دوازدهمین همایش کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران

مدیریت آبیاری در ایران، چالش‌ها و چشم‌اندازها

چهارشنبه و پنج‌شنبه
۵ و ۶ اسفند ماه ۱۳۸۸

عنوان مقاله:

بکارگیری فن‌آوری سنجش از دور در پایش و ارزیابی شبکه‌های آبیاری و زهکشی در حال بهره‌برداری

نویسندگان:

الناز نوروزی اقدم[۱]، وحید کرمی[۲]

چکیده

استفاده بهینه از منابع آبی و یافتن راه‌حل‌های ممکن برای کاهش و پیش‌بینی مشکلات مربوط به مدیریت این عنصر حیاتی همواره از اهداف توسعه صحیح و اصولی کشاورزی بوده است. امروزه با پیشرفت روزافزون علم و به دلیل پرهزینه و وقت‌گیر بودن اندازه‌گیری‌های میدانی، جایگزینی فن‌آوری‌های جدید برای مدیریت صحیح منابع محدود آب و خاک ضروری می‌باشد. سنجنده‌های ماهواره‌ای با تصویربرداری مکرر، مطالعات را در سطح وسیع فراهم کرده و حجم بالایی از اطلاعات را با سرعت زیاد و صرف وقت و هزینه کم ارائه می‌دهند و به عنوان ابزاری مناسب در ارزیابی، نظارت، کنترل و مدیریت منابع آب و خاک بکار گرفته می‌شوند. در این مقاله با توجه به اهمیت غیرقابل انکار رطوبت خاک در مطالعات کشاورزی از یک سو و ارتباط نزدیک این پارامتر و پوشش گیاهی از سوی دیگر، اقدام به ارائه مدلی جهت ارزیابی عملکرد شبکه‌های بزرگ آبیاری در حال بهره‌برداری به منظور افزایش بهره‌وری مصرف آب گردیده است. این تحقیق رابطه رطوبت خاک به دست آمده از اندازه‌گیری‌های میدانی و NDVIهای تأخیری و همزمان حاصل از تصاویر سنجنده MODIS را با بهره‌گیری از داده‌های روزانه هواشناسی، توسط رگرسیون‌های چند متغیره خطی مورد مطالعه قرار داده است. به دلیل پاسخ تأخیری گیاه به بارندگی، NDVI عکس العمل تأخیرداری نسبت به رطوبت خاک دارد. با توجه به عدم اطلاع کافی از زمان تأخیر و چگونگی تأثیر پارامترهای هواشناسی در مدل‌ها و کاربردی‌تر بودن مدل همزمان نسبت به مدل‌های تأخیری، از NDVI همزمان برای به دست آوردن نقشه‌های رطوبت خاک

۱ شرکت مهندسی مشاور مهاب قدس، رایانامه: norouzi@mahabghodss.com، تلفن: ۰۹۱۴۴۲۳۴۸۸۹

۲- شرکت مهندسی مشاور مهاب قدس، رایانامه: karami_v@mahabghodss.com، تلفن: ۰۹۱۲۲۰۹۳۳۹۳

استفاده شده است. مدل نهایی با استفاده از نقشه‌های پوشش گیاهی و رطوبتی حاصل از NDVI تصاویر سنجنده MODIS، برنامه آبیاری و الگوی کشت متداول گیاهان شبکه مورد نظر و داده‌های روزانه هواشناسی در سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)، برنامه‌ریزی آبیاری شبکه را مورد ارزیابی قرار داده و مقادیر کمبود آبیاری و یا تلفات آب ناشی از عدم آبیاری به موقع محصولات را تعیین می‌نماید. نتایج این تحقیق نشان داد که تلفیق اطلاعات حاصل از سنجنده‌های ماهواره‌ای و اطلاعات واقعی شبکه‌های آبیاری و زهکشی در سامانه اطلاعات جغرافیایی، می‌تواند برای ارزیابی بهره‌برداری از شبکه و تعیین مناسب‌ترین زمان آبیاری مورد استفاده قرار گیرد. با توجه به نتایج به دست آمده، این مدل در سیستم‌های تصمیم‌گیری شبکه‌های وسیع آبیاری و زهکشی می‌تواند علاوه بر تخمین بهترین زمان آبیاری محصولات و بررسی کیفیت برنامه‌های پیشین آبیاری شبکه، برنامه‌ریزی آبیاری سال زراعی آینده را با حداقل تلفات آب و کمترین تنش آبی، به هنگام نموده و به نحو مطلوبی ارائه نماید. به طور کلی نتایج حاصل از این تحقیق، استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و سیستم اطلاعات جغرافیایی را به منظور بهنگام نمودن اطلاعات شبکه‌های آبیاری و زهکشی وسیع و در حال بهره‌برداری بعنوان یک ابزار نوین توصیه می‌نماید.

