



دانشگاه صنعتی شریف
مرکز تحقیقات سنجش از دور (RSRC)

برآورد تبخیر و تعرق، مصارف و میزان آب قابل صرفه جویی محدوده‌های کشاورزی استان خوزستان در سال ۲۰۱۶ میلادی

مدیر فنی
مصطفی جوادیان

کارشناسان
محمد عبدلی
مصطفی جوادیان

کد سند
OC11RN9705042

مرداد ۱۳۹۷

شناسه سند			
عنوان سند		برآورد تبخیر و تعرق، مصارف و میزان آب قابل صرفه‌جویی محدوده‌های کشاورزی استان خوزستان در سال ۲۰۱۶ میلادی	
نوع سند	گزارش فنی (TR)	☐ خلاصه مدیریتی (ES)	☐ پروپوزال (PR)
	یادداشت تحقیقی (RN)	☐ یادداشت فنی (TN)	☐ مقاله (AR) ☐ خروجی غیررسمی (RM)
کد سند	RN-۹۶-۱۷		
شماره قرارداد			
تاریخ قرارداد	۱۳۹۷		
کارفرما	سازمان حفاظت محیط زیست		
گروه فنی	مسعود تجریشی، حمید طاهری شهرآیینی		
مدیر فنی طرح	مصطفی جوادیان		
کارشناسان فنی طرح	محمد عبدلی، مصطفی جوادیان		
تاریخ انتشار	۱۳۹۷		
ویرایش	دوم		

تعریف	نوع سند
Peer review شده با فرایند داوری خیلی دقیق و جدی و دارای محتوی علمی مفصل و ویرایش شده ادبی و فنی	گزارش فنی (TR)
همانند گزارش فنی است با این تفاوت که مطالب مفصل نبوده و داوری جدی نشده است.	یادداشت فنی (TN)
خلاصه‌ای از یک کار تحقیقاتی یا مطالعاتی که برای مدیران و بارگذاری روی سایت تنظیم شده است.	خلاصه مدیریتی (ES)
جهت پاسخگویی به سؤالات و ابهامات و یا آموزش و یادگیری از تکنیک‌ها و الگوریتم‌هایی که کاربرد آن برای مطالعات و پروژه‌های مرکز می‌باشد	یادداشت تحقیقی (RN)
نتیجه کار تحقیقی که تکمیل نشده و لذا داوری جدی نشده و ارزیابی عمیق و ویراستاری روی آن صورت نگرفته و به صورت غیررسمی برای اطلاع عموم در اختیار قرار گرفته است.	خروجی غیررسمی (RM)
پیشنهادیه انجام پروژه	پروپوزال (PR)
مقالات فارسی و انگلیسی	مقاله (AR)

مرکز تحقیقات سنجش‌ازدور (RSRC)، دانشگاه صنعتی شریف، پژوهشگاه زیست‌فناوری، شماره ۲۰۱

تلفن : ۶۶۱۶۴۱۳۸، ۶۶۱۶۴۱۸۵ نمابر: ۶۶۰۳۶۰۱۶

پیش‌گفتار

قرارگیری دریاچه ارومیه در آستانه بحرانی زیست‌محیطی در مقیاس بین‌المللی در سال‌های منتهی به سال ۱۳۹۲ شمسی و مطالبات مردم شریف منطقه، هیأت محترم وزیران را بر آن داشت که در اولین جلسه خود در دولت یازدهم، طی مصوبه شماره ۴۹۵۰۳/۱۱۱۱۴۶ مورخ ۱۳۹۲/۰۵/۲۸، تشکیل کارگروه نجات دریاچه ارومیه را به تصویب رسانند که پس از بررسی‌های گروه‌های کارشناسی، ۱۹ طرح اولویت‌دار جهت نجات دریاچه ارومیه در جلسه ۱۳۹۲/۰۷/۱۶ کارگروه نجات دریاچه ارومیه تصویب گردید.

به منظور تمرکز و تسریع در روند اقدامات مرتبط با احیای دریاچه ارومیه، پیشنهاد تشکیل «کارگروه ملی نجات دریاچه ارومیه» در جلسه مورخ ۱۳۹۲/۱۱/۰۲ هیأت محترم وزیران مطرح و به موجب اختیارات اصل ۱۳۸ قانون اساسی، طبق مصوبه شماره ۴۹۵۰۳/۱۷۰۰۹۲ مورخ ۱۳۹۲/۱۱/۱۲، مقرر گردید که ریاست کارگروه بر عهده معاون اول محترم رئیس‌جمهور باشد و جناب آقای دکتر عیسی کلانتری به عنوان دبیر کارگروه و مدیر اجرایی احیای دریاچه ارومیه تعیین گردیدند. ۷ وزیر، ۲ معاون رئیس‌جمهور و ۳ استاندار حوضه آبریز نیز به عنوان اعضای این کارگروه معرفی شدند.

در گام بعدی، ستاد احیای دریاچه ارومیه ضمن ایجاد کمیته‌های تخصصی شش‌گانه، ۲۰ کارگروه تخصصی، انجام مطالعات تطبیقی و ایجاد شوراهای منطقه‌ای، ضمن برگزاری ۹۸ جلسه متنوع کارشناسی و مدیریتی و بهره‌گیری از نظرات بیش از ۷۵۰ نفر از متخصصان داخلی و بین‌المللی در بازه زمانی ۱۳۶ روزه (از ۱۳۹۲/۱۱/۰۲ تا ۱۳۹۳/۰۳/۱۷)، اقدام به تدوین و اجرای یک نقشه راه جامع در راستای احیای دریاچه ارومیه نمود که نقشه راه مذکور در جلسه مورخ ۱۳۹۳/۰۴/۰۸ به ریاست رئیس‌جمهور محترم جناب آقای دکتر روحانی، ارائه و مورد تصویب قرار گرفت و دستور شروع عملیات اجرایی راه‌کارهای مصوب توسط ایشان صادر گردید. کارگروه ملی نجات دریاچه ارومیه نیز طی مصوبه شماره ۴۹۵۰۳/۵۷۵۴۲ مورخ ۱۳۹۳/۰۵/۲۵ به طور رسمی مسئولیت مطالعه و طراحی طرح نجات دریاچه ارومیه را به دانشگاه صنعتی شریف سپرد.

در کنار دستاوردهای میدانی متعدد حاصل از طرح ملی نجات دریاچه ارومیه از جمله قرار گرفتن دریاچه در مسیر احیای پایدار و رفع مخاطرات بهداشتی و سلامتی، نقش محوری دانشگاه‌های ملی و استانی در کلیه امور مطالعه و پایش، شاخصه‌ای کم‌نظیر در پروژه بوده که توانسته است ضمن خلق تعاملی پویا و چندسویه با دستگاه‌های اجرایی، روح اقدامات علمی-پژوهشی را در کالبد همه پروژه‌های ذیل طرح، جاری نمایند.

لذا با هدف شفاف‌سازی اقدامات مطالعاتی و پژوهشی انجام شده و نیز به منظور فراهم شدن امکان استفاده مجامع علمی در رشته‌های مختلف دانشگاهی از آب (هیدرولوژی، آب زیرزمینی، هیدرولیک و هیدرودینامیک)، محیط‌زیست، اکولوژی و لیمنولوژی گرفته تا اقتصاد و جامعه‌شناسی از دانش بومی تولید شده در این طرح ملی، کلیه مطالعات انجام شده توسط دبیرخانه کارگروه در کتابخانه مرکزی دانشگاه صنعتی شریف در دسترس پژوهشگران محترم قرار گرفته است. یقیناً تدارک مطالعه و پژوهش در این منابع بومی ارزشمند که حاصل سال‌ها تلاش مجدانه محققان تراز اول داخلی و بین‌المللی بوده، سرآغازی خواهد بود برای تداوم نهضت علمی شکل گرفته و به زودی با بروز جهشی علمی در بستر استثنایی پدید آمده، شاهد شکوفایی برکات این گردش آزاد اطلاعات در اقصی نقاط کشور خواهیم بود.

کلیه تعبیر، نتایج و تفاسیری که در این اثر ذکر شده‌اند، محصول تلاش‌های نویسندگان (یا نویسندگان) آن بوده و لزوماً منعکس‌کننده دیدگاه‌های دبیرخانه کارگروه ملی نجات دریاچه ارومیه نیست. لذا مسئولیت صحت کلیه اطلاعات و نتایجی که توسط این اثر در دسترس عموم قرار می‌گیرد، به عهده نویسندگان (یا نویسندگان) آن می‌باشد.

چکیده

پایش مقدار مصرف آب در بخش کشاورزی با توجه به جدی شدن بحث بحران آب در کشور از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشد. استان خوزستان یکی از پرآب‌ترین استان‌های کشور می‌باشد که به دلیل وجود رودهای پرآب مانند کارون، دز، کرخه و ... منابع آبی زیادی را در خود جای داده است. با در دسترس بودن منابع آبی زیاد در طول زمان در این استان و هم‌چنین کشت محصولات آب‌بر در کشت و صنعت‌های این استان، به نظر می‌رسد که پتانسیل صرفه جویی آب زیادی در این استان وجود داشته باشد. در این مطالعه با استفاده از الگوریتم SUTMETRIC و تصاویر ماهواره ای سنجنده MODIS، نرخ تبخیر و تعرق واقعی در استان خوزستان طی سال ۲۰۱۶ میلادی برآورد شده است.

توزیع تبخیر و تعرق نشان می‌دهد که اراضی کشاورزی در کنار رودهای پرآب، به ویژه کشت و صنعت‌های ده‌گانه نیشکر در این استان دارای بیش‌ترین مقادیر ارتفاع تبخیر و تعرق می‌باشند. هم‌چنین تغییرات زمانی تبخیر و تعرق واقعی نشان می‌دهد که مقادیر ارتفاع تبخیر و تعرق در ماه جولای به بیشترین مقدار و در ماه دسامبر به کم‌ترین مقدار خود می‌رسد. صحت‌سنجی مقادیر تبخیر و تعرق محاسبه شده در کشت و صنعت‌های ده‌گانه خوزستان با استفاده از داده‌های لایسمتر انجام گردید که در نهایت مقدار RMSE، برابر با ۳۶ میلیون متر مکعب و مقدار RMSE بر میانگین برابر با ۱۳ درصد به دست آمد. پس از برآورد مقدار تبخیر و تعرق واقعی، نقشه بارش موثر، آب زهکشی شده و نیاز آبی گیاهان با استفاده از آمارنامه‌های سازمان جهاد کشاورزی (با فرض پذیرش خطای موجود در آمار سطوح و نوع کشت) در خوزستان به دست آمد. سپس با استفاده از ترم‌های ذکر شده مقدار آب قابل صرفه جویی در اراضی کشاورزی استان خوزستان محاسبه گردید. نتایج نشان داد که زمین‌های کشاورزی استان خوزستان دارای پتانسیل صرفه‌جویی حداقل ۶ و حداکثر ۸ میلیارد مترمکعب آب را دارند. هم‌چنین کشت و صنعت‌های نیشکر در خوزستان دارای پتانسیل صرفه‌جویی حداقل ۰/۵ و حداکثر ۲/۲ میلیارد مترمکعب آب می‌باشند که در منطقی‌ترین سناریو، میزان صرفه جویی ۱/۱۷ میلیارد متر مکعب به دست آمد.

کلمات کلیدی: تبخیر و تعرق، الگوریتم SUTMETRIC، صرفه جویی، خوزستان، کشت و صنعت نیشکر

فهرست مطالب

۱- مقدمه.....	۱
۲- مروری بر ادبیات موضوع.....	۲
۳- معرفی منطقه مطالعاتی.....	۶
۴- روش انجام کار.....	۸
۴-۱- مفاهیم و روابط الگوریتم METRIC.....	۹
۴-۱-۱- شار تشعشع خالص در سطح زمین (R_n).....	۱۰
۴-۱-۲- تابش طول موج کوتاه ورودی ($R_{s\downarrow}$).....	۱۰
۴-۱-۳- تابش طول موج بلند خروجی ($R_{L\uparrow}$).....	۱۲
۴-۱-۴- تابش طول موج بلند ورودی ($R_{L\downarrow}$).....	۱۳
۴-۱-۵- شار گرمایی زمین (G).....	۱۴
۴-۱-۶- شار حرارتی محسوس (H).....	۱۴
□ انتخاب پیکسل‌های سرد و گرم.....	۱۵
۴-۲- تخمین نرخ تبخیر و تعرق واقعی.....	۲۳
۴-۲-۱- نرخ تبخیر و تعرق لحظه‌ای (ET_{inst}).....	۲۳
۴-۲-۲- نرخ تبخیر و تعرق واقعی روزانه (ET_{24}).....	۲۴
۴-۲-۳- نرخ تبخیر و تعرق واقعی فصلی ($ET_{seasonal}$).....	۲۴
۴-۳- داده‌های مورد استفاده در الگوریتم بیلان انرژی.....	۲۵
۴-۳-۱- داده‌های زمینی.....	۲۵
۴-۳-۲- داده‌های ماهواره‌ای.....	۲۵
۴-۴- محاسبات نقشه‌های بارش.....	۲۷
۴-۵- برآورد آب زهکشی شده.....	۲۹
۴-۶- برآورد نیاز خالص آبیاری و آبیاری اعمال شده محصولات زراعی-باغی در اراضی آبی.....	۳۰
۴-۶-۱- محاسبه نیاز خالص آبیاری.....	۳۱
۴-۶-۲- محاسبه میزان آبیاری اعمال شده.....	۳۱

۳۲	۵- نتایج
۳۲	۵-۱- نقشه‌های بارش
۳۴	۵-۲- تبخیر و تعرق گیاه مرجع
۳۴	۵-۲-۱- کالیبراسیون تبخیر و تعرق مرجع محاسبه شده
۳۶	۵-۲-۲- تعیین تبخیر و تعرق در پیکسل گرم و سرد
۳۸	۵-۳- تبخیر و تعرق واقعی
۳۸	۵-۳-۱- تبخیر و تعرق واقعی در استان خوزستان
۴۰	۵-۳-۲- تبخیر و تعرق واقعی در زمین‌های کشاورزی
۴۳	۵-۳-۳- تبخیر و تعرق واقعی در مزارع نیشکر
۴۵	۵-۴- صحت سنجی تبخیر و تعرق محاسبه شده با الگوریتم SUTMETRIC
۴۵	۵-۴-۱- صحت سنجی با استفاده از ییلان
۵۰	۵-۴-۲- صحت سنجی با استفاده از لایسیمتر
۵۷	۵-۵- آب زهکشی شده
۵۸	۵-۶- برآورد نیاز آبی محصولات کشاورزی
۶۰	۵-۷- مقدار آب قابل صرفه جویی در اراضی کشاورزی-آبی استان خوزستان
۶۵	۵-۸- مقدار آب قابل صرفه جویی در کشت و صنعت‌های هفتگانه نیشکر
۷۲	۶- عدم قطعیت‌ها
۷۲	۶-۱- امکان وجود خطا در درونیابی و تولید نقشه‌های بارش
۷۲	۶-۲- امکان وجود خطا در محاسبه تبخیر و تعرق مرجع
۷۲	۶-۳- امکان وجود خطا در تخمین تبخیر و تعرق واقعی
۷۳	۶-۴- در دسترس نبودن آمار مساحت زمین‌های کشاورزی تحت شبکه زهکشی و مقدار آب زهکشی شده
۷۳	۶-۵- عدم قطعیت در آمار مساحت زیر کشت و نوع محصول اعلام شده توسط سازمان جهاد کشاورزی
۷۳	۷- نتیجه گیری
۷۵	۸- پیشنهادات
۷۶	۹- مراجع

فهرست شکل ها

- شکل ۱- موقعیت و کاربری اراضی استان خوزستان ۷
- شکل ۲- موقعیت رودخانه های اصلی استان خوزستان ۸
- شکل ۳- مراحل انجام مطالعه ۹
- شکل ۴- شماتیک بیلان انرژی در سطح زمین (ALLEN ET AL. 2002) ۱۰
- شکل ۵- دیاگرام محاسبه شار حرارتی محسوس (ALLEN ET AL. 2002) ۱۷
- شکل ۶- مشخصات گیاه مرجع به صورت شماتیک (ASCE-EWRI 2005) ۲۱
- شکل ۷- محیط اجرایی نرم افزار توسعه داده شده جهت محاسبه تبخیر و تعرق در مرکز سنجش از دور دانشگاه شریف ۲۷
- شکل ۸- اسامی و موقعیت ایستگاه های سینوپتیک استان خوزستان برای محاسبات بارش ۲۸
- شکل ۹- زهکشی زمین های کشاورزی ۲۹
- شکل ۱۰- نقشه بارش سالانه استان خوزستان از سال ۲۰۱۲ تا ۲۰۱۷ میلادی ۳۳
- شکل ۱۱- مقادیر ماهانه تبخیر و تعرق گیاه مرجع ایستگاه هواشناسی اهواز در سال ۲۰۱۶ ۳۴
- شکل ۱۲- مقایسه تبخیر و تعرق مرجع ماهانه اهواز (۲۰۱۶ میلادی) با تبخیر و تعرق لایسیمتر نیشکر (۲۰۰۵ میلادی) ۳۵
- شکل ۱۳- پیکسل های انتخاب شده در نواحی با پوشش گیاهی کامل برای تعیین ناخالصی پیکسل های ۱ کیلومتری ۳۷
- شکل ۱۴- تبخیر و تعرق واقعی در استان خوزستان برای سال ۲۰۱۶ میلادی ۳۹
- شکل ۱۵- تبخیر و تعرق واقعی در زمین های کشاورزی خوزستان در سال ۲۰۱۶ میلادی ۴۰
- شکل ۱۶- تبخیر و تعرق واقعی زمین های کشاورزی خوزستان برای ژانویه تا ژوئن سال ۲۰۱۶ میلادی ۴۱
- شکل ۱۷- تبخیر و تعرق واقعی زمین های کشاورزی خوزستان برای جولای تا دسامبر سال ۲۰۱۶ میلادی ۴۲
- شکل ۱۸- میانگین سالانه تبخیر و تعرق واقعی در کشت و صنعت های خوزستان ۴۳
- شکل ۱۹- تبخیر و تعرق واقعی در کشت و صنعت های خوزستان در سال ۲۰۱۶ میلادی ۴۴
- شکل ۲۰- محاسبه بیلان آب در کشت و صنعت های خوزستان ۴۶
- شکل ۲۱- مقایسه بیلان آب تحت سناریوی ۱ و ۲ با تبخیر و تعرق برآورد شده برای سال ۲۰۱۶ میلادی ۴۷

- شکل ۲۲- میانگین دمای ماهانه اهواز از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۷ میلادی..... ۵۲
- شکل ۲۳- سطح زیر کشت استخراج شده با استفاده از شاخص NDVI در کشت و صنعت های خوزستان ۵۵
- شکل ۲۴- مقایسه سطح زیر کشت استخراج شده با سطح زیر کشت آمار..... ۵۶
- شکل ۲۵- میزان آب زهکشی شده در کشت و صنعت های خوزستان در سال ۲۰۱۶ میلادی..... ۵۸
- شکل ۲۶- آبیاری اعمال شده در اراضی کشاورزی استان خوزستان در سال ۲۰۱۶ میلادی..... ۶۱
- شکل ۲۷- آبیاری اعمال شده در اراضی کشاورزی استان خوزستان در سال ۲۰۱۶ میلادی با اعمال آب زهکشی
شده..... ۶۲
- شکل ۲۸- آبیاری اعمال شده در کشت و صنعت های خوزستان برای سال ۲۰۱۶ میلادی..... ۶۷

فهرست جدول‌ها

- جدول ۱- مقادیر ثابت C_N و C_D جهت محاسبه تبخیر و تعرق مرجع (ASCE-EWRI 2005)..... ۱۹
- جدول ۲- داده‌های اولیه مورد استفاده در الگوریتم بیلان انرژی به همراه تفکیک مکانی و زمانی داده‌ها..... ۲۵
- ادامه جدول ۲- داده‌های اولیه مورد استفاده در الگوریتم بیلان انرژی به همراه تفکیک مکانی و زمانی داده‌ها..... ۲۶
- جدول ۳- شرایط لازم برای استفاده از هر محصول در الگوریتم اصلاح شده METRIC..... ۲۷
- جدول ۴- زه آب کشت و صنعت های خوزستان در سال ۲۰۱۶ میلادی..... ۳۰
- جدول ۵- ضرایب تصحیح تبخیر و تعرق مرجع و تبخیر و تعرق اصلاح شده..... ۳۶
- جدول ۶- مقایسه بیلان آب کشت و صنعت‌ها با مقدار تبخیر و تعرق با الگوریتم SUTMETRIC در سال ۲۰۱۶..... ۴۷
- جدول ۷- مقایسه بیلان محاسبه شده داده‌های آبیاری با تبخیر و تعرق مورد انتظار از هر کشت و صنعت..... ۴۹
- جدول ۸- داده‌های لایسیمتر برای سال ۱۳۸۴-۱۳۸۳، برای کشت صنعت میرزا کوچک خان..... ۵۱
- جدول ۹- مقایسه تبخیر و تعرق محاسبه شده با الگوریتم SUTMETRIC با لایسیمتر در پیکسل‌های نمونه..... ۵۳
- جدول ۱۰- مقایسه تبخیر و تعرق مورد انتظار و محاسبه شده بر اساس سطح زیر کشت..... ۵۴
- جدول ۱۱- مقایسه تبخیر و تعرق مورد انتظار و محاسبه شده بر اساس استخراج شده با NDVI..... ۵۷
- جدول ۱۲- نیاز آبی محصولات باغی استان خوزستان..... ۵۸
- جدول ۱۳- نیاز آبی محصولات زراعی استان خوزستان به میلیون متر مکعب..... ۵۹
- جدول ۱۴- محاسبه آب قابل صرفه جویی در اراضی کشاورزی استان خوزستان برای سال ۲۰۱۶ میلادی..... ۶۳
- جدول ۱۵- نیاز آبی کشت و صنعت های خوزستان..... ۶۶
- جدول ۱۶- محاسبه آب قابل صرفه جویی در کشت و صنعت های استان خوزستان برای سال ۲۰۱۶ میلادی..... ۶۸
- جدول ۱۷- درصد آب قابل صرفه جویی با سناریو ۱..... ۶۹
- جدول ۱۸- درصد آب قابل صرفه جویی با سناریو ۲..... ۶۹
- جدول ۱۹- درصد آب قابل صرفه جویی با سناریو ۳..... ۷۰
- جدول ۲۰- درصد آب قابل صرفه جویی با سناریو ۴..... ۷۰
- جدول ۲۱- درصد آب قابل صرفه جویی با سناریو ۵..... ۷۱

۱- مقدمه

استان خوزستان به سبب وجود رودهای پرآب به عنوان یکی از استان های پرآب کشور محسوب می شود. طبق آمار گزارش شده از سازمان جهاد کشاورزی، این استان در سال ۲۰۱۶ میلادی دارای ۸۴۹ هزار هکتار سطح زیرکشت زراعی و باغی-آبی بوده است. به دلیل در اختیار داشتن منابع آبی زیاد در این استان، صنایع کشاورزی پرآب زیادی هم چون کشت و صنعت های نیشکر ایجاد شده است. از این رو پایش مصارف کشاورزی و پتانسیل های موجود در صرفه جویی آب و استفاده بهینه از منابع آبی در این استان حائز اهمیت می باشد.

استان خوزستان دارای بیشترین اراضی تحت شبکه آبیاری زهکشی می باشد. طبق گزارش مدیر عامل سازمان آب و برق خوزستان، نزدیک به ۵۵۰ هزار هکتار شبکه آبیاری و زهکشی در خوزستان موجود می باشد (mehrnews.com/news/3740841). وجود مناطق کشاورزی وسیع دارای شبکه زهکشی اگر با آبیاری بیش تر از نیاز همراه گردد، حجم عظیمی از پساب با کیفیت نامناسب و شوری بالا تولید خواهد کرد که مواجه شدن با آن چالشی مهم بوده و خطر زیست محیطی به دنبال خواهد داشت. به وجود آمدن تنش های آبی در سال های اخیر در کشور، ضرورت برنامه ریزی و به کاربردن ابزارهای مختلف هم چون فناوری سنجش از دور و تکنیک های GIS را برای مدیریت منابع و مصارف را بیش از پیش نمایان می سازد. هدف از انجام این مطالعه تلاش برای پاسخ به سؤالات زیر است:

۱. یکی از ترم های مهم و مجهول در تعیین میزان مصارف هر منطقه، مقدار تبخیر و تعرق می باشد. بنابراین این سؤال مطرح می شود که آیا امکان استفاده از الگوریتم SUTMETRIC^۱ جهت تخمین تبخیر و تعرق واقعی در سال ۲۰۱۶ میلادی با استفاده از داده های زمینی و ماهواره ای وجود دارد و آیا این الگوریتم، دقت مناسب در برآورد را داراست؟

۲. توزیع مکانی مقادیر تبخیر و تعرق استان خوزستان و کشت و صنعت های آن در سال ۲۰۱۶ میلادی چگونه بوده است؟

۳. حجم آب مورد نیاز گیاه جهت آبیاری و آبیاری اعمال شده در اراضی کشاورزی چه مقدار است؟
در این مطالعه با پردازش تصاویر ماهواره ای و با استفاده از الگوریتم اصلاح شده بیلان انرژی در سطح زمین (SUTMETRIC)، میزان تبخیر و تعرق واقعی (ET) در سال ۲۰۱۶ میلادی تخمین زده شده است تا در نهایت میزان پتانسیل آب قابل صرفه جویی در اراضی کشاورزی استان خوزستان برآورد شود.

^۱ Sharif University of Technology Mapping Evapotranspiration with Internalized Calibration

۲- مروری بر ادبیات موضوع

روش‌های مختلفی جهت تخمین تبخیر و تعرق واقعی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و داده‌های زمینی برای مناطق وسیع توسعه داده شده است (Granger 1997; Vidal and Perrier 1989). روش‌هایی که در گذشته برای محاسبه تبخیر و تعرق واقعی استفاده می‌شد، فقط در همان نقطه که اندازه‌گیری صورت پذیرفته معتبر بوده‌اند. لذا با توجه به اهمیت تبخیر و تعرق در مطالعات مختلف، لازم است تا روش‌هایی که از توزیع مکانی خوبی برای محاسبه تبخیر و تعرق برخوردار می‌باشند بهره‌گرفت (Courault et al., 2005). با توسعه‌ی ماهواره‌های سنجش از دور، استفاده از تصاویر ماهواره‌ای به دلیل پوشش وسیع مکانی، قدرت تفکیک بالا، هزینه کم و آرشو زمانی غنی تصاویر ماهواره‌ای رشد چشمگیری داشته است. از اوایل دهه ۱۹۸۰ میلادی، سنجش از دور در تخمین تبخیر و تعرق نیز به کار گرفته شده است. تا کنون روش‌های مختلفی برای برآورد تبخیر و تعرق واقعی بر مبنای داده‌های سنجش از دور به کار گرفته شده است.

