

مدل سازی سطح آب زیرزمینی کم عمق با استفاده از تصاویر ابرطیفی هایپریون

سعید حمزه^{۱*}، عبدعلی ناصری^۲، سید کاظم علوی پناه^۲، برات مجردی^۴

۱- استادیار گروه سنجش از دور و GIS دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران

۲- استاد گروه آبیاری و زهکشی، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز

۳- استاد گروه سنجش از دور و GIS دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران

۴- استادیار گروه مهندسی عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۴/۰۳/۰۲ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۴/۰۷/۲۸

چکیده

شوری خاک و سفره های آب زیر زمینی کم عمق، دو عامل اصلی کاهش عملکرد محصول در مناطق مختلف ایران، بویژه در استان خوزستان و مزارع نیشکر می باشند. بنابراین تحقیق حاضر جهت دستیابی به بهترین مدل های تخمین عمق سطح ایستابی با استفاده از تصاویر ابرطیفی هایپریون در اراضی تحت کشت نیشکر صورت پذیرفت. بدین منظور، مقادیر عمق سطح ایستابی در ۱۳۲ چاهک مشاهده ای واقع در زمین های شرکت کشت و صنعت حکیم فارابی، هفته ای دوبار از اواسط اردیبهشت تا اواسط مهر سال ۱۳۸۹ ثبت گردید. همچنین از سایر اطلاعات جمع آوری شده در محدوده کشت و صنعت حکیم فارابی از قبیل سن و واریته گیاه نیشکر، تاریخ کاشت و برداشت، مدیریت های داشت از قبیل میزان و زمان های کوددهی و آبیاری و زهکشی استفاده گردید. هم زمان با جمع آوری اطلاعات زمینی، تصویر ماهواره ای مربوط به سنجنده ابرطیفی هایپریون در تاریخ ۱۲ شهریور ۱۳۸۹ اخذ گردید. پس از انجام پیش پردازش های ضروری بر روی تصویر، اقدام به تهیه مدل های مناسب پیش بینی میزان عمق آب زیرزمینی گردید. بدین منظور توانایی ۲۱ شاخص گیاهی مختلف موجود در منابع که مربوط به نواحی مختلف طیفی گیاه بودند، مورد بررسی قرار گرفت. در کنار این شاخص ها، سه شاخص گیاهی جدید (SWSI-1، SWSI-2، SWSI-3) نیز توسعه داده شد. نتایج بدست آمده نشان می دهد که تغییر میزان عمق آب زیرزمینی تاثیر به سزایی بر روی بازتابندگی های طیفی گیاه نیشکر دارند. در میان شاخص های گیاهی، شاخص هایی که در ارتباط با باندهای جذب آب و یا ترکیب باندهای جذب آب و کلروفیل می باشند دارای بیشترین همبستگی با سطح آب زیرزمینی بودند. بر این اساس مدل های به دست آمده از دو شاخص گیاهی SWSI-1، SWSI-3 (که در این تحقیق توسعه داده شدند) و شاخص NDWI به ترتیب با مقدار همبستگی ۰/۴۸، ۰/۴۸ و ۰/۴۷ با عمق آب زیرزمینی و خطای ۸/۲۵، ۸/۲۵ و ۷/۹۸ سانتیمتر بهترین برآورد را داشتند.

کلیدواژه ها: سطح آب زیرزمینی، تصاویر ابرطیفی، بازتابندگی طیفی، شاخص گیاهی، نیشکر.

* نویسنده مکاتبه کننده: تهران- خیابان قدس- کوچه آذین- دانشکده جغرافیا- گروه سنجش از دور و GIS

تلفن: +98 9183511959

Email: saeid.hamzeh@ut.ac.ir

۱- مقدمه

توسعه روزافزون جمعیت دنیا و نیاز مبرم مردم به محصولات کشاورزی باعث افزایش مصرف آب مورد نیاز این قسمت در سال‌های اخیر شده است. تحقیقات صورت گرفته توسط سازمان غذایی و کشاورزی جهانی^۱ نشان می‌دهد میزان تولید غذایی در دنیا تا سال ۲۰۳۰ باید به میزان ۶۰٪ افزایش یابد تا جوابگوی میزان نیاز افزایش ۲ بیلیونی جمعیت دنیا باشد [۱]. این افزایش حجم آبیاری در صد سال اخیر سبب شده است که مقادیر قابل توجهی از آب به طرق مختلف هدر رفته و به آب‌های زیرزمینی بپیوندد و نتیجه آن نیز در اکثر موارد ماندابی شدن اراضی و یا شور شدن خاک بوده است. به نحوی که در حال حاضر سالانه حدود ۲ تا ۴ میلیون هکتار از اراضی جهان در اثر شور یا زهدار شدن از بین می‌رود [۲]. شوری خاک و بالا بودن سطح ایستابی از مهمترین مشکلات محیطی می‌باشند که علاوه بر تاثیر منفی بر روی رشد و توسعه گیاه سبب تخریب اراضی نیز می‌شوند. این مسئله در مناطق خشک و نیمه خشک همچون ایران بارزتر می‌باشد. خاک‌های مناطق مرکزی و جنوب غربی ایران بیشتر از سایر نقاط این کشور تحت تاثیر شوری و سطح ایستابی کم عمق قرار دارند [۳]. این در حالی است که استان خوزستان با مساحتی حدود ۶/۴۷ میلیون هکتار به عنوان مهمترین استان حاصلخیز در این قسمت قرار گرفته است. در میان کشت و صنعت‌های موجود در استان خوزستان، شرکت توسعه نیشکر و صنایع جانبی با داشتن ۷ واحد کشت و صنعت نیشکر در مساحتی بالغ بر ۸۴۰۰۰ هکتار از اراضی استان خوزستان، سهم عظیمی از اراضی کشاورزی استان را به خود اختصاص داده است، و می‌توان گفت یکی از مهم‌ترین کشت و صنعت‌های موجود در کشور ایران است.

 IFAO

سفره‌های آب زیر زمینی کم عمق و شوری آب و خاک دو عامل اصلی هستند که مزارع نیشکر را تحت تاثیر منفی قرار می‌دهند. از طرفی با توجه به شوری بالای آب زیرزمینی، عامل اصلی شور شدن اراضی عمق کم سطح آب زیرزمینی در اراضی که زهکش‌های زیرزمینی به خوبی عمل نمی‌کنند، و صعود آن به منطقه توسعه ریشه می‌باشد. تجربه نشان داده است که در مناطق تحت آبیاری، سطح ایستابی با عمق حدود یک متر یا بیشتر برای رشد گیاهان و جلوگیری از جمع شدن نمک در سطح خاک کافی است. بنابراین تخمین و پایش عمق سطح ایستابی برای بهبود این محصول در مقیاس بزرگ ضروری به نظر می‌رسد. اما با توجه به وسعت زیاد مناطق زیر کشت نیشکر و تعداد زیاد این مزارع امکان کنترل تک تک مزارع و رسیدگی به مسائل و مشکلات آنها امری غیر ممکن می‌باشد. بنابراین وسعت زیاد زمین‌های زراعی تحت پوشش شرکت نیشکر و صنایع جانبی و نیاز به نیروی انسانی زیاد برای سرکشی به مزارع جهت کسب اطلاع از وضعیت آنها و لزوم کنترل و پایش کلیه اراضی در زمانی محدود، نیاز مدیران به یک سیستم پایش خودکار، برای صرفه جویی در زمان و انرژی را آشکار می‌سازد. در این میان با توجه به توانایی بالای فناوری‌های نوین سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی برای کار با داده‌های مکانی و قابلیت بالای این روش‌ها در بازیابی مقادیر عظیم اطلاعات با سرعت بالا و هزینه کم، و پیشرفت سریع جهان در توسعه و استفاده از این روش‌ها در بخش کشاورزی، استفاده از این فن‌آوری‌ها جهت پایش و کنترل مزارع این بخش، می‌تواند بسیار مفید و به صرفه باشد. اما قبل از استفاده از این تکنیک در سطح وسیع، توسعه مدل‌ها و روش‌های مناسب در هر بخش و ارزیابی و صحت سنجی نتایج حاصل از آنها امری ضروری است. در حقیقت یک روش براساس تکنیک‌های سنجش از دوری می‌تواند تمامی نیازهای ذکر شده را برآورد سازد تنها اگر پاسخ بیوشیمیایی

لذا از طریق تفاوت در بازتابندگی های طیفی باندهای مختلف موجود در تصاویر ماهواره ای و شاخص های گیاهی مناسب، می توان اقدام به تعیین سطوح مختلف شوری و سطح ایستابی در اراضی نیشکر نمود. بر این اساس، اهداف مورد انتظار در انجام این تحقیق به شرح زیر می باشد:

(۱) بررسی تغییرات طیفی گیاه نیشکر تحت تاثیر سطوح مختلف سطح آب زیرزمینی و امکان سنجی استفاده از این تغییرات جهت پیش بینی عمق سطح ایستابی.

(۲) یافتن شاخص ها و روابط مناسب بین مقادیر مختلف عمق آب زیرزمینی و بازتابندگی های طیفی گیاه نیشکر در طول موج های مختلف.

(۳) انتخاب شاخص و مدل بهینه، جهت تهیه نقشه های وضعیت گیاهی و سطح آب زیرزمینی محدوده مورد مطالعه با استفاده از تصاویر ماهواره ای.

۲- مروری بر منابع

مطالعات صورت گرفته در خصوص تعیین سطح آب زیرزمینی با استفاده از سنجش از دور بسیار محدود است. در زیر به چندین مطالعه خاص انجام شده در این زمینه اشاره شده است.

مطالعات صورت گرفته با استفاده از تصاویر ماهواره ای در باندهای مرئی، مادون قرمز نزدیک و مادون قرمز میانی نشان دهنده مناسب بودن این محدوده های طیفی جهت تهیه تغییرات مکانی ماندابی می باشد [۵ و ۶]. مطالعات مذکور جهت تعیین ماندابی از تصاویر ماهواره ای لندست (TM) و IRS (1A/1B/1C/1D) استفاده کرده اند. تحقیقات صورت گرفته در این خصوص در کشورهای هند و پاکستان که به طور جدی با مشکل شوری و ماندابی مواجه هستند بیشتر از مناطق دیگر است. در تحقیقی اگوال^۱ (۱۹۹۰) با استفاده از تصاویر ماهواره لندست

گیاه به سطح ایستابی کم عمق بتواند با استفاده از داده طیفی ارزیابی شود و شاخص ها، مدل ها و روش های مناسب تهیه نقشه های سطح ایستابی متناسب با هر منطقه و گیاه توسعه داده شود.

