

مطالعات جغرافیایی مناطق خشک

دوره دهم، شماره سی و هفتم، پاییز ۱۳۹۸

تأیید نهایی: ۱۳۹۹/۰۲/۰۸

دریافت مقاله: ۱۳۹۸/۱۱/۱۴

صص ۶۷-۵۳

مکان‌یابی محل نصب سنسورهای پایش زمینی باغات با استفاده از پردازش تصاویر ماهواره‌ای و سیستم اطلاعات جغرافیایی (مطالعه‌ی موردی: باغات پسته)

سهیل رادیوم*، استادیار مخابرات-پژوهشگاه فضایی ایران

چکیده

از طریق جمع‌آوری اطلاعات دقیق و مناسب از سطح زمین‌های زراعی می‌توان نسبت به مدیریت بهینه‌ی مزرعه و افزایش بهره‌وری تولید اقدام نمود. هدف از پژوهش حاضر، مکان‌یابی محل نصب سنسورهای اندازه‌گیری رطوبت خاک در سطح باغات پسته در شهرستان زرننده است. بدین منظور، اطلاعات اولیه‌ی موردنیاز از سطح باغ از طریق پردازش تصاویر ماهواره‌ای تهیه شد. سپس به کمک خوشه‌بندی این اطلاعات، کلاس‌های تغییرات موجود در سطح باغ شناسایی گردید و در سطح هر یک از این کلاس‌ها موقعیت سنسورها به نحوی انتخاب شد که بتواند حداکثر پوشش را در سطح باغ فراهم نماید. طبقه‌بندی اطلاعات سطح باغ ۹ کلاس متفاوت، رطوبت و پوشش گیاهی را در سطح باغ آشکار کرد. نتایج نشان داد که در سطح هر یک از باغ‌ها با آبیاری غرقابی و قطره‌ای می‌توان کلاس‌هایی با شرایط متفاوت را شناسایی کرد. به‌علاوه، نتایج نشان داده با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای به‌خوبی می‌توان خلأ کمبود اطلاعات از سطح زمین‌های کشاورزی را مرتفع نمود. همچنین از طریق مکان‌یابی مناسب سنسورها می‌توان کلیه‌ی تغییرات و نوسانات پارامترهای موردنظر در سطح باغ را اندازه‌گیری نمود. مکان‌یابی سنسورها مؤید آن است که این باغ حداقل به تعداد ۹ سنسور رطوبت خاک برای برنامه‌ریزی مناسب آبیاری نیاز دارد.

واژگان کلیدی: اینترنت اشیا، پسته، سنجش‌ازدور، سنسور خاک، کشاورزی دقیق، مکان‌یابی.

۱- مقدمه

محصولات کشاورزی ایران، سهم عمده‌ای از صادرات غیرنفتی را به خود اختصاص داده است. پسته از جمله مهم‌ترین اقلام صادراتی کشاورزی کشور است و به‌طور متوسط سالانه بیش از ۵۰۰ میلیون دلار از محل صادرات آن به دست می‌آید (پاکروان و همکاران، ۱۳۹۰: ۲؛ Zheng et al., 2012:140). موقعیت ایران در بازار جهانی پسته و سودآوری بالای این محصول و نیز شرایط موجود در اغلب مناطق پسته‌کاری کشور که تولید اقتصادی سایر محصولات را غیرممکن نموده، تولید پسته را به‌عنوان تنها فرصت سرمایه‌گذاری کشاورزی در برخی مناطق کشور تبدیل کرده است؛ به‌نحوی که طی ۲۵ سال (۱۳۶۰ تا ۱۳۸۴) سطح زیر کشت پسته حدود سه برابر شده است (محمودی و جلالی، ۱۳۹۵: ۹۵۲).

سرانه‌ی آب تجدیدپذیر کشور از سیزده هزار مترمکعب در سال ۱۳۰۰ به هزار و چهارصد مترمکعب در سال ۱۳۹۵ کاهش یافته است (بیران و هنربخش، ۱۳۸۷: ۱۹۸). از منابع آب تجدیدشونده‌ی کشور حدود ۹۰ درصد آن به بخش کشاورزی اختصاص دارد (احسانی و همکاران، ۱۳۸۲: ۱۴). کشت پسته در ایران عمدتاً در مناطق خشک کشور انجام می‌شود. در این مناطق، بارندگی بسیار ناچیز بوده و عمدتاً فاقد منابع آب سطحی هستند و تولیدات کشاورزی، بیش‌تر متکی به آب‌های زیرزمینی است. از طرفی، در بسیاری از نقاط کشور، منابع آب سطحی به‌اندازه‌ی کافی در دسترس نیست، از این‌رو نیاز آبی از سفره‌های آب زیرزمینی تأمین می‌شود که به برداشت بی‌رویه‌ی آب از منابع زیرزمینی، خشک شدن بسیاری از دشت‌ها و افت شدید سطح ایستابی در سایر دشت‌ها منجر شده است (خواج‌الدین، ۱۳۸۶: ۴۳). برداشت بی‌رویه از آب‌های زیرزمینی در مناطق پسته‌کاری، موجب کاهش کیفی و کمی این منابع شده است. میزان افت سالانه‌ی آب در شهرستان رفسنجان به‌عنوان یکی از مناطق عمده‌ی تولید پسته در کشور حدود ۰٫۷۵ متر و بیلان منفی سالانه‌ی سفره‌ی آب زیرزمینی ۲۴۹ میلیون مترمکعب بوده است. به‌علاوه، کیفیت آب‌های زیرزمینی نیز افت داشته و حداکثر شوری در برخی موارد تا ۲۰ هزار میکروموس بر سانتی‌متر گزارش شده است (عبداللهی و جوانشاه، ۱۳۸۶: ۱۱۴). با افزایش سطح زیرکشت باغات پسته و افزایش تقاضا برای آب از یک‌طرف و محدودتر شدن منابع آبی در منطقه از دیگر سو، عدم تعادل بین عرضه و تقاضای آب به‌شدت در حال افزایش است (باقری و معززی، ۱۳۹۲: ۱۶۳). با توجه به موارد ذکرشده، ضروری است از طریق افزایش بهره‌وری مصرف آب، نسبت به حفظ سرمایه، تداوم زراعت و ایجاد اشتغال در مناطق کاشت پسته اقدام نمود. از جمله راهکارهایی که در این زمینه به‌کار گرفته می‌شود، پیاده‌سازی کشاورزی دقیق و استفاده از سنسورهای رطوبت خاک برای اندازه‌گیری دقیق مقدار رطوبت موجود در خاک و در نتیجه مدیریت صحیح برنامه‌ریزی آبیاری و جلوگیری از هدر رفت آب است (Shafi et al., 2019: 3). از آنجایی که این سنسورها به‌صورت ثابت در زمین نصب می‌شوند، لذا مکان‌گزینی اولیه‌ی مناسب این سنسورها نقش به‌سزایی در کیفیت داده‌های برداشت‌شده از سطح باغ داشته و صحت تصمیم‌گیری‌ها به آن وابسته خواهد بود (Shen et al., 2018: 2).

هنگام به‌کارگیری این سنسورها در تصمیم‌گیری‌ها باید توجه داشت که داده‌ی این سنسورها معرف شرایط کلی حاکم بر مزرعه باشد؛ علاوه بر آن، قابلیت نمایش تنوع موجود در بین قسمت‌های مختلف مزرعه به کمک داده‌های این سنسورها وجود داشته باشد. با توجه به این موضوع، مکان‌یابی مناسب محل‌های نصب این سنسورها در کیفیت دستاوردهای حاصل از آن نقش چشم‌گیری دارد. تاکنون تحقیقات مختلفی در زمینه‌ی مکان‌یابی سنسورهای پایش محیط انجام شده است که از آن جمله می‌توان به تحقیقات ذیل اشاره نمود.

ناصری‌زاده و همکاران در سال ۱۳۹۸ در تحقیقی به‌منظور کاهش خطر ناشی از ورود آلودگی به داخل شبکه‌ی توزیع آب، یک مدل شبیه‌سازی- بهینه‌سازی برای تعیین تعداد و موقعیت بهینه‌ی سنسورهای تشخیص آلودگی ارائه کرده‌اند. در این تحقیق برای مکان‌یابی سنسورهای تشخیص آلودگی در شبکه‌های توزیع آب شهری با استفاده از مدل شبیه‌سازی EPANET، ورود آلاینده به شبکه‌ی آب مدل‌سازی شد. سپس بر این اساس با استفاده از مدل بهینه‌سازی

چندهدفه NSGAI^۱، موقعیت مکانی مناسب شش سنسور در شبکه‌ی توزیع آب شهر لامرد تعیین شد. نتایج تحقیق نشان داد به ازای این تعداد سنسور، تعداد جمعیت آلوده‌شده، زمان تشخیص و احتمال تشخیص ندادن آلاینده به ترتیب برابر با ۴۷۳۵ نفر، ۳۳ دقیقه و ۱۳٫۶ درصد بوده است.