واژه‌های کلیدی: سنجنده‌های ماهواره‌ای، رطوبت خاک، برنامه‌ریزی آبیاری، NDVI، MODIS، GIS

۱ـ مقدمه

رطوبت، یکی از پارامترهای بنیادی خاک است که در مطالعات و مدیریت منابع آب و خاک کاربرد زیادی دارد. این متغیر از نوع متغیرهای زمانی و مکانی و یکی از اجزاء مهم مدل‌های آب و هوایی، اکولوژی و هیدرولوژی است (بای‌بوردی، ۱۳۷۲؛ بداق جمالی و همکاران، ۱۳۷۷؛ ویگنرون[1] و همکاران، ۱۹۹۸). علی‌رغم اهمیت غیر قابل انکار رطوبت خاک در مطالعات محیطی، به دلیل پرهزینه و وقت‌گیر بودن اندازه‌گیری‌های میدانی، از این پارامتر تاکنون به طور گسترده در مدل‌های اقلیمی استفاده نشده است. امروزه استفاده از اطلاعات سیستم‌های سنجش از دور ماهواره‌ای با توجه به ویژگی‌های منحصر بفرد آن از قبیل دید وسیع و یکپارچه، پوشش‌های تکراری، سرعت انتقال اطلاعات و امکان بکارگیری سخت افزارها و نرم افزارهای ویژه، با استقبال زیادی روبرو شده است، و به عنوان ابزاری مناسب در ارزیابی، نظارت، کنترل و مدیریت منابع آب و خاک، جنگل‌ها، مراتع، کشاورزی و محیط زیست بکار گرفته شده و به مرور بر دامنه وسعت کاربری آن افزوده گردیده است. این قابلیت، همان‌طور که مطالعات سه دهه اخیر نشان داده است، تصاویر ماهواره‌ای را برای پایش رطوبت خاک کارا می‌سازد.

محققان از اوایل دهه ۱۹۸۰ شروع به استخراج اطلاعات از پوشش گیاهی زمین توسط سنجنده AVHRR[2] ماهواره نوآ نمودند (توکر[3]، ۱۹۹۶)، بدین منظور شاخص اختلاف پوشش گیاهی نرمال شده[4] (NDVI) به صورت گسترده برای پایش و ارزیابی پوشش گیاهی روی زمین استفاده شد. به دلیل ارتباط نزدیک بین

1- Wigneron
2- Advanced Very High Resolution Radiometer
3- Tucker
4- Normalized difference vegetation index

وضعیت پوشش گیاهی و رطوبت در دسترس خاک (سندهولت[1] و همکاران، ۲۰۰۲) این شاخص برای بررسی رطوبت خاک مورد توجه بیشتری بوده است (وانگ[2]، ۲۰۰۵).

هدف از این تحقیق استفاده از تصاویر آرشیو سنجنده MODIS[3] برای تهیه نقشه‌های پوشش گیاهی و رطوبت خاک میباشد. با تلفیق این نقشه‌ها با داده‌های برنامه آبیاری و الگوی کشت متداول گیاهان شبکه، پارامترهای اقلیمی و هواشناسی و نقشه کاربری اراضی در سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)، می‌توان مشکلات آبیاری اراضی تحت پوشش شبکه‌های وسیع آبیاری و زهکشی را شناسایی نموده و عملکرد آن‌ها را مورد ارزیابی قرار داد.

۲ـ مواد و روش‌ها

۲-۱- داده‌های میدانی رطوبت خاک

ارزیابی دقت داده‌های برآورد شده از تصاویر، با استفاده از داده‌های مرجع در مراحل مختلف صورت می‌گیرد. به منظور تعیین دقیق رطوبت خاک، از بهترین و مطمئن‌ترین روش که اندازه‌گیری رطوبت خاک به روش وزنی- حرارتی می‌باشد، استفاده شد. در این تحقیق، از اندازه‌گیری‌های رطوبت لایه سطحی خاک که همزمان با گذر ماهواره تهیه شده‌اند، به عنوان داده‌های مرجع استفاده شد.

۲-۲- NDVI حاصل از تصاویر سنجنده مودیس

شاخص اختلاف پوشش گیاهی نرمال شده (NDVI) متداول‌ترین شاخص پوشش گیاهی است که از تقسیم اختلاف مقادیر باندهای قرمز (Red) و مادون قرمز نزدیک (NIR) بر مجموع آن‌ها به دست می‌آید (Rouse et al., 1973):

$$NDVI = (NIR-Red)/(NIR+Red) \quad (1)$$

۲-۳- آماده سازی و پیش پردازش تصاویر

پیش از استفاده از تصاویر ماهواره‌ای باید تصحیحات رادیومتری، هندسی و اتمسفری بر روی آن‌ها انجام شود. در این تحقیق، تصحیحات رادیومتری بر اساس معادلات و ضرایب توصیه شده در سایت مودیس و تصحیحات هندسی با استفاده از پارامترهای مداری ماهواره و خطوط ساحلی دریای خزر و حذف اثرات اتمسفری بر روی تصاویر با روش پیکسل‌های تیره[4] و با استفاده از نقشه عمق‌سنجی دریای خزر انجام گرفت.

