

تعیین نیاز آبی محصول ذرت با استفاده از تکنیک های سنجش از دور (مطالعه موردی: شهرستان روانسر)

منصوره ناظمی هرسینی^۱، میر مسعود خیرخواه زرکش^۲، جهانگیر پرهمت^۳

^۱ فارغ التحصیل کارشناسی ارشد رشته RS & GIS دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات.

^۲ دانشیار پژوهشی پژوهشکده حفاظت خاک و ابخیزداری کشور، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، وزارت جهاد کشاورزی.

^۳ استاد پژوهشکده حفاظت خاک و ابخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران.

نام نویسنده مسئول:

منصوره ناظمی هرسینی

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۴/۷

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۶/۲۶

چکیده

تأمین و تعیین آب مورد نیاز گیاهان در بخش کشاورزی به عنوان یکی از پر مصرفترین بخش ها یک امر مهم و اساسی تلقی می گردد. چرا که این بخش باید ضمن مصرف آب کمتر، تولید بیشتری را عرضه کند. بدست آوردن میزان تبخیر و تعرق به عنوان یکی از پارامترهای مهم در محاسبه میزان آب مصرف شده توسط گیاهان کمک شایانی به کشاورزان و متخصصین جهت آبیاری به موقع و مدیریت منابع آب می کند. محاسبه پارامتر مذکور بدلیل مشکلات موجود ناشی از اندازه گیری های میدانی و به عبارتی دقت پایین آن، مشکل و عملاً به وقت و هزینه زیادی نیاز دارد. با توجه به قابلیت های تکنیک سنجش از دور و الگوریتم های وابسته به آن مانند سبال (SEBAL) تا حد زیادی دسترسی ارزان و سریع به مقدار تبخیر و تعرق واقعی گیاهان تسهیل شده است. الگوریتم سبال یک بیان کامل از تشعشع و انرژی سطوح بصورت لحظه ای را در هر پیکسل محاسبه می کند. این پژوهش با هدف تعیین نیاز آبی محصول ذرت با استفاده از تکنیک های سنجش از دور الگوریتم سبال و تصاویر لندست ۸ (LANDSAT 8) در مزارع شهرستان روانسر انجام گرفت و مقادیر حاصل از روش سبال برای تاریخ های تصویر که مربوط به مراحل رشد ذرت می باشد به ترتیب برابر با ۵ / ۳، ۵ / ۴، ۸۲ / ۵، ۶۱ / ۴ و ۵۳ / ۴ میلیمتر در روز می باشد که کمترین نیاز آبی مربوط به ماه می (اواخر اردیبهشت) و بیشترین نیاز آبی مربوط به ماه جولای (مرداد ماه) است. همچنین نتایج حاصل از الگوریتم سبال جهت ارزیابی با روش پنمن - مونتیت مورد صحت سنجی و مقایسه قرار گرفت که نتایج حاصل نشان می دهد الگوریتم سبال با مقدار ۱. RMSE=۷۸ و MBE=۰/۴۶ دارای تطابق خوبی با روش پنمن مونتیت می باشد.

واژگان کلیدی: الگوریتم سبال (SEBAL)، ذرت، تبخیر و تعرق، تصاویر لندست ۸ (LANDSAT 8).