یو^۲ در سال ۲۰۱۵ بر اساس تقاضای آب مصرفی در هر یک از نقاط شبکه‌ی توزیع آب شهر و تغییر در هیدرولیک شبکه که منتج به تغییر جهت جریان در شبکه می‌شود، دو روش مرکزیت^۳ و مدل بهینه‌سازی چندهدفه، الگوریتم ژنتیک را برای بهینه‌سازی سنسورها در یک شبکه‌ی توزیع فرضی ارائه و نتایج آن‌ها را با یکدیگر مقایسه کردند.

در زمینه‌ی آلودگی هوا مطالعات گوناگونی انجام شده است که از آن جمله می‌توان به پایش آلودگی هوا (Pooraizi, Alesheikh., 2011)، بررسی کیفیت بهداشتی هوای تهران (اردکانی و همکاران، ۱۳۸۵) و جانمایی ایستگاه‌های آلودگی هوا (اشرفی و همکاران، ۱۳۸۶؛ Goswami, et al., 2002؛ Kukkonen, et al., 2001) اشاره کرد. همچنین، کفاش و همکاران (۱۳۹۱) به مکان‌یابی بهینه‌ی ایستگاه‌های پایش آلودگی هوای شهر تهران با استفاده از روش فرا رتبه‌ای^۴ پرداختند. معیارهای تراکم جمعیت، فاصله از ایستگاه‌های موجود، فاصله از درختان، فاصله از دیوار ساختمان‌ها و فاصله از خیابان‌ها به کمک سه روش PROMETHEE^۵، ELECTRE^۶ و WSM^۷ برای تعیین مکان‌های بهینه‌ی ایستگاه‌های پایش استفاده شدند. نتایج تحقیق نشان داد که جواب‌های حاصل از روش PROMETHEE نسبت به سایر روش‌ها مناسب‌تر بوده است. این نتایج همچنین مؤید نیاز شدید به احداث ایستگاه‌های جدید در مناطق مختلف شهر بوده است.

رجبی و همکاران در تحقیقی در سال ۱۳۸۸ برای مکان‌یابی بهینه سنسورهای نظارتی و امنیتی از مسئله‌ی پوشش مکانی حداکثر (MCLP)^۸ و پوشش مکانی پشتیبان (BCLP)^۹ استفاده کردند. نتایج تحقیق نشان داد که استقرار سنسورها برای پشتیبانی از نظارت امنیتی در یک محیط شهری سه‌بعدی به‌وسیله‌ی بهینه‌سازی پوشش و به همراه پردازش میدان دید می‌تواند حاصل شود. نتایج MCLP نشان داد که افزایش بیش‌ازاندازه‌ی دوربین‌ها منجر به افزایش پوشش به‌اندازه کاملاً ناچیز می‌گردد و از لحاظ اقتصادی توجیه‌پذیر نیست. نتایج BCLP بیان کرد که دستاوردهای بسیار تأثیرگذاری را می‌توان در پوشش پشتیبان بدون اینکه پوشش ابتدایی کاهش یابد، کسب نمود.

حسینی و سید ابریشمی در سال ۱۳۹۵ به مکان‌یابی بهینه‌ی سنسورهای شمارنده در شبکه‌ی ترابری پرداختند. در این تحقیق، برای مکان‌یابی بهینه‌ی مجموعه کارگذاری‌های مختلف، تعداد مشخصی سنسور در شبکه‌های دارای سنسورهای از پیش کارگذاری شده، از روش ماتریس تبدیل جبر خطی استفاده شده است. نتایج، نشانگر آن است که روش تغییر پایه‌ی جبری معرفی‌شده قادر بوده تا در زمان کم‌تر با حجم محاسبات و اطلاعات ورودی کم‌تر، مجموعه‌ی مکان‌یابی مناسب‌تری را شناسایی کند.

۱- Nondominated Sorting Genetic Algorithm II

۲- Yoo

۳- Betweenness Centrality

۴- Outranking Method

۵- Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations

۶- Elimination and Choice Translating Reality

۷- Weighted Sum Method

۸- Maximal Covering Location Problem

۹- Backup coverage location problem

یانگ و زو^{۱۰} در سال ۱۹۹۸ معیارهایی برای سنجش کیفیت تخمین جریان‌های مبدأ-مقصد بر پایه‌ی حجم‌های شمارش‌شده از سنسورهای کارگذاری شده در شبکه ارائه کرده‌اند. این معیارها مفهوم‌هایی همچون بیشینه‌سازی میزان پوشش جریان‌های مبدأ-مقصد^{۱۱}، بیشینه‌سازی نسبت جریان، بیشینه‌سازی میزان پوشش جریان‌های مسیر و استقلال مکان‌ها^{۱۲} را به کار گرفته‌اند و بر این مبنا از میان مجموعه مکان‌یابی‌های گوناگون، مجموعه‌ای با بهترین تخمین تعیین می‌شود.

بررسی تحقیقات انجام‌شده نشان می‌دهد الگوریتم‌های متداول مکان‌یابی سنسور یا بر حداکثر پوشش استوارند و یا بر اساس وزن‌دهی معیارها بر اساس اولویت‌های مکان‌یابی عمل می‌کنند؛ اما در مسئله‌ی مکان‌یابی سنسورهای پایش کشاورزی بین معیارهای مختلف اولیوی برای تعیین مکان سنسور وجود ندارد. علاوه بر این، معیار حداکثر پوشش مکانی با آنچه در مورد مکان‌یابی دوربین‌های پایش یا مراکز ارائه‌ی خدمات در نظر گرفته می‌شود، متفاوت است. هدف اصلی در مکان‌یابی سنسورهای کشاورزی، اندازه‌گیری مقادیر کلاس‌های مختلف داده‌ای در سطح مزرعه است؛ بنابراین نمی‌توان از روش‌های متداول حل مسئله‌ی مکان‌یابی در این موضوع استفاده نمود. در این حالت هدف، مشخص کردن کلاس‌های مختلف پارامترهای زراعی در سطح مزرعه و تعیین سهم نسبی هر یک از این کلاس‌ها در مقایسه با ابعاد مزرعه و سپس جانمایی مناسب سنسورها در هر یک از این کلاس‌هاست. با توجه به این موضوع، هدف از اجرای این تحقیق مکان‌یابی محل نصب سنسورهای زمینی پایش رطوبت خاک در سطح باغ است.

همچنین تعیین مکان مناسب نصب سنسورها نیاز به اطلاعات اولیه از سطح مزرعه و تغییرات پارامتر مورد مطالعه در سطح آن دارد. در حال حاضر بخش عمده‌ای از زمین‌های کشاورزی و باغات کشور فاقد چنین اطلاعاتی می‌باشند؛ بنابراین، هدف ثانویه‌ی این تحقیق، تهیه‌ی اطلاعات اولیه از سطح باغات به‌منظور تعیین مکان‌های مناسب نصب سنسور با استفاده از داده‌ها و روش‌های سنجش‌ازدور است.

۲- منطقه‌ی مورد مطالعه و داده‌ها

۲-۱- معرفی منطقه‌ی مورد مطالعه

واحد کشاورزی مورد مطالعه با مساحت ۸۰۰ هکتار در منطقه‌ی زرنده‌ی استان مرکزی قرار دارد. آب مورد نیاز اراضی این واحد از شش حلقه‌ی چاه عمیق مجموعاً با آبدهی ۶۳ لیتر در ثانیه تأمین می‌شود. این واحد دارای ۱۸۰ هکتار باغ پسته با ارقام کله قوچی و فندق‌ی است. جدول ۱ دبی چاه‌های موجود در واحد کشاورزی را در چند سال اخیر نشان می‌دهد.