1- Sandholt
2- Wang
3- Moderate Resolution Imaging Spectrometer
4- Dark pixel

۲-۴- روش تحقیق

پس از آماده سازی و پیش پردازش تصاویر سنجنده مودیس، با استفاده از رابطه (۱) و امکان مدل‌نویسی نرم‌افزار Erdas Imagine، شاخص NDVI برای تک تک پیکسل‌ها محاسبه و در نهایت تصویر NDVI از کلیه تصاویر مبنا استخراج شد. شاخص اختلاف پوشش گیاهی نرمال شده توسط توکر در سال ۱۹۷۹ بر مبنای رفتار گیاه در انعکاس طیف الکترومغناطیس خورشیدی در محدوده مرئی و مادون قرمز نزدیک به عنوان شاخص سلامت و تراکم پوشش گیاهی پیشنهاد شد. پوشش گیاهی سالم و سبز، اشعه خورشیدی خیلی کمتری را در محدوده مرئی در مقایسه با مقدار آن در باند مادون قرمز نزدیک منعکس می‌کند. از نظر تئوریکی مقدار این شاخص در محدوده ۱- تا ۱+ متغیر است. پوشش گیاهی متراکم و سالم مقدار NDVI را ۱ نشان می‌دهد، در مقابل، ابرها، آب و برف بازتاب مرئی بیشتری از مادون قرمز نزدیک دارند و NDVI را منفی نشان می‌دهند. سنگ‌ها و خاک بایر که واکنش‌های طیفی مشابهی در دو باند مورد نظر دارند می‌توانند مقادیر کوچک مثبت یا منفی نزدیک به صفر داشته باشند. به دلیل این ویژگی‌ها NDVI به یک ابزار اولیه برای نقشه کردن تغییرات پوشش گیاهی و تحلیل آثار پدیده‌های محیطی تبدیل شده است. در این تحقیق نیز از این شاخص برای تهیه و استخراج نقشه پوشش گیاهی استفاده شده است.

شاخص NDVI نه تنها می‌تواند برای توضیح طبقه‌بندی پوشش گیاهی و فنولوژی گیاه به کار رود (ترپلی[1] و همکاران،۱۹۸۴؛ توکر و همکاران، ۱۹۸۵)، بلکه برای پایش مواردی مانند شرایط بارندگی، خشکسالی‌ها، تخمین محصول خالص اولیه، شرایط رطوبتی خاک، شرایط رشد محصول و مقدار آن کاربرد دارد (دبروسکا-زیلینسکا[2] و همکاران، ۲۰۰۲). از این رو و به دلیل ارتباط نزدیک NDVI با رطوبت لایه سطحی خاک، با کمک گرفتن از برخی داده‌های روزانه هواشناسی (سرعت باد، دمای هوا، بارندگی و تبخیر) مدل‌های تخمین رطوبت خاک تولید، و نقشه رطوبتی خاک استخراج گردید.

به منظور ارزیابی عملکرد شبکه‌های آبیاری و زهکشی در حال بهره‌برداری، می‌توان نقشه‌های پوشش گیاهی، رطوبت خاک، بافت خاک، کاربری اراضی و همچنین تقویم آبیاری را به صورت لایه‌های مجزا وارد سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) نموده و مورد ارزیابی قرار داد. با استفاده از پروفیل زمانی رطوبت خاک (حاصل از نقشه‌های رطوبت خاک) و با توجه به نوع خاک، نقشه کاربری اراضی و نوع محصولات، می‌توان در دسترس بودن آب برای رشد بهینه محصولات را تعیین نمود. این نمودار هم چنین مناسب‌ترین زمان آبیاری را برای محصولات مختلف نشان می‌دهد. با توجه به اینکه تقویم آبیاری سال زراعی پیشین، نشان دهنده زمان‌های واقعی آبیاری محصولات است، با مقایسه زمان‌های واقعی آبیاری با مناسب‌ترین زمان آبیاری (به دست آمده از نقشه‌های رطوبت خاک) می‌توان به مشکلات شبکه آبیاری در سال زراعی پیشین پی برد و دلایل و مقادیرکاهش راندمان، کاهش محصول وکاهش عملکرد حاصل از عدم آبیاری به موقع محصولات را مورد ارزیابی قرار داد.

با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای دریافت شده در کشور می‌توان نقشه‌های رطوبت لایه سطحی خاک (۱۰-۰ سانتیمتر) را با دقت خوبی تهیه نمود، ولی برای تهیه نقشه‌های رطوبتی اراضی کشاورزی، که در آنها نیاز به

1- Tarpley
2- Dabrowska-Zielinska

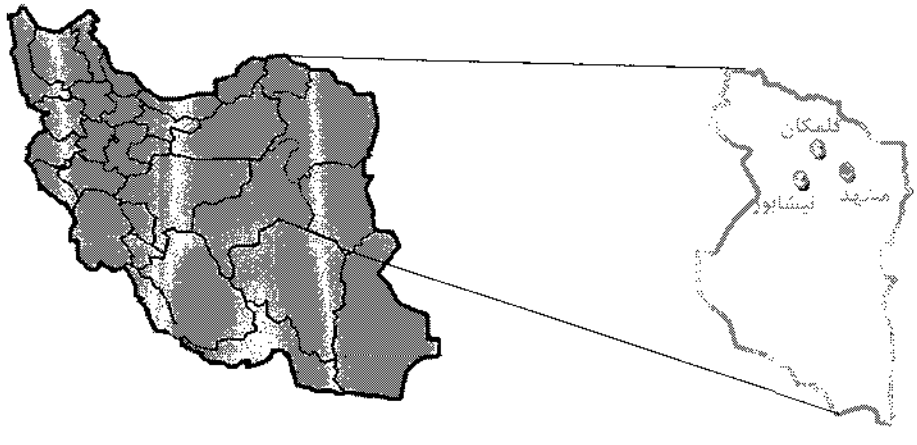
اطلاعات رطوبت در اعماق بیشتر خاک- عمق توسعه ریشه- می‌باشد، استفاده از تصاویر حاصل از سنجنده‌هایی چون رادار مناسب خواهد بود.