مدل‌های تخمین تبخیر و تعرق به دو دسته کلی تک منبعی^۱ (که در آن خاک و گیاه به صورت مجموعه واحد در نظر گرفته می‌شوند) و دو منبعی^۲ (که در آن خاک و گیاه به صورت اجزای جدا در نظر گرفته می‌شوند) تقسیم‌بندی می‌شوند. در مدل‌های تک منبعی، تنها از یک مقاومت آئرو دینامیک در فرآیند انتقال آب-گرما استفاده می‌شود و فرض می‌شود تمامی سطح زمین، تحت تأثیر دما و رطوبت قرار می‌گیرد (Huntingford et al. 2000; Nishida et al. 2003)؛ حال آنکه در مدل‌های دو منبعی، از چندین مقاومت مجزا برای گیاه و خاک استفاده می‌شود. بنابراین در مناطقی که پوشش گیاهی پراکنده وجود دارد استفاده از مدل‌های دو منبعی بجای مدل تک منبعی توصیه می‌شود، زیرا خاک و گیاه به عنوان دو عنصر مجزا در نظر گرفته شده‌اند (Norman et al. 1995). از روش‌های دو منبعی مطرح می‌توان به TSEB^۳ (Norman and Kustas., 1995) و STSEB^۴ (Sánchez et al. 2008) و از روش‌های معروف تر تک منبعی می‌توان به

^۱ Single-Source

^۲ Two-Source

^۳ Two-Source Energy Balance

^۴ Simplified Two-Source Energy Balance

SEBAL^۱ (Bastiaanssen 2000; Bastiaanssen et al. 1998)، METRIC^۲ (Allen et al. 2007) و SEBS^۳ (Su 2002) اشاره کرد.

یکی از روش های تخمین تبخیر و تعرق واقعی، الگوریتم بیلان انرژی در سطح زمین (SEBAL) است که توسط Bastiaanssen ارائه شده است (Bastiaanssen 1995). SEBAL یک مدل بر مبنای روابط تجربی و فیزیکی است که ابتدا در مصر و اسپانیا با تصاویر Landsat و برای برآورد تبخیر و تعرق مناطق کشاورزی، تعیین یکنواختی محصول، تنش آبی و مدیریت شبکه های آبیاری بکار گرفته شد و پس از آن به صورت گسترده و در مطالعات مشابه مورد استفاده قرار گرفت (Bastiaanssen et al. 1998). به عنوان مثال، Bastiaanssen و همکاران میزان مصرف آب در شبکه های آبیاری در پاکستان را با استفاده از تصاویر سنجنده AVHRR و این مدل مورد بررسی قرار دادند (Bastiaanssen et al. 1999). Hafeez برای تخمین تبخیر و تعرق واقعی فصلی با استفاده از الگوریتم SEBAL، از تصاویر سنجنده های ASTER، MODIS و Landsat در حوضه Uprilis فیلیپین استفاده نمود (Hafeez 2003). در مطالعه دیگری، مقایسه ای بین مقادیر تبخیر و تعرق واقعی به دست آمده از سنجنده های AVHRR و MODIS با داده های زمینی انجام گرفته است. نتایج این تحقیق نشان می دهد که همبستگی نتایج ET به دست آمده از تصاویر MODIS با داده های زمینی بسیار خوب بوده و ضریب همبستگی بالایی (۰/۹۶) را نشان داد، این در حالی است که نتایج ET به دست آمده از تصاویر AVHRR ضریب همبستگی کمتری (۰/۷۷) از خود نشان داده است (Batra et al. 2006).

در مطالعه ای که توسط Hemakumara و همکاران در منطقه ای نسبتاً وسیع با محصولات زراعی مختلف در سریلانکا صورت گرفت، مقایسه نتایج تبخیر و تعرق واقعی محاسبه شده با استفاده از تصاویر NOAA و الگوریتم SEBAL با مقادیر اندازه گیری شده در محل با استفاده از scintillometer، خطایی ۱۷ درصدی را در بازه زمانی ۱۰ روز نشان داد. اما این خطا در محاسبات ماهانه به حدود ۱٪ تقلیل یافت (Hemakumara et al. 2003). در مطالعه ای دیگر که توسط Zwart و Bastiaanssen با استفاده از روش SEBAL و تصاویر سنجنده MODIS در اراضی کشت گندم در مکزیک صورت گرفت، در بازه زمانی ۱۱۰ روز، خطایی حدود ۹٪ در بین مقادیر محاسبه شده توسط این الگوریتم و اندازه گیری های میدانی گزارش شد (Zwart and Bastiaanssen 2007). در مطالعه ای که توسط Du و همکاران در دشت Sanjiang در چین صورت گرفت، با استفاده از ۱۲

^۱ Surface Energy Balance Algorithm for Land

^۲ Mapping Evapotranspiration with Internalized Calibration

^۳ Surface Energy Balance System

تصویر سنجنده MODIS در طول ۱۸۴ روز دوره رشد از ماه می تا انتهای ماه اکتبر و با بهره گیری از مدل SEBAL، میزان اختلاف ET واقعی روزانه و اندازه گیری انجام شده توسط Eddy Covariance به صورت میانگین ۱۰/۵٪ گزارش شد. همچنین نتایج این مطالعه نشان از خطای ۸/۸ درصدی در مقیاس فصلی داشت (Du et al. 2013).

در مطالعه Hong و همکاران، امکان استفاده از الگوریتم SEBAL جهت محاسبه تبخیر و تعرق واقعی با استفاده از تصاویر MODIS مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به نتایج حاصل شده در مطالعه مذکور، به کارگیری الگوریتم SEBAL برای تصاویر MODIS نتایج قابل قبولی جهت تخمین تبخیر و تعرق ارائه می نماید. همچنین در این پژوهش، تبخیر و تعرق با استفاده از الگوریتم SEBAL، یک بار با تصاویر MODIS و بار دیگر با استفاده از تصاویر Landsat، برای یک منطقه مشابه محاسبه و مورد بررسی قرار گرفت. پس از مقایسه، اختلاف در نتایج نهایی حاصل از محاسبات تبخیر و تعرق با استفاده از دو نوع تصویر ماهواره ای، ناچیز ارزیابی گردید (Hong et al. 2009).

مدل SEBAL محدودیت هایی نیز دارد؛ از جمله ای این محدودیت ها می توان به عدم توانایی این روش در روزهای ابری اشاره کرد که برای برخی مناطق می تواند محدودیت بزرگی به شمار رود. محدودیت دیگر این روش مربوط به نحوه انتخاب پیکسل گرم و سرد است. اکثر روش های انتخاب پیکسل گرم و سرد به صورت کیفی و بصری می باشند که همین امر باعث وابستگی زیاد این روش به نحوه انتخاب پیکسل گرم و سرد شده است (Zhang et al., 2016). البته روش های نوینی برای اتوماسیون نحوه انتخاب پیکسل گرم و سرد نیز پیشنهاد شده است (Kjaersgaard et al., 2009). همین طور عدم توانایی این روش در تخمین تبخیر و تعرق در مناطق کوهستانی نیز به ضعف های ساختاری این روش افزوده است.

این الگوریتم در مرکز سنجش از دور دانشگاه شریف تحت عنوان SUTMETRIC توسعه داده شده و برخی از ضعف های این الگوریتم همچون عدم کاربرد در مناطق کوهستانی را تا حدی پوشش داده است. درواقع الگوریتم SUTMETRIC ترکیبی از روش های SEBAL، METRIC و SEBS می باشد.

در استان خوزستان نیز مطالعات مختلفی در خصوص تخمین تبخیر و تعرق به ویژه در کشت و صنعت ها انجام گرفته است. در یکی از این مطالعات سهیلی فر و همکاران (۱۳۹۲) با استفاده از مدل SEBAL و با استفاده از تصاویر ماهواره MODIS در بازه های ده روزه به ارزیابی تغییرات مکانی و زمانی تبخیر و تعرق واقعی روزانه در محدوده کشت و صنعت میرزا کوچک خان نمودند. ایشان نشان دادند که مدل سبال از کارایی خوبی جهت

برآورد تبخیر و تعرق واقعی در فصل کشت بر خوردار است. ایشان با استفاده از به دست آوردن تبخیر و تعرق گیاه (ETc) با استفاده از تبخیر و تعرق مرجع (ET₀) و ضریب گیاهی برای روزهای تصویر اقدام به صحت سنجی نتایج مدل نمودند و دریافتند که نتایج مدل سبال در فصل رشد از همبستگی نسبتاً خوبی ($R^2=0.77$) با نتایج حاصل از تبخیر و تعرق گیاه دارد.

در مطالعه دیگری محمدی و همکاران (۱۳۹۴) از مدل SEBAL برای صحت سنجی و واسنجی مدل SWAP^۱ به منظور ارائه مقادیر مناسب آب آبیاری و تاریخ های مناسب آبیاری در منطقه کشت و صنعت نیشکر میرزا کوچک خان اهواز، استفاده نمودند. ایشان از تصاویر ماهواره Landsat7 برای ۱۲ تاریخ در طی فصل رشد نیشکر در این مطالعه استفاده نمودند. نتایج این مدل سازی نشان داد که آب مصرفی در منطقه (۲۶۴۰ میلی متر) بیش از نیاز آبی گیاه بوده و حجم زیادی از آن به صورت نفوذ عمقی از منطقه توسعه ریشه خارج می شود.

در این مطالعه تعیین تبخیر و تعرق گیاه نیشکر از اهمیت ویژه ای برخوردار است. به همین دلیل برای تعیین نیاز آبی گیاه نیشکر در کشت و صنعت های مختلف و هم چنین به کار بردن تبخیر و تعرق لایسیمیتری ذکر شده در مراجع برای محاسبه و کالیبراسیون تبخیر و تعرق واقعی و مرجع، مرور منابعی از مطالعات انجام شده بر روی نیاز آبی نیشکر در خوزستان انجام گردید که در ادامه آورده می شود.

تحقیقات زیادی در مورد تعیین نیاز آبی نیشکر در استان خوزستان انجام گردیده است. در تحقیقی که صارمی و همکاران (۱۳۸۱) در منطقه هفت تپه انجام دادند، نیاز آبی نیشکر را با استفاده از لایسیمیتری اندازه گیری کرده و مقدار آب مورد نیاز برای دوره رشد نیشکر در کشت قلمه ۲۵۶۰ و برای زراعت بازرویی شده ۱۹۲۵ میلی متر برآورد کردند. برومند نسب و همکاران (۱۳۸۵) نیاز آبی و ضرایب گیاهی نیشکر در اراضی کشت و صنعت هفت تپه خوزستان را تعیین نمودند. ایشان با استفاده از چهار روش پنمن اصلاح شده، بلانی کریدل اصلاح شده، پنمن مانیت و طشتک تبخیر کلاس A با استفاده از ضرایب FAO، تبخیر و تعرق گیاه مرجع را به دست آوردند. هم چنین ایشان با استفاده از دو عدد لایسیمیتری زهکش دار تبخیر و تعرق واقعی را به دست آورده و ضریب گیاه را به دست آوردند. در این مطالعه ضرایب گیاهی با استفاده از چهار روش از ۰/۳۹ تا ۱/۹۴ محاسبه گردید. هم چنین میزان نیاز آبیاری برای کشت جدید ۲۵۶۴ و برای باز رویی اول ۱۹۲۵ میلی متر در سال به دست آمد. در یک مطالعه دیگر موسوی حسب و همکاران (۱۳۸۷) نیاز آبی واقعی نیشکر را در فروردین ۱۳۸۵ تا مهر ۱۳۸۵ با استفاده از ده عدد لایسیمیتری زهکش دار در کشت و صنعت امیرکبیر اندازه گیری کرده و نیاز آبی

^۱ soil-water-atmosphere-plant (model)

نیشکر را در طی دوره رشد ۲۱۸۰ میلی متر برآورد نمودند. ایشان هم چنین برای تعیین مناسب ترین فرمول برای برآورد نیاز آبی منطقه با استفاده از نرم افزار REF-ET نیاز آبی گیاه مرجع را با ۱۷ روش معمول محاسبه نمودند و به نتیجه گرفتند که فرمول بلانی-کریدل بهترین فرمول برای منطقه مورد مطالعه می باشد.

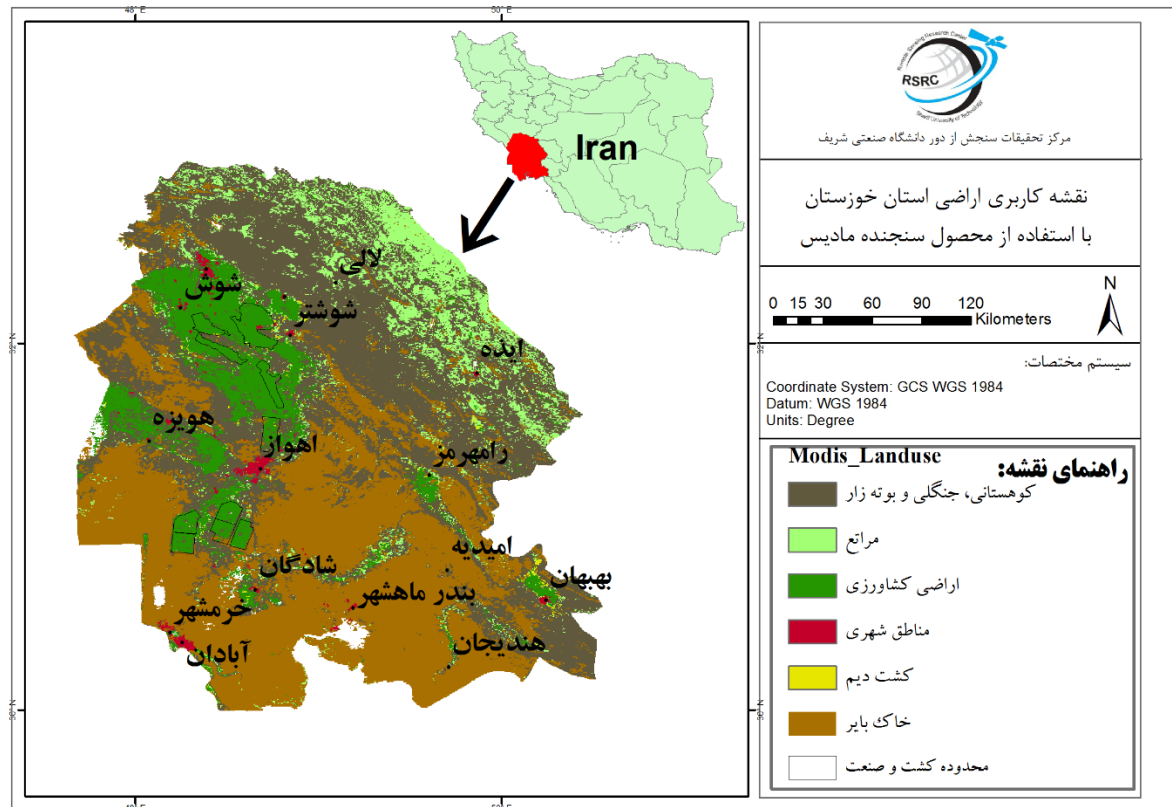
علی شینی دشتگل و همکاران (۱۳۸۸) نیاز آبی و ضرایب گیاهی نیشکر در اراضی جنوب اهواز با استفاده از لایسیمتر مورد مطالعه قرار دادند. در این مطالعه از داده های ۴ عدد لایسیمتر زهکش دار با کف شیب دار استفاده گردید که با اندازه گیری میزان آب ورودی و خروجی در مساحت ۱۲ مترمربعی لایسیمتر میزان تبخیر و تعرق گیاه محاسبه شد. این مطالعه برای سال آبی ۸۳-۸۴ انجام گردید و نتیجه شد که حدود ۲۰ درصد از آب کل ورودی (آبیاری و بارندگی) از زهکش ها خارج شده است و هم چنین حجم آب مصرفی نیشکر کشت ۲۴۷۹ و برای باز رویی در سال دوم ۲۱۸۰ میلی متر در سال بوده است.

هم چنین ایزدپناه و همکاران (۱۳۹۰) برای تعیین نیاز آبی نیشکر واریته از دو لایسیمتر حجمی زهکش دار در اراضی کشت و صنعت امیرکبیر استفاده نمودند. ایشان نیاز آبی نیشکر را برای کشت جدید ۲۶۰۲ میلی متر و برای باز رویی اول ۲۲۲۲ میلی متر محاسبه نمودند. ایزدپناه و همکاران (۱۳۹۰) نیاز آبی و ضرایب گیاهی نیشکر را در اراضی کشت و صنعت امیرکبیر اهواز تعیین نمودند. ایشان با استفاده از دو عدد لایسیمتر حجمی زهکش دار نیاز آبی نیشکر برای کشت جدید را ۲۶۰۲ میلی متر و برای باز رویی، ۲۲۲۲ میلی متر محاسبه نمودند.

۳- معرفی منطقه مطالعاتی

استان خوزستان با مساحتی معادل ۶۴۰۵۷ کیلومتر مربع از نظر جغرافیایی بین ۴۷ درجه و ۴۱ دقیقه تا ۵۰ درجه و ۳۹ دقیقه طول شرقی از نصف النهار گرینویچ و ۲۹ درجه و ۵۸ دقیقه تا ۳۳ درجه و ۴ دقیقه عرض شمالی از خط استوا، در جنوب غربی ایران واقع شده است. این استان از شمال غربی با استان ایلام، از شمال با استان لرستان، از شمال شرقی و شرق با استان های چهارمحال و بختیاری و کهگیلویه و بویراحمد، از جنوب شرقی با استان بوشهر، از جنوب با خلیج فارس و از مغرب با کشور عراق هم مرز است. این استان از شمال و شرق توسط کوه های زاگرس احاطه شده است، با حرکت به سمت داخل استان از ارتفاع این کوه ها کاسته شده و جای خود را به تپه ماهورها می دهد. خوزستان شامل دو منطقه کوهستانی و جلگه ای است. دو پنجم کل مساحت استان را کوهستانی و سه پنجم آن جلگه ای است. کوه چو، زردکوه، شاولیش، آب بندان، مامازاد، کوه سیاه و کوه چال از جمله کوه های خوزستان هستند. جلگه خوزستان شیب کمی دارد و در برخی از نقاط آن گنبدهای نمکی موجود است که نقش عمده ای

در شور کردن اراضی و آب ها دارد. شکل ۱ کاربری اراضی استان خوزستان را نشان می دهد که با استفاده از محصول MCD12Q1 سنجنده MODIS به دست آمده است.



شکل ۱- موقعیت و کاربری اراضی استان خوزستان

خوزستان پرآب ترین استان ایران است. پنج رود بزرگ که از زاگرس سرچشمه می گیرند زمین های جلگه خوزستان را سیراب کرده و به طور مستقیم یا غیر مستقیم به خلیج فارس می ریزند. کارون بزرگترین این رودها، بزرگترین و تنها رود قابل کشتیرانی در ایران است، این رود که از کوه های زاگرس مرکزی سرچشمه می گیرد در نزدیکی شوشتر به آب دز می پیوندد و در نزدیکی ورودی اروندرود به خلیج فارس به این رود می ریزد. رود کرخه سومین رود بلند ایران پس از کارون و سفیدرود است. این رود که از کوه های زاگرس سرچشمه می گیرد پس از طی مسیری نزدیک به ۷۵۵ کیلومتر در جهت جنوب غربی به تالاب هورالعظیم در مرز ایران و عراق می ریزد. شکل ۲ موقعیت رودهای اصلی استان خوزستان را نشان می دهد.

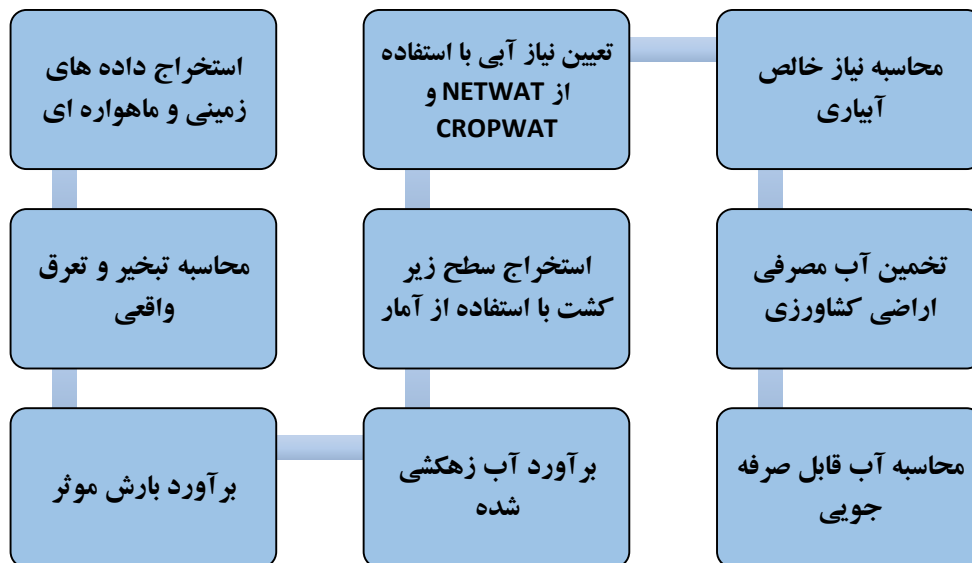


شکل ۲- موقعیت رودخانه های اصلی استان خوزستان

از نظر آب و هوایی به جز در برخی از مناطق کوهستانی شمالی و شرقی، این استان دارای اقلیم خشک و نیمه خشک است که متوسط بارندگی سالانه آن حدود ۲۲۶ میلی متر بوده و دوره بارندگی معمولاً بین مهرماه تا اردیبهشت است. این استان دارای جمعیتی معادل ۴/۷ میلیون نفر است که ۶۲/۵ درصد از جمعیت استان شهر نشین می باشند.

۴- روش انجام کار

با توجه به اهداف کلی مطالعه و مرور مطالعات صورت گرفته، روند انجام تحقیق به صورت فلوچارت در شکل ۳ نشان داده شده است. در ادامه با توجه به این شکل، روش شناسی تحقیق و نتایج حاصل از آن ارائه خواهد شد.



شکل ۳- مراحل انجام مطالعه

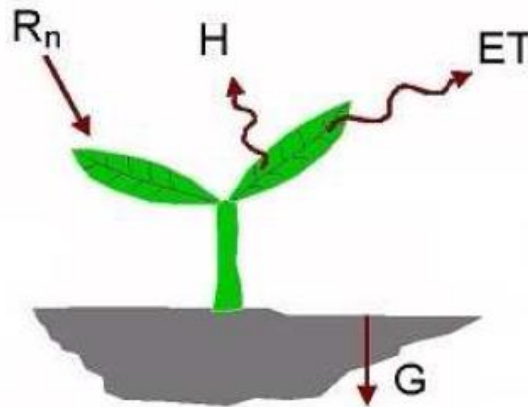
در این مطالعه، مقادیر نرخ تبخیر و تعرق واقعی ابتدا با استفاده از روابط گام زمانی لحظه ای شارهای بیلان انرژی و با توجه به لحظه محلی دریافت تصاویر، محاسبه شده و در نهایت با استفاده از روش توصیه شده در الگوریتم METRIC برای گام های زمانی روزانه، ماهانه و فصلی تعمیم داده شده اند. در این بخش نخست به ارائه روابط گام زمانی لحظه ای و در ادامه به ارائه روابط گام زمانی روزانه پرداخته شده است.

۴-۱- مفاهیم و روابط الگوریتم METRIC

در مدل METRIC، نرخ تبخیر و تعرق واقعی با به کارگیری تصاویر ماهواره ای و داده های هواشناسی و با استفاده از بیلان انرژی در سطح، محاسبه می شود. از آنجا که تصویر ماهواره ای تنها برای لحظه گذر ماهواره تأمین داده می کند، METRIC یک شار لحظه ای ET برای زمان تصویر محاسبه می نماید. شار گرمای تبخیر برای هر پیکسل از تصویر، به عنوان باقیمانده رابطه بیلان انرژی سطح زمین تخمین زده می شود (شکل ۴):

$$\lambda ET = R_n - G - H \quad (1)$$

در رابطه بالا، λET شار گرمای نهان تبخیر و تعرق ($W.m^{-2}$)، R_n شار تشعشع خالص در سطح زمین ($W.m^{-2}$)، G شار گرمایی زمین ($W.m^{-2}$) و H جریان گرمای محسوس به سمت جو ($W.m^{-2}$) می باشند.



شکل ۴ - شماتیک بیلان انرژی در سطح زمین (Allen et al. 2002)

METRIC می تواند ET واقعی را برای مناطق زراعی مسطح، با دقت و اطمینان مناسبی تخمین زند. برای به کارگیری این الگوریتم در مناطق کوهستانی نیاز به اصلاحات مربوط به ارتفاع، شیب و جهت شیب می باشد که در محاسبه هر پارامتر برحسب ضرورت و نیاز به اصلاح، به آن اشاره می شود.

۴-۱-۱-۱-۴ شار تشعشع خالص در سطح زمین (R_n)

گام نخست درروند محاسباتی الگوریتم METRIC، محاسبه شار تشعشع خالص در سطح زمین (R_n) با استفاده از رابطه ذیل است (Allen et al. 2002):

$$R_n = (1 - \alpha) R_{s\downarrow} + R_{L\downarrow} - R_{L\uparrow} - (1 - \epsilon_0) R_{L\downarrow} \quad (2)$$

که در آن $R_{s\downarrow}$ تابش ورودی طول موج کوتاه، $R_{L\downarrow}$ تابش ورودی طول موج بلند و $R_{L\uparrow}$ تابش خروجی طول موج بلند می باشند (تمامی پارامترهای فوق برحسب $W.m^{-2}$ می باشند). α آلبدو و ϵ_0 گسیلمندی سطح می باشند.

