تحلیل مکان‌مبنا و چندجانبه نوع کشت بهینه در قطعات مزروعی دشت قیقاج

میلاد علیزاده بدرش[1] فرهاد حسینعلی[2]

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۰/۰۳/۲۱ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۱/۰۳/۱۳

****

چکیده

تخصیص بهینه منابع آب به کشاورزی مخصوصاً در مناطق خشکی چون ایران امری ضروری است. یکی از عوامل مهم در تخصیص بهینه منابع آب، تعیین الگوی بهینه کشت در مزرعه است. در پژوهش حاضر، هم خصوصیات فیزیولوژیکی زمین در تناسب کشت مد نظر بوده است و هم جنبه‌های اقتصادی کشت و هم میزان امکان‌پذیر بودن کشت هر محصول در هر قطعه‌زمین از نظر تمایل کشاورزان به آن. به‌این منظور از تکنیک‌های مختلف برنامه‌ریزی خطی و تصمیم‌گیری چندمعیاره در کنار مدل تحلیلی SWOT استفاده شد. منطقه مورد مطالعه این تحقیق دشت قیقاج در استان آذربایجان غربی می‌باشد. در ابتدا هشت محصول مناسب کشت در این منطقه شناسایی و تناسب هر یک از زمین‌ها براساس خصوصیات فیزیولوژیک زمین، برای این محصولات بررسی شد. استفاده تلفیقی از دو مدل تصمیم‌گیری چندمعیاره AHP و TOPSIS براساس نُه شاخص مهم تأثیرگذار در محصول، نشان داد که در بین این محصولات، کشت گندم، کلزا و جو در این منطقه ایده‌آل می‌باشد. سپس برای بهینه‌سازی کشت از برنامه‌ریزی خطی با اعمال محدودیت‌های موجود تحت چهار سناریوی مختلف با هدف به حداکثر رساندن سود اقتصادی، استفاده شد. نتایج پیاده‌سازی سناریوها نشان داد که با حذف برخی از محصولات آب‌بر نظیر سیب‌زمینی و ذرت دانه‌ای که رتبه‌های پایینی را در رده‌بندی تناسب کشت کسب کرده‌اند، سود اقتصادی افزایش و مصرف آب کاهش می‌یابد. مرحله انتهایی کار تعیین کشت مناسب برای هر قطعه زمین است. بنابراین با در اختیار داشتن نتایج روش‌ها که حاصل تصمیم‌گیری چندمعیاره، بررسی فیزیولوژیکی و چهارسناریوی برنامه‌ریزی خطی بود و اولویت‌های کشت در منطقه و مساحت‌های مناسب کشت هر محصول را دربرداشت، با اتخاذ رویکردی عملگرایانه و تحلیلی همه‌جانبه و بهره‌گیری از نظر کارشناسان، مدل تحلیلی SWOT به خدمت گرفته شد و محصول مناسب برای کشت به هر یک از قطعات زمین تخصیص یافت، به‌صورتی که در آن سابقه و اولویت کشت کشاورزان بر اساس دانش کشت هم در نظر گرفته شد. الگوی مناسب به‌دست آمده نسبت به وضع موجود موجب ۲,۰۵۲,۱۲۰,۰۰۰ ریال افزایش سود و ۹۰,۷۷۰/٦ متر مکعب کاهش مصرف آب می‌شود. از مزایای اصلی روش استفاده شده، بهره‌گیری همزمان از نتایج مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره، برنامه‌ریزی خطی و شرایط کشت در منطقه در راستای پیشنهاد یک الگوی کشت عملیاتی و همه‌جانبه است.

واژه‌های کلیدی: الگوی کشت، برنامه‌ریزی خطی، AHP، TOPSIS، SWOT، فیزیولوژی

****

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی تهران mab2343@gmail.com

۲- استادیار گروه مهندسی نقشه برداری،دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی تهران (نویسنده مسئول) f.hosseinali@sru.ac.ir

۱- مقدمه

بحران کمبود آب در جهان و به‌ویژه در ایران، با توجه به اقلیم خشک و نیمه‌خشک ایران، مستلزم مدیریت مناسب این منابع ارزشمند می‌باشد. وضعیت منابع آبی ما حتی در بهترین شرایط به هیچ وجه قابل مقایسه با یک کشور اروپایی در قاره‌ای که به سبز بودن شهرت دارد یا مثلاً کانادا نیست. با این حال، در همین کشورها و مناطق علی‌رغم وفور آب شیرین، بهترین برنامه‌ها برای حفظ منابع آب، به‌ویژه سفره‌های زیرزمینی و صرفه‌جویی در مصرف به اجرا درآمده است. اما در کشور ما متأسفانه اغلب، تخصیص آب به زمین‌ها بر اساس زمان آبیاری و با توجه به مساحت زمین‌ها یا حقابه‌ها صورت می‌گیرد که در این شرایط نوع محصول و دورهٔ کشت لحاظ نمی‌شود و این نوع بهره‌برداری سطح آب‌های زیرزمینی را چنان کاهش داده که در بسیاری از نقاط موجب فرونشست زمین شده است *(شریفی و همکاران، ۱۳۹۳)*.

الگوی کشت، نقشه راهی است که به ما نشان می‌دهد با توجه به محدودیت‌ها و منابع موجود، چه محصولاتی را به چه مقدار و در چه زمان و در کجا تولید کنیم. اگر توجهی به الگوی کشت نشود، زمین‌های کشاورزی در بخش وسیعی از کشور در آینده غیرقابل کشت خواهند شد. برنامه الگوی کشت با توجه به نوع محصولات متناسب با شرایط اقلیمی هر استان، پایداری تولیدات کشاورزی و بحث امنیت غذایی را تضمین می‌کند و این موضوع باعث استفاده درست از منابع، توانایی‌ها و استعدادهای هر منطقه و در نهایت موجب افزایش بهره‌وری و پایداری منابع طبیعی خواهد شد *(نوبهار و همکاران، ۱۳۹۳)*. اجرای الگوی کشت محصولات کشاورزی به‌ویژه در برهه کنونی که کشور با چالش آب مواجه است، بسیار ضروری می‌باشد. ضمن اینکه هر سال شاهد نوسانات شدیدی در بازار برخی از محصولات کشاورزی از جمله سیب‌زمینی، گوجه‌فرنگی و پیاز هستیم که به دلیل عدم رعایت الگوی کشت گاهی تولید آن‌ها کم می‌شود و گاهی حجم تولید آنقدر بالا می‌رود که کشاورزان و مسئولان نمی‌دانند باید با مازاد آن چه کنند.مرور منابع علمی نشان می‌دهد که مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره در موضوع الگوی کشت بسیار مورد توجه قرار گرفته‌اند.

رحمان و ساها[1] (۲۰۰۸) با استفاده از ارزیابی چند معیاره، سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS)[2]، سنجش از دور و نیز فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP)[3] به تدوین الگوی کشت مناسب برای منطقه سیل‌خیز بوگارا[4] در بنگلادش پرداختند. در این مطالعه گیاهان زراعی شاخص در منطقه از جمله گندم، برنج، خردل و سیب‌زمینی انتخاب شدند. نتایج نشان داد که منطقه مورد نظر تناسب متوسط تا بالایی برای تولید گیاهان زراعی انتخاب شده دارد ***(Rahman & Saha, 2008)***.

اکینچی[5] و همکاران (۲۰۱۳) مطالعه‌ای را برای تعیین زمین‌های مناسب برای استفاده کشاورزی در شهر آرتوین[6] ترکیه با روش تحلیلی سلسله مراتبی انجام دادند. در تحقیق مزبور پارامترهای فیزیولوژی و خاک نظیر عمق خاک، شیب، جهت شیب، ارتفاع، درجه فرسایش و سایر ویژگی‌های خاک استفاده و الگوی کشت بهینه تعیین شد ***(Akýncý et al., 2013)***.

ماساو[7] و همکاران (۲۰۱۹) به ارزیابی زمین‌های دره کیلومبرو[8] در کشور تانزانیا با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی و AHP اقدام نمودند که برای این منظور پنج معیار در نظر گرفته شد. در نهایت دو درصد از زمین‌های منطقه بسیار نامناسب، هشت درصد مناسب و حدود ۸۹ درصد نسبتاً مناسب تشخیص داده شد ***(Massawe et al., 2019)***.

از تحقیقات دیگری که در این زمینه صورت گرفته می‌توان به اینس[9] و همکاران (۲۰۰۵)، وانگ[10] و همکاران (۲۰۰۸)، بهاگت[11] و همکاران (۲۰۰۹) و نیز سامانتا[12] و

1- Saha
2- Geographical Information System (GIS)
3- Analytical Hierarchy Process (AHP)
4- Bogara
5- Akinci
6- Artvin
7- Massawe
8- Kilombero
9-Ines
10- Wang
11- Bhagat
12- Samanta

همکاران (۲۰۱۱) اشاره کرد *(Bhagat et al., 2009; Ines et al., 2006; Samanta et al., 2011; Wang et al., 2007)*

در ایران نیز تحقیقات در مورد الگوی بهینه کشت فراوان بوده است. برای مثال، غفاری و همکاران (۱۳۸۹) به توسعه مدل تعیین الگوی کشت بهینه شبکه‌های آبیاری با استفاده از AHP در دشت ورامین پرداختند و بدین منظور مدلی در قالب دو زیرمدل ایجاد کردند. نتایج نشان داد که مدل AHP رتبه اولویت کشت محصولات اصلی شبکه آبیاری (جو و گندم) را مطابق با رتبه این محصولات در الگوی کشت رایج منطقه برآورد نموده است *(غفاری و همکاران، ۱۳۸۹)*.

مرسلی (۱۳۹۱) به منظور تخصیص بهینه آب و افزایش سود خالص کشاورزی و اصلاح الگوی کشت اقدام به مدل‌سازی تخصیص آب کشاورزی در محیط MATLAB نمود. نتایج حاصل از اجرای مدل با عملکرد واقعی محصولات در شبکه آبیاری تلفیقی در سال ۸۹ مقایسه شد و نشان داد که مدل مورد نظر از همبستگی مناسبی برخوردار می‌باشد *(مرسلی، ۱۳۹۱)*.

شریفی و همکاران (۱۳۹۳) برای اولویت‌بندی محصولات در استان البرز از تلفیق دو روش دلفی فازی و AHP استفاده نمودند. معیارهای مورد استفاده به‌ترتیب اهمیت، شامل سطح زیرکشت، درآمد خالص، هزینه‌های تولید و نیازهای دامداری بود. در نهایت اولویت کشت محصولات به ترتیب گندم، جو، ذرت علوفه‌ای، یونجه، پنبه و کلزا به‌دست آمد *(شریفی و همکاران، ۱۳۹۳)*.

یوسفی فاتح و همکاران (۱۳۹۵) برای دستیابی به الگوی کشت بهینه در دشت اسدآباد همدان معیارهایی چون شوری، اسیدیته، عمق خاک از قلمرو خاک و معیار متوسط درجه حرارت و دورهٔ رشد محصول از قلمرو اقلیم که در رشد محصولات مؤثرند، را در نظر گرفتند. سپس لایه‌های مربوط به این داده‌ها در محیط GIS ایجاد و به‌منظور الگوسازی، به هرکدام از لایه‌های اطلاعاتی با استفاده از مدل AHP وزن مناسبی اختصاص داده شد. نهایتاً با بهره‌گیری از نتایج حاصل از تلفیق لایه‌ها، مناطق بهینه برای کشت محصولات معرفی شد *(یوسفی فاتح و همکاران، ۱۳۹۵)*.

مقامی مقیم و همکاران (۱۳۹۸) به منظور مکان‌یابی مناطق مستعد کشت زعفران در استان خراسان شمالی و با در نظرگرفتن نیازهای اکولوژیک زعفران، از روشی مبتنی بر AHP استفاده کردند. مدل‌سازی در محیط نرم‌افزار ArcGIS انجام شد و سپس تحلیل مکانی ویژگی‌های اقلیمی و زمینی مستعد کشت زعفران صورت گرفت *(مقامی مقیم و همکاران، ۱۳۹۸)*.

وفایی‌نژاد (۱۳۹۶) در تحقیقی با بهره‌گیری از مدل TOPSIS[1] و قابلیت‌های GIS در کنار الگوریتم ژنتیک ضمن تعیین محصولات بهینه برای کشت، سطح کشت مطلوب برای هر محصول را در اراضی جلگه در اطراف اصفهان تعیین کرد و برآورد نمود که استفاده از این الگو منجر به افزایش ۲۵ درصدی بهره‌وری خواهد شد *(وفائی نژاد، ۱۳۹۶)*. سیدمحمدی و همکاران با استفاده ترکیبی از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره از جمله TOPSIS و AHP و با در اختیار داشتن اطلاعات جنس خاک به تعیین اولویت کشت محصولات ذرت، سویا و کلزا در منطقه اردبیل پرداختند و در انتها ذرت را به‌عنوان مناسب‌ترین محصول انتخاب نمودند *(Seyedmohammadi et al., 2018)*.

از سوی دیگر برنامه ریزی خطی نیز یکی از روش‌های همواره مطرح در تعیین الگوی کشت مطلوب بوده است. برای مثال سُتو[2] و همکاران (۲۰۱۸) از برنامه‌ریزی برای بررسی علل عدم تمایل کشاورزان مکزیک به کشت نوعی گیاه تولید کننده سوخت پاک استفاده کردند و پی بردند که دلایل اقتصادی و عدم شناخت کافی مهم‌ترین دلایل این امر بوده‌اند *(Soto et al., 2018)*.

انور[3] و همکاران (۲۰۲۱) با بهره‌گیری از برنامه‌ریزی خطی و چند روش دیگر کشت برنج ترکیبی را در منطقه‌ای از بنگلادش بررسی کردند و نشان دادند که این نوع الگوی کشت می‌تواند بین ۲۰ تا ۲۵ درصد بر تولید محصول بیافزاید *(Anwar et al., 2021)*.

1- Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS)
2- Soto
3- Anwar

اسمعیل‌پور اسطرخی و همکاران (۱۳۹٦) در مطالعه‌ای که در منطقه‌ای کشاورزی در نزدیک اصفهان انجام دادند، الگوی کشت را با دو هدف بیشینه‌سازی سود و کمینه‌سازی مصرف آب کشاورزی برنامه‌ریزی خطی نموده و به این نتیجه رسیدند که به دلیل کمبود آب، حدود ٤٠ درصد از اراضی منطقه در هر سال باید به‌صورت آیش نگه‌داشته شوند *(اسمعیل‌پور اسطرخی و همکاران، ۱۳۹٦)*.

