

مقاله علمی-پژوهشی

اولویت‌بندی کاشت محصولات کشاورزی با استفاده از معیارهای چندگانه و روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP)، مطالعه موردی: استان مرکزی - دشت فراهان

مصطفی گودرزی^{*۱}

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۱/۲۳ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۲/۱۹

چکیده

با توجه به رشد روزافزون جمعیت و محدودیت منابع آب و خاک موجود، رسیدن به یک الگوی کشت مناسب که از آن بتوان حداکثر بهره‌برداری را از عوامل و نهاده‌های تولید، به‌ویژه عامل محدودکننده آب، به دست آورد، ضرورتی انکارناپذیر است. هدف از این پژوهش رتبه‌بندی محصولات قابل کشت در دشت فراهان با استفاده از معیارهای چندگانه و روش تحلیل سلسله مراتبی بود. بدین منظور با استفاده از روش AHP محصولات قابل کشت بر اساس چهار شاخص آب، غذا، انرژی و سود اقتصادی و نیز ترکیب این چهار شاخص رتبه‌بندی شدند. نتایج تحلیل AHP نشان داد که معیار سود اقتصادی با وزن ۰/۳۵ و بعد از آن آب مصرفی با وزن ۰/۳۱ مهم‌ترین عوامل در اولویت‌بندی محصولات قابل کشت در دشت فراهان می‌باشند. مقدار نسبت توافق در تمامی معیارها و زیرمعیارها کمتر از ۰/۱ بود که نشان‌دهنده سطح توافق قابل قبول در تحلیل‌ها می‌باشد. نتایج به‌دست‌آمده نشان داد بر اساس معیار آب مصرفی به ترتیب سه محصول زعفران، زیره و کاملینا، بر اساس معیار کالری تولیدی به ترتیب سه محصول سورگوم، علفه‌ای، سیب‌زمینی و ذرت علفه‌ای، بر اساس انرژی مصرفی به ترتیب سه محصول سورگوم، علفه‌ای، ذرت علفه‌ای و انگور، بر اساس سود اقتصادی اسطوخودوس، آویشن و گل‌گاوزبان و بر اساس ترکیب چهار شاخص ذرت علفه‌ای، انگور و سنجد اولویت اول کشت در سطح منطقه می‌باشند. نتایج نشان داد، الگوی کشت فعلی در منطقه مورد مطالعه الگوی کشت قابل قبولی نمی‌باشد و اصلاح الگوی کشت بر اساس معیارهای چندگانه و اولویت‌بندی کشت محصولات بر اساس این معیارها بایستی در دستور کار مدیران بخش اجرا و جامعه کشاورزان قرار گیرد. اولویت‌بندی کشت محصولات بر اساس معیارهای چهارگانه ذکر شده در این پژوهش زمینه را برای اجرای تدریجی الگوی کشت بهینه در سطح دشت‌ها فراهم می‌نماید. لذا، با توجه به نتایج به‌دست‌آمده در این پژوهش، پیشنهاد می‌گردد که از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره برای اولویت‌بندی محصولات قابل کشت و انتخاب الگوی کشت بهینه استفاده گردد.

واژه‌های کلیدی: الگوی کشت، AHP، نیاز آبی، غذا، انرژی، سود اقتصادی

مقدمه

اصلی در هر نوع کشاورزی باید به سمت بالا بردن بهره‌وری سوق یابد تا بتواند در برابر افزایش جمعیت و تغییرات آب و هوا مقابله کند. رشد روزافزون جمعیت و محدودیت منابع موجود، بشر را وادار ساخته است تا با مدیریت صحیح منابع موجود و تخصیص بهینه منابع محدود به نیازهای نامحدود بشری به بهترین نحو ممکن پاسخ دهد. با توجه به نامناسب بودن پراکندگی زمانی و مکانی ریزش‌های جوی در ایران و پایین بودن راندمان آبیاری در کشاورزی، آب به‌عنوان محدودکننده‌ترین عامل تولید در بخش کشاورزی می‌باشد (گودرزی ۱۳۹۴). به علت گستردگی پهنه مرزی کشورمان و تنوع اقلیمی مناطق گوناگون، رسیدن به الگوی کشت مناسب که از آن بتوان حداکثر بهره‌برداری را از عوامل و نهاده‌های تولید به‌ویژه عامل محدودکننده آب به دست آورد، ضرورتی انکارناپذیر است (حسن‌پناه و

آب یکی از مهم‌ترین عوامل رشد و توسعه جوامع بشری است، کمبود آب به‌ویژه آب باکیفیت یکی از عوامل بازدارنده توسعه کشاورزی، اقتصادی و اجتماعی در اکثر کشورهای در حال توسعه است (محمدیان و همکاران ۱۳۸۷). در اقتصاد مبتنی بر کشاورزی لزوم طرح‌ریزی همه‌جانبه به‌منظور استفاده از منابع تولید کشاورزی برای دست یافتن به بیشترین بازده اقتصادی ضروری است. هدف

۱- استادیار بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان مرکزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اراک، ایران

(*- نویسنده مسئول: Email: goodarzimustafa@gmail.com)

2003) و پهنه‌بندی نواحی همگن تغذیه‌ای آب‌های زیرزمینی (گودرزی و همکاران ۱۳۹۴) اشاره نمود.

شریفی و همکاران (۱۳۹۳)، با استفاده از دو روش AHP و دلفی فازی اولویت‌بندی محصولات زراعی در استان البرز را بر اساس چهار معیار سطح زیر کشت، درآمد خالص، هزینه‌های تولید و نیازهای دامداری مورد بررسی قرار دادند. نتایج این پژوهش نشان داد که اولویت کشت محصولات استراتژیک زراعی در استان البرز به ترتیب شامل گندم، جو، ذرت علوفه‌ای، یونجه، پنبه و کلزا می‌باشد. محمدیان و همکاران (۱۳۸۸)، در تحقیقی از روش AHP برای تعیین الگوی کشت بالقوه محصولات زراعی در دشت تربت جام استفاده نمودند. نتایج این پژوهش نشان داد که الگوی کشت برتر در دشت تربت جام به صورت گندم، خربزه، جو، چغندرقد، کلزا، گوجه‌فرنگی، زیره، هندوانه، یونجه و سیب‌زمینی با درصد مساحت مشخص، می‌باشد.

رحمان و ساجا، با استفاده از معیار ارزیابی چند معیاره فضایی، سامانه اطلاعات جغرافیایی، سنجش از دور و AHP به تدوین الگوی کشت مناسب برای منطقه سیل‌خیز بوگرا در بنگلادش پرداختند. در این مطالعه، گیاهان زراعی شاخص، در منطقه از جمله گندم، برنج، خردل و سیب‌زمینی در الگوی کشت پیشنهادی انتخاب شدند. نتایج نشان داد که منطقه مورد مطالعه تناسب متوسط تا بالایی برای تولید گیاهان زراعی انتخاب شده دارد (Rahman and Saha, 2008). فتاحی و همکاران (۱۳۹۹)، در تحقیقی از مدل ترکیبی AHP-TOPSIS برای تعیین الگوی کشت بهینه گیاهان دارویی در استان قم استفاده نمودند. نتایج نشان داد که در میان معیارهای تعیین الگوی بهینه کشت گیاهان دارویی در استان قم، بیشترین و کمترین وزن به ترتیب متعلق به معیارهای مسائل اقتصادی و بافت خاک بود. همچنین، در میان گزینه‌ها زعفران ایرانی بهترین گزینه بود و گل محمدی، زیره سبز و گل‌گاوزبان در رتبه‌های بعدی قرار گرفتند.

علاوه بر این تاکنون در مطالعات مختلف از روش تحلیل سلسله مراتبی برای رتبه‌بندی محصولات و بررسی تناسب اراضی در کشت محصولات مختلف کشاورزی در نقاط مختلف دنیا استفاده شده است که از آن جمله می‌توان به تحقیقات انجام‌شده توسط مرادی و همکاران (۱۳۹۶)، بابازاده و اکبری (۱۳۹۶)، موسوی و همکاران (۱۳۹۷)، حیدری و همکاران (۱۳۹۹)، سینگها و همکاران (Singha et al., 2020) و تریگوسو و همکاران (Trigoso et al., 2020)، اشاره نمود.

با توجه به اینکه چهار عامل امنیت غذایی، حفاظت از منابع آب، سود اقتصادی و حفظ محیط‌زیست چهار معیار اساسی برای رسیدن به کشاورزی پایدار می‌باشد، اولویت‌بندی کشت محصولات بر اساس هر یک از این معیارها ابزار بسیار مناسبی برای مدیران اجرایی جهت پیاده‌سازی الگوی کشت مناسب در دشت‌ها می‌باشد. لذا هدف این

همکاران (۱۳۹۴). نکته قابل توجه در این ارتباط کشت محصولات مختلف در سطح دشت‌ها بدون توجه به پتانسیل بالقوه مناطق مختلف بخصوص در ارتباط با آب می‌باشد. بررسی‌ها نشان داده است که با اصلاح الگوی کشت در مناطق مختلف می‌توان بخشی از مشکلات ناشی از کمبود آب را جبران نمود.