جدول ۱: دبی چاه‌های موجود در واحد کشاورزی

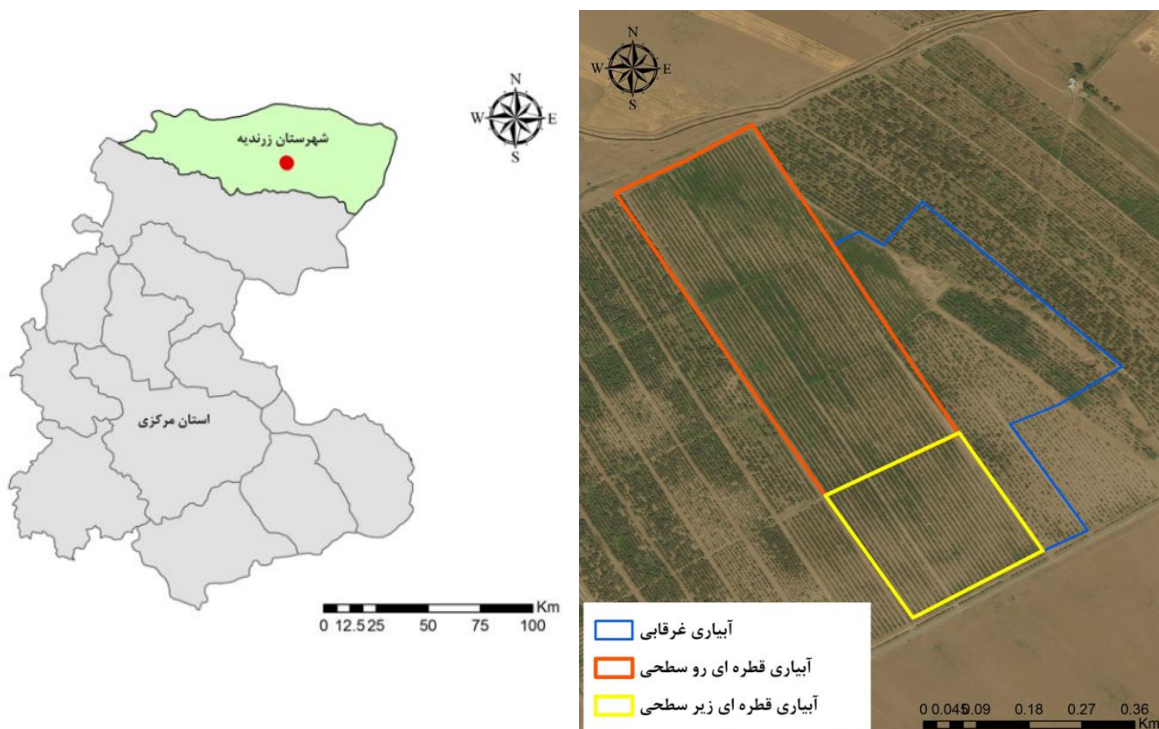
مجموع دبی چاه (لیتر در ثانیه)	شماره‌ی چاه						سال
	۷	۶	۵	۴	۳	۲	
۹۶	۲۵	۱۴	۱۸	۱۳	۱۸	۸	۱۳۹۴
۸۳	۲۰	۱۲	۱۴	۱۲	۱۷	۸	۱۳۹۵
۶۹	۱۸	۱۰	۱۲	۱۰	۱۶	۳	۱۳۹۶
۵۶	۱۶	۷	۸	۹	۱۴	۲	۱۳۹۷
۶۳	۱۶	۷	۱۶	۸	۱۴	۲	۱۳۹۸

۱۰- Zhou & Yang

۱۱- O-D Flow Coverage

۱۲- Route Flow Coverage

همان‌طور که در ارقام این جدول مشاهده می‌شود، دبی چاه‌ها در سال‌های اخیر افت قابل توجهی داشته‌اند؛ بنابراین برای مدیریت بهینه‌ی آبیاری در این زمین‌ها، برنامه‌ریزی جهت نصب سنسورهای پایش رطوبت خاک مدنظر قرار گرفته است. سه مجموعه باغ با سیستم‌های آبیاری متفاوت شامل آبیاری غرقابی، آبیاری قطره‌ای روستحی و آبیاری قطره‌ای زیرسطحی به‌عنوان منطقه‌ی پایلوت این تحقیق انتخاب شده‌اند. شکل (۱) موقعیت منطقه‌ی مورد مطالعه و باغ‌های پایلوت را نشان می‌دهد. مساحت کل منطقه‌ی پایلوت معادل ۲۰ هکتار بوده و شامل ارقام فندق و کله قوچی است. سن درختان در آبیاری غرقابی حدود ۴۷-۴۰ سال و در بخش آبیاری قطره‌ای حدود ۲۵-۲۲ سال بوده است.



شکل ۱: موقعیت منطقه‌ی مطالعاتی و باغ‌های پایلوت

۲-۲-۲ داده‌ها

به‌منظور مکان‌یابی مناسب سنسورها لازم است اطلاعات خاک، شبکه‌ی آبیاری و پوشش گیاهی منطقه‌ی مطالعاتی را با یکدیگر ترکیب نمود تا بتوان ویژگی همه‌ی پارامترها را در انتخاب مکان‌های نصب سنسور مدنظر قرار داد. در این بخش، داده‌های مورداستفاده در تحقیق معرفی شده‌اند.

۲-۲-۲-۱ تصاویر ماهواره‌ی Sentinel 2

به‌منظور تعیین موقعیت سنسورها نیاز به بررسی وضعیت پوشش گیاهی و تراکم و تغییرات آن در سطح باغ است. برای در اختیار داشتن اطلاعات جامع از سطح باغ، نقشه‌های وضعیت پوشش گیاهی با استفاده از شاخص‌های پوشش گیاهی محاسبه‌شده از تصاویر ماهواره‌ای تهیه شد. بدین منظور از تصاویر ماهواره‌ی Sentinel 2 استفاده شده است. ماهواره‌ی Sentinel 2 توسط آژانس فضایی اروپا به‌منظور بررسی تغییرات پوشش زمین، نظارت بهتر بر محیط زیست، برنامه‌های الگوی طرح کشت، نظارت بر محصولات کشاورزی و برآورد پارامترهای پوشش گیاهی در مدار قرار گرفته است. جدول ۲ مشخصات سنجنده‌ی چندطیفی ماهواره‌ی Sentinel 2 را نشان می‌دهد.

جدول ۲: مشخصات سنجنده‌ی چندطیفی ماهواره‌ی Sentinel 2

شماره و محدوده‌ی طیفی باند	طول موج مرکزی (نانومتر)	پهنای باند (نانومتر)	توان تفکیک مکانی (متر)
باند ۱- آئروسول‌های ساحلی	۴۴۳	۲۰	۶۰
باند ۲- آبی	۴۹۰	۶۵	۱۰
باند ۳- سبز	۵۶۰	۳۵	۱۰
باند ۴- قرمز	۶۶۵	۳۰	۱۰
باند ۵- لبه قرمز	۷۰۵	۱۵	۲۰
باند ۶- لبه قرمز	۷۴۰	۱۵	۲۰
باند ۷- لبه قرمز	۷۸۳	۲۰	۲۰
باند ۸- مادون قرمز نزدیک	۸۴۲	۱۱۵	۱۰
باند A۸ - مادون قرمز نزدیک باریک باند	۸۶۵	۲۰	۲۰
باند ۹- بخار آب	۹۴۵	۲۰	۶۰
باند ۱۰- مادون قرمز موج کوتاه_ ابر سیروس	۱۳۷۵	۲۰	۶۰
باند ۱۱- مادون قرمز موج کوتاه	۱۶۱۰	۹۰	۲۰
باند ۱۲- مادون قرمز موج کوتاه	۲۱۹۰	۱۸۰	۲۰

۲-۲-۲- تصاویر ماهواره‌ی Landsat 8

تغییرات تبخیر تعرق در سطح باغ می‌تواند اطلاعات مفیدی در زمینه‌ی توزیع و مصرف آب در سطح باغ ارائه نماید. نقشه‌های تبخیر تعرق واقعی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ی لندست ۸ تهیه شده است. ماهواره‌ی لندست ۸ در سال ۲۰۱۳ در مدار قرار گرفته و دوره‌ی بازدید مجدد آن ۱۶ روز است. ماهواره‌ی Landsat 8، دو سنجنده‌ی TIRS^{۱۳} و OLI^{۱۴} دارد. قدرت تفکیک مکانی تصاویر سنجنده‌ی TIRS ۱۰۰ متر و تصاویر OLI ۳۰ و ۱۵ متر (باند پانکروماتیک) است. جدول ۳ مشخصات داده‌های دو سنجنده‌ی ماهواره Landsat 8 را نشان می‌دهد.