در تحقیقی دیگر رمضانی و درویشی (۱۳۹۹) همین دو هدف را با استفاده از برنامه‌ریزی خطی در اسدآباد همدان دنبال نمودند و با توجه به قیود مسئله الگویی را مناسب تشخیص دادند که ۵۰ درصد از مصرف آب می‌کاهد، گرچه میزان درآمد را نیز ۱۰ درصد کاهش خواهد داد *(درویشی و رمضانی، ۱۳۹۹)*.

مرور تحقیقات گذشته نشان داد که روش‌های مختلف و به‌ویژه روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره و برنامه‌ریزی خطی و نیز روش‌های تکاملی در تعیین الگوی کشت مورد استفاده بوده‌اند. اما علی‌رغم استفاده از روش‌های حتی پیچیده، توجه به شرایط اختصاصی منطقه مورد مطالعه در این پژوهش‌ها بسیار کمرنگ بوده است و عمدتاً مسئله تنها با توجه به اعداد و ارقام دستیابی شده و کمتر با توجه به شدنی بودن راه‌حل‌های پیشنهادی، حل شده است. به عبارت دیگر همه ابعاد مسئله به‌خوبی در نظر گرفته نشده و به‌طور خاص، عملیاتی بودن الگوی پیشنهادی معمولاً مغفول مانده است. از سوی دیگر در عمده تحقیقات انجام شده نهایتاً سطح زیر کشت مناسب برای هر محصول تعیین شده و به قسمت دشوارتر قضیه یعنی تخصیص کشت بهینه به قطعات زمین‌ها پرداخته نشده است.

از جمله نکات متمایز این تحقیق نسبت به تحقیقات قبلی تعداد معیارهای در نظر گرفته شده است که به نُه معیار می‌رسد. از سوی دیگر با تلفیق دو مدل AHP و TOPSIS سعی شده نقاط قوت هر دو مدل به خدمت گرفته شود. بنابراین ابتدا با استفاده از روش AHP، وزن معیارها و گزینه‌های کیفی به‌دست می‌آید و سپس با استفاده از روش TOPSIS رتبه‌بندی گزینه‌ها صورت می‌گیرد. علاوه بر آن در این تحقیق از برنامه‌ریزی خطی با چهار سناریو نیز استفاده شده است.

در واقع بهره‌گیری ترکیبی از این سه مدل همراه با معیارهای بیشتر در تعیین الگوی کشت، از جمله نوآوری‌های این تحقیق محسوب می‌شود. نوآوری دیگری که در این تحقیق وجود دارد، استفاده از مدل تصمیم‌گیری SWOT [1] به‌منظور تعیین کشت مناسب نهایی برای هر قطعه زمین است که در آن تمایل و تخصص کشاورزان در کشت محصولات مختلف در نظر گرفته شده است. مدل SWOT برای تلفیق نظرات مختلف در زمینه‌های گوناگون تصمیم‌گیری مورد استفاده بوده است. برای نمونه پالوج (۱۳۹۷) با استفاده از این مدل به آسیب‌شناسی نظام بهره‌برداری کشت و صنعت پرداخت و نظرات طیف متنوعی از کارشناسان و صاحب‌نظران را در مدل دخیل نمود *(پالوج، ۱۳۹۷)*.

آنچه در تحقیق حاضر، استفاده از مدل SWOT را متمایز می‌کند، در اختیار داشتن نتایج کمی تحلیل‌های مختلف است که غنای تکنیکی و ریاضی مناسبی برای تصمیم‌گیری نهایی به ارمغان آورده، پرهیز از نظرات ذهنی و مستعد خطای کارشناسان را میسر می‌سازد. در ادامه این مقاله، بخش ۲ با عنوان «مفاهیم کشت محصول» دربرگیرنده مبانی نظری تحقیق است، بخش ۳ روش تحقیق را تشریح می‌کند و بخش ٤ ضمن معرفی منطقه مورد مطالعه، به معرفی نتایج پیاده‌سازی و بحث اختصاص یافته است. در انتها نیز بخش ۵ قرار گرفته است که در آن نتیجه‌گیری پژوهش و پیشنهادها ارائه می‌شود.

۲- مفاهیم کشت محصول

آنچه باید در ارزیابی و یافتن کشت بهینه یافته شود، متناسب‌ترین کشت برای قطعات زمین است. در این رهگذر باید به میزان آب‌بری محصول در دوره‌های مختلف رشد آن توجه داشت. همچنین باید میزان تناسب یک محصول با

1- Strengths, Weaknesses, Opportunities, and Threats (SWOT)

منطقه را از مناظر مختلف فیزیولوژیکی بررسی نمود و در نهایت باید میزان سوددهی محصول را نیز در نظر گرفت *(کاظمی کرانی و همکاران، ۱۳۹۸)*.

در ادامه معیارهای مرتبط با تعیین کشت بهینه که مطابق با نظر کارشناسان، انتخاب شده و پس از تطابق با موارد موجود در تحقیقات پیشین، به‌عنوان معیارهای تصمیم‌گیری در سلسله‌مراتب AHP گنجانده شده‌اند، مختصراً تشریح می‌شوند.

۲-۱- دوره رشد

در تصمیم‌گیری، هر چه طول دورهٔ رشد محصول کمتر باشد، بهتر است. همچنین به دلیل اینکه در فصل سرما گیاهان به آبیاری نیاز ندارند، چهار ماه یا ۱۲۰ روز از دورهٔ رشد محصولاتی که فصل زراعی آن‌ها در زمستان می‌باشد، حذف شده است. دوره متوسط رشد محصولات در جدول۱ قابل مشاهده است.

۲-۲- نیاز آبی

نیاز آبی یکی از مؤلفه‌های اصلی در مدیریت و برنامه‌ریزی الگوی کشت و مقدار آب مورد نیاز تبخیر و تعرق گیاه (محصول) برای جلوگیری از تنش آبی است. این نیاز در تحقیق حاضر براساس روش پنمن - مانتیث[1] ***(Allen et al., 1998)*** محاسبه شده که توسط اداره کشاورزی شهرستان پلدشت به‌دست آمده است (جدول ۱). با توجه به اینکه معیار نیاز آبی هر چه کمتر باشد بهتر است، با تأثیر منفی در تصمیم در نظر گرفته خواهد شد.

۲-۳- دوره‌های آبیاری محصولات

فاصله زمانی بین دو آبیاری متوالی را دورهٔ آبیاری گویند که به تبخیر و تعرق گیاه و نیز عمق آبیاری بستگی دارد. حداکثر دورهٔ آبیاری ممکن به منظور جلوگیری از تنش آبی گیاه و باتوجه به بافت نسبتاً سبک اراضی و نیز به‌منظور کاهش تلفات نفوذ عمقی توسط اداره کشاورزی شهرستان مورد مطالعه تهیه شده و در جدول ۱ ارائه شده است.

۲-٤- مساحت زیر کشت

یکی دیگر از مسائل مهم در اصلاح الگوی کشت، مساحت زیر کشت هر کدام از محصولات مورد نظر در منطقه می‌باشد که نشان‌دهنده تمایل بیشتر کشاورزان منطقه به کشت کدام محصول است. پس به‌عنوان یک معیار با تأثیر مثبت در نظر گرفته شده است (جدول ۱).

۲-۵- شاخص اقتصادی

اختلاف میان هزینه و فروش محصول به‌عنوان یک شاخص اقتصادی برای محصولات کشاورزی در نظر گرفته شده است. در جدول ۲ متوسط درآمد فروش محصولات کشاورزی در هر هکتار، بر حسب سه عامل قیمت محصول، عملکرد آن در هکتار و هزینه آن در هر هکتار بر مبنای تحقیقات محلی و محاسبات میدانی در منطقه براساس سال معیار (۱۳۹۷)، بیان شده است. بدیهی است تغییرات قیمت‌ها چنانچه متناسب نباشد می‌تواند بر نتیجه تأثیر بگذارد ولی روش کار را تغییر نخواهد داد. این شاخص در تصمیم‌گیری به‌عنوان پارامتری با تأثیر مثبت در نظر گرفته شده است.

۲-٦- آب در دسترس

منبع اصلی تأمین آب این منطقه رودخانه ارس می‌باشد. بخش کوچکی از نیاز آبی منطقه نیز به وسیله بارندگی تأمین می‌شود. در جدول ۳ میزان و زمان آبی که به این دشت اختصاص داده می‌شود، ارائه شده است. آنچه اهمیت آب در دسترس را در تعیین کشت مطلوب دخالت می‌دهد، میزان تطابق دورهٔ رشد محصول با مقدار آب در دسترس است. برای دخالت دادن این عامل در محاسبات، هنگام مقایسه زوجی بین گزینه‌ها میزان تطابق آب در دسترس با دوره رشد محصولات مد نظر قرار گرفته است.

1- Penman Montieth

۲-۷- دما

دما یکی از عوامل تأثیرگذار بر فعالیت گیاهان می‌باشد. به‌طور کلی هر گیاه در یک محدودهٔ دمای خاص بهترین رشد را تجربه می‌کند. در صورتی که دما در محدوده خاصی که آن را محدودهٔ دمای قابل تحمل گیاه می‌گویند افزایش یا کاهش یابد برای گیاه قابل قبول بوده، تغییر زیادی در رشد گیاه ایجاد نمی‌کند. به‌منظور اثر دادن این عامل، مناسب بودن دمای منطقه با شرایط هر محصول در مقایسات زوجی، مورد توجه قرار گرفته است.

۲-۸- محدودهٔ زمانی مشترک رشد محصولات

محدودهٔ زمانی کشت محصولات به‌صورت یک تاریخ دقیق نیست، بلکه به‌صورت یک بازهٔ زمانی چند ماهه است که با توجه به شرایط آب و هوایی منطقه مورد مطالعه، برای هر محصول در جدول ٤ ارائه شده است.

هر چقدر این بازهٔ رشد محصولات در ماه‌های خنک‌تر و پرآب‌تر باشد، بهتر است. بنابراین برای دخالت دادن این معیار در محاسبات از مقایسات زوجی استفاده شده است.

جدول۱: مقادیر چهار شاخص اول برای محصولات براساس معیارهای کمی

محصول	گندم	جو	یونجه	چغندرقند	سیب‌زمینی	کلزا	ذرت‌دانه‌ای	ذرت‌علوفه‌ای
طول دوره رشد واقعی (روز)	۲۱۱	۱۹۱	۳۱۵	۱۷٦	۱۳۸	۲۱۰	۱٤۰	۱۰٤
طول دوره رشد مورد استفاده (روز)	۹۱	۷۱	۱۹۵	۱۷٦	۱۳۸	۹۰	۱٤۰	۱۰٤
نیاز آبی (لیتر)	۳۵۲/۹	۲٦٦/۲	۷٦٦/٦	٦۲٤/۳	۵۷٦	۲۸۰/٦	۵٤٤	٤۲۲/۵
دوره آبیاری (روز)	۲۰	۲۸	۲۱	۱۳	٦	۲۰	۸	۱٦
مساحت کشت (هکتار)	۱۱۰/۲	۹۸/۵	٤۹/۳	۳٤/۹	٤۵/۱	۲۰/۳	۲٦/۵	۳۵/۲

جدول۲: متوسط درآمد خالص محصولات زراعی

گزینه‌ها	گندم	جو	یونجه	چغندرقند	کلزا	سیب‌زمینی	ذرت‌دانه‌ای	ذرت‌علوفه‌ای
قیمت (ریال برکیلوگرم)	۲۲,۰۰۰	۱٦,۳۰۰	۱٦,۰۰۰	۵,۰۲۰	٤٦,٦۰۰	٦,۰۰۰	۱۷,۰۰۰	۳,۵۰۰
عملکرد (تن در هکتار)	٤/۵	۳/۵	۷	۲۸	۳/۵	۲٤	٦/۵	۳۵
هزینه (میلیون ریال برهکتار)	٤۸	۲۷	۵۵	۷٤/۵٦	۸۹/۳	۸۲	۵٦	٦۵
سود (میلیون ریال برهکتار)	۵۱	۳۰	۵۷	٦٦	۷۳/۸	٦۲	۵٤/۵	۵۷/۵

جدول۳: میزان آب در دسترس منطقه در زمان‌های مختلف

ردیف	تاریخ	میزان آب در دسترس (مترمکعب)
۱	۱ فروردین تا ۳۱ خردادماه	۹۹۵۲۰۱
۲	۱ تیر تا ۳۱ شهریورماه	۹۸۹٦۸۲
۳	۱ مهر تا ۳۰ آذرماه	۱۰۵۹۰٤۰

جدول٤: محدودهٔ زمانی رشد محصولات انتخاب‌شده

محصول	زمان نخستین آبیاری		زمان آخرین آبیاری		محصول	زمان نخستین آبیاری		زمان آخرین آبیاری	
	ماه	دهه	ماه	دهه		ماه	دهه	ماه	دهه
گندم	مهر	۲	تیر	۱	سیب‌زمینی	اردیبهشت	۲	شهریور	۳
جو	مهر	۱	خرداد	۲	کلزا	شهریور	۱	خرداد	۲
یونجه	اردیبهشت	۲	آبان	۳	ذرت دانه‌ای	اردیبهشت	۲	شهریور	۱
چغندرقند	فروردین	۳	مهر	۱	ذرت‌علوفه‌ای	تیر	۱	مهر	۲

۲-۹- راندمان آبیاری

رابطه بین حجم واقعی آب مورد استفاده برای یک مصرف خاص و حجم آب انتقال داده شده یا برداشت شده از منبع آب را راندمان استفاده از آب گویند. انتقال آب یا برداشت آب از منابع مستقل از مدیریت آبیاری است و مقدار آن به مقدار نیاز آبیاری در مزرعه تحت آبیاری بستگی دارد. در منطقه مطالعاتی از روش‌های مختلف آبیاری استفاده شده است و راندمان آبیاری برای محصول‌های مختلف و روش‌های آبیاری مختلف متفاوت می‌باشد. عامل راندمان آبیاری محصولات با توجه به راندمان آبیاری هر محصول در مقایسات زوجی اثر داده شده است.

۲-۱۰- شیب و جهت شیب

شیب یکی از دلایل اصلی فرسایش خاک و عامل مهمی در تصمیم‌گیری‌های زراعی از جمله انتخاب گیاه، روش تهیه بستر بذر، آبیاری و سایر موارد می‌باشد. درجه شیب در زمین‌ها به‌طور معنی‌داری بر مقدار کربن آلی و ازت کل همراه ذرات سیلت و رس تأثیرگذار است، به طوری‌که بیشترین کربن آلی و ازت کل در بخش‌های پایین شیب و کمترین مقادیر در شیب‌های تند است. از طرف دیگر، هرچه شیب زمین کمتر باشد، برای کشت محصولات مناسب‌تر است، زیرا شیب کم موجب نفوذ آب‌های ناشی از بارندگی در زمین می‌شود. همچنین تغییرات حرارت در شیب کم، کمتر از شیب زیاد می‌باشد *(قلی‌زاده مقدم و همکاران، ۱۳۹۷)*. جهت شیب نیز با تأثیر بر میزان انرژی دریافتی، باعث تفاوت در میکرواقلیم می‌شود. محصولات مختلف سازگاری‌های متفاوتی با میزان و جهت شیب دارند و از این‌رو با تغییر شیب و جهت شیب تناسب زمین برای محصولات مختلف، متفاوت خواهد بود.

