R_{\min} =$ خصوصیت با درجه حداقل می‌باشد. سپس با استفاده از جدول (2) کلاس تناسب اراضی مشخص می‌شود.

به منظور ارزیابی تناسب اراضی با استفاده از روش فائو عمل انطباق خصوصیات اراضی در هر یک از پهنه‌های تعریف شده با نیازهای رویشی گندم انجام و کلاس نهایی اراضی تعیین گردید. در این تحقیق از روش پارامتریک (ریشه دوم) که توسط (سایس و همکاران، 1991) ارائه شده است برای تعیین کلاس‌های تناسب اراضی استفاده شد. در این روش، یک درجه‌بندی کمی به هر خصوصیت اراضی اختصاص داده می‌شود. اگر خصوصیتی برای محصول مورد نظر کاملاً مطلوب باشد، درجه حداکثر 100 به آن اختصاص می‌یابد. اگر همان خصوصیت دارای محدودیت باشد درجه کمتری به آن

جدول 2- کلاس‌های تناسب اراضی بر اساس شاخص اراضی در روش پارامتریک (ریشه دوم)، (سایس و همکاران، 1991)

شاخص	کلاس‌های تناسب
75-100	S1 (خیلی مناسب)
50-75	S2 (نسبتاً مناسب)
25-50	S3 (تناسب بحرانی)
0-25	N (نامناسب)

خاک، اقلیم و توپوگرافی، در سطح سوم زیرمعیارها و در آخر کلاس‌های تناسب اراضی به عنوان گزینه‌های مورد انتظار در نظر گرفته شده‌است. معیارهای انتخاب شده برای محصول گندم 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.

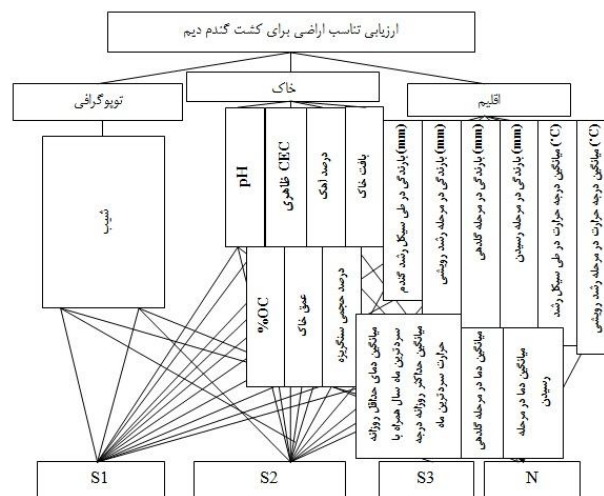
تعیین ضریب اهمیت معیارها، زیر معیارها و گزینه‌های مؤثر در کشت گندم

در فرآیند تحلیل سلسله مراتبی عناصر هر سطح نسبت به عنصر مربوط خود در بالاتر به صورت زوجی مقایسه شده، که بدین صورت وزن نسبی آنها به دست می‌آید و سپس با استفاده از وزن‌های نسبی، وزن نهایی هر گزینه تعیین می‌گردد. در اصل در این مقایسه‌ها میزان ارجحیت عناصر بر یکدیگر مشخص می‌شود. این مقیاس‌بندی توسط ساعتی (ساعتی، 1990) ارائه شده است که در جلد (3) نشان داده شده است.

