بررسی الگوی کشت محصولات کشاورزی با استفاده از سنجش‌ازدور و سیستم اطلاعات مکانی با رویکرد قطعه مبنا

مسلم درویشی [۱] ابوذر رمضانی [۲]

تاریخ دریافت مقاله: ۹۸/۱۱/۱۸ تاریخ پذیرش مقاله: ۹۹/۰۶/۲۰

****

چکیده

در سال‌های اخیر به میزان قابل‌توجهی از منابع آب زیرزمینی کاسته شده است. در این شرایط روند کشت محصولات کشاورزی ازنظر اقتصادی توجیه‌پذیر نیست. چراکه بیش از ۸۰درصد از منابع آبی در بخش کشاورزی مصرف می‌شود و سال‌هاست که موضوع بهینه‌سازی و تغییر الگوی کشت در کشور مطرح‌شده است.یکی از چالش‌هایی که در تغییر الگوی کشت می‌بایست در نظر گرفت، حفظ سطح درآمد کشاورزان و دیگری تأمین نیاز داخل کشور از محصولات تولیدشده است. مهم‌ترین نوآوری این تحقیق ترکیب سنجش‌ازدور و سیستم اطلاعات مکانی، جهت بهینه‌سازی الگوی کشت به‌صورت قطعه‌مبنا، با در نظر گرفتن دو سناریو برای دشت اسدآباد همدان است. در سناریو اول هدف کمینه‌سازی مصرف آب و بیشینه‌سازی درآمد است و در سناریو دوم هدف کمینه‌سازی مصرف آب و تأمین نیاز داخلی کشور است. علاوه بر توسعه توابع هدف، محدودیت‌هایی مانند نوع محصول زیر کشت، قطعه‌مبنا بودن، محدودیت تناوب و نیاز داخلی مدل‌سازی شدند. با در نظر گرفتن دو تابع هدف یک الگوریتم پیشنهادی جهت بهینه‌سازی الگوی کشت ارائه شده و نتایج در قالب آن پیاده‌سازی شده است. نتایج نشان می‌دهد، در هردو سناریو میزان مصرف آب برای دشت اسدآباد حدود ۵۰٪ کاهش داشته است و درآمد کشاورزان تنها حدود ۱۰٪ کاهش خواهد داشت. با در نظر گرفتن این موضوع که کشاورزی پایدار نیاز به کاهش مصرف آب دارد، با به‌کارگیری این الگو سطح درآمد کشاورزان با کاهش مصرف آب دچار تغییر جدی نخواهد شد.

واژه‌های کلیدی: سنجش‌ازدور، سیستم اطلاعات مکانی، کشاورزی، بهینه‌سازی، سطح درآمد، قطعه‌مبنا

****

۱- مربی گروه نقشه‌برداری و ژئوماتیک، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه سید جمال‌الدین اسدآبادی mdarvishi@sjau.ac.ir

۲- استادیار گروه نقشه‌برداری و ژئوماتیک، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه سید جمال‌الدین اسدآبادی (نویسنده مسئول) aramezani@sjau.ac.ir

۱- مقدمه

امروزه با کاهش میزان بارش‌ها نسبت به گذشته و افزایش برداشت بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی کشور مواجهه با خشک‌سالی اجتناب‌ناپذیر است *(Neissi, Albaji, & Nasab, 2020)*. با کاهش شدید سطح آب دریاچه‌ها و پایین رفتن آب پشت سدها بحران کمبود آب به‌شدت احساس شده و مدیران و مسئولان می‌بایست با به‌کارگیری روش‌های نوین و صرفه‌جویی در مصرف آب از این بحران عبور کنند *(Memic, Graeff, Claupein, & Batchelor, 2019)*. با توجه به افزایش دمای زمین و آمارهای اعلام‌شده از سوی صندوق جهانی طبیعت، در طول ده سال آینده بحران کم‌آبی اکثر نقاط جهان به‌ویژه کشورهای اروپا و آسیا را در بر خواهد گرفت *(Sengupta, 2018)*. لذا باید برای تأمین نمودن امنیت آبی کشور با به‌کارگیری اصول مدیریت پیشرفته آب و با صرفه‌جویی در مصرف کشاورزی به ذخیره منابع آبی کشور کمک کرد. این‌که ایران در ردیف پنج کشور اول دنیا ازنظر وسعت اراضی آبی قرار دارد *(Bruinsma, 2017)*، نشان می‌دهد که در بسیاری از نقاط کشور آب مورد نیاز زراعت‌ها با آبیاری تأمین می‌شود.

همین امر سبب می‌شود که منابع آبی کشور به مرحله بحرانی برسد و به دلیل محدودیت منابع، تأمین آب بیشتر برای کشاورزی امکان‌پذیر نباشد. اجرای الگوی کشت محصولات کشاورزی به‌ویژه در شرایط کنونی که کشور با چالش جدی کمبود آب مواجه است بسیار ضروری به نظر می‌رسد *(Li, Zhu, Mao, & Adeloye, 2016)*. ضمن این‌که هرسال نوسانات شدیدی در بازار برخی محصولات کشاورزی ازجمله سیب‌زمینی، چغندر و مانند آن به وقوع می‌پیوندد *(پور، احمدعلی، جبارزاده، آرمین، & یحیائی، ۲۰۱۸)*. لذا تعیین الگوی کشت متناسب، مبتنی بر مصرف آب و نیاز بازار به آن محصول اهمیت بسزایی دارد *(Heidari, Amirnejad, & Hosseini, 2017)*. درواقع تغییر محصولات جهت کاهش مصرف آب، بدون در نظر گرفتن قیمت آن‌ها در بازار و پوشش نیاز بازار داخلی گامی بدون پشتوانه خواهد بود. مسئله‌ای که باید بدان توجه نمود، این است که با تغییر نوع محصول و ارائه الگوی کشت جدید سطح معیشت و درآمد کشاورزان دچار چالش نشود و محصولاتی که پیشنهاد می‌شوند در بازار به آن‌ها نیاز وجود داشته باشد. در این تحقیق سعی شده الگوی کشت محصولات کشاورزی با این نگاه ارائه شود تا هم‌سطح درآمد کشاورزان تغییر محسوسی نداشته باشد و هم نیاز بازار داخلی کشور پوشش داده شود. در تعیین الگوی کشت بهینه، عوامل کمی و کیفی متعدد و متنوعی وجود داشته که این عوامل وابستگی زیادی به مکان دارند و ممکن است یکسری از این عوامل برای دو قطعه کنار هم تفاوت داشته باشد که موجب تغییر الگوی کشت می‌شود *(Karimi, Soffianian, Seifi, Pourmanafi, & Ramin, 2020)*. از طرفی در حال‌حاضر کشاورزان کشت‌هایشان را در قطعاتی که حدود و مالکیت آن‌ها مشخص است انجام می‌دهند. با این توضیحات و با توجه به مکانی بودن معیارها، به‌نظر می‌رسد استفاده از یک مدل قطعه مبنا، شیوه مناسبی جهت مشخص نمودن الگوی کشت باشد.

در این صورت ارزیابی تناسب قطعه برای هر کشاورز جهت برآورد میزان سود، هزینه و نیاز آبی به‌صورت جداگانه انجام می‌گیرد. علوم ژئوماتیک امروزه با توانایی‌هایی که از خود ارائه کرده است، رویکردهای جدیدی را جهت بهینه‌سازی مکانی در علوم مختلف به منصه ظهور آورده است *(Lalbiakmawia & Kumar, 2017)*. ازجمله این توانایی‌ها پردازش تصاویر ماهواره‌ای و تحلیل‌های مکانی است. سیستم اطلاعات مکانی با ابزارها و تحلیل‌هایی که در اختیار می‌گذارد، می‌تواند راه‌حل مناسبی جهت الگوی کشت بهینه برای کشاورزی ارائه دهد *(Pulighe et al., 2016)*. از فناوری‌های سنجش‌ازدور جهت ارزیابی وضع موجود و تعیین محصولات در حال کشت استفاده شده است.

با استفاده از این فناوری‌ها می‌توان برآورد نمود که با توجه به نوع محصولات در حال کشت، وضعیت آب مصرفی چه میزانی است و چه حجم محصولی قابل‌برداشت است *(Singh, Jaiswal, Reddy, Singh, & Bhandarkar, 2001)*.

همچنین با استفاده از سیستم اطلاعات مکانی می‌توان الگوی کشت بهینه را با توجه به توابع هدف مدل‌سازی کرد. سپس محدودیت‌های موجود در زمینه ی موضوع را مدل پیشنهادی اعمال نمود.

هدف اصلی این تحقیق بهینه‌سازی کشت محصولات کشاورزی در دو رویکرد در دشت اسدآباد همدان است. رویکرد اول کاهش مصرف آب و افزایش درآمد کشاورزان و رویکرد دوم کاهش مصرف آب و تأمین نیاز داخل است. سپس با مقایسه نتایج حاصل از هر رویکرد در تغییر میزان آب مصرفی و تغییر سطح درآمد کشاورزان امکان انتخاب و تصمیم‌گیری برای بهینه‌سازی فراهم شده است.

چنانچه بخواهیم مروری بر پژوهش‌های پیشین داشته باشیم، باید اذعان داشت که تحقیقات بسیاری جهت بهینه‌سازی در کشاورزی و کاهش مصرف آب انجام شده است. در تحقیقی توسط محمدی و وفایی‌نژاد، به بهینه‌سازی تخصیص آب در شبکه‌های آبیاری با استفاده از دستگاه‌های حامی تصمیم‌گیری پرداخته‌شده است *(ورزنه & نژاد، ۲۰۱۵)*. در این تحقیق با استفاده از روش الگوریتم ازدحام ذرات، فرآیند برنامه کشت زمانی برای مدیریت مصرف آب بهینه‌شده است.