جدول ۳: مشخصات طیفی تصاویر Landsat 8

شماره‌ی باند	محدوده‌ی طیفی باند	توان تفکیک مکانی (متر)	محدوده‌ی طول موج (نانومتر)
۱	ساحلی-ریزگرد	۳۰	۴۳۵ - ۴۵۱
۲	آبی	۳۰	۴۵۲ - ۵۱۲
۳	سبز	۳۰	۵۳۳ - ۵۹۰
۴	قرمز	۳۰	۶۳۶ - ۶۷۳
۵	مادون قرمز نزدیک	۳۰	۸۵۱ - ۸۷۹
۶	مادون قرمز طول موج کوتاه ۱	۳۰	۱۵۶۶ - ۱۶۵۱
۱۰	مادون قرمز حرارتی ۱	۱۰۰	۱۰۶۰۰ - ۱۱۱۹۰
۱۱	مادون قرمز حرارتی ۲	۱۰۰	۱۱۵۰۰ - ۱۲۵۱۰
۷	مادون قرمز طول موج کوتاه ۲	۳۰	۲۱۰۷ - ۲۲۹۴
۸	پانکروماتیک	۱۵	۵۰۳ - ۶۷۶
۹	سیروس	۳۰	۱۳۶۳ - ۱۳۸۴

۲-۲-۳- داده‌های هواشناسی

۱۳- Thermal Infrared Sensor

۱۴- Operational Land Imager

برای برآورد تبخیر تفرق واقعی، نیاز به اطلاعات هواشناسی در زمان گذر ماهواره است. این اطلاعات با استفاده از داده‌های نزدیک‌ترین ایستگاه سینوپتیک به منطقه‌ی مطالعاتی (ایستگاه فرودگاه امام خمینی) تهیه شد. جدول ۴ نمونه‌ای از اطلاعات به‌کاربرده شده را نشان می‌دهد.

جدول ۴: نمونه‌ای از اطلاعات هواشناسی به‌کاربرده شده

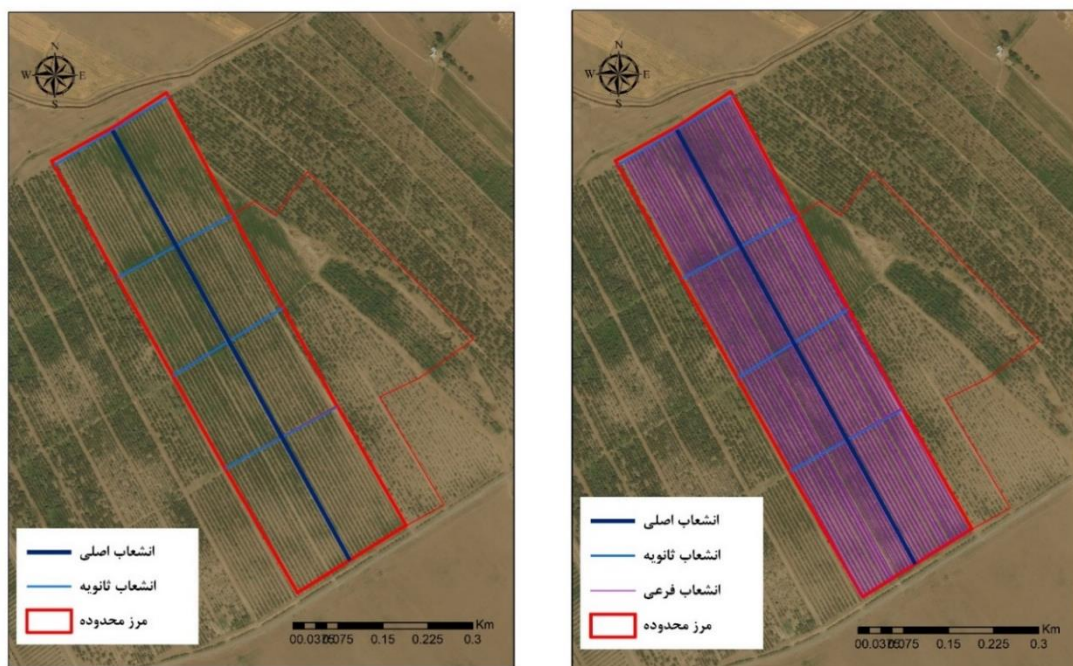
تاریخ	میانگین دمای لحظه گذر	میانگین دمای روزانه	رطوبت نسبی لحظه گذر (%)	رطوبت نسبی روزانه (%)	سرعت باد لحظه گذر	سرعت باد روزانه (متر بر ثانیه)	تعداد ساعات آفتابی
۲۰۱۹۰۴۲۳	۲۵/۴	۲۰/۴	۲۱	۳۴	۶	۳/۵	۶/۲
۲۰۹۰۷۲۶	۳۸	۳۲/۸	۱۲	۱۸/۶۲۵	۹	۶/۶۲۵	۱۱/۶

۴-۲-۲- نقشه‌ی خاک

نقشه‌ی خاک باغات مورد مطالعه، پیش از احداث باغ از طریق نمونه‌برداری میدانی تهیه شده است. بر اساس این اطلاعات، خاک باغات در تمام منطقه‌ی پایلوت، یکدست بوده و در لایه‌ی سطحی از نوع لومی رسی و در لایه‌ی عمقی از نوع لومی بوده است (کمپته‌ی فنی پسته، ۱۳۹۸).

۵-۲-۲- اطلاعات شبکه‌ی آبیاری

آن‌گونه که در بخش معرفی منطقه‌ی مورد مطالعه اشاره شد، سیستم آبیاری باغات پایلوت تحقیق به سه صورت غرقابی، آبیاری قطره‌ای سطحی و آبیاری قطره‌ای زیرسطحی بوده است. شبکه‌ی آبیاری قطره‌ای، از سه نوع لوله‌ی اصلی که وظیفه‌ی هدایت و تقسیم آب را در قسمت‌های مختلف باغ بر عهده دارند، تشکیل شده است. لوله‌های اصلی با قطر ۱۱۰ سانتی‌متر، به‌صورت طولی آب را در سطح باغ انتقال می‌دهند. این آب از طریق انشعاب‌های عمودی با قطر ۷۵ سانتی‌متر به قطعات مختلف باغ انتقال یافته و به لوله‌های فرعی جهت آبیاری قطره‌ای درختان منشعب می‌شوند. شکل (۲) نقشه‌ی پیاده‌سازی‌شده‌ی شبکه‌ی آبیاری باغات پایلوت را نشان می‌دهد.



شکل ۲: نقشه‌ی پیاده‌سازی‌شده‌ی شبکه‌ی آبیاری باغات پایلوت

۳- روش‌شناسی تحقیق

۳-۱- تهیه‌ی لایه‌های اطلاعاتی موردنیاز

پارامترهای تأثیرگذار در تغییرات شرایط رطوبت باغ شامل ویژگی‌های پوشش گیاهی، ویژگی‌های خاک و شبکه‌ی آبیاری است (Zotarelli et al., 2013; Shen et al., 2018; Wu et al., 2012). برای در نظر گرفتن شرایط پوشش گیاهی و تراکم، از شاخص‌های پوشش گیاهی سنجش‌ازدوری استفاده شده و ویژگی‌های خاک از طریق اطلاعات خاک موجود در نظر گرفته شده است. ویژگی‌های شبکه‌ی آبیاری با استفاده از اطلاعات موجود از شبکه‌ی زهکشی مدل شده است. یکی از اطلاعاتی که برای مکان‌یابی سنسورهای رطوبت خاک به کار گرفته می‌شود، اندازه‌گیری‌های اولیه‌ی رطوبت خاک در قسمت‌های مختلف باغ در دوره‌های متفاوت است (Dursun & Ozden, 2017). در این تحقیق، اطلاعات اولیه‌ی رطوبت خاک وجود نداشت؛ بنابراین، برای آنکه بتوان تقریبی از وضعیت رطوبت در دسترس گیاه در قسمت‌های مختلف باغ در اختیار داشت، از برآوردهای بتخیر تعرق به‌عنوان معرف وضعیت رطوبت در دسترس گیاه استفاده شده است (Allen et al., 2011; Santos et al., 2012; Roy et al., 2014). در ادامه، نحوه‌ی محاسبه‌ی هر یک از این پارامترها ارائه شده است.