طراحی و اجرای الگوی کشت از مهم‌ترین مباحث در برنامه‌ریزی کشاورزی محسوب می‌شود. از عوامل مؤثر بر الگوی کشت محصولات زراعی و باغی می‌توان به منابع پایه تولید (آب و خاک)، اقلیم، مسائل زیست‌محیطی، اقتصاد کشاورزی، امنیت غذایی، شرایط زیستگاه‌های طبیعی، زراعی و همچنین سیاست‌گذاری‌های دولت اشاره نمود. با برنامه‌ریزی و اجرای الگوی کشت مناسب می‌توان موجبات پایداری در تولید، امنیت غذایی پایدار، ایجاد زمینه‌های اشتغال، پویایی اقتصاد کشاورزی، مطلوبیت سرمایه‌گذاری و ارتقاء دانش در بخش کشاورزی را فراهم و زمینه‌ساز شکوفایی هر چه بیشتر سایر بخش‌های اقتصادی جامعه کشاورزی شد (حسن‌پناه و همکاران ۱۳۹۴). در این راستا، ارائه و اولویت‌بندی شاخص‌های تأثیرگذار بر رقابت‌پذیری محصولات کشاورزی برای تعیین الگوی کشت بهینه و به دست آوردن ترکیب مناسبی از محصولات با توجه به اهداف موردنظر از جمله مسائل اساسی در زمینه برنامه‌ریزی تولید محصولات کشاورزی است (یاراحمدی و همکاران ۱۳۹۹). یاراحمدی و همکاران (۱۳۹۹)، در پژوهشی به تبیین یک مدل مفهومی برای شاخص‌های مؤثر بر اولویت‌بندی محصولات کشاورزی برای ورود به الگوی کشت پرداختند. در این تحقیق از روش تحلیل عامل اکتشافی و فرآیند تحلیل شبکه‌ای استفاده شد. نتایج این تحقیق نشان داد که شاخص‌ها تحت شش عامل فرهنگی و اجتماعی، سیاسی، ملاحظات پدافند غیرعامل، آب، تأثیرات زیست‌محیطی و اقتصادی دسته‌بندی می‌شوند و در این بین هزینه داخلی منابع تولید محصول مهم‌ترین شاخص برای اولویت‌بندی تشخیص داده شد.

اما یکی از روش‌های منعطف، ساده و قوی برای تصمیم‌گیری در شرایطی که معیارهای چندگانه انتخاب بین گزینه‌ها را مشکل می‌نماید، استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) می‌باشد. با توجه به این که این روش امکان فرموله کردن مسئله را به صورت سلسله مراتبی فراهم می‌کند، به عنوان یکی از جامع‌ترین سامانه‌های طراحی شده برای تصمیم‌گیری با معیارهای چندگانه شناخته شده است (شریفی و همکاران ۱۳۹۳، گودرزی ۱۳۹۴). در زمینه استفاده از روش AHP در بخش‌های مختلف علوم در داخل و خارج از کشور مطالعات مختلفی انجام شده است که از جمله می‌توان به مکان‌یابی و اولویت‌بندی مکان دفع بهداشتی مواد زائد جامد (Ma et al., 2005; Hill and Braaten, 2005)، تصمیم‌گیری برای انتخاب ابزار ماشینی (Yurdakul 2004)، رتبه‌بندی تولیدات صنعتی کشور (معصوم‌زاده و تراب زاده ۱۳۸۳)، انتخاب مناسب‌ترین شیوه آبیاری (Karami et al.,

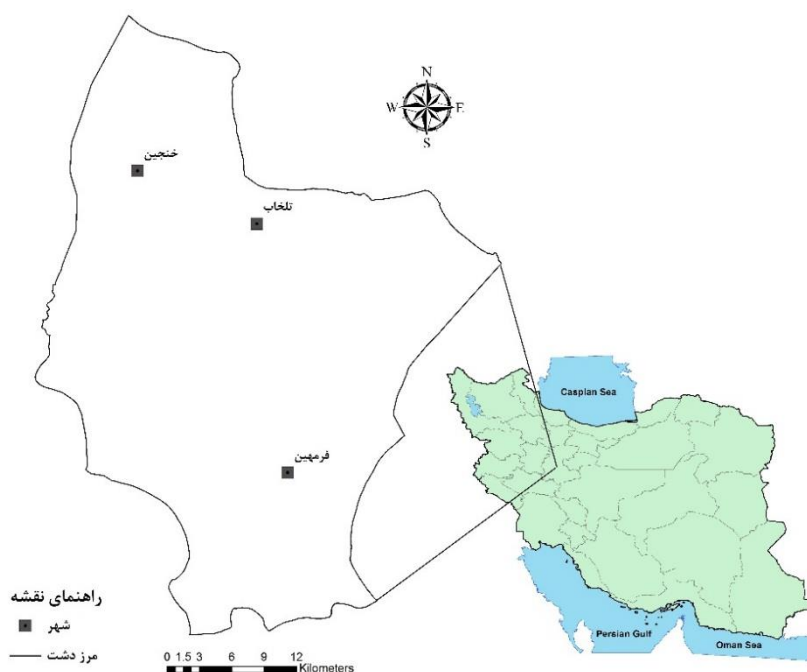
آیش دیم، ۱۴۱۷۰ هکتار اراضی زیر کشت آبی، ۸۰۰۰ هکتار آیش آبی، ۲۵۰۰ هکتار باغات آبی و ۵۰۰ هکتار باغ دیم) است. دشت فراهان با مختصات جغرافیایی "۱۹' ۳۵' ۴۹° تا "۲۷' ۴۷' ۴۹° طول شرقی و "۲۴' ۰۸' ۳۳° تا "۱۹' ۲۴' ۳۴° عرض شمالی، بخش نسبتاً وسیعی از حوضه آبخیز کویر میقان را به خود اختصاص داده است. شیب متوسط منطقه حدود ۱۰/۷ درصد و ارتفاع متوسط آن از سطح دریا ۱۷۵۰ متر است. متوسط بارندگی سالانه و متوسط دمای سالانه منطقه مورد مطالعه به ترتیب معادل ۲۷۰ میلی‌متر و ۱۳/۲ درجه سلسیوس می‌باشد. همچنین، سطح وسیعی از منطقه دارای بافت خاک لومی رسی و لومی رسی سیلتی است. در شکل ۱ موقعیت منطقه مورد مطالعه نشان داده شده است.

پژوهش رتبه‌بندی محصولات قابل کشت در دشت فراهان بر اساس هر یک از این معیارها و نیز در نظر گرفتن هر چهار معیار با استفاده از روش AHP بود.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

دشت فراهان واقع در استان مرکزی دارای چهار دهستان (فرمهین، فشک، خنجین و تلخاب) و ۶۸ پارچه آبادی و دارای دو شهر فرمهین و خنجین است. دشت فراهان از طرف شمال و شرق به شهرستان تفرش و آشتیان، از جنوب به شهرستان اراک و از غرب به شهرستان کمijan محدود می‌شود. مساحت این دشت حدود ۱۴۹۹ کیلومترمربع است که ۵۶۷۳۰ هکتار اراضی منابع طبیعی و ۹۳۱۷۰ هکتار اراضی مستثنیات (۴۱۰۰۰ هکتار اراضی دیم، ۲۷۰۰۰ هکتار



شکل ۱- موقعیت دشت فراهان در استان و کشور

محاسبه شاخص اقتصادی از معادلات زیر استفاده گردید.

$$GB = Y \times P \quad (1)$$

$$NB = GB - TC \quad (2)$$

که در این رابطه GB ارزش ناخالص تولیدی بر حسب ریال در هکتار، Y عملکرد محصول بر حسب کیلوگرم در هکتار، P قیمت هر کیلوگرم محصول بر حسب ریال، CT کل هزینه تولید بر حسب ریال در هکتار و NB سود خالص تولیدی بر حسب ریال در هکتار می‌باشد. به‌منظور تعیین نیاز آبی و نیاز آبیاری محصولات مختلف از روش فائو پنمن مانیتث با استفاده از روابط زیر استفاده گردید (گودرزی ۱۳۹۴).

با توجه به اهمیت شاخص‌های آب، غذا، انرژی و سود اقتصادی در سطح منطقه مورد مطالعه و به‌طور کلی شرایط کشور ایران، از این اهداف به‌عنوان اهداف چندگانه برای اولویت‌بندی محصولات قابل کشت در سطح منطقه استفاده می‌گردد. در این پژوهش، اطلاعات مربوط به سطح زیر کشت، عملکرد محصول، هزینه‌های تولید (شامل هزینه آماده‌سازی زمین، هزینه نهاده‌ها، هزینه نیروی انسانی و هزینه‌های مربوط به برداشت محصول) از داده‌ها و اطلاعات وزارت جهاد کشاورزی، قیمت فروش محصولات از مرکز آمار ایران و آمار و اطلاعات هواشناسی از اداره هواشناسی استان مرکزی اخذ شد. برای

$$ET_0 = \frac{0.408 \Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34u_2)} \quad (3)$$

که در این رابطه ET_0 تبخیر و تعرق پتانسیل (R_n , mm/day) تابش خالص بر روی سطح گیاه (T , MJ/m²/day)، متوسط دمای روزانه در ارتفاع ۲ متری (u_2 , °C)، سرعت باد در ارتفاع ۲ متری (e_s , m/s) فشار بخار اشباع (e_a , kPa)، فشار بخار واقعی (Δ , kPa) شیب منحنی فشار بخار (G , kPa⁰/C) چگالی شار حرارتی (γ ثابت فیزیومتری (kPa⁰/C) می‌باشد. پس از تعیین مقدار تبخیر و تعرق پتانسیل مقدار نیاز آبی گیاه (CWR) توسط نرم‌افزار از رابطه زیر محاسبه می‌گردد:

$$CWR = K_c \times ET_0 \quad (4)$$

که در این رابطه CWR نیاز آبی گیاه (K_c و mm/day) ضریب گیاهی می‌باشد. ضریب K_c به نوع گیاه و مرحله رشد گیاه (مرحله اولیه، مرحله توسعه گیاه، مرحله میانی و مرحله پایانی) بستگی دارد و در این پژوهش از ضرایب گیاهی ارائه شده در نشریه شماره ۵۶ فائو استفاده شد (Allen et al., 1998). به منظور تعیین نیاز آبیاری گیاه (IWR) بایستی مقدار بارش مؤثر (P_e) را تعیین نمود که مقدار آن به صورت زیر محاسبه می‌گردد (USDA, 1967):

$$P_e = P_{tot} \frac{125 - 0.2P_{tot}}{125} \text{ for } P_{tot} < 250 \text{ mm} \quad (5)$$

$$P_e = 125 + 0.1P_{tot} \text{ for } P_{tot} > 250 \text{ mm} \quad (6)$$

که در این رابطه P_e بارش مؤثر (mm) و P_{tot} بارش کل (mm) می‌باشد. بر این اساس به منظور محاسبه نیاز آبیاری از رابطه زیر استفاده می‌شود:

$$IWR = CWR - P_e \quad (7)$$

همچنین برای محاسبه شاخص انرژی مصرفی در تولید محصولات از رابطه کارایی انرژی استفاده گردید. به منظور محاسبه انرژی ورودی و خروجی از هم ارز انرژی نهاده‌ها یا ستانده‌ها (محصول) که در واقع بیان کننده میزان محتوای انرژی می‌باشد که در فرآیند تولید وارد یا خارج می‌شود، استفاده شد. به عنوان مثال هم‌ارز در نظر گرفته شده برای هر ساعت کار انسان برای شرایط کار در مزرعه ۱/۹۶ مگا ژول می‌باشد که معادل با میزان انرژی مصرفی توسط آن‌ها است. هم‌ارز در نظر گرفته شده برای نهاده‌ها نیز از محاسبه میزان انرژی مصرف شده برای تولید هر واحد از آن‌ها به دست می‌آید. به عنوان مثال هم‌ارز در نظر گرفته شده برای هر لیتر گازوئیل ۴۷/۸ مگا ژول می‌باشد (حیدری و همکاران ۱۳۹۲، زمانی و همکاران ۱۳۹۳).