اما در آن وضعیت کشت محصولات قطعه‌مبنا نبوده و همچنین محدودیت درآمد کشاورزان اعمال نشده است. در تحقیقی دیگر الگوی کشت بهینه محصولات کشاورزی با تأکید بر بیشینه کردن منافع اجتماعی تعیین‌شده است *(حسینی، سادات، مهرگان، & ابراهیمی، ۲۰۱۶)*. در این تحقیق که برای دشت بهار همدان انجام‌شده است، سطح زیر کشت محصولات صادراتی کمینه شده و سطح زیر کشت چغندر حداقل شده است که درنتیجه منجر به بیشترین صرفه‌جویی در مصرف آب شده است. در تحقیق حاضر، بهینه‌سازی کشت محصولات در دشت اسدآباد نیز نتایج نزدیک به تحقیق مذکور را به همراه دارد. اما در تحقیق مذکور پژوهش‌ها به‌صورت تئوریک و با توجه به اطلاعات توصیفی انجام‌شده است که با واقعیت مکانی وضع موجود فاصله دارد. درحالی‌که در تحقیق حاضر بهینه‌سازی با توجه به اطلاعات مکانی و توصیفی انجام‌شده و الگوی کشت برای همه قطعات زمین نشان داده‌شده است.

همچنین نکته دیگر بهینه‌سازی سطح درآمد کشاورزان است که بحث نشده است. همچنین داده‌های اولیه در این تحقیقات از دیگر منابع است در حالی‌که در تحقیق حاضر داده‌های مربوط به سطح زیرکشت از الگوریتم‌های سنجش‌ازدور استخراج شده است. ترکیب سیستم اطلاعات مکانی و سنجش‌ازدور در تحقیقات متعددی ازجمله تحقیقات محیطی اجرا شده است. در این تحقیقات سنجش‌ازدور جهت فراهم‌سازی داده و سیستم اطلاعات مکانی جهت انجام بهینه‌سازی با استفاده از تحلیل‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند. در تحقیقی جهت ارزیابی پتانسیل زمین برای کشاورزی از ترکیب سنجش‌ازدور و سیستم اطلاعات مکانی جهت انجام تحلیل‌ها استفاده شد ***(Bandyopadhyay, Jaiswal, Hegde, & Jayaraman, 2009)***. هدف از تحقیق مذکور بهینه‌سازی کشت محصولات براساس جنس خاک است و الگوی کشت بدون درنظر گرفتن محدودیت‌هایی مانند مصرف آب و نیاز بازار ارائه شده است.

در تحقیقی دیگر جهت ارزیابی رشد شهرنشینی و کاهش مزارع کشاورزی از ترکیب فنون سنجش‌ازدور و سیستم اطلاعات مکانی در شهر تاملی نادو کشور هند استفاده‌شده است ***(Ghosh & Porchelvan, 2017)***. در تحقیق مذکور رشد شهرنشینی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای بررسی‌شده و سپس تحلیل‌ها توسط سیستم اطلاعات مکانی انجام‌شده و نتایج مشخص‌شده است. در بحث زهکشی آب‌های مصرفی در کشاورزی، تحقیقی با استفاده از ترکیب سنجش‌ازدور و سیستم اطلاعات مکانی انجام‌شده است، تا محل مناسب جهت ایجاد سیستم زهکشی مشخص شود ***(Gökkaya, Budhathoki, Christopher, Hanrahan, & Tank, 2017)***.

در تحقیقی دیگر از ترکیب سیستم اطلاعات مکانی، سنجش‌ازدور و سیستم تعیین موقعیت ماهواره‌ای جهت

کنترل و مدیریت کشت محصولات کشاورزی در مقیاس ملی استفاده شده است (Bangjie, Zhiyuan, & Songling, 2001). تحقیق حاضر در ادامه این تحقیق انجام شده و جهت کنترل و مدیریت سطح زیرکشت محصولات کشاورزی، توابع هدف بهینه‌سازی کشت محصولات مدل‌سازی و پیاده‌سازی شده است. فورکور و همکاران با استفاده از ترکیب سیستم اطلاعات مکانی و سنجش‌ازدور مناطق دارای پتانسیل آب‌های زیرزمینی در شمال غنا را شناسایی کرده‌اند (Forkuor, Pavelic, Asare, & Obuobie, 2013). این تحقیق درصورتی‌که با شناسایی پتانسیل خاک و کمینه‌سازی مصرف آب و افزایش سود کشاورزان همراه شود بسیار مثمرثمر خواهد بود. در تحقیقی جهت مدیریت توسعه پایدار منابع طبیعی در هند از ترکیب GIS و RS استفاده شده است (Adhikary et al., 2019).

در این تحقیق روند تغییرات زمین‌های بکر و طبیعی به کشاورزی و یا مسکونی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای بررسی شده و راه‌حل‌هایی جهت مدیریت توسعه پایدار ارائه شده است. توسعه پایدار کشاورزی نیز زمانی امکان‌پذیر است که منابع آب با نگاه به آینده مصرف شوند. درواقع الگوی کشت با توجه به میزان آب موجود و سطح درآمدی کشاورزان برنامه‌ریزی شود و سود کوتاه‌مدت مدنظر قرار نگیرد.

ترکیب سیستم اطلاعات مکانی و سنجش‌ازدور در ارائه الگوی کشت بر اساس تناسب خاک برای محصولات مختلف بررسی شده است (Mustafa et al., 2011). درنتیجه نقشه‌ای از زمین‌های مختلف کشاورزی با نمایش تناسب برای محصولات مختلف ارائه شده که کمینه‌سازی مصرف آب و درآمد کشاورزان بررسی نشده است.

همچنین در مناطق سیل‌خیز جهت کاهش هزینه‌ها و آسیب‌پذیری یک الگوی کشت بهینه ارائه شده است (Rahman & Saha, 2008). در این تحقیق با استفاده از روش ارزیابی چندمعیاره مکانی و سیستم اطلاعات مکانی یک الگوریتم بهینه‌سازی برای کشت محصولات با در نظر گرفتن جنس خاک و سیل‌خیزی منطقه ارائه شده است. در تحقیق حاضر جنس خاک منطقه به‌عنوان پارامتر مؤثر در مدل‌سازی در نظر گرفته نشده است.

اما از طرفی محصولاتی که بازدهی مناسبی در دشت اسدآباد داشته‌اند به‌عنوان محصولات منتخب در الگوی کشت بهینه پیشنهاد شده‌اند تا بدین ترتیب جنس خاک به‌صورت غیرمستقیم اعمال شده باشد. جهت بهینه‌سازی کشت محصولات کشاورزی با تأکید بر کاهش مصرف آب تحقیقات متعددی انجام‌شده است. ژی و همکاران یک سیستم فازی جهت مدل کردن نایقینی‌های موجود در فعالیت‌های متنوع در سیستم مدیریت آبی کشور چین ارائه کردند (Xie, Xia, Ji, & Huang, 2018).

با استفاده از این مدل به تخصیص بهینه آب و بهینه‌سازی الگوی کشت پرداخته شد، اما محدودیت کاهش درآمدی و نیاز داخلی اعمال نشده است. یوسفی و همکاران یک مدل بهینه‌سازی الگوی کشت با هدف بیشینه کردن پارامترهای مثبت و کمینه نمودن مؤلفه‌های منفی ارائه کردند (Yousefi, Banihabib, Soltani, & Roozbahani, 2018).

این تحقیق در فضای مکانی مدل‌سازی و پیاده‌سازی نشده‌است تا در حوزه تصمیم‌گیری تأثیر بیشتری داشته باشد.

در تحقیقی دیگر اسطرخی و همکاران با ارائه سه مدل متفاوت به بررسی چگونگی برنامه‌ریزی الگوی کشت پرداختند. در این تحقیق با هدف برنامه‌ریزی کشت محصولات کشاورزی به‌صورت قطعه‌مبنا با استفاده از برآورد نیاز آبی و روش‌های بهینه‌سازی مکانی الگوی کشت ارائه شده است (Esmailpour Estarkhi, Karimi, Alimohammadi Sarabi, & Davari, 2017). تفاوت تحقیق مذکور با تحقیق حاضر عدم اعمال سطح درآمدی کشاورزان و نیاز کشور و همچنین عدم تهیه داده مبنا با استفاده از سنجش‌ازدور است. استفاده از مدل‌های شبیه‌سازی رشد محصول راهکاری است که از طریق آن می‌توان بیلان آبی را مورد بررسی قرار داده، فرآیند رشد را شبیه‌سازی کرده و به مطالعه سناریوهای مختلف مدیریتی پرداخت (بافکار، فرهادی بانسوله، & برومندنسب، ۲۰۱۷).

باتوجه به افزایش جمعیت، کمبود و محدودیت شدید منابع آب در کشور، یکی از گام‌های اساسی درزمینه‌ی مدیریت و برنامه‌ریزی منابع آب بهینه‌سازی مخازن و تغییر الگوی کشت است.

در تحقیق *(سلیمی مستعلی, حافظ پرست, & سرگردی, ۲۰۱۹)* با استفاده از دبی ٤٠ ساله رودخانه کمیش در مدل WEAP به شبیه‌سازی مخزن سد هرسین که در فاز مطالعاتی قرار دارد پرداخته شد. در تحقیقی دیگر، علاوه بر تولید محصول به جنبه واردات آن هم توجه شده است. هدف آن بررسی ظرفیت زمین برای کاشت و منابع موجود برای تولید محصول است تا از این طریق بتوان در راستای بهبود شرایط اقتصادی و اجتماعی کشاورزان در کشور گام برداشت *(عابدین‌پور, جبارزاده, &یحیائی, ۲۰۱۸)*.