تحلیل سلسله مراتبی

ساختن سلسله مراتب

اولین قدم در فرآیند تحلیل سلسله مراتبی، ایجاد یک نمایش گرافیکی از مسئله می‌باشد که در رأس 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. به طور مثال، اگر تصمیم مورد نظر انتخاب یک گزینه باشد می‌توان از گزینه‌ها شروع کرده و آنها را در پایین‌ترین سطح نشان داد و در سطح بعدی معیارهایی که برای انتخاب گزینه‌ها مورد نظر می‌باشند، قرار گیرند و در بالاترین سطح، هدف سلسله مراتبی که یک عنصر است قرار گیرد (ساعتی، 1990). در سلسله مراتب طراحی شده برای این تحقیق در بالاترین سطح هدف (بررسی تناسب اراضی محصول مورد نظر)، در سطح دوم معیارها شامل



شکل 2- ساختار سلسله مراتبی در نظر گرفته شده برای گندم دیم

جدول 3- مقادیر ترجیحات برای مقایسه زوجی (ساعتی و ورگاس، 1991)

مقدار عددی	ترجیحات
9	کاملاً مرجع یا کاملاً مهم‌تر یا کاملاً مطلوب‌تر
7	ترجیح یا اهمیت یا مطلوبیت خیلی قوی
5	ترجیح یا اهمیت یا مطلوبیت قوی
3	کمی مرجع یا کمی مهم‌تر یا کمی مطلوب‌تر
1	ترجیح یا اهمیت یا مطلوبیت یکسان
۲،۴،۶،۸	ترجیحات بین فواصل فوق

تعیین وزن نسبی پارامترهای اصلی و مؤثر در کشت گندم دیم

در ادامه به منظور تعیین وزن نسبی پارامترهای اصلی، ابتدا برای هر یک از آن‌ها ماتریس میانگین هندسی تشکیل شد و وزن نسبی هر یک از آن‌ها محاسبه گردید؛ سپس در ادامه کار به تعیین وزن نسبی زیر معیارها و گزینه‌ها اقدام شد و در نهایت وزن نهایی هر یک از گزینه‌ها تعیین گردید. برای به دست آوردن ضریب اهمیت زیر معیارهای مربوط به هر پروفیل در هر واحد اراضی، با استفاده از روش ترکیب خطی با ضرب نمودن میزان هر یک از معیارهای درصد آهک، درصد کربن آلی، درصد سنگریزه سطحی، عمق خاک، بافت خاک، pH و ACEC، شیب و شاخص اقلیمی در هر پروفیل موجود در هر واحد خاک، در میزان وزن نسبی به دست آمده آن‌ها (از طریق ایجاد ماتریس تصمیم و انجام مقایسات زوجی)، وزن نهایی هر یک از معیارهای مربوطه برای هر پروفیل در هر واحد اراضی به دست آمد، که در ادامه با استفاده از شاخص تناسب به دست آمده و مقایسه آن با جدول شماره 2، میزان تناسب هر پروفیل در هر واحد اراضی برای گندم دیم به دست آمد، و هر چه میزان شاخص تناسب بیشتر باشد تناسب آن پروفیل در آن واحد اراضی برای آن محصول بالاتر خواهد بود. قبل از انجام این مراحل به دلیل ناهم جنس بودن مقادیر واقعی هر معیار پروفیل در هر واحد اراضی، این مقادیر توسط معادله (2) نرمال گردید تا همه داده‌ها در محدوده 0-1 قرار گیرند.

$$X_{norm} = 0.5 \left[\frac{x_0 - \bar{x}}{x_{max} - x_{min}} \right] + 0.5 \quad (2)$$

که در این معادله X_{norm} مقدار نرمال شده داده ورودی X ، X میانگین داده‌ها، X_{max} و X_{min} به ترتیب حداکثر و حداقل داده‌ها می‌باشد.

بررسی سازگاری در قضاوت‌ها

یکی از مزیت‌های فرآیند تحلیل سلسله مراتبی امکان بررسی سازگاری در قضاوت‌های انجام شده در تعیین ضریب اهمیت معیارها و زیر معیارها است. مکانیزمی 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 0/1 باشد، سازگاری در قضاوت‌ها مورد قبول است و گرنه باید در قضاوت‌ها تجدید نظر شود (آرماکوست و همکاران، 1999).