اغلب گراس ها از جمله نیشکر نمی توانند شرایط غرقابی را تحمل نمایند. اثرات زیان آور خاک های با زهکشی نامناسب در نیشکر به شرح ذیل خواهند بود [۴]:

زردی و پیچیدگی برگ های جوان، انتشار گازی کم (جریان O_2 و CO_2)، کاهش دمای خاک، تشکیل ریشه های نابجا، رشد محدود، سطحی و بد شکل در سیستم ریشه ای، احتمال شیوع بیماری های پوسیدگی قرمز، تضعیف جوانه زنی و در نتیجه تنک شدن محصول، گلدهی زیاد، مغزداري ساقه، میزان فیبر بیشتر در ساقه، تاخیر در رسیدگی گیاه و کاهش نسبی عملکرد ساقه و قند و نتیجتاً پایین آمدن درآمد حاصله.

با توجه به مطالب فوق مشخص است که سطح ایستابی تاثیرات مستقیمی بر روی برخی از خواص فیزیکی و فیزیولوژیکی گیاه نیشکر دارد، که با توجه به پیشرفت های جدید حاصل شده در تکنیک سنجش از دور می توان برخی از این موارد از قبیل تغییر رنگ، کاهش محصول، تغییر در میزان گلدهی و فیبر و ماده خشک گیاه، تغییر در میزان آب برگ و تغییرات ایجاد شده در خواص شیمیایی برگ گیاه را شناسایی و با ارائه مدل ها و شاخص های مناسب، اقدام به تعیین مزارع مشکل دار نمود.

لذا تحقیق حاضر به منظور مطالعه تغییرات طیفی گیاه نیشکر به مقادیر مختلف سطح آب زیرزمینی و مدل سازی این پارامتر با استفاده از تصاویر ماهواره ای ابرطیفی هایپرون صورت پذیرفت. جهت دستیابی به این امر فرضیه اصلی این تحقیق به صورت زیر بیان گردید: عمق سطح ایستابی باعث تغییر بازتابندگی های طیفی گیاه نیشکر در محدوده های مختلف طول موج الکترومغناطیسی می شوند،

1 Agarwal

۳.۵ متری قرار گرفته است [۱۱]. چووادری و همکاران^۴ (۲۰۰۸) طی تحقیقی اقدام به تشخیص مناطق تحت تاثیر ماندابی سطحی و زیرسطحی با استفاده از سنجش از دور و GIS در مزارع تحت آبیاری ایالت بیهار هند نمودند. جهت انجام این کار از تصاویر ماهواره‌ای IRS-D1 (سنجنده LISS-III) مربوط به سالهای ۲۰۰۲-۲۰۰۳ استفاده کردند. ابتدا از شاخص NDWI جهت تعیین مناطق ماندابی سطحی استفاده کردند. نتایج بدست آمده توسط آنها نشان داد که مناطق متاثر از ماندابی سطحی حدود ۶۲۳۰۰۰ هکتار (حدود ۱۰.۵۷٪ کل منطقه) است [۱۲]. همچنین مناطق ماندابی شده در اثر صعود آب زیرزمینی با استفاده از GIS و مقادیر سطح آب زیرزمینی در ابتدا و انتهای سالهای ۲۰۰۳-۲۰۰۲ مشخص گردیدند. آنها ابراز داشتند استفاده هم‌زمان از تصاویر ماهواره‌ای و سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) روشی بسیار مفید و قوی جهت تشخیص و تهیه نقشه مناطق تحت تاثیر ماندابی سطحی و زیر سطحی می‌باشد.

همان‌طور که بیان شد مطالعات صورت گرفته در این زمینه بسیار محدود است و علاوه بر این مطالعه‌ای با استفاده از تصاویر ابرطیفی در این خصوص در منابع مشاهده نگردید لذا با توجه به اهمیت موضوع این تحقیق صورت پذیرفت.

۳- مواد و روش‌ها

۳-۱- منطقه مورد مطالعه

تحقیق حاضر در سال زراعی ۸۹-۱۳۸۸ در مزارع کشت و صنعت حکیم فارابی یکی از واحدهای هفت‌گانه شرکت توسعه نیشکر و صنایع جانبی به اجرا درآمد. کشت و صنعت حکیم فارابی در ۳۵ کیلومتری جنوب شهرستان اهواز و شرق رودخانه کارون، در محدوده جغرافیایی ۳۰°۵۴'۱" شرق

تغییرات مناطق متاثر از ماندابی را طی سال‌های ۱۹۷۵ تا ۱۹۸۴ در قسمتی از هند بررسی نمود [۷]. سدو و همکاران^۱ (۱۹۹۱) از تصاویر لندستجهت تعیین میزان گسترش شوری و ماندابی در قسمتی از هند پرداختند [۸]. چوبی (۱۹۹۴) مطالعه‌ای را جهت بررسی مناطق متاثر از ماندابی در هند انجام داد و مفید بودن این روش را ابراز داشت [۹]. همچنین چوبی (۱۹۹۷) با انجام تحقیقی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای IRS-1A و LISS-1 و نقشه کاربری اراضی و زهکشی منطقه تاو هند اقدام به تعیین مناطق ماندابی نمودند [۵]. نتایج آنها نشان داد در ماه اکتبر سال ۱۹۸۸ حدود ۸۰ کیلومتر مربع از مناطق، ماندابی بوده و حدود ۱۴۰ کیلومتر مربع حساس به ماندابی بودند. خان و همکاران^۲ (۲۰۰۵) با استفاده از داده‌های ماهواره IRS اراضی شور دارای سطح آب زیرزمینی بالا را در منطقه نیمه خشک پاکستان بررسی نموده و با ایجاد تصاویر رنگی کاذب و طبقه بندی نظارت شده مشاهده نمودند که بیشتر مشکلات آب گرفتگی و شوری در اطراف کانال‌های زهکشی می‌باشد [۱۰]. طی تحقیقی ایکسیامی و همکاران^۳ (۲۰۰۷) با استفاده از سنجش از دور به بررسی ارتباط بین عمق و میزان املاح آب زیرزمینی و رشد محصولات زراعی پرداختند. هدف آنها استفاده از منطقه مورد مطالعه به عنوان مثالی جهت ارائه روشی جدید و مفید برای بررسی تاثیر عمق آب زیرزمینی بر روی میزان رشد و نمو محصولات زراعی در یک منطقه وسیع با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و شاخص گیاهی NDVI بود. نتایج حاصل از تحقیقات آنها نشان داد که در محدوده مورد مطالعه آنها عمق مناسب آب زیرزمینی برای رشد محصولات زراعی بین ۱ تا ۶ متر می‌باشد، و بهترین میزان رشد زمانی اتفاق می‌افتد که سطح آب زیرزمینی در عمق

1 Sidhu

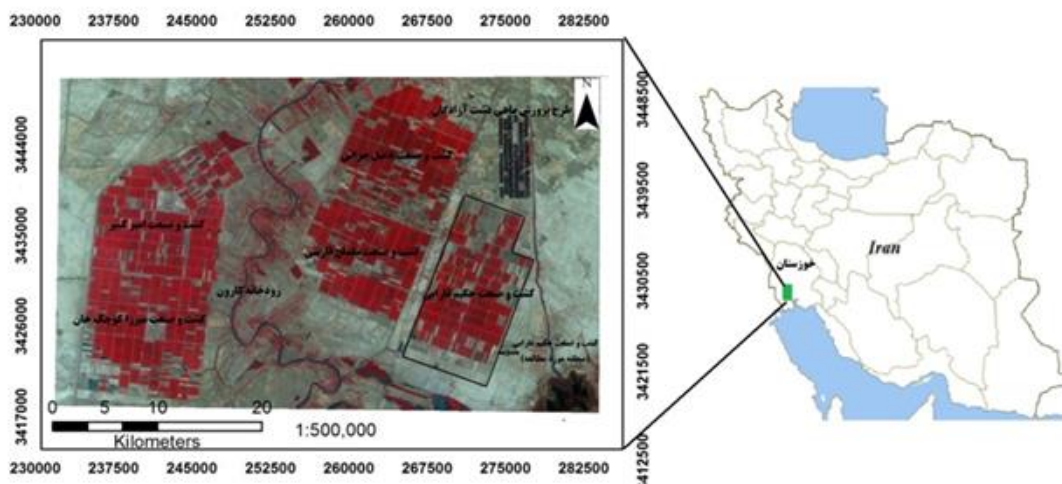
2 Khan et al

3 Jin Xiaomei

4 Chowdary

فشار هیدروفلوم و جوی و پشته‌ای می‌باشد. همچنین در تمامی اراضی این واحد، زهکش‌های زیرزمینی در عمق متوسط ۲ متر و با فاصله متوسط ۵۰ متر از یکدیگر و عمود بر جهت جویچه‌های آبیاری در طول قطعات زراعی در زیر زمین نصب گردیده‌اند.

تا $31^{\circ}34'34''$ طول شرقی و $48^{\circ}31'5''$ تا $48^{\circ}39'4''$ عرض شمالی واقع گردیده است. موقعیت این کشت و صنعت نسبت به رودخانه کارون و سایر کشت و صنعت‌های نیشکری واقع در اطراف آن، در شکل (۱) نشان داده شده است. سیستم آبیاری مزارع بصورت سطحی و با استفاده تلفیقی از لوله‌های کم



شکل ۱: موقعیت قرار گیری کشت و صنعت حکیم فارابی و سایر کشت و صنعت‌های اطراف آن

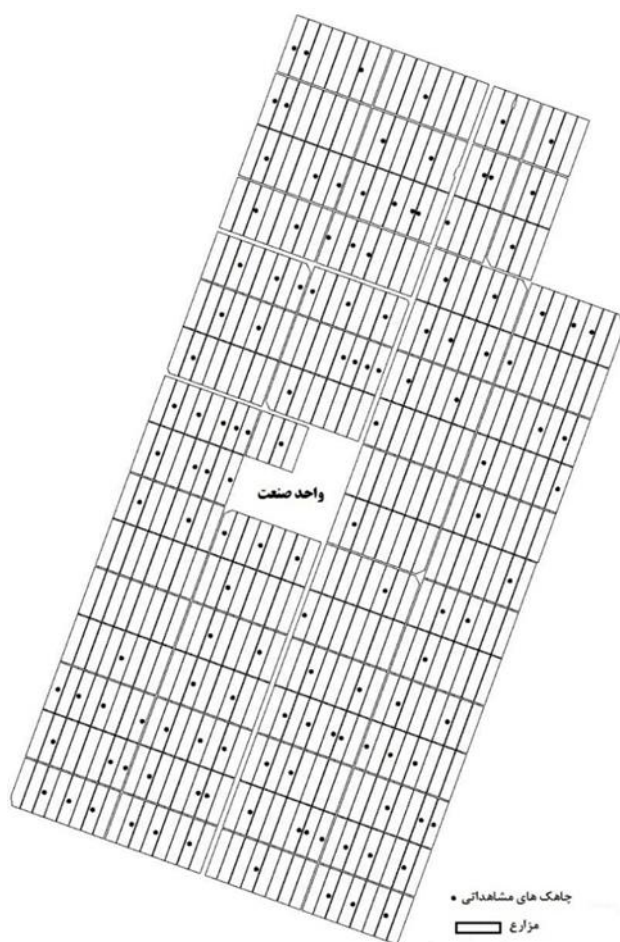
انتخاب مزارع همگن استفاده گردید. تعداد کل چاهک‌های مشاهداتی موجود در محدوده مورد مطالعه ۱۳۲ عدد بود. از این تعداد چاهک، با توجه به شرایط مزارع و حذف مزارعی که دارای مشکل خاص از قبیل آفت زدگی، تنش شدید آبی و یا سن بالای گیاه نیشکر بودند، تعداد ۷۴ عدد چاهک در ۷۴ مزرعه مختلف که از شرایط نسبتاً یکسانی از نظر مدیریت داشت و بهره‌برداری همراه بودند انتخاب گردید. سپس چاهک‌های انتخاب شده به دودسته تقسیم گردید و از اطلاعات ثبت شده در ۴۰ چاهک مشاهده‌ای در طول فصل زراعی جهت مدل سازی و از اطلاعات ۳۴ چاهک مشاهده‌ای دیگر جهت صحت سنجی نتایج استفاده گردید. این چاهک‌ها در فاصله بین دو لترال که بیانگر بالاترین سطح ایستابی در آن محدوده می‌باشد و تا عمق حدود ۲ متری یعنی بالای عمق نصب