مقدمه

آب مایه حیات و عامل اصلی فعالیتهای کشاورزی به شمار می رود. مسئله آب با تولید ملی، امنیت غذایی، بهداشت و توسعه ملی ارتباط مستقیمی داشته و در تمام ابعاد زندگی مردم تأثیر گذار بوده، به همین جهت یکی از مهمترین مسائل در حال حاضر کشور می باشد. ایران از جمله کشورهای واقع در منطقه می خشک و نیمه خشک دنیا است که از لحاظ میزان بارندگی سهم ناچیزی را به خود اختصاص داده است (میانگین سالانه ۲۵۰ میلی متر) که این امر خود میتواند زنگ خطری برای نحوه استفاده بهینه از منابع آب در مصارف گوناگون از جمله کشاورزی به عنوان بزرگترین مصرف کننده آب از میان سه بخش صنعت، کشاورزی و خدمات باشد. تبخیر و تعرق به عنوان یک فرآیند مهم در سیکل هیدرولوژی مطرح می باشد که با آگاهی از آن می توان مقدار آب مصرفی توسط گیاهان را محاسبه و منابع آب را مدیریت کرد تا از اتلاف آن جلوگیری به عمل آید. اندازه گیری تبخیر و تعرق بسیار مشکل تا جاییکه در مقیاس جهانی حدود ۵۷ درصد آبی که روی خشکی ها به صورت نزولات جوی فرو می ریزد مستقیماً تبخیر می شود (علیزاده ۱۳۸۸). ذرت نیز به عنوان یک غله غذایی مهم در زنجیره غذایی انسان، سرشار از مواد مغذی است که اکثر کشاورزان تمایل به کاشت آن دارند اما چون یک غله گرمسیری است به آب زیادی جهت رشد نیاز دارد و مسئله تأمین آب مورد نیاز یکی از معضلات آن می باشد. لذا با محاسبه و آگاهی از میزان تبخیر و تعرق از سطح یک مزرعه می توان به مقدار نیاز آبی یک گیاه یا محصولی خاص در طی فصل رشد دست یافت. به عبارتی تبخیر و تعرق واقعی یک گیاه برابر با نیاز آبی آن در نظر گرفته می شود. با برنامه ریزی های لازم می توان آبیاری مناسب و به موقع انجام داد تا ضمن مصرف آب کمتر، در نهایت محصول مناسبی عاید کشاورز گردد. تکنیک سنجش از دور و استفاده از تصاویر ماهواره ای و انجام آنالیزهای مرتبط می تواند در این امر راه گشا باشد.

نیاز آبی گیاه و ضریب گیاهی

نیاز آبی گیاه به مقدار آبی گفته می شود که برای رشد گیاه در یک منطقه و در زمان معین (روز، ماه، فصل رویش و یا سال بر حسب میلی متر) به مصرف تبخیر و تعرق برسد. در واقع محاسبه می تبخیر - تعرق برابر مقدار آبی است که باید به یک گیاه با پوششی خاص از مزرعه داده شود تا بدون آنکه با تنش آبی مواجه گردد، در نهایت بتواند حداکثر محصول را تولید کند.

$$ET_c = K_c(ET_0)$$

بر اساس رابطه فوق K_c ضریب گیاهی گیاه مورد نظر است که با توجه به دوره و زمان رشد مقدار آن متغیر است و برای هر دوره از فصل رویش یعنی ابتدایی، میانی و پایانی بر اساس پیشنهاد فائو منحنی تغییرات رویش رسم می گردد. ET_0 مقدار تبخیر و تعرق مرجع می باشد.

انواع روش های برآورد تبخیر و تعرق

روش مستقیم

لایسیمتر

یا جعبه کشت وسیله ای است که قسمتی از خاک مزرعه را در بر گرفته و به استثناء سقف بقیه دیواره های آن بسته می باشد.

در واقع لایسیمتر در حکم مخزنی از خاک با حجم ثابت است و میزان آب ورودی و خروجی آن و ظرفیت نگهداری خاک داخل آن کاملاً مشخص می باشد. از انواع آن می توان به لایسیمترهای زهکشدار، وزنی، شناوری و با بار هیدرولیکی نام برد.

غیر مستقیم

استفاده از روش های غیر مستقیم پیچیده تر از روش مستقیم است و به پارامترهایی نظیر ضرایب گیاهی، تبخیر و تعرق مرجع نیاز است.

آیرودینامیکی

بر اساس پخشیدگی مولکولی و پخشیدگی متلاطم می باشد و باعث انتقال مولکول های آب از گیاه به هوا می شود. این نوع روش ها هزینه بر بوده و نیاز به افراد متخصص و ماهر دارد^۱

توازن انرژی

از کاربردی ترین روش های تخمین تبخیر و تعرق است که با استفاده از سنجش از دور و تصاویر ماهواره ای قابل انجام است و بیشتر جنبه می تحقیقاتی دارند.

توان انرژی:

۱. SEBAL

۲. SEES

۳. METRI

ترکیبی

ترکیبی از انواع روش های مختلف مانند آیرودینامیک و توان انرژی است.

ترکیبی:

۱. پنمن - رایت

۲. پنمن - فائو

۳. پنمن - مونتیث

۴. پنمن - مونتیث - فائو

تجربی

فرمول های مبتنی بر تبخیر و تعرق مرجع می باشد که هر کدام بسته به کاربرد دارای پارامترهای مختلفی هستند.