$$\text{کارایی انرژی} = \frac{\text{انرژی خروجی}}{\text{انرژی ورودی}} \quad (8)$$

فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP)

فرآیند تحلیل سلسله مراتبی یکی از معروف‌ترین فنون تصمیم‌گیری چند شاخصه است که توسط توماس ال ساعتی در دهه ۱۹۷۰ ابداع گردید (گودرزی ۱۳۹۴). این روش هنگامی که عمل تصمیم‌گیری با چند گزینه و شاخص تصمیم‌گیری روبرو است، می‌تواند مفید باشد. شاخص‌ها می‌توانند کمی و یا کیفی باشند. اساس این روش بر مقایسات زوجی نهفته است. فرآیند رتبه‌بندی و اولویت‌بندی گزینه‌ها در روش AHP شامل ساخت سلسله مراتبی، مقایسه‌های زوجی، محاسبه وزن نسبی، محاسبه بردار وزن معیارها، محاسبه ماتریس امتیاز انتخاب‌ها، رتبه‌بندی انتخاب‌ها و کنترل نسبت توافق می‌باشد. در مرحله ساخت سلسله مراتبی مسئله تعریف می‌شود و هدف از تصمیم‌گیری به صورت سلسله مراتبی از عوامل و عناصر تشکیل دهنده تصمیم ترسیم می‌شود. فرآیند تحلیل سلسله مراتبی، نیازمند شکستن مسئله تصمیم با چندین شاخص به سلسله مراتبی از سطوح است. بدین منظور از درخت تصمیم استفاده می‌شود که از چهار سطح تشکیل شده است: سطح اول شامل هدف کلی از تصمیم‌گیری می‌باشد. در سطح دوم معیارهای کلی قرار دارند که تصمیم‌گیری بر اساس آن‌ها صورت می‌گیرد. در سطح سوم زیرمعیارها قرار می‌گیرند و در آخرین سطح نیز گزینه‌های تصمیم مطرح می‌شوند (گودرزی ۱۳۹۴). در مرحله بعد خبرگان مقایسه‌هایی را بین معیارها و زیرمعیارهای تصمیم‌گیری انجام داده و امتیاز آن‌ها را نسبت به یکدیگر تعیین می‌کنند. این مقایسه‌ها بر اساس جدول ۱ انجام می‌شود. ارجحیت یک گزینه یا عامل نسبت به خودش مساوی با یک است، لذا اصل معکوس بودن یک عامل نسبت به دیگری و ارجحیت یک برای یک عامل یا گزینه نسبت به خودش، دو خاصیت اصلی ماتریس مقایسه‌ای دوجه‌دویی در فرآیند AHP هستند (شریفی و همکاران ۱۳۹۳، گودرزی ۱۳۹۴). مقایسه معیارها و تعیین وزن نهایی هر یک از معیارها و زیرمعیارها بر اساس پرسشنامه مخصوص تکمیل شده توسط کارشناسان و خبرگان این موضوع، محاسبه گردید.

جدول ۱- تعیین اهمیت نسبی دو معیار

مقدار مؤلفه ajk	تفسیر
۱	ژ و k به یک اندازه دارای اهمیت می‌باشند
۳	ژ کمی مهم‌تر از k می‌باشد
۵	ژ مهم‌تر از k می‌باشد
۷	ژ خیلی از k مهم‌تر می‌باشد
۹	ژ خیلی زیاد از k مهم‌تر می‌باشد

برای محاسبه وزن معیارهای مختلف، در AHP ابتدا ماتریس مقایسه دو دویی (ماتریس A) ایجاد می‌شود. ماتریس A یک ماتریس

همچنین برای همه i ها مؤلفه $b_{ii}^{(i)}$ برابر با ۱ می‌باشد. یک مقیاس مقایسه‌ای مشابه جدول قبلی برای تبدیل ارزیابی دو دویی به عدد استفاده می‌شود. سپس AHP برای هر ماتریس $B^{(i)}$ فرآیند دومرحله‌ای مشابه آنچه برای مقایسه دودویی ماتریس A بیان شد، به کار می‌برد. بدین معنی که هر مؤلفه ورودی به مجموع ورودی‌های همان ستون تقسیم می‌شود و سپس متوسط هر مؤلفه در یک ردیف محاسبه می‌گردد. بنابراین بردارهای امتیاز $S^{(i)}$ که در آن $j=1, \dots, m$ می‌باشد، به دست می‌آید. بردار $S^{(i)}$ شامل امتیازهای گزینه‌های ارزیابی شده نسبت به معیار z ام می‌باشد. نهایتاً، ماتریس امتیاز S به شکل زیر به دست می‌آید:

$$S = [S^{(1)} \dots S^{(m)}] \quad (13)$$

در این رابطه ستون z ام از S برابر با $S^{(i)}$ می‌باشد (گودرزی ۱۳۹۴). بعد از اینکه بردار w و ماتریس S محاسبه شدند، فرآیند سلسله مراتبی یک بردار V از حاصل ضرب بردارهای S و w به صورت زیر محاسبه می‌نماید:

$$V = S.w \quad (14)$$

مؤلفه i ام بردار V امتیاز نهایی به دست آمده توسط AHP برای گزینه i ام می‌باشد. به عنوان آخرین گام، فرآیند رتبه‌بندی با مرتب کردن امتیازها از کم به زیاد، انجام می‌پذیرد.

وقتی که تعداد زیادی مقایسه دو دویی انجام می‌شود، ممکن است یکسری عدم توافق ایجاد گردد. برای این منظور در روش AHP یک روش مناسب برای به وجود آمدن توافق در زمان ساخت هر یک از ماتریس‌ها، ارائه داده است. این روش مبتنی بر محاسبه یک شاخص توافق (CI) مناسب انجام می‌شود. شاخص CI ابتدا با محاسبه مقدار اسکالر x که برابر با میانگین مؤلفه‌های برداری که مؤلفه z ام آن برابر با نسبت مؤلفه z ام بردار $A.w$ به مؤلفه معادل بردار w می‌باشد محاسبه می‌گردد. سپس شاخص CI از رابطه زیر به دست می‌آید (گودرزی ۱۳۹۴).

$$CI = \frac{x-m}{m-1} \quad (15)$$

در صورتی که بهترین انتخاب‌ها انجام شود در این صورت مقدار $CI=0$ می‌شود، باین حال عدم توافق‌های کم قابل قبول می‌باشد. به‌ویژه اگر رابطه زیر برقرار باشد:

$$CR = \frac{CI}{RI} < 0.1 \quad (16)$$

در این حالت عدم توافق قابل قبول می‌باشد و نتایج قابل قبولی از AHP به دست می‌آید. در رابطه فوق CR نسبت توافق و RI شاخص تصادفی است. شاخص RI یک ماتریس مقایسه دو دویی است که به صورت توافقی ایجاد شده است. نسبت توافقی CR به صورتی طراحی می‌شود که اگر $CR < 0.1$ باشد، سطح قابل قبول توافق را در مقایسه‌های دودویی نشان می‌دهد، اما اگر $CR \geq 1$ باشد، نشان‌دهنده

واقعی $m \times m$ که در آن m تعداد معیارهای ارزیابی در نظر گرفته شده می‌باشد. هر مؤلفه ajk از ماتریس نشان‌دهنده میزان اهمیت معیار z ام نسبت به معیار k ام می‌باشد. اگر $ajk > 1$ باشد در این صورت معیار z ام مهم‌تر از معیار k ام است و در صورتی که $ajk < 1$ باشد معیار z ام نسبت به k ام اهمیت کمتری دارد. اگر اهمیت دو معیار مساوی باشد در این صورت مقدار مؤلفه ajk برابر با ۱ می‌شود. به‌طور کلی مؤلفه‌های ورودی ajk و akj بایستی در رابطه زیر صدق کنند (گودرزی ۱۳۹۴).

$$ajk.akj=1 \quad (9)$$

مسلماً برای همه z ها مؤلفه $ajz=1$ می‌باشد. اهمیت نسبی دو معیار نسبت به هم بر اساس یک مقیاس عددی از ۱ تا ۹ مطابق جدول ۱ که در آن فرض می‌شود که z امین معیار از معیار k ام مهم‌تر و یا از اهمیت یکسانی برخوردار می‌باشند، محاسبه می‌شوند. موارد ارائه شده در جدول به‌عنوان پیشنهاد می‌باشند و می‌توان با توجه به شرایط آن‌ها را تغییر داد. بعد از اینکه ماتریس A ساخته شد، می‌توان ماتریس مقایسه دو دویی را نرمال نمود که این کار با مساوی ۱ قرار دادن مجموع مؤلفه‌های یک ستون و از رابطه زیر هر مؤلفه ماتریس نرمال A_{norm} که به صورت \bar{a}_{jk} نشان داده می‌شود، محاسبه می‌گردد.