۴-۱-۲-۲-۴ تابش طول موج کوتاه ورودی ($R_{s\downarrow}$)

شار تابشی طول موج کوتاه ورودی شامل مجموع شارهای تابشی مستقیم^۱ و نفوذی^۲ رسیده به سطح زمین ($W.m^{-2}$) می باشد. این شار با فرض شرایط بدون ابر مطابق رابطه (۳) محاسبه می شود (Allen et al. 2002):

$$R_s = G_{sc} \times \cos \theta \times d_r \times \tau_{sw} \quad (3)$$

^۱ direct

^۲ diffuse

که در رابطه فوق G_{sc} ثابت خورشیدی (برابر با 1367 W.m^{-2})، $\cos\theta$ کسینوس زاویه برخورد اشعه خورشید به زمین، d_r مربع معکوس فاصله نسبی زمین و خورشید و τ_{sw} نیز مقدار گذردهی اتمسفری می باشد. در ادامه، نحوه محاسبه هر یک از پارامترهای معادله ۳ مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

زاویه ورود خورشیدی^۱ (θ)، زاویه بین پرتو خورشیدی و خط عمود بر سطح زمین است. در مدل مسطح METRIC فرض می گردد که سطح زمین افقی است و محاسبه $\cos\theta$ بسیار ساده و در سطح منطقه موردنظر مقدار ثابت دارد. در مدل کوهستانی METRIC، $\cos\theta$ در هر پیکسل متفاوت است و به شیب و جهت شیب سطح زمین بستگی دارد. METRIC از رابطه زیر برای محاسبه $\cos\theta$ بهره می گیرد (Duffie and Beckman 1980):

$$\begin{aligned} \cos\theta = & \sin(\delta) \sin(\varphi) \cos(s) - \sin(\delta) \cos(\varphi) \sin(s) \cos(\gamma) \\ & + \cos(\delta) \cos(\varphi) \cos(s) \cos(\omega) \\ & + \cos(\delta) \sin(\varphi) \sin(s) \cos(\gamma) \cos(\omega) \\ & + \cos(\delta) \sin(\varphi) \sin(s) \sin(\omega) \end{aligned} \quad (4)$$

در رابطه فوق، φ عرض جغرافیایی هر نقطه از نقشه، s شیب، ω زاویه ساعتی^۲، δ زاویه میل خورشید^۳ و γ زاویه جهت شیب سطحی می باشد (تمامی موارد فوق بر حسب رادیان می باشند). نقشه های شیب و جهت شیب با استفاده از لایه DEM تولید می گردند. زاویه میل خورشید از رابطه ارائه شده توسط Cooper به شرح زیر محاسبه می گردد (Cooper 1969):

$$\delta = 0.409 \sin\left(\frac{2\pi.JD}{365} - 1.39\right) \quad (5)$$

که در اینجا JD روز ژولینی مورد بررسی می باشد.

زاویه ساعتی نیز تابعی از زمان استاندارد محلی (t) است و به صورت زیر تعریف می شود (Allen et al. 2002):

$$\omega = \frac{\pi}{12} \{t + 0.06667(L_z - L_m) + S_c\} - 12 \quad (6)$$

که در اینجا t زمان گذر ماهواره بر حسب ساعت (برای مثال برای ساعت ۱۰:۳۰، ۱۰/۵ نوشته می شود)، L_z طول جغرافیایی مرکز منطقه زمانی^۴ موجود در تصویر بر حسب دقیقه (که در این مطالعه منطقه زمانی مورد استفاده،

^۱ solar incidence angle

^۲ hour angle

^۳ solar declination

^۴ local time zone

تهران می باشد و طول جغرافیایی آن، $51/42$ درجه است)، L_m طول جغرافیایی مرکز تصویر برداشت شده توسط ماهواره بر حسب دقیقه و S_c یک تصحیح فصلی برای زمان خورشیدی^۱ می باشد که به صورت زیر اعمال می گردد (Allen et al. 2002):

$$S_c = 0.1645 \times \sin(2b) - 0.1255 \times \cos(b) - 0.025 \times \sin(b) \quad (7)$$

$$b = 2\pi(JD - 81)/364 \quad (8)$$

که در اینجا JD روز ژولینی تصویر مورد بررسی می باشد.

d_r همان طور که پیش تر گفته شد مربع معکوس فاصله نسبی زمین و خورشید می باشد و به وسیله رابطه زیر محاسبه می شود (Duffie and Beckman 1980):

$$d_r = 1 + 0.033 \times \cos\left(JD \frac{2\pi}{365}\right) \quad (9)$$

که در اینجا JD شماره روز مورد محاسبه (روز ژولینی) می باشد.

گذردهی اتمسفری (τ_{sw}) نیز با فرض شرایط اتمسفری بدون ابر و نسبتاً خشک، با استفاده از رابطه زیر که توسط نشریه FAO-56 توصیه شده، محاسبه می گردد (Allen et al. 1998):

$$\tau_{sw} = 0.75 + 2 \times 10^{-5} \times z \quad (10)$$

که در اینجا z ، ارتفاع از سطح دریا بر حسب متر می باشد (در این محاسبات از نقشه DEM منطقه استفاده شده است).

۳-۱-۴ تابش طول موج بلند خروجی ($R_{L\uparrow}$)

تابش طول موج بلند خروجی، شار تابشی حرارتی است که از سطح زمین به اتمسفر منتشر می شود ($W.m^{-2}$) این پارامتر در الگوریتم METRIC با استفاده از رابطه استفان-بولتزمن محاسبه می شود:

$$R_{L\uparrow} = \varepsilon_0 \times \sigma \times T_s^4 \quad (11)$$

که در آن ε_0 گسیلمندی سطح باند گسترده^۲ (بدون بعد)، σ ثابت استفان بولتزمن ($W.m^{-2}.K^{-4}$)، T_s دمای سطح زمین (K) هستند. نقشه دمای سطح (T_s) به صورت محصول آماده با دقت مکانی ۱ کیلومتر و دقت زمانی ۵ دقیقه از سنجنده MODIS و در لحظه تصویر دریافت می شود (به جدول ۲ مراجعه شود). مقادیر $R_{L\uparrow}$ از ۲۰۰ تا ۷۰۰ وات بر مترمربع با توجه به زمان و موقعیت تصویر می تواند تغییر نماید.

^۱ Solar time

^۲ broad-band

گسیلمندی سطح (ϵ_0)، راندمان انتشار طول موج بلند توسط سطح می باشد و در سنجنده MODIS، ناشی از باند پهن است. این پارامتر بوسیله رابطه توسعه داده شده توسط Owe و Van de Griend بصورت زیر محاسبه می شود (Van de Griend and Owe 1993):

$$\epsilon_0 = 1.0094 + 0.047 \times \ln(NDVI) \quad (12)$$

NDVI شاخص نرمال شده اختلاف پوشش گیاهی است که جهت تعیین مقدار و تراکم پوشش گیاهی در سطح زمین استفاده می شود و از اختلاف بازتابش باند محدوده قرمز و فروسرخ (که در این محدوده نرمال شده اند) به دست می آید.

۴-۱-۴- تابش طول موج بلند ورودی ($R_{L\downarrow}$)

تابش طول موج بلند ورودی، شار تابشی حرارتی رو به پایین از اتمسفر می باشد ($W.m^{-2}$). این پارامتر نیز با استفاده از رابطه استفان-بولتزمن بصورت زیر محاسبه می شود:

$$R_{L\downarrow} = \epsilon_a \times \sigma \times T_a^4 \quad (13)$$

که در آن ϵ_a گسیلمندی اتمسفر (بدون بعد)، σ ثابت استفان بولتزمن ($5.67 \times 10^{-8} W.m^{-2}.K^{-4}$)، و T_a دمای هوا در نزدیکی سطح زمین (K) هستند. مقادیر $R_{L\downarrow}$ از ۲۰۰ تا ۵۰۰ وات بر مترمربع با توجه به زمان و موقعیت تصویر می تواند تغییر کند.

محاسبه گسیلمندی اتمسفر با استفاده از رابطه (۱۴)، که توسط Bastiaanssen برای غرب مصر استخراج شده است، صورت می گیرد (Bastiaanssen 1995):

$$\epsilon_a = 1.08 \times (-\ln \tau_{sw})^{0.265} \quad (14)$$

در این رابطه τ_{sw} گذردهی اتمسفری می باشد و توسط رابطه ۱۰ محاسبه می شود. دمای هوای مورد استفاده در رابطه (۱۳)، در روش METRIC معمولی، دمای هوای پیکسل سرد (T_{cold}) می باشد. در روش اصلاح شده، این دما برای هر پیکسل با استفاده از نقشه DEM به صورت زیر اصلاح می شود (Allen et al. 2002):

$$T_{cold(each\ pixel)} = T_{cold} + 0.0065 \Delta Z \quad (15)$$

که در این رابطه ΔZ برابر است با اختلاف ارتفاع پیکسل سرد و ارتفاع هر پیکسل. ارتفاع پیکسل سرد با استفاده از نقشه DEM منطقه و با وارد کردن مختصات این پیکسل بدست می آید. در نهایت، بمنظور تولید محصول لحظه ای آلبدو، آلبدوی سطحی باند پهن از رابطه (۱۶) محاسبه می شود (Starks et al. 1991):

$$\alpha = 0.215 \times Ref_1 + 0.266 \times Ref_2 + 0.242 \times Ref_3 + 0.129 \times Ref_4 + 0.112 \times Ref_6 + 0.036 \times Ref_7 \quad (16)$$

که Ref_i ، مقادیر تابش باندهای ۱ تا ۷ به جز باند ۵ می باشد. پس از محاسبه ترم های ذکر شده، مقدار R_n برآورد می شود.

۴-۱-۵- شار گرمایی زمین (G)

شار گرمایی زمین درواقع نرخ ذخیره حرارت در خاک و گیاه در اثر انتقال است. METRIC ابتدا نسبت G/R_n را با استفاده از رابطه تجربی (۱۷) که توسط Bastiaanssen ارائه شده تخمین می زند (Bastiaanssen 2000):

$$\frac{G}{R_n} = T_s / \alpha (0.0038\alpha + 0.0074\alpha^2) (1 - 0.98NDVI^4) \quad (17)$$

که در آن، T_s دمای اصلاح نشده سطح (K)، α آلبدوی سطح (Broadband Albedo) و NDVI شاخص پوشش گیاهی است. قابل ذکر است رابطه (۱۷)، مقادیر G/R_n را برای سطوح خاک و گیاه برآورد می کند و برای سایر سطوح (آب و برف) مقدار ۱۰/۵ استفاده می شود (Allen et al. 2002). در مناطق کوهستانی نیز روند تخمین G به صورت فوق می باشد و نیازی به اصلاح T_s و سایر پارامترها نمی باشد.

۴-۱-۶- شار حرارتی محسوس (H)

شار حرارتی محسوس، در واقع هدر رفت حرارت به هوا از طریق همرفت و انتقال می باشد. رابطه بکار رفته جهت محاسبه این ترم مطابق ذیل می باشد (Allen et al. 2002):

$$H = (\rho \times C_p \times dT) / r_{ah} \quad (18)$$

که در آن ρ چگالی هوا (kg.m^{-3})، C_p گرمای ویژه در فشار معین ($1004 \text{ J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$)، dT اختلاف دمای هوای (K) بین دو ارتفاع مشخص (که طبق پیشنهاد دستورالعمل METRIC، ۰/۱ متر و ۲ متر در نظر گرفته می شود) و r_{ah} مقاومت آئرو دینامیکی در برابر انتقال حرارت (Sday.m^{-1}) است (Allen et al. 2002). حل رابطه (۱۸) به جهت وجود دو پارامتر نامشخص dT و r_{ah} مشکل است. جهت تسهیل این محاسبه، از دو پیکسل "سرد" و "گرم" (که در آن ها می توان H را پیش بینی نمود و dT را تخمین زد) و سرعت

باد در یک ارتفاع مشخص استفاده شده است. مقاومت آئرو دینامیکی در برابر انتقال حرارت (r_{ah}) و شار حرارتی محسوس مطابق با روابط ارائه شده در الگوریتم شماتیک شکل ۵ محاسبه می شوند.

➤ انتخاب پیکسل های سرد و گرم

الگوریتم METRIC جهت محاسبات نرخ تبخیر و تعرق واقعی، از دو پیکسل مبنا جهت تعیین حدود بالا و پایین بیان انرژی در سطح استفاده می کند. این دو پیکسل با نام های "سرد" و "گرم" در محل تشخیص داده شده توسط کاربر، تعیین می شوند. پیکسل "سرد" می بایست در محلی مرطوب، آبیاری شده و با پوشش گیاهی کامل در سطح زمین، انتخاب شود. در این پیکسل، فرض می شود که دمای سطح و دمای هوای نزدیک به سطح با هم برابرند. پیکسل "گرم" نیز می بایست در یک منطقه زراعی خشک که تبخیر و تعرقی در آن رخ نمی دهد، انتخاب گردد. هر دوی این پیکسل ها می بایست در مناطقی بزرگ و همگن واقع شده باشند.

انتخاب این پیکسل ها نیازمند مهارت و تجربه می باشد و کیفیت محاسبات ET در الگوریتم METRIC به انتخاب دقیق این پیکسل ها بستگی دارد. نحوه انتخاب پیکسل های "سرد" و "گرم" در دستورالعمل METRIC تشریح داده شده است (Allen et al. 2002). مختصات این پیکسل ها در مراحل بعدی محاسبه، استفاده می گردد. نکات ذیل در مورد تخمین r_{ah} قابل توجه است:

۱. سرعت اصطکاکی (u_*) برای شرایط اتمسفری خنثی با استفاده از داده های ایستگاهی تولید می شود.

$$u_* = \frac{ku_x}{\ln\left(\frac{z_x}{z_{0m}}\right)} \quad (19)$$

که در آن، u_x سرعت باد اندازه گیری شده در ایستگاه هوا شناسی (معمولاً در ارتفاع ۱۰ متر) ($m.s^{-1}$)، k ثابت بدون بعد فون کارمن (۰/۴۱) و z_{0m} طول زبری مومنتم برای هر پیکسل (m) می باشند.

۲. طول زبری مومنتوم (z_{0m}) با استفاده از روابط تجربی الگوریتم SEBS و با استفاده از نقشه LAI^1 که به صورت محصولی آماده از سنجنده MODIS دریافت می شود (به جدول ۲ مراجعه شود) محاسبه می گردد (Su et al. 2001). شاخص LAI یک کمیت بدون بعد است که رشد برگ گیاهان را مشخص می کند و برابر با اندازه سطح یک طرف برگ های گیاه در یک واحد از سطح زمین است. رابطه (۲۰) مقدار طول زبری مومنتوم (z_{0m}) را برآورد می کند:

$$\frac{u_*}{u(h)} = c_1 - c_2 e^{-c_3 c_d LAI} \quad (20)$$

¹ Leaf Area Index

$$n = \frac{C_d LAI}{2 u_*^2 / u(h)^2}$$

$$\frac{d}{h} = 1 - \frac{1 - e^{-2n}}{2n}$$

$$\frac{Z_{0m}}{h} = \left(1 - \frac{d}{h}\right) e^{-ku(h)/u_*}$$

در روابط بالا، u_* سرعت اصطکاک^۱ که برابر است با $(\frac{\tau_0}{\rho})^{1/2}$ ، τ_0 تنش برشی سطحی، ρ چگالی هوا، $u(h)$ سرعت افقی باد در ارتفاع h گیاه، C_1 ، C_2 و C_3 ضرایب تجربی که به ترتیب برابر با ۰/۲۶۴، ۰/۳۲۰ و ۱۵/۱، C_d ضریب نیروی عقب ران اجزای برگ، LAI شاخص سطح برگ، n ضریب کاهش پروفیل سرعت باد در گیاه، d ارتفاع جابجایی (ارتفاع مؤثر نیروی عقب ران بر اجزای گیاه)، k ثابت کارمن^۲ (برابر با ۰/۴) و Z_{0m} ارتفاع زبری برای انتقال مومنت هستند.

در مناطق کوهستانی لازم است طول زبری مومنتوم (Z_{0m}) بر اساس شیب منطقه و با استفاده از رابطه (۲۱) اصلاح شود (Allen et al. 2002):

$$Z_{0m(mnt)} = Z_{0m} \times [1 + (slope - 5)/20] \quad (21)$$

که در آن slope نقشه شیب منطقه بر حسب رادیان می باشد.

۳. سرعت باد در ارتفاعی که هیچ گونه تأثیری از زبری سطح قابل تصور نمی باشد (۲۰۰ متر) محاسبه می گردد. رابطه u_{200} در واقع همان رابطه (u_*) می باشد (Allen et al. 2002):

$$u_{200} = u_* \frac{\ln(\frac{Z_{200}}{Z_{0m}})}{k} \quad (22)$$

در مناطق کوهستانی لازم است تا سرعت باد در ارتفاع ۲۰۰ متری (u_{200}) بر اساس تأثیرات ارتفاعی اصلاح گردد. بنابراین ضریب وزنی سرعت باد در کوهستان به صورت رابطه (۲۳) تعیین می گردد (Allen et al. 2002):

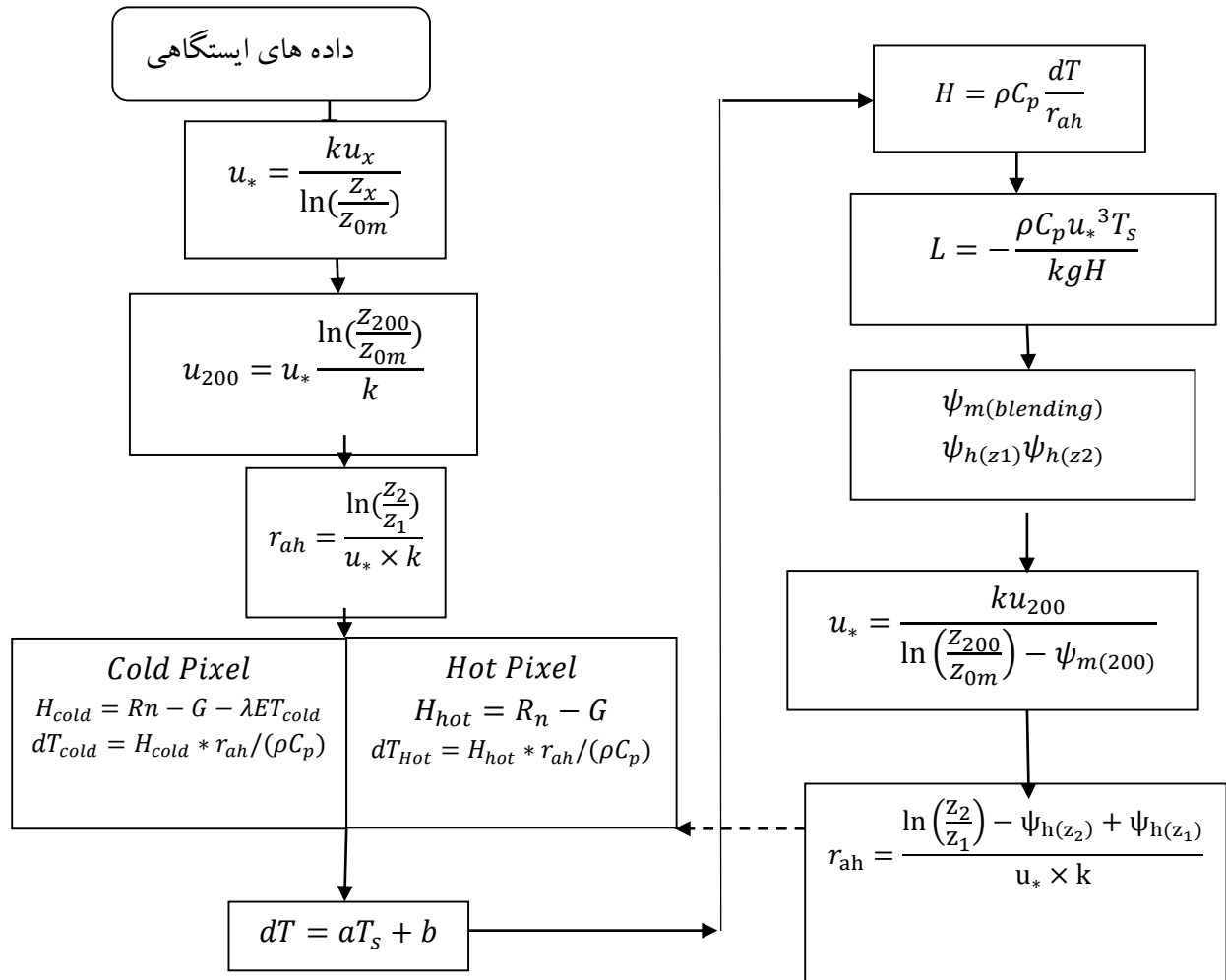
$$\omega = 1 + 0.1[(h - H)/1000] \quad (23)$$

که در آن مقصود از h ، ارتفاع هر پیکسل و H ارتفاع مکان اندازه گیری سرعت باد می باشد. u_{200} در هر پیکسل با ضرب کردن در ضریب ω تنظیم می شود.

^۱ Friction Velocity

^۲ Von Karman

۴. انجام یکسری محاسبات تکراری جهت در نظر گرفتن تأثیرات ناپایداری بر r_{ah} و H ضروری است. بنابراین با فرض شرایط خنثی یک مقدار اولیه برای r_{ah} محاسبه می شود. z_1 ارتفاعی نزدیک به صفحه تغییر مکان صفر^۱ برای سطح یا پوشش گیاهی و z_2 ارتفاعی بالاتر از صفحه تغییر مکان صفر و پایین تر از لایه مرزی سطح^۲ می باشد. بر اساس تحلیل های تجربی مقدار z_1 برابر ۰/۱ و مقدار z_2 برابر ۲ متر در نظر گرفته می شود (Allen et al. 2002)



شکل ۵ - دیاگرام محاسبه شار حرارتی محسوس (Allen et al. 2002)

جهت محاسبه شار حرارتی محسوس با استفاده از رابطه (۱۸) لازم است اختلاف دما در نزدیکی سطح زمین (dT) برای هر پیکسل تعیین گردد. این پارامتر درواقع اختلاف دما را در دو سطح ارتفاعی z_1 و z_2 نشان

^۱ Zero plane displacement

^۲ Surface boundary layer

می دهد. از آنجا که اندازه گیری دما در این سطوح وجود ندارد، در الگوریتم METRIC فرض می گردد که رابطه ای خطی بین dT و T_s برقرار است (Allen et al. 2002).

$$dT = b + aT_s \quad (24)$$

که در آن a و b ضرایب همبستگی می باشند.

در مناطق کوهستانی، جهت به دست آوردن تخمین مناسب تر از dT لازم است که دمای سطح بکار رفته در این رابطه بر اساس ارتفاع اصلاح شود. بنابراین در مدل اصلاح شده METRIC در مناطق کوهستانی، یک نقشه دمای سطح مصنوعی باهدف محاسبه dT تولید می شود. در این لایه فرض می شود (همانند آنچه که در پروفیل دمای هوا نیز مشاهده می شود)، نرخ کاهش دمای سطح با توجه به ارتفاع، افزایش پیدا می کند. دمای اصلاح شده سطح بر اساس DEM منطقه و از رابطه زیر به دست می آید (Allen et al. 2002):

$$T_{s-dem} = T_s + 0.0065\Delta z \quad (25)$$

که در آن Δz اختلاف ارتفاع هر پیکسل و ارتفاع مبنا برحسب متر است (معمولاً ارتفاع ایستگاه هواشناسی به عنوان ارتفاع مبنای تصویر مورد استفاده قرار می گیرد).