به دلیل در دسترس نبودن اطلاعات مورد نیاز این تحقیق از شبکه‌های آبیاری و زهکشی در حال بهره‌برداری، در این بخش از مقاله برای روشن شدن موضوع، نمونه‌ای از روند ذکر شده در اراضی مرتعی و توسط نقشه‌های رطوبتی و پوشش گیاهی حاصل از تصاویر سنجنده مودیس مورد ملاحظه قرار گرفته است:

۳ـ مطالعه موردی- تهیه نقشه پوشش گیاهی و رطوبت خاک سطحی توسط تصاویر سنجنده مودیس

۳-۱- منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه بخشی از مراتع استان خراسان است. استان خراسان در شمال شرقی کشور بین ۵۵ درجه و ۱۷ دقیقه تا ۶۱ درجه و ۱۵ دقیقه طول شرقی و ۳۰ درجه و ۲۴ دقیقه تا ۳۸ درجه و ۱۷ دقیقه عرض شمالی قرار دارد. شکل (۱) موقعیت منطقه مورد مطالعه در بخش شمال شرقی کشور را نشان می‌دهد.



شکل (۱): موقعیت منطقه مورد مطالعه

منطقه دارای اقلیم خشک و نیمه‌خشک، بافت خاک سنگین، عمیق، با ظرفیت نگهداشت بالای آب و با شیب کم می‌باشد که در سطح وسیع از یکنواختی خوبی برخوردار است. محدوده مطالعاتی در مجاورت ایستگاه هواشناسی و مرکز تحقیقات کشاورزی قرار دارد که انجام عملیات میدانی را با دقت بیشتری ممکن می‌سازد. دلیل اصلی انتخاب این منطقه وجود گیاهان افمرال[1] با دوره رشد کوتاه و ریشه‌های سطحی است که رشد

1- Ephemeral

آن‌ها منحصراً وابسته به بارندگی است. این نوع پوشش گیاهی امکان استفاده از تصاویر سنجنده مودیس را برای تهیه نقشه‌های رطوبتی خاک با دقت بیشتری فراهم می‌نماید.

۳-۲- منابع داده‌ها

مقادیر واقعی رطوبت لایه سطحی خاک، شاخص NDVI حاصل از تصاویر سنجنده مودیس و پارامترهای هواشناسی، امکان تجزیه و تحلیل داده‌ها را به منظور دستیابی به مدل‌های برآورد رطوبت لایه سطحی خاک (SMC) با کمک رگرسیون‌های ساده و چند متغیره خطی فراهم نمودند. ۷۵ درصد از داده‌ها برای تدوین مدل و ۲۵ درصد از آن‌ها برای ارزیابی مدل‌های به دست آمده، استفاده شد.

الف- رطوبت خاک

داده‌های رطوبت لایه سطحی خاک (۱۰-۰ سانتی‌متر) سه ایستگاه مشهد، گلمکان و نیشابور در سه سال آماری ۲۰۰۳، ۲۰۰۴ و ۲۰۰۵، که تقریباً هر ۵ روز یکبار به روش وزنی- حرارتی اندازه‌گیری شده و در بخش آمار و اطلاعات سازمان هواشناسی استان خراسان موجود بود، به عنوان داده‌های مرجع در این تحقیق استفاده شد.

ب- شاخص پوشش گیاهی تفاضلی نرمال شده (NDVI)

سنجنده مودیس، به دلیل سابقه استفاده از آن در مطالعات پیش‌بینی رطوبت خاک، لحاظ نمودن ابعاد اقتصادی، در دسترس بودن تصاویر برای محدوده مطالعاتی و قدرت تفکیک مکانی، رادیومتری و طیفی بالا، برای انجام این تحقیق مناسب تشخیص داده شد.

تصاویر سنجنده مودیس ماهواره ترا با قدرت تفکیک مکانی ۲۵۰ متر برای روزهایی که اندازه‌گیری‌های میدانی رطوبت خاک موجود بود، تهیه گردید. با توجه به دوره رویش حداکثر پوشش گیاهی در منطقه مورد مطالعه، دوره ۵ ماهه از فروردین تا مرداد برای بررسی انتخاب شد. این انتخاب در کاهش حجم عملیات و افزایش دقت، تأثیر بسزایی داشت.

شاخص NDVI برای تمامی پیکسل‌های تصویر با توجه به رابطه (۱) محاسبه شد. برای افزایش دقت برآورد، از مقادیر میانگین ۹ پیکسل تصویر (پنجره ۳×۳ که ایستگاه مورد نظر در مرکز این پنجره قرار دارد) استفاده گردید و نقشه پوشش گیاهی تهیه شد.