۳-۱-۱- نقشه‌ی تراکم پوشش گیاهی

شاخص‌های گیاهی طیفی، ترکیباتی از باندهای طیفی هستند که نشان‌دهنده‌ی فراوانی نسبی و فعالیت پوشش گیاهی سبز هستند. شاخص‌های گیاهی طیفی بدون بعد هستند و باعث کم‌تر شدن تأثیرات مربوط به اثرات پس‌زمینه و اتمسفر می‌شوند و نیز به کاهش ابعاد داده‌ها کمک می‌کنند. از این شاخص‌ها برای برآورد سلامت و میزان تراکم پوشش گیاهی استفاده می‌شود (Jensen, 2005).

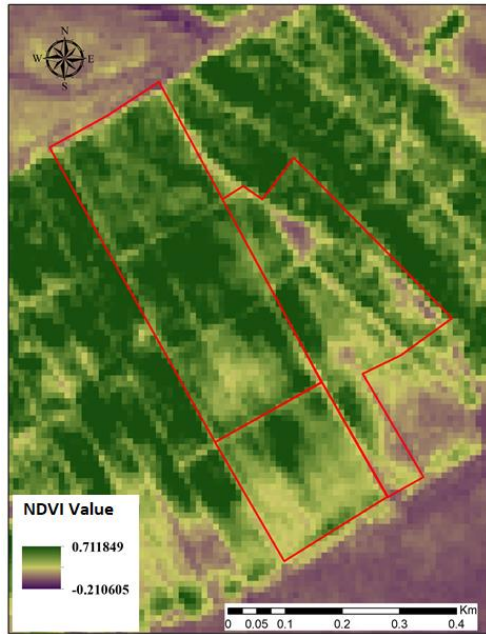
یکی از قدیمی‌ترین و پرکاربردترین شاخص‌های گیاهی، شاخص NDVI است که برای اندازه‌گیری میزان بیوماس سبز ارائه گردیده است. این شاخص، بر اساس برآورد میزان تابش فتوسنتزی جذب‌شده توسط پوشش گیاهی استوار است و میزان بازتابندگی در نواحی قرمز و مادون‌قرمز نزدیک را به پارامترهای گیاهی نظیر شاخص سطح برگ و مجموع میزان کلروفیل تاج پوشش مرتبط می‌کند (Gitelson et al, 1996) و از رابطه‌ی (۱) محاسبه می‌شود. مقدار این شاخص در محدوده‌ی $[-1, +1]$ متغیر است و برای پوشش گیاهی متراکم به‌سوی عدد ۱ میل می‌کند.

$$NDVI = \frac{R_{NIR} - R_{RED}}{R_{NIR} + R_{RED}} \quad \text{رابطه‌ی ۱}$$

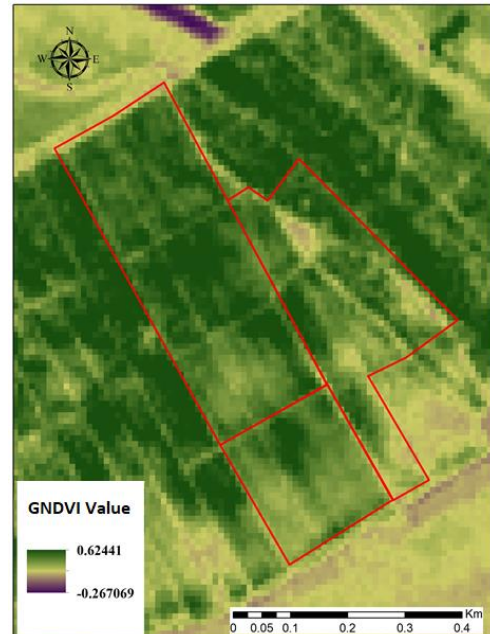
شاخص GNDVI در مقایسه با شاخص NDVI، حساسیت بالاتری در مناطق کم‌تراکم پوشش گیاهی دارد. در این شاخص، بازتابندگی باند طیفی سبز جایگزین بازتابندگی باند طیفی قرمز شده است و از رابطه‌ی (۲) محاسبه می‌شود (Bannari et al. 1995).

$$GNDVI = \frac{(R_{NIR} - R_{Green})}{(R_{NIR} + R_{Green})} \quad \text{رابطه‌ی ۲}$$

شکل‌های (۳) و (۴) به ترتیب نقشه‌های حاصل از شاخص GNDVI و NDVI را نشان می‌دهد.



شکل ۴: شاخص پوشش گیاهی NDVI منطقه‌ی مطالعاتی

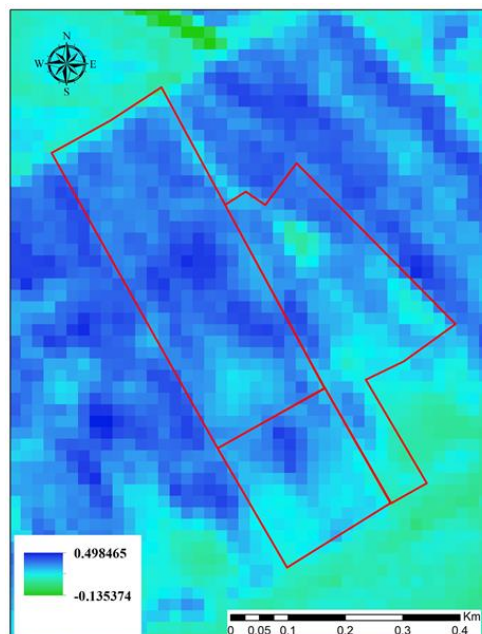


شکل ۳: شاخص پوشش گیاهی GNDVI منطقه‌ی مطالعاتی

علاوه بر ویژگی‌های پوشش گیاهی، تغییر محتوی رطوبت موجود در گیاه نیز می‌تواند در انتخاب مکان بهینه‌ی سنسورهای رطوبت خاک اطلاعات سودمندی را فراهم کند. به‌منظور ارزیابی تغییرات محتوی رطوبت گیاه، از شاخص NDWI استفاده شده است. شاخص NDWI به‌صورت رابطه‌ی (۳) محاسبه می‌شود (Gao., 1996).

$$NDWI = \frac{(R_{NIR} - R_{MIR})}{(R_{NIR} + R_{MIR})} \quad \text{رابطه‌ی ۳:}$$

شکل (۵) نقشه‌ی حاصل از محاسبه‌ی شاخص NDWI را نشان می‌دهد.