در تحقیق مذکور جنبه سطح درآمدی کشاورزان در نظر گرفته شده اما کمینه‌سازی مصرف آب در نظر گرفته نشده است. جهت کشت محصولات پارامترهای متفاوتی تأثیرگذار است که در زمان ارائه الگوی کشت باید در نظر گرفته شود.

همچنین زمان کشت محصول یک پارامتر تأثیرگذار در بازدهی محصول است. در تحقیقی جهت یافتن زمان بهینه کشت محصول برنج در پاکستان از ترکیب GIS و RS استفاده شده است *(Raza, Mahmood, Khan, & Liesenberg, 2018)*.

این تحقیق می‌تواند مبنای دیگری برای زمینه‌سازی در تحقیقات آینده باشد که در اینجا تنها زمان به‌عنوان پارامتر تأثیرگذار بررسی شده و سایر پارامترها مغفول مانده است. مروری بر تحقیقات گذشته نشان می‌دهد، ترکیب سنجش‌ازدور و سیستم اطلاعات مکانی جهت برآورد الگوی کشت بهینه با در نظر گرفتن سطح درآمد کشاورزان و تأمین نیاز داخل که محدودیت‌های مهمی در ارائه الگوی کشت بهینه هستند تحقیق نشده‌اند.

لذا در این تحقیق ابتدا با تکیه بر الگوریتم‌های سنجش‌ازدورو با استفاده از تصاویر هوایی مرزها و محصولات زمین‌های کشاورزی مشخص‌شده‌اند که نکته کلیدی در این رابطه ترکیب اطلاعات مرز زمین‌های کشاورزی مستخرج از تصویر با قدرت تفکیک هندسی بالا با اطلاعات ماهیتی پیکسل‌های قرارگرفته در هر مزرعه بر مبنای تحلیل تصاویر چند زمانه چند طیفی است که این کار موجب بالا بردن دقت تفکیک مزارع از یکدیگر شده است. این موضوعی است که در کارهای انجام‌شده پیش ازاین مغفول مانده است و عموماً بر مبنای یک طبقه‌بندی پیکسل مبنا تحلیل‌های بعدی را ارائه نموده‌اند.

درحالی‌که در این تحقیق با یک نگاه شیء مبنا ابتدا مزارع با دقت بالا از یکدیگر تفکیک شده و درنهایت این خروجی جهت تحلیل‌های بعدی به سامانه اطلاعات مکانی ارائه شده است. سپس با توسعه یک مدل مکانی جهت افزایش درآمد، کاهش مصرف آب و تأمین نیاز داخل با رویکرد قطعه مبنا به بهینه‌سازی کشت محصولات کشاورزی اقدام شده است.

۲- مواد و روش‌ها

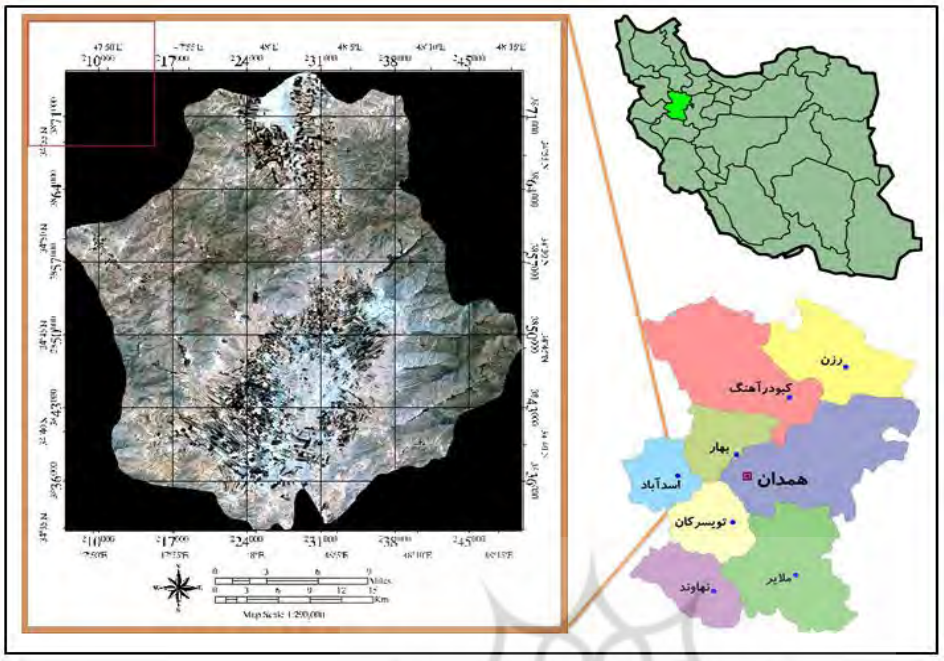
۲-۱- معرفی منطقه موردمطالعه

در تحقیق حاضر منطقه مورد مطالعه یک مجموعه زمین زارعی به مساحت ۱۹۸ هکتار در جوار روستای گلنگ تپه از توابع شهرستان اسدآباد است. این شهرستان درگستره‌ای به مساحت ۱۱۹۵ کیلومترمربع ، ٦/١درصد از وسعت استان همدان را تشکیل می‌دهد. ارتفاع متوسط آن از سطح دریا ١٦٠٧ متر است.

شهرستان اسدآباد، از شمال‌غربی به استان کردستان از غرب وجنوب‌غربی به استان کرمانشاه، ازجنوب‌شرقی به شهرستان تویسرکان و از شرق و شمال‌شرقی به شهرستان بهار محدود می‌گردد.

از لحاظ ناهمواری، اسدآباد شامل سه قسمت دشت، کوهپایه و کوهستان است ولی نظر به این‌که اکثر منطقه را دشت‌های حاصلخیز تشکیل داده است می‌توان این منطقه را جزء مناطق هموار به‌شمار آورد (نگاره۱).

محصولات زراعی منطقه شامل گندم، جو، یونجه،



نگاره۱ : منطقه مورد مطالعه

نخود، کلزا و چغندر است.

منابع اصلی از سفره آب‌های زیرزمینی که از طریق چاه‌های عمیق و نیمه‌عمیق موجود استحصال می‌گردد تأمین می‌شود و بخشی از آب نیز از آب‌های سطحی تأمین می‌شود.

در حال حاضر در دشت اسدآباد محصولاتی مانند چغندر، گندم، جو، یونجه، کلزا و نخود کشت می‌شود. در جدول ۱، میزان مصرف آب، مساحت زیر کشت و سود نهایی کشت هر یک از محصولات فوق در یک هکتار نشان داده‌شده است.

برای مثال هر هکتار چغندر، ۳٤/۱ هزار مترمکعب آب مصرف می‌کند و ۱۱ میلیون تومان سود خالص به همراه خواهد داشت.

در مقایسه باگندم که حدود ٦/۷٪ چغندر، آب مصرف می‌کند و سود نهایی آن ۷۷٪ نسبت به چغندر است که محصول بسیار مقرون به‌صرفه‌تری بوده و می‌تواند برنامه کشاورزی پایدار را رونق ببخشد. همین‌طور برای کلزا در مقایسه با چغندر مصرف آب ۱۹٪ کاهش یافته و سودش ۵۵٪ سود کشت چغندر است.

جدول۱: میزان مصرف آب و درآمد هر یک از محصولات کشاورزی برای کشت در یک هکتار

محصول	مصرف آب (هزار مترمکعب)	سود نهایی (هکتار) میلیون تومان	مساحت زیرکشت (هکتار)
چغندر	۳٤/۱	۱۱	۳۲/۸۶۹۵
جو	۲/۸	٤/۱	۲۰/۹۵۹۲
گندم	۲/۳	۸/۵	۴۹/۶۱۳۴
یونجه	۱۲	۹/۲۵	۲۶/۴۶۳۷
نخود	-	۲/۵۷	۱۴/۴۱۷۱
کلزا	٦/۵۹	٦	۵۲/۰۰۲۴

۲-۲ داده‌های ماهواره‌ای

در این تحقیق از تصاویر چندطیفی سنجنده OLI ماهواره Landsat8 استفاده شده است که اطلاعات‌باندهای این سنجنده در جدول ۲ ارائه شده است. اما کلزا یک دانه روغنی است که در داخل کشور نیاز بالایی به آن وجود دارد و در صورت کشت بیشتر می‌تواند به‌نوعی، از خروج ارز از کشور جلوگیری کرده و منجر به سود ملی شود.

جدول۲: باندهای سنجنده OLI ماهواره Landsat8

شماره باند	طول موج (میکرومتر)	قدرت تفکیک مکانی (متر)
۱	۰/۴۳۳ – ۰/۴۵۳	۳۰
۲	۰/۴۵۰ – ۰/۵۱۵	۳۰
۳	۰/۵۲۵ – ۰/۶۰۰	۳۰
۴	۰/۶۳۰ – ۰/۶۸۰	۳۰
۵	۰/۸۴۵ – ۰/۸۸۵	۳۰
۶	۱/۵۶۰ – ۱/۶۶۰	۳۰
۷	۲/۱۰۰ – ۲/۳۰۰	۳۰
۸	۰/۵۰۰ – ۰/۶۸۰	۱۵
۹	۱/۳۶۰ – ۱/۳۹۰	۳۰

۲-۳- استخراج داده‌ها با استفاده از سنجش‌ازدور

برای تهیه داده مربوط به مساحت قطعات و نوع محصول کشت شده، از تصاویر ماهواره‌ای و فنون سنجش‌ازدور استفاده شده است. در این روش ابتدا بر اساس طبقه‌بندی پیکسل مبنای تصاویر ماهواره‌ای چند زمانه با استفاده از داده‌های آموزشی به هر پیکسل یک برچسب محصول اختصاص داده شده است.