جهت تعیین ضرایب a و b ، METRIC از دو پیکسل سرد و گرم که می توان در آن ها مقدار H را به شکل قابل قبولی محاسبه نمود، استفاده می کند. در مورد تخمین dT و H می توان به موارد زیر اشاره نمود:

۱. بر اساس دستورالعمل METRIC، می توان نرخ ET در پیکسل "سرد" را $1/0.5$ برابر تبخیر و تعرق پتانسیل گیاه مرجع در نظر گرفت (Allen et al. 2002). با توجه به این که دستورالعمل مذکور بر اساس ماهواره Landsat طراحی شده است و این مطالعه بر اساس سنجنده MODIS است، نمی توان مستقیماً همین عدد را استفاده کرد. علت آن هم این است که اختلاط پیکسلی در پیکسل های یک کیلومتری مادیس بسیار بیش تر از پیکسل های 30 متری لندست است و قاعدتاً مربعی با ضلع یک کیلومتر که تماماً تحت آبیاری باشد یافت نخواهد شد. با توجه به این مسئله مشخص است که مقدار ET پیکسل سرد در مادیس باید کمتر از $1/0.5$ برابر تبخیر و تعرق پتانسیل گیاه مرجع باشد. با بررسی شرایط پیکسل های سرد معمول این مطالعه مشخص شد که حدود 90% این پیکسل ها در دوره رویش گیاه تحت آبیاری می باشد. بنابراین برای ET پیکسل سرد مقدار 0.9 برابر تبخیر و تعرق پتانسیل گیاه مرجع در نظر گرفته شد. در ادامه، H و dT در پیکسل سرد مطابق روابط (26) و (27) قابل محاسبه است:

$$H_{cold} = R_n - G - 1.05\lambda ET_r \quad (26)$$

$$dT_{cold} = H_{cold} \times r_{ah_{cold}} / (\rho_{cold} \times c_p) \quad (27)$$

۲. برای محاسبه تبخیر و تعرق مرجع در محل پیکسل سرد از شکل استاندارد شده رابطه ASCE Penman-Monteith استفاده خواهد شد (ASCE-EWRI 2005). رابطه زیر شکل استاندارد شده رابطه تبخیر و تعرق گیاه مرجع ASCE برای گام های زمانی ساعتی و روزانه را نشان می دهد. مقادیر ثابت های C_n و C_d از جدول ۱ تعیین می گردد.

$$ET_{ref} = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{C_n}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + C_d u_2)} \quad (28)$$

ET_{ref} : تبخیر و تعرق گیاه مرجع ($mm.day^{-1}$ یا $mm.hour^{-1}$)

R_n : تشعشع خالص در سطح پوشش گیاهی ($MJ.m^{-2}.day^{-1}$) یا ($MJ.m^{-2}.hour^{-1}$)

G : شار گرمایی خاک ($MJ.m^{-2}.day^{-1}$) یا ($MJ.m^{-2}.hour^{-1}$)

T : میانگین روزانه یا ساعتی دمای هوا در ارتفاع ۱/۵ تا ۲/۵ متری (C)

U_2 : میانگین روزانه یا ساعتی سرعت باد در ارتفاع ۲ متری ($m.s^{-1}$)

e_s : میانگین فشار بخار اشباع در ارتفاع ۱/۵ تا ۲/۵ متری (kPa) برای محاسبات روزانه، میانگین e_s محاسبه

شده برای دمای هوای حداقل و حداکثر

e_a : میانگین فشار بخار واقعی در ارتفاع ۱/۵ تا ۲/۵ متری (kPa)

Δ : شیب منحنی دما-فشار بخار ($kPa.C^{-1}$)

γ : ثابت سایکرومتریک ($kPa.C^{-1}$)

جدول ۱- مقادیر ثابت C_n و C_d جهت محاسبه تبخیر و تعرق مرجع (ASCE-EWRI 2005)

واحد اندازه گیری ET_r برای	ET مرجع بلندمدت		گام زمانی محاسبات
	C_n	C_d	
$mm.d^{-1}$	۱۶۰۰	۰/۳۸	روزانه و ماهانه
$mm.d^{-1}$	۶۶	۰/۲۵	ساعتی در روز
$mm.d^{-1}$	۶۶	۱/۷	ساعتی در شب

به منظور محاسبه ثابت سایکرومتریک، فشار بخار اشباع، فشار بخار واقعی و شیب منحنی فشار بخار از روابط زیر استفاده گردیده است:

$$\gamma = \frac{c_p}{\epsilon \lambda} = 0.665 \times 10^{-3} P \quad (29)$$

γ : ثابت سایکرومتریک ($\text{kPa} \cdot \text{C}^{-1}$)

P : فشار اتمسفر (kPa)

λ : گرمای نهان تبخیر، $(\text{MJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{C}^{-1}) 2/45$

c_p : گرمای ویژه در فشار ثابت، $(\text{MJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{C}^{-1}) 1/0.13 \times 10^{-3}$

ϵ : نسبت وزن مولکولی بخار آب به هوای خشک (معادل ۰/۶۲۲)

$$T_{\text{mean}} = \frac{T_{\text{max}} + T_{\text{min}}}{2} \quad (30)$$

T_{max} : حداکثر دمای هوای روزانه ($^{\circ}\text{C}$)

T_{min} : حداقل دمای هوای روزانه ($^{\circ}\text{C}$)

$$e^0(T) = 0.6108 \exp\left[\frac{17.27T}{T+273}\right] \quad (31)$$

$e^0(T)$: فشار بخار اشباع در دمای $T[\text{kPa}]$

T : دمای هوا [$^{\circ}\text{C}$]

$$e_s = \left[\frac{e^0(T_{\text{max}}) + e^0(T_{\text{min}})}{2} \right] \quad (32)$$

$$\Delta = \frac{2504 \times \exp\left(\frac{17.27T}{T+237.3}\right)}{(T+237.3)^2}$$

Δ : شیب منحنی دما-فشار بخار ($\text{kPa}/^{\circ}\text{C}$)

T : دمای هوا ($^{\circ}\text{C}$)

در محاسبه e_s ، در صورت محاسبه برای بازه زمانی روزانه، از همان $e^0(T)$ استفاده گردیده؛ با این تفاوت که از دمای متوسط روزانه به عنوان T استفاده شده است.

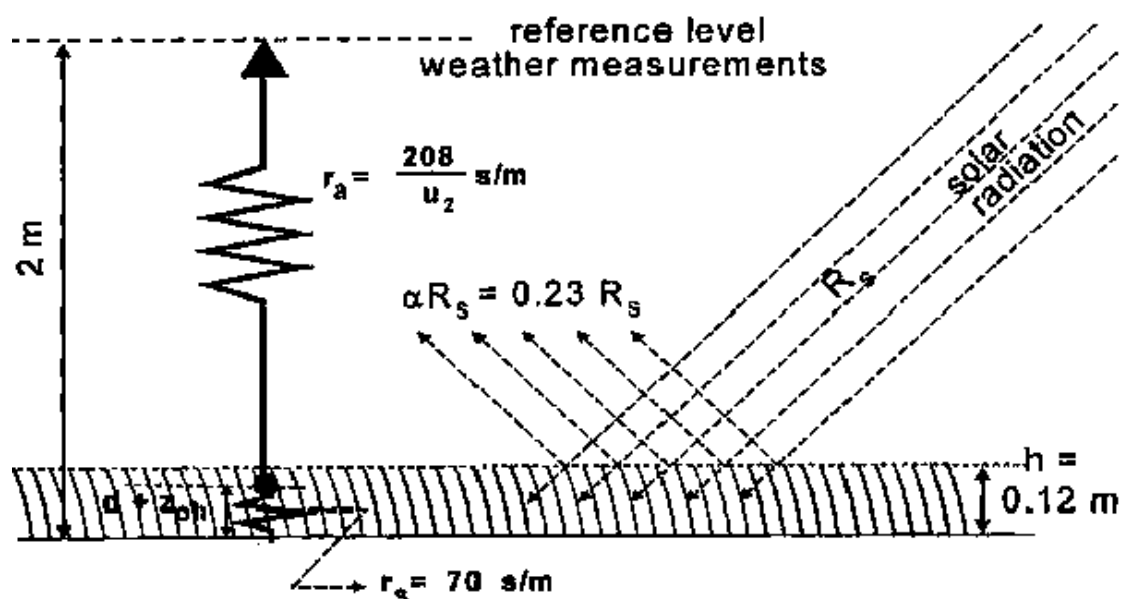
$$e_a = e^0(T_{\text{dew}}) = 0.6188 \exp\left[\frac{17.27T_{\text{dew}}}{T_{\text{dew}}+237.3}\right] \quad (33)$$

T_{dew} : دمای نقطه شبنم ($^{\circ}\text{C}$)

جهت محاسبه e_a ، از داده های روزانه و لحظه عبور ماهواره ایستگاه های سینوپتیک استفاده شده است.

به منظور ساده سازی تخمین تبخیر و تعرق گیاه مرجع با استفاده از این روش، روند محاسبات در نرم افزار Excel

و به صورت خودکار صورت گرفته است. مشخصات گیاه مرجع نیز به صورت شماتیک در شکل ۶ نمایش داده شده است.



شکل ۶- مشخصات گیاه مرجع به صورت شماتیک (ASCE-EWRI 2005)

۳. در پیکسل "گرم" (خشک)، که از سطحی خشک و فاقد پوشش گیاهی انتخاب می شود فرض می گردد که نرخ تبخیر و تعرق واقعی برابر صفر است. در پیکسل سرد نیز که در محلی مرطوب و آبیاری شده و با پوشش گیاهی کامل انتخاب می گردد فرض بر وجود بیشترین نرخ تبخیر و تعرق واقعی می باشد (Allen et al. 2002).

۴. با محاسبه dT_{hot} و dT_{cold} و با استفاده از دمای سطح پیکسل های موردنظر می توان مقادیر a و b را به دست آورد. بدین ترتیب در هر پیکسل، مقدار dT قابل تعیین است.

۵. با استفاده از رابطه $T_a = T_s - dT$ ، دمای هوا تعیین شده و با استفاده از آن، تخمینی از چگالی هوا (ρ) در پیکسل های "سرد" و "گرم" به دست می آید.

۶. در این مرحله با استفاده از رابطه (۱۸) مقدار شار حرارتی محسوس (H) برای هر پیکسل در شرایط اتمسفری خنثی به دست می آید.

۷. جهت وارد نمودن تأثیرات شناوری که از گرم شدن سطح ناشی می شود، METRIC از تئوری Monin-Obukhov در یک روند تکراری استفاده می کند. شرایط پایداری اتمسفر، بخصوص در شرایط خشک، تأثیر زیادی بر مقاومت آئرو دینامیکی (r_{ah}) داشته و لازم است در محاسبه شار حرارتی محسوس (H) در

نظر گرفته شود. METRIC جهت اصلاح تأثیرات شناوری، محاسبه H را در یک روند تکراری ادامه می دهد تا مقدار r_{ah} پایدار شود.

طول Monin-Obukhov(L) جهت تعیین شرایط پایداری اتمسفر در این روند تکراری محاسبه می گردد:

$$L = - \frac{\rho C_p u_*^3 T_s}{kgH} \quad (34)$$

که در آن، ρ چگالی هوا (kg/m^3)، C_p حرارت مخصوص هوا (1001 J/kg/K)، u_* سرعت اصطکاکی (m/s)، T_s دمای سطح (K)، g ثابت جاذبه (9.81 m/s^2)، و H شار حرارتی محسوس (W/m^2) است. مقادیر L شرایط پایداری اتمسفر را تعریف می کند. اگر $L < 0$ ، اتمسفر غیر پایدار، اگر $L > 0$ اتمسفر پایدار و اگر $L = 0$ اتمسفر خنثی در نظر گرفته می شود.

با توجه به شرایط اتمسفری، مقادیر اصلاح پایداری برای مونتوم و انتقال حرارت (ψ_m و ψ_h) با استفاده از فرمول های ارائه شده توسط Webb محاسبه می شود (Webb et al. 1971).

اگر $L < 0$ ، شرایط غیر پایدار است:

$$\psi_{m(200m)} = 2 \ln \left(\frac{1+x(200m)}{2} \right) + \frac{1+x(200m)^2}{2} - 2 \text{ARCTAN}(x(200m)) + 0.5 \pi \quad (35)$$

$$\psi_{h(z)} = 2 \ln \left(\frac{1+x(z)^2}{2} \right) \quad (36)$$

که در آن

$$x(z) = (1 - 16 \frac{z}{L})^{0.25} \quad (37)$$

و اگر $L > 0$ ، شرایط پایدار خواهد بود:

$$\psi_{m(200m)} = -5 \left(\frac{2}{L} \right) \quad (38)$$

$$\psi_{h(z)} = -5 \left(\frac{z}{L} \right) \quad (39)$$

اگر شرایط اتمسفری خنثی باشد ($L = 0$)، آنگاه هر دوی ψ_m و $\psi_{h(z)}$ برابر صفر هستند.

در این مرحله مقدار اصلاح شده سرعت اصطکاکی (u_*) با توجه به شرایط اتمسفر محاسبه می گردد:

$$u_* = \frac{ku_{200}}{\ln \left(\frac{z_{200}}{z_{0m}} \right) - \psi_{m(200)}} \quad (40)$$

که در آن، u_{200} سرعت باد در ارتفاع ۲۰۰ متر ($m.s^{-1}$)، k ثابت فون کارمن (۰/۴۱)، z_{0m} طول زبری برای هر پیکسل (m)، و $\psi_m(200m)$ اصلاح پایداری برای انتقال مومنتوم در ارتفاع ۲۰۰ متر است. با اصلاح سرعت اصطکاکی، می توان مقدار اصلاح شده برای مقاومت آئرو دینامیکی در برابر انتقال حرارت (r_{ah}) را در هر مرحله تکرار، بدین ترتیب به دست آورد:

$$r_{ah} = \frac{\ln\left(\frac{z_2}{z_1}\right) - \psi_{h(z_2)} + \psi_{h(z_1)}}{u_* \times k} \quad (41)$$

که کلیه پارامترها در بندهای قبل معرفی شده اند. در ادامه، مراحل کار از بند سوم با محاسبه dT آغاز شده و به ترتیب بالا ادامه پیدا می کند. این روند تکراری تا میل پارامترهای dT و r_{ah} در پیکسل "گرم" و "سرد" به مقداری پایدار ادامه پیدا می کند. در نهایت مقدار نهایی شار حرارتی محسوس در هر پیکسل محاسبه می شود.

۴-۲- تخمین نرخ تبخیر و تعرق واقعی

۴-۲-۱- نرخ تبخیر و تعرق لحظه ای (ET_{inst})

ارتفاع تبخیر و تعرق لحظه ای از رابطه (۴۲) قابل محاسبه است (Allen et al. 2002):

$$ET_{inst} = 3600 \frac{\lambda ET}{\lambda \rho_w} \quad (42)$$

که در آن ET_{inst} ارتفاع تبخیر و تعرق لحظه ای ($mm.hr^{-1}$)، عدد ۳۶۰۰ تبدیل واحد زمان از ثانیه به ساعت، λ گرمای نهان تبخیر یا گرمای جذب شده برای تبخیر یک کیلو گرم آب ($J.kg^{-1}$) و ρ_w چگالی آب (معادل $1000 Kg.m^{-3}$) می باشد. λET ($W m^{-2}$) بیانگر شار گرمای نهان تبخیر می باشد که طبق رابطه (۱) از تفاضل G و H از R_n بدست می آید.

نسبت ET مرجع (ET_{TrF}) نیز به عنوان نسبت ET لحظه ای (ET_{inst}) در هر پیکسل به ET مرجع (ET_r) (که با استفاده از داده های هواشناسی به دست می آید)، مطابق رابطه زیر تعریف می شود:

$$ET_{TrF} = \frac{ET_{inst}}{ET_r} \quad (43)$$

^۱ reference ET fraction

که در آن ET_{inst} از رابطه ۴۲ ($mm.hr^{-1}$) و ET_r تبخیر و تعرق گیاه مرجع ($mm.hr^{-1}$) در زمان تصویر است. ET_{rF} جهت تبدیل ET لحظه ای به دوره ۲۴ ساعته بکار می رود.

۲-۲-۴- نرخ تبخیر و تعرق واقعی روزانه (ET_{24})

جهت محاسبه ET روزانه در الگوریتم METRIC، فرض می گردد که ET_{rF} لحظه ای معادل میانگین ۲۴ ساعته این پارامتر است. بنابراین ET_{24} بر حسب میلی متر در روز و از رابطه (۴۴) محاسبه می شود:

$$ET_{24} = ETrF \times ET_{r-24} \quad (44)$$

که در آن ET_{r-24} مقدار تجمعی ET_r در طول ۲۴ ساعت روز تصویر است و با استفاده از رابطه (۳۴۲۸) محاسبه می شود.

۳-۲-۴- نرخ تبخیر و تعرق فصلی ($ET_{seasonal}$)

نقشه نرخ تبخیر و تعرق واقعی فصلی با استفاده از داده های نرخ تبخیر و تعرق واقعی ۲۴ ساعته تخمین زده می شود. مراحل تبدیل مقدار تبخیر و تعرق از بازه ۲۴ ساعته به بازه فصلی به شرح زیر است:

۱. تعیین طول فصل مورد نظر
۲. تعیین دوره زمانی که هر تصویر ماهواره ای (در آن فصل مورد بررسی)، نماینده آن تعداد روز می باشد
۳. محاسبه ET_r تجمعی برای دوره زمانی مشخص شده در مرحله قبل (برابر با مجموع مقادیر ET_r روزانه در این دوره زمانی).

۴. محاسبه ET تجمعی در هر دوره زمانی با توجه به رابطه زیر صورت می گیرد:

$$ET_{period} = ETrF_{period} \cdot \sum_{1}^n ET_{r-24} \quad (45)$$

که در آن، $ET_{rF_{period}}$ نماینده ET_{rF} در آن دوره، ET_{r-24} مقدار روزانه ET_r ، و n تعداد روزهای دوره زمانی است. واحد ET_{period} میلی متر و ET_{r-24} بر حسب mm/day می باشد.

۵. در نهایت ET فصلی از مجموع مقادیر ET_{period} برای طول فصل بر حسب میلی متر به دست می آید.

۴-۳- داده های مورد استفاده در الگوریتم بیلان انرژی

جهت به کارگیری الگوریتم METRIC اصلاح شده با اثر شیب، به طور کلی از دو نوع داده استفاده شده است که شامل داده های زمینی و داده های ماهواره ای می باشند. در ادامه، هر یک از این نوع داده ها به تفکیک مورد بررسی و توضیح بیشتر قرار خواهند گرفت.

۴-۳-۱- داده های زمینی

استفاده از داده های ماهواره ای همواره مستلزم وجود داده های زمینی است. گاهی این داده ها خود خلأ داده های ماهواره ای در الگوریتم ها را پر می کنند و گاهی نیز جهت اعتبار سنجی داده ها و نتایج به دست آمده از تصاویر ماهواره ای استفاده می شوند. داده های زمینی مورد استفاده در این مطالعه شامل داده های هواشناسی ایستگاه های سینوپتیک^۱ و اطلاعات لایسیمتر می باشند. داده هایی که از اطلاعات ایستگاه های سینوپتیک مورد استفاده قرار گرفته اند عبارت اند از: دمای روزانه کمینه، بیشینه و متوسط هوا (درجه سانتی گراد)، سرعت باد در ارتفاع ۱۰ متری (Knot) که در محاسبات به ارتفاع ۲ متری تبدیل گردید، رطوبت نسبی (درصد)، بارش (میلی متر) و تعداد ساعات آفتابی (ساعت). در این مطالعه از داده های لایسیمتر مزارع نیشکر میرزا کوچک خان، ذکر شده در مقاله شینی دشتگل و همکاران (۱۳۸۸) استفاده گردید. که از لایسیمترهای حجمی زهکش دار (زهکش ها در اعماق ۱، ۱/۵ و ۲ متری از سطح زمین) با کف شیب دار استفاده شده است.

۴-۳-۲- داده های ماهواره ای

برای تولید هر یک از ترم های معادله بیلان انرژی به طور مستقیم یا غیر مستقیم از تعدادی از محصولات سنجنده MODIS در کنار داده های زمینی استفاده شده است. در جدول ۲ فهرستی از داده های دریافت شده از سایت MODIS نشان داده شده است. همچنین در این جدول، قدرت تفکیک زمانی و مکانی داده ها و نوع آنها نیز مشخص شده است. در این گزارش رابطه ای برای پارامترهایی که به صورت محصول آماده استفاده شده اند (مانند LAI، T_s، NDVI) ارائه نشده است.

جدول ۲- داده های اولیه مورد استفاده در الگوریتم بیلان انرژی به همراه تفکیک مکانی و زمانی داده ها

توضیحات	Spatial Resolution	Time Resolution	Data type	Code	Downloaded Data
دمای سطح زمین	۱ کیلومتر	روزانه	رستر	MOD11A2	T _s
شاخص سطح برگ	۱ کیلومتر	۴ روزه	رستر	MCD15A3	LAI

^۱ Synoptic

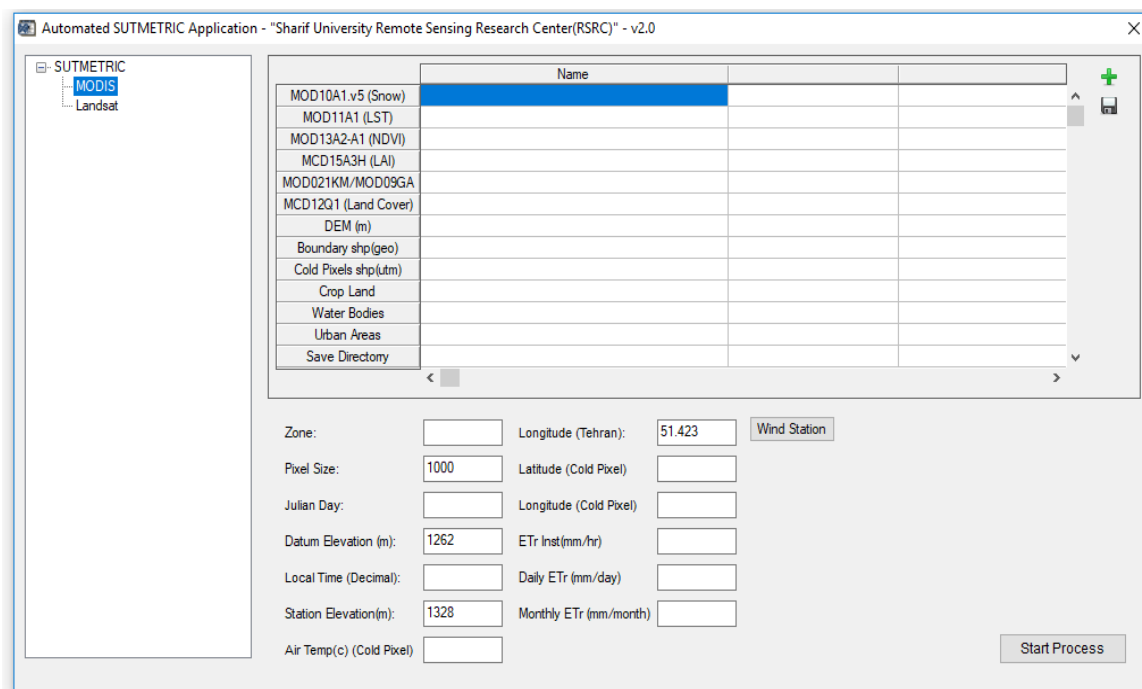
ادامه جدول ۲- داده های اولیه مورد استفاده در الگوریتم بیان انرژی به همراه تفکیک مکانی و زمانی داده ها

توضیحات	Spatial Resolution	Time Resolution	Data type	Code	Downloaded Data
شاخص اختلاف پوشش گیاهی نرمال شده	۱ کیلومتر	۱۶ روزه	رستر	MOD13A2	NDVI
تابش باندهای ۱ تا ۷ به جز باند ۵ که برای تخمین آلوده استفاده می شوند.	۱ کیلومتر	لحظه ای	رستر	MOD02	Reflectance(all of band)
تفکیک برف و ابر	۱ کیلومتر	روزانه	رستر	MOD10A2	Snow Cover
تفکیک پوشش های مختلف زمین	۵۰۰ متر	سالانه	رستر	MCD12Q1	Land Cover

جهت افزایش سرعت مطالعه و جلوگیری از ازدیاد حجم داده های نامناسب، در گام نخست و پیش از سفارش تصاویر، بر اساس تصاویر موجود در سایت ۱ Rapid Response، به صورت چشمی، روزهای مناسب برای برداشت تصویر انتخاب گردید. این سایت دارای تصاویری با ترکیب باند مختلف در زمان های گذر دو سکوی Terra و Aqua و برای تمامی روزهای سال است که به کمک آن ها می توان روزهای ابری و تصاویر با کیفیت پایین را شناسایی کرد و از روند محاسبات کنار گذاشت. پس از پالایش چشمی، تصاویر برای روزهای مورد نظر دانلود شد.

عملیات اجرایی الگوریتم METRIC با استفاده از کدنویسی در زبان IDL انجام شد تا در نهایت به یک Application جامع خود کار دارای تمامی مراحل اجرایی و حتی تجربی الگوریتم، دست یافته شود. محیط اجرایی نرم افزار در شکل ۷ نشان داده شده است. در این نرم افزار فقط کافی است که لایه های خام HDF سنجنده MODIS، لایه DEM، مرز منطقه مطالعاتی، اطلاعات هواشناسی و تبخیر و تعرق مرجع افزوده شود تا بعد از انتخاب پیکسل سرد و گرم در یک محیط گرافیکی، لایه های نهایی تبخیر و تعرق واقعی در زمانی کمتر از یک دقیقه تولید شود.

^۱ <https://earthdata.nasa.gov/data/near-real-time-data/rapid-response>



شکل ۷- محیط اجرایی نرم افزار توسعه داده شده جهت محاسبه تبخیر تعرق در مرکز سنجش از دور دانشگاه شریف

شرایط در نظر گرفته شده برای قبول کردن هر لایه به عنوان لایه مناسب در جدول ۳ آورده شده است. با توجه به اینکه منطقه مورد مطالعه (استان خوزستان) در نقطه گرمسیری واقع شده است، در مورد انتخاب تصویر بدون ابر به جز در ماه های ژانویه و فوریه مشکلی وجود نداشت. برای ماه های ژانویه و فوریه بهترین روز بدون ابر انتخاب گردید و برای ماه های دیگر به دلیل وجود تعداد زیادی تصویر بدون ابر سعی شد تصویر انتخابی در روزهای میانی ماه باشد. به این دلیل که احتمالاً روز میانی ماه می تواند نماینده خوبی از کل ماه باشد.