۳-۲- اطلاعات زمینی مورد استفاده و نحوه جمع‌آوری آنها

تعداد کل مزارع در واحد حکیم فارابی ۴۹۲ عدد می‌باشد که در سال ۱۳۸۹ تعداد ۳۰۵ مزرعه از این تعداد مزارع تحت کشت نیشکر قرار داشتند. جهت انجام این تحقیق از آمار و اطلاعات جمع‌آوری شده در این اراضی استفاده شد. این اطلاعات شامل اطلاعات مربوط به شوری خاک، سطح آب زیرزمینی، سن و واریته محصول، تاریخ کاشت و برداشت، مدیریت‌های داشت از قبیل میزان و زمان‌های کود دهی، آبیاری و زهکشی، اطلاعات روزانه هواشناسی و سایر اطلاعات کلی موجود در کشت و صنعت می‌باشد. از داده‌های ذکر شده، سطح آب زیرزمینی پارامتر اصلی و مهم مورد استفاده، جهت انجام تحقیق حاضر بود و از سایر داده‌ها به‌عنوان داده‌های جانبی و به منظور نظارت دقیق بر مزارع و

چاهک‌های مشاهداتی در محدوده طرح را نشان می‌دهند. همچنین خلاصه آماری داده‌های مورد استفاده جهت مدل‌سازی و صحت سنجی در جدول (۱) آورده شده است.

زهکش‌های زیرزمینی نصب گریده بودند. برداشت اطلاعات مربوط به عمق سطح ایستابی از چاهک‌ها بر اساس دو بار قرائت در هفته در طول دوره آبیاری مزارع یعنی از اواسط اردیبهشت تا اواسط مهر ۱۳۸۹ انجام پذیرفت. شکل ۲ موقعیت قرار گیری



شکل ۲: موقعیت چاهک‌های مشاهداتی

جدول ۱: خلاصه آماری سطح آب زیرزمینی مشاهده شده (سانتیمتر) در چاهک‌های مطالعاتی مورد استفاده

متغیر	تعداد	میانگین	حداکثر	حداقل
تمامی چاهک‌های مشاهده‌ای	۷۴	۹۸.۹۱	۱۲۷.۴۱	۷۵.۴۹
چاهک‌های مشاهده‌ای مورد استفاده برای مدل‌سازی	۴۰	۹۹.۰۸	۱۲۷.۴۱	۷۸.۲۶
چاهک‌های مشاهده‌ای مورد استفاده جهت صحت سنجی	۳۴	۹۸.۷۲	۱۱۷.۸۷	۷۵.۴۹

۳-۳- تصاویر ماهواره‌ای مورد استفاده و تصحیحات صورت گرفته بر روی آن

جهت انجام این تحقیق از تصویر ماهواره EO-1، سنجنده هایپریون به شماره گذر ۱۶۵ و ردیف ۳۸، که در تاریخ ۱۲ شهریور ۱۳۸۹ اخذ شده بود، استفاده گردید. این تاریخ مصادف با مراحل پایانی رشد گیاه نیشکر می باشد و به خوبی می توان اثرات سطوح مختلف سطح آب زیرزمینی را بر روی گیاه نیشکر مشاهده کرد و اقدام به مدل سازی آن با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای نمود.

سنجنده هایپریون از فناوری پوش بروم^۱ برای تصویربرداری استفاده می کند که در هر فریم محدوده‌ای به عرض ۷/۶ کیلومتر در جهت عمود بر حرکت را برداشت می کند. این سنجنده از دو طیف سنج مجزا، یکی برای بخش مرئی و مادون قرمز نزدیک (VNIR) و دیگری برای قسمت مادون قرمز کوتاه (SWIR) تشکیل شده است، و قادر به ثبت اطلاعات طیفی در ۲۴۲ طول موج مختلف در محدوده طیفی ۴۰۰ تا ۲۵۰۰ نانومتر، با توان تفکیک طیفی ۱۰ نانومتر و قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متر می باشد. دادهایی که در اختیار کاربران قرار داده می شود، پردازش سطح یک بر روی آن صورت گرفته است و یک سری خطاهای موجود در تصویر حذف شده است و شامل داده میزان انرژی در هنگام ورود به سنجنده است. به منظور تبدیل این داده به بازتابندگی سطحی اثرات اتمسفری بر روی این داده ها باید حذف شود. پیش از اینکه این اثرات اتمسفری را حذف کنیم یک سری خطاهای دیگر بر روی داده وجود دارد که باید حذف شوند تا دقت در هنگام پیاده سازی الگوریتم بالا رود. این اصلاحات و روش های به کار گرفته شده جهت انجام آنها که در این تحقیق بر روی تصویر

مورد مطالعه صورت گرفت به صورت بسیار مختصر به شرح زیر می باشد:

۱- جداسازی محدوده طیفی VNIR و SWIR: در ابتدای امر باندهای مربوط به دو محدوده طیفی VNIR و SWIR جدا گردید تا اصلاحات مورد نظر بر روی هریک صورت پذیرد [۱۳].

۲- واسنجی دوباره: به منظور تبدیل داده هایپریون به واحد انرژی مطلق، باندهای مربوط به VNIR بر ۴۰ و باندهای مربوط به SWIR بر ۸۰ تقسیم گردید. این عمل به علت اعمال این ضریب ها در هنگام پردازش سطح یک می باشد [۱۳].

۳- جابجایی نیمه سمت راست SWIR: به منظور حذف این خطای سیستماتیک تصویر SWIR از پیکسل شماره ۱۲۹ تا ۲۵۶ باید به میزان ۱ پیکسل به سمت بالا جابجا شود تا با آرایه های VNIR منطبق باشد.

۴- انتخاب باند: از میان ۲۴۲ باند سنجنده هایپریون ۱۹۶ باند غیر صفر داریم و بقیه باندها در پردازش اولیه به صفر تبدیل شده اند. در مرحله بعد باندهای بخار آب که موجب جذب تقریباً تمام تابش فرودی و منعکس شده خورشیدی می شوند به صورت بصری شناسایی و حذف گردیدند. در نهایت ۱۵۷ باند مطابق با جدول ۲ برای آنالیزهای بعدی انتخاب گردیدند.

۵- تصحیح باند های بد (خطای نواری شدن): در تصویر: نواری شدن به علت واسنجی متفاوت در آرایه های آشکار ساز هاست. به منظور جایگزین کردن این مقادیر از روش انتخاب همسایگی در فضای مکانی و انتخاب ستون های مجاور و میانگین گیری کردن از آنها استفاده گردید.

1 pushbroom
2 At Sensor Radiance

جدول ۲: باندهای انتخاب شده جهت آنالیزهای مورد نیاز

سنگنده	باندها	طول موج (nm)
VNIR	۸ تا ۵۷	۴۲۶ تا ۹۲۵
SWIR	۸۲ تا ۹۷	۹۶۲ تا ۱۱۱۴
	۹۹ تا ۱۱۹	۱۱۳۴ تا ۱۳۳۶
	۱۳۳ تا ۱۶۴	۱۴۷۷ تا ۱۷۹۰
	۱۸۲ تا ۱۸۴	۱۹۷۱ تا ۱۹۹۱
	۱۸۷ تا ۲۲۱	۲۰۲۲ تا ۲۳۶۵

پرداخت طیفی^۴ گردید و به منظور حذف نویزهای غیرهمبسته از روش نرمساز^۵ MNF استفاده شد. برای معکوس گیری VNIR از ۹ مولفه و برای SWIR از ۱۱ مولفه MNF استفاده شد. پس از انجام تمامی پیش پردازش های ذکر شده اقدام به برش منطقه مورد مطالعه از تصویر مورد نظر و سپس تصحیح هندسی آن گردید. تصویر مورد نظر با استفاده از ۳۶ نقطه زمینی اندازه گیری با استفاده از دستگاه GPS زمینی مرجع گردید. میزان مربع میانگین خطای (RMS) حاصل از تصحیح هندسی با استفاده از الگوریتم چند جمله ای برابر با ۰/۴۳ پیکسل بود.

۳-۴- شاخص های گیاهی مورد استفاده در تحقیق

جهت مطالعه رابطه بین مقادیر اندازه گیری شده سطح آب زیرزمینی و اطلاعات مستخرج از تصاویر ماهواره ای از شاخص های گیاهی مختلفی استفاده گردید. جهت انتخاب شاخص ها سعی گردید، شاخص هایی انتخاب شوند که حساسیت بیشتری نسبت به تنش های گیاهی داشته و تغییرات فنولوژیکی ایجاد شده در گیاه در اثر تغییرات محیطی را بهتر نشان دهند. همچنین سعی شد شاخص ها به نحوی انتخاب شوند که نواحی مختلف طیف الکترومغناطیسی را شامل شوند تا از

۶- اثرانحنای طیفی^۱: این مشکل در تمامی داده های هایپریون وجود دارد و علت آن جابجایی طول مرکز باند برای پیکسل های عمود بر مسیر اصلی از طول موج مرکزی می باشد. به منظور حذف این اثر از روش تعدیل میانگین ستون در فضای MNF^۲ استفاده گردید [۱۴].

۷- خطای خطوط عمودی^۳ و حذف آن: روشی که برای حذف نوارهای عمودی وجود دارد همانند روش هایی است که در گذشته برای برابری نوارهای افقی در تصاویر گرفته شده با آینه های اسکن شده مانند ETM + مورد استفاده قرار می گرفت.