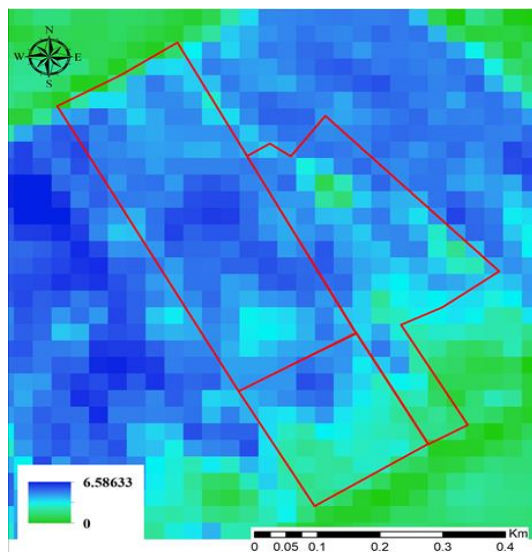
شکل ۵: شاخص NDWI منطقه‌ی مطالعاتی

۳-۱-۲- نقشه‌ی شبکه‌ی آبیاری

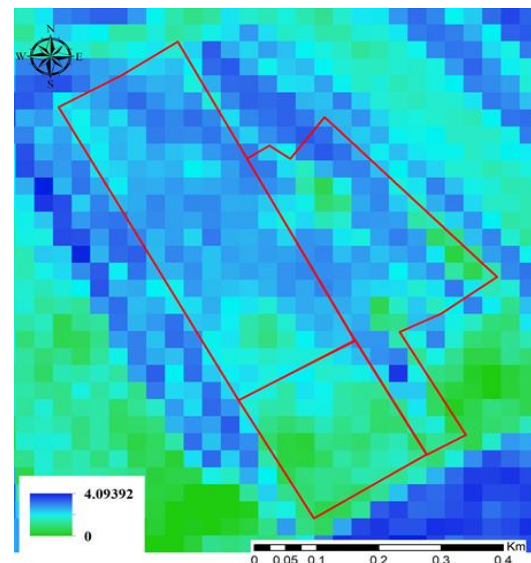
اطلاعات مربوط به شبکه‌ی آبیاری باغات موردتحقیق در بخش قبل ارائه شده است. نحوه‌ی اتصالات و افت فشار در طول مسیر می‌تواند سبب تغییر در میزان آب خروجی از هر نازل شود که در نتیجه‌ی آن، آب ورودی به قسمت‌های مختلف باغ یکسان نخواهد بود. برای در نظر گرفتن تغییرات آب ورودی به قسمت‌های مختلف باغ، نقشه‌ی وزن نسبی عملکرد شبکه‌ی آبیاری با در نظر گرفتن مقدار افت فشار در لوله‌های اصلی و فرعی تهیه شد. بدین منظور، ابتدا فاصله-ی اقلیدسی هر قسمت از باغ از هر یک از لوله‌های اصلی و فرعی مربوط به همان بخش محاسبه شد. سپس با در نظر گرفتن مقدار افت فشار هر یک از انواع لوله‌ها (انشعاب اصلی، میانی و فرعی)، به هر یک از انواع انشعاب‌ها وزن ویژه‌ی اختصاص یافت. در نهایت با تلفیق نقشه‌های حاصل از انواع انشعاب، نقشه‌های نهایی نوسانات شبکه‌ی آبیاری تهیه شد.

۳-۱-۳- نقشه‌ی تبخیر تعرق

برای در نظر گرفتن تغییرات طبیعی توزیع و مصرف آب در سطح باغ، مقادیر تبخیر تعرق واقعی باغ مربوط به دو زمان اوایل و حداکثر فصل رشد پیش از برداشت محصول در تاریخ‌های ۲۸ فروردین‌ماه و ۱۵ تیرماه محاسبه شد. تبخیر تعرق واقعی منطقه با استفاده از الگوریتم سیال (Bastiaanssen, 2000) و داده‌های ایستگاه هواشناسی فرودگاه امام خمینی در زمان گذر ماهواره محاسبه شده است. شکل‌های ۶ و ۷ نقشه‌های برآورد تبخیر تعرق واقعی را در باغات منطقه‌ی مورد مطالعه تحقیق نشان می‌دهد.



شکل ۷: برآورد تبخیر تعرق منطقه، ۱۵ تیر ۱۳۹۸



شکل ۶: برآورد تبخیر تعرق منطقه، ۲۸ فروردین ۱۳۹۸

۳-۲- خوشه‌بندی باغ و مکان‌یابی محل نصب سنسورها

۳-۲-۱- خوشه‌بندی باغ

ابتدا مناطق همگن باغ از طریق روش خوشه‌بندی و ترکیب لایه‌های مختلف مشخص شد. برای خوشه‌بندی اطلاعات از روش ISODATA استفاده شده است. سپس سنسورهای رطوبت خاک در این مناطق به نحوی جانمایی شد که حداکثر پوشش را در منطقه ایجاد نماید. تعداد سنسورهای هر خوشه متناسب با ابعاد خوشه و واریانس مقادیر آن تعیین شد.

۳-۲-۲- الگوریتم ژنتیک

الگوریتم ژنتیک به عنوان یک الگوریتم فرا ابتکاری بهینه‌سازی، با در نظر گرفتن مجموعه‌ای از نقاط فضای جواب در هر نسل به نحو مؤثری نواحی مختلف فضای جواب را جستجو می‌کند. در این الگوریتم، یک جواب مسئله یا کروموزوم به صورت رشته و مجموعه‌ای از مقادیر متغیرهای تصمیم (ژن) تعریف می‌شود. در روند اجرای الگوریتم ژن‌ها تغییر می‌کنند؛ به گونه‌ای که در اثر این تغییرات مقدار تابع هدف به سمت بهینه شدن میل می‌کند (Goldberg & Holland, 1988). جردن^{۱۵} و همکارانش از الگوریتم ژنتیک برای بهینه کردن میزان پوشش شبکه‌ی سنسورها و نیز طول عمر شبکه استفاده کردند (Jourdan & de Weck, 2004). متغیرهای ورودی الگوریتم ژنتیک، مختصات گره‌های سنسور است. در مرحله‌ی اول این الگوریتم، بردار متغیرها به تعداد جمعیت تعریف شده در الگوریتم ژنتیک به صورت تصادفی ایجاد می‌شوند. در هر تکرار، مختصات X و Y بین راه‌حل‌ها تلفیق می‌شوند و همچنین با یک نسبت خاص تعریف شده به صورت تصادفی جهش می‌یابند. بردار متغیری که بهترین مطلوبیت را دارد، به عنوان ورودی تکرار بعد در نظر گرفته می‌شود. شرط توقف در این الگوریتم، عدم تغییر پوشش شبکه در تکرارهای بعدی است (ارگانی و همکاران، ۱۳۹۷). پیکسل q توسط حسگر S با محدوده‌ی فاصله (Rs,0) پوشش داده می‌شود؛ بنابراین جهت قرار گرفتن در محدوده‌ی پوشش حسگر، باید پیکسل شرط زیر را داشته باشد:

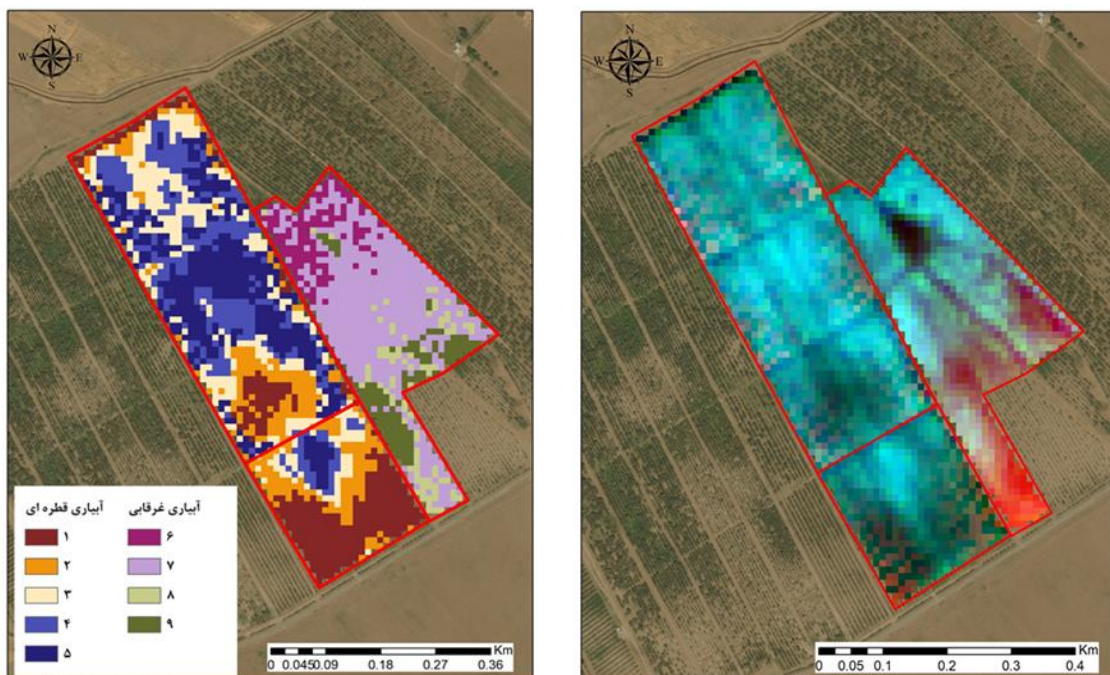
$$Distance(s, q) \leq R_s$$

با داشتن این شرط، مساحت کل ناحیه‌ای که حسگر آن را پوشش می‌دهد، بر اساس رابطه‌ی (۴) به دست می‌آید.
رابطه‌ی ۴: مساحت پیکسل * تعداد پیکسل‌های پوشش داده شده = مساحت

۴- بحث و نتایج

۴-۱- خوشه‌بندی باغ

کلیه‌ی لایه‌های اطلاعاتی با یکدیگر ترکیب شده و برای خوشه‌بندی باغ استفاده شده است. شکل (۸) به عنوان نمونه، ترکیب سه باندی شاخص پوشش گیاهی NDVI، وزن شبکه‌ی زهکشی و نقشه‌ی تبخیر تعرق را نشان می‌دهد. در این شکل، چند کلاس متفاوت در هر یک از بخش‌های آبیاری قطره‌ای و غرقابی از یکدیگر قابل تفکیک است. با طبقه‌بندی کلیه‌ی لایه‌های اطلاعاتی می‌توان به کلاس‌های متفاوت ویژگی در سطح باغ دست یافت. شکل (۹) نقشه‌ی طبقه‌بندی شده‌ی کلاس‌های مختلف باغ را نشان می‌دهد. لازم به ذکر است به دلیل ویژگی‌های متفاوت هر یک از باغات با سیستم‌های آبیاری متفاوت، این طبقه‌بندی برای هر یک از آن‌ها به صورت جداگانه انجام شده و نتایج نهایی با یکدیگر ترکیب شده است.