$$\bar{a}_{jk} = \frac{a_{jk}}{\sum_{i=1}^m a_{ik}} \quad (10)$$

نهایتاً بردار وزن معیارها (w) که یک بردار ستونی m بعدی می‌باشد، با میانگین‌گیری از مؤلفه‌های ماتریس نرمال با استفاده از رابطه زیر ایجاد می‌گردد.

$$w_j = \frac{\sum_{i=1}^m \bar{a}_{ji}}{m} \quad (11)$$

ماتریس امتیاز انتخاب‌ها (S) یک ماتریس واقعی $n \times m$ می‌باشد. هر مؤلفه ورودی S_{ij} از ماتریس S نشان‌دهنده امتیاز یا نمره انتخاب i ام نسبت به معیار z ام می‌باشد. به‌منظور ایجاد این امتیازها، یک ماتریس مقایسه دو دویی به نام $B^{(i)}$ که در آن $j=1, \dots, m$ است، برای هر یک از m معیار موجود ایجاد می‌شود. ماتریس $B^{(i)}$ یک ماتریس $n \times n$ که در آن n تعداد گزینه‌های مورد ارزیابی است، می‌باشد. هر مؤلفه ورودی $b_{ih}^{(i)}$ از ماتریس $B^{(i)}$ نشان‌دهنده ارزیابی i امین گزینه انتخابی در مقایسه با گزینه h ام نسبت به z امین معیار می‌باشد. اگر $b_{ih}^{(i)} > 1$ باشد، آنگاه گزینه i ام بهتر از گزینه h ام است و در صورتی که $b_{ih}^{(i)} < 1$ باشد، در این صورت گزینه i ام بدتر از گزینه h ام می‌باشد. اگر دو گزینه نسبت به معیار ارزیابی z ام یکسان باشند در این صورت $b_{ih}^{(i)}$ برابر با ۱ می‌شود. به‌طور کلی مؤلفه‌های $b_{ih}^{(i)}$ و $b_{hi}^{(i)}$ بایستی در رابطه زیر صدق کنند:

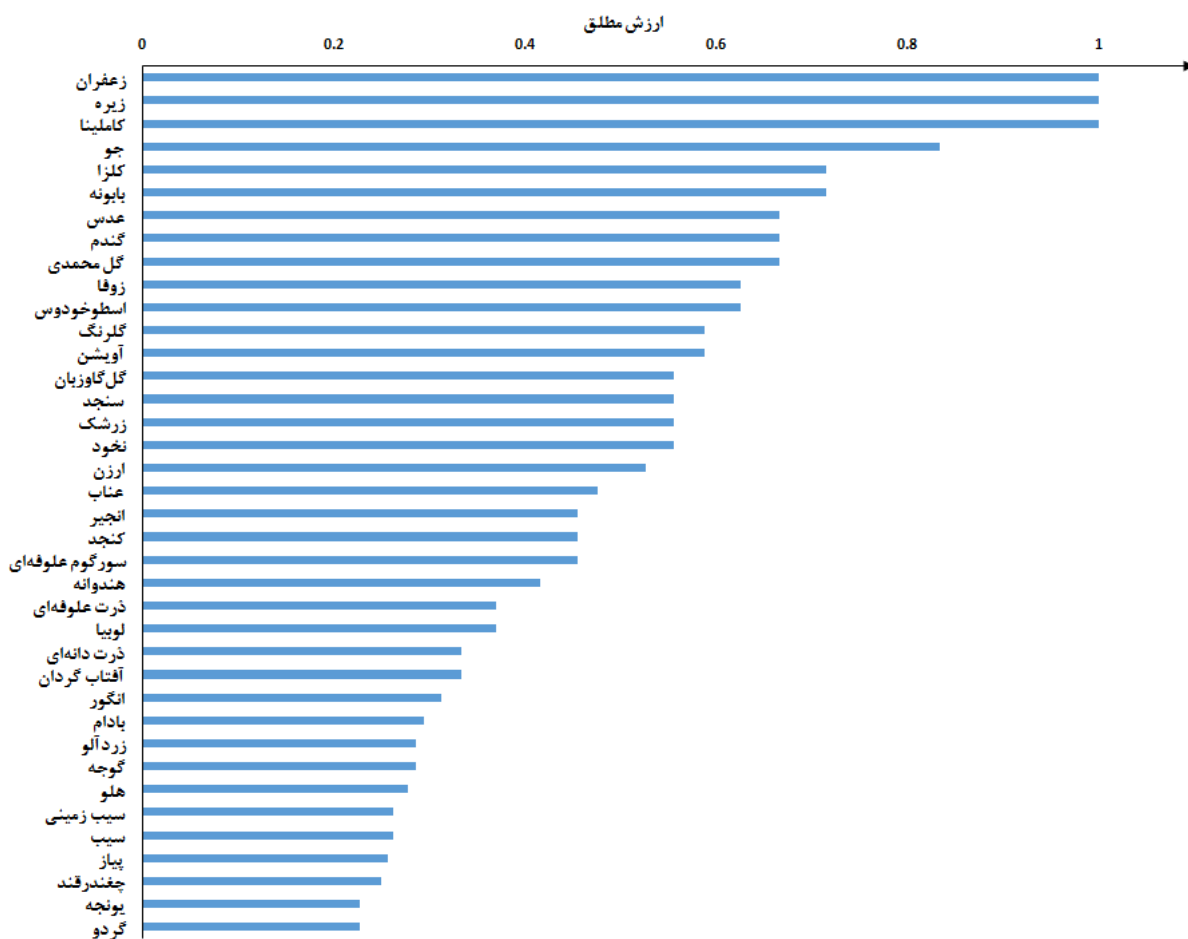
$$b_{ih}^{(i)}.b_{hi}^{(i)}=1 \quad (12)$$

کاملینا از لحاظ مصرف آب کمترین نیاز آبی و مصرف آب را دارند و سه محصول گردو، یونجه و چغندر قند بیشترین نیاز آبی و مصرف آب را دارا می‌باشند. در شکل ۲ ارزش نهایی هر یک از محصولات در مقایسه زوجی و رتبه‌بندی محصولات از لحاظ معیار آب مصرفی نشان داده شده است. نرخ ناسازگاری در تحلیل این معیار ۰/۰۱ به دست آمد که در حد قابل قبول است.

قضاوت‌های ناسازگار می‌باشد. در چنین مواردی باید در مقادیر اصلی ماتریس مقایسه دودویی تجدیدنظر نمود و آن را اصلاح کرد (گودرزی ۱۳۹۴).

نتایج و بحث

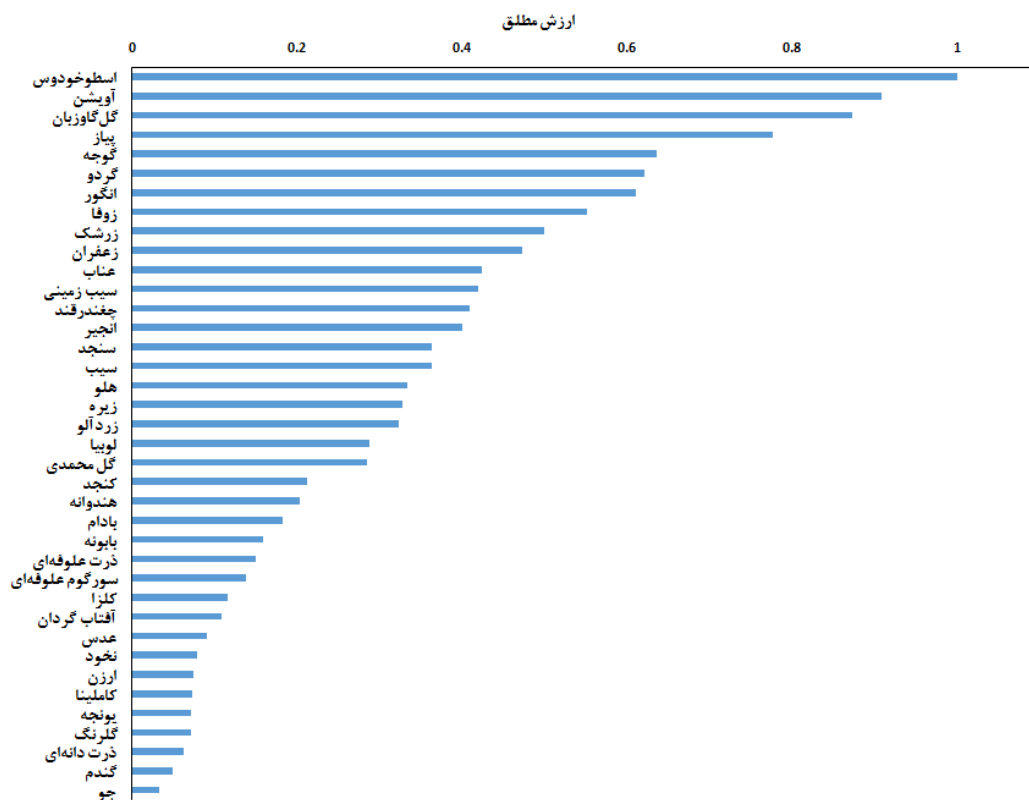
نتایج مقایسه محصولات قابل کشت در دشت فراهان بر اساس معیار آب مصرفی حاکی از آن است که سه محصول زعفران، زیره و