همچنین بر اساس تصاویر پانکروماتیک منطقه باقدرت تفکیک مکانی بالاتر حدود هر زمین کشاورزی استخراج شده است. درنهایت با برازش نتیجه طبقه‌بندی پیکسل مبنا و حدود استخراج شده برای هر زمین با توجه به برچسب اکثریت برای کل زمین کشاورزی یک برچسب محصول نهایی تعیین می‌شود.

آنچه این تحقیق را از روش‌های پیش‌بینی متمایز می‌کند ترکیب اطلاعات مرز با اطلاعات ماهیتی پیکسل‌های قرار گرفته در هر قطعه زمین کشاورزی است که منجر به افزایش دقت در تفکیک مزارع و درنتیجه مساحت زیر کشت هر محصول کشاورزی می‌شود. آنچه مورد نظر این تحقیق است اضافه کردن یک مرحله پردازش روی مزارع پس از اجرای طبقه‌بندی پیکسل مبنای یک تصویر است.

به این معنا که خروجی‌های مرحله طبقه‌بندی پیکسل‌مبنا در روش طبقه‌بندی شبکه عصبی به‌عنوان ورودی‌های الگوریتم پیشنهادی مورد توجه قرار گیرند.

اگر بتوان مرز یک زمین کشاورزی را به‌دقت تعیین نمود، آن‌گاه می‌توان مدعی بود که همه محصول کشت‌شده درون آن باید از یک نوع بوده و اگر به‌عنوان مثال ۵٪ از پیکسل‌های تشکیل‌دهنده یک زمین کشاورزی به‌صورت پراکنده پس از مرحله طبقه‌بندی، برچسبی متفاوت با سایر پیکسل‌های تشکیل‌دهنده یک زمین را دارند، این موضوع را به خطای مرسوم در طبقه‌بندی کننده ارجاع داده و با توجه به این‌که اکثریت پیکسل‌های یک زمین برچسب یک محصول را دارند، به سایر پیکسل‌های با برچسب متفاوت درون آن مزرعه نیز برچسب محصول اکثریت تعمیم داده شود. فرض مسئله این است که مرز هر زمین کشاورزی با استفاده از یک تصویر با قدرت تفکیک مکانی بالا تعیین شود و به هر پیکسل یک برچسب جدید اضافه گردد، که برچسب موردنظر شماره مزرعه است. درواقع هر پیکسل فارغ از ویژگی‌هایی که باندهای مختلف طیفی تصویر برای آن ایجاد می‌کنند، دارای یک ویژگی دیگر تحت عنوان تعلق به مزرعه‌ای خاص می‌باشد. این مطلب اساس تحقیق پیش رو را تشکیل می‌دهد. برای بیان ریاضی مسئله بالا، ابتدا به چند تعریف نیازمندیم.

$$w_i \quad , \quad i = 1, \ldots, M$$

رابطه (۱)

رابطه(۱) نشان‌دهنده کلاس‌های مورد بررسی در تصویر است که در آن w_i معرف کلاس‌ها و M تعداد کلاس‌های مورد نظر است. خروجی طبقه‌بندی کننده‌ها که براساس ورودی پیکسل عمل می‌کردند، به‌عنوان ورودی این الگوریتم تکمیلی مورد نظر هستند. به این معنی که هر مزرعه از تعدادی پیکسل تشکیل شده است که الگوریتم‌های طبقه‌بندی کننده آماری و غیرآماری نظیر الگوریتم بیشترین شباهت و الگوریتم شبکه عصبی به هر یک از پیکسل‌های آن‌ها یک برچسب به‌عنوان کلاس طبقه‌بندی شده برازش

داده‌اند(رابطه۲).

$$f(w_{ij}) \quad , \quad j = 1, \ldots, N$$

رابطه (۲)

در رابطه ۲، تابع $f(w_{ij})$، معرف درصد پیکسل‌های کلاس iام در مزرعه jام خواهد بود.N نیز تعداد کل مزارع موردبررسی را مشخص می‌کند. به‌عنوان مثال اگر تصویر مورد نظر از پنج کلاس مختلف تشکیل شده باشد، مقادیر این تابع برای پنج کلاس مورد نظر می‌تواند : ۰/۲، ۰/۶۹، ۰,۰، ۰/۰۱ و ۰/۱ باشد. بنابراین می‌توان رابطه (۳) را برای مقادیر تابع $f(w_{ij})$ در نظر گرفت.

$$\sum_{i=1}^{M} f(w_{ij}) = 1$$

رابطه (۳)

رابطه(۳) بیان می‌کند که مجموع تعلق پیکسل‌های یک مزرعه به کلاس‌های مختلف یک تصویر در آن مزرعه باید عدد ۱ باشد. به‌عنوان مثال $f(w_{12})= 0.2$ بیان می‌کند که ۲۰٪ پیکسل‌های مزرعه شماره ۲ به کلاس شماره ۱ تعلق دارند. بنابراین برای مثال یک تصویر پنج کلاسه شرط بالا را می‌توان به‌صورت رابطه ٤ نوشت.

$$\sum_{i=1}^{M} f(w_{i2}) = f(w_{12}) + f(w_{22}) + f(w_{32}) + f(w_{42}) + f(w_{52})$$
$$= 0.2 + 0.69 + 0 + 0.01 + 0.1 = 1$$

رابطه(٤)

الگوریتم پیشنهادی ، کلاس همه پیکسل‌های اقلیت را به کلاس پیکسل اکثریت تغییر می‌دهد. درواقع اگر در رابطه (۵) x_k معرف پیکسل موجود در تصویر باشد آنگاه x_{kj} معرف پیکسل kام از مزرعه jام خواهد بود، و P معرف تعداد کل پیکسل‌های تشکیل‌دهنده یک مزرعه در تصویر خواهد بود.

$$x_{kj} \quad , \quad k = 1, \ldots, P$$

رابطه(۵)

آنگاه رابطه٦ را می‌توان نتیجه گرفت.

$$x_{kj} \in w_{ij} \ , \ if \quad f(w_{ij}) > f(w_{rj}) \quad , for\ all \ \ i \neq r$$

رابطه (٦)

طبق رابطه ٦ همه پیکسل‌های مزرعه jام به کلاس iام تعلق خواهند گرفت، اگر کلاسiام دارای بیشترین درصد پوشش در میان کلاس‌های موجود در مزرعه jام باشد. برای حد آستانه تصمیم‌گیری از رابطه ۷ استفاده می‌شود. برای رابطه ۷ می‌توان علاوه بر حداکثر بودن کلاس تعیین‌کننده برچسب کل مزرعه، یک حد آستانه به‌عنوان شرط برای تصمیم‌گیری نیز تعیین کرد.

$$x_{kj} \in w_{ij} \ , \ if \quad f(w_{ij}) > f(w_{rj}) \quad , for\ all \ \ i \neq r \quad and \quad f(w_{ij}) > T$$

رابطه (۷)

در رابطه‌ی ۷ انتخاب T=0.6 به معنای این است که بیشترین درصد تعلق پیکسل‌های مزرعه jام به کلاس i ام برای تعیین وضعیت سایر پیکسل‌های مزرعه کفایت نمی‌کند و باید پیکسل‌های کلاس iام بیش از ٦۰٪ مزرعه jام را پوشش دهند تا بتوانند برچسب سایر کلاس‌های موجود در مزرعه را تغییر داده و برچسب مزرعه را یکسان کنند.

به‌طور کلی ابتدا سه روش بیشترین شباهت با دقت برآورد ۷۳٪، شبکه عصبی با دقت برآورد ۸۸٪ و بردار پشتیبان با دقت برآورد ۸۱٪ در طبقه‌بندی مورد استفاده قرار گرفتند که روش شبکه عصبی نسبت به سایر روش‌های طبقه‌بندی کننده با توجه به داده‌های ارزیاب نتایج بهتری را حاصل کرد. بنابراین روش طبقه‌بندی شبکه عصبی به عنوان طبقه‌بندی‌کننده انتخاب شده و مورد استفاده قرار گرفته است. در این تحقیق ٤۰ مزرعه به‌صورت بازدید میدانی با برداشت مختصات و نوع محصول در منطقه مورد مطالعه بررسی شد، که حدود ۸۰ درصد داده‌های میدانی جهت آموزش شبکه عصبی و ۲۰ درصد باقیمانده جهت ارزیابی عملکرد مورد استفاده قرار گرفته‌اند. به بیان

دیگر ۳۲ مزرعه جهت آموزش شبکه عصبی و ۸ مزرعه جهت ارزیابی نتایج مورد استفاده قرار گرفتند. روند انجام این پردازش در نگاره ۲ نمایش داده شده است. پس از استخراج این داده‌ها یک پایگاه داده از نوع و مساحت محصولات زیرکشت و همچنین آب مورد نیاز و میزان سود خالص از هر محصول، تشکیل شد تا با استفاده از آن الگوی کشت بهینه مدل‌سازی شود.