۳- روش تحقیق

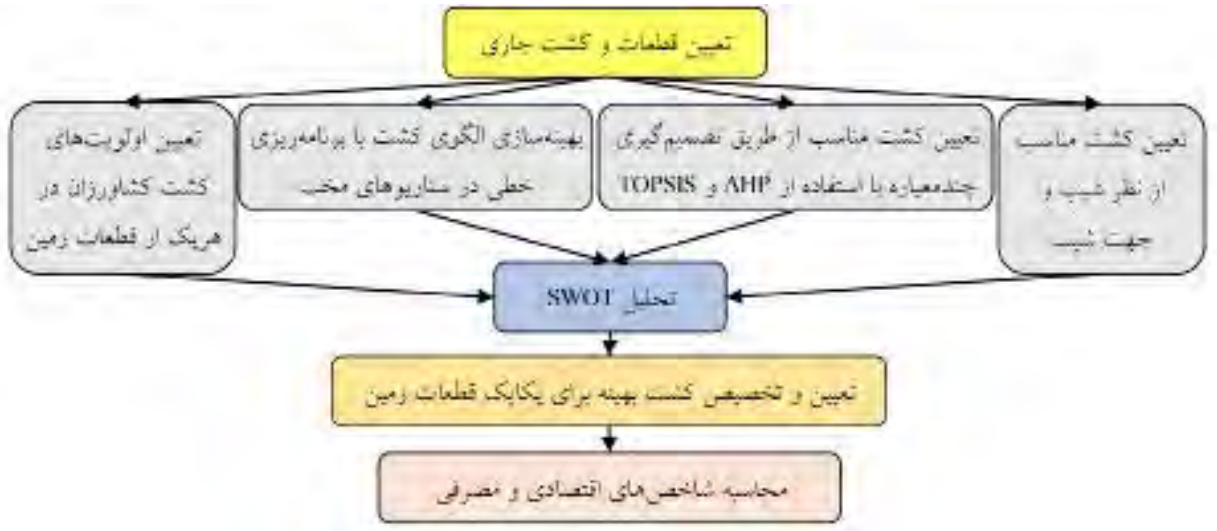
در این تحقیق ابتدا با استفاده از بررسی کتابخانه‌ای و میدانی، هشت محصول (هشت گزینه) که قابلیت کشت در منطقه را دارند، مشخص شدند. در ادامه همانگونه که در نگاره۱ نشان داده شده است، برای تعیین و تخصیص الگوی کشت بهینه، روش‌های مختلفی مورد استفاده قرار می‌گیرد. بر این اساس چهار شیوه مورد استفاده برای تعیین الگوی کشت عبارتند از:

- بررسی خصوصیات فیزیولوژیکی منطقه (شیب و جهت شیب).
- تصمیم‌گیری چند معیاره با بهره‌گیری از نظر کارشناسان و نیز دخالت دادن خصوصیات محصولات و شرایط منطقه از نظر اقتصادی، آب و هوایی، میزان آب و غیره
- تعیین الگوهای کشت بهینه با در نظر گرفتن اهداف و قیود متنوع در قالب سناریوهای مختلف از طریق برنامه‌ریزی خطی
- تعیین اولویت‌های کشت کشاورزان با بررسی‌های میدانی و سوابق کشت

گفتنی است شیوه‌های دوم و سوم منجر به تعیین مقدار کشت هر محصول می‌شود. شیوه‌های اول و چهارم نیز مشخص خواهد کرد که چه اولویت‌هایی برای کشت در هر قطعه زمین می‌تواند در نظر گرفته شود. در نهایت نیاز است که ماحصل این روش‌ها منجر به تخصیص کشت مطلوب به هر قطعه زمین شود. در این مقطع با استفاده از مدل SWOT تمامی اطلاعات به‌دست آمده از روش‌های چهارگانه به‌صورت همزمان و ساختاریافته بررسی و کشت مناسب یکایک قطعات زمین تعیین می‌شود. در انتهای کار نیز باید مشخص شود که این الگوی پیشنهادی چه مزیتی از نظر اقتصادی و مصرف آب (به‌عنوان مهم‌ترین محدودیت) دارد.

۳-۱- تصمیم‌گیری چندمعیاره

روش‌های تصمیم‌گیری با شاخص‌های چندگانه از گذشته بسیار مورد توجه و استفاده بوده و هستند. در این میان روش‌های AHP و TOPSIS بیش از سایر روش‌ها در علم مدیریت، رایج و موفق بوده‌اند. در مسائل مدیریت منابع، اغلب با معیارهای مختلف مواجه هستیم که گاه رسیدن به

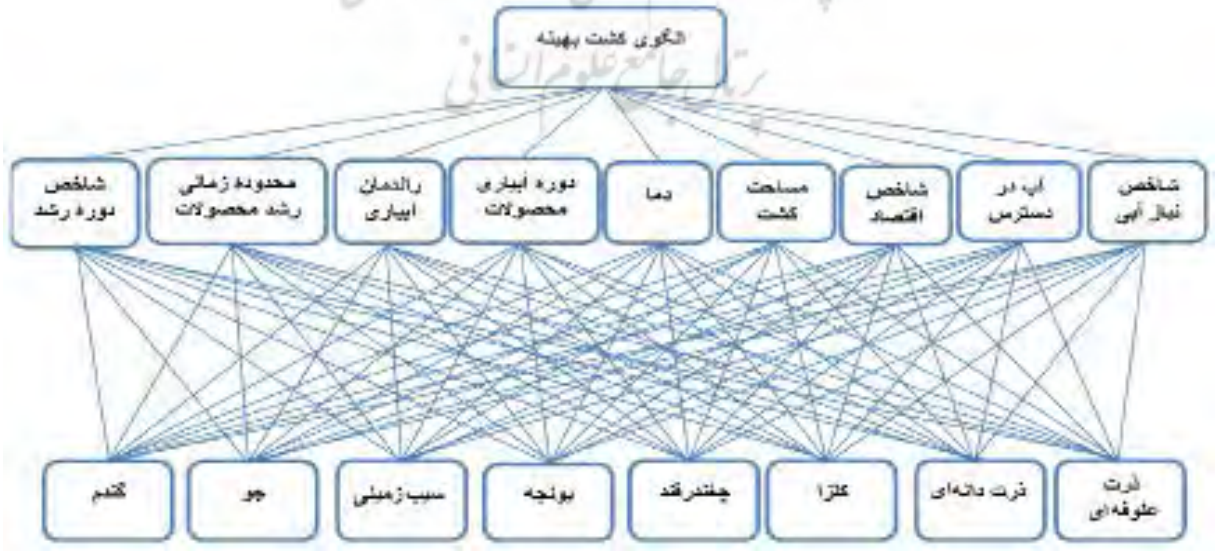


نگاره۱: نمودار مراحل تحقیق

یکی از معیارها به معیارهای دیگر آسیب می‌رساند. مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره در اینگونه موارد می‌توانند به ما کمک نموده و با در نظر گرفتن معیارهای مختلف، اقدام به انتخاب و رتبه‌بندی گزینه‌ها کنند. بررسی تحقیقات گذشته نشان می‌دهد که مدل‌های AHP و TOPSIS هر دو قدرتمند می‌باشند، امّا هر کدام از آن‌ها دارای نقاط ضعف و قوت هستند *(شبستری و بنی حبیب، ۱۳۹٤)*. بنابراین، در تحقیق حاضر با تلفیق این دو مدل، یک مدل تصمیم‌گیری چندمعیاره پیشنهاد شده است که وزن‌های نسبی و نیز نرخ ناسازگاری را با استفاده از AHP به‌دست می‌آورد و در نهایت رتبه‌بندی گزینه‌ها را از طریق مدل TOPSIS به انجام می‌رساند.

۳-۱-۱- ساختار سلسله‌مراتبی مدل تصمیم‌گیری

در این تحقیق، ساختار سلسله‌مراتبی شامل هدف، نُه معیار برای ارزیابی راهبردها و هشت راهبرد (گزینه) می‌باشد. نگاره۲ ساختار سلسله‌مراتبی مدل این تحقیق را نشان می‌دهد. برای اجرای مدل تصمیم‌گیری، فرم‌های نظرسنجی آماده و توسط ۲۰ متخصص کشاورزی تکمیل شد.



نگاره۲: ساختار سلسله‌مراتبی مسئله تصمیم‌گیری تعیین الگوی کشت بهینه

ابتدا معیارها استخراج و ساختار کلی مدل سلسله‌مراتبی ایجاد شد. سپس مقایسات زوجی در دو سطح معیارها و گزینه‌ها با استفاده از نظر متخصصین انجام گرفت. برای امتیازدهی از مقیاس نه درجه‌ای ساعتی[1] (بنیانگذار AHP) و همچنین برای محاسبه نرخ سازگاری از شاخص ناسازگاری ساعتی استفاده شده است.

طبق محاسبات ساعتی اگر نرخ سازگاری کمتر از ۰/۱ باشد مورد قبول است در غیر این صورت مقایسات زوجی باید از اول صورت بگیرد ***(Saaty, 1980)***. برای تلفیق نظرات متخصصان نیز از میانگین هندسی استفاده شد ***(قدسی‌پور، ۱۳۹۸)***. در نهایت وزن نهایی گزینه‌ها با لحاظ سازگار بودن مقایسات به‌دست آمد.

۳-۱-۲- TOPSIS

تکنیک TOPSIS یا اولویت‌بندی براساس شباهت به راه‌حل ایده‌آل از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره است که نخستین بار به‌وسیله ونگ[2] و یون[3] در سال ۱۹۸۱ میلادی معرفی شد ***(Hwang & Yoon, 1981)***. از این تکنیک می‌توان برای رتبه‌بندی و مقایسه گزینه‌های مختلف و انتخاب بهترین گزینه استفاده کرد. در این روش، رتبه‌بندی براساس شباهت به راه‌حل ایده‌آل انجام می‌شود و هر چه یک گزینه شبیه‌تر به راه‌حل ایده‌آل باشد، رتبه بالاتری کسب خواهد کرد ***(Shih et al., 2007)***. مراحل این تصمیم‌گیری به شرح زیر است ***(Abou-El-Enien, 2013)***:

- **گام اول)** ایجاد ماتریس اولیه تصمیم‌گیری: اولین مرحله ایجاد یک ماتریس تصمیم می‌باشد که این ماتریس با توجه به مقدار گزینه‌ها براساس معیارها ایجاد می‌شود.
- **گام دوم)** ماتریس بی‌مقیاس یا نرمالیزه: برای اینکه امکان مقایسه معیارها با مقیاس‌های مختلف، وجود داشته باشد، باید ماتریس تصمیم به ماتریس بی‌مقیاس (نرمالیزه) تبدیل شود. بی‌مقیاس کردن در مدل TOPSIS با استفاده از روش نُرم انجام می‌شود. به این ترتیب که هر درایه بر جذر مجموع مربعات درایه‌های آن ستون معیار تقسیم می‌شود (رابطه ۱):

$$n_{ij} = \frac{r_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^{m} r_{ij}^2}}$$ رابطه (۱)

که در این رابطه r_{ij} نشان‌دهنده امتیاز کسب شده توسط گزینه i در معیار j است و n_{ij} خروجی بی‌مقیاس شده می‌باشد.

- **گام سوم)** ماتریس بی مقیاس وزن‌دار: ماتریس تصمیم بی‌مقیاس وزن‌دار (V) طبق رابطه (۲) از ضرب ماتریس تصمیم در بردار وزن معیارها (ω) به‌دست می‌آید.

$$v_{ij} = \omega_j r_{ij} \quad , \quad j = 1, \dots, n \, ; i = 1, \dots, m$$ رابطه (۲)

- **گام چهارم)** ایده‌آل مثبت و ایده‌آل منفی: در این گام برای هر شاخص یک ایده‌آل مثبت (V^+) و یک ایده‌آل منفی (V^-) برمبنای رابطه‌های (۳) و (٤) محاسبه می‌شوند.

$$V^+ = \{v_1^+, \dots, v_n^+\} = \{(\max_i v_{ij} | j \in J), (\min_i v_{ij} | j \in J')\}$$ رابطه(۳)

$$V^- = \{v_1^-, \dots, v_n^-\} = \{(\min_i v_{ij} | j \in J), (\max_i v_{ij} | j \in 2J')\}$$ رابطه (٤)

در اینجا باید نوع معیارها مشخص شود. معیارها یا جنبه مثبت دارند یا منفی:

- برای معیارهای مثبت، ایده‌آل مثبت بیشترین مقدار و ایده‌آل منفی کمترین مقدار آن معیار می‌باشد.
- برای معیارهای منفی، ایده‌آل مثبت کمترین مقدار و ایده‌آل منفی بیشترین مقدار آن معیار می‌باشد.

- **گام پنجم)** فاصله از ایده‌آل‌های مثبت و منفی و محاسبه راه‌حل ایده‌آل: در این گام میزان نزدیکی هر گزینه به راه‌حل ایده‌آل محاسبه می شود. فاصله اقلیدسی هر گزینه از ایده‌آل مثبت و منفی با استفاده از روابط (۵) و (٦) محاسبه شده است:

$$d_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^{n} (v_{ij} - v_j^-)^2} \quad , \quad i = 1, \dots, m$$ رابطه (۵)

1- Saaty
2- Hwang
3- Yoon

$$d_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^{n}(v_{ij} - v_j^+)^2} \quad , \quad i = 1, \dots, m$$

رابطه(٦)

که در این روابط d^-_i فاصله از ایده‌آل منفی و d^+_i فاصله از ایده‌آل مثبت می‌باشد.

- گام ششم) شاخص شباهت و رتبه‌بندی گزینه‌ها: امتیاز هر گزینه نشان‌دهندهٔ شاخص شباهت می‌باشد و براساس رابطه (۷) محاسبه می‌شود. هرچقدر این شاخص به عدد یک نزدیک‌تر باشد برتری آن گزینه را نشان می‌دهد.

$$\overline{C}_i = \frac{d_i^-}{d_i^+ + d_i^-} \quad , \quad i = 1, \dots m$$

رابطه (۷)

که در این رابطه $\overline{C}_i$ شاخص شباهت به گزینه ایده‌آل است.