الگوریتم بیلان انرژی در سطح زمین سبال (SEBAL)

الگوریتم بیلان انرژی در سطح زمین یا سبال (SEBAL) اولین بار توسط دکتر ویم باستیانسن از موسسه بین المللی هواشناسی و زمین در هلند مطرح شد. سبال یکی از روش های برآورد تبخیر و تعرق با استفاده از داده های تصاویر رقومی است که توسط ماهواره ها اندازه گیری می شود. این مدل یک بیلان کامل از تشعشع و انرژی سطوح به همراه جریان گرمای محسوس و زبری آئرودینامیک سطوح تهیه می کند. این مدل مبتنی بر ۲۵ زیر مدل برای محاسبه تبخیر و تعرق به عنوان باقی مانده بیلان انرژی سطحی زمین است.^۲

کلیدهای کار سبال

- از بازتاب انرژی خورشیدی استفاده می کند.

- شاخص گیاهی

- دمای سطحی

^۱ کریمی ۱۳۹۰

^۲ باستیانسن و همکاران ۱۹۹۸

- تغییرات نسبی در دمای سطح
- سرعت باد با استفاده از ایستگاههای زمینی
- سبال به موج کوتاه و باند حرارتی نیاز دارد.
و همچنین می تواند از تصاویر ماهواره های مختلف نظیر ASTER - AVHRR - MODIS - LANDSAT و ... استفاده کند.

با استفاده از باندهای مرئی، مادون قرمز نزدیک و حرارتی ماهواره لندست می توان میزان تبخیر و تعرق را با الگوریتم سبال در هر زمان گذر ماهواره محاسبه کرد. یکی از مزایای این الگوریتم می تواند آگاهی به تولید کنندگان در مورد سلامت محصولات و نحوه و میزان آب مورد نیاز برای آبیاری محصولات کشاورزی باشد.

مزایای استفاده از این روش

- ET که با ماهواره بدست می آید می تواند اطلاعات قابل اطمینانی ارائه دهد.
- ET می تواند از راه دور تعیین گردد.
- ET می تواند در مقیاس های بزرگ فضایی تعیین گردد.
- ET می تواند در فضا و زمان های مختلف قابل اندازه گیری باشد.

علم سنجش از دور

علم و فن دریافت اطلاعات از اشیاء و عوارض بدون تماس فیزیکی با آن ها سنجش از دور نام دارد. با پیشرفت این علم و پیشرفت هایی که در صنعت هوانوردی و هواپیمایی از جمله پرتاب ماهواره بوجود آمد بسیاری را بر آن داشت که استفاده از این فن می تواند دریچه ای تازه به روی علاقه مندان به صنعت و علم سنجش از دور باشد.
بر این اساس ماهواره های مختلف با قدرت های تفکیکی متنوع از سوی سازمان ها به فضا پرتاب شد.
از جمله می توان به ماهواره های SENTINEL MODIS NOAA SPOT LANDSAT و ... اشاره کرد که هر کدام با توجه به کارایی برای اهدافی مانند هواشناسی، زمین شناسی، تجاری و .. طراحی شده اند.

سنجنده

هر پدیده ای که انرژی تابش الکترو مغناطیسی منعکس شده از پدیده های مختلف یا سایر انرژی های ساطع شده مانند مادون قرمز و حرارتی را از اشیاء جمع آوری کند و به طور مناسب اطلاعات مفیدی از اشیاء را عرضه کند سنجنده نامیده می شود.^۳
سنجنده ها را بر اساس منبع انرژی می توان به دو نوع فعال و غیر فعال تقسیم کرد.