۸- همردیف سازی SWIR و VNIR: آرایه های SWIR و VNIR به طور کامل بر روی هم مطبق نمی شوند. جهت رفع این مشکل آرایه SWIR به اندازه ۱ پیکسل به سمت چپ انتقال داده شد.

پس از انجام پیش پردازش های ذکر شده در بالا اقدام به تصحیح اتمسفری تصویر مورد نظر با استفاده از برنامه FLAASH گردید.

سپس اقدام به نرم کردن طیف بدست آمده جهت رسیدن به طیف واقعی زمینی با استفاده از روش

1 Smile effect

2 Column mean Adjusted in MNF Space

3 Stripped

4 Polishing Effort

5 MNF Smoothing

مراجع معتبر استخراج گردید و ۳ شاخص جدید نیز در این تحقیق توسعه داده شد که در قسمت بعد نحوه استخراج این شاخص ها و دلیل توسعه آنها مورد بحث و بررسی قرار خواهد گرفت. نام و مشخصات این شاخص ها در جدول (۳) ارائه شده اند.

این طریق بتوان نواحی طیفی حساس به تنش ماندابی و شاخص های مربوط به هر محدوده را تشخیص داد. بدین منظور شاخص های گیاهی در شش گروه اصلی طبقه بندی گردیدند. و در مجموع از ۲۴ شاخص مختلف گیاهی استفاده گردید که ۲۱ شاخص از

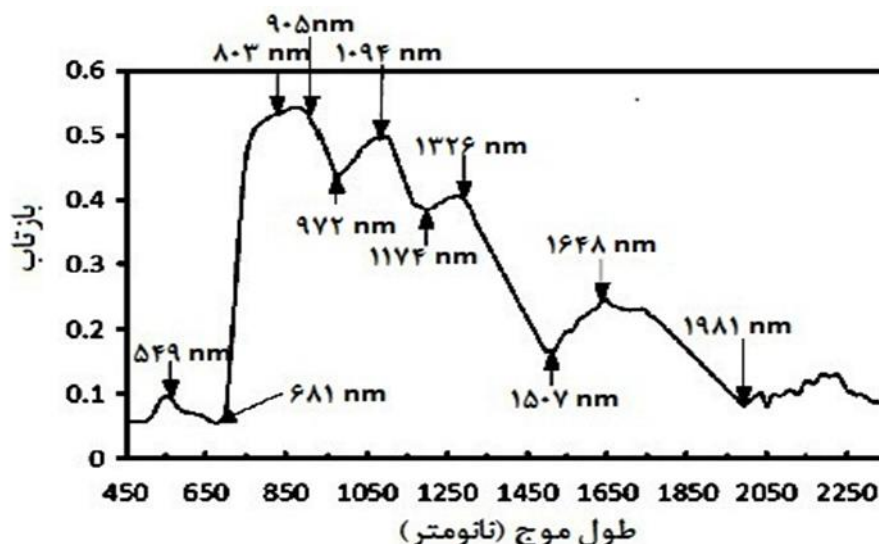
جدول ۳: شاخص های گیاهی مورد استفاده در تحقیق جهت تعیین سطح آب زیرزمینی

منبع	معادله	نام شاخص	گروه های مختلف شاخص گیاهی
[۱۵]	$(R800-R670)/(R800+R670)$	NDVI	گروه اول مرتبط با میزان کلروفیل و ساختمان برگ
[۱۶]	$(R750-R705)/(R750+R705)$	NDVI ₇₀₅	
[۱۷]	$R750/R705$	SR	
[۱۸]	$(R740/R720)$	VOG1	
[۱۹]	$700+40\{[(R670+R780)/2-R700]/(R740-R700)\}$	REP	
[۲۰]	$(R750-R705)/(R750+R705-2R445)$	mNDVI ₇₀₅	گروه دوم مرتبط با میزان کلروفیل و سایر رنگدانه های برگ
[۲۰]	$(R750-R445)/(R705-R445)$	mSR ₇₀₅	
[۲۱]	$[(R700-R670)-0.2(R700-R550)]/(R700/R670)$	MCARI _(670,700)	
[۲۲]	$3[(R700-R670)-0.2(R700-R550)]/(R700/R670)$	TCARI _(670,700)	
[۲۳]	$(1/R550)-(1/R700)$	ARI	
[۲۴]	$1/2 \left[\frac{2R800+1-\sqrt{(2R800+1)^2-8(R800-R670)}}{2} \right]$	MSAVI	گروه سوم مرتبط با میزان کلروفیل برگ و تعدیل کننده انعکاس خاک پس زمینه
[۲۵]	$(1+0.16)(R800-R670)/(R800+R670+0.16)$	OSAVI	
[۲۶]	$(R531-R570)/(R531+R570)$	PRI	گروه چهارم مرتبط با میزان سایر رنگدانه های برگ
[۲۷]	$(R570-R539)/(R570+R539)$	PRI2	
[۲۸]	$(1/R510)-(1/R550)$	CRI	
[۲۹]	$(R1599/R819)$	MSI	
[۳۰]	$(R819-R1649)/(R819+R1649)$	NDII	گروه پنجم مرتبط با میزان آب برگ
[۳۱]	$R900/R970$	WI	
[۳۲]	$(R1070-R1200)/(R1070+R1200)$	NDWI-Hyp	
[۳۳]	$(R860-R1240)/(R860+R1240)$	NDWI	
[۳۴]	$R800/R1660$	DSWI-1	
این تحقیق	$(R803-R681)/\sqrt{(R905+R972)}$	SWSI 1	گروه ششم مرتبط با میزان کلروفیل و آب برگ
این تحقیق	$(R803-R681)/\sqrt{(R1326+R11507)}$	SWSI 2	
این تحقیق	$(R803-R681)/\sqrt{(R972+R1174)}$	SWSI 3	

۳-۵- توسعه شاخص‌های گیاهی جدید

بیشتر شاخص‌های گیاهی موجود، تنها در ارتباط با یک ناحیه طیفی خاص یا یک ویژگی فیزیولوژیکی خاص گیاهان نظیر میزان کلروفیل، آب و یا ساختار گیاهان می‌باشند، اما هر نوع تنشی می‌تواند تاثیرات متفاوتی روی نواحی مختلف طیف الکترومغناطیسی و ویژگی‌های فیزیولوژیکی گیاه داشته باشد. برای مثال تنش ماندابی می‌تواند بر میزان کلروفیل، رنگدانه‌ها، آب، ساختمان و دیگر ویژگی‌های برگ گیاه تاثیر گذار باشد. بر اساس منابع موجود تا کنون شاخص گیاهی جهت تعیین تنش ماندابی وجود ندارد که از ترکیب باندهای جذب آب، جذب کلروفیل و ساختمان برگ به طور توانمند به دست آمده باشد. بنابراین

در این تحقیق اقدام به توسعه شاخص‌های جدیدی که حاصل ترکیب باندهای مربوط به ساختمان برگ، جذب کلروفیل و جذب آب می‌باشند گردید. بدین‌منظور بعد از تحلیل و بررسی طول‌موج‌های مختلف موجود در محدوده طیفی تصویر هایپریون، در هر محدوده طیفی چندین طول موج که بارزترین و مهم‌ترین طول موج آن محدوده طیفی هستند انتخاب گردیدند. این طول‌موج‌ها در شکل ۳ نشان داده شده‌اند. سپس ترکیب‌های مختلف این طول‌موج‌ها یا به عبارتی شاخص‌های مختلف گیاهی بدست آمد و همبستگی و رابطه آنها با میزان سطح آب زیرزمینی مورد ارزیابی قرار گرفت و بهترین شاخص‌ها انتخاب گردیدند.



شکل ۳: طول موج‌های انتخاب شده جهت توسعه شاخص‌های گیاهی جدید

ترکیب‌های مختلف این باندها و باندهای جذب آب مورد ارزیابی قرار گرفت. در نهایت سه شاخص زیر که بالاترین میزان همبستگی با سطح آب زیرزمینی را داشتند انتخاب گردیدند:

بعد از آزمایش ترکیبات متفاوت باندهای مربوط به ساختمان برگ، جذب آب و کلروفیل، مشخص گردید که تفاوت بین انعکاس در باندهای ۸۰۳ و ۶۸۱ نانومتر بهترین شاخص نشان دهنده میزان کلروفیل و شاخص سطح برگ گیاه است. در مرحله بعد

$$SWSI1 = (R803 - R681) / \sqrt{(R905 + R972)}$$

رابطه (۱)

$$SWSI2 = (R803 - R681) / \sqrt{(R1326 + R1507)}$$

رابطه (۲)

$$SWSI3 = (R803 - R681) / \sqrt{(R972 + R1174)}$$

رابطه (۳)

استخراج گردید. سپس مدل رگرسیون خطی برای کمی کردن رابطه بین شاخص های گیاهی و سطح آب زیرزمینی برآزش داده شد. در ادامه با استفاده از مدل های بدست آمده اقدام به تهیه نقشه سطح ایستابی برای تمامی اراضی واقع در محدوده طرح گردید. و در نهایت از داده های اندازه گیری شده سطح آب زیرزمینی در ۳۴ چاهک مشاهده ای مربوط به نمونه های آزمایشی برای صحت سنجی مدل ها و نقشه های سطح آب زیرزمینی استفاده شد. بدین منظور مقادیر سطح ایستابی به دست آمده از نقشه های مستخرج شده در قسمت قبل با مقادیر متناظر آن در این چاهک های مشاهده ای، ارزیابی گردید. بدین منظور از ضریب تعیین (R^2) و مجذور مربع ریشه خطا (RMSE) استفاده شد (معادله ۴).