جدول ۳- شرایط لازم برای استفاده از هر محصول در الگوریتم اصلاح شده METRIC

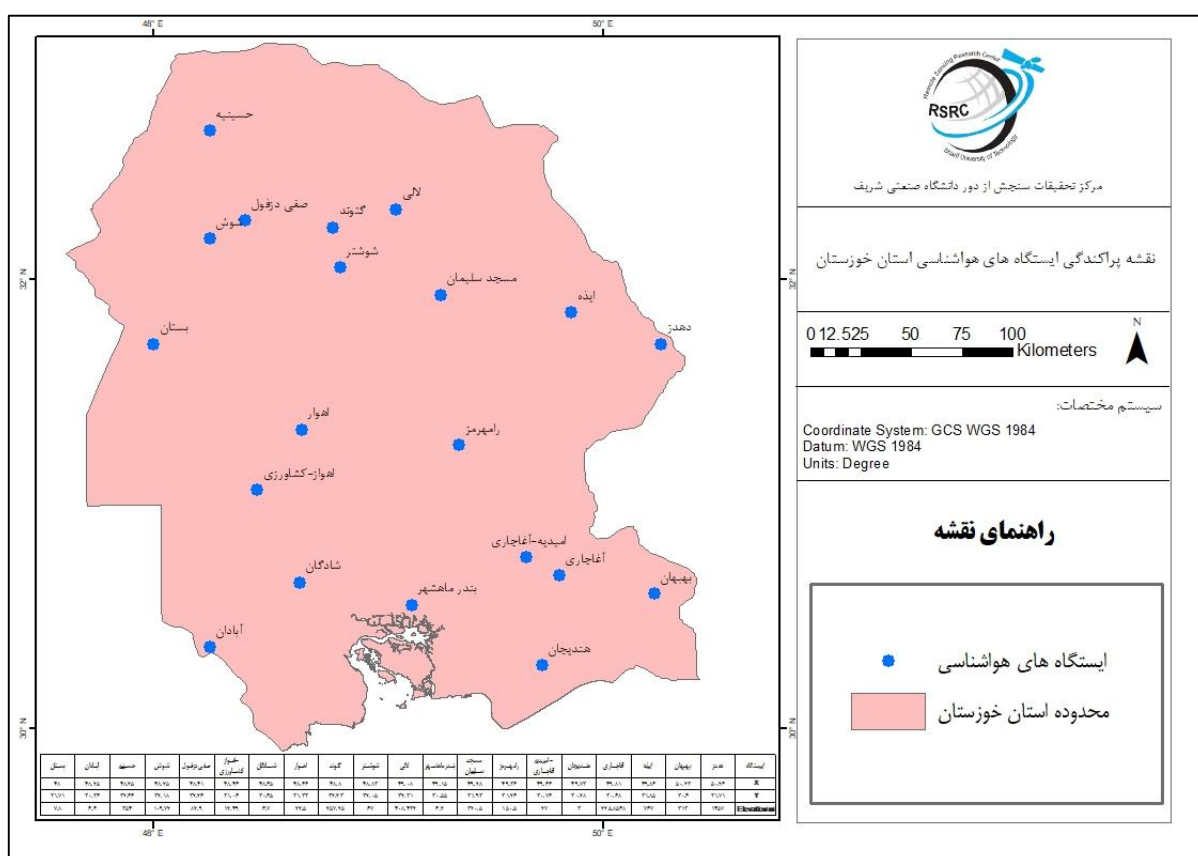
شرایط	لایه ها
وجود حداقل یک تصویر در روز و یک تصویر در شب از هر یک از سکوها یا آکوا	LST
وجود تصویر مناسب و بدون ابر در فاصله چهارروزه از تاریخ موردنظر	LAI
وجود تصویر مناسب و بدون ابر در فاصله شانزده روزه از تاریخ موردنظر	NDVI

۴-۴- محاسبات نقشه های بارش

بارندگی یکی از متغیرهای اقلیمی است که به عنوان محرک چرخه هیدرولوژیکی، از اهمیت زیادی برخوردار است و مدیریت جامع حوضه های آبخیز در گرو درک صحیح از الگوهای مکانی و زمانی بارش و همچنین پیش بینی درازمدت آن می باشد. اطلاعات صحیح و به هنگام از بارندگی نقش بسزایی در فهم چرخه های آب و

انرژی جهانی و مدیریت منابع آبی نظیر مدیریت کشاورزی، کاهش آسیب وقوع سیل، پیش‌بینی خشک‌سالی و موارد دیگر دارد (Schneider et al. 2008). همچنین مقدار بارش، به عنوان ورودی اصلی بسیاری از مدل‌های اقلیمی، اکولوژیکی و بیلان آب ایفای نقش نموده و بدیهی است با دستیابی به موقع به اطلاعات صحیح بارندگی، بشرفت مدیریت چشمگیری در حل مسائل زیست‌محیطی حاصل می‌شود.

آمار بارش ماهانه مربوط به ۲۰ ایستگاه سینوپتیک استان خوزستان از سایت سازمان هواشناسی (<http://www.irimo.ir>) دریافت گردید. شکل ۸ نام و موقعیت ایستگاه‌های مورد مطالعه را نشان می‌دهد. با اختصاص طول و عرض جغرافیایی و مقادیر بارش ماهانه در نرم‌افزار GIS، ابتدا نقشه‌های نقطه‌ای بارش تولید شده است. طبق بررسی‌های صورت گرفته، از بین روش‌های مختلف درونیابی، روش میانگین وزنی با فاصله معکوس (IDW) با توان ۲ برای درونیابی استفاده شده است. با اعمال روش مذکور، نقشه‌های نقطه‌ای تولید شده به نقشه سطحی (رستر) تبدیل گردید (سیم، ۱۳۹۲).

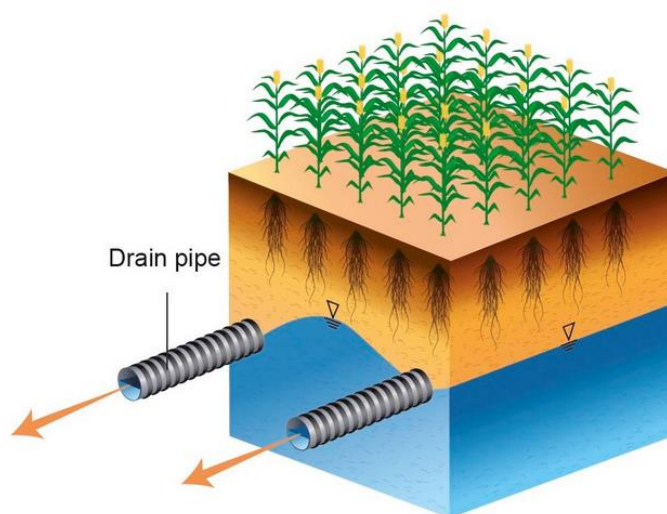


شکل ۸- اسامی و موقعیت ایستگاه‌های سنویتیک استان خوزستان برای محاسبات بارش

۴-۵- برآورد آب زهکشی شده

خارج کردن آب های اضافی زیرزمینی، سطحی و رواناب از یک سازه یا از یک منطقه توسط نیروی ثقل یا پمپاژ به منظور جلوگیری کردن از مزاحمت این آب اضافی یا جلوگیری از زیان ناشی از آن را به طور عام زهکشی می گویند (Adrien., 2003). تعریف FAO از زهکشی، خارج ساختن آب و نمک های قابل حل از سطح و زیر سطح مزرعه به منظور تسهیل رشد گیاه است (Ritzema et al., 1996). شکل ۹ شماتیک زهکشی زمین های کشاورزی را نشان می دهد. در مزارع کشت و صنعت خوزستان بسته به نوع خاک در هر کشت و صنعت، لوله های زهکشی در عمق تقریباً ۲ متری و به فاصله ۵۰ تا ۷۰ متر از همدیگر قرار می گیرند. قطر این لوله ها از ۱۲۵ تا ۱۶۰ میلی متر متغیر بوده و شیب طولی آنها تقریباً ۰/۰۰۰۷ می باشد.

استان خوزستان به سبب وجود کشت و صنعت های ده گانه نیشکر و شرایط سنگین بافت خاک دارای بیشترین شبکه زهکشی در ایران می باشد. با توجه به در دسترس بودن داده های زهکشی در هفت کشت و صنعت نیشکر برای محدوده زمانی مطالعه، مقدار کل آب زهکشی شده در هر یک از کشت و صنعت ها برای سال ۲۰۱۶ میلادی مورد استفاده قرار گرفت.



شکل ۹- زهکشی زمین های کشاورزی

به دلیل در اختیار نداشتن داده های زهکشی در کشت و صنعت های کارون، هفت تپه و میان آب، با در نظر گرفتن میزان زهکشی به ازای هر هکتار در کشت و صنعت های دیگر، مقدار زهکشی در این کشت و صنعت ها به صورت فرضی در نظر گرفته شد. مقادیر آب زهکشی شده در هر کشت و صنعت در جدول ۴ آورده شده است.

جدول ۴- زه آب کشت و صنعت‌های خوزستان در سال ۲۰۱۶ میلادی

کشت و صنعت	زه آب (MCM)
امام خمینی	۱۳۸
امیرکبیر	۱۷۲
میرزا کوچک خان	۲۱۴
دعبل خزاعی	۲۱۹
سلمان فارسی	۱۸۶
حکیم فارابی	۱۸۷
دهخدا	۱۹۱
کارون	۱۹۳
هفت تپه	۱۱۱
میان آب	۱۳۸
مجموع	۱۷۴۸

۴-۶- برآورد نیاز خالص آبیاری و آبیاری اعمال شده محصولات زراعی-باغی در اراضی آبی^۱

گیاه جهت تأمین میزان آب مورد نیاز خود از بارش مؤثر و آبیاری کشاورزان استفاده می‌نماید. میزان نیاز خالص آبیاری (میزان آبیاری مورد نیاز گیاه) برابر با اختلاف میزان بارش مؤثر و نیاز آبی گیاه است. همچنین، میزان آبیاری اعمال شده برابر با اختلاف میزان بارش مؤثر و میزان تبخیر و تعرق واقعی می‌باشد. در مناطقی که زمین‌های کشاورزی دارای زهکش می‌باشند، آب زهکشی شده نیز باید در معادله آورده شده و جزئی از آب آبیاری اعمال شده به حساب آید؛ به این دلیل که آب زهکشی شده از نظر کیفی قابلیت مصرف دوباره برای آبیاری را ندارد. این مقادیر با استفاده از معادله (۴۶) و (۴۷) محاسبه خواهند شد.

$$ET_{potential} - EP = Irr_{Demand} \quad (46)$$

$$ET_{actual} - EP + D = Irr_{Applied} \quad (47)$$

در این روابط $ET_{potential}$ و ET_{actual} به ترتیب نرخ تبخیر و تعرق واقعی و نیاز آبی گیاه در اراضی آبی بر حسب میلی‌متر می‌باشد. ترم EP میزان بارش مؤثر روی اراضی زراعی و باغی بر حسب میلی‌متر است که با توجه به توصیه FAO به صورت متوسط به میزان ۰/۶۹ از کل بارش باران برآورد می‌شود (Bos et al. 2008).

^۱ Irrigated Land

همچنین ترم D میزان آب زهکشی شده بر حسب میلی متر می باشد که در اراضی کشاورزی دارای سیستم زهکشی منظور می گردد. آب قابل صرفه جویی از تفاوت میزان آبیاری اعمال شده با نیاز خالص آبیاری به دست می آید. نحوه محاسبه هر یک از این ترم ها به تفصیل در ادامه آورده شده است.

۴-۶-۱- محاسبه نیاز خالص آبیاری

برای محاسبه نیاز خالص آبیاری محصولات کشاورزی استان خوزستان نیاز به سطوح زیر کشت محصولات مختلف و مقدار نیاز آبی هر محصول در هر اقلیم داریم. برای برآورد سطوح زیر کشت از آمارنامه های سازمان جهاد کشاورزی در سال ۱۳۹۵-۱۳۹۴ استفاده شد. برای برآورد نیاز آبی محصولات نیز از ترکیب نرم افزارهای NETWAT و CROPWAT بهره برده شد. در نرم افزار NETWAT مقدار نیاز آبی محصولات اصلی ۶۲۰ دشت کشور با توجه به اقلیم آن منطقه محاسبه شده است. بنابراین ترجیح این مطالعه بر استفاده از نتایج این نرم افزار بود. اما برای محاسبه نیاز آبی آن دسته از محصولات فرعی که در نرم افزار NETWAT موجود نبود به نرم افزار CROPWAT سازمان FAO رجوع شد. لازم به ذکر است که در این مطالعه فقط سطوح زیر کشت آبی بررسی شد چرا که هدف محاسبه میزان آب قابل صرفه جویی در آبیاری است. با استفاده از سطوح زیر کشت استخراج شده از آمار سازمان جهاد کشاورزی و نیاز آبی هر محصول، مجموع نیاز آبی محصولات زراعی و باغی برای استان خوزستان محاسبه گردید. طبق رابطه ۴۶ با کم کردن بارش موثر از نیاز آبی، مقدار نیاز خالص آبیاری محاسبه گردید.

۴-۶-۲- محاسبه میزان آبیاری اعمال شده

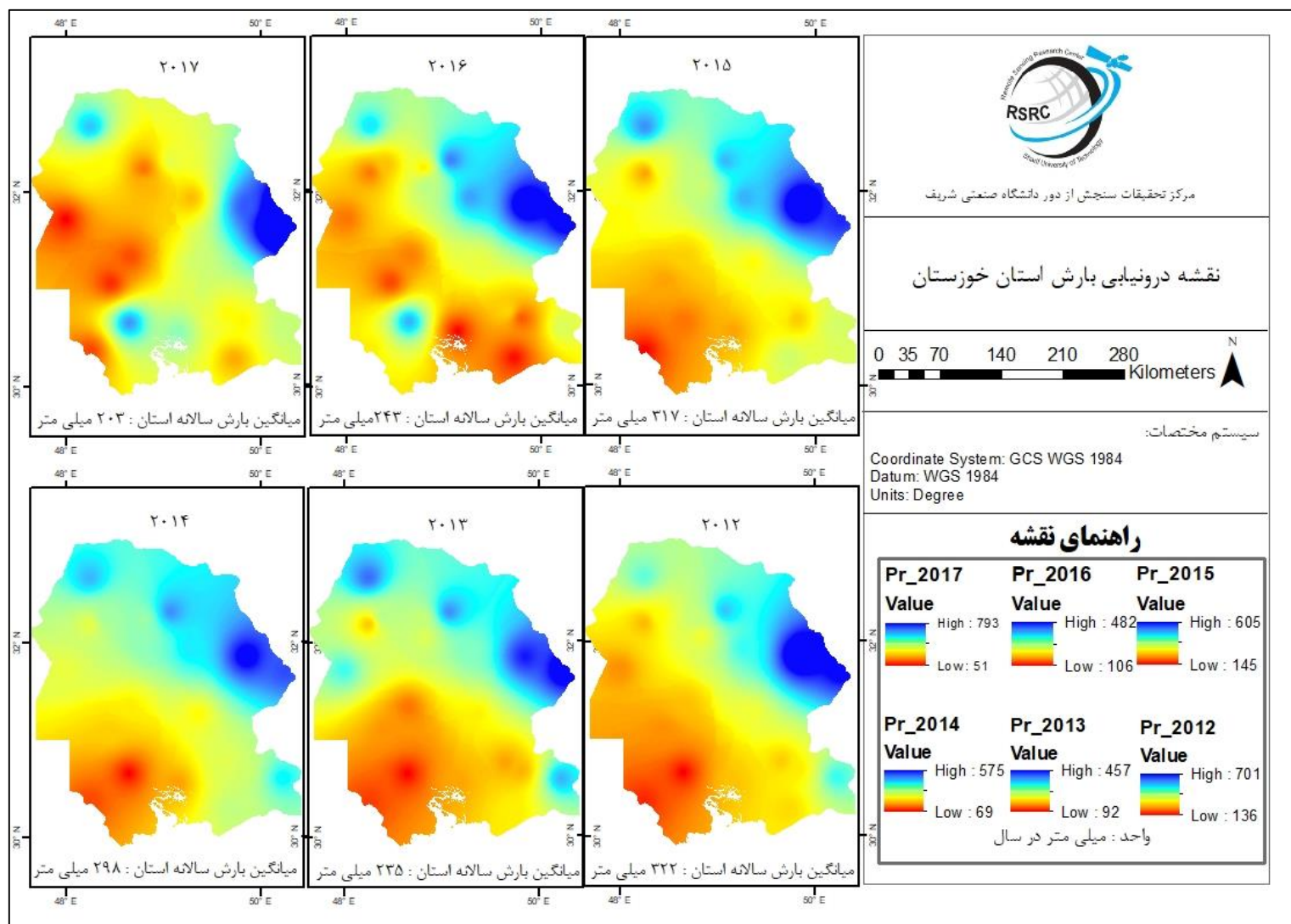
برای محاسبه آب آبیاری اعمال شده، بر اساس رابطه ۴۷ ابتدا مقدار تبخیر و تعرق در زمین های کشاورزی محاسبه گردید. برای تعیین کاربری اراضی و مشخص نمودن مکان زمین های کشاورزی استان خوزستان از محصول MCD12Q1 سنجنده MODIS استفاده شد. با مشخص نمودن مکان زمین های کشاورزی، میانگین تبخیر و تعرق در زمین های کشاورزی به دست آمده و با اعمال مساحت زیر کشت طبق آمار سازمان جهاد کشاورزی، حجم تبخیر و تعرق در زمین های کشاورزی محاسبه گردید. طبق این آمار ۸۰۰ هزار هکتار کشت زراعی آبی و ۴۹ هزار هکتار کشت باغی آبی در استان خوزستان گزارش شده است. در ادامه با استفاده از آمار آبیاری و زهکشی کشت و صنعت ها، مقدار آب زهکشی شده در کشت و صنعت های نیشکر خوزستان برای سال ۲۰۱۶ محاسبه گردید. در این بخش فرض بر اینست که سیستم زهکشی فقط در کشت و صنعت های ده گانه

وجود داشته و از وجود احتمالی سیستم زهکشی در سایر مناطق کشاورزی استان خوزستان صرف نظر شده است. در نهایت با اعمال بارش موثر در رابطه، مقدار آبیاری اعمال شده به دست می‌آید.

۵- نتایج

۵-۱- نقشه‌های بارش

با استفاده از اطلاعات ماهانه بارش ۲۰ ایستگاه سینوپتیک استان خوزستان و اجرای روش IDW توان دوم، نقشه‌های سالانه بارش استان خوزستان از سال ۲۰۱۲ تا ۲۰۱۷ تولید شد که در شکل ۱۰ نشان داده شده است. نتایج نشان می‌دهد که مناطق شمال شرقی استان دارای بیشترین بارش و جنوب غربی استان دارای کمترین بارش سالانه می‌باشند. هم‌چنین بیشترین بارش سالانه در سال ۲۰۱۲ با ۳۲۲ میلی‌متر و کمترین بارش سالانه در سال ۲۰۱۷ میلادی با ۲۰۳ میلی‌متر رخ داده است که این امر حاکی از روند کاهشی نزولات جوی در این استان است. میانگین بارش در سال ۲۰۱۶، ۲۴۳ میلی‌متر می‌باشد که در این سال مناطق شمال و شمال شرقی استان و هم‌چنین قسمت‌هایی از جنوب غرب دارای بارش بیشتری نسبت به سایر مناطق می‌باشند. با اعمال ضریب پیشنهادی FAO برای محاسبه بارش موثر میانگین بارش موثر در استان خوزستان برابر با ۱۶۸ میلی‌متر برآورد می‌گردد.



شکل ۱۰ - نقشه بارش سالانه استان خوزستان از سال ۲۰۱۲ تا ۲۰۱۷ میلادی

۵-۲- تبخیر و تعرق گیاه مرجع

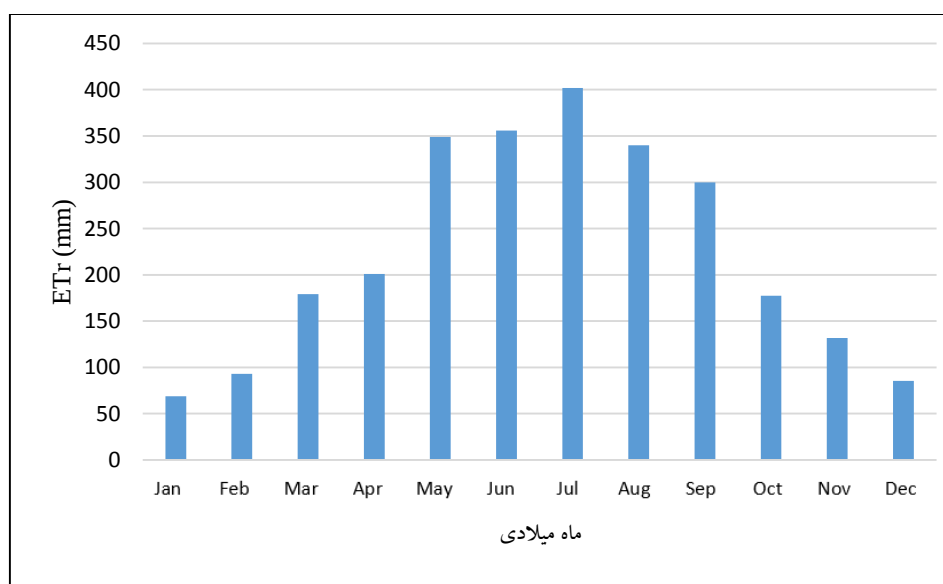
مقادیر تبخیر و تعرق گیاه مرجع با استفاده از پارامترهای هواشناسی ایستگاه اهواز برای هر ۳۶۶ روز سال ۲۰۱۶ میلادی محاسبه شد. لازم به ذکر است که علل انتخاب ایستگاه اهواز عبارتند از:

۱- ایستگاه اهواز از نظر اقلیمی در میانه دو قسمت سرد شمال شرق و بسیار گرم جنوب غرب قرار دارد و متوسط نسبتاً خوبی از استان می‌باشد.

۲- بیش‌تر اراضی کشاورزی در اطراف این شهر قرار دارند. بخش عمده‌ای از کشت و صنعت‌های نیشکر در قسمت‌های جنوبی و شمالی این شهر واقع شده‌اند.

۳- ایستگاه هواشناسی اهواز از مجهزترین ایستگاه‌های هواشناسی استان خوزستان محسوب می‌شود و احتمالاً از دقت بالاتری نیز برخوردار است.

تغییرات تبخیر و تعرق گیاه مرجع در شکل ۱۱ نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود ماه‌های جولای، ژوئن و آگوست به ترتیب با ۴۰۲، ۳۵۶ و ۳۴۰ میلی‌متر در ماه، بالاترین میزان ETr را به خود اختصاص داده‌اند.



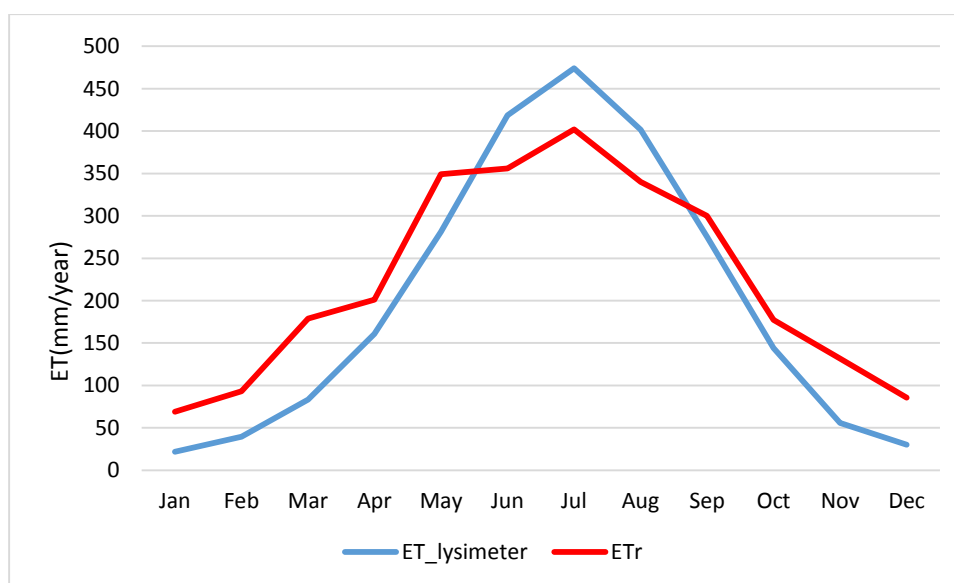
شکل ۱۱ - مقادیر ماهانه تبخیر و تعرق گیاه مرجع ایستگاه هواشناسی اهواز در سال ۲۰۱۶

۵-۲-۱- کالیبراسیون تبخیر و تعرق مرجع محاسبه شده

تبخیر و تعرق مرجع (ETr) در هر منطقه نشانگر میزان تبخیر و تعرق محتمل گیاه مرجع (یونجه متراکم) می‌باشد. هدف از محاسبه تبخیر و تعرق مرجع در برآورد تبخیر و تعرق با الگوریتم SUTMETRIC، معرفی میزان تبخیر

و تعرق لحظه‌ای، روزانه و ماهانه به الگوریتم؛ برای اختصاص دادن به پیکسل سرد می‌باشد. در مطالعاتی که پوشش گیاهی منطقه شبیه به گیاه مرجع (یونجه در این مطالعه) می‌باشد، با تقریب خوبی می‌توان از تبخیر و تعرق مرجع (بدون کالیبراسیون) برای استفاده در الگوریتم استفاده نمود؛ ولی در مناطقی مانند کشت و صنعت‌های نیشکر خوزستان که دارای پوشش گیاهی خاص (نیشکر) با نیاز آبی متفاوت تری می‌باشند، استفاده از تبخیر و تعرق مرجع بدون کالیبراسیون منطقی به نظر نمی‌رسد.

با در اختیار داشتن داده تبخیر و تعرق لایسیمتر در بازه یک ساله (۲۰۰۵ میلادی)، مقایسه‌ای بین این سری داده با تبخیر و تعرق مرجع اهواز برای سال ۲۰۱۶ میلادی انجام گردید. لازم به ذکر است که به دلیل عدم وجود داده ساعات آفتابی برای سال ۲۰۰۵ میلادی ناگزیر از تبخیر و تعرق مرجع سال ۲۰۱۶ میلادی برای مقایسه استفاده گردید. در این مطالعه فرض بر این است که تبخیر و تعرق مرجع در دو سال مقایسه شده ثابت می‌ماند. بررسی دقت فرض انجام شده در بخش صحت‌سنجی با استفاده از سری زمانی دما بررسی شده است. شکل ۱۲ نمودار مقایسه تبخیر و تعرق مرجع با تبخیر و تعرق لایسیمتر نیشکر را نشان می‌دهد.



شکل ۱۲- مقایسه تبخیر و تعرق مرجع ماهانه اهواز (۲۰۱۶ میلادی) با تبخیر و تعرق لایسیمتر نیشکر (۲۰۰۵ میلادی)

با توجه به شکل ۱۲ مشاهده می‌گردد که تبخیر و تعرق مرجع محاسبه شده برای ایستگاه سینوپتیک اهواز در ماه‌های ابتدا و انتهای سال دارای بیش تخمین و در ماه‌های میانی دارای کم تخمین می‌باشد. به علت استفاده از تبخیر و تعرق مرجع برای محاسبه تبخیر و تعرق واقعی انتظار می‌رود که روند افزایش و کاهش تبخیر و تعرق گیاه مرجع با گیاه غالب موجود در منطقه مورد مطالعه شبیه به هم بوده و از الگوی یکسانی پیروی کند.

با برابر قرار دادن تبخیر و تعرق مرجع با تبخیر و تعرق لایسیمتر نیشکر، ضریب تصحیح در هر ماه محاسبه شده و سپس تبخیر و تعرق مرجع لحظه‌ای، روزانه و ماهانه با اعمال ضرایب به دست آمده تصحیح شد. جدول ۵ ضریب تصحیح و تبخیر و تعرق تصحیح شده در مقیاس‌های مختلف را نشان می‌دهد. در جدول زیر ضریب اصلاحی از تقسیم تبخیر و تعرق لایسیمتر بر تبخیر و تعرق مرجع به دست آمد. سپس تبخیر و تعرق مرجع لحظه‌ای، روزانه در ضریب به دست آمده ضرب گردید تا تبخیر و تعرق لحظه‌ای و روزانه اصلاح شده به دست آید. از آنجا که تبخیر و تعرق لحظه‌ای و روزانه لایسیمتر موجود نبود، با این روش تبخیر و تعرق لحظه‌ای و روزانه لایسیمتر به دست می‌آید. در نهایت تبخیر و تعرق لایسیمتر در مقیاس‌های زمانی لحظه‌ای، روزانه و ماهانه به عنوان تبخیر و تعرق مرجع در الگوریتم ورد استفاده قرار می‌گیرد.