۳-۲- برنامه‌ریزی خطی

این روش یکی از روش‌های قدیمی و در عین حال موفق در تصمیم‌گیری چندهدفه است. در این روش که خود مهم‌ترین زیرشاخه برنامه‌ریزی ریاضی است، ابتدا متغیرهایی تعریف می‌شود و سپس هدف یا اهدافی که به‌صورت ترکیب خطی متغیرها نوشته می‌شوند با در نظر گرفتن قیودی که آن‌ها هم به‌صورت ترکیب خطی متغیرها هستند، بهینه (بیشینه یا کمینه) می‌شوند. در حالت بهینه شدن اهداف، مقدار متغیرها که مجهولات مسئله هستند به‌دست می‌آیند ***(Vaskan et al., 2013)***. در اینجا متغیرهایی که از طریق برنامه‌ریزی خطی به‌دنبال آن هستیم، همان سطح زیر کشت برای هر محصول است. رابطه کلی برنامه‌ریزی خطی به‌صورت رابطه (۸) است ***(Varghese & Srivastav, 2022)***:

$$Maximze\ Z = \sum a_i x_i$$

رابطه (۸)

که در آن Z تابع هدف، x_i متغیرها و a_i ضرایب متغیرها می‌باشند. تابع هدف می‌تواند بر حسب مسئله از نوع بیشینه‌سازی یا کمینه‌سازی باشد. قیود مسئله نیز به‌صورت ترکیب خطی از قیود و ضرایب نوشته می‌شود و در واقع هدف باید در حالتی بهینه شود که از قیود، عدول ننماید. برای مثال در این مطالعه مقدار آب در دسترس یکی از قیودی است که حتماً باید لحاظ شود. توابع هدف این تحقیق و قیود در نظر گرفته شده، در بخش پیاده‌سازی توضیح داده شده است.

۳-۲-۱- برنامه‌ریزی خطی به روش موتاد[1]

روش موتاد یک برنامه‌ریزی خطی با هدف بیشینه‌سازی سود اقتصادی است که تابع هدف آن مجموع مقادیر انحرافات درآمد ناخالص کل از درآمد انتظاری بر اساس میانگین درآمدهای ناخالص نمونه است. برای انجام برنامه‌ریزی خطی با این روش باید درآمدهای هر محصول را در چندین سال قبل در اختیار داشت و در راستای در نظر گرفتن درآمد و هزینه باید محدودیت‌هایی مثل محدودیت سرمایه و نیروی انسانی را هم در نظر گرفت ***(Maleka, 1993)***. تابع هدف این روش به‌صورت رابطه (۹) است ***(Maleka, 1993)***:

$$Minimize\ Z = \sum \bar{y}_r$$

رابطه (۹)

که قیود زیر برای آن در نظر گرفته می‌شود:

$$\sum_i a_{ij} x_i \leq b_i$$

رابطه (۱۰) قیود نهاده‌ها

$$\sum_i (C_{ri} - g_i) + \bar{y}_r \geq 0$$

رابطه (۱۱) قیود انحرافات منفی از میانگین بازده

$$\sum_i f_i x_i = E$$

رابطه (۱۲) قیود پارامتری مدل

که در روابط فوق، $\sum \bar{y}_r$ «مجموع مقادیر مطلق انحرافات درآمد ناخالص کل منفی از درآمد انتظاری بر اساس میانگین درآمدهای ناخالص نمونه» شناخته می‌شود و x_i سطح زیر کشت هر محصول به‌عنوان متغیر مجهول و a_i ضریب مربوط به نهاده (نظیر نیروی کار یا سرمایه لازم)، b_i مقدار نهاده در دسترس، C_{ri} درآمد ناخالص انتظاری i امین محصول در rامین سال، g_i ارزش متوسط بازده ناخالص iامین محصول در طی سال‌های مورد نظر، f_i درآمد ناخالص

1- Motad

انتظاری i امین محصول و E درآمد مورد انتظار از کشت در منطقه است. لذا مجهولات x_i و $\bar{y}_r$ خواهند بود که باید از طریق بهینه‌سازی به‌دست آیند. البته در این روش می‌توان در صورت لزوم قیود نهاده‌ها را لحاظ نکرد.

۳-۳- مدل ارزیابی SWOT

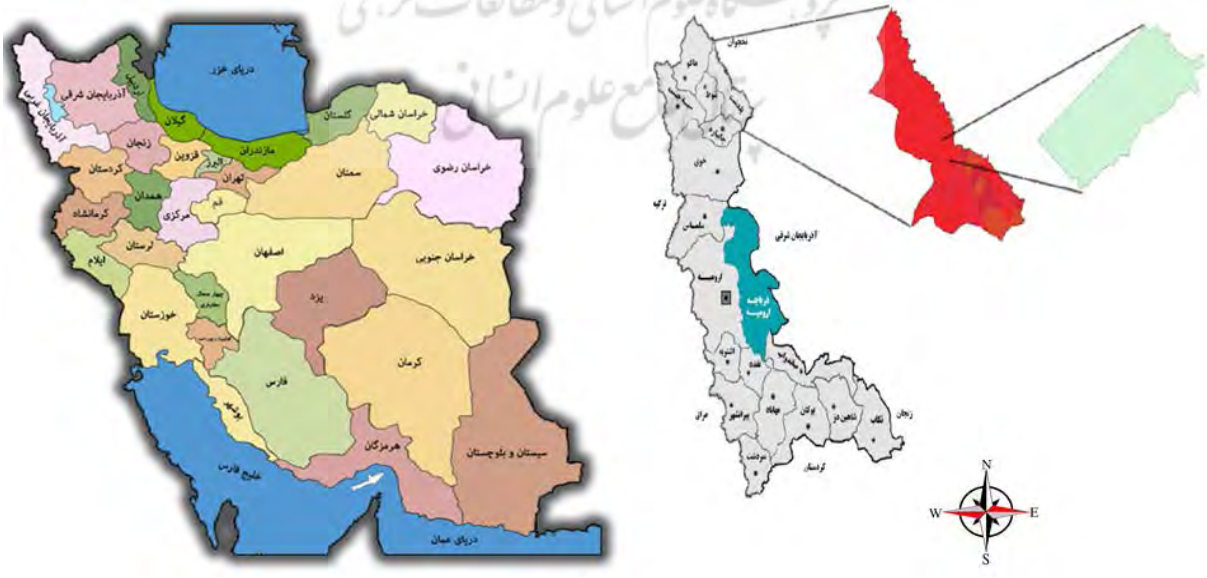
روش تجزیه و تحلیل SWOT مدل تحلیلی مختصر و مفیدی است که به شکل نظام‌یافته هر یک از عوامل قوت، ضعف، فرصت‌ها و تهدیدها را بررسی کرده و استراتژی‌های متناسب با موقعیت کنونی مسئله مورد بررسی را منعکس می‌کند. این تجزیه و تحلیل بر این اصل استوار است که استراتژی، قوت‌ها و فرصت‌ها را حداکثر می‌کند و ضعف‌ها و تهدیدات را به حداقل می‌رساند. این تکنیک اولین بار در سیستم‌های نظامی و سپس در مدیریت صنعتی به‌کار برده شد و به تدریج از سال ۱۹۹۰ میلادی وارد سیستم‌های برنامه‌ریزی شد. مهم‌ترین ویژگی SWOT این است که می‌تواند بدون نیاز به تحلیل‌های کمّی و محاسبات ریاضیاتی به تحلیل داده‌ها و تدوین راهبرد بپردازد، درحالی که سایر روش‌ها نیاز به آمار و اطلاعات کمّی و همچنین فرمول‌های پیچیده ریاضی دارند *(Cicea et al., 2011)*.

٤- پیاده‌سازی و نتایج

٤-١ منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در این تحقیق دشت قیقاج نام دارد و از ۱۱۳ قطعه زراعی تشکیل شده است. این دشت در شهرستان پلدشت قرار دارد (نگاره۳). شهر پلدشت یکی از شهرهای استان آذربایجان غربی است که در شمال این استان واقع شده و مرکز شهرستان پلدشت است. مرکز شهرستان پلدشت در ٤٥ درجه و ٠٤ دقیقه طول شرقی و ۳۹ درجه و ۲۰دقیقه عرض شمالی و در ارتفاع ۷۸٤ متری از سطح دریا قرار گرفته است (مرکز آمار ایران، ۱۳۹۵). راه دسترسی به محدوده مطالعاتی، راه پلدشت-قیقاج، به سوی جنوب به طول ۱۸ کیلومتر می‌باشد.

روستای قیقاج از توابع دهستان زنگبار بوده، از لحاظ تقسیمات کشوری در بخش مرکزی شهرستان پلدشت در استان آذربایجان غربی قرار دارد. مهم‌ترین منبع تأمین کننده آب منطقه، رودخانه ارس است که از طریق ایستگاه پمپاژ شیبلو آب مورد نیاز را در اختیار اراضی می‌گذارد. آمار و اطلاعات مورد نیاز این تحقیق از قبیل سود محصولات، هزینه تولید، تقویم زراعی منطقه، آب در دسترس وغیره از راه‌های مختلفی از جمله، تکمیل پرسشنامه توسط مهندسان



نگاره۳: منطقه مورد مطالعه

و خبرگان کشاورزی و سازمان‌های مرتبط منطقه تهیه شده و سال معیار برای تهیه این اطلاعات، سال ۱۳۹۷ بوده است. با توجه به موقعیت جغرافیایی و آب و هوای منطقه، مهم‌ترین محصولاتی که در آن کشت می‌شوند شامل گندم، جو، یونجه، چغندرقند، کلزا، سیب‌زمینی، ذرت دانه‌ای و ذرت علوفه‌ای هستند که در این تحقیق به‌عنوان گزینه‌های کشت در نظر گرفته شده‌اند. این هشت محصول، محصولاتی هستند که چرخه فرآوری و فروش آن‌ها در منطقه فراهم است.

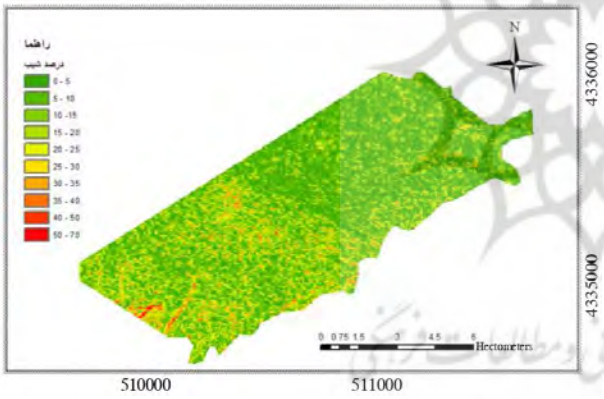
از طرف دیگر با توجه به اینکه تعدادی از زمین‌های همجوار فصل رشد زراعی مشابه و همچنین مالکیت فامیلی دارند، زمین‌های همجوار در هم ادغام شد و در نهایت از ۱۱۳ قطعه، ٤٦ قطعه زراعی برای تعیین کشت بهینه در نظر گرفته شد (نگاره٤).

نگاره٤: الگوی کشت فعلی منطقه مورد مطالعه

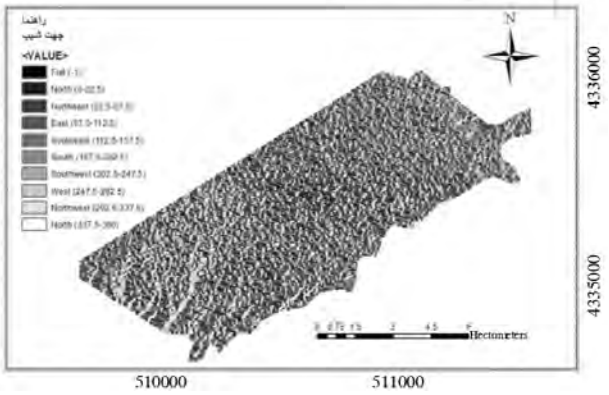
شایان ذکر است که در این پژوهش برای تهیه و نمایش نقشه‌ها از نرم‌افزار ArcGIS، برای اجرای AHP از SUPER DECISIONS و برای برنامه‌ریزی خطی از MATLAB استفاده شده است. مدل TOPSIS نیز با استفاده از نرم‌افزار Excel به اجرا درآمده است. همچنین نرم‌افزار QSB نرم‌افزاری است که برنامه‌ریزی خطی از نوع موتاد را به‌صورت خاص دربردارد و در این تحقیق از آن استفاده شده است.

٤-۲- خصوصیات فیزیولوژیکی منطقه

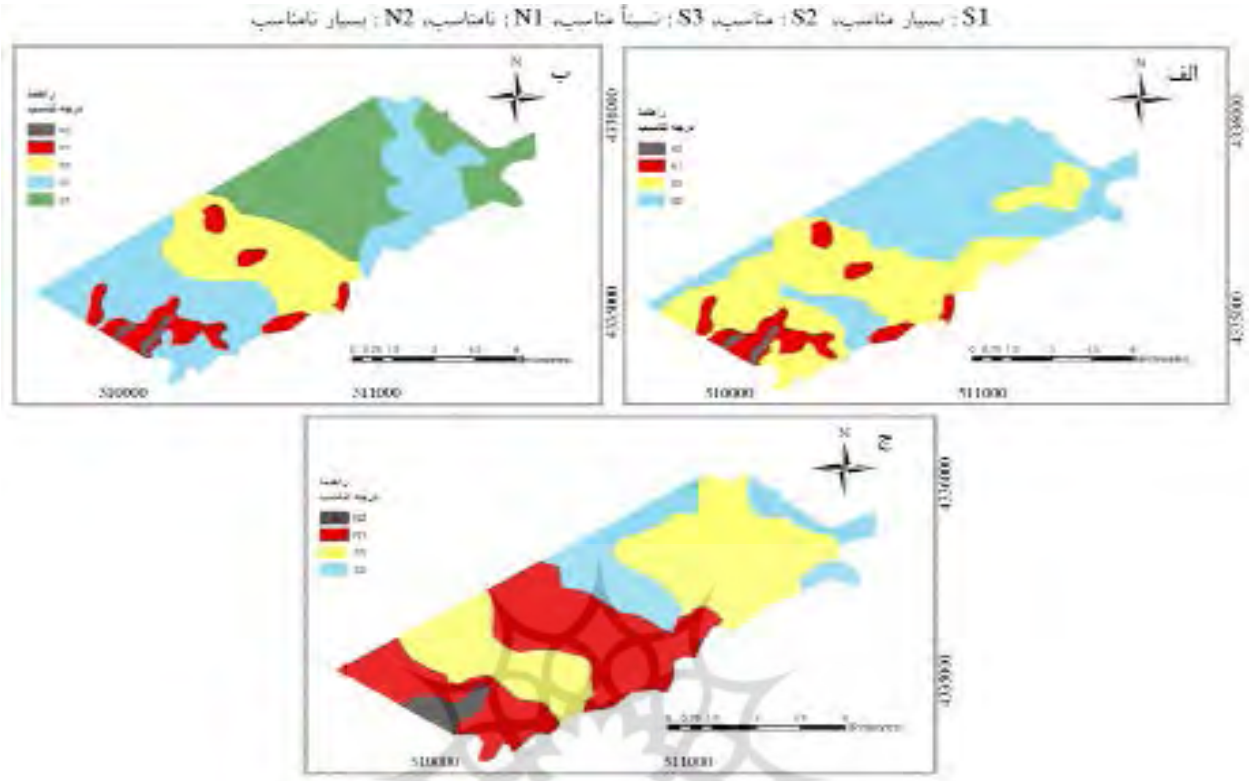
در اولین گام پیاده‌سازی، نقشه شیب منطقه با استفاده مدل رقومی ارتفاعی تهیه شده است. گفتنی است این مدل دارای قدرت تفکیک مکانی ۱۵ متر می‌باشد که برای تهیهٔ آن اطلاعات سایت USGS، داده‌های ماهواره ASTER و نقاط ارتفاعی برداشت شده مورد استفاده قرار گرفته‌اند. بر این اساس در کلیه نقشه‌ها، اندازه سلول ۱۵ متر مورد استفاده بوده است. همچنین سیستم تصویر کلیه نقشه‌ها نیز از نوع UTM واقع در قاچ ۳۸ شمالی می‌باشد. مقادیر صفر تا ۷۰ درصد، چگونگی وضعیت شیب در سطح منطقه را در نگاره ۵ نشان می‌دهند. نقشه جهت شیب با استفاده از مدل رقومی ارتفاع و نقشه شیب تهیه شده است. نگاره٦ نقشه جهت شیب در سطح منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.