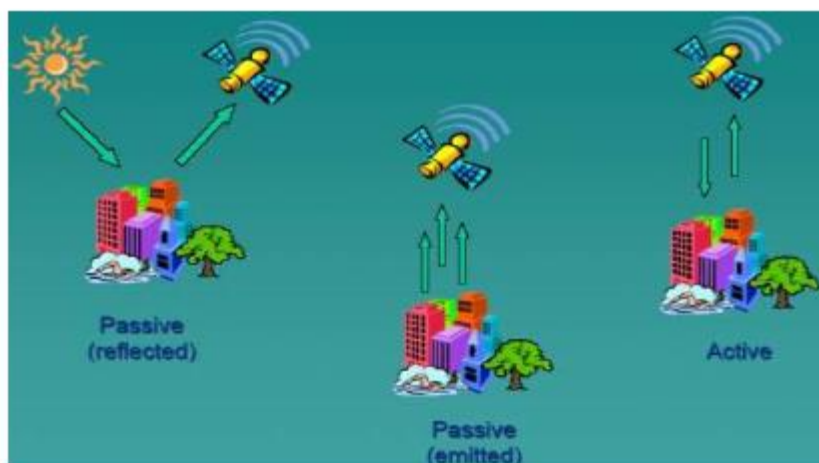
سنجنده فعال (Active)

این نوع سنجنده ها خود دارای منبع انرژی مصنوعی اند به این صورت که انرژی لازم را به سمت اشیاء ارسال کرده و سپس بازتاب آن را دریافت می کنند. رادار و لیدار یک سنجنده فعال محسوب می شوند.

سنجنده غیر فعال (Passive)

این نوع سنجنده ها از بازتاب انرژی خورشیدی تابیده شده بر اجسام استفاده می کنند. به عبارت دیگر خود دارای هیچ منبع انرژی نبوده و به انرژی خورشیدی متکی هستند. مانند انواع ماهواره های سنجش از دور.

^۳ (ضیائیان فیروز آبادی و پروین، ۱۳۸۸ به نقل از لنگ باف، ۱۳۸۳).



شکل ۱: انواع سنجنده براساس منبع انرژی

نوع دیگر تقسیم بندی سنجنده ها بر اساس بازده اطلاعاتی آن ها می باشد.

سنجنده های تصویری (Imaging Sensors)

اطلاعات حاصل از این نوع سنجنده قابل تبدیل به عکس است که خود به دو نوع مصور و رقومی تقسیم می شود.

مصور یا فتواینتیکی (pictural Length)

بازده اطلاعاتی این نوع سنجنده ها مستقیما قابلیت تبدیل به عکس را دارند. مانند دوربین های عکاسی که جز اولین سنجنده های مورد استفاده بشر می باشند.

عددی یا رقومی (Namerical Sensors)

این نوع سنجنده ها بیشترین کاربرد را در علم سنجش از دور دارند و بازده اطلاعاتی این نوع سنجنده بصورت ارقام است و پس از طی مراحل پردازشی خاصی تبدیل به عکس می شوند. این نوع سنجنده بیشتر بر روی ماهواره ها نصب می شود و بازده اطلاعاتی آن بدون نیاز به باز گرداندن سنجنده به زمین در اختیار کاربر قرار می گیرد.

قدرت تفکیک سنجنده

قدرت تفکیک عبارت است از میزان توانایی یک سامانه سنجنده از جنبه های لنز، فیلتر، ضبط، نمایش، نوردهی و نورگیری، قدرت پردازش و سایر فاکتورها برای اینکه بتواند تصویری قابل قبول ارائه دهد.^۴ با توجه به این تعریف سنجنده ها دارای ۴ نوع قدرت تفکیک هستند.

۱- تفکیک طیفی: تعداد باند و پهنای باند و محدوده ای از طیف الکترومغناطیس که باند ها در آن قرار دارند.

۲- تفکیک مکانی: کوچکترین شی یا پدیده ای که در تصویر قابل مشاهده است. به عبارتی همان اندازه پیکسل های تصویر است. مثلا قدرت تفکیک مکانی لندست ۳۰ متر است که منظور این است که کوچکترین شی قابل مشاهده در این ماهواره با ابعاد ۳۰ متر است و کوچکتر از آن قابل مشاهده نیست.

۳- تفکیک رادیو متریک: تعداد سطوح رقومی که در هر سنجنده جهت نمایش اطلاعات بکار می رود.

هر چه تعداد این سطوح بیشتر باشد جزئیات بیشتری را نمایش می دهد. مثلا یک تصویر ۸ بیتی قادر است سطوحی از ۱ تا ۲۵۵ را در تصویر نمایش دهد.