جدول ۵- ضرایب تصحیح تبخیر و تعرق مرجع و تبخیر و تعرق اصلاح شده

ماه	تبخیر و تعرق ماهانه لایسیمتر	تبخیر و تعرق مرجع (ET _r)	ضریب اصلاحی	تبخیر و تعرق لحظه‌ای لایسیمتر	تبخیر و تعرق روز تصویر لایسیمتر
۱	۲۲	۶۹	۰/۳	۰/۱	۰/۴
۲	۴۰	۹۳	۰/۴	۰/۲	۱
۳	۸۳	۱۷۹	۰/۴۵	۰/۲	۲/۲
۴	۱۶۱	۲۰۱	۰/۸	۰/۵	۴/۲
۵	۲۸۱	۳۴۹	۰/۸	۱/۱	۷
۶	۴۱۸	۳۵۶	۱/۲	۱/۱	۱۲/۹
۷	۴۷۴	۴۰۲	۱/۲	۱	۱۰/۹
۸	۴۰۱	۳۴۰	۱/۲	۱/۱	۱
۹	۲۷۵	۳۰۰	۰/۹	۰/۷	۶/۸
۱۰	۱۴۴	۱۷۸	۰/۸	۰/۵	۳/۷
۱۱	۶۰	۱۳۲	۰/۴	۰/۲	۱/۵
۱۲	۳۰	۸۵	۰/۳۵	۰/۱	۱/۱

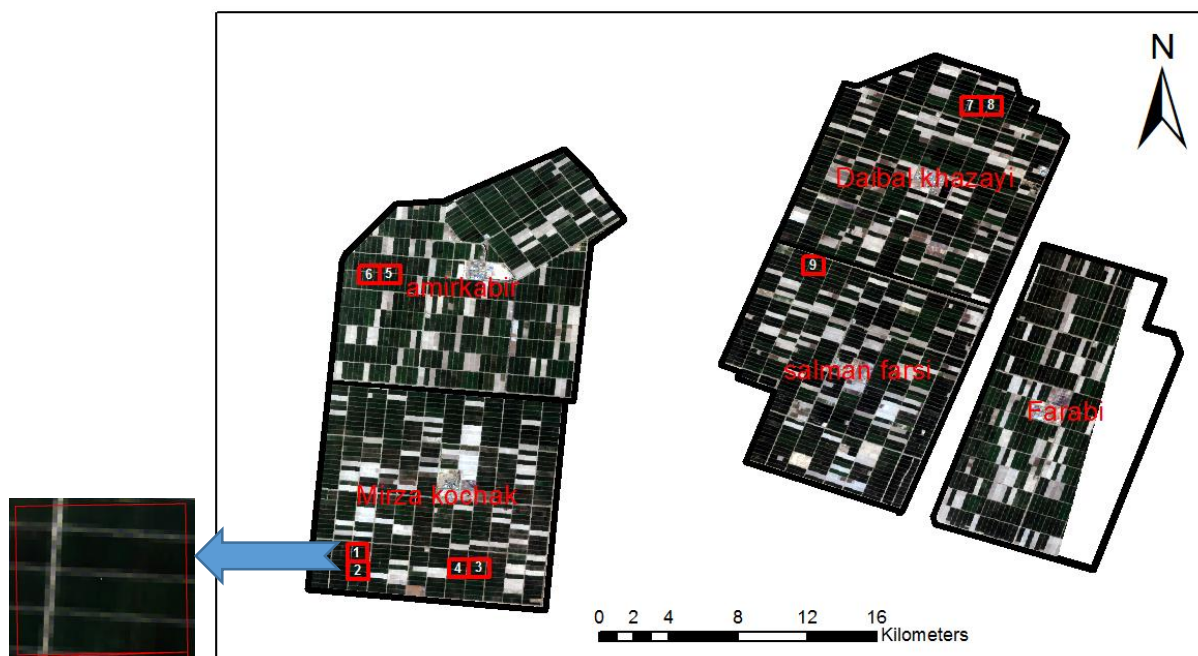
۵-۲-۲- تعیین تبخیر و تعرق در پیکسل گرم و سرد

پیکسل‌های گرم و سرد به دلیل معرفی کردن نقاط دارای کم‌ترین و بیش‌ترین تبخیر و تعرق به الگوریتم و تاثیرپذیری تبخیر و تعرق سایر پیکسل‌ها از آن پیکسل‌ها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشند. در پیکسل گرم (خشک)، که از سطحی خشک و فاقد پوشش گیاهی انتخاب می‌شود فرض می‌گردد که نرخ تبخیر و تعرق واقعی

برابر صفر است. در پیکسل سرد نیز که در محلی مرطوب و آبیاری شده و با پوشش گیاهی کامل انتخاب می‌گردد فرض بر وجود بیشترین نرخ تبخیر و تعرق واقعی می‌باشد (Allen et al. 2002). در این مطالعه از تصاویر سنجنده MODIS با پیکسل‌های یک کیلومترمربعی استفاده شده است که شرط متراکم بودن پوشش گیاهی در پیکسل سرد رعایت نمی‌شود. برای رفع این مشکل، لازم است درصد پوشش گیاهی مناطق مناسب برای پیکسل سرد تعیین شده و در محاسبات در نظر گرفته شوند.

برای تعیین ناخالصی پیکسل‌های سرد از تصاویر با دقت مکانی بالا مانند لند ست ۸ و گوگل ارث ۱ استفاده گردید. برای انتخاب زمان تصویر باید در نظر گرفته می‌شد که تصویر در زمانی انتخاب شود که ابتدای رشد یا بعد از زمان برداشت محصول قرار نگیرد تا سطوح زیر کشت به صورت چشمی قابل تفکیک باشد. با توجه به این توضیحات، ماه آگوست سال ۲۰۱۶ میلادی برای زمان تصویر انتخاب گردید. شکل ۱۳ کشت و صنعت‌های نیشکر جنوب خوزستان در ماه آگوست سال ۲۰۱۶ میلادی را نشان می‌دهد که پیکسل‌های نمونه برای تعیین درصد ناخالصی با کادر قرمز رنگ مشخص شده‌اند.

بدین ترتیب با استفاده از تصاویر با رزولوشن بالا پیکسل‌هایی از تبخیر و تعرق محاسبه شده که به‌طور کامل در ناحیه کشت‌شده قرار می‌گرفتند انتخاب‌شده و نقاط کشت نشده به‌صورت دستی جدا گردید.



شکل ۱۳- پیکسل‌های انتخاب‌شده در نواحی با پوشش گیاهی کامل برای تعیین ناخالصی پیکسل‌های ۱ کیلومتری

با جدا کردن ناخالصی‌های پیکسل‌های مشخص شده معلوم گردید که ۱۰ درصد از هر پیکسل را جاده‌های درون مزرعه‌ای تشکیل داده است و ۹۰ درصد از هر پیکسل مشخص شده نیشکر خالص می‌باشد. با توجه به نتایج به‌دست آمده، مقدار تبخیر و تعرق در پیکسل سرد برابر با ۰/۹ تبخیر و تعرق مرجع اصلاح شده در نظر گرفته شد.

۳-۵- تبخیر و تعرق واقعی

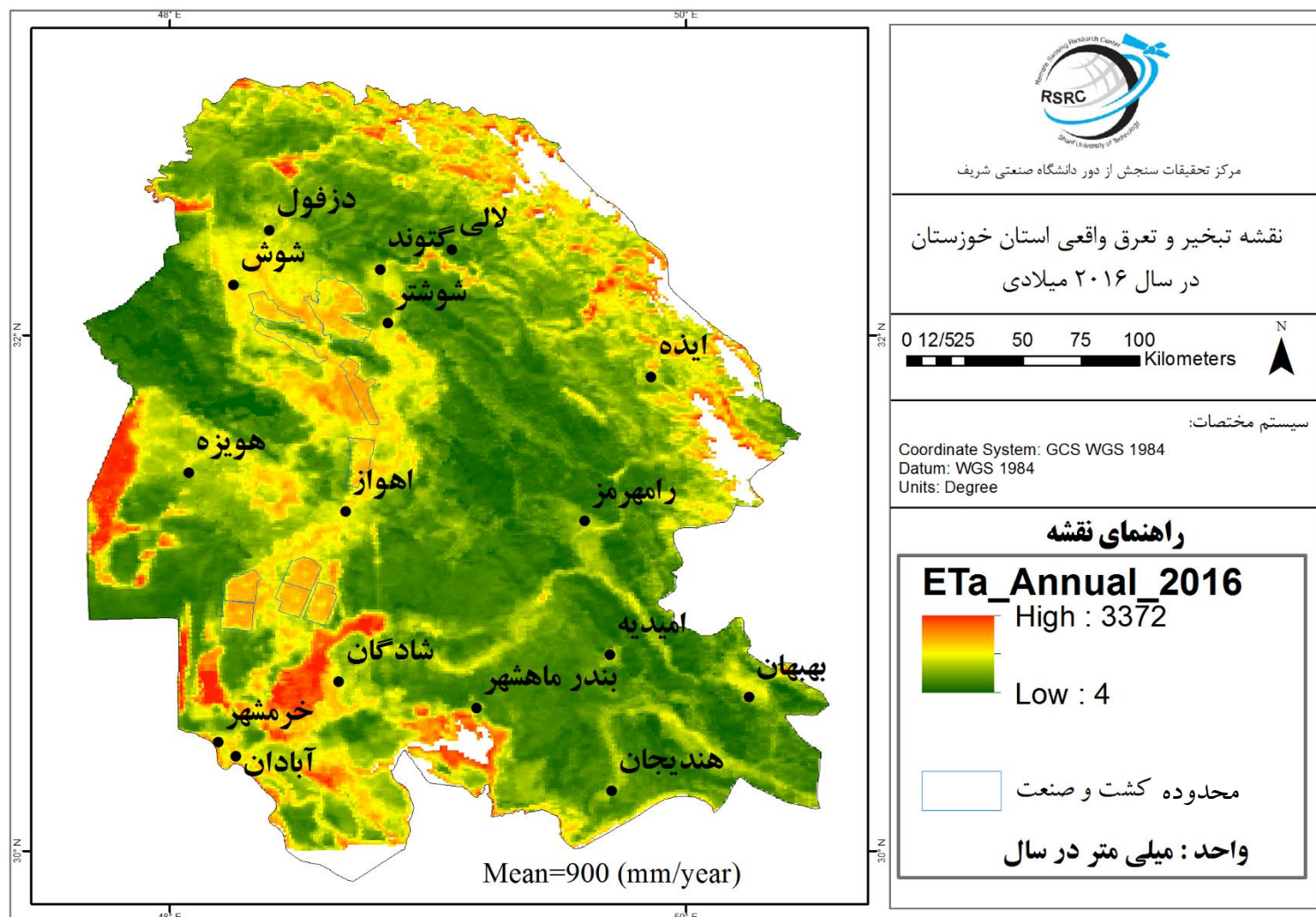
پس از کالیبره کردن تبخیر و تعرق مرجع و تعیین تبخیر و تعرق در پیکسل سرد، تبخیر و تعرق واقعی در استان خوزستان با استفاده از مدل SUTMETRIC برای سال ۲۰۱۶ میلادی برآورد گردید. در ادامه تبخیر و تعرق واقعی در استان خوزستان و هم‌چنین در زمین‌های کشاورزی و کشت و صنعت‌های نیشکر به تفکیک آورده می‌شود.

۳-۵-۱- تبخیر و تعرق واقعی در استان خوزستان

شکل ۱۴ تبخیر و تعرق واقعی برای استان خوزستان را در سال ۲۰۱۶ میلادی نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌گردد تبخیر و تعرق برآورد شده دارای توزیع خوبی می‌باشد به صورتی که مناطق کشاورزی دارای تبخیر و تعرق بیشتری نسبت به سایر مناطق می‌باشد که مزارع کشت و صنعت نیشکر دارای تبخیر و تعرق بیشتری نسبت به سایر زمین‌های کشاورزی می‌باشند.

هم‌چنین سده‌های شهید عباسپور، دز، کرخه و گتوند جزو مناطق قرمز رنگ قرار گرفته‌اند که نشانگر بالا بودن تبخیر در سدها نسبت به سایر مناطق می‌باشد. به طور معمول در هر منطقه‌ای بیشترین تبخیر مربوط به تبخیر از سطح آب می‌باشد که برآورد این تحقیق به خوبی این امر را نشان می‌دهد.

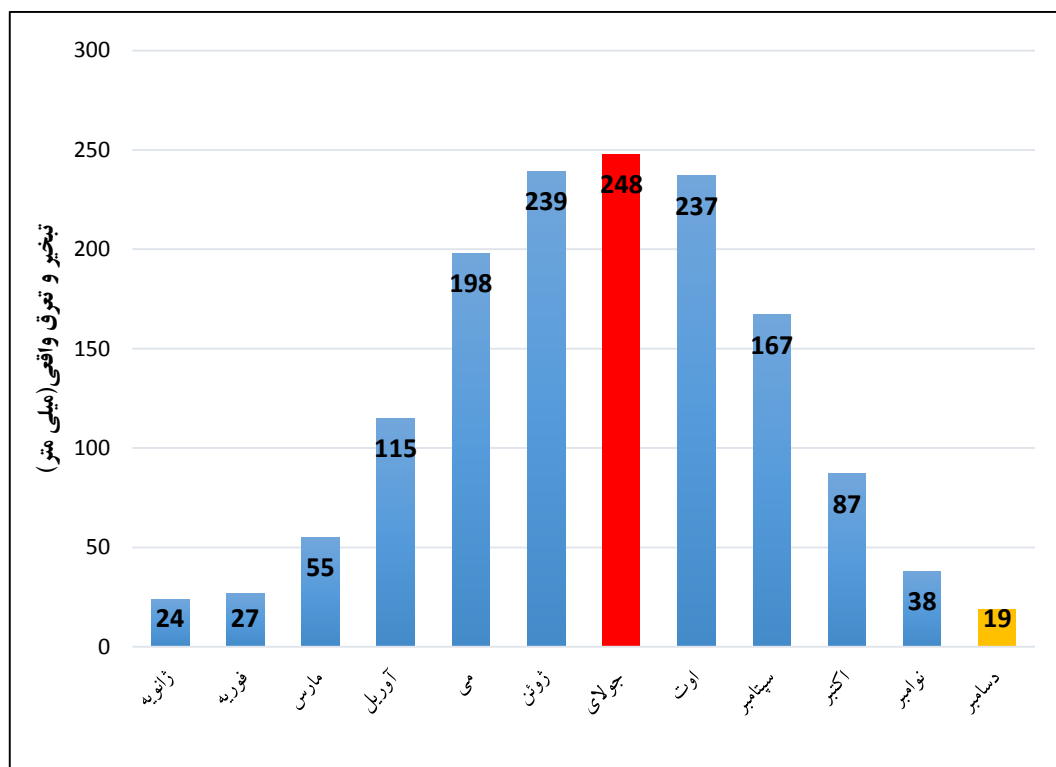
مناطق مورد توجه دیگر در غرب و جنوب استان خوزستان مربوط به تالاب‌های شادگان و هورالعظیم می‌باشد که بیشترین تبخیر و تعرق در استان را به خود اختصاص داده‌اند. تالاب‌ها به دلیل داشتن آب‌های کم‌عمق و هم‌چنین قرار گرفتن در مناطق گرمسیرتر نسبت به سدهای ذکر شده، تبخیر بیشتری دارند. نکته دیگر در مورد توزیع تبخیر و تعرق برآورد شده در استان خوزستان مناطق کوهستانی در شمال و شمال شرق استان می‌باشد. مناطق کوهستانی به طور معمول آب و هوای سردتری نسب به مناطق پست دارند. به همین دلیل در یک اقلیم یکسان، تبخیر و تعرق در مناطق کوهستانی باید کم‌تر از زمین‌های کشاورزی باشد. با توجه به شکل ۱۴ مشاهده می‌شود که در مناطق کوهستانی مقدار تبخیر و تعرق نزدیک و یا حتی بیشتر از زمین‌های کشاورزی می‌باشد که دلیل این بیش تخمین می‌تواند عدم دقت مناسب مدل در مناطق کوهستانی باشد.



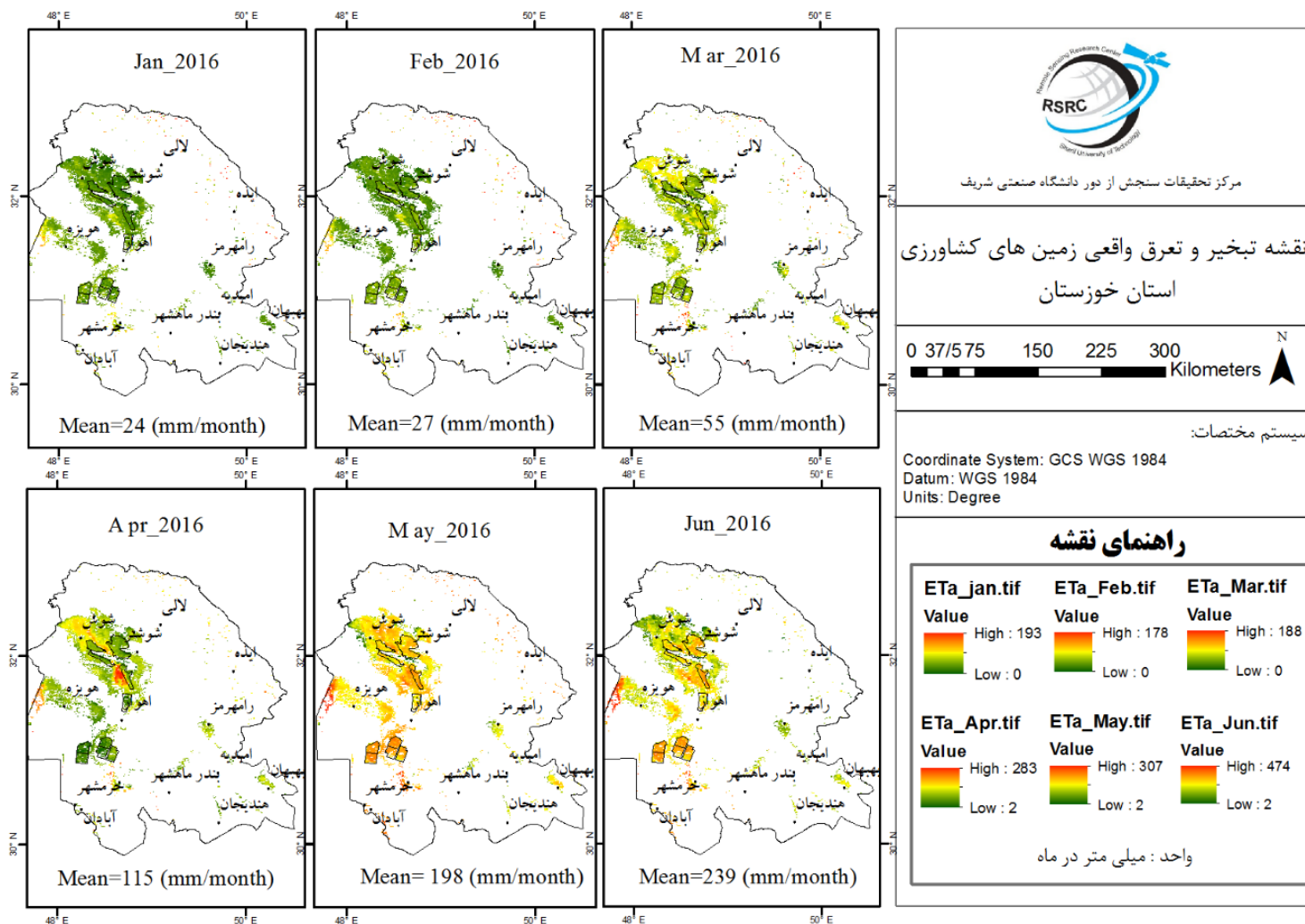
شکل ۱۴- تبخیر و تعرق واقعی در استان خوزستان برای سال ۲۰۱۶ میلادی

۵-۳-۲- تبخیر و تعرق واقعی در زمین‌های کشاورزی

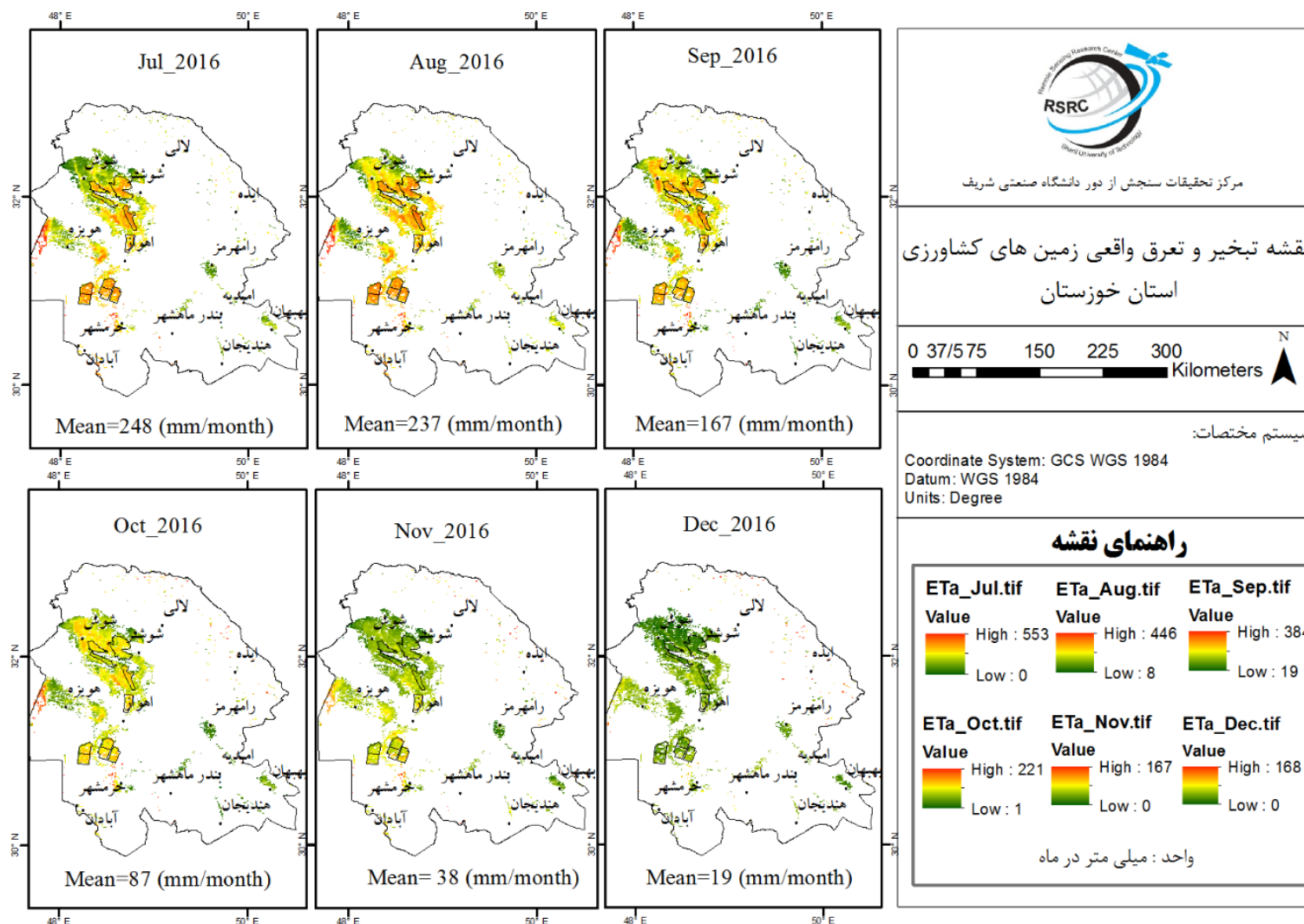
موقعیت زمین‌های کشاورزی استان خوزستان با استفاده از محصول (MCD12Q1) سنجنده MODIS به دست آمد. سپس تبخیر و تعرق برآورد شده برای زمین‌های کشاورزی در هرماه جدا گردید که نتایج در شکل ۱۶ و شکل ۱۷ نشان داده شده است. با توجه به شکل ۱۵ مشاهده می‌گردد که کم‌ترین تبخیر و تعرق در ماه دسامبر با ۱۹ میلی‌متر و بیش‌ترین تبخیر و تعرق ماه جولای با ۲۴۸ میلی‌متر در زمین‌های کشاورزی رخ می‌دهد. در بیانی دیگر میانگین تبخیر و تعرق سالانه در زمین‌های کشاورزی استان خوزستان به ۱۴۵۴ میلی‌متر می‌رسد که با احتساب ۵۸۲۸ کیلومتر مربع مساحت برای اراضی کشاورزی در این استان (بر اساس محصول ماهواره MODIS)، حجم آب تبخیر و تعرق شده در سال ۲۰۱۶ میلادی برای کل زمین‌های کشاورزی استان، ۸/۶ میلیارد متر مکعب برآورد می‌گردد.