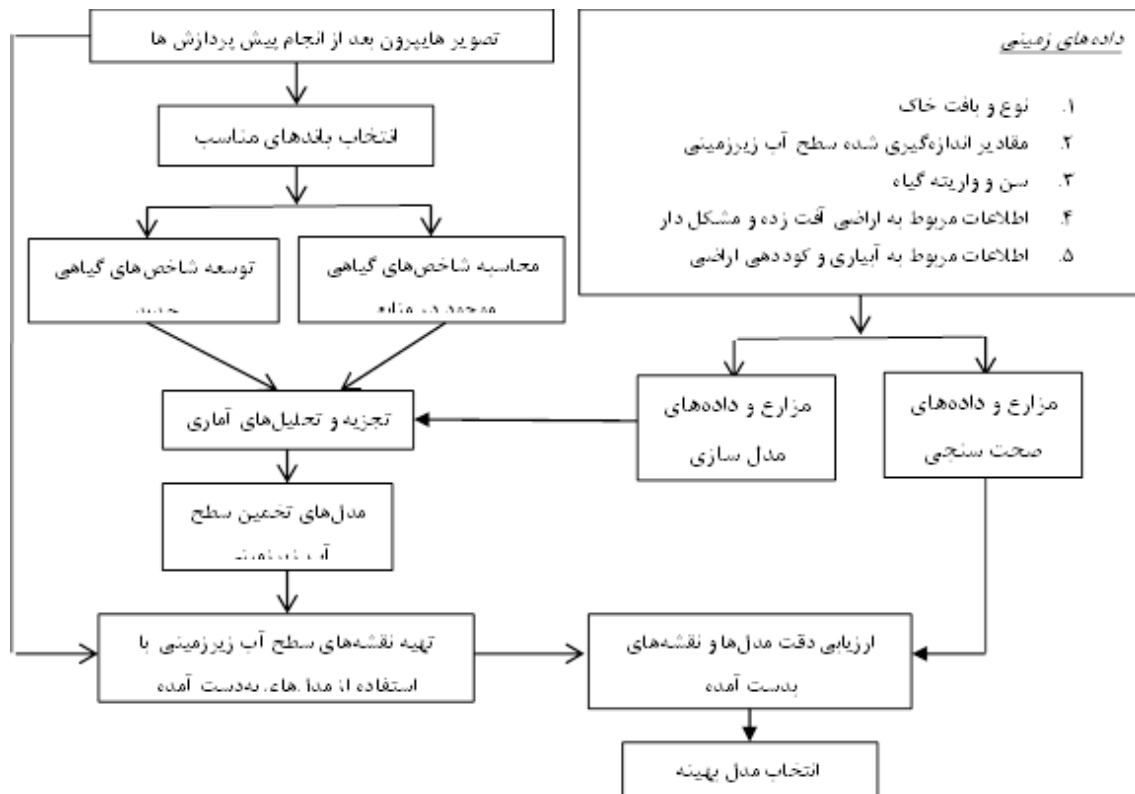
$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - y_i)^2}{n}} \quad \text{رابطه (۴)}$$

در معادله فوق y_i میزان سطح آب زیرزمینی اندازه گیری شده، \hat{y}_i سطح آب زیرزمینی برآورد شده و n تعداد نمونه ها می باشد. خلاصه مراحل مختلف انتخاب مدل بهینه در فلوچارت زیر خلاصه شده است.

در این معادلات R بیانگر میزان انعکاس در طول موج ذکر شده می باشد. دلیل اینکه در مخرج از ریشه دوم استفاده شده است این است که تاثیر ماندآبی بر میزان کلروفیل و شاخص سطح برگ بسیار بیشتر از تاثیر آن بر روی آب گیاه می باشد. در حقیقت با استفاده از ریشه دوم باندهای جذب آب می توان ارزش آنها را در مقایسه با میزان کلروفیل و شاخص سطح برگ برای تنش ماندآبی تعدیل کرد. علاوه بر این استفاده از ریشه دوم، این معادلات را خطی کرده و تاثیرات خاک پس زمینه را کاهش می دهد [۳۵].

۳-۶- مدل سازی سطح آب زیرزمینی با استفاده از شاخص های بدست آمده

بعد از تعیین شاخص های گیاهی، به منظور تخمین سطح آب زیرزمینی اقدام به بررسی رابطه این شاخص ها با مقادیر اندازه گیری شده سطح آب زیرزمینی و تهیه مدل های رگرسیونی خطی ساده و صحت سنجی آنها گردید. بدین منظور از میانگین فصلی داده های اندازه گیری شده سطح آب زیرزمینی در ۴۰ چاهک مشاهده ای اختصاص داده شده به مرحله مدل سازی استفاده گردید و میزان بازتابندگی تصویر هایپرون و شاخص های مختلف گیاهی در پیکسل متناظر با هر چاهک مشاهده ای



شکل ۴: نحوه تهیه مدل بهینه برای تخمین میزان سطح آب زیرزمینی در اراضی نیشکر

۴-نتایج و بحث

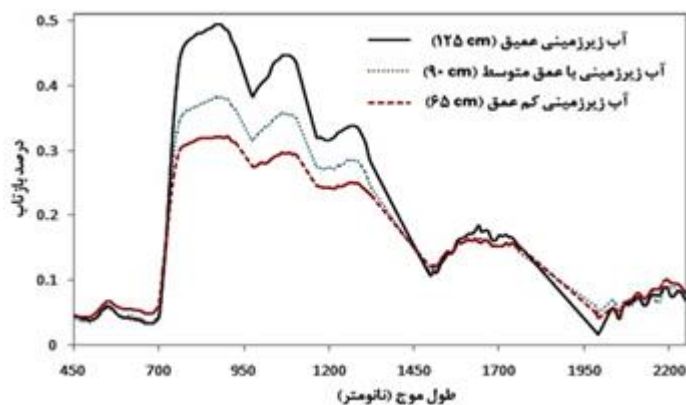
۴-۱- بررسی رابطه بین سطح ایستابی و

بازتابندگی های طیفی گیاه نیشکر

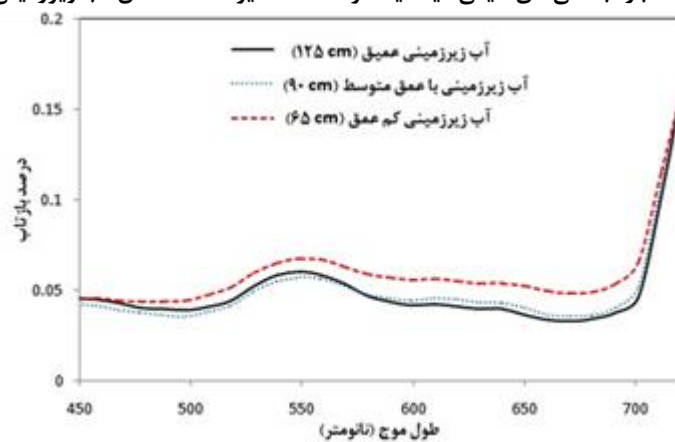
ابتدایی ترین و مهم ترین بخش مدل سازی پارامترهای مختلف محیطی با استفاده از فن سنجش از دور و تصاویر ماهواره ای مطالعه تغییرات طیفی پدیده یا پارامتر مورد نظر تحت شرایط مختلف محیطی حاکم بر آن می باشد. لذا در این قسمت از تحقیق به مطالعه تغییرات طیفی گیاه نیشکر تحت سطوح مختلف سطح آب زیرزمینی به عنوان یک شاخص غیر مستقیم متاثر از نوسانات سطح آب و امکان سنجی استفاده از تصویر ماهواره ای هایپریون، جهت تخمین عمق آب زیرزمینی با استفاده از این تغییرات طیفی

پردازش شده است.

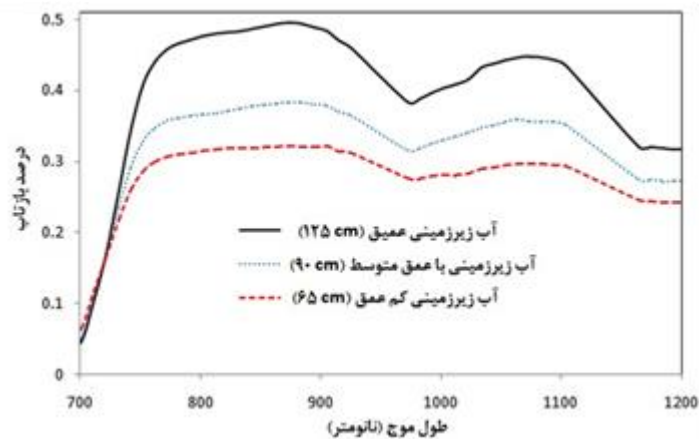
به منظور مطالعه تاثیر عمق آب زیرزمینی بر روی بازتابندگی های طیفی گیاه نیشکر، از اطلاعات قرائت شده در چاهک های مشاهداتی سه مزرعه با سطح ایستابی متوسط ۶۵، ۹۰ و ۱۲۵ سانتیمتری استفاده گردید و بازتابندگی طیفی گیاه نیشکر متناظر با محل های اندازه گیری سطح ایستابی، از روی تصویر هایپریون استخراج گردید، و جهت مقایسه در یک نمودار قرار داده شدند. نتایج این قسمت در شکل (۵) ارائه گردیده است. همچنین جهت بررسی دقیق تر تاثیر عمق آب زیرزمینی بر روی نواحی مختلف طیف الکترومغناطیسی، محدوده های مختلف شکل (۵) در مقیاس بزرگتر در شکل های ۶ تا ۸ ارائه شده است.



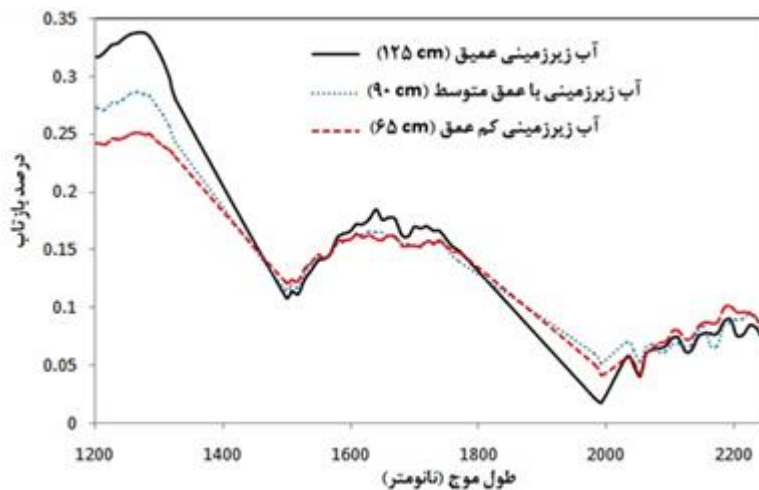
شکل ۵: بازتابندگی‌های طیفی گیاه نیشکر تحت مقادیر مختلف عمق آب زیرزمینی



شکل ۶: بازتابندگی‌های طیفی گیاه نیشکر تحت مقادیر مختلف عمق آب زیرزمینی در محدوده مرئی



شکل ۷: بازتابندگی‌های طیفی گیاه نیشکر تحت مقادیر مختلف عمق آب زیرزمینی در محدوده مادون قرمز نزدیک



شکل ۸: بازتابندگی‌های طیفی گیاه نیشکر تحت مقادیر مختلف عمق آب زیرزمینی در محدوده مادون قرمز میانی

تولیدی باعث کاهش شاخص سطح برگ و افزایش جذب در این محدوده طیفی می‌گردد. در نهایت در محدوده مادون قرمز میانی و بویژه در باندهای جذب آب موجود در این محدوده، با کاهش سطح آب زیرزمینی میزان بازتابندگی طیفی گیاه افزایش می‌یابد. این امر را می‌توان اینگونه تفسیر نمود که با ایجاد شرایط ماندابی عمل تنفس گیاه مختل شده و گیاه به خوبی قادر نیست آب مورد نیاز خود را از محیط ریشه دریافت نماید و به نحوی دچار تنش آبی نیز می‌گردد و میزان آب برگ گیاه کاهش و به تبع آن میزان جذب در باندهای جذب آب کاهش می‌یابد.