نگاره٥: نقشه شیب منطقه بر حسب درصد



نگاره٦: نقشه جهات شیب



نگاره۷: تناسب اراضی از جنبه شیب و جهت شیب برای کشت الف) تناسب اراضی برای کشت گندم، جو و کلزا ب) یونجه و ج) ذرت دانه‌ای، ذرت علوفه‌ای، چغندرقند و سیب‌زمینی براساس شیب و جهت شیب

در منطقه مورد مطالعه شیب‌های شرقی، بیشترین مقدار کربن آلی را داشته و با شیب‌های شمالی و غربی تفاوت زیادی ندارند. با توجه به جهت باد غالب منطقه که ازسمت غرب به شرق است، می‌توان بیان نمود که شیب‌های شرقی در قسمت بادپناه قرار گرفته‌اند. بنابراین میزان تبخیر و تعرق در این جهت شیب کم شده است. شیب‌های جنوبی نیز به علت دریافت بیشتر نور ، نسبت به سایر جهات دارای کربن آلی کمتری هستند. به‌این ترتیب، کارشناسان با در اختیار داشتن نقشه‌های شیب و جهت شیب و توجه به نیازها و شرایط هر محصول، با در اختیارداشتن امکان برهم‌نهی نقشه‌ها و خصوصیات هر محصول، میزان تناسب کیفی منطقه از نظر شیب و جهت شیب برای هشت محصول مورد نظر را تعیین نمودند که در نگاره۷ قابل ملاحظه است. همانطور که مشاهده می‌شود بیشتر مساحت منطقه از نظر شیب و جهت شیب برای یونجه بسیار مناسب، برای گندم، جو و کلزا مناسب و برای ذرت دانه‌ای، ذرت علوفه‌ای، چغندرقند و سیب‌زمینی نسبتاً مناسب می‌باشد.

٤-٣- وزن نسبی معیارها و راهبردها (گزینه‌های کشت)

با استفاده از مقایسات زوجی تحلیل سلسله مراتبی و نظرات پنج کارشناس، وزن نهایی معیارها و شاخص ناسازگاری به‌دست آمد که وزن‌ها در جدول ۵ نشان داده شده است. شاخص ناسازگاری این مقایسه‌ها حدود ۰/۰۵ محاسبه شد.

جدول۵: وزن نهایی معیارها

معیارها	دورهٔ رشد	نیاز آبی	راندمان آبیاری	دما	محدودهٔ زمانی رشد محصولات	آب در دسترس	شاخص اقتصادی	دوره‌های آبیاری	مساحت زیر کشت
وزن معیارها	۰/۰٦۹۱۲	۰/۲٤۹۳۷	۰/۱۳۸۹۰	۰/۰٤۸۸۱	۰/۰۸٤۰۹	۰/۰۳۷۰۹	۰/۳۲۰۹۸	۰/۰۲۲۰۰	۰/۰۲۹٦۵

حال پس از مشخص کردن گزینه‌ها (انواع محصولات) و معیارهای تصمیم‌گیری (نه معیار مورد نظر)، با استفاده از مدل TOPSIS، اقدام به انتخاب محصولات مناسب‌تر می‌شود. مراحل این تصمیم‌گیری به شرح زیر است *(Abou-El-Enien, 2013)*:

اولین مرحله ایجاد یک ماتریس تصمیم می‌باشد که این ماتریس با توجه به مقدار گزینه‌ها براساس معیارها ایجاد شده و در جدول ٦ ارائه شده است. در این جدول، مقادیر معیارها برای راهبردهایی که امکان درج مقادیر کمّی آن‌ها وجود نداشت (نظیر دما و آب در دسترس) بر اساس معیارها با استفاده از نظر کارشناسان و انجام مقایسات زوجی به‌دست آمده است. ماتریس بی‌مقیاس وزن‌دار نیز پس از استفاده از وزن‌های AHP به‌صورت جدول ۷ حاصل شد و سپس مقادیر ایده‌آل مثبت و منفی به‌دست آمد که در جدول ۸ نشان داده شده است. در جدول ۹ نیز شاخص شباهت و رتبه‌بندی گزینه‌ها به نمایش در آمده است. همانطور که در جدول ۹ مشاهده می‌شود، گندم در اولویت اول و ذرت علوفه‌ای در اولویت آخر منطقه مورد مطالعه قرار گرفته است.

جدول٦: ماتریس اولیه تصمیم‌گیری

معیارهاگزینه‌ها	دورهٔ رشد	نیاز آبی	راندمان آبیاری	دما	محدودهٔ زمانی رشد محصولات	آب در دسترس	شاخص اقتصادی	دوره‌های آبیاری	مساحت زیر کشت
گندم	۹۱	۳۵۲/۹	۰/۱۸۰۸۸	۰/۲۱۱۸۳	۰/۲۵۳۱۳	۰/۲۲۳۰٦	۵۱۰۰	۲۰	۱۱۰/۲
جو	۷۱	۲٦٦/۲	۰/۱۸٦٦٦	۰/۲۵۵۲۰	۰/۲٦۰۰۳	۰/۳۱۷۳۳	۳۰۰۰	۲۸	۹۸/۵
یونجه	۱۹۵	۷٦٦/٦	۰/۲۹۱۹۱	۰/۱٤۳۰۳	۰/۰۸۱۲٦	۰/۰۵٦۱۸	۵۷۰۰	۲۱	٤۹/۳
چغندرقند	۱۷٦	٦۲٤/۳	۰/۱۱۰۲٦	۰/۱۲۱۸۵	۰/۱۰۱٤۱	۰/۰۷۱۹۱	٦٦۰۰	۱۳	۳٤/۹
کلزا	۹۰	۲۸۰/٦	۰/۰٤۲۷٦	۰/۰۹٦۵٤	۰/۱٦۱۷۹	۰/۱٦۵٦۵	۷۳۸۰	۲۰	۲۰/۳
سیب زمینی	۱۳۸	۵۷٦	۰/۰٤٦۸۹	۰/۰۵٦٤۳	۰/۰٤۲۸٦	۰/۰۵۰۳۵	٦۲۰۰	٦	٤۵/۱
ذرت دانه‌ای	۱٤۰	۵٤٤	۰/۰۷۰۳۲	۰/۰۷۲۸۲	۰/۰٦۷۹۰	۰/۰۸۲۵۸	۵٤۵۰	۸	۲٦/۵
ذرت علوفه‌ای	۱۰٤	٤۲۲/۵	۰/۰۷۰۳۲	۰/۰٤۲۳۰	۰/۰۳۱٦۱	۰/۰۳۲۹٤	۵۷۵۰	۱٦	۳۵/۲

جدول۷: ماتریس بی‌مقیاس وزن‌دار

گزینه‌ها	دوره رشد	نیاز آبی	راندمان آبیاری	دما	محدوده زمانی رشد محصولات	آب در دسترس	شاخص اقتصادی	دوره‌های آبیاری	مساحت کشت
گندم	۰/۰۱٦۸۲	۰/۰٦۱۳۵	۰/۰۵۹٤۱	۰/۰۲۵٤٦	۰/۰٤۹۸۷	۰/۰۱۸٦٦	۰/۱۰۰۲٤	۰/۰۰۸۷۱	۰/۰۱۸۹۰
جو	۰/۰۱۳۱۲	۰/۰٤٦۲۸	۰/۰٦۱۳۱	۰/۰۳۰٦۷	۰/۰۵۱۲۳	۰/۰۲٦۵٤	۰/۰۵۸۹٦	۰/۰۱۲۲۰	۰/۰۱٦۸۹
یونجه	۰/۰۳٦۰٤	۰/۱۳۳۲٦	۰/۰۹۵۸۸	۰/۰۱۷۱۹	۰/۰۱٦۰۱	۰/۰۰٤۷۰	۰/۱۱۲۰۲	۰/۰۰۹۱۵	۰/۰۰۸٤۵
چغندرقند	۰/۰۳۲۵٤	۰/۱۰۸۵۳	۰/۰۳٦۲۱	۰/۰۱٤٦۵	۰/۰۱۹۹۸	۰/۰۰٦۰۲	۰/۱۲۹۷۱	۰/۰۰۵٦٦	۰/۰۰۵۹۸
کلزا	۰/۰۱٦٦۳	۰/۰٤۸۸۰	۰/۰۱٤۰۵	۰/۰۱۱٦۱	۰/۰۳۱۸۷	۰/۰۱۳۸٦	۰/۱٤۵۰٤	۰/۰۰۸۷۱	۰/۰۰۳٤۸
سیب‌زمینی	۰/۰۲۵۵۰	۰/۱۰۰۱۳	۰/۰۱۵٤۰	۰/۰۰٦۷۸	۰/۰۰۸٤٤	۰/۰۰٤۲۱	۰/۱۲۱۸۵	۰/۰۰۲٦۱	۰/۰۰۷۷۳
ذرت دانه‌ای	۰/۰۲۵۸۷	۰/۰۹٤۵۷	۰/۰۲۳۱۰	۰/۰۰۸۷۵	۰/۰۱۳۳۸	۰/۰۰٦۹۱	۰/۱۰۷۱۱	۰/۰۰۳٤۹	۰/۰۰٤۵٤
ذرت علوفه‌ای	۰/۰۱۹۲۲	۰/۰۷۳٤۵	۰/۰۲۳۱۰	۰/۰۰۵۰۷	۰/۰۰٦۲۳	۰/۰۰۲۷۹	۰/۱۱۳۰۰	۰/۰۰٦۹۷	۰/۰۰٦۰۳

جدول۸: مقادیر ایده‌آل مثبت و ایده‌آل منفی برای هر یک از شاخص‌ها

معیارها	دوره رشد	نیاز آبی	راندمان آبیاری	دما	محدوده زمانی رشد محصولات	آب در دسترس	شاخص اقتصادی	دوره‌های آبیاری	مساحت زیر کشت
ایده‌آل مثبت	۰/۰۱۳۱۲	۰/۰٤٦۲۸	۰/۰۹۵۸۸	۰/۰۳۰٦۷	۰/۰۵۱۲۳	۰/۰۲٦۵٤	۰/۱٤۵۵٤	۰/۰۱۲۲۰	۰/۰۱۸۹۰
ایده‌آل منفی	۰/۰۳٦۰٤	۰/۱۳۳۲٦	۰/۰۱٤۰۵	۰/۰۰۵۰۷	۰/۰۰٦۲۳	۰/۰۰۲۷٦	۰/۰۵۸۹٦	۰/۰۰۲٦۷	۰/۰۰۳٤۸

جدول۹: شاخص شباهت (نزدیکی به گزینه ایده‌آل) و رتبه‌بندی آن‌ها

گزینه‌ها	گندم	جو	یونجه	چغندرقند	کلزا	سیب‌زمینی	ذرت دانه‌ای	ذرت علوفه‌ای
شاخص شباهت ($\overline{C}_i$)	۰/٦٤٢٧٠٤	۰/٥٥٧٠١٦	۰/٤٨١٢٠٨	۰/٤٤٥٠٦٥	۰/٥٨٦٢٠٨	۰/٣٨٥٣٦٤	۰/٣٦٩٤٣٦	۰/٤٤٦٣٩٠
رتبه‌بندی (اولویت)	۱	۳	٤	٦	۲	۷	۸	٥

٤-٤- پیاده‌سازی برنامه‌ریزی خطی

در مسئله مورد بررسی، هدف بیشترین سود و محدودیت‌های مورد استفاده شامل محدودیت آب، زمین و محدودیت حداکثر و حداقل کشت محصولات می‌باشد. متغیرهای تحقیق نیز شامل گندم (x_1)، جو (x_2)، یونجه (x_3)، چغندرقند (x_4)، کلزا (x_5)، سیب‌زمینی (x_6)، ذرت‌دانه‌ای (x_7) و ذرت علوفه‌ای (x_8) است. در ادامه هدف و قیود مسئله معرفی می‌شوند.