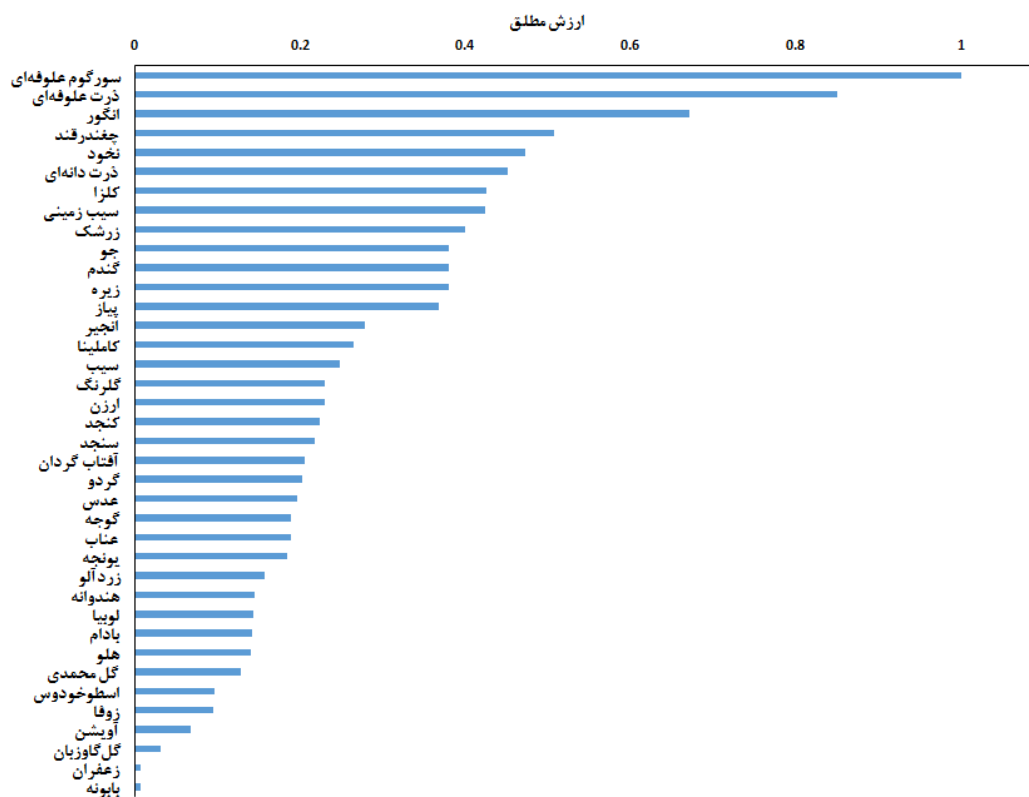
شکل ۲- اولویت‌بندی محصولات قابل کشت در دشت فراهان بر اساس معیار آب مصرفی

درآمدزایی، جایگاه مناسبی ندارند. در شکل ۳ ارزش نهایی هر یک از محصولات در مقایسه زوجی و رتبه‌بندی محصولات از لحاظ معیار سود اقتصادی نشان داده شده است. نرخ ناسازگاری در تحلیل این معیار ۰/۰۳ به دست آمد که در حد قابل قبول است.

نتایج مقایسه محصولات قابل کشت در دشت فراهان از لحاظ درآمدزایی و سود اقتصادی حاکی از این است که سه محصول اسطوخودوس، آویشن و گل‌گاوزبان از لحاظ سود خالص اقتصادی از مناسب‌ترین جایگاه در دشت فراهان دارای بیشترین سود اقتصادی بوده و برعکس سه محصول جو، گندم و ذرت دانه‌ای از لحاظ



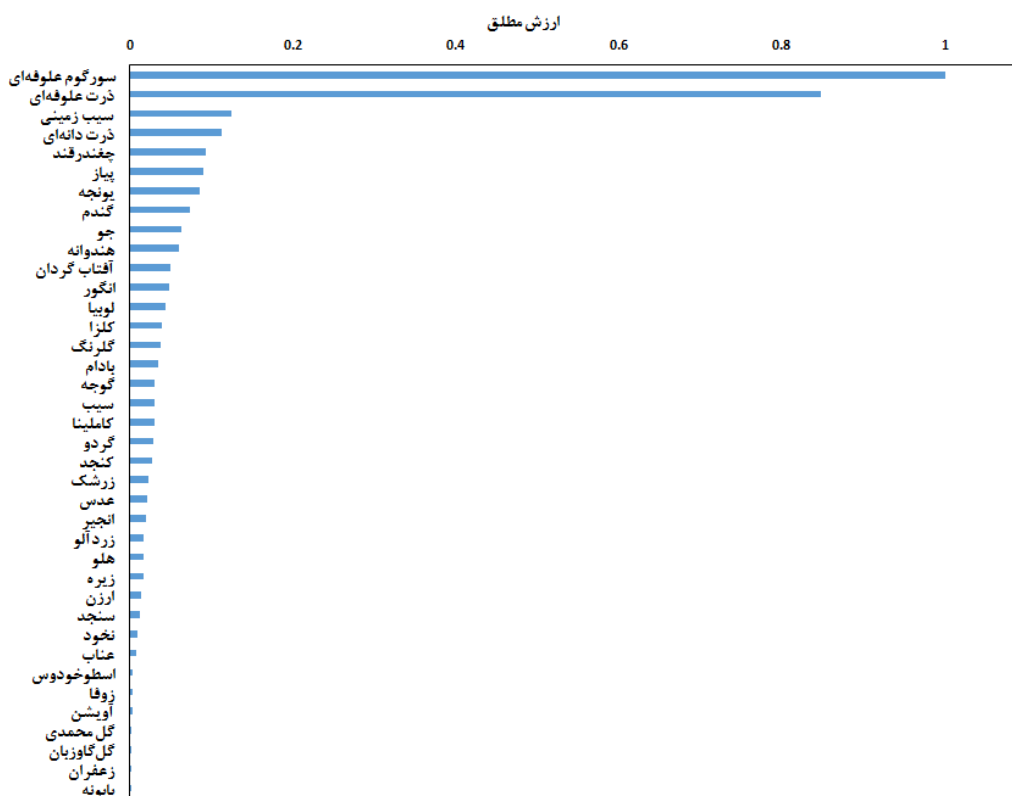
شکل ۳- اولویت‌بندی محصولات قابل کشت در دشت فراهان بر اساس معیار سود اقتصادی



شکل ۴- اولویت‌بندی محصولات قابل کشت در دشت فراهان بر اساس معیار کارایی انرژی

نتایج مقایسه محصولات قابل کشت در دشت فراهان از لحاظ میزان کالری تولیدی محصول حاکی از این است که سه محصول سورگوم علوفه‌ای، سیب‌زمینی و ذرت علوفه‌ای بیشترین کالری را تولید می‌نمایند و در مقابل سه محصول بابونه، زعفران و گل‌گاوزبان کمترین کالری را تولید می‌نمایند. در شکل ۵ ارزش نهایی هر یک از محصولات در مقایسه زوجی و رتبه‌بندی محصولات از لحاظ معیار کالری تولیدی نشان داده شده است. نرخ ناسازگاری در تحلیل این معیار ۰/۰۱ به دست آمد که در حد قابل قبول است.

نتایج مقایسه محصولات قابل کشت در دشت فراهان از لحاظ میزان انرژی مصرفی در تولید محصول حاکی از این است که سه محصول سورگوم علوفه‌ای، ذرت علوفه‌ای و انگور بیشترین کارایی انرژی را برای تولید محصول دارند و در مقابل سه بابونه، زعفران و گل‌گاوزبان کمترین کارایی انرژی را برای تولید محصول دارند. در شکل ۴ ارزش نهایی هر یک از محصولات در مقایسه زوجی و رتبه‌بندی محصولات از لحاظ معیار کارایی انرژی نشان داده شده است. نرخ ناسازگاری در تحلیل این معیار ۰/۰۲ به دست آمد که در حد قابل قبول است.



شکل ۵- اولویت‌بندی محصولات قابل کشت در دشت فراهان بر اساس معیار کالری تولیدی

موجود و در نظر گرفتن محصولات جایگزین انجام شد. در جدول ۲ ضریب اهمیت معیارهای چندانگانه آب، غذا، انرژی و سود اقتصادی و نسبت توافق (CR) برای هر یک از معیارها در ساختار AHP برای اولویت‌بندی محصولات قابل کشت در دشت فراهان ارائه شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود معیار سود اقتصادی با وزن ۰/۳۵ و بعد از آن آب مصرفی با وزن ۰/۳۱ مهم‌ترین عوامل در اولویت‌بندی محصولات قابل کشت در دشت فراهان می‌باشند. مقدار نسبت توافق در تمامی معیارها و زیرمعیارها کمتر از ۰/۱ بود که نشان‌دهنده سطح توافق قابل قبول در تحلیل‌ها می‌باشد.

نتایج اولویت‌بندی محصولات قابل کشت در دشت فراهان بر اساس معیارهای آب مصرفی، سود اقتصادی، انرژی مصرفی و کالری غذایی تولیدی نشان داد که هر یک از این معیارها اولویت کشت متفاوتی برای محصولات ارائه می‌دهند. لذا، نتایج این بخش به مدیران و برنامه‌ریزان کمک می‌کند که با توجه به شرایط، اهداف و سیاست‌های کلان از هر کدام از این معیارها برای در اولویت قرار دادن کشت محصولات استفاده نمایند.