از مطالب ذکر شده نتیجه می‌شود با توسعه شاخص‌های گیاهی مرتبط با نواحی مختلف طیف گیاه نیشکر، به خوبی می‌توان اقدام به مدل‌سازی سطح آب زیرزمینی نمود که در ادامه مورد بحث واقع شده است.

۴-۲- بررسی رابطه بین سطح ایستابی و شاخص‌های مختلف گیاهی

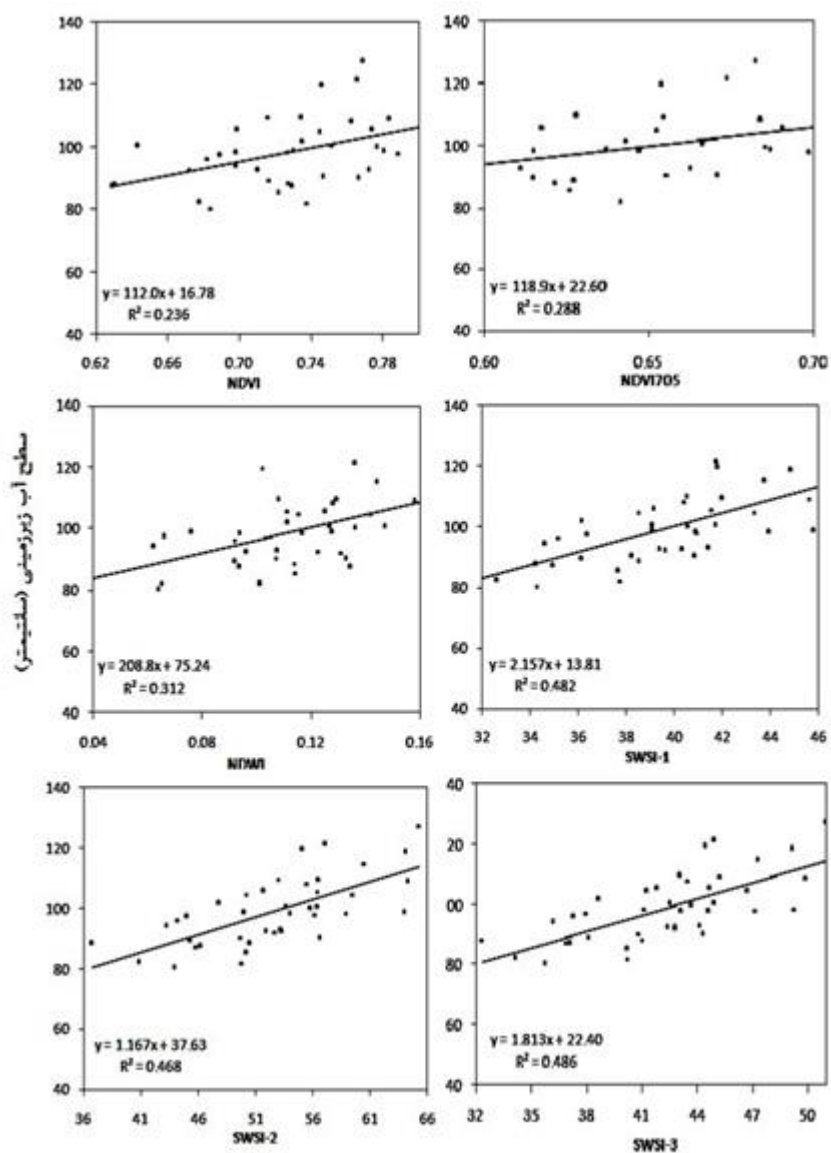
بعد از تحقق این امر که تغییرات عمق آب زیرزمینی، بر روی بازتابندگی‌های طیفی گیاه نیشکر تاثیر گذار است، اقدام به بررسی توانایی شاخص‌های مختلف گیاهی جهت تخمین میزان عمق آب زیرزمینی گردید.

همان‌گونه که از شکل‌های فوق پیداست، میزان بازتابندگی طیفی گیاه نیشکر در محدوده مرئی (VIS) با کاهش سطح آب زیرزمینی، کاهش می‌یابد. دلیل این تغییر را این‌گونه می‌توان بیان داشت که سطح آب زیرزمینی کم عمق و ایجاد شرایط ماندابی برای گیاه به دلیل مختل کردن عمل فتوسنتز گیاه باعث کاهش میزان کلروفیل و سایر رنگ دانه‌های برگ می‌شود. لذا از آنجایی که محدوده مرئی به‌عنوان محدوده اصلی باندهای جذبی کلروفیل و رنگ دانه‌های گیاهی می‌باشد، با کاهش سطح آب زیرزمینی، و به تبع آن کاهش مقادیر کلروفیل و سایر رنگدانه‌های برگ، میزان جذب در این محدوده کاهش و بازتابندگی گیاه افزایش می‌یابد.

در محدوده مادون قرمز نزدیک با کاهش سطح آب زیرزمینی، میزان بازتابندگی گیاه در این محدوده کاهش می‌یابد. دلیل این امر را می‌توان اینگونه بیان داشت که کاهش سطح آب زیرزمینی و ایجاد شرایط ماندابی طولانی مدت برای گیاه در طول دوره رشد، باعث کاهش میزان رشد و نمو گیاه یا به عبارتی کاهش میزان عملکرد یا ماده خشک تولیدی گیاه می‌گردد. بنابراین، از آن جایی که محدوده مادون قرمز نزدیک ارتباط بسیار مستقیم و نزدیکی با میزان ماده خشک گیاه دارد، کاهش میزان ماده خشک

تعیین گردید. نتایج این روابط بر اساس گروه بندی ارائه شده در جدول ۴ برای شاخص های مختلف گیاهی، ارائه شده است. همچنین شکل گرافیکی این روابط برای چند شاخص گیاهی در شکل ۹ ارائه شده است.

بدین منظور اقدام به تعیین میزان همبستگی شاخص های گیاهی ارائه شده در جدول ۴ با مقادیر اندازه گیری شده سطح آب زیرزمینی در مزارع مورد استفاده جهت مدل سازی گردید، و در هر مورد معادله رگرسیون خطی مناسب



شکل ۹: رابطه بین شاخص های مختلف گیاهی و عمق آب زیرزمینی

جدول ۴: رابطه بین عمق آب زیرزمینی (y) و شاخص های مختلف گیاهی (x)

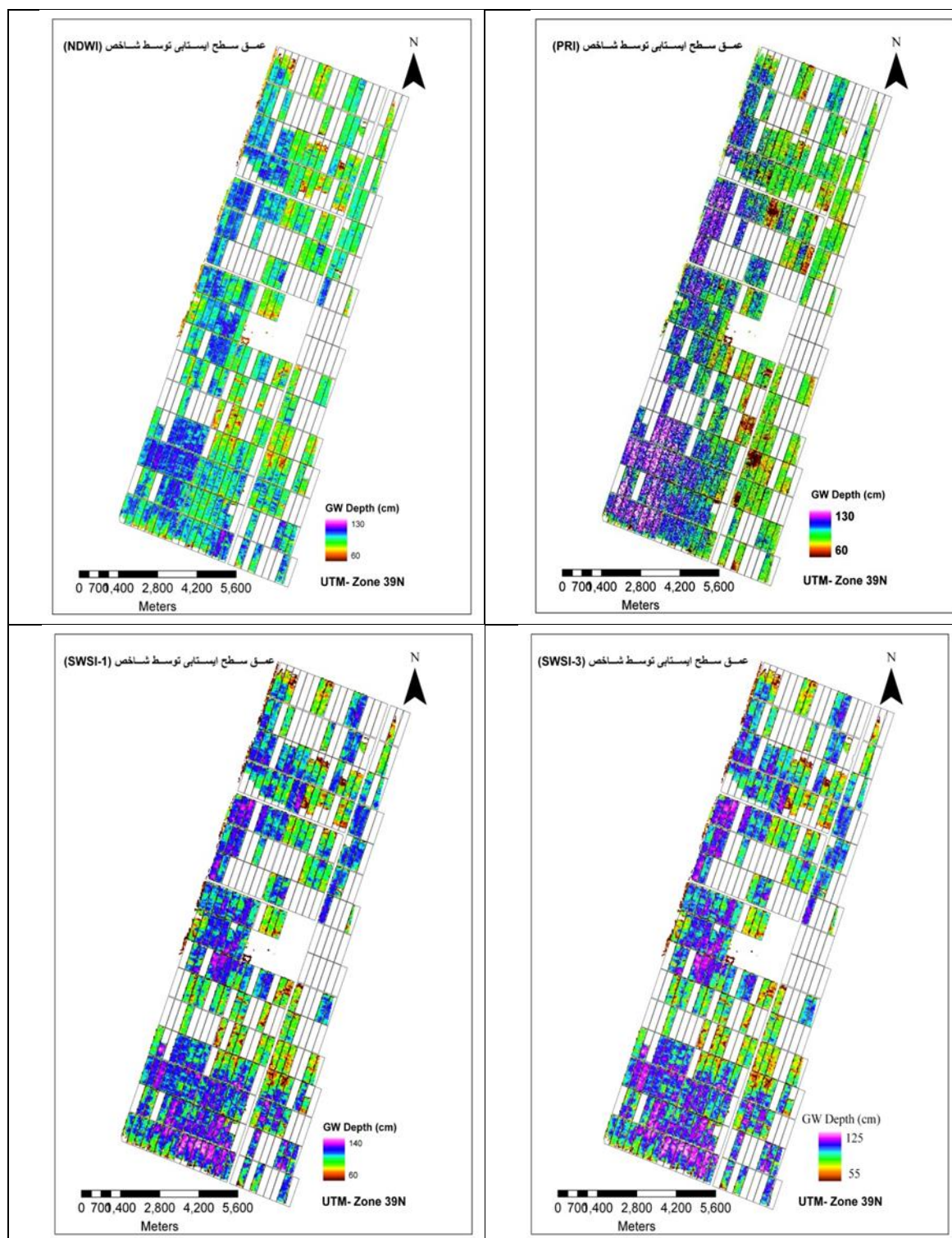
شاخص گیاهی	معادله رگرسیونی	میزان همبستگی (R^2)	شاخص گیاهی	معادله رگرسیونی	میزان همبستگی (R^2)
NDVI	$Y = 112.0x + 16.78$	۰/۲۳۶	SR	$Y = 0.17x + 98.27$	۰.۰۰۱
NDVI ₇₀₅	$Y = 118.9x + 22.60$	۰/۲۸۸	VOG1	$Y = 1.59x + 101.7$	۰.۰۰۱
REP	$Y = 5.444x - 3846$	۰/۳۰	mNDVI705	$Y = 26.43x + 75.96$	۰.۰۳۸
TCARI (670,700)	$Y = 0.012x + 91.78$	۰/۰۱	mSR705	$Y = 0.804x + 86.02$	۰.۲۱۸
ARI	$Y = -53635x + 95.08$	۰/۱۸۴	MCARI	$Y = 0.015x + 95.39$	۰.۰۰۳
PRI 1	$Y = 331.9x + 108$	۰/۱۷۲	MSAVI	$y = 167.8x - 42.95$	۰.۲۳۸
NDII	$Y = 109.0x + 64.99$	۰/۳۲۷	OSAVI	$Y = 97.68x + 15.83$	۰.۲۴۱
WI	$Y = 135.9x - 58.85$	۰/۲۷۵	PRI2	$Y = -395.6x + 93.48$	۰.۲۰۵
NDWI	$Y = 208.8x + 75.24$	۰/۴۷۹	CRI	$Y = 729x + 98.72$	۰.۰۰۱
SWSI-1	$Y = 2.157x + 13.81$	۰/۴۸۲	MSI	$Y = -96.25x + 146.4$	۰.۳۴۰
SWSI-2	$Y = 1.167x + 37.63$	۰/۴۶۸	NDWI_Hyp	$Y = 297.9x + 63.84$	۰.۳۱۴
SWSI-3	$Y = 1.813x + 22.40$	۰/۴۸۶	DSWI	$Y = 26.72x + 47.89$	۰.۳۵۷