شکل ۹: نقشه‌ی خوشه‌بندی‌شده‌ی کلاس‌های مختلف باغ

شکل ۸: ترکیب سه بانده باندی شاخص پوشش گیاهی NDVI، وزن شبکه‌ی زهکشی و نقشه‌ی تبخیر تعرق

در بخش باغ با سیستم آبیاری غرقابی می‌توان ۴ کلاس مشهود را از یکدیگر تفکیک نمود. از این میان، کلاس ۸ سهم کمی از باغ را به خود اختصاص داده و در قسمت‌های مختلف باغ پراکنده است. این قسمت، منطبق با پوشش گیاهی کم و تبخیر تعرق پایین است. بیش‌ترین بخش از باغ غرقابی به کلاس ۷ اختصاص یافته است. این کلاس با ویژگی‌های پوشش گیاهی بالا و تبخیر تعرق متوسط مشخص می‌شود. پس‌از آن، کلاس‌های ۶ و ۹ قرار دارند که به ترتیب بر کلاس‌های پوشش گیاهی متوسط، تبخیر تعرق بالا و کلاس پوشش گیاهی کم و تبخیر تعرق بالا منطبق بوده‌اند.

در بخش دارای سیستم آبیاری قطره‌ای در باغ ۵، کلاس متفاوت از نظر ویژگی‌های رطوبت و پوشش گیاهی در سطح باغ قابل تفکیک است که به ترتیب معرف شرایط پوشش گیاهی متوسط-تبخیر تعرق کم، پوشش گیاهی کم-تراکم-تبخیر تعرق متوسط تا کم، پوشش گیاهی متوسط-تبخیر تعرق متوسط، پوشش گیاهی متراکم-تبخیر تعرق متوسط و پوشش گیاهی متراکم-تبخیر تعرق بالا می‌باشند.

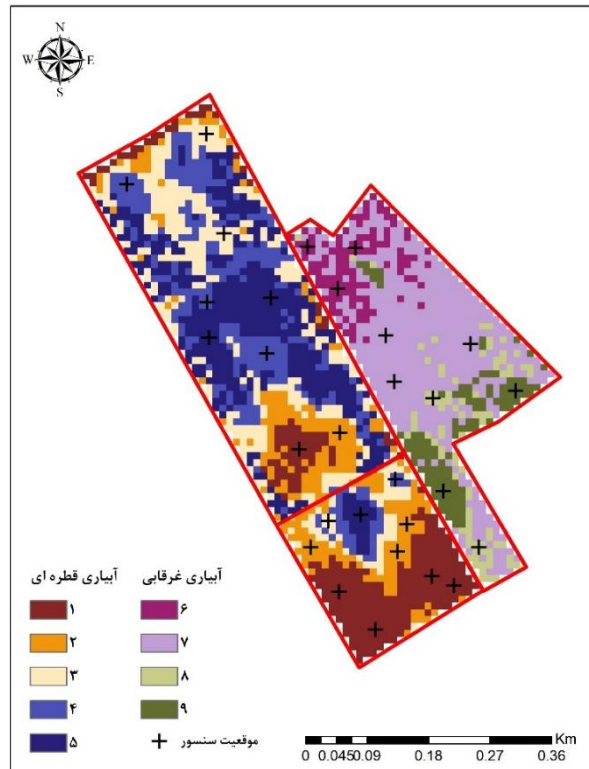
پس از آن کلاس‌های متفاوت رطوبتی در سطح باغ، در هر یک از این کلاس‌ها با استفاده از بهینه‌سازی الگوریتم ژنتیک، محل مناسب سنسورها به نحوی انتخاب شده است که حداکثر پوشش را در سطح هر کلاس ایجاد کند.

۴-۲- مکان‌یابی محل نصب سنسورها

از الگوریتم بهینه‌سازی ژنتیک برای مکان‌یابی سنسورها استفاده شده است. پوشش شبکه به‌عنوان تابع هدف مسئله در نظر گرفته شده است و هدف، رسیدن به حداکثر پوشش سنسورهاست و با توجه به درصد پوشش، تمامی سنسورهای منطقه به دست می‌آید.

تعداد سنسورهای شبکه که به‌عنوان یکی از پارامترهای مسئله‌ی جایابی شبکه‌های سنسور بی‌سیم است، برابر با ۳۰ در نظر گرفته شده‌اند. فاصله‌ی عملکرد سنسورها ثابت و برابر با ۳ متر است. مدل سنسورها به‌صورت همه‌جهتی پیاده‌سازی شد و موقعیت حسگرها به‌عنوان پارامترهای متغیر در نظر گرفته شد.

عملگر انتخاب تورنمت برای انتخاب راه حل نخبه در این الگوریتم در نظر گرفته شد. در این الگوریتم، نرخ تلفیق که به منظور تعیین درصدی از جمعیت فعلی به عنوان والدین برای تولید نسل جدید به کار برده می شود، برابر با ۶۰ در نظر گرفته شد و نرخ جهش برابر با ۰.۴٪ در نظر گرفته شد. شرط توقف نیز در ۱۰۰ تکرار در نظر گرفته شد. شکل (۱۰) موقعیت نهایی سنسورهای اندازه گیری رطوبت خاک را نشان داده است.



شکل ۱۰: موقعیت نهایی سنسورهای اندازه گیری رطوبت

هنگام مکان یابی سنسورهای اندازه گیری پارامترهای محیطی در سطح مزارع، مسئله اصلی، در نظر گرفتن تمام تغییرات موجود در سطح زمین زراعی و جانمایی سنسورها به نحوی است که حداقل یک سنسور بتواند معرف یکی از این کلاس های تغییرات باشد. از طرفی، اولویتی برای تعیین مکان سنسورها وجود ندارد؛ بنابراین استفاده از روش های مرسوم مکان یابی که به وزن دهی اولویت ها می پردازند، در این زمینه نیاز به بهبود دارد. در این تحقیق با تلفیق روش های خوشه بندی و الگوریتم ژنتیک، مکان های مناسب نصب سنسورها مشخص گردید.

نتایج تحقیق نشان داده است منطقه ای مورد مطالعه از ۹ کلاس متفاوت پوشش گیاهی و رطوبت برخوردار است و به ازای هر کلاس، حداقل نیاز به یک سنسور اندازه گیری رطوبت خاک وجود دارد. به علاوه، با توجه به وجود کلاس های مختلف رطوبت خاک و پوشش گیاهی، رفتار یکسان با این مناطق، مشابه آنچه در روش های آبیاری سنتی انجام می شود، مناسب نیست. نتایج مشاهدات میدانی، صحت خوشه بندی انجام شده توسط اطلاعات حاصل از تصاویر ماهواره ای و شبکه ای زهکشی را تأیید کرده است.

یافته های تحقیق نشان داده است در شرایطی که داده های اولیه از منطقه ای زراعی موجود نیست، می توان از طریق پردازش تصاویر ماهواره ای به اطلاعات مناسبی برای تعیین مکان سنسورها دست یافت. نتایج به دست آمده نشان می دهد استفاده از برآورد تبخیر تفرق واقعی می تواند تقریب مناسبی از مقدار آب در دسترس گیاه فراهم آورد. همچنین یافته های تحقیق مؤید آن است که از طریق تلفیق روش های خوشه بندی و حداکثر پوشش مکانی می توان به توزیع بهینه ای سنسورها در سطح باغ دست یافت که از طریق روش های متداول امکان پذیر نبوده است. این یافته ها

نشان می‌دهد به‌کارگیری سنجش‌ازدور برای فراهم آوردن اطلاعات موردنیاز و روش‌های یادگیری ماشین جهت پردازش اطلاعات در فرآیند کشاورزی می‌تواند به مدیریت هوشمند و آگاهانه‌ی مزارع کمک قابل‌توجهی نماید.