نتایج و بحث

نتایج ارزیابی اقلیم

نتایج ارزیابی اقلیم برای کشت گندم دیم نشان داد که به طور کلی اقلیم محدودیت زیادی برای رشد در این منطقه ایجاد نمی‌کند و کلاس تناسب اقلیم، خیلی مناسب (S1) می‌باشد. برای ارزیابی اقلیم محصول گندم دیم، با توجه به گروه‌های نیازهای اقلیمی (بارندگی و درجه حرارت) این محصول، با استفاده از جداول نیازهای اقلیمی گندم دیم (سایس و همکاران، 1991)، پائین‌ترین درجه اختصاص داده شده به هر گروه تعیین و از روش ریشه دوم ارزیابی اقلیم انجام شد. متوسط بارندگی سالیانه این منطقه 351/26 میلی متر در سال است. بیشترین مقدار بارندگی به میزان 57/78 میلی متر در اسفند ماه و کمترین مقدار بارندگی به میزان 0/52 میلی متر در تیر ماه رخ داده است.

9 تشخیص داده است. همان طور که دیده می‌شود ضریب ناسازگاری این مقایسه 0/084 می‌باشد و به علت این که از 0/1 کمتر است مقایسه درست بود و نیازی به تکرار نیست. همان طور که در جدول فوق مشاهده می‌دهد، مجموع ضرایب اهمیت معیارهای فوق معادل عدد یک است و این نشان دهنده نسبی بودن اهمیت معیارها است. شیب به عنوان محدود کننده‌ترین عامل بالاترین وزن و اقلیم نیز پایین‌ترین وزن را به خود اختصاص داده‌اند. کلاس تناسب اراضی در هر واحد اراضی با استفاده از روش‌های AHP و پارامتریک (ریشه دوم) برای گندم دیم در جدول (6) نشان داده شده است.

نتایج تعیین وزن نسبی پارامترهای اصلی و مؤثر در کشت گندم دیم جدول (4) وزن نسبی و ایجاد ماتریس تصمیم برای معیارهای مؤثر در کشت گندم دیم و جدول (5) نیز وزن نسبی و ترتیب ارجحیت هر یک از معیارها را در رابط با گندم دیم را نشان می‌دهد. همان طور که در جدول بالا دیده می‌شود تصمیم‌گیرنده با توجه به کدهای ارجحیت که در روش ساعتی آمده است به کدهای معیارها با توجه به اهمیت هر کدام بر دیگری پرداخته است. یعنی به طور مثال با توجه به ویژگی‌های منطقه و حساسیت‌های گیاه گندم دیم تصمیم‌گیرنده تشخیص داده است که شیب نسبت به بافت دارای درجه "کمی مرجح" یا کد 3 می‌باشد، در حالی که برای شیب نسبت به اقلیم درجه‌ی "کاملاً مرجح" یا کد

جدول 4- تعیین وزن نسبی و ایجاد ماتریس تصمیم برای معیارهای مؤثر در کشت گندم دیم

معیار	A (شیب %)	B (بافت)	C (آهک %)	D (CEC ظاهری)	E (کربن آلی %)	F (سنگریزه %)	G (عمق خاک)	H (pH)	I (شاخص اقلیم)
A (شیب %)	1	3	4	5	6	7	8	8	9
B (بافت)		1	3	4	5	6	7	8	8
C (% CaCO ₃)			1	3	4	6	6	7	8
D (CEC ظاهری)				1	3	4	6	6	7
E (کربن آلی %)					1	2	4	5	6
F (سنگریزه %)						1	3	4	5
G (عمق خاک)							1	2	3
H (pH)								1	2
I (شاخص اقلیم)									1