لذا در نهایت بر اساس نتایج ارائه شده می توان گفت که بهترین شاخص ها جهت تخمین میزان سطح ایستابی شاخص هایی هستند که از ترکیب باندهای جذب آب و کلروفیل بدست آمده اند و در این میان سه شاخص ارائه شده در این تحقیق بهترین نتایج را به همراه دارند.

۴-۳- تهیه نقشه سطح آب زیرزمینی

بعد از مدل سازی سطح آب زیرزمینی و به دست آوردن مدل های متناسب با هر شاخص، اقدام به تهیه نقشه سطح آب زیرزمینی گردید. بدین منظور ابتدا اراضی محدوده طرح به دو طبقه اصلی کشت شده و بدون محصول تقسیم بندی شدند. سپس اراضی که فاقد محصول بودن ماسک گردیدند. و مدل های بدست آمده در قسمت قبل بر روی تصویر اجرا و نقشه سطح آب زیرزمینی در اراضی تحت کشت نیشکر تهیه گردید. این نقشه ها به صورت موردی برای ۴ شاخص PRI, NDWI, SWSI-1, SWSI-3 در شکل ۱۰ ارائه شده اند.

با توجه به نتایج ارائه شده در جدول (۴) می توان بیان داشت که با استفاده از شاخص های گیاهی بدست آمده از تصاویر ماهواره ای، با یک ضریب همبستگی نسبتاً متوسط می توان اقدام به تخمین عمق آب زیرزمینی در اراضی نیشکر نمود. از تحلیل نتایج می توان به این نکته پی برد که شاخص هایی هم چون SWSI-1، SWSI-2، SWSI-3 و NDWI که در ارتباط با هر دوی میزان آب و کلروفیل برگ هستند نتایج بهتری جهت تخمین میزان سطح ایستابی در اراضی نیشکر دارند. شاخص هایی که تنها در ارتباط با میزان کلروفیل برگ و ماده خشک تولیدی یا به عبارت دیگر شاخص سطح برگ گیاه هستند از قبیل NDVI، REP و NDVI₇₀₅ بعد از گروه اول دارای نتایج نسبتاً متوسطی هستند. اما شاخص هایی که تنها در ارتباط با میزان رنگدانه های خاص موجود در برگ هستند از قبیل PRI، ARI و TCARI همبستگی خوبی با میزان سطح ایستابی از خود نشان نمی دهند.

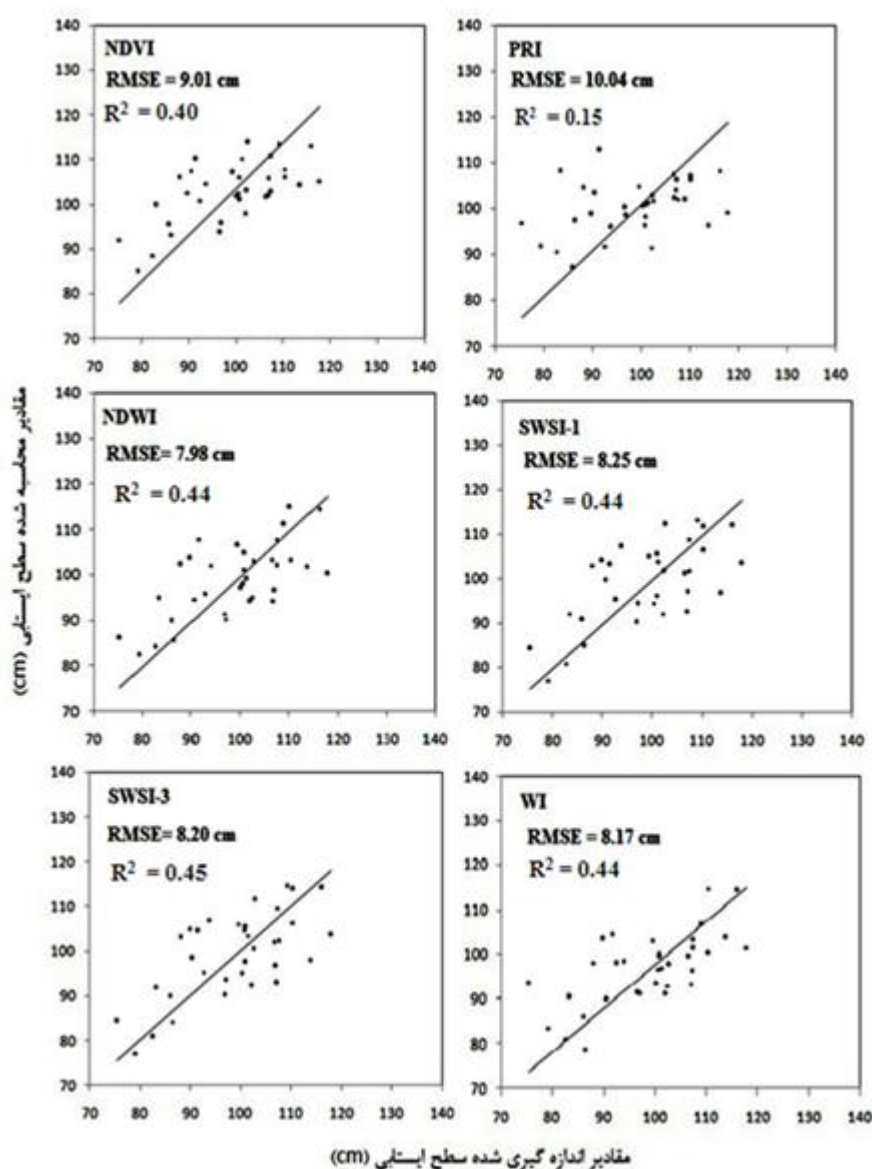


شکل ۱۰: نقشه های سطح آب زیرزمینی تهیه شده توسط مدل های بدست آمده از شاخص های گیاهی

مدل‌های بدست آمده در قسمت قبل با مقادیر واقعی اندازه‌گیری شده در ۳۴ مزرعه در نظر گرفته شده برای صحت سنجی مقایسه گردیده و دقت مدل‌ها و نقشه‌های مستخرج از آنها ارزیابی گردید. نتایج این مقایسه در شکل (۱۱) و جدول (۵) ارائه شده است.

۴-۴- صحت سنجی نتایج بدست آمده از مدل‌های مختلف تخمین سطح ایستابی

در این قسمت از تحقیق اقدام به صحت سنجی مدل‌های بدست آمده جهت تخمین عمق آب زیرزمینی و نقشه‌های بدست آمده توسط آنها گردید. بدین منظور مقادیر تخمین زده شده سطح ایستابی توسط



شکل ۱۱: مقایسه بین مقادیر محاسبه شده و اندازه‌گیری شده سطح ایستابی با استفاده از شاخص‌های گیاهی

جدول ۵: میزان خطای بین مقادیر واقعی و محاسبه شده سطح ایستابی توسط شاخص های گیاهی

میزان همبستگی R^2	میزان خطا (RMSE)	شاخص گیاهی	میزان همبستگی R^2	میزان خطا (RMSE)	شاخص گیاهی
۰/۴۲	۸/۱۸	NDII	۰/۴۰	۹/۰۱	NDVI
۰/۴۴	۸/۱۷	WI	۰/۳۹	۹/۳۲	NDVI ₇₀₅
۰/۴۴	۷/۹۸	NDWI	۰/۱۵	۱۰/۰۹	REP
۰/۴۴	۸/۲۵	SWSI-1	۰/۰۷	۱۰/۳۵	TCARI _(670,700)
۰/۴۴	۸/۳۰	SWSI-2	۰/۱۸	۱۰/۰۹	ARI
۰/۴۵	۸/۲۰	SWSI-3	۰/۱۵	۱۰/۰۴	PRI 1

۵- نتیجه گیری

نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که مقادیر مختلف سطح ایستابی باعث ایجاد تغییرات کاملاً مشخصی در بازتابندگی های طیفی گیاه نیشکر می گردند، که میزان این تغییرات در محدوده های مختلف طیف الکترومغناطیس، متفاوت می باشد. بنابراین از این تغییرات ایجاد شده و با انتخاب محدوده های طیفی مناسب و استخراج شاخص های گیاهی مرتبط با این محدوده ها می توان به مدل سازی عمق آب زیرزمینی نمود. نتایج نشان داد شاخص هایی که براساس باندهای جذب آب یا ترکیب باندهای جذب آب و کلروفیل بدست آمده بودند در مقایسه با شاخص هایی که تنها بر اساس باندهای جذب کلروفیل یا شاخص سطح برگ گیاه به صورت مجزا بدست آمده اند، برآورد بهتری از عمق سطح ایستابی داشتند.

نتایج نشان می دهد که مدل های بدست آمده توسط شاخص های NDII، WI، NDWI، SWSI-1، SWSI-2 و SWSI-3 به ترتیب با میزان خطای ۸/۱۷، ۷/۹۸، ۸/۲۰، ۸/۳۰، ۸/۲۵ و ۸/۳۰ (سانتیمتر) بهترین برآورد را داشته اند. به طور کلی، شاخص هایی که براساس باندهای جذب آب یا ترکیب باندهای جذب آب و کلروفیل بدست آمده بودند در مقایسه با شاخص هایی که تنها بر اساس باندهای جذب کلروفیل یا شاخص سطح برگ گیاه به صورت مجزا بدست آمده اند، برآورد بهتری از عمق سطح ایستابی داشتند. همچنین نتایج حاصل از شاخص های مربوط به سایر رنگدانه های گیاهی با برآورد دقیقی همراه نبودند. لذا در نهایت نتیجه گیری می گردد که مناسب ترین شاخص ها جهت تعیین میزان سطح ایستابی شاخص هایی است که بصورت ترکیبی از باندهای جذب آب و کلروفیل بدست آمده اند.