نگاره ۲: مراحل استخراج مساحت و نوع محصولات زمین‌های کشاورزی

۲-٤- توابع هدف

به‌منظور بهینه‌سازی مسئله دو تابع هدف (روابط ۷ و ۸) تعریف شده است که در آن به بیشینه‌سازی درآمد و کمینه‌سازی مصرف آب پرداخته شده است. به‌طور معمول مسائل مکان‌یابی و تخصیص شامل تابع هدف و محدودیت‌ها می‌شوند که براساس هدف موردنظر مسئله حداکثر یا حداقل می‌گردند. برای حل مسئله از برنامه‌ریزی خطی استفاده شده است. برنامه‌ریزی خطی یکی از روش‌های کلاسیک بهینه‌سازی است که با توسعه الگوریتم‌های قطعی به حل مسئله می‌پردازد.

زمانی می‌توان از این روش استفاده نمود که روابط بین متغیرها از نوع خطی باشد. به عبارتی رابطه بین متغیرها کاملاً متناسب و مستقیم باشد.

$$max\ P = \sum_{i=0}^{190} \sum_{j=1}^{5} M(i\ j) \times C(i\ j)$$

رابطه (۷)

$$min\ W = \sum_{i=0}^{190} \sum_{j=1}^{5} C(i\ j) \times S(i\ j)$$

رابطه (۸)

در رابطه (۷) P، مجموع سود خالص از قطعات (میلیون ریال) است که در آن تمامی هزینه‌های کشت منظور شده و از سود ناخالص کسر شده است، i: شماره مربوطه به قطعات (i=1,2,.....,190) نوع محصول کشت شده در هر قطعه (j=1,2,.....,5)، M(Ij) سود خالص هر قطعه به ازای هر محصول (میلیون ریال)، C (I,j) بردار مربوط به نوع محصولات در هر قطعه است که متغیرهای تصمیم را تشکیل می‌دهند، S (i,j) میزان مصرف آب برای هر محصول است.

۲-۵- محدودیت‌ها

در مسائل بهینه‌سازی پارامترهای کمی و کیفی متعددی هستند که در حل مسئله نهایی می‌بایست مدنظر قرار بگیرند. از جمله این محدودیت‌ها نوع محصولات زیر کشت، حجم قابل کشت در منطقه مورد مطالعه، محدودیت تغییر کشت، نیاز بازار به محصول و محدودیت تناوب زراعت است.

۲-۵-۱- نوع محصولات

محصولات کشت‌شده در حال‌حاضر در دشت اسدآباد گندم، جو، کلزا، یونجه، چغندر و نخود است.

بدین ترتیب محصول شماره یک گندم (j=1)، محصول دوم یونجه (j=2)، محصول سوم جو (j=۳)، محصول چهارم نخود (j=4)، محصول پنجم کلزا (j=5) و محصول ششم چغندر(j=6) است.

با توجه به این موضوع مسئله تناسب خاک نیز قابل اعمال است. با بررسی‌های انجام شده در منطقه مورد مطالعه بازدهی کشت محصولات مذکور بهتر از سایر محصولات است. به همین دلیل محدودیت تناسب خاک برای کشت محصولات دیگر باعث شد که محصول دیگری در الگوی کشت بهینه پیشنهاد نشود. در واقع الگوی کشت بهینه با تغییر کشت محصولات موجود به دنبال کمینه‌سازی مصرف آب، افزایش درآمد کشاورزان و تأمین نیاز داخل است.

۲-۵-۲- محدودیت تولید

مقدار حداقل و حداکثر تولید برای محصولات مورد مطالعه، براساس متوسط میزان تولید کشاورزان در منطقه در ۱۰سال اخیر است که برای کارایی بیشتر مدل و رسیدن به بهترین جواب تلورانس ۲۰٪ برای افزایش یا کاهش محصول در نظر گرفته شده است (رابطه ۹).

$$I_L(j) < \sum_{i=0}^{190} \sum_{j=1}^{5} W(i\ j) \times C(i\ j) < I_U(j)$$

رابطه (۹)

در رابطه (۹)، $I_L(j)$ میزان حداقل برداشت محصول j در سطح منطقه (تن) و $I_U(j)$ میزان حداکثر برداشت محصول j در سطح منطقه (تن) است.

۲-۵-۳- محدودیت تغییر کشت

در زمین‌هایی که یونجه کشت شود، تا ۷سال متمادی کشت محصول در آن قطعه قابل تغییر نیست و باید محصول یونجه کشت شود.

$$\forall\ i\ c_{i2} = constant$$

رابطه (۱۰)

۲-۵-۴- محدودیت نیاز داخلی

یکی از محدودیت‌های بسیار مهم حجم محصولات زیر کشت است که باید بر اساس نیاز داخل کشور یا منطقه باشد. در صورت صادرات یک محصول خاص و عدم نیاز داخل کشور به سایر محصولات قابل کشت، محصول مذکور می‌تواند برای درآمدزایی بیشتر کشاورزان در الگوی کشت بهینه پیشنهاد شود(رابطه ۱۱).

$$\sum_{i=0}^{190} \sum_{j=1}^{5} W(i\ j) \times C(i\ j) \cong I_j$$

رابطه (۱۱)

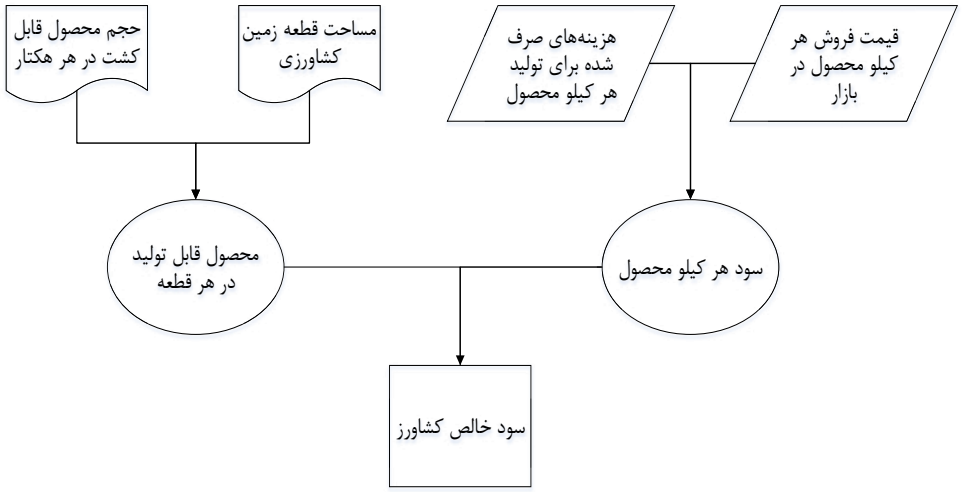
که در آن W(ij) میزان تولید محصول در هر قطعه است و I_c کل حجم نیاز به آن محصول در داخل کشور است. در مورد محصولاتی که صادر می‌شوند، اگر بیشتر از نیاز داخلی تولید شوند، می‌توانند سطح درآمد کشاورزان را به‌شدت افزایش دهند، اما با توجه به محدودیت مصرف آب در این تحقیق از بررسی این موضوع صرف‌نظر می‌شود.

۲-۵-۵- محدودیت تناوب زراعی

بیانگر این است که تمامی قطعات منطقه زیر کشت قرار نگیرند و بعضی از قطعات که متعلق به یک کشاورز است به‌صورت آیش باشند. اما این زمین‌ها در سال دوم حتماً زیر کشت خواهند رفت. همچنین برای بعضی از محصولات مانند جو اگر جزء محصولات زیر کشت باشد حتماً در سال دوم باید آیش باشند. همچنین بعضی محصولات مانند نخود و گندم را می‌توان همزمان در یک سال زراعی استفاده نمود.

۲-۶- محاسبه سود خالص کشاورز

برای محاسبه درآمد از هر قطعه، نیاز به محاسبه حجم محصول تولید شده وجود دارد که با برنامه‌نویسی در محیط نرم‌افزار ArcMap این پردازش انجام می‌شود و سپس با اعمال قیمت خرید محصول در حال حاضر، سود واقعی کشاورز مشخص می‌شود.



نگاره۳: مراحل محاسبه سود خالص کشاورز از محصولات

روند محاسبات به‌صورت دیاگرام در نگاره۳ نشان داده‌شده است.

۲-۷- الگوریتم پیشنهادی کشت بهینه

در این مرحله الگوریتم پیشنهادی به‌منظور بهینه‌سازی انتخاب یک ترکیب از بین محصولات زیر کشت، برای حل دو سناریو در **نگاره ٤** ارائه‌شده است. در سناریو اول هدف کاهش مصرف آب و افزایش درآمد و در سناریو دوم هدف کاهش مصرف آب و تأمین نیاز داخلی است.

زیرا ممکن است الگوریتم پیشنهادی محصولاتی را پیشنهاد دهد که مصرف آب کمتری دارند و درآمد بیشتری، اما این الگوی کشت متناسب با مصرف داخل کشور نباشد. به همین دلیل باید الگویی استخراج کرد که علاوه بر کاهش مصرف آب و افزایش درآمد کشاورزان، مورد نیاز در داخل کشور نیز باشد.