- **تابع هدف:** ویژگی‌های تابع هدف و مقدار ضریب فعالیت‌های آن، بستگی به اهداف مدیر واحد تولیدی، اهداف تحقیق و مدل برنامه‌ریزی مورد استفاده دارد. بنابراین تابع هدف در این مطالعه شامل حداکثرسازی سود اقتصادی می‌باشد. تابع هدف این پژوهش که در آن سود حاصل از محصولات براساس میلیون تومان در نظر گرفته شده، در رابطه (۱۳) نشان داده شده است:

$$Max\ z = 5.1x_1 + 3x_2 + 5.7x_3 + 6.6x_4 + 7.38x_5 + 6.2x_6 + 5.4x_7 + 5.75x_8$$

رابطه (۱۳)

- **قید محدودیت زمین:** در این مطالعه محدودیت سطح زیر کشت برابر با کل زمین در دسترس برای کشت محصولات می‌باشد (رابطه۱٤):

$$x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5 + x_6 + x_7 + x_8 = 420$$

رابطه (۱٤)

- **قیود محدودیت حداقل و حداکثر کشت محصولات**

با توجه به نیازهای منطقه و همچنین به‌منظور تأمین نیازهای کشور و جلوگیری از کمبود نیاز اساسی جامعه در آینده، اداره کشاورزی برای هر یک از محصولات در منطقه حداقل و حداکثرهایی به‌منظور کشت در نظر گرفته است که در زیر بیان شده است:

$۳۰ \le x_۳ \le ۸۰$ $\quad ۳۵ \le x_۲ \le ۹۰$ $\quad ٦٥ \le x_۱ \le ۱۳۰$

$۱٥ \le x_٦ \le ۷۰$ $\quad ۳۰ \le x_٥ \le ۱۰۰$ $\quad ۲۰ \le x_٤ \le ۸۰$

$۳٥ \le x_۸ \le ۷۰$ $\quad ۱۰ \le x_۷ \le ٥۰$

- **قید محدودیت آب:** محدودیت آب شامل کل منابع سطحی و زیر سطحی برای کشت محصولات است. در این تحقیق ضرایب محصولات، نیاز آبیاری محصولات می‌باشد که توسط اداره کشاورزی براساس نیازآبی و راندمان آبیاری منطقه تهیه شده و در جدول ۱۰ ارائه شده است.

محدودیت‌های آبی این تحقیق شامل محدودیت‌های مربوط به فصل‌های بهار، تابستان، پاییز و کل آب تخصیص داده شده به این دشت می‌باشد که در روابط (۱٥) تا (۱۸)

جدول۱۰: نیاز آبیاری محصولات زراعی در دشت قیقاج

محصول	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	مهر	آبان
گندم	۷٥/۳	۹۷/۸	۱۳۰/٦	۲۷/٦	۰	۰	۹۱/۳	۱۳/٤
جو	۸۳/٦	۱۱٥/٥	٦٦/۱	۰	۰	۰	۱۲۹/٥	۳٤/۸
یونجه	۰	۱۱۱/٦	۱۳۲/۱	۱۸٥/۸	۲۰٦/۸	۱۸۳/۲	۱۲۱/۱	٥٦/۸
چغندرقند	۱۳/۱	٤۳/۸	۱٤۹/٤	۲۰۳/۸	۲۰۳/۱	۱٦۰	٤٥	۰
کلزا	۱۰۹/۳	۱۲۹/۸	۷۲/٦	۰	۰	۱٤۳/۷	۳۸/۱	۱۷/٥
سیب‌زمینی	۰	۹٥/۱	۱۲٥/۹	۱۸٤/۲	۲۰٤/٦	۱۳۲/۳	٥/٦	۰
ذرت دانه‌ای	۰	۱۱۰/۱	۱۲۰/۸	۲۲٦/٤	۲٥۱/٦	۹۱/۲	۰	۰
ذرت علوفه‌ای	۰	۰	۰	۱۸٤	۲۰۹	۲۲۲	۲۰٦/۳	۰

اعمال شده است:

۱) محدودیت آب در فصل بهار

$$303.7x_1 + 265.2x_2 + 273.7x_3 + 206.3x_4 + 311.7x_5 + 221x_6 + 230.9x_7 \leq 99520.1$$

رابطه (۱۵)

۲) محدودیت آب در فصل تابستان

$$27.6x_1 + 575.8x_3 + 566.9x_4 + 143.7x_5 + 521.1x_6 + 569.2x_7 + 615x_8 \leq 98968.2$$

رابطه (۱۶)

۳) محدودیت آب در فصل پاییز

$$104.7x_1 + 164.3x_2 + 177.9x_3 + 45x_4 + 55.6x_5 + 5.6x_6 + 206.3x_8 \leq 105904$$

رابطه (۱۷)

٤) محدودیت کل آب تخصیص داده شده

$$436x_1 + 429.5x_2 + 1027.4x_3 + 818x_4 + 481.7x_5 + 750.7x_6 + 800.1x_7 + 821.3x_8 \leq 304592$$

رابطه (۱۸)

٤-۵- سناریوهای کشت

در این تحقیق با اعمال و یا عدم اعمال قیود، سه سناریو و با تغییر هدف طبق روش موتاد، یک سناریو و در مجموع چهار سناریو برای کشت پیاده‌سازی شد که در ادامه تشریح می‌شوند.

٤-۵-۱- سناریوی اول: بدون هیچ قیدی مبنی بر حداقل و حداکثر محصول

در این حالت هدف، بیشترین سود و محدودیت فقط میزان مصرف آب، بدون در نظر گرفتن نیازهای منطقه (قیود اداره کشاورزی) می‌باشد. در این حالت با توجه به سودی که برای محصولات وجود دارد، جواب مدل با کشت سه محصول گندم، کلزا و ذرت علوفه‌ای با مساحت‌های به‌ترتیب حدود ٦۹، ۲۵۲ و ۹۹ هکتار و حذف سایر محصولات به‌دست می‌آید که البته موجب کاهش مصرف آب نیز می‌شود ولی عملی بودن آن به شدت زیر سؤال خواهد بود.

٤-۵-۲- سناریوی دوم: اندازه و عرف منطقه و قیود اداره کشاورزی

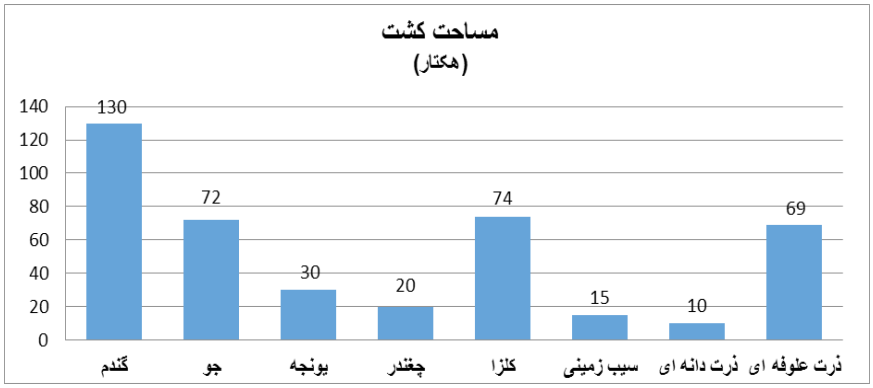
در این حالت صرفاً بیشترین سود مد نظر نبوده بلکه تأمین نیازهای منطقه و رسیدن به اهداف اداره کشاورزی نیز مد نظر قرار گرفته و تمام محصولات در الگوی کشت گنجانده شده‌اند.

بنابراین علاوه بر محدودیت‌های آب و زمین از محدودیت حداقل و حداکثر کشت نیز استفاده شده و نتایج حاصل از اجرای آن در نگاره ۸ نشان داده شده است.همان‌طور که از نتایج برنامه‌ریزی خطی در سناریو دوم مشخص است تمام متغیرها وارد الگوی کشت شدند ولی محصولاتی که آب بیشتری مصرفی می‌کنند و درآمد کمتری دارند، کمترین مقدار را به خود اختصاص داده‌اند. گندم که هم درآمد نسبتاً خوبی دارد و هم آب کمتری مصرف می‌کند، بیشترین مقدار را به خود اختصاص داده است.

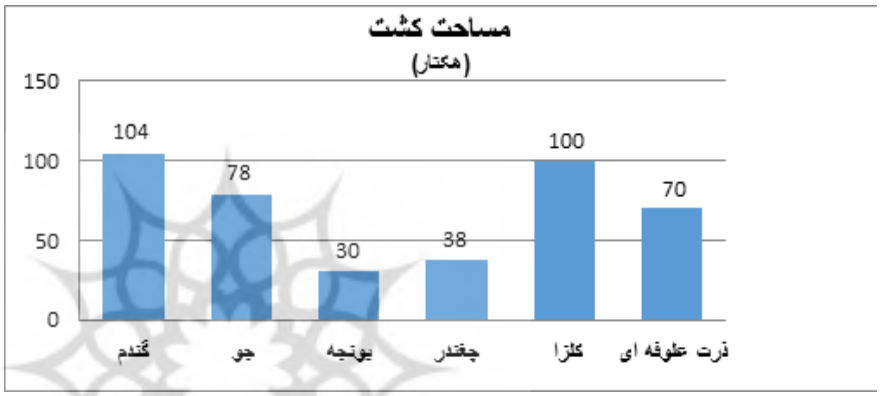
٤-۵-۳- سناریوی سوم: عدم کشت برخی محصولات پر مصرف آب

همانطور که اشاره شد یکی از اهداف اداره کشاورزی شهرستان پلدشت کاهش کشت و حتی عدم کشت بعضی از محصولات بدبازده در منطقه می‌باشد که در بین این هشت محصول، دو محصول ذرت دانه‌ای و سیب‌زمینی محصولاتی هستند که علاوه بر مصرف آب زیاد، بازده پایینی در منطقه دارند و همچنین در رتبه‌بندی، آخرین رتبه‌ها را کسب نموده‌اند. به همین دلیل در این سناریو این دو محصول حذف شدند تا الگوی کشت منطقه بدون وجود این محصول مشخص شود. نتایج حاصل از این سناریو در نگاره۹ نشان داده شده است.

همانطور که در نگاره۹ مشخص است، با حذف محصولات پر مصرف آب و وجود آب بیش از اندازه، الگوی کشت به محصولاتی که سود اقتصادی دارند، تمایل پیدا کرده و کمتر بحث آب مورد توجه قرار گرفته است.



نگاره۸: مساحت اختصاص داده شده به محصولات در سناریوی دوم



نگاره۹: مساحت اختصاص داده شده به محصولات در سناریوی سوم

٤-٥-٤- سناریوی چهارم: روش موتاد

برای اجرای مدل موتاد دوره مورد استفاده برای آمارگیری سود محصولات از سال ۱۳۹۰ تا ۱۳۹۵ بوده است که نتایج آن در جدول ۱۱ خلاصه شده است.

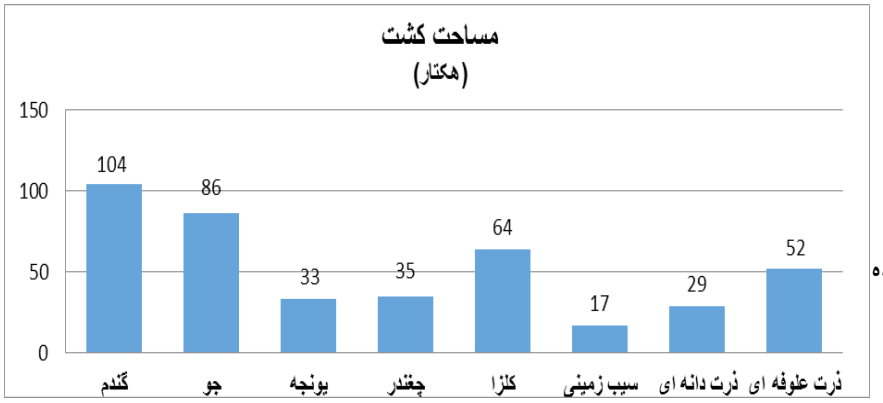
مقادیر درج شده در جدول ۱۱ طبق رابطه (۱۲) برای هر سال به یک رابطه قیدی می‌انجامند. محدودیت‌ها یا همان قیود در نظر گرفته شده در این مدل به مانند سناریوهای قبلی، محدودیت زمین و آب بوده است و قیدی برای کود و سموم در نظر گرفته نشده است چراکه عملاً این دو مورد قابل تهیه هستند و محدودیتی برای آن‌ها وجود ندارد. اما بر اساس اطلاعات موجود، محدودیت نیروی کار به‌صورت رابطه (۱۹)

$$6.94x1 + 4.78x2+47.39x3+45.24x4 + 56.69x5+61.7x6+67.5x7+ 48.4x8 \leq 24840$$

رابطه (۱۹)

جدول ۱۱: اختلاف میانگین و سود سالانه محصولات به ازای هر هکتار در سالهای ۱۳۹۰تا ۱۳۹۵ (ریال)

محصولات	سال					
	۹۰	۹۱	۹۲	۹۳	۹٤	۹۵
گندم	٥٦٢٤١٣٠	٥٢٣٠٥١٠	١٤٦٣٠٧٠	١٢٥٩٢٨٠	٢٤٢٩٦٧٠	٨٥٤٥٦٩٠
جو	٩٦٢١٧٥٠	١٢٣٠٤٢٠	١١٢٨٠٦٢٠	٩٣٥٣٨٧٠	٧٣٨٩٨٩٠	١٨٣٦٥٦٥٠
یونجه	٣٢٦٥٧٣٠	٩٣٧٧٣٨٠	٩٥١٠١٢٠	٨٥١٢٩٥٠	٨٩١٦٦٣٠	٧٢١٣٥٥٠
چغندرقند	٧٥١٥٢٧٠	٦٦١٦٧٦٠	٣٤٩٩٥٥٠	٢٣٠٩٨٥٠	٢٦٢٧٦٥٠	٦٦٣٩٥٠
سیب‌زمینی	٦٦١٤٠٣٠	٧١٩٤٨٠	٨٨١٧١١٠	٢٨١٣٢١٠	٦١٣٠١٠	٨٧١٣١٨٠
کلزا	٥٦٢١٣٣٠	٥٢٣٠٥١٠	١٤٥٢٣٧٠	١٢٦٥٢١٠	٢٤٦٥٢٢٠	٨٥٦٣٣١٠
ذرت دانه‌ای	٩٦٣٢١٠٠	١٢٣٦٢١٠	١١٢١٤٠٠	٩٣٢١٤٠	٧٣٣٨٨٩٠	١٨٣٦٦٥٠
ذرت علوفه‌ای	٣٢٦٧٣٠	٩٣٧٣٨٠	٩٥١١١٢٠	٨٥١٢٩٥٠	٨٩٨٦٣٠	٧٢٩٠٥٠



نگاره۱۰: مساحت اختصاص داده شده به محصولات در روش موتاد

و محدودیت سرمایه به‌صورت رابطه (۲۰) در نظر گرفته شدند:

$$4800000x_1 + 27000000x_2 + 55000000x_3 + 74560000x_4 + 89300000x_5 + 82000000\,x_6 + 56000000\,x_7 + 65000000x_8 \leq 2254573400$$

رابطه (۲۰)

با حل مدل برنامه‌ریزی خطی موتاد، نتایج طبق نگاره۱۰ به‌دست آمد که تا حدودی با سناریوی دوم مشابهت دارد.

٤-٦- اولویت کشت کشاورزان

یکی دیگر از مسائل مهمی که در تعیین الگوی کشت باید به آن توجه کرد، تمایل و مهارت کشاورزان در کشت محصولات است. در این تحقیق برای تعیین تمایل کشاورزان از پرسشنامه‌هایی که بین آن پخش شده استفاده شده است. در این پرسشنامه‌ها از کشاورزان خواسته شد آشنایی و تمایل خود را برای کشت این هشت محصول به ترتیب مشخص کنند. سپس تمام این اطلاعات روی نقشه قرار گرفت که در نگاره ۱۱ به نمایش درآمده است.