مراجع

- [1] E. Northoff, "No global water crisis - but many developing countries will face water scarcity", <http://www.fao.org/english/newsroom/news/2003/15254-en.html>, 2004.
- [2] Iranian National Committee on Irrigation and Drainage, Proceedings of a technical workshop on the implementation problems of drainage systems. Issue No. 23, 1999.
- [3] P. R. Moghaddam, and A. Koocheki, "History of research on salt-affected lands of Iran: Present status and future prospects—halophytic ecosystems. In Prospects of Saline Agriculture in the Arabian

- Peninsula", Proceedings of the International Seminar on Prospects of Saline Agriculture in the GCC Countries, Taha FK, Ismail S, Jaradat A (eds). Dubai; 83-95, 2004.
- [4] J.E, Irvine, C.A. Richard, C.E. Carter & J.W. Duncelman, "The effect of row spacing and subsurface drainage on sugarcane yields", Sugarcane 2: 3-5, 1984.
- [5] V.K, Choubey, "Detection and delineation of Waterlogging by remote sensing techniques", J. Indian Soc. Remote Sensing 25 (2), 123-135.1997.
- [6] R.S, Dwivedi, K, Sreenivas, "The vegetation and waterlogging dynamics as derived from space borne multispectral and multitemporal data", Int. J. Remote Sensing 23 (4), 2729-2740.2002.
- [7] S, Agarwal, "Monitoring of water logging in part of Sharda Sahayak command area using landsat data", India Seminar on water logging and drainage. Roorkee (UP), pp 13-18. 1990.
- [8] P. S, Sidhu, P, Sharma, and BM. S, ajwa, "Characteristics, distribution and genesis of salt affected soils in Punjab", Photonirvachak 19(4), 269-276. 1991.
- [9] V.K, Choubey, "Assessment of waterlogging area in INGP stage 1 by remote sensing techniques", Report No CS (AR) 138 NIH Roorkee.1994.
- [10] N. M, Khan, V. V, Rastoskuev, Y, Sato and, S. Shiozawa, "Assessment of hydrosaline land degradation by using a simple approach of remote sensing indicators", Agricultural Water Management 77(1-3): 96-109, 2005.
- [11] J, Xiaomei, W, Li, Z, Youkuan, X, Zhongqi, Y, Ying, "A Study of the Relationship Between Vegetation Growth and Groundwater in the Yinchuan Plain", Earth Science Frontiers, 14(3): 197-203. 2007.
- [12] V.M, Chowdary, R. Vinu Chandran , N. Neeti , R.V. Bothale , Y.K. Srivastava , P. Ingle , D. Ramakrishnan , D. Dutta , A. Jeyaram , J.R. Sharma , Ravindra Singh, "Assessment of surface and sub-surface waterlogged areas in irrigation command areas of Bihar state using remotesensing and GIS", Agricultural water management 95 , 754 - 766. 2008.
- [13] R, Beck, "EO-1 User Guide v 2. 3", Department of Geography University of Cincinnati.2003.
- [14] D.G, Goodenough, A, Dyk, O, Niemann, J.S, Pearlman, H, Chen, T, Han, M, Murdoch, C, West, "Processing HYPERION and ALI for Forest Classification", IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing, 41(2), pp.1321-1331.2003.
- [15] C. J, Tucker, "Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation", Remote Sensing of Environment, 8, 127-150.1979.
- [16] A, Gitelson, M.N, Merzlyak, "Spectral reflectance changes associated with autumn senescence of Aesculus Hippocastanum L. and Acer platanoides L. leaves: spectral features and relation to chlorophyll estimation", Journal of Plant Physiology, 143, 286-292.1994.
- [17] J. W, Rouse, R. H, Haas, J. A, Schell, D. W, Deering, "Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS", Proceedings of Third ERTS-1 Symposium, Washington, DC, 10-14 December, NASA, SP-351, vol. 1, 309- 317. 1973.
- [18] J.E, Vogelmann, B.N, Rock, D.M, MossRed, "Edge Spectral Measurements from Sugar Maple Leaves", International Journal of Remote Sensing, 14, 1563-1575., 1993.
- [19] J. G. P.W, Clevers, S. M, De Jong, G. F, Epema, F, Van der Meer, W. H, Bakker, A, Skidmore, K. H, Scholte, "Derivation of the red edge index using MERIS standard band setting", International Journal of Remote Sensing, 23, 3169-3184.2002.
- [20] D. A, Sims, and J. A, Gamon, "Relationship between leaf pigment content and spectral reflectance across a wide range of species, leaf structures and developmental stages", Remote Sensing of Environment, 81, 337-354.2002.

- [21] C. S. T, Daughtry, C. L, Walthall, M. S, Kim, E, Brown de Conlston, III, J. E, McMurtrey, "Estimating corn leaf chlorophyll concentration from leaf and canopy reflectance", *Remote Sensing of Environment*, 74, 229–239.2000.
- [22] D., Haboudane, J.R, Miller, N, Tremblay, P.J, Zarco-Tejada, L, Dextraze, "Integrated narrow-band vegetation indices for prediction of crop chlorophyll content for application to precision agriculture", *Remote Sensing of Environment*, 81, 416–426.2002.
- [23] A. A, Gitelson, M. N, Merzlyak, O. B, Chivkunova, "Optical properties and nondestructive estimation of anthocyanin content in plant leaves" *Photochemistry and Photobiology*, 74, 38–45.2001.
- [24] J, Qi, A, Chehbouni, A. R, Huete, Y. H., Kerr, S, Sorooshian, "A modified soil adjusted vegetation index", *Remote Sensing of Environment*, 48, 119–126.1994.
- [25] G, Rondeaux, M, Steven, F, Baret, "Optimization of Soil-Adjusted Vegetation Indices", *Remote Sensing of Environment*, 55, 95–107.1996.
- [26] J. A, Gamon, J, Penuelas, C. B, Field, "A narrow-waveband spectral index that tracks diurnal changes in photosynthetic efficiency", *Remote Sensing of Environment*, 41, 35–44.1992.
- [27] I, Filella, T, Amaro, J.L, Araus, J, Penuelas, "Relationship between photosynthetic radiation-use efficiency of barley canopies and the photochemical reflectance index (PRI)" *Physiologia Plantarum*, 96, 211–216.1996.
- [28] A. A, Gitelson, Y, Zur, O. B, Chivkunova, M. N, Merzlyak, "Assessing carotenoid content in plant leaves with reflectance spectroscopy" *Photochemistry and Photobiology*, 75, 272–281.2002.
- [29] E.R.M, Hunt Jr, B.N. Rock, "Detection of Changes in Leaf Water Content Using Near-And Middle-Infrared Reflectances", *Remote Sensing of Environment*, 30: 43-54.1989.
- [30] T.J, Jackson, D, Chen, M, Cosh, F, Li, M, Anderson, C, Walthall, P, Doriaswamy, E.R, Hunt, "Vegetation Water Content Mapping Using Landsat Data Derived Normalized Difference Water Index for Corn and Soybeans", *Remote Sensing of Environment*, 92, 475-482.2004.
- [31] J, Penuelas, J, Pinol, R, Ogaya, I, Filella, "Estimation of plant water concentration by the reflectance water index wi (r900/r970)", *International Journal of Remote Sensing*, 18, 2869-2875.1997.
- [32] S. L, Ustin, D. A, Roberts, M, Gardner, P, Dennison, "Evaluation of the potential of Hyperion data to estimate wildfire hazard in the Santa Ynez Front Range, Santa Barbara, California", *Proceedings of the 2002 IEEE IGARSS and 24th Canadian Symposium on Remote Sensing*, 796–798.2002.
- [33] B.Gao, "NDWI—a normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space", *Remote Sensing of Environment*, 58, 257–266.1996.
- [34] A, Apan, A, Held, S, Phinn, J, Markley, "Detection of sugarcane 'orange rust' disease using EO-1 Hyperion hyperspectral imagery", *International Journal of Remote Sensing*, 25, 489–498.2004.
- [35] J.L, Rougean, F. M, Breon, "Estimating PAR absorbed by vegetation from bidirectional reflectance measurements", *Remote Sensing of Environment*, 51, 375–384.1995.

..



Modeling Shallow Groundwater Depth Using Hyperion Hyperspectral Imagery

Said Hamzeh^{1*}, Abdol Ali Naseri², Seied Kazem Alavipanah³, Barat Mojaradi⁴.

1- Assistant Professor, Department of Remote Sensing and GIS, Faculty of Geography, University of Tehran.

2- Professor, Department of Irrigation and Drainage, Faculty of Water Science Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz.

3- Professor, Department of Remote Sensing and GIS, Faculty of Geography, University of Tehran.

4- Assistant professor, Department of Geomatics Engineering, School of Civil Engineering, Iran University of Science and Technology.

Abstract

Current study was conducted in order to finding the best models to estimating groundwater depth using Hyperion hyperspectral satellite imagery in the sugarcane fields located in the southwest of Iran. For this purpose ground water level was measured in 132 observation wells from the beginning of May 2010 till end of September 2010, twice per week, in the Hakim Farabi farming and industrial lands. Moreover, from the other collected information like daily weather information, age and variety of sugarcane, planting and harvesting date of plants, managerial operations such as date and amount of the fertilization, irrigation and drainage information in the Hakim Farabi farming and industrial lands were used. In a same time with measuring the ground data, a hyperspectral satellite image of Hyperion sensor was acquired on September 2, 2010. After applying necessary pre-processing on the image, the changes in the spectral reflectance of the sugarcane under different values of groundwater depths was studied. Afterwards, it was tried to obtain appropriate models for estimating ground water depth. For this purpose, capability of 21 vegetation indices ,related to defferent regions of spectral reflectance of crops, was studied. Besides of these indices three new vegetation indices (SWSI-1, SWSI-2 and SWSI-3) were developed in this study. Results show that, variations of groundwater depths have a significant effect on spectral reflectance of sugarcane. Among the vegetation indices, indices related to water absorption bands or based on a combination of chlorophyll and water absorption bands had the highest correlation with groundwater depth. Obtained models from the two vegetation indices developed in this study (SWSI-1, SWSI-3) and NDWI yield the best results for estimating groundwater depth with R2 of 0.48, 0.48 and 0.47 and root mean square errors of 8.20, 8.25 and 7.98 cm respectively. Conclusions from this study indicate that using hyperspectral satellite imagery to monitoring water table in the sugarcane fields has an acceptable, fast and economical results.

Key words: Groundwater table, Hyperspectral Imagery, Spectral reflectance, Vegetation Index, Sugarcane