۳- نتایج و بحث

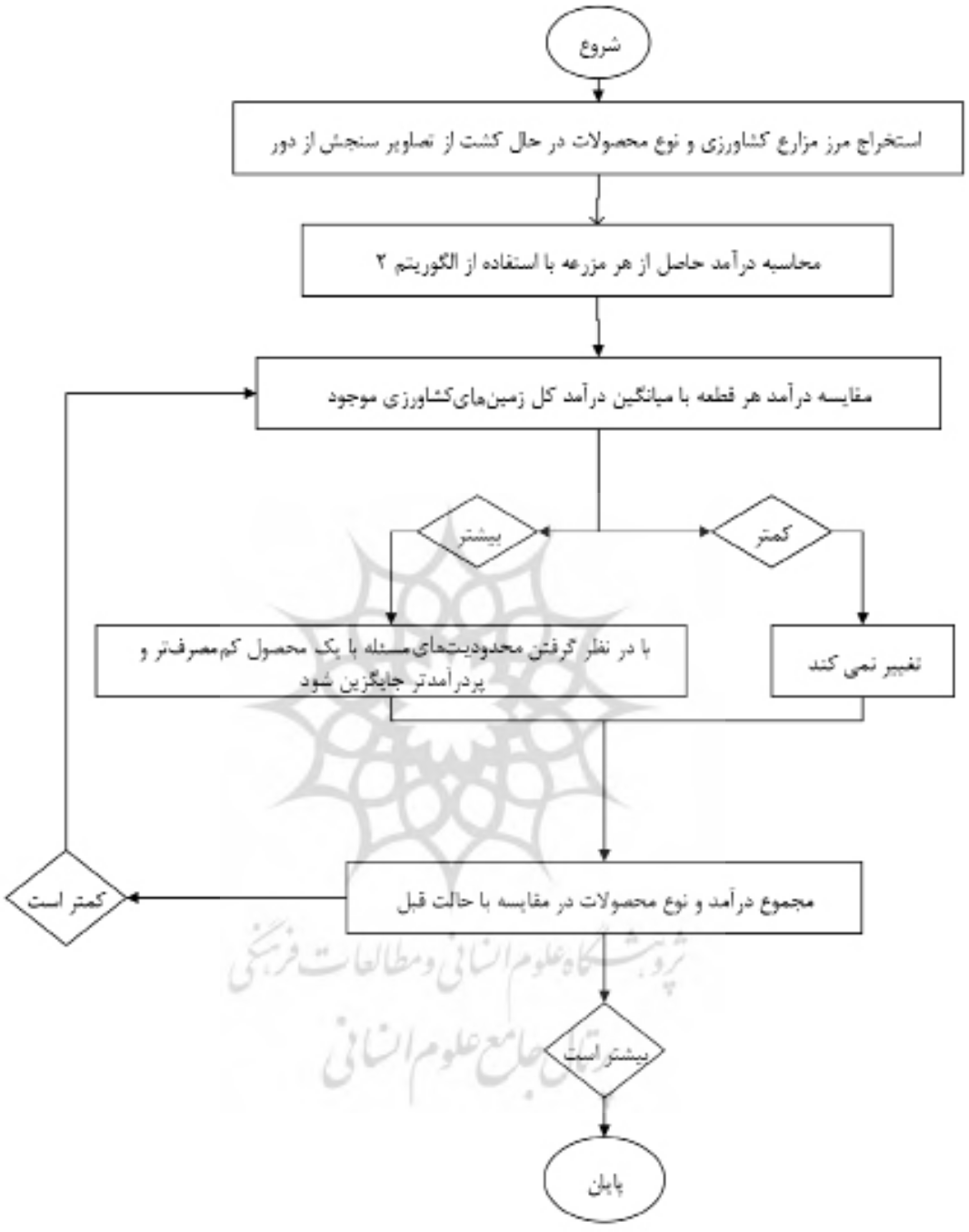
تصاویر ماهواره‌ای مورداستفاده در این پروژه باندهای سبز، قرمز و مادون‌قرمز از سنجنده OLI ماهواره Landsat 8 در سال ۲۰۱۸ است که با توجه به موقعیت خاص منطقه مورد مطالعه در دو گذر متوالی این ماهواره قابل برداشت بوده است.

این موضوع قدرت تفکیک زمانی این سنجنده را به یک هفته افزایش می‌دهد و صرفاً تصاویری که به دلیل پوشش منطقه توسط ابر حذف شده‌اند از فرآیند پردازش کنار گذاشته می‌شوند. به‌طورکلی ۲۷ سری تصویر با شروع از ماه دوم سال ۲۰۱۸ و پایان در ماه دهم این سال اخذ و مورد بررسی قرارگرفته‌اند. نگاره ۵ نتیجه طبقه‌بندی پیکسل مبنا به روش شبکه عصبی را نمایش می‌دهد. در این روش بر مبنای داده‌های زمینی برداشت شده از منطقه، شبکه آموزش داده شده است و پس از آموزش برمبنای داده‌های ارزیاب واقعیت زمینی، دقت برآورد در حدود ۸۸٪ حاصل شده است. در این تحقیق از ٤۰ مزرعه برداشت شده، ۳۲ داده واقعیت زمینی به‌منظور آموزش شبکه عصبی و ۸ مزرعه برای ارزیابی نتایج مورد استفاده قرارگرفته‌اند.

با استفاده از تصویر پان‌کروماتیک منطقه که قدرت تفکیک مکانی بهتری نسب به تصاویر مرئی دارند (نگاره ٦)، حدود مزارع کشاورزی استخراج شده و نتیجه استخراج مزارع کشاورزی در نگاره ۷ نمایش داده شده است.

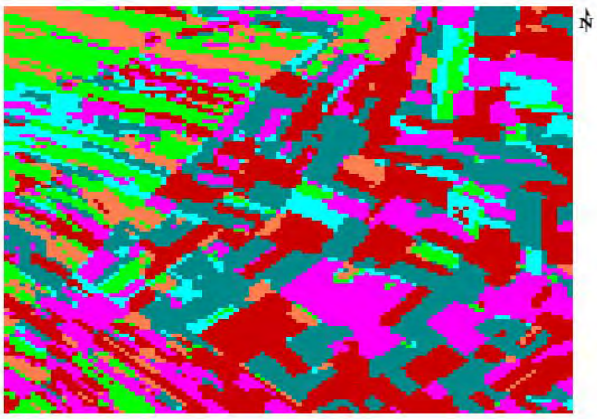
پس از محاسبه مساحت زمین‌های کشاورزی و تعیین نوع محصولات زیر کشت (نگاره۷) پایگاه داده در GIS تشکیل شده (نگاره ۸) و بهینه‌سازی در دو سناریو مورد بررسی قرار گرفته است.

در یک سناریو کاهش مصرف آب و افزایش درآمد کشاورزان و در سناریو دیگر تأمین نیاز داخلی کشور جهت جلوگیری از خروج ارز مورد بررسی قرارگرفته است.

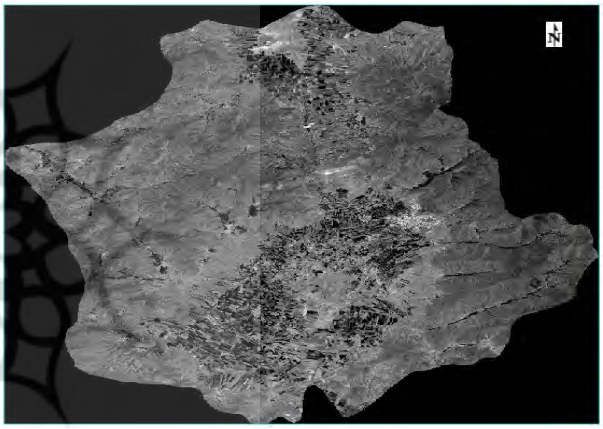


نگاره ٤: دیاگرام الگوریتم پیشنهادی

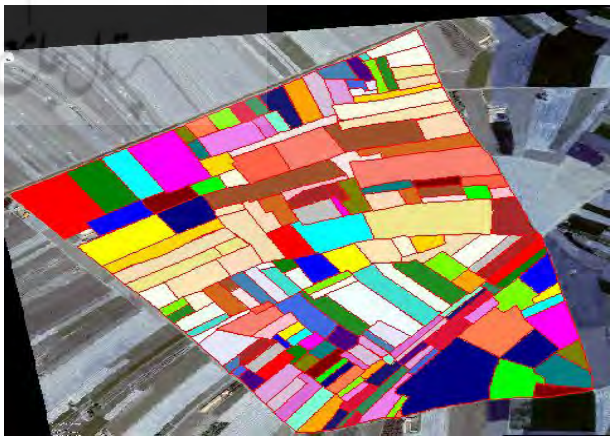
با استفاده از جدول ۲، در نگاره ۹ نوع محصولات کشاورزی زیر کشت، مصرف آب و درآمد حاصل در حال حاضر برای منطقه مورد مطالعه محاسبه ونمایش داده‌شده است. این نمودار نمایش بهتری از وضعیت مصرف آب و سود خالص نهایی برای محصولات مختلف را نشان می‌دهد. میله‌های آبی‌رنگ میزان مصرف آب و میله‌های نارنجی رنگ سود خالص نهایی را نشان می‌دهند.