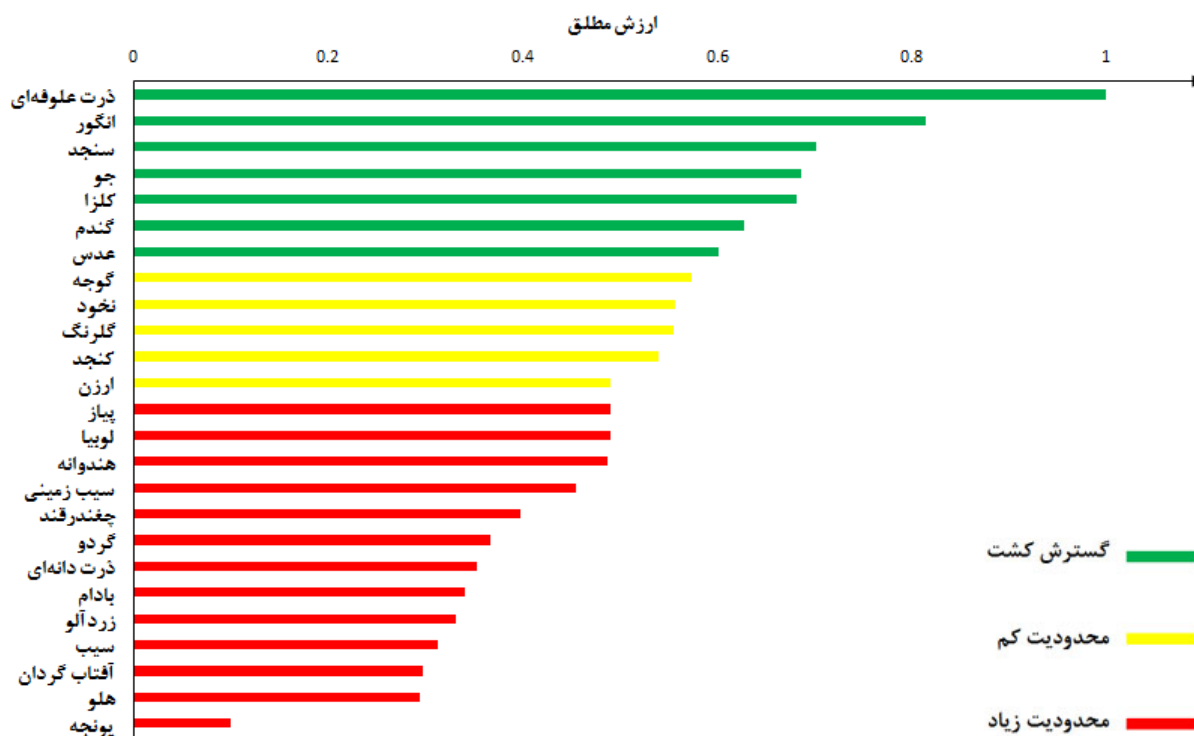
همچنین، اولویت‌بندی کشت محصولات بر اساس چهار معیار آب مصرفی، کالری تولیدی، سود اقتصادی و کارایی انرژی با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی برای دو حالت شرایط الگوی کشت

جدول ۲- وزن معیارها و نرخ سازگاری در ساختار AHP

هدف	معیار	وزن	CR
اولویت‌بندی محصولات قابل کشت	آب مصرفی	۰/۳۱	
	سود اقتصادی	۰/۳۵	
	کارایی انرژی	۰/۱۰	۰/۰۳
	کالری تولیدی	۰/۲۴	

سورگوم علوفه‌ای، اسطوخودوس، آویشن، زعفران، گل‌گاوزبان و ذرت علوفه‌ای بیشترین بهره‌وری را از لحاظ چهار شاخص آب مصرفی، سود اقتصادی، انرژی مصرفی و کالری تولیدی دارند و در مقابل محصول یونجه، هلو، آفتاب‌گردان، سیب و زردآلو کمترین بهره‌وری را دارا می‌باشند؛ بنابراین، برنامه‌ریزی‌های بخش اجرا برای اصلاح الگوی کشت در این منطقه بایستی به گونه‌ای هدف‌گذاری گردد تا شرایط برای گسترش کشت محصولاتی که در شکل ۶ و ۷ با رنگ سبز نشان داده شده‌اند بیش از پیش فراهم گردد و از طرفی محدودیت‌های بیشتری برای کشت محصولاتی که با رنگ قرمز مشخص شده‌اند در نظر گرفته شود.

نتایج اولویت‌بندی ترکیبی الگوی کشت بر اساس معیارهای چهارگانه در شکل ۶ و ۷ نشان داده شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌گردد، در حالتی که فقط محصولات کنونی موجود در الگوی کشت در نظر گرفته شود محصول ذرت علوفه‌ای، انگور، سنجد، جو، کلزا، گندم و عدس بیشترین بهره‌وری را از لحاظ چهار شاخص آب مصرفی، سود اقتصادی، انرژی مصرفی و کالری تولیدی دارند و در مقابل محصول یونجه، هلو، آفتاب‌گردان، سیب و زردآلو کمترین بهره‌وری را دارا می‌باشند. در حالتی که علاوه بر محصولات موجود محصولات جایگزین پیشنهادی نیز برای الگوی کشت در نظر گرفته شوند، محصول



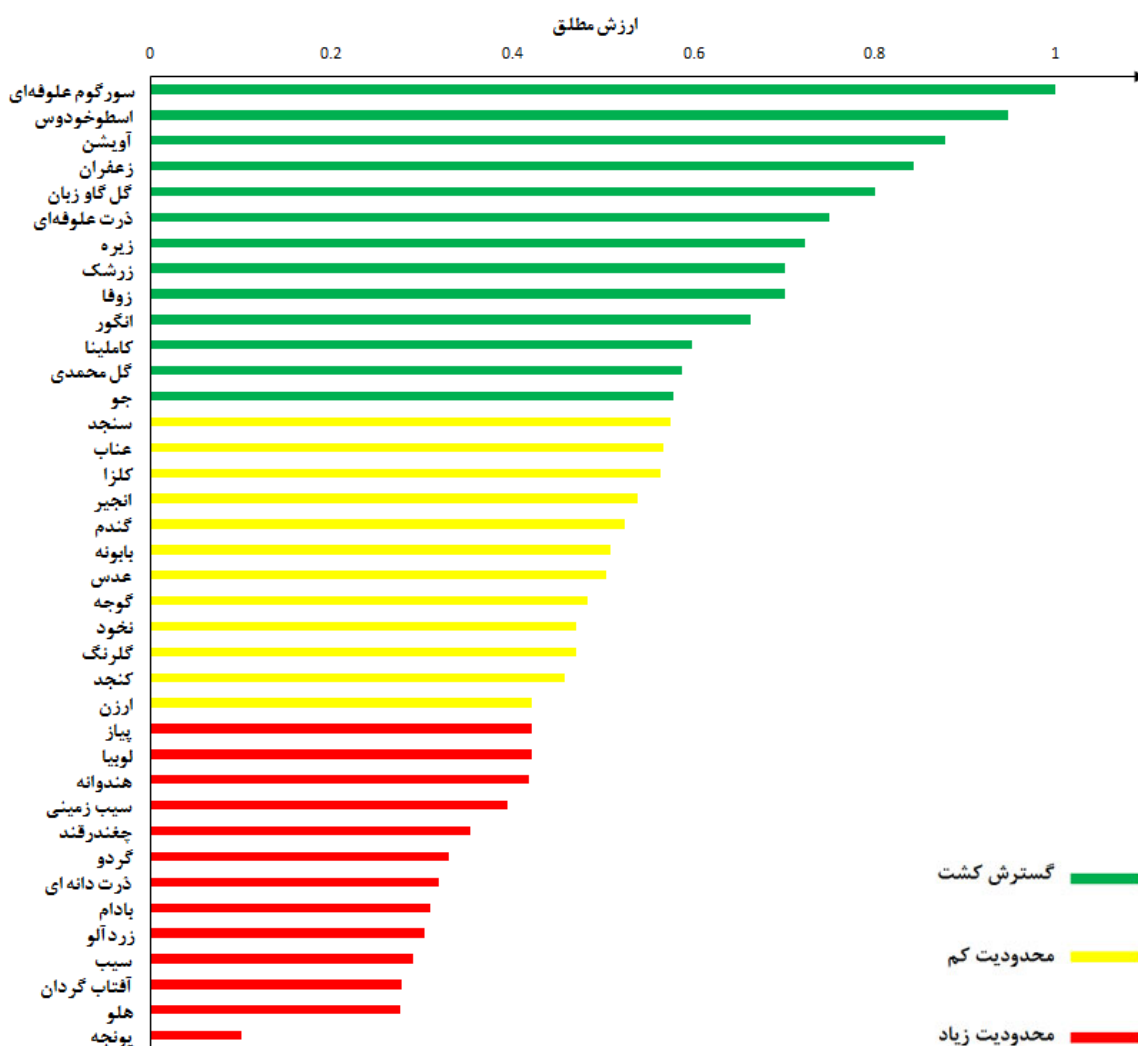
شکل ۶- اولویت‌بندی محصولات قابل کشت در دشت فراهان بر اساس معیارهای چندگانه برای الگوی کشت موجود

روش AHP برای اولویت‌بندی کشت محصولات و بهینه‌سازی الگوی کشت توسط سایر محققان از جمله تحقیقات انجام‌شده توسط محمدیان و همکاران (۱۳۸۸)، محمدیان و همکاران (۱۳۸۹)، روستا و

نتایج این پژوهش نشان داد که مدل AHP قابلیت بسیار خوبی در رتبه‌بندی محصولات قابل کشت در سطح منطقه مورد مطالعه دارد. این نتایج، با نتایج سایر تحقیقات انجام شده در زمینه استفاده از

Hassani et al. (۱۳۹۳)، نخعی و همکاران (۱۳۹۵)، حسنی و همکاران (۱۳۹۵) و همکاران (۱۳۹۳) و همکاران (۱۳۹۹)، همخوانی دارد.