۴- تفکیک زمانی: مدت زمانی که سنجنده بتواند دقیقاً منطقه مشخصی را با یک زاویه دید مشخص دوباره در دید خود داشته باشد.^۵

پیشینه تحقیق

مطالعات و تحقیقات داخلی

- در تحقیقی که توسط (رمضانی خوجین، ۱۳۹۵) صورت گرفت، به حساسیت تبخیر و تعرق با مدل بیلان انرژی روزانه و مقایسه آن با مدل سبال پرداختند. نتایج آن تطابق خوبی با داده های لایسیمتری، تشت تبخیر و تبخیر و تعرق پتانسیل نشان داده است. همچنین نتایج حاصل با نتایج تحلیل حساسیت سبال که توسط Klavarian Nahzak مطالعه شده بود بررسی گردید که نتایج حاکی از این است که در مدل پیشنهادی داده های با حساسیت بالا با دقت بیشتری ثبت شوند. در آخر نتایج تحلیل حساسیت مدل پیشنهادی با مدل سبال نشان دهنده این بود که به جز دمای سطح در بقیه موارد همپوشانی قابل توجهی بین دو مدل وجود دارد.

- در پژوهشی (لنگ باف، ۱۳۹۳) با استفاده از تصاویر ماهواره ای و الگوریتم سبال به تعیین تبخیر و تعرق واقعی (نیاز آبی گیاه ذرت و باغات زراعی اراضی شمال خوزستان پرداخت. مقادیر حاصل از روش سبال با مقادیر حاصله از روش های فائو -پنمن - مونتیت و تشتک تبخیر مورد ارزیابی قرار گرفت و ریشه میانگین مربعات خطا و میانگین مطلق نسبت به روش فائو-پنمن - مونتیت در مزرعه ذرت به ترتیب ۰/۴۵ و ۰/۱۸ و ۰/۷۳ و ۰/۶۷ میلیمتر در روز است. ریشه میانگین مربعات خطا و میانگین مطلق با روش تشتک تبخیر برای مزرعه ذرت ۰/۹۳ و ۰/۸ و برای باغ مرکبات ۱/۲ و ۱/۰۶ میلیمتر در روز است.

- در تحقیق دیگر (اکبری و همکاران، ۱۳۹۰) با استفاده از سنجش از دور و روش سبال به محاسبه تبخیر و تعرق واقعی و پتانسیل پرداختند. مقایسه نتایج حاصل از سنجش از دور با روش هارگریوز و پنمن-مانتیت نشان داد که روش سنجش از دور با ریشه میانگین مربعات خطا ۰/۶۷، میانگین خطای مطلق ۰/۴ و انحراف ۰/۲۶ میلیمتر در روز مطابقت خوبی با برآورده های حاصل از روش های محاسباتی دارد.

مطالعات و تحقیقات خارجی

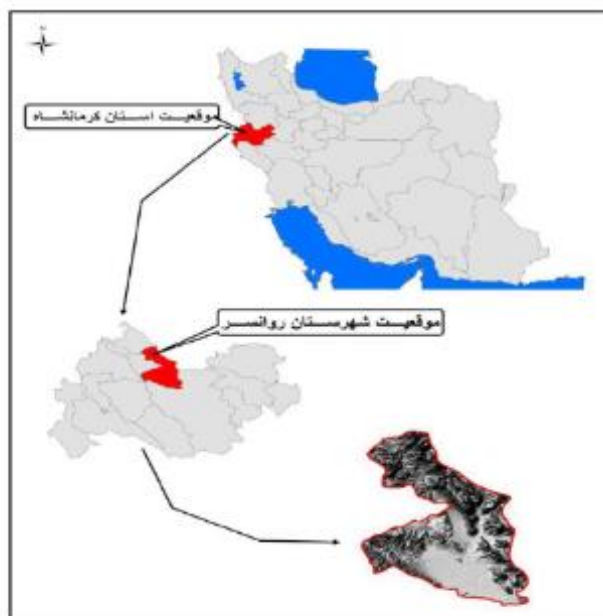
- باستیانسن و همکاران (۱۹۹۸) به منظور صحت سنجی این الگوریتم، تبخیر و تعرق را در مزارع کشورهای چین، هند، اسپانیا و پاکستان را برآورد نمودند و نتایج حاصل را با نتایج بدست آمده توسط سبال (SEBAL) مقایسه کردند که این نتایج نشان داد ۸۵ درصد موارد داده های حاصل از الگوریتم مذکور بدون هیچگونه واسنجی با داده های مزرعه ای منطبق بوده است. - راموس و همکاران (۲۰۰۹) با استفاده از الگوریتم سبال تبخیر و تعرق ۴ سال منطقه Flumen در اسپانیا را بررسی کردند و نتایج آن را با مقادیر لایسیمتری مقایسه نمودند. نتایج حکایت از آن داشت که این الگوریتم قادر به برآورد دقیق تبخیر و تعرق روزانه برای گندم، ذرت و چمن بوده است. مقادیر بدست آمده با سبال با مقادیر بدست آمده از لایسیمتر مقایسه گردید و مشخص گردید که الگوریتم مذکور دارای انحراف ۰/۳ میلیمتر در روز در مقابل اندازه گیری های لایسیمتری و انحراف ۰/۳۶ میلیمتر در روز در مقابل روش پنمن مونتیت داشته است. و مقدار تبخیر و تعرق اندازه گیری شده بوسیله سبال و پنمن - مونتیت دارای خطای ۲۰ درصد می باشد.