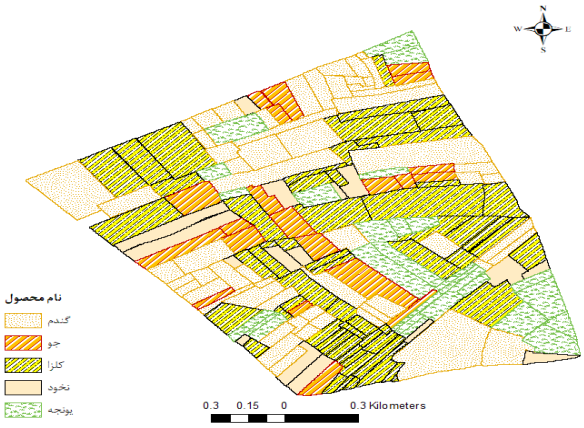
نگاره ۵ : نتیجه طبقه‌بندی به روش شبکه عصبی تصاویر ماهواره‌ای(مقیاس ۱:۲۰۰۰۰)



نگاره ٦: تصویر پان‌کروماتیک منطقه مورد مطالعه (مقیاس ۱:۵۰۰۰۰۰)



نگاره ۷ : استخراج حدود مزارع از تصاویر با قدرت تفکیک مکانی بالا (۱:۲۵۰۰۰)



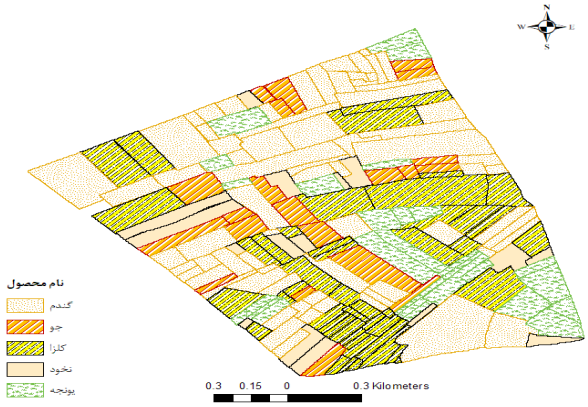
نگاره ۸: حدود و نوع محصولات زیر کشت در منطقه مورد مطالعه

نگاره ۹: میزان مصرف آب و درآمد برای وضع موجود

با مقایسه محصولات در این نمودار براساس نسبت بین دو پارامتر سود نهایی و میزان مصرف آب به ترتیب گندم، جو، نخود، کلزا، یونجه و چغندر بیشترین بازدهی را خواهند داشت. نکته قابل ذکر در این مقایسه افزایش سود کشت یونجه در سال‌های بعدی خواهد بود که بعضی از هزینه‌ها حذف شده و تا ۷ سال قابل برداشت است.

۳-۱- سناریو اول

در سناریو اول هدف کاهش مصرف آب و افزایش درآمد کشاورزان است. در واقع هدف از سناریو اوّل ارائه یک الگوی کشت بهینه با توجه به محدودیت‌های اعمال‌شده بر روی مدل پیشنهادی است، به‌گونه‌ای که سود نهایی کشاورزان بیشینه و مصرف آب محصولات کمینه شود (نگاره۱۰).



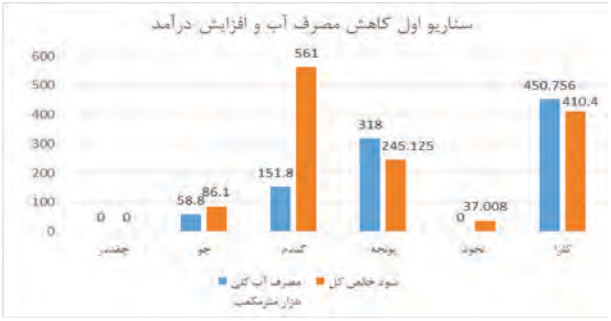
نگاره ۱۰: نوع محصولات پیشنهادی جهت بهینه‌سازی کاهش مصرف آب و افزایش درآمد کشاورزان

همان‌طور که در نگاره ۱۰ مشخص شده، محصول چغندر به‌صورت کلی از جمع محصولات قابل کشت حذف شده است و سایر محصولات، جهت کاهش مصرف آب و افزایش سود کشاورزان جایگزین شده‌اند. نمودار۱۱، میزان مصرف آب و درآمد حاصله برای الگوی کشت پیشنهادی در سناریو اوّل برای دشت اسدآباد را نشان می‌دهد. همان‌طور که در نگاره ۱۱ مشخص است در الگوی کشت پیشنهادی کشت چغندر صفر شده است و بیشترین رشد در کشت گندم است و دلیل این موضوع سود بیشتر و مصرف آب کمتر است.

به‌طوری که کشت محصول گندم از حدود ٤٩/٥ هکتار به ٦٥/٧ هکتار رسیده یعنی حدود ۳۰٪ افزایش داشته است. بعد از گندم بیشترین رشد کشت در کلزا بوده است به‌طوری‌که کشت کلزا از حدود ۵۲ هکتار به ٦٨/٤ هکتار یعنی حدود ۳۰٪ افزایش یافته است و در بقیه محصولات کشت به‌صورت جزئی افزایش داشته است.

۳-۲- سناریو دوم

در سناریو دوم هدف کاهش مصرف آب و تأمین نیاز داخلی است. با توجه به اینکه تنها با اتکا بر کاهش مصرف آب و افزایش درآمد نمی‌توان به بهینه‌سازی الگوی کشت پرداخت. زیرا محصول تولیدی در صورتی قیمت خود را حفظ خواهد کرد که بیشتر از نیاز بازار تولید نشود.

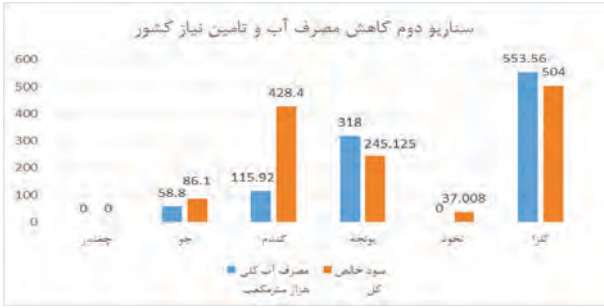


نگاره۱۱: نوع محصولات پیشنهادی پس از بهینه‌سازی سناریو اول

با در نظر گرفتن حد نیاز محصول در منطقه مورد مطالعه و با اعمال این محدودیت می‌توان بهینه‌سازی را براساس نیاز داخل و کمینه‌سازی مصرف آب انجام داد. با در نظر گرفتن محدودیت میزان نیاز به محصولات کشت شده و فروش آن‌ها در بازار داخلی بهینه‌سازی الگوی کشت در نگاره ۱۲ نشان داده‌شده است. در ادامه بر اساس سناریو دوم به محاسبه مصرف آب و درآمد حاصله پرداخته شده است. در نگاره ۱۲ نشان داده شده که، در این سناریو الگوی کشت بهینه، پیشنهاد کاهش مصرف چغندر و افزایش کشت کلزا را ارائه کرده است که منطقی به‌نظر می‌رسد. زیرا از طرفی چغندر می‌تواند در سایر مناطق کشور که وضعیت بهتری از نظر منابع آبی دارند تولید شود و کلزا که مصرف آب به نسبت کمتر، نیاز در بازار داخلی بیشتر و همچنین تناسب خوب با خاک این منطقه دارد، جایگزین شود.

نگاره۱۲: الگوی کشت پیشنهادی حاصل از بهینه‌سازی سناریو دوم

با مقایسه نمودار نگاره ۱۳ با وضع موجود در الگوی کشت بهینه برای سناریو دوم، مشخص می‌شود کشت کلزا ٦١٪ افزایش و کشت گندم، جو و نخود مقدار کمی افزایش داشته و یونجه نیز تغییری نکرده است.



نگاره ۱۳: نتایج بهینه‌سازی کشت محصولات حاصل از بهینه‌سازی سناریو دوم

برای درک بهتر تغییرات الگوی کشت در سناریو اول و سناریو دوم نسبت به وضع موجود، میزان مصرف آب و میزان درآمد حاصل در نگاره ١٤ مقایسه شده است. در این نمودار می‌توان تأثیر هر یک از سناریوها در مصرف آب و سطح درآمد کشاورزان را محاسبه نمود.

نگاره ١٤: مقایسه سناریو اول و دوم

همان‌طور که در نگاره ١٤ مشخص شده است در سناریو اول که اولویت سطح درآمد کشاورزان و کاهش مصرف آب بود، مصرف آب ٩٧٤/٥ هزار مترمکعب (حدود ٥٠٪) و سطح درآمد کشاورزان نیز ١٢٢/٤ میلیون تومان (حدود ٨٪) کاهش یافته است. درواقع برای کل کشاورزان دشت برای هر ماه حدود ١٠ میلیون تومان که اگر به تعداد کشاورزان تقسیم شود رقم بسیار ناچیزی خواهد بود. اما در سناریو دوم که اولویت تأمین نیاز داخل و کاهش مصرف آب است، نسبت به سناریو اول میزان مصرف آب حدود ٦٦/٩ هزار مترمکعب افزایش یافته و درآمد حدود ٤٠ میلیون تومان کاهش یافته است. در سناریو دوم نسبت به وضع موجود مصرف آب ٩٠٧/٦ هزار مترمکعب، حدود ٤٦٪ کاهش یافته است. در این سناریو درآمد نسبت به وضع موجود ١٦٢/٤ میلیون تومان، یعنی حدود ١١٪ کاهش یافته است.

درواقع اگر سود ملی درنظر گرفته شود و هدف جلوگیری از خروج ارز باشد، تأثیر قابل توجهی روی کاهش درآمد کشاورزان نخواهد داشت و تنها سود آن‌ها حدود ٣٪ نسبت به سناریو اول و ١١٪ نسبت به وضع موجود کاهش خواهد یافت. با این توصیف سناریو دوم که علاوه بر کاهش مصرف آب، تأمین نیاز داخل کشور را در نظر گرفته، نتایج بسیار مثبتی به همراه داشته و می‌تواند زمینه توسعه کشاورزی پایدار برای کشاورزان زحمت‌کش را فراهم آورد. این موضوع از جنبه دیگری نیز حائز اهمیت است. این‌که وقتی شرایط کشور در زمینه واردات دچار مشکل شود، نیاز به واردات محصولات خارج از کشور کاهش یافته و کالاهای خوراکی که یکی از نیازهای پراهمیت هر کشوری است تأمین خواهد شد.