ضریب ناسازگاری: 0/084

جدول 5- وزن نسبی و ترتیب ارجحیت هر یک از معیارها را در رابط با گندم دیم

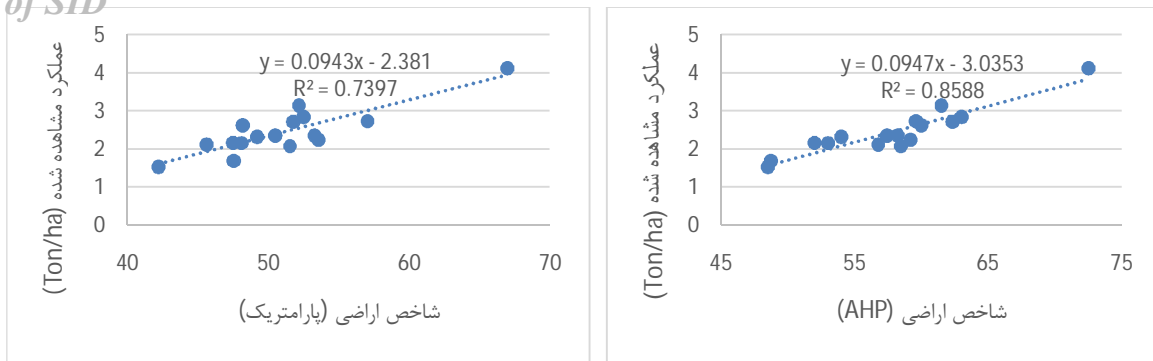
معیار	درصد شیب	بافت خاک	درصد آهک	CEC ظاهری	درصد کربن آلی	درصد سنگریزه	عمق خاک	pH	اقلیم
وزن	0/324	0/220	0/156	0/110	0/070	0/052	0/030	0/022	0/016

جدول 6- کلاس تناسب اراضی در هر واحد اراضی با استفاده از روش‌های AHP و پارامتریک (ریشه دوم) برای گندم دیم

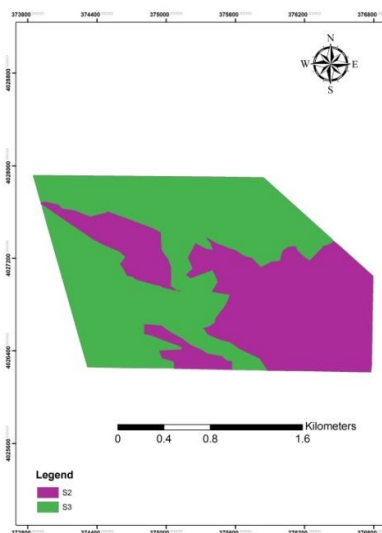
واحد اراضی	روش پارامتریک (ریشه دوم)		روش AHP		عملکرد مشاهده شده (تن در هکتار)
	شاخص اراضی	کلاس تناسب	شاخص اراضی	کلاس تناسب	
1	57/06	S2	59/67	S2	2/72
2	53/30	S2	58/22	S2	2/35
3	51/55	S2	58/45	S2	2/07
4	53/58	S2	59/17	S2	2/24
5	67	S2	72/5	S2	4/12
6	48/20	S3	60	S2	2/61
7	50/50	S2	57/43	S2	2/35
8	51/80	S2	62/33	S2	2/71
9	48/12	S3	53	S2	2/15
10	52/19	S2	61/5	S2	3/13
11	42/22	S3	48/52	S3	1/53
12	45/63	S3	56/77	S2	2/11
13	52/50	S2	63	S2	2/83
14	47/55	S3	48/75	S3	1/68
15	47/5	S3	52	S2	2/16
16	49/24	S3	54	S2	2/31

میزان محصول به ترتیب در واحدهای 5 و 11 مشاهده می‌شود که میزان محصول در واحد شماره 11 به علت محدودیت شیب و بالا بودن میزان سنگریزه دارای کمترین میزان است. همبستگی بین شاخص اراضی و میزان عملکرد محصول با استفاده از روش‌های AHP و پارامتریک (ریشه دوم) در شکل (3) نشان داده شده است. همانطور که در شکل فوق مشاهده می‌گردد همبستگی بین شاخص اراضی و میزان عملکرد محصول برای روش AHP، $(r=0/858)$ بیشتر از روش پارامتریک، $(r=0/737)$ به دست آمد. که با نتایج سانچز (2003) همخوانی دارد. شکل (4) نیز نقشه تناسب اراضی با استفاده از روش AHP و شکل (5) نیز نقشه تناسب اراضی با استفاده پارامتریک (ریشه دوم) را برای گندم دیم نشان می‌دهد.