منطقه مورد مطالعه

شهرستان روانسر واقع در طول جغرافیایی ۴۶/۳۹ درجه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۴/۴۳ درجه شمالی و ارتفاع متوسط ۱۳۸۰ متر و با مساحت ۱۱۴۰ کیلو متر مربع در دامنه کوه شاهو و در شمال غربی و ۶۰ کیلومتری شهر کرمانشاه واقع شده است.

^۵ (لنگ باف، ۱۳۹۳)

این شهرستان به عنوان دروازه اورامانات از شمال به شهرستان کامیاران در استان کردستان، از شرق به شهرستان کرمانشاه، از شمال غربی به شهرستان پاوه، از جنوب به شهرستان اسلام آباد غرب و از غرب به شهرستان جوانرود منتهی می شود. اکثریت مردم این شهرستان سنی مذهب و به زبان کردی سورانی تکلم می کنند. آب و هوای آن سرد و مرطوب بوده و تقریباً از بارش سالانه چشمگیری برخوردار است. طبق سرشماری سال ۱۳۹۰ مرکز آمار ایران جمعیت این شهرستان ۲۱۲۵۰ نفر برآورد شده است (شکل ۱).



شکل ۲: موقعیت استان کرمانشاه

دمای سطحی (LST)

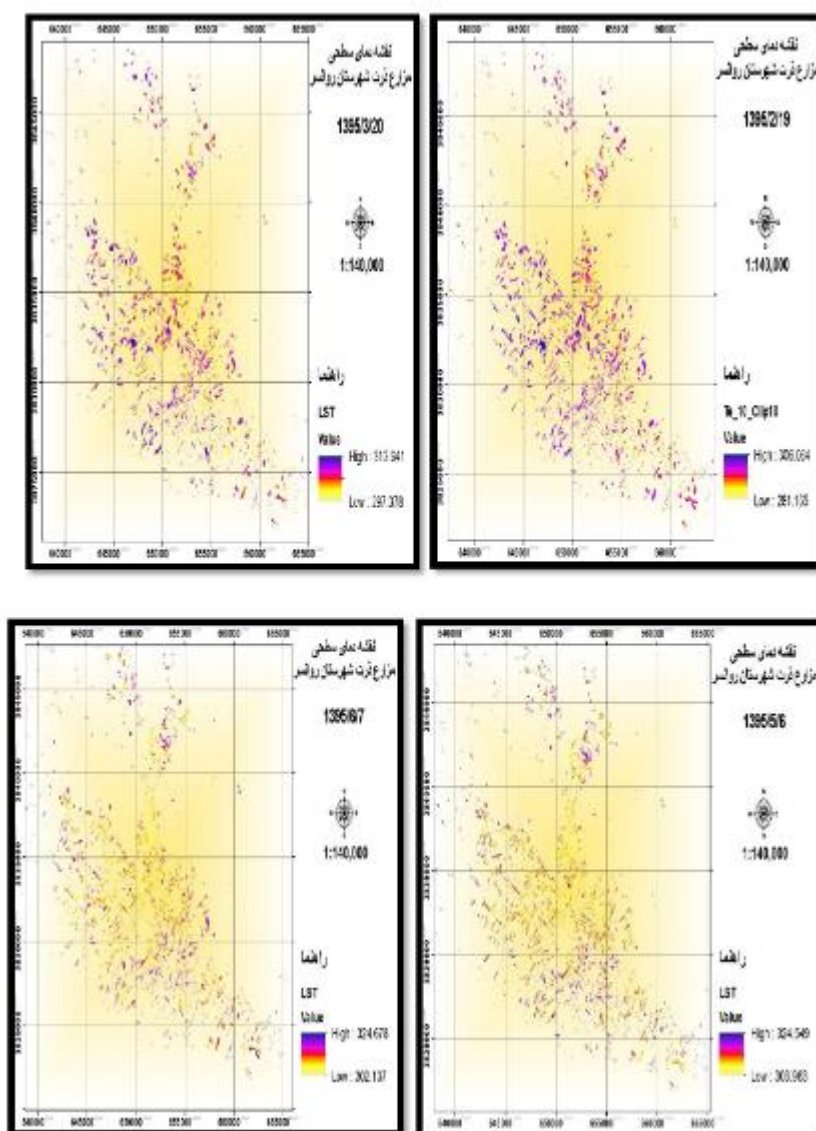
با استفاده از روابط موجود در سبال که قبلاً شرح گردید میزان دمای سطحی طبق معادلات گفته شده محاسبه شد. با توجه به اینکه در محدوده منطقه مورد مطالعه وجود عوارض مختلف مانند شهر، روستا، جاده و مناطق مسکونی به چشم میخورد دمای سطحی زمین تحت تأثیر قرار گرفته است. به عبارتی می توان گفت دمای سطحی با توجه به نوع کاربری زمین می تواند تغییر کند.