٤- نتیجه‌گیری

در این تحقیق با استفاده از ترکیب سنجش‌ازدور و سیستم اطلاعات مکانی، راه‌حلی جهت بهینه‌سازی الگوی کشت با در نظر گرفتن دو سناریو ارائه شد. ابتدا با استفاده از تصاویر پانکروماتیک و هوش مصنوعی، حدود زمین و نوع محصولات زیرکشت مشخص شد. سپس دو تابع هدف، جهت کمینه‌سازی مصرف آب، بیشینه‌سازی سطح درآمد و تأمین نیاز داخل کشور توسعه داده شد. همچنین محدودیت‌هایی مانند نوع محصول زیر کشت و محدودیت تناوب و نیاز داخلی در مدل پیشنهادی اعمال شدند. با در نظر گرفتن دو تابع هدف الگوریتم پیشنهادی جهت

بهینه‌سازی الگوی کشت بر اساس دو سناریو ارائه شد و نتایج در قالب آن پیاده‌سازی شد. نتایج نشان داد که در سناریو اول با در نظر گرفتن کمینه‌سازی مصرف آب و بیشینه‌سازی درآمد کشاورزان در مقایسه با سناریو دوم که هدف آن کمینه‌سازی مصرف آب و بیشینه‌سازی تأمین محصولات موردنیاز داخلی است، اختلاف زیادی وجود ندارد. در هر دو سناریو میزان مصرف آب برای دشت اسدآباد حدود ۱۰۰۰ مترمکعب کاهش یافته است و کاهش مصرف آب حدود ۵۰٪ بود. همچنین در صورتی‌که اولویت تأمین نیاز داخل باشد، میزان مصرف آب حدود ۳٪ افزایش یافته و درآمد حدود ۳٪ کاهش یافته است. در این تحقیق مالکیت کشاورزان بر روی قطعه زمین‌ها مشخص نبود و فرض شد که مالکیت کشاورزان برابر است.

جهت پیشنهاد برای تحقیقات آینده، می‌توان با مشخص نمودن مالکیت هر کشاورز بر روی هر قطعه، سطح درآمدی کشاورزان را بهینه‌سازی کرد. همچنین می‌توان با افزودن پارامتر پتانسیل خاک جهت کشت محصول یک محدودیت دیگر به مدل افزود و با استفاده از آن الگوی کشت بهینه را پیشنهاد نمود.

منابع و مآخذ

۱- بافکار, ع., فرهادی بانسوله, ب., &برومندنسب, س. (2017). Optimization of water use in agriculture using the results of a crop growth simulation model (WOFOST) ((Case study: Mahidasht-Kuzaran, Kermanshah Province). مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک, ۲۳(٦), ۳۰۱-۳۱۵.

۲- پور, ع., احمدعلی, جبارزاده, آرمین, &یحیائی. (۲۰۱۸). ارائه یک رویکرد برنامه‌ریزی ریاضی برای بهینه‌سازی مسئله برنامه ریزی کاشت محصولات کشاورزی تحت شرایط عدم قطعیت عدد زی. مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک, ۲۵(۵), ۱-۲٤.

۳- حسینی, سادات, آ., مهرگان, &ابراهیمی. (۲۰۱٦). تعیین الگوی کشت بهینه محصولات زراعی با تأکید بر بیشینه کردن منافع اجتماعی و واردات خالص آب مجازی. فصلنامه علمی - پژوهشی تحقیقات اقتصاد کشاورزی, ۸(۳۱), ۱۲۳-۱٤٤.

٤- سلیمی مستعلی, ف., حافظ پرست, م., &سرگردی, ف. (2019). Simulation and optimization of the dam operation under the changing cultivation pattern scenario (Case Study: Harsin dam). تحقیقات آب و خاک ایران (مقالات آماده انتشار).

۵- عابدین پور, ا., جبارزاده, آ., &یحیائی, م. (2018). A multi objective mathematical modeling for crop planning problem under Z-number uncertainty. مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک, ۲۵(۵), ۱-۲٤.

٦- ورزنه, م., &نژاد, و. (۲۰۱۵). تخصیص آب در شبکه‌های آبیاری به‌کمک سیستم پشتیبانی تصمیم‌گیری مبتنی بر سیستم اطلاعات مکانی (GIS) و الگوریتم ازدحام ذرات (PSO) (نمونهٔ موردی: اراضی کشاورزی قورتان). اکوهیدرولوژی, ۲(۱), ۳۹-٤۹.

7- Adhikary, P. P., Barman, D., Madhu, M., Dash, C. J., Jakhar, P., Hombegowda, H., . . . Beer, K. (2019). Land use and land cover dynamics with special emphasis on shifting cultivation in Eastern Ghats Highlands of India using remote sensing data and GIS. Environmental monitoring and assessment, 191(5), 315.

8- Bandyopadhyay, S., Jaiswal, R., Hegde, V., & Jayaraman, V. (2009). Assessment of land suitability potentials for agriculture using a remote sensing and GIS based approach. International Journal of Remote Sensing, 30(4), 879-895.

9- Bangjie, Y., Zhiyuan, P., & Songling, Z. (2001). RS GIS GPS Based Agricultural Condition Monitoring Systems at a National Scale [J]. Transactions of The Chinese Society of Agricultural Engineering, 1, 033.

10- Bruinsma, J. (2017). World agriculture: towards 2015/2030: an FAO study: Routledge.

11- Esmailpour Estarkhi, H., Karimi, M., Alimohammadi Sarabi, A., & Davari, K. (2017). Planning of Agricultural Crops Cultivation Using Spatial Optimization Methods. Engineering Journal of Geospatial Information Technology, 5(2), 19-33.

12- Forkuor, G., Pavelic, P., Asare, E., & Obuobie, E. (2013). Modelling potential areas of groundwater development for agriculture in northern Ghana using GIS/RS. Hydrological sciences journal, 58(2), 437-451.

13- Ghosh, J., & Porchelvan, P. (2017). Remote sensing and GIS technique enable to assess and predict landuse changes in Vellore district, Tamil Nadu, India. International Journal of Applied Engineering Research, 12(12), 3474-3482.

14- Gökkaya, K., Budhathoki, M., Christopher, S. F., Hanrahan, B. R., & Tank, J. L. (2017). Subsurface tile drained area detection using GIS and remote sensing in an agricultural watershed. Ecological engineering, 108, 370-379.

15- Heidari, N., Amirnejad, H., & Hosseini, S. (2017). Determination of Optimal Pattern of Conventional Agrarian Activities of Forest Fringe Villagers in Hezarjarib Area, Iran.

16- Karimi, H., Soffianian, A., Seifi, S., Pourmanafi, S., & Ramin, H. (2020). Evaluating optimal sites for combined-cycle power plants using GIS: comparison of two aggregation methods in Iran. International Journal of Sustainable Energy, 39(2), 101-112.

17- Lalbiakmawia, F., & Kumar, S. (2017). Ground Water Prospecting using Remote Sensing and GIS in Champhai District, Mizoram, India. TTPP, 131.

18- Li, J., Zhu, T., Mao, X., & Adeloye, A. J. (2016). Modeling crop water consumption and water productivity in the middle reaches of Heihe River Basin. Computers and Electronics in Agriculture, 123, 242-255.

19- Memic, E., Graeff, S., Claupein, W., & Batchelor, W. (2019). GIS-based spatial nitrogen management model for maize: short-and long-term marginal net return maximising nitrogen application rates. Precision agriculture, 20(2), 295-312.

20- Mustafa, A., Singh, M., Sahoo, R., Ahmed, N., Khanna, M., Sarangi, A., &Mishra, A. (2011). Land suitability analysis for different crops: a multi criteria decision making approach using remote sensing and GIS. Researcher, 3(12), 61-84.

21- Neissi, L., Albaji, M., & Nasab, S. B. (2020). Combination of GIS and AHP for site selection of pressurized irrigation systems in the Izeh plain, Iran. Agricultural water management, 231, 106004.

22- Pulighe, G., Bonati, G., Fabiani, S., Barsali, T., Lupia, F., Vanino, S., . . . Roggero, P. P. (2016). Assessment of the agronomic feasibility of bioenergy crop cultivation on marginal and polluted land: A GIS-based suitability study from the Sulcis area, Italy. Energies, 9(11), 895.

23- Rahman, R., & Saha, S. (2008). Remote sensing, spatial multi criteria evaluation (SMCE) and analytical hierarchyprocess (AHP) in optimal cropping pattern planning for a flood prone area. Journal of Spatial Science, 53(2), 161-177.

24- Raza, S. M. H., Mahmood, S. A., Khan, A. A., & Liesenberg, V. (2018). Delineation of potential sites for rice cultivation through multi-criteria evaluation (MCE) using remote sensing and GIS. International Journal of Plant Production, 12(1), 1-11.

25- Sengupta, S. (2018). Warming, water crisis, then unrest: how Iran fits an alarming pattern. The New York Times, 18.

26- Singh, D., Jaiswal, C., Reddy, K., Singh, R., & Bhandarkar, D. (2001). Optimal cropping pattern in a canal command area. Agricultural water management, 50(1), 1-8.

27- Xie, Y., Xia, D., Ji, L., & Huang, G. (2018). An inexact stochastic-fuzzy optimization model for agricultural water allocation and land resources utilization management under considering effective rainfall. Ecological Indicators, 92, 301-311.

28- Yousefi, M., Banihabib, M. E., Soltani, J., & Roozbahani, A. (2018). Multi-objective particle swarm optimization model for conjunctive use of treated wastewater and groundwater. Agricultural water management, 208, 224-231.