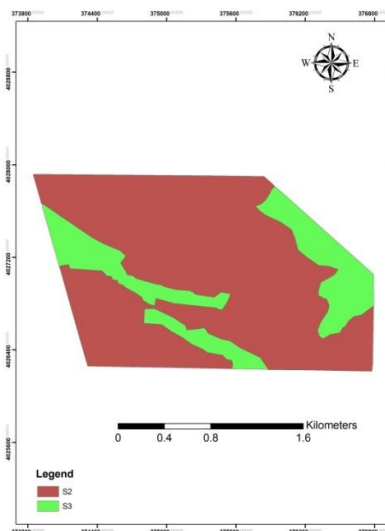
همانطور که در جدول فوق مشاهده می‌شود، ارزیابی تناسب اراضی با استفاده از روش تحلیل فرآیند سلسله مراتبی در تمامی واحدهای اراضی، موجب افزایش شاخص اراضی شده است. همچنین اکثر واحدهای اراضی برای کشت محصول گندم دیم با استفاده از هر دو روش در کلاس S2 قرار گرفتند. آنادا و هریت (2007) روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی را برای انجام ارزیابی تناسب اراضی برای کشت محصول گندم در استرالیا به کار بردند و محدودیت‌های عمده در منطقه را شیب، بافت خاک و درصد آهک معرفی کردند. در تحقیقی دیگر لی و همکاران (لی و همکاران، 2005)، در منطقه هوبی چین، تکنیک فرآیند تحلیل سلسله مراتبی و مدل فازی را برای تعیین شاخص‌های وزنی سیستم‌های کشاورزی برای محصول گندم به کار بردند و یکی از معیارهای محدود کننده در کشت این محصول را میزان آهک خاک و میزان شیب اراضی بیان کردند. همچنین، بیشترین و کمترین



شکل 3- رگرسیون خطی بین شاخص اراضی و عملکرد مشاهده شده با استفاده از روش‌های AHP و پارامتریک (ریشه دوم) برای محصول گندم



شکل 4- نقشه تناسب اراضی برای گندم دیم با استفاده از روش AHP



شکل 5- نقشه تناسب اراضی برای گندم دیم با استفاده از روش پارامتریک

وزن‌های عوامل مختلف در هر یک از واحدهای خاک، به طبقه‌بندی‌های مختلف تناسب اراضی، بر اساس تعریف وزن‌های مربوطه و اهمیت و اولویت هر یک از آنها نسبت به عامل دیگر پرداخته شده و پس از تعیین و محاسبه وزن‌های هر یک از این عوامل، می‌توان درباره عملیات مدیریتی بر روی اراضی تصمیم‌گیری نمود، چرا که ماتریس مقایسات زوجی محاسبه وزن‌های هر یک از عوامل دخیل در ارزیابی تناسب اراضی هر محصول در هر واحد اراضی، شاخص‌های مختلفی را به هر یک از این واحدها می‌دهد، که در واقع بر اساس این شاخص‌ها کلاس‌های تناسب مختلف اراضی در هر واحد اراضی تعیین می‌گردد. به طور کلی یکی از مزیت‌های روش تصمیم‌گیری چندمعیاره مبتنی بر روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP)، این است که تغییرات مربوط به فرآیندهای محیطی را پیوسته و تدریجی در نظر گرفته و سعی نمی‌کند که سیستم پیوسته خاک را به داده‌هایی که توسط محققین علوم خاک اندازه‌گیری می‌شود، محدود نماید و به علاوه با دخیل نمودن عوامل بیشتری در ارزیابی تناسب اراضی برای محصولات مختلف نقش مهمی را ایفا می‌نماید.