ج- داده‌های هواشناسی

برای تخمین دقیق‌تر رطوبت لایه سطحی خاک، علاوه بر NDVI از برخی داده‌های روزانه هواشناسی (تهیه شده از مرکز آمار و اطلاعات سازمان هواشناسی کشور) شامل سرعت باد، دمای هوا، بارندگی و تبخیر نیز استفاده شد.

۳-۳- نتایج

آزمون‌های همبستگی به منظور تعیین ارتباط شاخص پوشش گیاهی تفاضلی نرمال شده (NDVI) با داده‌های مشاهده شده رطوبت خاک (Observed SM) در شرایط متفاوت (NDVIهای تأخیری ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰ و ۲۵ روزه نسبت به رطوبت لایه سطحی خاک)، بین آن‌ها انجام شد. نتایج و خصوصیات آماری مدل‌های برازش داده شده را می‌توان در جدول (۱) مشاهده نمود.

جدول (۱): مدل های برآورد رطوبت خاک با استفاده از NDVI و ضرایب مربوط به آزمون رگرسیون خطی ساده

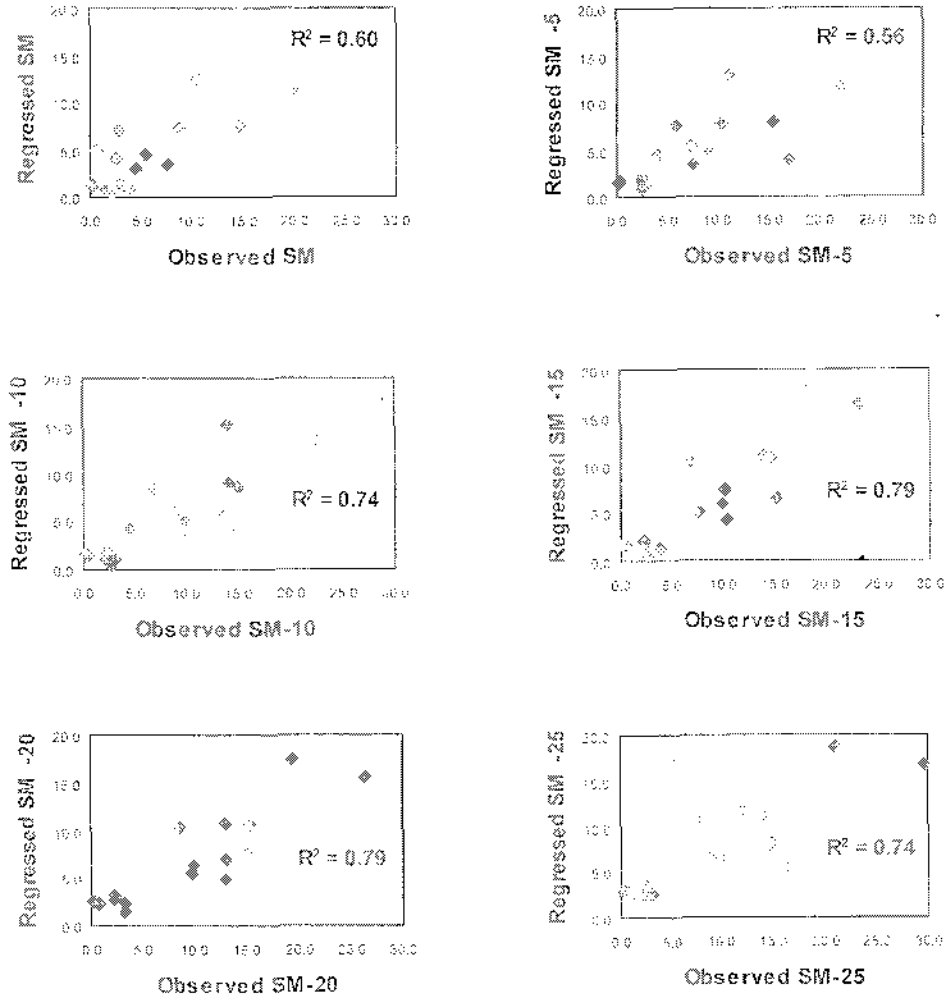
مدل	معادله	R	R^2	R^2-adj	RMSE
۱	SM_0=-4.896+ 42.735 NDVI	۰/۷۳	۰/۵۴	۰/۵۳	۳/۶۰
۲	$SM_{(0-5)}$ =-4.292+ 41.675 NDVI	۰/۷۵	۰/۵۶	۰/۵۵	۴/۱۲
۳	$SM_{(0-10)}$=-5.704+ 50.588 NDVI	۰/۷۴	۰/۵۵	۰/۵۴	۴/۲
۴	$SM_{(0-15)}$=-7.236+ 62.843 NDVI	۰/۷۶	۰/۵۷	۰/۵۶	۴/۵
۵	$SM_{(0-20)}$=-5.219+ 55.164 NDVI	۰/۷۳	۰/۵۴	۰/۵۳	۴/۶۶
۶	$SM_{(0-25)}$=-5.236+ 58.074 NDVI	۰/۶۸	۰/۴۷	۰/۴۶	۵/۶۴

ضرایب همبستگی و میانگین مربعات خطا (MSE) در همه مدل‌ها تقریباً یکسان و یا نزدیک به هم بود، لذا اقدام به بررسی خطا در مدل‌ها گردید که نتایج این بررسی را می توان در جدول (۲) مشاهده نمود.