٤-٧- تخصیص محصول مناسب هر زمین با مدل SWOT

همانطور که گفته شد تا اینجا اولویت کشت محصولات مناسب در منطقه مشخص و همچنین حداکثر و حداقل کشت مورد نظر برای هر محصول با استفاده از برنامه‌ریزی خطی محاسبه شد. امّا توجه به این نکته ضروری است که صرفاً براساس یک عدد و اولویت‌بندی نمی‌توان تصمیمی کارا و دقیق در مورد محصول مناسب برای هر زمین گرفت. از طرفی دیگر برخی از پارامترها نظیر شیب، جهت شیب و اولویت کشت محصولات در تصمیم‌گیری اولیه وجود نداشتند. به همین دلیل در این قسمت نتایج آماری تحلیل محصول مناسب برای هر زمین، برای رسیدن به تصمیم‌گیری همه‌جانبه و کارا در قالب جدول‌های مدل SWOT تحلیل شد. این جداول براساس نظر کارشناسان کشاورزی تهیه و تنظیم شده‌اند. برای هر زمین یک جدول تهیه شده و شیب، اولویت‌بندی TOPSIS و حداکثر مقداری که برای محصولات در برنامه‌ریزی خطی به‌دست آمده، به‌عنوان یک فرصت در نظر گرفته شده است. همچنین اولویت کشاورزان و حداقل مقدار در برنامه‌ریزی خطی، به‌عنوان تهدید در نظر گرفته شده است.

لازم به ذکر است که به‌دلیل اینکه نتایج سناریوی یک، خیلی یک‌جانبه و غیر واقعی بود در مدل SWOT مورد استفاده قرار نگرفت چه اینکه تحقق اقتصادی آن نیز حتی در صورت تحقق، با توجه به اشباع نسبی محصولات توصیه شده و کسری نسبی محصولات حذف شده، در هاله‌ای از ابهام قرار خواهد گرفت. به‌این ترتیب ٤٦ جدول SWOT برای تصمیم‌گیری در مورد تخصیص کشت مطلوب تهیه شد که در این نوشتار به‌دلیل محدودیت فضا فقط یک مورد آن به‌عنوان نمونه در جدول ۱۲ ارائه شده است. شماره‌بندی قطعات زمین نیز در نگاره ۱۲ قابل مشاهده می‌باشد.

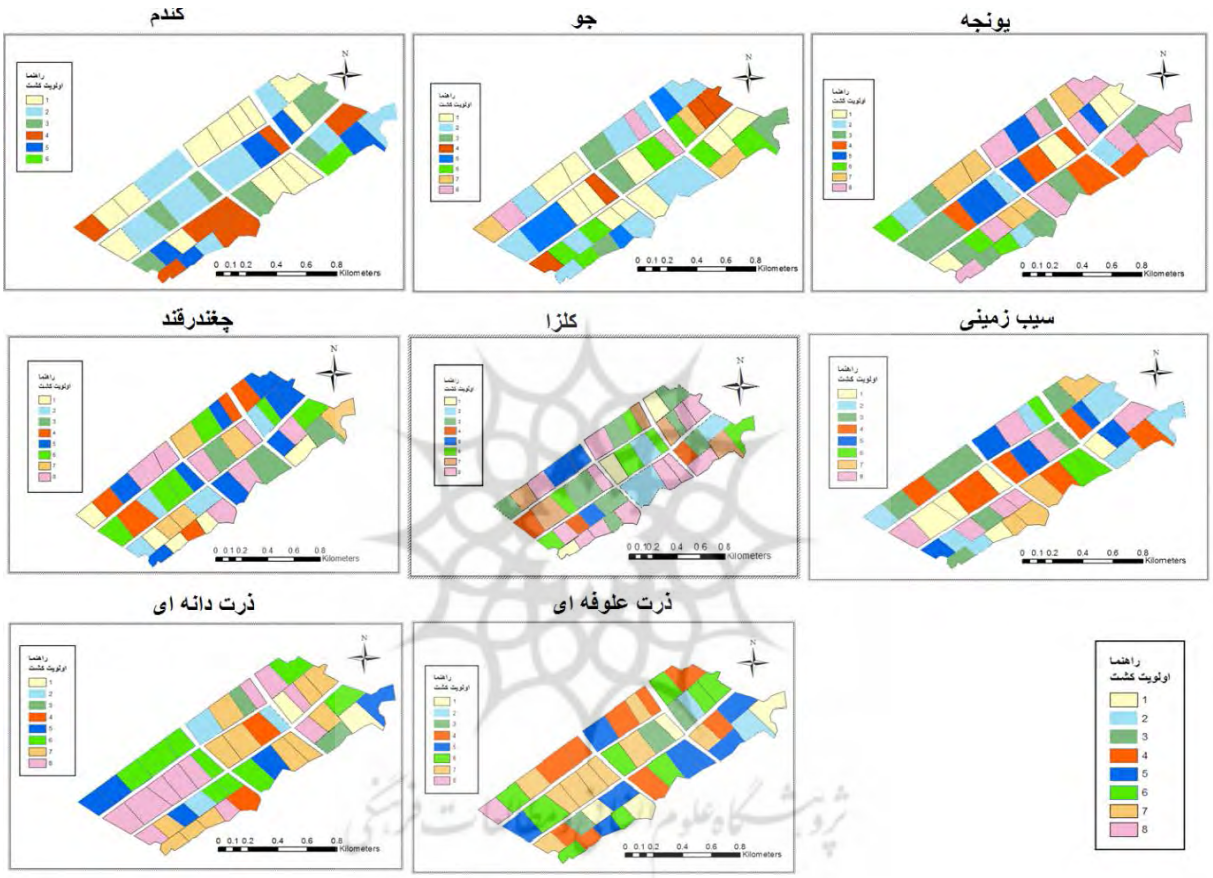
جدول ۱۲- مدل ارزیابی SWOT برای زمین شماره یک

زمین ۱	نقاط قوت				نقاط ضعف			
		شیب و جهت شیب	اولویت TOPSIS	حداکثر هکتار		شیب و جهت شیب	اولویت TOPSIS	حداکثر هکتار
فرصت‌ها	گندم	S2	۱	۱۳۰	گندم			
	جو	S2	۳	۸۶	جو			
	یونجه	S2	٤		یونجه	S3		۳۳
	چغندرقند				چغندرقند		٦	۳۸
	کلزا	S2	۲	۱۰۰	کلزا			
	سیب‌زمینی				سیب‌زمینی	S3	۷	۱۷
	ذرت دانه‌ای				ذرت دانه‌ای	S3	۸	۲۹
	ذرت علوفه‌ای			٦۹	ذرت علوفه‌ای	S3	۵	
تهدیدها		اولویت کشاورزان	حداقل هکتار در برنامه‌ریزی خطی			اولویت کشاورزان	حداقل هکتار در برنامه‌ریزی خطی	
	گندم				گندم	اول	۱۰٤	
	جو				جو	دوم	۷۲	
	یونجه	هشتم	۳۰		یونجه			
	چغندرقند	پنجم	۲۰		چغندرقند			
	کلزا				کلزا	سوم	٦٤	
	سیب‌زمینی	هفتم	۱۵		سیب‌زمینی			
	ذرت دانه‌ای	ششم	۱۰		ذرت دانه‌ای			
	ذرت علوفه‌ای	چهارم			ذرت علوفه‌ای		۵۲	

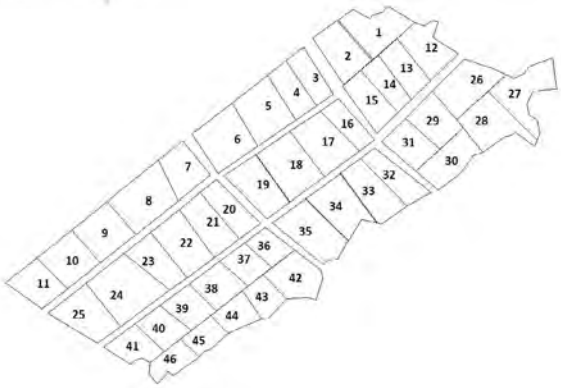
در جدول ۱۲ با توجه به اینکه گندم در قسمت فرصت‌ها هیچ نقطه ضعفی ندارد و اولویت اول صاحب این زمین است، به‌عنوان محصول مناسب برای این زمین انتخاب شد. برای تک‌تک این زمین‌ها این جداول ایجاد و محصول مناسب برای هر زمین تعیین و الگوی کشت مناسب منطقه مطابق نگاره ۱۳ به‌دست آمد. میزان آب مصرفی و سود اقتصادی حاصل از اجرای الگوهای کشت مورد بحث، در نگاره‌های ١٤ و ۱۵ نشان داده شده است.

در نگاره‌های ١٤ و ۱۵ می‌توان نتایج تک‌تک حالت‌ها و سناریوها را با هم مقایسه نمود، برای مثال می‌توان دید که سناریوی سوم از هر دو جنبه اقتصادی و مصرف آب، اندکی از سناریوی دوم بهتر است. در حالی‌که سناریوی اول علی‌رغم اینکه علی‌الظاهر از جنبه‌های سود اقتصادی و آب مصرفی بهتر است ولی نه تنها قابلیت تحقق ندارد بلکه سود اقتصادی هم با توجه به اشباع نسبی بازار و ظرفیت تأسیسات فرآوری موجود در منطقه، در معرض تهدید اساسی قرار می‌گیرد. همچنین با توجه به نگاره‌های ١٤ و ۱۵ مشخص است که تخصیص صورت گرفته براساس مدل SWOT یک راه حل بینابینی ولی کارا است. این تخصیص، هم باعث کاهش مصرف آب و هم سبب افزایش سود محصولات می‌شود ولی در عین حال با توجه به اینکه ترجیحات کشت کشاورزان را در نظر می‌گیرد می‌توان آن را کاراترین حالت دانست. بدیهی است که می‌توان هر یک از سناریوهای پیاده شده را در نظر داشت ولی مشکل اینجاست که تخصیص

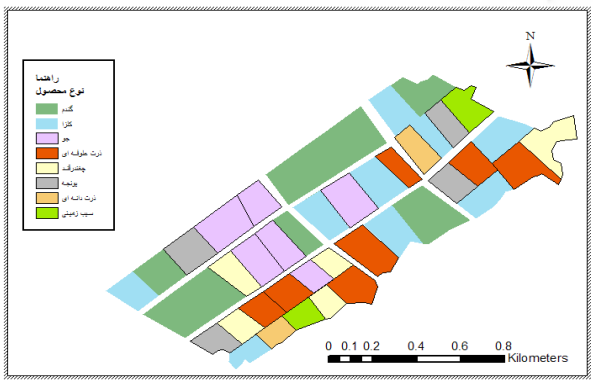
کشت به هر یک از زمین‌ها و مجبور کردن کشاورزان به انجام آن عملی نیست. از این رو بهترین رویه این است که با الگوی تخصیص پیشنهاد شده کار را شروع کرد و پس از عملی کردن آن (که ممکن است آن هم صد در صد محقق نشود) با در پیش گرفتن انواع راهکارهای تشویقی و تنبیهی و نیز فرهنگسازی و آموزش، کشاورزان را به سمت در پیش گرفتن الگوهای کشت بهتر به‌منظور بیشتر شدن سود، کمتر شدن مصرف آب و یا تحقق سایر اهداف و قیود، سوق داد.



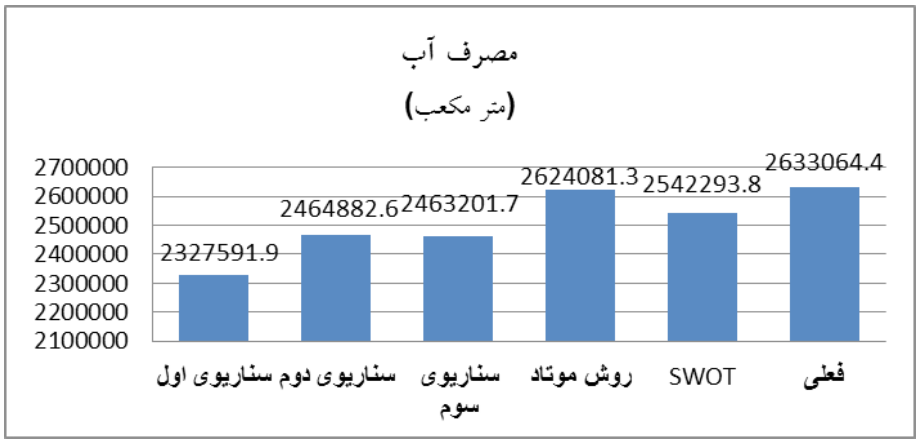
نگاره۱۱: نقشه‌های اولویت کشت کشاورزان



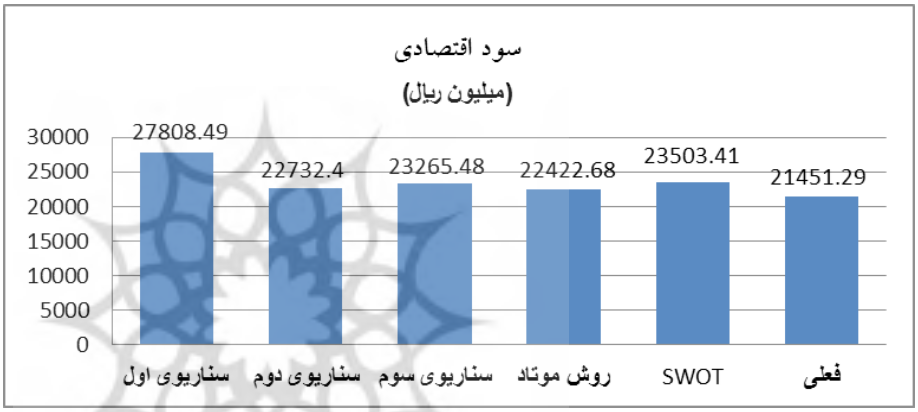
نگاره۱۲: شماره‌بندی قطعات زمین



نگاره۱۳: نقشه نهایی الگوی کشت بهینه



نگاره۱٤: مقایسه آب مصرفی الگوهای مختلف کشت



نگاره۱۵: مقایسه سود اقتصادی الگوهای مختلف کشت

۵- نتیجه‌گیری و پیشنهادها

این پژوهش به منظور تعیین الگوی کشت مناسب برای دشت قیقاج در استان آذربایجان غربی با یک رویکرد واقع‌گرایانه در جهت تخصیص مطلوب‌ترین محصول به تک‌تک قطعات زمین با در نظر گرفتن جنبه‌های مختلف موضوع، انجام گرفت. در این تحقیق مشخص شد که با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره می‌توان از بین چندین گزینه و بر مبنای چندین معیار تصمیم، بهترین انتخاب را انجام داد. برای این منظور در تحقیق حاضر از روش تلفیق AHP و TOPSIS استفاده شد. با ایجاد مدل سلسله مراتبی وزن نهایی و اهمیت نسبی هر یک از معیارها به‌ترتیب دورهٔ رشد ۰/۰۶۹۱۲، نیاز آبی ۰/۲۴۹۳۷، راندمان آبیاری ۰/۱۳۸۹۰، محدودهٔ زمانی مشترک رشد محصولات ۰/۰۸۴۰۹، آب در دسترس ۰/۰۳۷۰۹، شاخص اقتصادی ۰/۳۲۰۹۸، دوره‌های آبیاری محصولات ۰/۰۲۲۰۰، مساحت تحت پوشش هر محصول ۰/۰۲۹۶۵ و دما ۰/۰۴۸۸۱ به‌دست آمد که نشان دهنده این موضوع می‌باشد که شاخص اقتصادی و نیاز آبی، متغیرهای اصلی تصمیم می‌باشند. بعد از به‌دست آمدن وزن معیارها و گزینه‌ها، اقدام به اولویت‌بندی محصولات با استفاده از مدل TOPSIS شد که در نهایت اولویت کشت محصولات به‌ترتیب گندم، کلزا، جو، یونجه، ذرت علوفه‌ای، چغندرقند، سیب‌زمینی و ذرت دانه‌ای تعیین شد.