شکل ۱۵- تبخیر و تعرق واقعی در زمین‌های کشاورزی خوزستان در سال ۲۰۱۶ میلادی



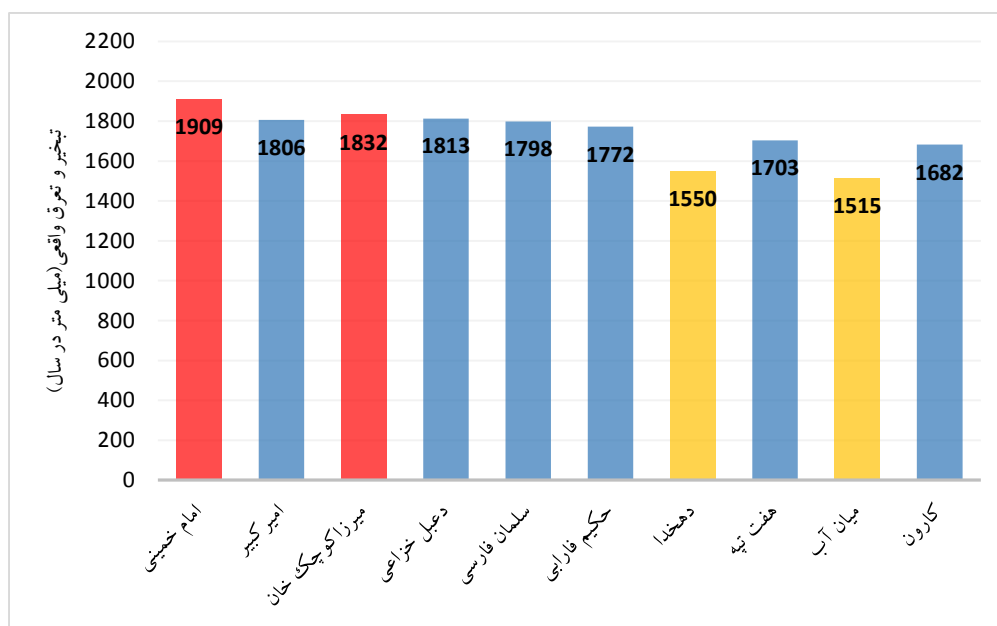
شکل ۱۶- تبخیر و تعرق واقعی زمین های کشاورزی خوزستان برای ژانویه تا ژوئن سال ۲۰۱۶ میلادی



شکل ۱۷- تبخیر و تعرق واقعی زمین‌های کشاورزی خوزستان برای جولای تا دسامبر سال ۲۰۱۶ میلادی

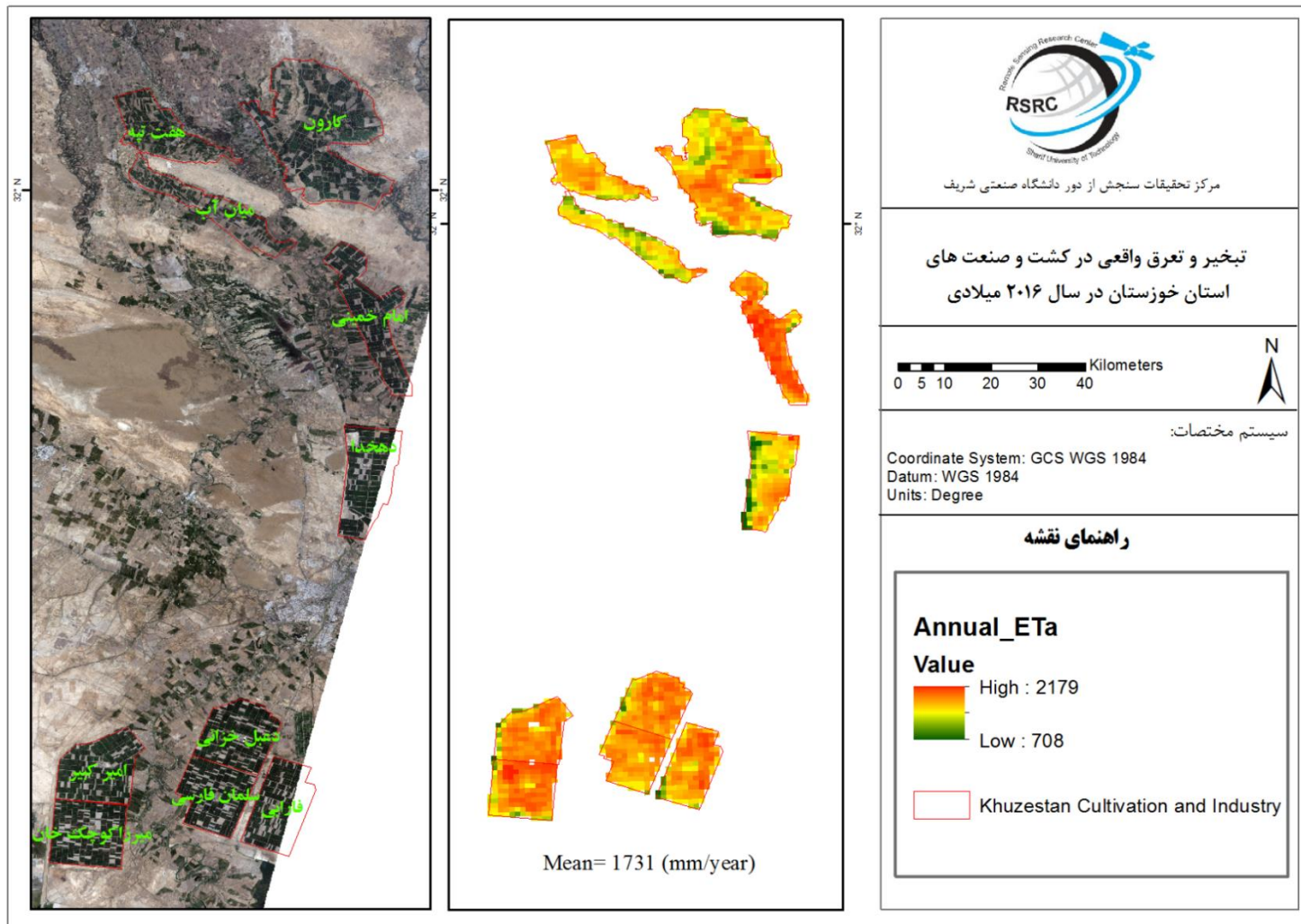
۵-۳-۳- تبخیر و تعرق واقعی در مزارع نیشکر

تبخیر و تعرق گیاه نیشکر به دلیل داشتن نیاز آبی بالا و هم چنین وجود کشت و صنعت های متعدد با کشت نیشکر در استان خوزستان دارای اهمیت زیادی می باشد. به همین جهت تبخیر و تعرق واقعی محاسبه شده در کشت و صنعت های استان خوزستان به صورت مجزا مورد بررسی قرا می گیرد. شکل ۱۹ تبخیر و تعرق واقعی در کشت و صنعت های استان خوزستان را نشان می دهد. همانطور که در شکل ۱۹ مشاهده می گردد، مقدار تبخیر و تعرق در دو کشت و صنعت امام خمینی و میرزا کوچک خان نسبت به سایر کشت و صنعت ها بیشتر می باشد که متراکم بودن کشت در این مناطق باعث بالا رفتن مقادیر تبخیر و تعرق می شود. هم چنین تبخیر و تعرق در کشت و صنعت های میان آب و دهخدا کمتر از سایر کشت و صنعت ها می باشد که پراکنده بودن کشت نیشکر در این دو کشت و صنعت و یا کشت محصولات به غیر از نیشکر باعث پایین آمدن تبخیر و تعرق در این مناطق می گردد. شکل ۱۸ میزان تبخیر و تعرق میانگین سالانه را برای هر کشت و صنعت نشان می دهد.



شکل ۱۸- میانگین سالانه تبخیر و تعرق واقعی در کشت و صنعت های خوزستان

مساحت کل کشت و صنعت های خوزستان حدود ۱۶۰ هزار هکتار می باشد که با حاصل ضرب مقادیر تبخیر و تعرق در مساحت کل هر کشت و صنعت حجم کل تبخیر و تعرق در کشت و صنعت های خوزستان ۲/۷۷ میلیارد متر مکعب برآورد می شود.



شکل ۱۹- تبخیر و تعرق واقعی در کشت و صنعت‌های خوزستان در سال ۲۰۱۶ میلادی

۵-۴- صحت سنجی تبخیر و تعرق محاسبه شده با الگوریتم SUTMETRIC

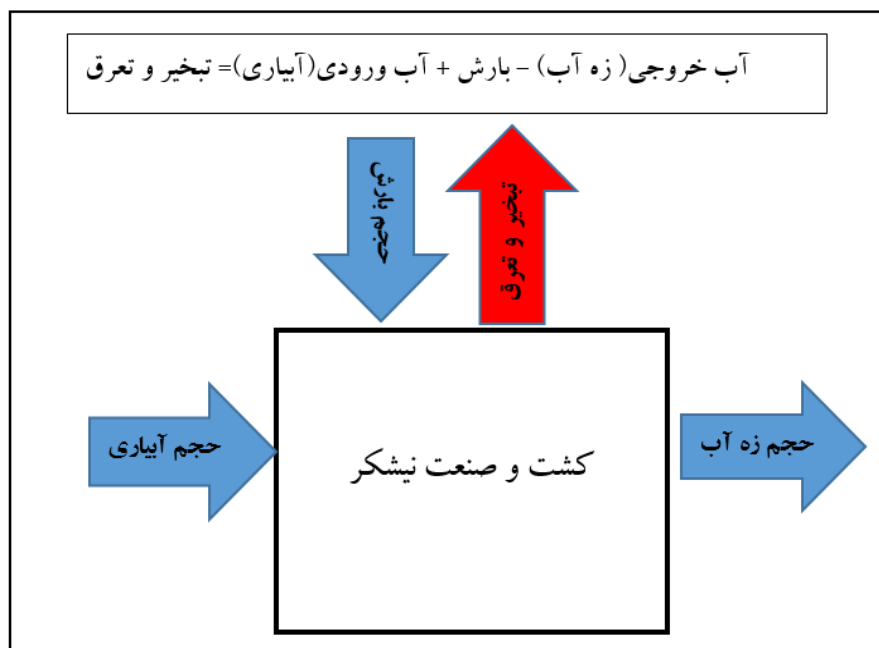
برای صحت سنجی مدل های برآورد تبخیر و تعرق از روش های مختلفی استفاده می شود. استفاده از هر کدام از این روش ها بستگی به امکانات و داده های موجود در منطقه مطالعاتی دارند. این روش ها عبارت اند از:

- روش بیلان آب
- استفاده از نسبت باون (Bowen ratio)
- استفاده از سنتیلومتر (Scintillometer)
- استفاده از دستگاه (Eddy correlation)
- استفاده از دستگاه لایسیمتر
- استفاده از تشتک تبخیر

با توجه به داده های موجود برای کشت و صنعت های نیشکر در خوزستان، در این تحقیق از روش بیلان آب و داده های لایسیمتر برای صحت سنجی تبخیر و تعرق محاسبه شده با الگوریتم SUTMETRIC استفاده گردید. داده های آبیاری و زهکشی هفت کشت و صنعت برای محاسبه بیلان استفاده گردید و با توجه به عدم موفقیت در اخذ داده های لایسیمتر از کشت و صنعت های خوزستان، از داده های ذکر شده در مراجع استفاده شد. در ادامه صحت سنجی با استفاده از بیلان آورده می شود.

۵-۴-۱- صحت سنجی با استفاده از بیلان

یکی از روش های صحت سنجی تبخیر و تعرق محاسبه شده با الگوریتم های مختلف، استفاده از روش بیلان آب است به صورتی که میزان آب ورودی و خروجی به منطقه مورد مطالعه اندازه گیری شده و میزان تبخیر و تعرق مورد انتظار به دست می آید. شکل ۲۰ نحوه محاسبه بیلان آب در یک کشت و صنعت فرضی را نشان می دهد. در محاسبه بیلان به دلیل در دسترس نبودن داده های رطوبت خاک از تغییرات رطوبت خاک صرف نظر گردید.



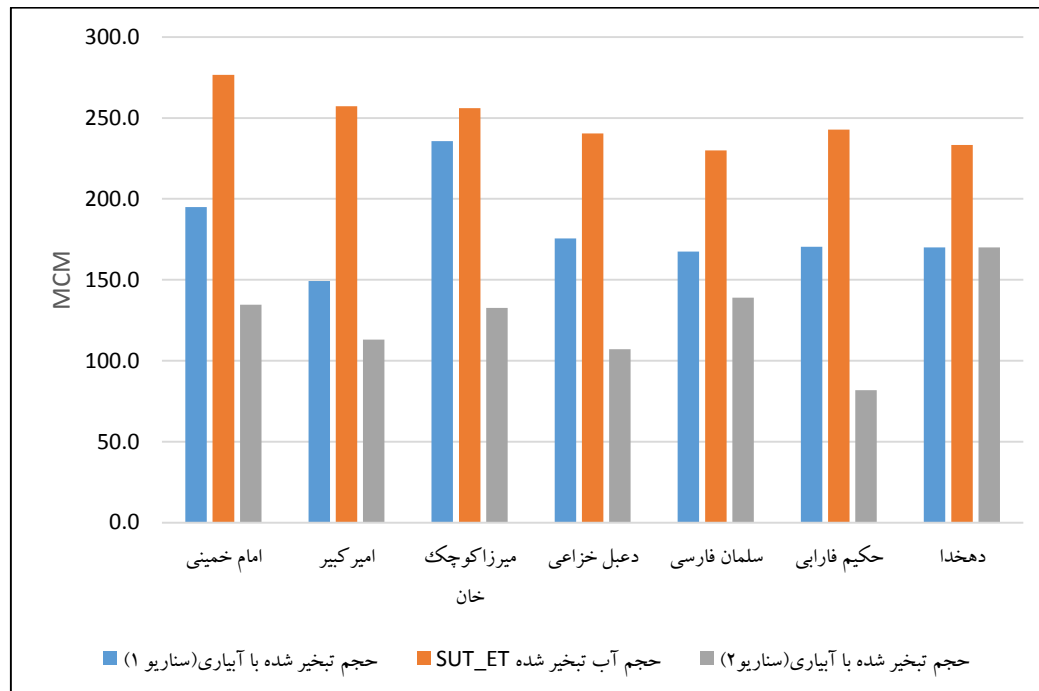
شکل ۲۰- محاسبه بیلان آب در کشت و صنعت های خوزستان

اندازه گیری میزان آب ورودی و خروجی به کشت و صنعت های خوزستان با عبارت های آب پمپاژ شده از ایستگاه اصلی، آب مصرف شده برای آبیاری و آب زهکشی شده توسط پمپ های D.P.S گزارش می شود. آب پمپاژ شده از ایستگاه اصلی همیشه بیشتر از آب مصرف شده از آبیاری است که تلفات در حین انتقال را نشان می دهد. در این تحقیق بیلان آب در هفت کشت و صنعت امام خمینی، امیرکبیر، میرزا کوچک خان، دعبل خزایی، سلمان فارسی، فارابی و دهخدا برای سال ۲۰۱۶ میلادی تحت دو سناریوی زیر انجام شد.

سناریوی شماره ۱- آب پمپاژ شده از ایستگاه اصلی برابر با آب ورودی به کشت و صنعت در نظر گرفته شد.

سناریوی شماره ۲- آب مصرف شده جهت آبیاری برابر با آب ورودی به کشت و صنعت در نظر گرفته شد.

با کم کردن آب زهکشی شده توسط پمپ های D.P.S و اضافه کردن مقادیر بارش، میزان آب تبخیر شده به دست آمد. برای ساده بودن مقایسه مقادیر حجم آب تبخیر و تعرق که با استفاده از بیلان هر کشت و صنعت به دست آمده، با مقادیر حجم ET محاسبه شده با استفاده از الگوریتم SUTMETRIC مقایسه گردید که نمودار آن در شکل ۲۱ نمایش داده شده است. حجم آب حاصل شده از تبخیر و تعرق و بارش از حاصل ضرب ارتفاع تبخیر و تعرق میانگین برای هر کشت و صنعت و بارش با مساحت کل هر کشت و صنعت به دست آمده است.



شکل ۲۱- مقایسه بیلان آب تحت سناریوی ۱ و ۲ با تبخیر و تعرق برآورد شده برای سال ۲۰۱۶ میلادی

با توجه به شکل ۲۱ مشاهده می شود که در هر دو سناریو حجم تبخیر و تعرق به دست آمده از بیلان کمتر از حجم تبخیر و تعرق محاسبه شده با الگوریتم می باشد. در جدول ۶ محاسبات جزئیات بیلان با در نظر گرفتن دو سناریو برای هفت کشت و صنعت آورده شده است. برای پی بردن به میزان دقیق اختلاف مقدار میانگین مجذور مربعات خطا (RMSE) و مقدار درصد RMSE بر میانگین محاسبه گردید. مقدار میانگین RMSE برای سناریو اول ۷۲ میلیون مترمکعب و برای سناریو دوم ۱۲۷ میلیون مترمکعب به دست آمد. مقدار درصد RMSE بر میانگین نیز برای سناریو اول ۲۹ درصد و برای سناریو دوم ۵۱ درصد به دست آمد.

جدول ۶- مقایسه بیلان آب کشت و صنعت ها با مقدار تبخیر و تعرق با الگوریتم SUTMETRIC در سال ۲۰۱۶

کشت و صنعت / نیشکر	مساحت کل (هزار هکتار)	حجم آب پمپاژ شده (MCM)	حجم زه آب (MCM)	حجم بارش (MCM)	آبیاری (MCM) / حجم تبخیر شده با	SUTMETRIC (MCM)
سناریوی ۱						
امام خمینی	۱۴	۳۰۲	۱۳۸	۳۱	۱۹۵ (۱۳۶۳ mm)	۲۷۷ (۱۹۳۵ mm)
امیرکبیر	۱۴	۳۰۰	۱۷۲	۲۲	۱۴۹ (۱۰۴۷ mm)	۲۵۷ (۱۸۰۵ mm)
میرزا کوچک خان	۱۴	۴۲۸	۲۱۴	۲۱	۲۳۶ (۱۶۸۶ mm)	۲۵۶ (۱۸۳۲ mm)

ادامه جدول ۶- مقایسه بیلان آب کشت و صنعت ها با مقدار تبخیر و تعرق با الگوریتم SUTMETRIC در سال ۲۰۱۶

کشت و صنعت پیشگرم	مساحت کل (هزار هکتار)	کل آب پمپاژ شده (MCM)	حجم زه آب (MCM)	حجم بارش (MCM)	آبیاری (MCM) حجم تبخیر شده با	SUTMETRIC(MCM)
دعبل خزاعی	۱۳	۳۷۳	۲۱۹	۲۱	۱۷۶(۱۳۳۲ mm)	۲۴۰(۱۸۲۴ mm)
سلمان فارسی	۱۳	۳۳۶	۱۸۶	۱۷	۱۶۷(۱۳۰۸ mm)	۲۳۰(۱۷۹۸ mm)
حکیم فارابی	۱۴	۳۳۸	۱۸۷	۲۰	۱۷۰(۱۲۵۳ mm)	۲۴۳(۱۷۸۵ mm)
دهخدا	۱۵	۳۴۱	۱۹۱	۲۱	۱۷۰(۱۱۳۷ mm)	۲۳۳(۱۵۵۴ mm)
۷۲						RMSE(MCM)
۲۹						RMSE/Mean (%)
سناریوی ۲						
امام خمینی	۱۴	۲۴۲	۱۳۸	۳۱	۱۳۵(۹۴۲ mm)	۲۷۷(۱۹۳۵mm)
امیرکبیر	۱۴	۲۶۴	۱۷۲	۲۲	۱۱۳(۷۹۳ mm)	۲۵۷(۱۸۰۵mm)
میرزا کوچک خان	۱۴	۳۲۵	۲۱۴	۲۱	۱۳۳(۹۴۸ mm)	۲۵۶(۱۸۳۲mm)
دعبل خزاعی	۱۳	۳۰۵	۲۱۹	۲۱	۱۰۷(۸۱۳ mm)	۲۴۰(۱۸۲۴ mm)
سلمان فارسی	۱۳	۳۰۸	۱۸۶	۱۷	۱۳۹(۱۰۸۶ mm)	۲۳۰(۱۷۹۸ mm)
حکیم فارابی	۱۴	۲۴۹	۱۸۷	۲۰	۸۲(۶۰۱ mm)	۲۴۳(۱۷۸۵ mm)
دهخدا	۱۵	۲۹۱	۱۹۱	۲۱	۱۷۰(۱۱۳۱ mm)	۲۳۳(۱۵۵۴ mm)
۱۲۷						RMSE(MCM)
۵۱						RMSE/Mean (%)

اعداد به دست آمده در هردوی سناریوها نشانگر این است که مقادیر بیلان با تبخیر و تعرق محاسبه شده هم خوانی ندارد. اختلاف در بیلان و تبخیر و تعرق می تواند دو دلیل داشته باشد. اول اینکه تبخیر و تعرق محاسبه شده دارای بیش تخمین باشد و دوم اینکه اعداد گزارش شده برای بیلان آب اشتباه گزارش شده و یا در محاسبه بیلان ترم هایی باید وارد می شده است؛ که در این مطالعه لحاظ نشده است.

برای پی بردن به اینکه کدام یک از این حدس ها منشأ اصلی خطای ایجاد شده است، با استفاده از آمار سطح زیر کشت سالانه اعلام شده توسط کشت و صنعت های نیشکر و عددهای گزارش شده در مراجع برای نیاز آبی نیشکر در طول دوره رشد، حجم آب مصرفی مورد انتظار را به دست آورده و با اعداد گزارش شده آبیاری مقایسه گردید. با توجه به مراجع نیاز آبی برای نیشکر از ۱۹۰۰ میلی متر تا ۲۵۰۰ میلی متر متغیر می باشد؛ به عنوان مثال برومند نسب و همکاران (۱۳۸۵) نیاز آبی نیشکر را برای اراضی کشت و صنعت امیرکبیر، برای کشت اول ۲۵۶۴ و برای بازرویی اول ۱۹۲۵ میلی متر برآورد نمودند. در این محاسبه نیاز آبی نیشکر ۲۳۰۰ میلی متر فرض می گردد.

در ادامه و در بخش صحت سنجی با داده های لایسیمتری خلاصه نیاز آبی نیشکر به دست آمده در مراجع آورده می شود. جدول ۷ اعداد به دست آمده از محاسبات این بخش را نشان می دهد.

جدول ۷- مقایسه بیان محاسبه شده داده های آبیاری با تبخیر و تعرق مورد انتظار از هر کشت و صنعت

کشت و صنعت نیشکر	سطح زیر کشت (هزار هکتار)	انتظار سالانه نیشکر (MCM)	حجم تبخیر شده با (MCM)	آبیاری (سناریوی ۱) (MCM)	حجم تبخیر شده با (MCM)	آبیاری (سناریوی ۲) (MCM)
امام خمینی	۱۰	۲۳۰	۱۹۵	۱۳۵		
امیرکبیر	۱۲	۲۷۶	۱۴۹	۱۱۳		
میرزا کوچک خان	۱۰	۲۳۰	۲۳۶	۱۳۳		
دعبل خزاعی	۱۰	۲۳۰	۱۷۶	۱۰۷		
سلمان فارسی	۹	۱۹۶	۱۶۷	۱۳۹		
حکیم فارابی	۸	۱۹۰	۱۷۰	۸۲		
دهخدا	۱۰	۲۳۰	۱۷۰	۱۷۰		
RMSE/Mean(%)		RMSE(MCM)				
سناریوی ۱		۶۰		۲۷		
سناریوی ۲		۱۰۶		۴۷		

با مقایسه RMSE به دست آمده از جدول ۶ با RMSE جدول ۷ مشاهده می شود که مقدار تفاوت ها در این دو روش شبیه به هم هست. این نتایج نشان می دهند که تبخیر و تعرق محاسبه شده با استفاده از الگوریتم

SUTMETRIC به مقدار مورد انتظار نزدیک بوده و بیلان کم تر از مقدار واقعی گزارش و یا محاسبه شده است. به این ترتیب از روش دوم برای صحت سنجی مقادیر تبخیر و تعرق محاسبه شده استفاده می گردد.

۵-۴-۲- صحت سنجی با استفاده از لایسیمتر

روش دیگر برای صحت سنجی تبخیر و تعرق با استفاده از الگوریتم های مختلف، استفاده از لایسیمتر می باشد. لایسیمترهای مورد استفاده در کشت صنعت های نیشکر از نوع حجمی زهکش دار می باشند. این نوع لایسیمتر ها ابعادی حدود ۲۰ مترمربع مساحت داشته و کف شیب دار و عمق ۲ متری دارند. حجم آب ورودی بارندگی با استفاده از دستگاه های باران سنج و باران نگار و حجم آب ورودی آبیاری و زه آب خروجی نیز با بشکه هایی با حجم مشخص اندازه گیری می شود. تبخیر و تعرق نیشکر با استفاده از معادله بیلان آب در خاک تعیین می شود. رابطه ۴۶ معادله بیلان آب در لایسیمتر را نشان می دهد.

$$ET = I + R \pm \Delta\theta - D \quad (46)$$

که در آن ET تبخیر و تعرق نیشکر، I مقدار آب آبیاری، R میزان بارندگی، D میزان زه آب خروجی و $\Delta\theta$ تغییرات رطوبت خاک در طول فصل آبیاری می باشد.

علی رغم تلاش های زیاد برای دریافت داده های لایسیمتر در کشت و صنعت های نیشکر استان خوزستان، موفقیتی حاصل نشد. از این رو از داده های لایسیمتر ذکر شده در مراجع استفاده گردید. طبق مرور منابع انجام شده در قسمت مرور منابع، کامل ترین سری داده لایسیمتر نیشکر در مقاله علی شینی دشتگل و همکاران (۱۳۸۸) که مقادیر ماهانه و سالانه تبخیر و تعرق لایسیمتر در کشت و صنعت میرزا کوچک خان را در مقاله خود آورده اند، ذکر شده است. این داده ها برای سال ۱۳۸۴-۱۳۸۳ می باشند که میانگین روزانه تبخیر و تعرق برای هر ماه برای ماه های شمسی برای کشت جدید و بازرویی گزارش شده است.