جدول ۱: مقادیر LST محاسبه شده مزارع ذرت برای روزهای تصویربرداری

تاریخ تصویر	حداقل دما (K°)	حداکثر دما (K°)
۲۰۶/۵/۸	۲۸۱/۱۶۵	۳۰۶/۰۶۴۴
۲۰۱۶/۶/۹	۲۹۷/۳۷۸	۳۱۳/۶۴۱
۲۰۱۶/۷/۲۷	۳۰۳/۹۶۳	۳۲۴/۵۴۹
۲۰۱۶/۸/۲۸	۳۰۲/۱۳۷	۳۲۴/۶۷۸

با مشاهده آمار جدول مشخص است که با نزدیک شدن به اوج گرما در تابستان یعنی ماه جولای (مرداد ماه) در تاریخ ۲۰۱۶/۷/۲۷ حداقل دما با مقدار ۳۰۳/۹۶۳ درجه کلون بیشترین میزان افزایش را داشته است و در عین حال تاریخ ۲۰۱۶/۵/۸ با حداکثر دمای ۳۰۶/۰۶۴ درجه کلون کمترین مقدار را دارا بوده است. البته باید به این نکته توجه داشت که میزان حداکثر دمای هوا در دو تاریخ ۲۰۱۶/۷/۲۷ و ۲۰۱۶/۸/۲۸ تقریباً یکسان است که این امر می تواند به علت عمود بودن زاویه تابش

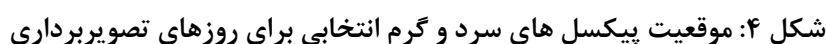
خورشید در فصل تابستان باشد. صحت درستی این امر را می توان در آمار مربوط به دمای هوای اخذ شده از سازمان هواشناسی تأیید کرد. شکل ۲ نقشه دمای سطح زمین را برای روزهای تصویر برداری نشان می دهد.



شکل ۳: نقشه دمای سطح زمین برای روزهای تصویربرداری

مشخصات پیکسل های سرد و گرم

همانطور که گفته شد پیکسل های لنگر با استفاده از دمای سطحی، NDVI و آلبدو تعیین می شوند. انجام و محاسبات سایر روابط موجود در این مدل مخصوصا در برآورد شار گرمای محسوس به انتخاب دقیق این دو پیکسل بستگی دارد (شکل ۳).