جدول (۲): خلاصه نتایج آماری خطای برآورد مدل ها در روابط تعیین رطوبت لایه سطحی خاک

مدل	آمارهای خطای مطلق				
	حداکثر	حداقل	انحراف معیار	میانگین	دامنه تغییرات	خطای استاندارد
۱	۸/۵۴	۰/۴۲	۲/۳	۲/۵۵	۸/۱۲	۰/۵۶
۲	۱۳/۱۶	۰/۳۸	۳/۷۵	۳/۵۶	۱۲/۷۸	۰/۹۱
۳	۸/۹۸	۰/۳۴	۳/۰۶	۳/۴۵	۸/۶۴	۰/۷۴
۴	۸/۳۸	۰/۲	۲/۳۱	۲/۶۱	۸/۱۸	۰/۵۹
۵	۱۳/۸۲	۰/۳۸	۳/۹۱	۳/۷۴	۱۳/۴۴	۰/۹۵
۶	۱۳/۶۲	۰/۰۲	۴/۴۷	۳/۸۴	۱۳/۶	۱/۰۸

بررسی مدل‌های ارائه شده در جدول (۱) بیانگر وجود همبستگی مثبت بین رطوبت حجمی لایه سطحی خاک و متوسط شاخص پوشش گیاهی تفاضلی نرمال شده (NDVI-mean) در طول دوره مطالعاتی مورد نظر می‌باشد. در بررسی روابط همبستگی بین رطوبت خاک مشاهده شده و برآورد شده نیز (شکل (۲)) مدل تأخیری ۱۵روزه بالاترین ضریب تبیین (۰/۷۹) را دارد.



شکل (۲): مقایسه داده های حاصل از مدل‌های برآورد رطوبت خاک با مقادیر اندازه‌گیری شده آن

با توجه به تجزیه و تحلیل‌های آماری فوق، مدل تأخیری ۱۵روزه (جدول(۱)، مدل ۴)، به منظور برآورد رطوبت لایه سطحی خاک مناسب‌تر تشخیص داده شد (رابطه ۲).

$$SM_{(0-15)}=-7.236+62.843NDVI \qquad (۲)$$

مطالعات محققین نشان داده است که به دلیل عکس‌العمل تأخیری گیاه به بارندگی با توجه به ذخیره رطوبتی

خاک، NDVI عکس‌العمل تأخیرداری نسبت به رطوبت خاک دارد (آدگوک[1] و کارلتون[2]، ۲۰۰۲؛ وانگ، ۲۰۰۰).

با توجه به تأثیر غیر قابل انکار پارامترهای هواشناسی در میزان رطوبت لایه سطحی خاک، با افزودن این پارامترها مدل‌هایی با دقت بالاتر برای تخمین رطوبت لایه سطحی خاک حاصل شد. به دلیل عدم اطلاع کافی از زمان تأخیر و چگونگی تأثیر هر یک از عوامل به کار رفته در مدل‌ها (سرعت باد، دمای هوا، بارندگی و ....)، ضرایب رگرسیون نزدیک مدل همزمان و تأخیری ۱۵روزه (مدل منتخب) و با توجه به کاربردی‌تر بودن مدل همزمان نسبت به مدل‌های تأخیری، ترجیحاً از NDVI همزمان برای به دست آوردن مدل‌های حاصل از NDVI و پارامترهای هواشناسی استفاده شد.

برای تخمین دقیق‌تر رطوبت خاک، از برخی داده‌های روزانه هواشناسی شامل سرعت باد (Wind)، دمای هوا (Tem)، بارندگی (Rain)، تبخیر (Ev) و ... که هر یک به نحوی در تغییرات رطوبت لایه سطحی خاک منطقه مؤثر می‌باشند، بهره گرفته شد. خلاصه مدل‌های به دست آمده در جدول (۳) ارائه شده است.

جدول(۳): ضرایب همبستگی بدست آمده از رابطه NDVI، پارامترهای هواشناسی و SM

مدل	معادله	R^2-adj	RMSE
۱	SM_0=-2.76+42.639 NDVI-0.875 Wind	۰/۶۰	۳/۳۲
۲	SM_0=6.715+30.799 NDVI-1.025 Wind-0.128 Ev_5	۰/۶۶	۳/۰۹
۳	SM_0 7.713+27.917 NDVI-Wind-0.07 Ev_{10}	۰/۶۶	۳/۰۷
۴	SM_0 3.279+30.905 NDVI-0.056 Ev_{10}	۰/۵۷	۳/۴۷

همانطور که مدل‌های ارائه شده در جدول (۳) نشان می‌دهند، در این مدل‌ها عامل باد، به تنهایی، باعث افزایش ضریب تبیین به میزان قابل ملاحظه‌ای شد و با دخالت فاکتورهای باد و تبخیر تجمعی ۵ (Ev_5) و یا ۱۰ روزه (Ev_{10}) مدل‌هایی با بالاترین R^2-adj و کمترین میزان RMSE به دست آمد. در این تحقیق برای تهیه نقشه رطوبتی خاک از مدل ۲ جدول (۳)- رابطه (۳) استفاده شد.