همکاران (۱۳۹۱)، آقا و همکاران (Agha et al., 2012)، منتظر و غفاری (Montazar and Gaffari, 2012)، شریفی و همکاران



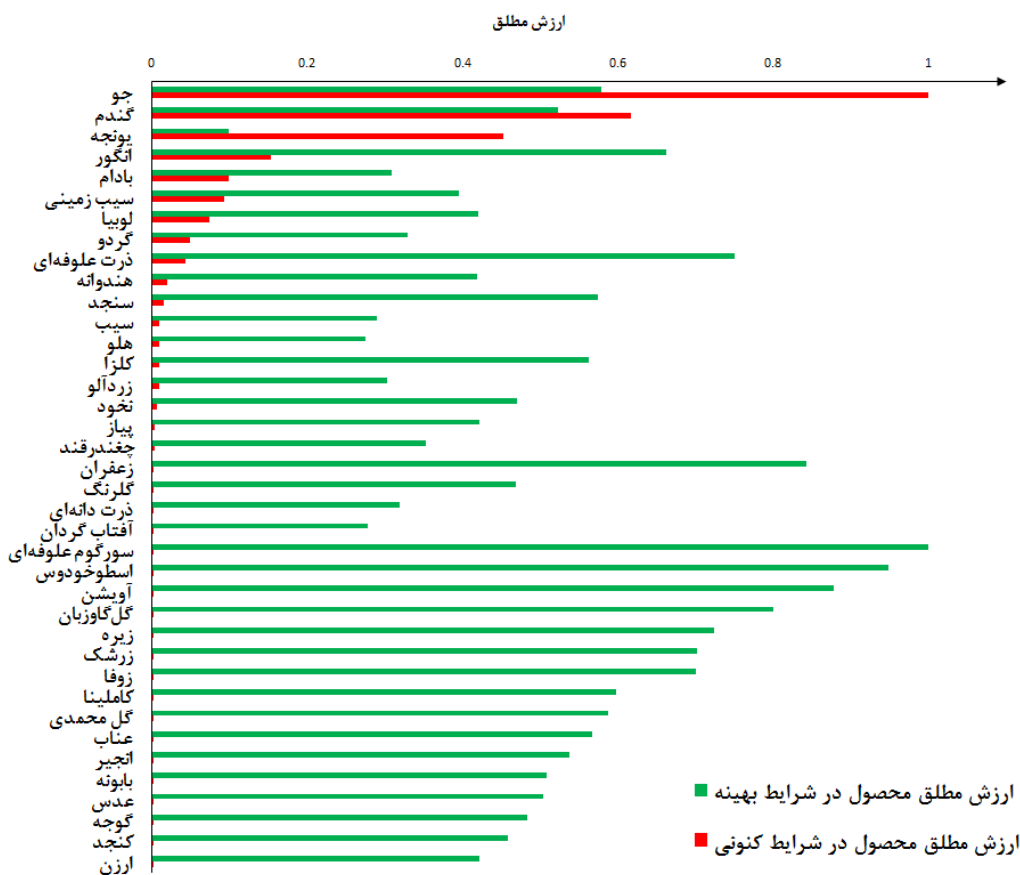
شکل ۷- اولویت‌بندی ترکیبی محصولات قابل کشت در دشت فراهان بر اساس معیارهای چندگانه برای الگوی کشت موجود همراه با محصولات جایگزین

مناسبتی نداشته و در عوض محصولاتی که وضعیت بهتری در شاخص‌های چهارگانه دارا می‌باشند در الگوی کشت فعلی جایگاهی ندارند؛ بنابراین، همان‌طور که ملاحظه می‌گردد الگوی کشت کنونی در منطقه الگوی کشت مناسبی نبوده و با الگوی کشت بهینه فاصله زیادی دارد و لزوم اصلاح الگوی کشت و ترویج کشت محصولات با اولویت بالاتر بر اساس شاخص‌های چهارگانه آب، غذا، انرژی و سود اقتصادی، بیش از پیش احساس می‌گردد و بایستی در دستور کار مدیران اجرایی قرار گیرد.

در جدول ۳ وضعیت سطح زیر کشت محصولات موجود در الگوی کشت کنونی در دشت فراهان ارائه شده است. همچنین، در شکل ۸ رتبه‌بندی محصولات در الگوی کشت فعلی با الگوی کشت بهینه بر اساس معیارهای چهارگانه آب، غذا، انرژی و سود اقتصادی نشان داده شده است. در الگوی کشت فعلی جو، گندم و یونجه بیشترین سطح زیر کشت را داشته و اولویت اول کشت در سطح منطقه محسوب می‌شوند و بیش از ۶۷ درصد از منابع آب مصرفی در سطح دشت را به خود اختصاص می‌دهند. این در حالی است که بر اساس رتبه‌بندی محصولات بر اساس معیارهای چهارگانه این محصولات جایگاه

جدول ۳- وضعیت سطح زیر کشت و مصرف آب محصولات کشت شده در دشت فراهان در الگوی کشت موجود

محصول	سطح زیر کشت (هکتار)	درصد سطح زیر کشت	نیاز آبیاری (میلی‌متر)	سهم آب مصرفی (درصد)	محصول	سطح زیر کشت (هکتار)	درصد سطح زیر کشت	نیاز آبیاری (میلی‌متر)	سهم آب مصرفی (درصد)
یونجه	۲۲۰۷	۱۶/۹	۸۵۱/۳	۳۲/۷	سنجد	۷۴/۴	۰/۶	۳۵۰	۰/۵
جو	۴۸۶۸	۳۷/۲	۲۲۷	۱۹/۳	چغندر قند	۲۰	۰/۲	۷۷۱/۶	۰/۳
گندم	۳۰۰۰	۲۲/۹	۲۹۵/۸	۱۵/۵	پياز	۲۰	۰/۲	۷۷۰/۲	۰/۳
انگور	۷۴۵	۵/۷	۶۱۴/۹	۸	نخود	۳۷	۰/۳	۳۵۶/۸	۰/۲
سیب‌زمینی	۴۵۵	۳/۵	۷۳۳/۴	۵/۸	کلزا	۴۶	۰/۴	۲۷۸/۵	۰/۲
بادام	۴۸۴/۶	۳/۷	۶۵۴/۴	۵/۵	آفتاب‌گردان	۱۰	۰/۱	۵۹۰/۶	۰/۱
گردو	۲۴۲/۷	۱/۹	۸۵۲/۴	۳/۶	ذرت دانه‌ای	۱۰	۰/۱	۵۸۶/۹	۰/۱
لوبیا	۳۵۹	۲/۷	۵۲۰/۱	۳/۳	زعفران	۱۴	۰/۱	۱۹۵	۰/۱
ذرت علوفه‌ای	۲۰۹	۱/۶	۵۱۷/۳	۱/۹	گل‌رنج	۱۰	۰/۱	۳۲۹/۵	۰/۱
هندوانه	۱۰۰	۰/۸	۴۷۵/۳	۰/۸	گل محمدی	۷/۵	۰/۱	۳۰۰	۰/۱
سیب	۴۸/۶	۰/۴	۷۳۸/۵	۰/۶	کنجد	۵	.	۴۱۹/۴	.
هلو	۴۸	۰/۴	۷۰۹/۸	۰/۶	ارزن	۵	.	۳۸۰	.
زردآلو	۴۴/۹	۰/۳	۶۷۳/۱	۰/۵	گوجه	۲	.	۶۷۴/۳	.
عدس	۱	.	۲۸۵/۹	.	سورگوم علوفه‌ای	۱	.	۴۳۰	.



شکل ۸- مقایسه رتبه‌بندی محصولات در الگوی کشت فعلی با الگوی کشت بهینه بر اساس معیارهای چهارگانه

نتیجه گیری

در این پژوهش به اولویت بندی محصولات قابل کشت که می تواند زمینه لازم برای اجرای الگوی کشت بهینه در دشت ها را فراهم نماید، پرداخته شد. اولویت بندی کشت محصولات بر اساس معیارهای چهارگانه ذکر شده در این پژوهش زمینه را برای اجرای تدریجی الگوی کشت بهینه در سطح دشت ها فراهم می نماید. لذا، با توجه به نتایج به دست آمده در این پژوهش، پیشنهاد می گردد که از روش های تصمیم گیری چند معیاره برای اولویت بندی محصولات قابل کشت و انتخاب الگوی کشت بهینه استفاده گردد و از نتایج آن در سیاست گذاری های کلی ترویج الگوی کشت بهینه استفاده شود. با توجه به نتایج این پژوهش، مشخص گردید که الگوی کشت فعلی در منطقه مورد مطالعه الگوی کشت قابل قبولی نمی باشد و لزوم توجه به اصلاح الگوی کشت بر اساس معیارهای آب مصرفی، کالری تولیدی، سود اقتصادی و کارایی انرژی و اولویت بندی کشت محصولات بر اساس این معیارها بایستی در دستور کار مدیران بخش اجرا و جامعه کشاورزان قرار گیرد. برنامه ریزی های بخش اجرا برای اصلاح الگوی کشت در دشت فراهان بایستی به گونه ای هدف گذاری گردد تا شرایط برای گسترش کشت محصولاتی که در شاخص های چهارگانه دارای اولویت تشخیص داده شده اند بیش از پیش فراهم گردد و از طرفی محدودیت های بیشتری برای کشت محصولاتی که با فاقد اولویت برای منطقه می باشند، در نظر گرفته شود. برای مقبولیت هرچه بیشتر اولویت بندی ارائه شده در این پژوهش برای کشاورزان منطقه و تشویق کشاورزان به کشت محصولات دارای اولویت پرداخت بارانه، ارائه تسهیلات کم بهره، تأمین نهاده های لازم، وجود برنامه خرید تضمینی کارآمد، ایجاد صنایع تبدیلی مرتبط و برگزاری دوره های آموزشی ترویجی پیشنهاد می گردد.

منابع

بابا زاده، ر. و اکبری، ع. ۱۳۹۶. رتبه بندی کشت محصولات کشاورزی و باغی استان آذربایجان غربی با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی. اولین کنفرانس بین المللی بهینه سازی سیستم ها و مدیریت کسب و کار، بابل.

حسن پناه، د.، نیکشاد، خ.، سوی، ع. و کربلایی خیاوی، ح. ۱۳۹۴. برنامه بهینه سازی الگوی کشت محصولات زراعی و باغی استان اردبیل. نشریه فنی شماره ۳۸، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی.