مطالعه حاضر نتایج بدست آمده از الگوریتم سبال جهت محاسبه تبخیر و تفرق واقعی مزرعه ذرت در شهرستان روانسر را نشان می دهد. طبق تجزیه و تحلیل های انجام شده و مقایسه با روش پنمن مونتیث نتایج نشان داد که این مدل می تواند میزان تبخیر و تفرق را با دقت بالایی تخمین بزند از طرفی نتایج پارامترهای موجود در این الگوریتم مانند $Albedo$ NDVI، دمای سطحی و سایر پارامترها با نتایج اکثر پژوهش های انجام شده مطابقت دارد. همچنین می توان گفت که استفاده از سنجش از دور و حداقل داده های زمینی دارای پتانسیل بالا در تعیین نیاز آبی و اصلاح امر مدیریت و آبیاری در سطح وسیعی می باشد.

فرض اول بیان می کند که با توجه به قدرت تفکیک هایی که بر تصاویر ماهواره ای مختلف اعمال شده می توانند به عنوان یک ابزار سنجش از دوری نقش موثری در تعیین نیاز آبی گیاهان زراعی داشته باشند. همانطور که تصاویر مورد استفاده در این تحقیق توانست به خوبی نیاز آبی گیاه ذرت را تعیین کند. تصاویر لندست ۸ بدلیل وجود دو باند حرارتی ۱۰ و ۱۱ امکان اندازه گیری تصویر برداری حرارتی و کمک به تعیین تبخیر و تعرق را فراهم کرده است. لذا به عنوان یک ابزار سنجش از دور و استفاده از حداقل داده های زمینی مناسب است. البته باید متذکر شد که هر چقدر تصاویر با قدرت بالاتر انتخاب شود میزان دقت نیز بالا می رود.

در پاسخ به فرض دوم که استفاده از الگوریتم سبال دقت مناسبی دارد، می توان چنین پاسخ داد که مدل سبال با توجه به مزیت هایی مانند عدم نیاز به داده های میدانی زیاد، عدم نیاز به نقشه کاربری زمین، عدم نیاز به داده های هیدرولوژی و استفاده ای برای اقلیم های مختلف دارد و با توجه به مقایسه ای که بین داده های حاصل از الگوریتم سبال با روش پنمن مونتیث صورت گرفت، تطابق خوبی را نشان داد. بطوریکه قبلا گفته شد میزان $RMSE = 78.1$ و $MBE = 0.46$ میلیمتر در روز برآورد شد.

منابع و مراجع

- [۱] کریمی، علیرضا. فرهادی بانسوله، بهمن و حصادی، همایون. ۱۳۹۱. برآورد تبخیر و تعرق واقعی در مقیاس منطقه ای با استفاده از الگوریتم سبال و تصاویر لندست، نشریه آبیاری و زهکشی ایران. جلد ۶، شماره ۴.
- [۲] لنگ باف، مریم. (۱۳۹۳). کاربرد پردازش تصاویر ماهواره ای در محاسبه نیاز آبی گیاهان باغی و زراعی اراضی شمال خوزستان. پایان نامه کارشناسی ارشد رشته سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی گرایش آب و خاک. دانشکده جغرافیا و برنامه ریزی شهری، دانشگاه تبریز.
- [۳] رضائی خوجین، علیرضا. خیر خواه زرکش، میر مسعود. دانش کار آراسته، پیمان. مریدی، علی و علیمحمدی، رحیم. ۱۳۹۵. تحلیل حساسیت تبخیر و تعرق محاسبه شده با استفاده از مدل بیلان انرژی روزانه و مقایسه آن با مدل سبال. تحقیقات منابع آب ایران. سال ۱۲. شماره ۱.
- [۴] اکبری، مهدی. سیف، زهرا و زارع ابیانه، حمید. ۱۳۹۰. برآورد تبخیر و تعرق واقعی و پتانسیل در شرایط اقلیمی مختلف با استفاده از سنجش از دور. نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی). جلد ۲۵ شماره ۴.
- [5] Bastiaanssen, W.G.M., Menenti, M., Feddes, R.A., Holtslag, A.A.M. (۱۹۹۴), A for land (SEBAL): ۱. remote sensing surface energy balance algorithm Formulation. Journal of Hydrology, V. ۲۱۳-۲۱۲, p. ۱۹۸-۲۱۳.
- [6] Mobasheri, M.R., Khavarian, H., and Moussaoui, H. ۲۰۰۶. Error estimates of ET from Sensible Heat in the SEBAL. National Conference on Irrigation and Drainage network management, Shahid Chamran University, Department of Water Engineering. (In Persian)