در این تحقیق همچنین برای تعیین میزان بهینه کشت هر یک از محصولات اقدام به بهینه‌سازی با استفاده از برنامه‌ریزی خطی در چهار سناریوی مختلف شد. سناریوی اول بدون هیچ محدودیت مبنی بر حداقل و حداکثر کشت محصول انجام شد. سناریوی دوم براساس اندازه و عرف منطقه و قیود اداره کشاورزی در نظر گرفته شد که در این سناریو براساس قیود تحمیل شده، تمام محصولات وارد

الگوی کشت شدند. سناریوی سوم با در نظر گرفتن قیود سناریوی دوم و عدم کشت دو محصول سیب‌زمینی و ذرت دانه‌ای که در رتبه‌بندی آخرین رتبه‌ها را کسب کرده بودند، انجام شد. در سناریوی چهارم هم از برنامه‌ریزی خطی به روش موتاد استفاده شد که هدف آن حصول به کمترین انحراف منفی از سود میانگین محصولات می‌باشد. با مقایسه این چهار سناریو مشخص شد که در سناریوی اول با اینکه مصرف آب کم و سود آن زیاد است ولی کشت ۲۵۰ هکتار کلزا عملی و اصولی نمی‌باشد. سناریوی سوم نیز در مقام مقایسه از نظر سود اقتصادی و مصرف آب، از سناریوی دوم بهتر است. نتایج سناریوی چهارم هم شباهت‌های شایان توجهی به نتایج سناریوی دوم دارد.

در نهایت با استفاده از اولویت‌های حاصل از تصمیم‌گیری چندمعیاره، نتایج حاصل از برنامه‌ریزی خطی، میزان تناسب کشت براساس فیزیولوژی منطقه و سرانجام اولویت و مهارت کشت کشاورزان منطقه، با استفاده مدل تحلیلی SWOT و با ایجاد جدول SWOT برای هر یک زمین‌ها، محصول مناسب برای کشت در هر زمین به‌دست آمد. مقدار کشت محاسبه شده ۱۱۲/۳ هکتار برای گندم، ۵۹/۹ هکتار برای جو، ۳۲/۱ هکتار برای یونجه، ۳۷/٦ هکتار برای چغندرقند، ۸۵/۷ هکتار برای کلزا، ۱۵/۵ هکتار برای سیب‌زمینی، ۱۳/۲ هکتار برای ذرت دانه‌ای و ٦۳/۷ هکتار برای ذرت علوفه‌ای می‌باشد. در نهایت میزان سود اقتصادی حاصل از آن ۲۳,۵۰۳,٤۱۰,۰۰۰ ریال و آب مصرفی آن ۲,٥٤۲,۲۹۳/۸ متر مکعب تعیین شد که افزایش سود ۲,۰٥۲,۱۲۰,۰۰۰ ریالی و کاهش آب مصرفی ٦/ ۹۰,۷۷۰ متر مکعب را نسبت وضع فعلی در پی خواهد داشت.

با در نظر گرفتن همه جوانب امر می‌توان نتیجه گرفت الگویی که نهایتاً از طریق مدل تحلیلی SWOT به‌دست آمده، به‌دلیل در نظر گرفتن همه جوانب و به‌خصوص نظر کشاورزان، عملیاتی‌ترین گزینه پیشنهادی است. در عین حال باید این نکته را نیز متذکر شد که در پژوهش حاضر به دلیل تعداد نسبتاً کم قطعات زمین، تهیه جداول SWOT برای یکایک آن‌ها امکان‌پذیر شد. مسلماً در مناطق وسیع‌تر چنین کاری شدنی و یا مقرون به‌صرفه نخواهد بود و از این‌رو باید به روش‌های دیگری اندیشید. برای مثال می‌توان حداقل‌سازی تغییر در الگوی کشت هر زمین را به‌عنوان یک هدف در برنامه‌ریزی خطی در نظر گرفت.

برای تحقیقات بیشتر پیشنهاد می‌شود که قیود و اهداف بیشتری نظیر محدودیت فرآوری، آب مجازی مصرفی، محدودیت بذر و نظایر آن نیز در برنامه‌ریزی مورد استفاده قرار گیرند. همچنین برای در نظر گرفتن سوابق کشت محصول در هر قطعه زمین می‌توان از تصاویر سنجش از دور بهره گرفت.

٦- منابع و مآخذ

۱- اسمعیل‌پور اسطرخی، ه.، کریمی، م.، علی‌محمدی سراب، ع. و داوری، ک. (۱۳۹٦). برنامه‌ریزی کشت محصولات کشاورزی با استفاده از روش‌های بهینه‌سازی مکانی. مهندسی فناوری اطلاعات مکانی، ۵(۲)، ۱۹-۳۳.

۲- پالوج، م. (۱۳۹۷). آسیب‌شناسی نظام بهره برداری کشت و صنعت و ارائه راهکارهای توسعه آن. علوم ترویج و آموزش کشاورزی ایران، ۱٤(۲)، ۲۰۱-۲۱۷.

۳- درویشی، م. و رمضانی, ا. (۱۳۹۹). بررسی الگوی کشت محصولات کشاورزی با استفاده از سنجش ازدور و سیستم اطلاعات مکانی با رویکرد قطعه مبنا. فصلنامه علمی- پژوهشی اطلاعات جغرافیایی « سپهر»، ۲۹(۱۱٦)، ۵۹-۷۵.

٤- شبستری، م. ه. و بنی حبیب، م. ا. (۱۳۹٤). رتبه‌بندی راهبردهای مدیریت تقاضای آب کشاورزی مناطق خشک با استفاده از مدل هیبریدی AHP و M-TOPSIS. پژوهش آب در کشاورزی، ۱/۲۹(۱)، ۱۰۱-۱۱۵.

۵- شریفی، م.، اکرم، ا.، رفیعی, ش. و سبزه پرور، م. (۱۳۹۳). اولویت‌بندی کشت محصولات استراتژیک زراعی استان البرز با استفاده از روش دلفی فازی و فرآیند تحلیل

سلسله مراتبی (AHP). ماشین های کشاورزی، ٤(١)، ١١٦-١٢٤.
٦- غفاری، ا.، منتظر، ع. ا. و رحیمی جمنانی، ع. (١٣٨٩). توسعه و ارزیابی مدل تعیین الگوی کشت بهینه شبکه‌های آبیاری با. آب و خاک، ٢٤(٦), ١١١٩-١١٢٨.
٧- قدسی‌پور، ح. (١٣٩٨). فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP). تهران: انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر.
٨- قلی‌زاده مقدم، م.، عابدی سروستانی، ا. و محبوبی، م. (١٣٩٧). عوامل مؤثر بر پذیرش باغ کاری در اراضی شیب‌دار: مورد مطالعه شهرستان های مینودشت و گالیکش استان گلستان. تحقیقات اقتصاد و توسعه کشاورزی ایران، ٤٩(٢)، ٢٥١-٢٦٢.
٩- کاظمی کرانی، ا.، ثمره هاشمی، م.، گلستانی کرمانی، س. و ثمره قاسم شعبجره، م. (١٣٩٨). ارزیابی و انتخاب بهینه معیارهای الگوی کشت مبتنی بر توسعه پایدار. تحقیقات منابع آب ایران، ١٥(٢)، ٩٨-١٠٨.
١٠- مرسلی، س. س. (١٣٩١). بهینه‌سازی تخصیص آب با استفاده از الگوریتم ژنتیک (مطالعه موردی دشت اهر). (پایان‌نامه کارشناسی ارشد). دانشگاه زنجان.
١١- مرکز آمار ایران. (١٣٩٥). سرشماری عمومی جمعیت . Retrieved from www.amar.org.ir
١٢- مقامی مقیم، غ.، حسینی صدیق، س.، اسدی، ر. و خانی تملیه س. (١٣٩٨). پهنه‌بندی آگروکلیمای کشت زعفران در استان خراسان شمالی: رهیافتی برای تغییر الگوی کشت. جغرافیا و توسعه ١٧(٥٦) ١١٩-١٣٨.
١٣- نوبهار ز. جولایی ر. کرامت زاده ع. و دهقانی ا. (١٣٩٣). تعیین الگوی کشت بهینه محصولات با استفاده از برنامه‌ریزی خطی (مطالعه موردی: شهرستان اردبیل). Paper presented at the چهارمین همایش ملی سلامت، محیط زیست و توسعه پایدار، بندرعباس.
١٤- وفائی نژاد، ع. (٢٠١٦). بهینه‌سازی الگوی کشت با استفاده از روش TOPSIS و الگوریتم ژنتیک برمبنای قابلیت‌های GIS (مطالعهٔ موردی: اراضی بخش جلگه، استان اصفهان). اکوهیدرولوژی، ٣(١)، ٦٩-٨٢.
١٥- یوسفی فاتح، م.، آقامحمدی، ح. و بهزادی، س. (١٣٩٥). مدل‌سازی مکان‌مند الگوی بهینه کشت با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) و سیستم‌های اطلاعات مکانی (GIS): مورد دشت اسدآباد همدان. مهندسی نقشه‌برداری و اطلاعات مکانی, ٧(٤), ٦٧-٧٤.
16- Abou-El-Enien, T. (2013). TOPSIS Algorithms for Multiple Objectives Decision Making: Large Scale Programming Approach: LAP LAMBERT Academic Publishing.
17- Akıncı, H., Özalp, A. Y., & Turgut, B. (2013). Agricultural land use suitability analysis using GIS and AHP technique. Computers and Electronics in Agriculture, 97, 71-82.
18- Allen, R. G., Pereira, L. S., Dirk, R., & Martin, S. (1998). Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements - FAO Irrigation and drainage paper 56: Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.
19- Anwar, M., Zulfiqar, F., Ferdous, Z., Tsusaka, T. W., & Datta, A. (2021). Productivity, profitability, efficiency, and land utilization scenarios of rice cultivation: An assessment of hybrid rice in Bangladesh. Sustainable Production and Consumption, 26, 752-758.
20- Bhagat, R. M., Singh, S., Sood, C., Rana, R. S., Kalia, V., Pradhan, S., . . . Shrestha, B. (2009). Land suitability analysis for cereal production in Himachal Pradesh (India) using Geographical Information System. Journal of the Indian Society of Remote Sensing, 37(2), 233.
21- Cicea, C., Busu, C., & Armeanu, E. (2011). The Swot Analysis Of The Romanian Health Care System And The Key Elements For Resources Allocation. Management Research and Practice, 3(3), 32-41.
22- Hwang, C.-L., & Yoon, K. (1981). Multiple Attribute Decision Making. Berlin, Heidelberg: Springer.
23- Ines, A. V. M., Honda, K., Gupta, A. D., Droogers, P., & Clemente, R. S. (2006). Combining remote sensing-simulation modeling and genetic algorithm optimization to explore water management options in irrigated agriculture. Agricultural Water Management, 83, 221-

232.

24- Maleka, P. (1993). An application of target MOTAD model to crop production in Zambia: Gwembe Valley as a case study. Agricultural Economics, 9(1), 15-35.

25- Massawe, B. H. J., Kaaya, A. K., Winowiecki, L., & Slater, B. K. (2019). Multi-criteria Land Evaluation for Rice Production using GIS and Analytic Hierarchy Process in Kilombero Valley, Tanzania. Tanzania Journal of Agricultural Sciences, 18(2), 88-98.

26- Rahman, R., & 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.

27- Samanta, S., Pal, B., & Pal, D. (2011). Land Suitability Analysis for Rice Cultivation Based on Multi-Criteria Decision Approach through GIS. International Journal of Science & Emerging Technologies, 2(1), 12-20.

28- Seyedmohammadi, J., Sarmadian, F., Jafarzadeh, A. A., Ghorbani, M. A., & Shahbazi, F. (2018). Application of SAW, TOPSIS and fuzzy TOPSIS models in cultivation priority planning for maize, rapeseed and soybean crops. Geoderma, 310, 178-190.

29- Shih, H. S., Shyur, H. J., & Lee, E. S. (2007). An extension of TOPSIS for group decision making. Mathematical and Computer Modelling, 45(7–8), 801–813.

30- Soto, I., Ellison, C., Kenis, M., Diaz, B., Muys, B., & Mathijs, E. (2018). Why do farmers abandon jatropha cultivation? The case of Chiapas, Mexico. Energy for Sustainable Development, 42, 77-86.

31- Varghese, C., & Srivastav, P. P. (2022). Formulation and sensory characterization of low-cost, high-energy, nutritious cookies for undernourished adolescents: An approach using linear programming and fuzzy logic. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 75, 102904.

32- Vaskan, P., Passuello, A., Guillén-Gosálbez, G., Schuhmacher, M., & Jiménez, L. (2013). Combined use of GIS and mixed-integer linear programming for identifying optimal agricultural areas for sewage sludge amendment: A case study of Catalonia. Environmental Modelling & Software, 46, 163-169.

33- Wang, J. F., Cheng, G. D., Gao, Y. G., Long, A. H., Xu, Z. M., Li, X., Chen, H. & Barker, T. (2007). Optimal Water Resource Allocation in Arid and Semi-Arid Areas. Water Resources Management, 22(2), 239.