حیدری، م.، یوسفی، ع.، رستمی، ف. و حسینی صدیق، م. ۱۳۹۹. پهنه بندی آگروکلیمایی کشت زعفران در استان همدان رهیافتی برای تغییر الگوی کشت. جغرافیا و برنامه ریزی محیطی. ۷۶ (۴):

۹۹-۱۱۴

حیدری، م.د.، امید، م.، اکرم، ا.، مبلی، ح. و رجایی فر، م.ع. ۱۳۹۲. مصرف انرژی در محصولات کشاورزی و دامی ایران: مطالعه مروری. هشتمین کنگره ملی مهندسی ماشین های کشاورزی (بیوسیستم) و مکانیزاسیون ایران، مشهد.

روستا، ک.، تیموری، م. و فلکی، م. ۱۳۹۱. اولویت بندی کشت محصولات زراعی شهرستان بیرجند با استفاده از تکنیک AHP. اقتصاد کشاورزی و توسعه. ۷۹ (۳): ۶۵-۴۷.

زمانی، ا.، قادر زاده، ح. و مرتضوی، ا. ۱۳۹۳. تعیین الگوی کشت با تأکید بر مصرف بهینه انرژی و کشاورزی پایدار "مطالعه موردی شهرستان سقز استان کردستان". نشریه دانش کشاورزی و تولید پایدار. ۲۴ (۱): ۳۳-۳۱.

شریفی، م.، اکرم، ا.، رفیعی، ش. و سبزه پرور، م. ۱۳۹۳. اولویت بندی کشت محصولات استراتژیک زراعی استان البرز با استفاده از روش دلفی فازی و فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP). نشریه ماشین های کشاورزی. ۴ (۱): ۱۲۴-۱۱۶.

فتاحی، م.م.، مهدوی، ر.، رضایی، م. و اسماعیل پور، ی. ۱۳۹۹. تعیین الگوی بهینه کشت گیاهان دارویی با استفاده از مدل ترکیبی TOPSIS-AHP (مطالعه موردی: استان قم). تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران. ۳۶ (۶): ۸۹۷-۸۸۵.

گودرزی، م. ۱۳۹۴. بررسی اثرات تغییر اقلیم بر منابع آب زیرزمینی با استفاده از تلفیق مدل MODFLOW و روش Thornthwaite and Mather. رساله دکتری مهندسی آب، دانشگاه صنعتی اصفهان.

گودرزی، م.، عابدی کوپائی، ج.، حیدر پور، م. و صفوی، ح. ۱۳۹۴. آنالیز اثرات پارامترهای مختلف بر تغذیه آب های زیرزمینی با استفاده از یک روش هیبریدی. مجله علوم و فنون کشاورزی، علوم آب و خاک. ۱۹ (۷۳): ۲۹۸-۲۸۷.

محمدیان، ف.، شاهنوشی، ن.، قربانی، م. و عاقل، ح. ۱۳۸۸. انتخاب الگوی کشت بالقوه محصولات زراعی بر اساس روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) (مطالعه موردی: دشت تربت جام). دانش کشاورزی پایدار. ۱۹ (۱): ۱۸۷-۱۷۱.

محمدیان، ف.، شاهنوشی، ن.، قربانی، م. و عاقل، ح. ۱۳۸۹. تدوین الگوی زراعی پایدار در دشت فریمان- تربت جام. مجله اقتصاد کشاورزی. ۴ (۲): ۴-۱.

محمدیان، ف.، علیزاده، ا.، نیریزی، س. و عربی، ا. ۱۳۸۷. طراحی الگوی زراعی پایدار با تأکید بر مبادله مجازی (مطالعه موردی: دشت فریمان). مجله آبیاری و زهکشی ایران. ۲ (۱): ۱۲۶-۱۰۹. مرادی، م.، شکیبایی فرد، ز. و شعبانعلی فمی، ح. ۱۳۹۶. اولویت بندی کشت محصولات کشاورزی در شهرستان کرمانشاه با استفاده از

- decision analysis in spatial decision support: the ASSESS analytic hierarchy process and the role of quantitative methods and spatially explicit analysis. *Environmental Modeling and Software*. 20: 955-976.
- Karami, E. 2003. Appropriateness of farmer's adoption of irrigation methods: The application of the AHP model. *Agricultural Systems*. 87: 101-119.
- Ma, J. G., Scott, N. R., DeGloria, S. D. and Lembo, A. J. 2005. Siting analysis of farm-based centralized anaerobic digester systems for distributed generation using GIS. *Biomass and Bioenergy*. 28: 591-600.
- Montazar, A. and Gaffari, A. 2012. An AHP model for crop planning within irrigation command areas. *Irrigation and Drainage*. 61(2): 168-177.
- Rahman, R. and Saha, S.K. 2008. Remote sensing, spatial multi criteria evaluation (SMCE) and analytical hierarchy process (AHP) in optimal cropping pattern planning for a flood prone area. *Journal of Spatial Science*. 53(2): 161-177.
- Singha, C., Swain, K.C. and Swain, S.K. 2020. Best crop rotation selection with GIS-AHP technique using soil nutrient variability. *Agriculture*. 10(6): 1-18.
- Trigoso, L.D., Salas López, R., Rojas Briceño, N.B., Silva López, J.O., Gómez Fernández, D., Oliva, M., Quiñones Huatangari, L., Terrones Murga, R.E., Barboza Castillo, E. and Barrena Gurbillón, M.Á. 2020. Land suitability analysis for potato crop in the Jucusbamba and Tincas Microwatersheds (Amazonas, NW Peru): AHP and RS-GIS approach. *Agronomy*. 10(12): 1-18.
- USDA. 1967. Irrigation water requirements. Tech. Release No. 21, United States Dept. of Agr., Soil Manage. 59:67-75.
- Yurdakul, M. 2004. AHP as a strategic decision-making tool to justify machine tool selection. *Materials Processing Technology*. 146: 365-376.
- فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP). سومین همایش ملی مدیریت آب در مزرعه (تقاضامحوری آب)، کرج.
- معصوم زاده، م. و تراب‌زاده، ا. ۱۳۸۳. رتبه‌بندی تولیدات صنعتی کشور به روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP). پژوهشنامه بازرگانی. ۸ (۳۰): ۶۹-۸۳.
- موسوی، ا.، سرمیدیان، ف. و طاعتی، ع. ۱۳۹۷. ارزیابی تناسب اراضی برای جو دیم با استفاده از تکنیک فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) و GIS در بخشی از کوهین. نشریه دانش آب و خاک. ۲۸ (۲): ۱۷۷-۱۸۹.
- نخعی، م.، هاشمی، ر.، خاشعی سیوکی، ع. و احمدی، م. ۱۳۹۵. بهینه‌سازی الگوی کشت با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی و برنامه‌ریزی خطی (مطالعه موردی: دشت بیرجند). علوم و مهندسی آبیاری. ۳۹ (۲): ۱۱۵-۱۲۴.
- یاراحمدی، ن.، امیری تکلدانی، ا. و ماکویی، ا. ۱۳۹۹. تبیین مدل مفهومی شاخص‌های تأثیرگذار بر اولویت‌بندی محصولات کشاورزی برای ورود به الگوی کشت. مجله تحقیقات اقتصاد و توسعه کشاورزی ایران. ۵۱ (۴): ۸۱۷-۸۳۱.
- Agha, S.R., Nofal, L.G., Nassar, H.A. and Shehada, R.Y. 2012. Multi criteria governmental crop planning problem: an analytic hierarchy approach. *Management*. 2(4): 96-105.
- Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D. and Smith, M. 1998. Crop evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirement. FAO Irrig. Drain. Paper No. 56. FAO, Rome, Italy, 300 pp.
- Hassani, S., Ramroodi, M. and Naghashzadeh, M. 2016. Designing cropping pattern by using analytical hierarchy process to allow for optimal exploitation of water. *Electronic Journal of Biology*. 12:43-47.
- Hill, M. J. and R. Braaten. 2005. Multi-criteria

Prioritization of Arable Crops Using Multiple Criteria and Analytical Hierarchy Process (AHP) Method, Case Study: Markazi Province - Farahan Plain

M. Goodarzi^{1*}

Received: Feb.12, 2022

Accepted: Mar.10, 2022

Abstract

Due to the increasing population growth and limited resources available, achieving a suitable cropping pattern from which maximum utilization of production factors and inputs, especially water as a limiting factor, can be obtained, is an undeniable necessity. The aim of this study was to rank arable crops in the Farahan plain using multiple criteria and analytic hierarchy process. For this purpose, using AHP method, cultivable crops were ranked based on four indices of water, food, energy and economic profit and also the combination of these four indices. The results of AHP analysis showed that the economic profit criteria with a weight of 0.35 and then water consumption with a weight of 0.31 are the most important factors in prioritizing arable crops in the Farahan plain. The value of consistency ratio in all criteria and sub-criteria was less than 0.1, which indicates the acceptable level of agreement in the analysis. The results showed that the first priority of cultivation in the region based on water consumption criteria, were saffron, cumin and camelina, based on calorie production, were forage sorghum, potato and corn, based on energy consumption were, forage sorghum, forage corn and grapes, based on the economic benefits were, lavender, thyme and borage and based on multiple criteria, were forage corn, grapes and buckthorn, respectively. The results showed that the current cropping pattern in the study area is not an acceptable cropping pattern and optimizing the cropping pattern based on the multiple criteria and prioritizing crop cultivation based on these criteria should be on the agenda of managers and decision makers. Prioritization of crops cultivation based on the four criteria mentioned in this study provides the foundation for the gradual implementation of the optimal cropping pattern in the plains. Therefore, according to the results obtained in this study, it is suggested to use multi-criteria decision-making methods to prioritize arable crops and select the optimum cropping pattern.

Keywords: AHP, Economic Profit, Food, Energy Cropping, Pattern, Water Requirement

1- Assistant Professor, Agricultural Engineering Research Department, Markazi Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Arak, Iran

(* - Corresponding Author Email: goodarzimustafa@gmail.com)