این تحقیق با هدف مقایسه ارزیابی تناسب اراضی برای گندم دیم با استفاده از روش فائو و فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) در بخشی از اراضی کوهین انجام شد. برای ارزیابی تناسب اراضی از 9 خصوصیت که شامل درصد آهک، درصد کربن آلی، درصد سنگریزه سطحی، عمق خاک، بافت خاک، pH و ACEC شیب و شاخص اقلیمی می‌باشد استفاده شد. نتایج نشان داد که در همه واحدهای اراضی شاخص اراضی با استفاده از روش AHP بیشتر از روش پارامتریک به دست آمد؛ همچنین همبستگی بین شاخص اراضی و عملکرد مشاهده شده در روش AHP، $(r=0/858)$ بیشتر از روش پارامتریک، $(r=0/737)$ به دست آمد. طور کلی دقت روش‌های ارزیابی تناسب اراضی بستگی به درجه تأثیر خصوصیات اراضی انتخاب شده روی تولید محصول دارد. ارزیابی تناسب اراضی به روش تصمیم‌گیری چندمعیاره مبتنی بر روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP)، از نظر تأثیر وزن‌های مختلف برای خصوصیات مختلف اراضی با روش‌های کلاسیک و سنتی ارزیابی اراضی مانند روش پارامتریک، تفاوت دارد. چرا که در این روش،

فهرست منابع:

1. Akinci, H., and B. Turgut. 2013. Agricultural land use suitability analysis using GIS and AHP technique, *Computers and Electronics in Agriculture*, 97: 71–82.
2. Anada, J., and G. Herath. 2007. Multi-attribute preference modeling and regional land use planning, *Ecological Economics*, 65:325-335.
3. Armacost, R., J. Hosseini and J.Pet-Edwards. 1999. Using the Analytic Hierarchy Process as a Two phase Integrated Decision Approach for Large Nominal Groups, *Group Decision and Negotiation*, 8: 535-555.
4. FAO, 1976. A framework for land evaluation. FAO Soil Bulletin No 32. Rome
5. Feizizadeh, B., and T. Blaschke. 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
6. Li, X. M., and C. Tan. 2005. The functional assessment of agriculture ecosystem in hubei Province, China. *Ecological modeling*, 187: 352-360.
7. Malczewski, J. 1999. *GIS and Multicriteria Decision Analysis*, John Wiley and Sons, New York.
8. Malczewski, J., and C. Rinner. 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.
9. Nwer, B. 2006. The application of land evaluation technique: In the North- east of Libya. LAP.
10. Saaty, T.L. 1990. *Decision making for leaders*. RWS Publication, USA
11. Saaty, T.L., and L.G. vargas. 1991. *Predictin, Proecton and forecasting*, Kluwer Academic Publishers, Dorderecht.

12. Sanchez, P., Palm, A., and Buol S. W. 2003. Fertility capability soil classification: a tool to help assess soil quality in the tropics. *Geoderma* 3: 157-185.
13. Sys, C., E. Van Ranst, J. Debaveye, and F. Beernarent. 1993. Land evaluation. Part III: Crop requirements, International training center for post graduate soil scientist. Ghent University, Ghent, 199 pp.
14. Sys, C., E. Van Ranst, and J. Debaveye. 1991. Land evaluation. Part I: Principles in land evaluation and crop production calculations. General Administration for Development cooperation. Agricultural Publisher. No. 7, Brussels, Belgium, 274pp.
15. Thi Thu, H.L., and N. Tien Long. 2012. Multicriteria analysis for land suitability assessment for land suitability assessment for gia lun banana in nam dong district, thu thien hue province, vietnam, tropentag, gottingen, germany, september, 19-21.
16. USDA. 2010. Soil Survey Staff. Keys to Soil Taxonomy. 11 th edition.