۵- نتیجه‌گیری

عوامل مختلفی در مکان‌یابی سنسورهای اندازه‌گیری رطوبت خاک نقش دارند. بررسی و تحلیل همه‌ی این ابعاد با روش‌های سنتی امکان‌پذیر نیست. علاوه بر این، بی‌توجهی به این عوامل موجب هدر رفتن منابع مادی هزینه‌ی نصب و راه‌اندازی سنسورها و نیز از دست رفتن حجم زیادی از اطلاعات موردنیاز از سطح باغ می‌شود. استفاده از فن‌آوری اطلاعات به‌خصوص سیستم اطلاعات مکانی برای تحلیل داده‌های مکانی و تلفیق اطلاعات ضروری است. در این تحقیق، سنسورهای اندازه‌گیری رطوبت خاک در سطح باغات پایلوت جانمایی شده‌اند. برای این کار معیارهای پراهمیتی نظیر تراکم پوشش گیاهی، وضعیت شبکه‌ی آبیاری و وضعیت رطوبت در دسترس گیاه در قسمت‌های مختلف باغ در نظر گرفته شدند. از آنجایی‌که این اطلاعات به‌صورت اولیه در سطح مزارع و باغات کشور موجود نیست، داده‌های موردنیاز برای مکان‌یابی سنسورها از طریق پردازش تصاویر ماهواره‌ای تهیه گردید و با استفاده از الگوریتم ژنتیک، مکان بهینه‌ی جانمایی سنسورها تعیین شد. نتایج تحقیق نشان داده است که به‌کارگیری سنجش‌ازدور و سیستم اطلاعات جغرافیایی در فرآیند کشاورزی می‌تواند به مدیریت هوشمند و آگاهانه‌ی مزارع کمک قابل‌توجهی نماید.

۶- منابع

۱. احسانی، مهرزاد، خالدی هومن (۱۳۸۲). بهره‌وری آب کشاورزی، تهران: کمیته‌ی ملی آبیاری و زهکشی ایران، وزارت نیرو.
۲. ارگانی، میثم، کریمی‌پور، فرید، مافی، فاطمه (۱۳۹۷). بهینه‌سازی جایابی شبکه‌های سنسور بی‌سیم با استفاده از الگوریتم‌های بهینه‌سازی سراسری و مدل سنجش احتمالی، فصلنامه‌ی سپهر، دوره‌ی ۲۷، شماره‌ی ۱۰۵، صص ۲۱-۵.
۳. باقری، مهرداد، معززی، فاطمه (۱۳۹۲). بررسی اثرات جانبی برداشت بی‌رویه‌ی آب‌های زیرزمینی بر بازار پسته‌ی ایران، تحقیقات اقتصاد کشاورزی، جلد ۵، شماره‌ی ۴، صص ۱۸۴-۱۶۱.
۴. ببران، صدیقه، هنربخش، نازلی (۱۳۸۷). بحران وضعیت آب در ایران و جهان. فصلنامه‌ی راهبرد، سال شانزدهم، شماره‌ی ۴۸، صص ۲۱۲-۱۹۳.
۵. پاکروان، محمدرضا، مهرابی بشرآبادی، حسین، گیلابیور، امید، فرناز، اسماعیلی (۱۳۹۰). بررسی وضعیت صادراتی پسته‌ی ایران با رویکرد مزیت نسبی و نقشه‌ریزی تجاری، اقتصادی کشاورزی و توسعه، سال نوزدهم، شماره‌ی ۷۶، صص ۲۶-۱.
۶. خواجه‌الدین، سیدجمال‌الدین (۱۳۸۶). روند بیابان‌زایی در ایران، فصلنامه‌ی جنگل و مرتع، شماره‌ی ۷۴، صص ۴۵-۴۲.
۷. عبدالله‌ی عزت‌آبادی، محمد، جوان، شاه‌امان‌اله (۱۳۸۶). بررسی اقتصادی امکان استفاده از روش‌های نوین عرضه و تقاضای آب در بخش کشاورزی (مطالعه‌ی موردی: مناطق پسته‌کاری شهرستان رفسنجان)، پژوهش و سازندگی، دوره‌ی ۲۰، شماره‌ی ۲، صص ۱۲۶-۱۱۳.
۸. کمیته‌ی فنی پسته (۱۳۹۸). گزارش فنی مطالعات خاکشناسی، کمیته‌ی فنی پسته.
۹. محمودی، ابوالفضل، جلالی، سحر (۱۳۹۵). رقابت‌پذیری صادراتی پسته‌ی ایران در بازارهای جهانی، تحقیقات اقتصادی، دوره‌ی ۵۱، شماره‌ی ۴، صص ۹۷۶-۹۵۱.
10. Allen, R.G., Pereira, L.S., Howell, T.A., Jensen, M.E.; Evapotranspiration information reporting: I. Factors governing measurement accuracy. *Agric. Water Manag.*, 2011.
11. Bannari, A., Morin, D., Bonn, F., & Huete, A. R. (1995). A review of vegetation indices. *Remote sensing reviews*, 13(1-2), 95-120.
12. Bastiaanssen, W.G.M.; SEBAL-based Sensible and Latent Heat Fluxes in the Irrigated Gediz Basin, Turkey. *Journal of Hydrology*, 2000, 229, 87-100.
13. Dursun, M., & Özden, S. (2017). Optimization of soil moisture sensor placement for a PV-powered drip irrigation system using a genetic algorithm and artificial neural network. *Electrical Engineering*, 99(1), 407-419.

14. Gao, B. C. (1996). NDWI—A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space. *Remote sensing of environment*, 58(3), 257-266.
15. Gitelson, A. A., Kaufman, Y. J., & Merzlyak, M. N. (1996). Use of a green channel in remote sensing of global vegetation from EOS-MODIS. *Remote sensing of Environment*, 58(3), 289-298.
16. Goldberg, D. E., and Holland, J. H. (1988). "Genetic algorithms and machine learning." *Machine learning*. Vol.3, No.2, PP.95-99.
17. Jensen, J. R. (2005). *Digital image processing: a remote sensing perspective*. Upper Saddle River, NJ: sPrentice Hall.
18. Jourdan, D. B., & de Weck, O. L. (2004, May). Layout optimization for a wireless sensor network using a multi-objective genetic algorithm. In 2004 IEEE 59th Vehicular Technology Conference. VTC 2004-Spring (IEEE Cat. No. 04CH37514) (Vol. 5, pp. 2466-2470). IEEE.
19. Roy, D.P., Wulder, M.A., Loveland, T.R., Woodcock, C.E., Allen, R.G., Anderson, M.C., et al.; Landsat-8: Science and Product Vision for Terrestrial Global Change Research. *Remote Sensing of Environment*, 2014, 145, 154-172.
20. Santos, C., Lorite, I.J., Allen, R.G., and Tasumi, M.; Aerodynamic Parameterization of the Satellite-Based Energy Balance (METRIC) Model for ET Estimation in Rain fed Olive Orchards of Andalusia, Spain. *Water Resources Management*, 2012, 26, 3267-3283.
21. Shafi, U., Mumtaz, R., García-Nieto, J., Hassan, S. A., Zaidi, S. A. R., & Iqbal, N. (2019). Precision Agriculture Techniques and Practices: From Considerations to Applications. *Sensors*, 19(17), 3796.
22. Shen, X., Liang, J., Zeleke, K. T., Liang, Y., Wang, G., Duan, A., ... & Zhang, J. (2018). Optimizing the positioning of soil moisture monitoring sensors in winter wheat fields. *Water*, 10(12), 1707.
23. Wu, X., Liu, M., & Wu, Y. (2012). In-situ soil moisture sensing: Optimal sensor placement and field estimation. *ACM Transactions on Sensor Networks (TOSN)*, 8(4), 1-30.
24. Zheng, Z., Saghaian, S., & Reed, M. (2012). Factors Affecting the Export Demand for U. S. Pistachios, *International Food and Agribusiness Management Review*, 15 (3): 99-115.
25. Zotarelli, L., Dukes, M. D., & Paranhos, M. (2013). Minimum number of soil moisture sensors for monitoring and irrigation purposes. This document is HS1222, one of a series of the Horticultural Sciences Department, UF/IFAS Extension. Original publication date July.