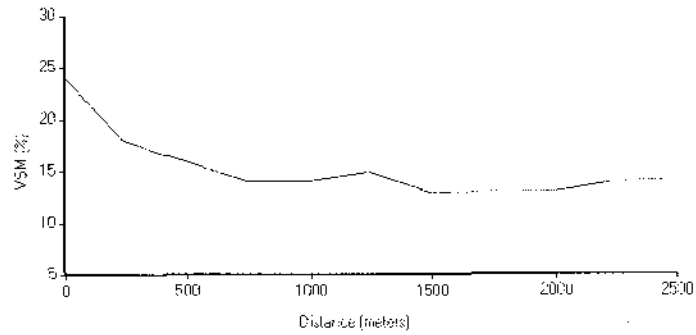
$$SM_0=6.715+30.799\ NDVI-1.025\ Wind-0.128\ Ev_5 \qquad (۳)$$

با توجه به نتایج حاصل از این مطالعه موردی، با استفاده از نقشه‌های رطوبت خاک حاصل از تصاویر سنجنده مودیس و امکانات موجود در نرم افزار ERDAS می‌توان توزیع مکانی و زمانی رطوبت خاک را در فواصل مکانی و زمانی مورد نظر، بررسی نمود. در این نرم افزار تغییرات مکانی در دو حالت فاصله‌ای[3] (شکل (۳)) و

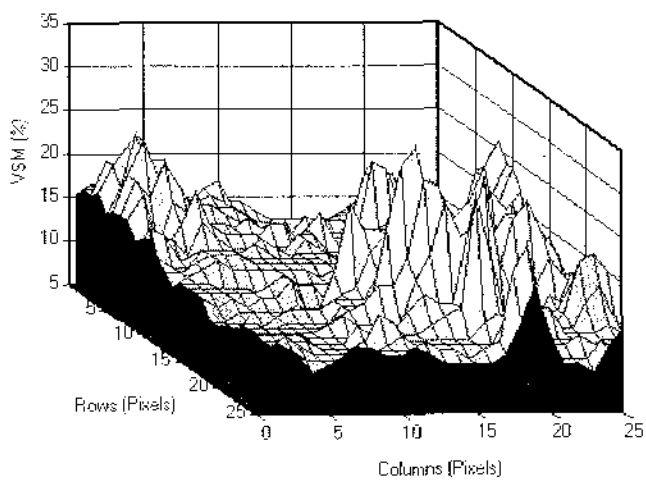
1- Adegok
2 -Carleton
3- Spatial

Agricultural Engineering Research Institute AERI

سطحی[1] (شکل (۴)) قابل ارزیابی است.



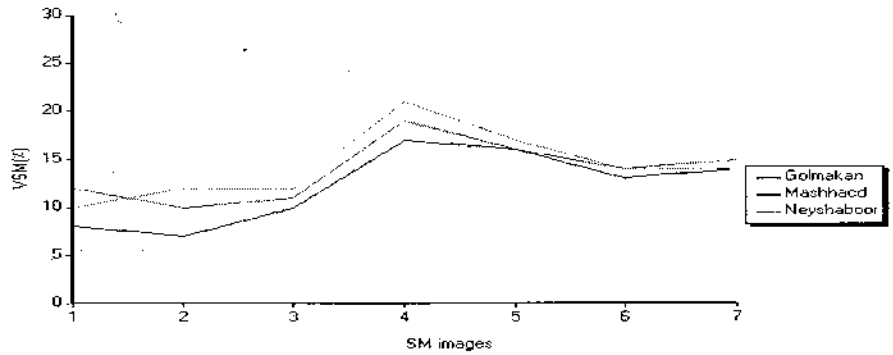
شکل (۳): پروفیل مکانی تغییرات رطوبت لایه سطحی خاک در فاصله ۲۵۰۰ متری از ایستگاه مشهد (تصویر ۲۰۰۵/۰۷/۰۴)



شکل (۴): پروفیل سطحی تغییرات رطوبت لایه سطحی خاک در محدوده ۲۵ × ۲۵ پیکسلی ایستگاه مشهد (تصویر ۲۰۰۵/۰۷/۰۴)

توزیع زمانی رطوبت خاک با استفاده از تصاویر رطوبت خاک در تاریخ‌های مختلف قابل بررسی است. شکل (۵) پروفیل زمانی (طیفی[2]) رطوبت خاک را در ۷ تاریخ سال ۲۰۰۴ (۰۱/۱۱، ۰۲/۲۴، ۰۳/۱۲، ۰۴/۱۹، ۰۵/۲۹، ۰۶/۱۶، ۰۷/۱۱)، در سه ایستگاه منتخب تحقیق به خوبی نشان می‌دهد.

1- Surface
2- Spectral



شکل (۵): پروفیل زمانی تغییرات رطوبت لایه سطحی خاک در ۷ تاریخ مختلف سال ۲۰۰۴

با استفاده از پروفیل‌های زمانی حاصل از نقشه‌های رطوبت خاک، می‌توان بهترین زمان آبیاری محصول را تخمین زده و با زمان واقعی آبیاری مورد مقایسه قرار داد. این مقایسه، روزهایی که گیاه با تنش آبی مواجه بوده یا به دلیل آبیاری زودتر تلفات آبی به همراه دارد را نشان می‌دهد.

۴ـ نتیجه‌گیری و پیشنهادات

با توجه به موارد ذکر شده و نتایج حاصل از این تحقیق، استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و سیستم اطلاعات جغرافیایی به منظور بهنگام نمودن اطلاعات شبکه‌های آبیاری و زهکشی وسیع و در حال بهره‌برداری بعنوان یک ابزار نوین قابل توصیه میباشد. با توجه به اینکه در مدت زمان محدود انجام این تحقیق، دسترسی به اطلاعات یک شبکه آبیاری و زهکشی در حال بهره‌برداری میسر نگردید، در این تحقیق برای روشن شدن موضوع، مثالی از کاربرد این بحث در اراضی مرتعی آورده شد، که با در اختیار داشتن تمام عوامل و پارامترهای مورد نیاز و سنجنده مناسب، نتایج به دست آمده از این مطالعه موردی قابل تعمیم به اراضی کشاورزی می‌باشد.

نتایج این تحقیق نشان داد که تلفیق اطلاعات حاصل از سنجنده‌های ماهواره‌ای و اطلاعات واقعی شبکه‌های آبیاری و زهکشی در سامانه اطلاعات جغرافیایی، می‌تواند برای ارزیابی بهره‌برداری از شبکه آبیاری و تعیین مناسب‌ترین زمان آبیاری مورد استفاده قرار گیرد. علاوه بر این از نقشه‌های پوشش گیاهی حاصل از NDVI تصاویر سنجنده مودیس می‌توان برای تشخیص و تمایز گونه‌های گیاهی مختلف، محاسبه سطح زیر کشت محصولات کشاورزی، مطالعه مناطق آسیب دیده کشاورزی بر اثر کم آبی یا حمله آفت‌های مختلف و ارزیابی کیفیت محصول استفاده نمود. تهیه نقشه پوشش گیاهی هر منطقه، تهیه نقشه آبراهه‌ها و مناطق مرطوب و ارتباط آن‌ها با مناطق مستعد کشت از کاربردهای دیگر چنین اطلاعاتی است.

به طور کلی استفاده از روش‌های سنجش از دور در سیستم‌های تصمیم‌گیری شبکه‌های وسیع آبیاری و زهکشی نه تنها سرعت انجام مطالعات را بیشتر کرده و از نظر دقت و هزینه نیز بسیار با صرفه است، با

شناسایی به هنگام اثرات سوء طرح‌ها بر محیط‌زیست، راه را جهت رسیدن به توسعه پایدار زیست محیطی و کشاورزی پویا هموارتر می‌نماید.

۵ـ منابع

۱- بای‌بوردی، م. ۱۳۸۰. اصول مهندسی آبیاری، روابط آب و خاک، جلد اول، انتشارات دانشگاه تهران. ۷۰۹ص.

۲- بداق جمالی، ج.، احمدیان، ج.، جوانمرد، س.، گلمکانی، ت.، و ملکی‌زاده، ص. ۱۳۷۷. ضرورت پایش وضعیت رطوبت خاک در افزایش بهره وری آب کشاورزی، یازدهمین همایش کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران: ۳۷۶-۳۹۰.

3- Adegok, J. O. and Carleton, A. M. 2002. Relations between Soil Moisture and Satellite Vegetation Indices in the U.S. Corn Belt. American Meteorological Society, vol.3: 395-405.

4- Dabrowska-Zielinska, K., F. Kogan, K. A. Ciolkosz, M. Gruszczynska and W. Kowalik 2002: Modeling of crop conditions and yield in Poland using AVHRR-based indices. Int. J. Rem Sens., 23 (6), 1109-1123.

5- Rouse, J. W., R. H. Haas, J. A. Schell, and D. W. Deering (1973) 'Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS', Third ERTS Symposium, NASA SP-351 I, 309-317.

6- Sandholt, I., Rasmussen, K. and Andersen, J. 2002. A simple interpretation of the surface temperature /vegetation index space for assessment of surface moisture. Remote Sensing of Environment, 79: 213-224.

7- Tarpley, J. D., S. R. Schneidar and R. L., Money, 1984. Global vegetation indices from the NOAA-7 meteorological satellite. J. Clim. Appl Meteorol. 23, 491-494.

8- Tucker, C. J., 1979, Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. Remote Sensing of Environment, 8, 127–150.

9- Tucker, C. J., Townsend, J. R. G., and Goff, T. E., 1985: African Land-cover classification using satellite data. Science, 227, 369-375.

10- Tucker, C.J. 1996. Historyof the use of AVHRR data for land applications. In: G. D'Souza, A. S. Selward and J-P. Malingreau, Editors, Advances in use of NOAA AVHRR data for land applications, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht: 1-19.

11- Wang, J. 2000. Relations between productivity, climate, and Normalized Difference Vegetation Index in the central Great Plains. Lawrence: University of Kansas (PhD dissertation).

12- Wang, X. 2005. Relation between ground- based soil moisture and satellite image – based NDVI.

13- Wigneron, J.P., Schmugge, T., Chanzy, A., Calvet, J.C. and KERR, Y. 1998. Use of passive microwave remote sensing to monitor soil moisture a review. Agronomie: Agriculture and Environment 18:27-43.