کاشت نیشکر به این صورت می باشد که قلمه های جدید کاشته شده به مدت پنج سال برداشت می شود. با این حساب برای تعیین نیاز آبی نیشکر از میانگین وزنی با احتساب ۲۵ درصد تأثیر کشت جدید و ۷۵ درصد تأثیر باز رویی در نظر گرفته شد. با توجه به اینکه تبخیر و تعرق محاسبه شده با الگوریتم SUTMETRIC برای ماه های میلادی می باشد، از میانگین وزنی برای تبدیل داده ها به ماه میلادی استفاده گردید. به طور مثال برای محاسبه میانگین تبخیر و تعرق ماه ژانویه به صورت زیر محاسبه می شود.

$$(10 \times \text{میانگین روزانه تبخیر و تعرق بهمن ماه}) + (20 \times \text{میانگین روزانه تبخیر و تعرق دی ماه}) = \text{تبخیر و تعرق ماه ژانویه}$$

در

جدول ۸ داده های لایسیمتر برای سال ۱۳۸۴-۱۳۸۳، برای کشت صنعت میرزا کوچک خان نشان داده شده

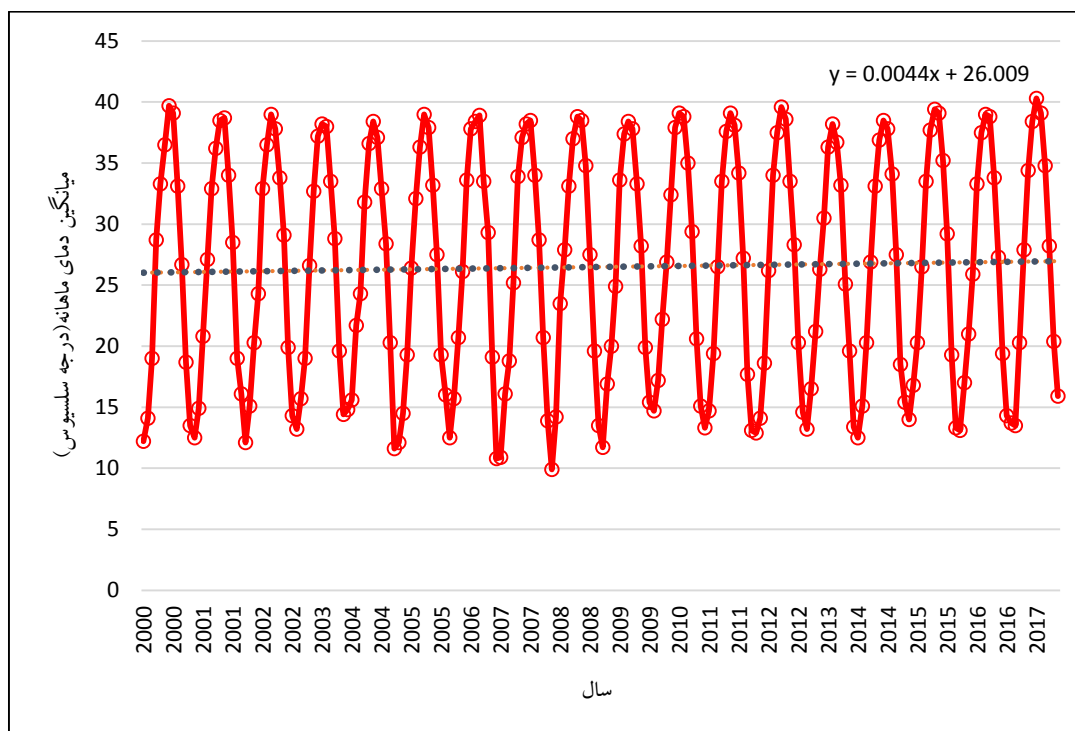
است.

جدول ۸- داده های لایسیمتر برای سال ۱۳۸۴-۱۳۸۳، برای کشت صنعت میرزا کوچک خان

ماه	تبخیر و تعرق میانگین روزانه برای کشت اول	تبخیر و تعرق میانگین روزانه برای بازرویی	تبخیر و تعرق ماهانه بازرویی (میلی متر در ماه)	تبخیر و تعرق ماهانه برای کشت (میلی متر در ماه)	میانگین ماهانه تبخیر و تعرق لایسیمتر	میانگین ماه های میلادی
مهر ۸۳	۵/۸	-	۱۷۳	-	۱۷۳	ژانویه ۲۲
آبان ۸۳	۲/۱	۲/۴	۶۴	۷۲	۶۶	فوریه ۴۰
آذر ۸۳	۱/۳	۱	۳۸	۳۰	۳۶	مارس ۸۳/۵
دی ۸۳	۰/۳	۰/۶	۱۸/۵	۱۸	۱۸/۵	آوریل ۱۶۱
بهمن ۸۳	۰/۷	۱/۷	۲۱	۵۲	۲۹	می ۲۸۱
اسفند ۸۳	۲	۲/۴	۵۹	۷۲	۶۲	ژوئن ۴۱۸/۵
فروردین ۸۴	۴	۴/۸	۱۲۰	۱۴۴	۱۲۶	جولای ۴۷۴
اردیبهشت ۸۴	۷/۱	۹/۵	۲۱۲/۵	۲۸۵	۲۳۱	اوت ۴۰۱/۵
خرداد ۸۴	۱۲/۴	۱۳/۹	۳۷۰/۵	۴۱۸	۳۸۲	سپتامبر ۲۷۲
تیر ۸۴	۱۵/۳	۱۹/۶	۴۵۸	۵۸۸	۴۹۰	اکتبر ۱۳۷
مرداد ۸۴	۱۴	۱۶/۹	۴۱۹	۵۰۸	۴۴۱	نوامبر ۶۰
شهریور ۸۴	۱۰/۹	۱۰/۲	۳۲۷	۳۰۶	۳۲۲	دسامبر ۳۰
میانگین سالانه (میلی متر)		۲۲۸۰	۲۴۹۳	۲۳۷۶	۲۳۷۶	۲۳۷۶

در نگاه اول استفاده از داده های لایسیمتر سال ۱۳۸۴-۱۳۸۳ برای سال ۲۰۱۶ میلادی (۱۳۹۴-۱۳۹۵)

غیرمنطقی به نظر می رسد. اما اگر بتوان نشان داد که اقلیم دوره اول با دوره دوم تفاوت محسوسی نداشته است، می توان با تقریب خوبی این دو سری داده را به جای همدیگر استفاده نمود. برای بررسی اقلیم اهواز در سال ۱۳۸۴-۱۳۸۳ و سال ۲۰۱۶ میلادی، سری زمانی میانگین ماهانه دما برای اهواز از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۷ رسم گردید. شکل ۲۱ سری زمانی میانگین دمای ماهانه هوا در اهواز را در این بازه ۱۷ ساله نشان می دهد.



شکل ۲۲- میانگین دمای ماهانه اهواز از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۷ میلادی

با توجه به شکل ۲۲ و شیب خط برازش داده شده که نزدیک به صفر می باشد، می توان گفت که در ۱۷ سال اخیر شیب افزایش دما خیلی جزئی بوده و می توان از آن صرف نظر کرد. با این معیار با تقریب خوبی می توان گفت که تبخیر و تعرق لایسیمتر از سال ۱۳۸۴-۱۳۸۳ تا سال ۲۰۱۶ میلادی ثابت بوده و می توان از داده های آن بازه برای سال ۲۰۱۶ میلادی استفاده نمود. لازم به ذکر است به علت فرض های گرفته شده در این مرحله، مقدار کمی خطا ایجاد می گردد که در شرایطی که داده مناسب موجود نیست، قابل پذیرش می باشد.

یکی از مشکلات پیش رو در صحت سنجی تبخیر و تعرق محاسبه شده با الگوریتم SUTMETRIC و لایسیمتر، تفاوت در اندازه لایسیمتر و پیکسل های یک کیلومتری محاسبه شده می باشد. با در نظر گرفتن اینکه مساحت تقریبی ۲۰ مترمربعی لایسیمتر پوشش گیاهی کامل بوده؛ ولی پیکسل ۱ کیلومترمربعی شامل ناخالصی هایی است که باعث می شوند مقدار محاسبه شده با مقادیر لایسیمتر متفاوت باشد.

با مشخص شدن درصد پوشش گیاهی نیشکر در بخش محاسبه تبخیر و تعرق مرجع، در ۹ پیکسل تعیین شده، انتظار داریم تا مقادیر محاسبه شده برای هر پیکسل برابر با ۹/۰ مقدار گزارش شده در لایسیمتر باشد. توجه به این نکته ضروری است که در این مطالعه از تبخیر و تعرق صورت گرفته از بخش ناخالصی هر پیکسل صرف نظر شده است. با توضیحات بالا مقادیر سالانه تبخیر و تعرق محاسبه شده با الگوریتم SUTMETRIC با مقادیر گزارش شده لایسیمتر در پیکسل های مشخص شده مقایسه گردید که نتایج طبق جدول ۹ می باشد.

با توجه به جدول ۹ مشاهده می گردد که تبخیر تعرق محاسبه شده به اعداد لایسیمتر نزدیک بوده و مقدار RMSE، ۲۴۴ میلی متر و مقدار RMSE بر میانگین ۱۰ درصد می باشد. با توجه به خطاهای وارد شده در این صحت سنجی در استفاده از داده های لایسیمتر سال ۱۳۸۳-۱۳۸۴ برای سال ۲۰۱۶ میلادی و تبدیل اعداد گزارش شده از شمسی به میلادی و هم چنین در نظر نگرفتن تبخیر از ناخالصی های پیکسل می تواند باعث کم تخمین مدل نسبت به لایسیمتر گردد.

جدول ۹- مقایسه تبخیر و تعرق محاسبه شده با الگوریتم SUTMETRIC با لایسیمتر در پیکسل های نمونه

شماره پیکسل	درصد مساحت Cover Full	ET محاسبه شده با SUTMETRIC(mm)	ET محاسبه شده در Full Cover(mm)	میانگین سالانه لایسیمتر در جنوب اهواز(mm)
۱	۰/۹	۱۸۴۳	۲۰۴۸	۲۳۷۶
۲	۰/۹	۱۸۲۶	۲۰۲۹	۲۳۷۶
۳	۰/۹	۲۰۱۳	۲۲۳۷	۲۳۷۶
۴	۰/۹	۲۰۰۰	۲۲۲۲	۲۳۷۶
۵	۰/۹	۱۹۶۴	۲۱۸۲	۲۳۷۶
۶	۰/۹	۱۸۶۳	۲۰۷۰	۲۳۷۶
۷	۰/۹	۲۰۰۳	۲۲۲۶	۲۳۷۶
۸	۰/۹	۲۰۰۴	۲۲۲۷	۲۳۷۶
۹	۰/۹	۱۸۶۷	۲۰۷۴	۲۳۷۶
RMSE(mm)		۲۴۴	RMSE/Mean(%)	۱۰

در ادامه مقدار حجم تبخیر و تعرق مورد انتظار از هر کشت و صنعت با توجه به سطح زیر کشت گزارش شده و مقادیر نیاز آبی در مراجع با مقدار حجم تبخیر و تعرق محاسبه شده در هر کشت و صنعت مقایسه می گردد. جدول ۱۰ مقایسه تبخیر و تعرق مورد انتظار و محاسبه شده با الگوریتم SUTMETRIC را نشان می دهد. تبخیر و تعرق مورد انتظار با در نظر گرفتن سطح زیر کشت نیشکر که توسط خود کشت و صنعت ها گزارش شده است؛ و با فرض نیاز آبی برابر با ۲۳۰۰ میلی متر برای نیشکر محاسبه گردید. هم چنین حجم تبخیر و تعرق محاسبه شده با حاصل ضرب میانگین تبخیر و تعرق محاسبه شده در هر کشت و صنعت، با سطح کل هر کشت و صنعت به دست آمد. ذکر این نکته ضروری است که سطح کشت گزارش شده احتمالاً دقیق نبوده و به صورت کلی گزارش شده است و یا همه زمین های کشت و صنعت برای کشت نیشکر مورد استفاده قرار نمی گیرد. برای مثال در کشت و صنعت کارون که ۳۸/۷ هزار هکتار مساحت دارد، ۱۰ هزار هکتار سطح زیر

کشت نیشکر گزارش شده است. با توجه به اینکه اعداد به دست آمده با این روش در کشت و صنعت کارون منطقی نبود؛ بنابراین این بخش از محاسبات حذف گردید.

جدول ۱۰ - مقایسه تبخیر و تعرق مورد انتظار و محاسبه شده بر اساس سطح زیر کشت

کشت و صنعت	مساحت کل (هزار هکتار)	سطح زیر کشت (هزار هکتار)	میانگین تبخیر و تعرق محاسبه شده در هر کشت و صنعت (mm)	حجم تبخیر و تعرق سالانه نیشکر (MCM)	حجم تبخیر و تعرق با SUTMETRIC
امام خمینی	۱۴/۳	۱۰	۱۹۳۵	۲۳۰	۲۷۷
امیرکبیر	۱۴/۳	۱۲	۱۸۰۵	۲۷۶	۲۵۷
میرزا کوچک خان	۱۴	۱۰	۱۸۳۲	۲۳۰	۲۵۶
دعبل خزاعی	۱۳/۲	۱۰	۱۸۲۴	۲۳۰	۲۴۰
سلمان فارسی	۱۲/۸	۸/۵	۱۷۹۸	۱۹۶	۲۳۰
حکیم فارابی	۱۳/۶	۸/۲۶	۱۷۸۵	۱۹۰	۲۴۳
دهخدا	۱۵	۱۰	۱۵۵۴	۲۳۰	۲۳۳
کارون	۳۸/۷	۱۰	۱۶۹۳	۲۳۰	۶۵۵
هفت تپه	۱۲/۵	۸	۱۷۱۳	۱۸۴	۲۱۴
میان آب	۱۱/۷	۵	۱۵۱۵	۱۱۵	۱۷۷
RMSE(MCM)	۳۷	RMSE/Mean(%)	۱۵		

با حذف کشت و صنعت کارون از دور محاسبات این بخش مقدار RMSE برابر با ۳۷ میلیون مترمکعب و مقدار RMSE بر میانگین برابر با ۱۵ درصد به دست آمد که با توجه به کلی بودن آمار سطح زیر کشت گزارش شده قابل قبول می باشد. با توجه به مشاهده اختلاف در سطح زیر کشت های اعلام شده، به ویژه در کشت و صنعت کارون ضروری است تا با استفاده از روش مناسبی سطح زیر کشت و صنعت های خوزستان استخراج شده و با آمار کلی مقایسه گردد. بدین منظور می توان از شاخص های آشکار سازی پوشش های گیاهی استفاده نمود. معروف ترین و پر کاربردترین شاخص پوشش گیاهی NDVI^۱ می باشد که در مطالعات مختلفی مانند Victoria(2012) و Rahman(2004) برای استخراج سطوح زیر کشت مورد استفاده قرار گرفته است. برای اینکه سطوح استخراج شده دارای دقت مناسبی باشد، از تصاویر با دقت مکانی بالای ماهواره لندست ۸ استفاده شد. به دلیل اینکه کشت غالب کشت و صنعت های خوزستان نیشکر می باشد و زمان کاشت، رشد و برداشت

^۱ Normalized Difference Vegetation Index

مشخصی دارد؛ از یک تصویر برای آشکار سازی پوشش گیاهی استفاده گردید. زمان تصویر به گونه ای انتخاب گردید که در آن تاریخ اوج رشد نیشکر بوده و کاشت جدید و یا برداشتی صورت نگرفته باشد.

بدین ترتیب شاخص NDVI برای تصویر انتخاب شده محاسبه گردید. شاخص NDVI از ترکیب دو باند NIR و قرمز محاسبه می شود. رابطه ۴۷ نحوه محاسبه این شاخص را نشان می دهد.

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED} \quad (47)$$

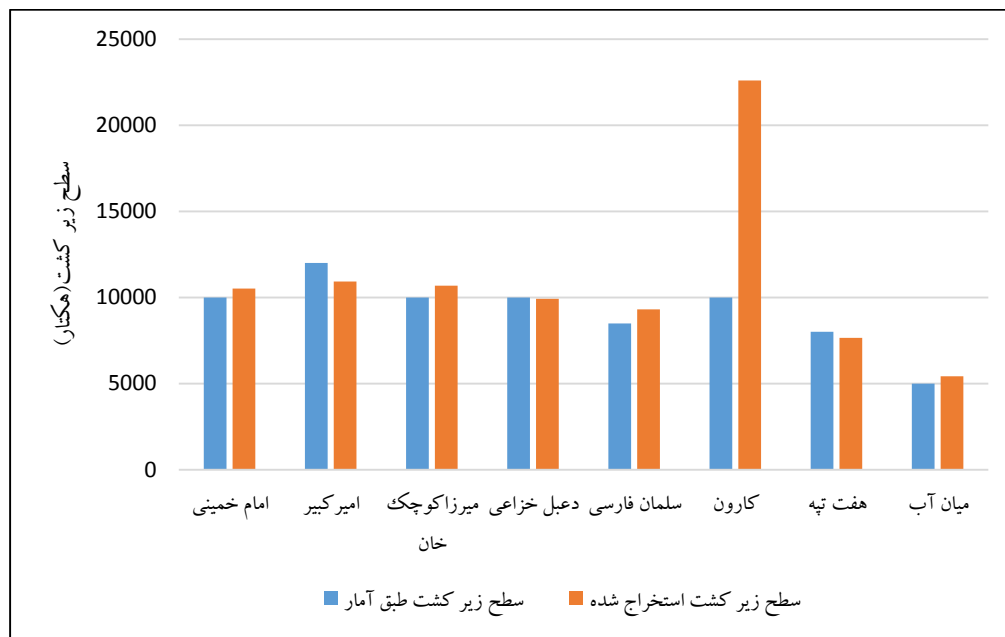
پس از محاسبه شاخص ذکر شده؛ حد آستانه پوشش گیاهی به صورت تفسیر چشمی ۰/۲ انتخاب گردید. با اعمال این آستانه سطوح کشت شده از سطوح کشت نشده جدا گردید. شکل ۲۳ نقشه سطوح کشت استخراج شده را نشان می دهد. نقشه سطح زیر کشت هر کدام از کشت و صنعت ها به صورت مجزا در پیوست آورده شده است.



شکل ۲۳- سطح زیر کشت استخراج شده با استفاده از شاخص NDVI در کشت و صنعت های خوزستان

در ادامه سطوح استخراج‌شده با آمار گزارش‌شده از سطح زیر کشت در هر کشت و صنعت مقایسه گردید.

شکل ۲۴ مقایسه بین دو سطح را نشان می‌دهد.



شکل ۲۴- مقایسه سطح زیر کشت استخراج‌شده با سطح زیر کشت آمار

با توجه به شکل ۲۴ مشاهده می‌گردد که سطوح استخراج‌شده در همه کشت و صنعت‌ها به جز کارون، نزدیک به آمار اعلام‌شده می‌باشد. برای درک دقیقی از تفاوت بین دو سطح ذکرشده، مقدار $RMSE$ برابر با ۶۳۶ هکتار و در صد $RMSE$ بر میانگین برابر با ۷ محاسبه گردید. لازم به ذکر است که سطح کشت و صنعت کارون به دلیل تفاوت بیش از ۱۰۰ درصدی با آمار اعلام‌شده و کشت و صنعت‌های دهخدا و فارابی به دلیل ناقص بودن تصویر لندست در محاسبه $RMSE$ کنار گذاشته شدند.

ذکر این نکته در مورد کشت و صنعت کارون ضروری است که در این کشت و صنعت همه زمین‌های موجود برای کشت نیشکر مورد استفاده قرار نمی‌گیرد و طبق آمار منتشرشده در سایت رسمی این کشت و صنعت (<http://karuncane.com/45-2>)، میزان ۱۲ هزار هکتار زمین برای تأمین خوراک دام مورد استفاده قرار می‌گیرد که با توجه به اینکه در مقایسه این بخش فرض بر آن بود که همه سطوح کشت‌شده نیشکر می‌باشد؛ نیاز آبی مورد انتظار این کشت و صنعت با این روش قابل تخمین زدن نمی‌باشد. در ادامه محاسبات مقایسه تبخیر و تعرق مورد انتظار از هر کشت و صنعت و تبخیر و تعرق برآورد شده با الگوریتم $SUTMETRIC$ ، با در نظر گرفتن سطوح استخراج‌شده در این قسمت تکرار می‌گردد. جدول ۱۱ مقایسه تبخیر و تعرق مورد انتظار و

محاسبه شده بر اساس استخراج شده با NDVI را نشان می دهد. با توجه به نزدیک بودن آمار اعلام شده و استخراج شده، برای کشت و صنعت های فارابی و دهخدا از سطح زیر کشت اعلام شده در آمار استفاده گردید.

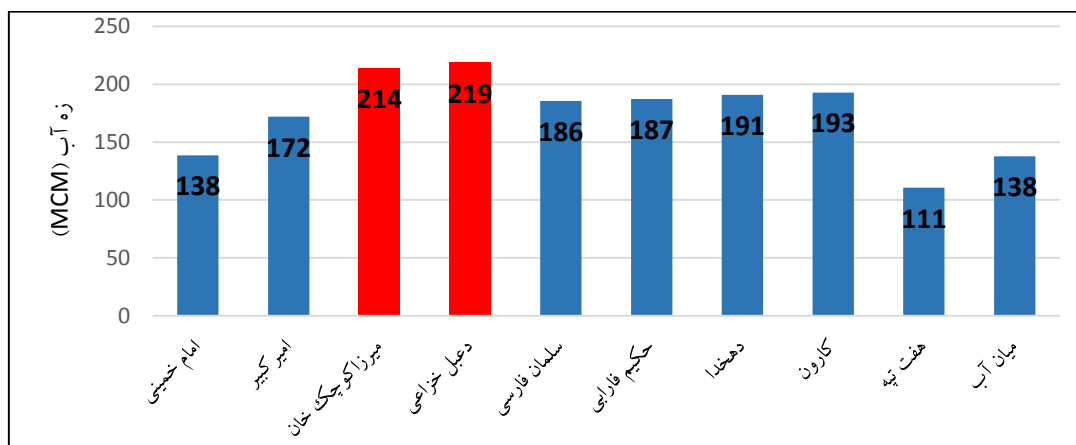
جدول ۱۱- مقایسه تبخیر و تعرق مورد انتظار و محاسبه شده بر اساس استخراج شده با NDVI

کشت و صنعت	مساحت کل (هزار هکتار)	سطح زیر کشت استخراج شده (هزار هکتار)	میانگین تبخیر و تعرق محاسبه شده در هر کشت و صنعت (mm)	حجم تبخیر و تعرق سالانه نیشکر (MCM)	حجم تبخیر و تعرق با SUTMETRIC
امام خمینی	۱۴/۳	۱۰/۵	۱۹۳۵	۲۴۱/۷	۲۷۷
امیرکبیر	۱۴/۳	۱۰/۹	۱۸۰۵	۲۵۱/۲	۲۵۷
میرزا کوچک خان	۱۴	۱۰/۷	۱۸۳۲	۲۴۵/۶	۲۵۶
دعبل خزاعی	۱۳/۲	۹/۹	۱۸۲۴	۲۲۸/۴	۲۴۰
سلمان فارسی	۱۲/۸	۹/۳	۱۷۹۸	۲۱۳/۹	۲۳۰
حکیم فارابی	۱۳/۶	۸	۱۷۸۵	۱۸۴	۲۴۳
دهخدا	۱۵	۱۰	۱۵۵۴	۲۳۰	۲۳۳
کارون	۳۸/۷	۲۲/۶	۱۶۹۳	۵۱۹/۸	۶۵۵
هفت تپه	۱۲/۵	۷/۷	۱۷۱۳	۱۷۶/۲	۲۱۴
میان آب	۱۱/۷	۵/۴	۱۵۱۵	۱۲۴/۹	۱۷۷
RMSE(MCM)		۳۴	RMSE/Mean(%)	۱۳	

همان طور که در جدول ۱۱ مشاهده می گردد با تصحیح آمار سطح زیر کشت و صنعت های خوزستان؛ مقدار RMSE از ۳۷ به ۳۶ میلیون مترمکعب و در صد RMSE بر مقدار میانگین از ۱۵ به ۱۳ در صد کاهش یافت. به دلیل کشت محصولات غیر نیشکر در بیش از نیمی از کل مساحت کشت شده در کشت و صنعت کارون، از اعمال اعداد به دست آمده برای این کشت و صنعت برای محاسبه RMSE صرف نظر گردید.

۵-۵- آب زهکشی شده

داده های زهکشی برای هفت کشت و صنعت در دسترس بود و میزان زهکشی سه کشت و صنعت دیگر نیز با توجه به سطح زیر کشت نیشکر، فرض گردید. با توجه به شکل ۲۵ مشاهده می گردد که کشت و صنعت های میرزا کوچک خان و دعبل خزائی بیشترین میزان آب زهکشی شده را دارند. با در نظر گرفتن سطح کل هر کشت و صنعت، میانگین آب زهکشی شده در کشت و صنعت های اهواز ۱۱۷۰ میلی متر در سال و مجموع آب زهکشی شده معادل با ۱/۸ میلیارد مترمکعب محاسبه گردید.



شکل ۲۵- میزان آب زهکشی شده در کشت و صنعت های خوزستان در سال ۲۰۱۶ میلادی

۵-۶- برآورد نیاز آبی محصولات کشاورزی

مقدار نیاز آبی محصولات باغی و زراعی استان خوزستان به تفکیک در جدول ۱۲ و جدول ۱۳ نشان داده شده است. با توجه به این جداول، مجموع نیاز آبی باغی استان خوزستان ۷۳۹ و مجموع نیاز آبی زراعی استان خوزستان برابر ۵۰۳۰ میلیون مترمکعب است. بدین ترتیب مجموع نیاز آبی محصولات کشاورزی آبی استان خوزستان برابر ۵۶۷۹ میلیون مترمکعب برآورد می شود. بیشترین نیاز آبی محصولات باغی در محصول خرما و مرکبات استان به ترتیب با ۵۶۷ و ۱۲۸ میلیون مترمکعب دیده می شود. همین طور بیشترین نیاز آبی محصولات زراعی برای نیشکر، گندم و برنج به ترتیب با ۱۹۶۹، ۱۲۵۶ و ۵۱۳ میلیون مترمکعب محاسبه شده است.

جدول ۱۲- نیاز آبی محصولات باغی استان خوزستان

نام	سطح زیر کشت (هکتار)	نیاز آبی (میلیمتر)	حجم نیاز آبی (MCM)
خرما	۳۲۳۴۰	۱۷۵۲	۵۶۷
مرکبات	۱۱۹۰۶	۱۰۷۶	۱۲۸
میوه های دانه ریز	۲۱۷۷	۹۳۰	۲۰
میوه های خشک	۸۳۸	۱۰۷۶	۹
سایر میوه ها	۴۷۸	۱۰۷۶	۵
میوه های هسته دار	۴۱۷	۱۰۷۶	۴
میوه های گرمسیری	۳۴۱	۱۰۰۰	۳
میوه های دانه دار	۱۷۱	۷۴۶	۱
محصولات گلخانه ای	۵۱	۱۰۰۰	۱
سبزی و صیفی گلخانه ای	۳۱	۸۲۲	۰/۲۵
سایر محصولات گلخانه ای	۲۰	۱۰۰۰	۰/۲
مجموع	۴۸۷۷۰		۷۳۹

جدول ۱۳ - نیاز آبی محصولات زراعی استان خوزستان به میلیون متر مکعب

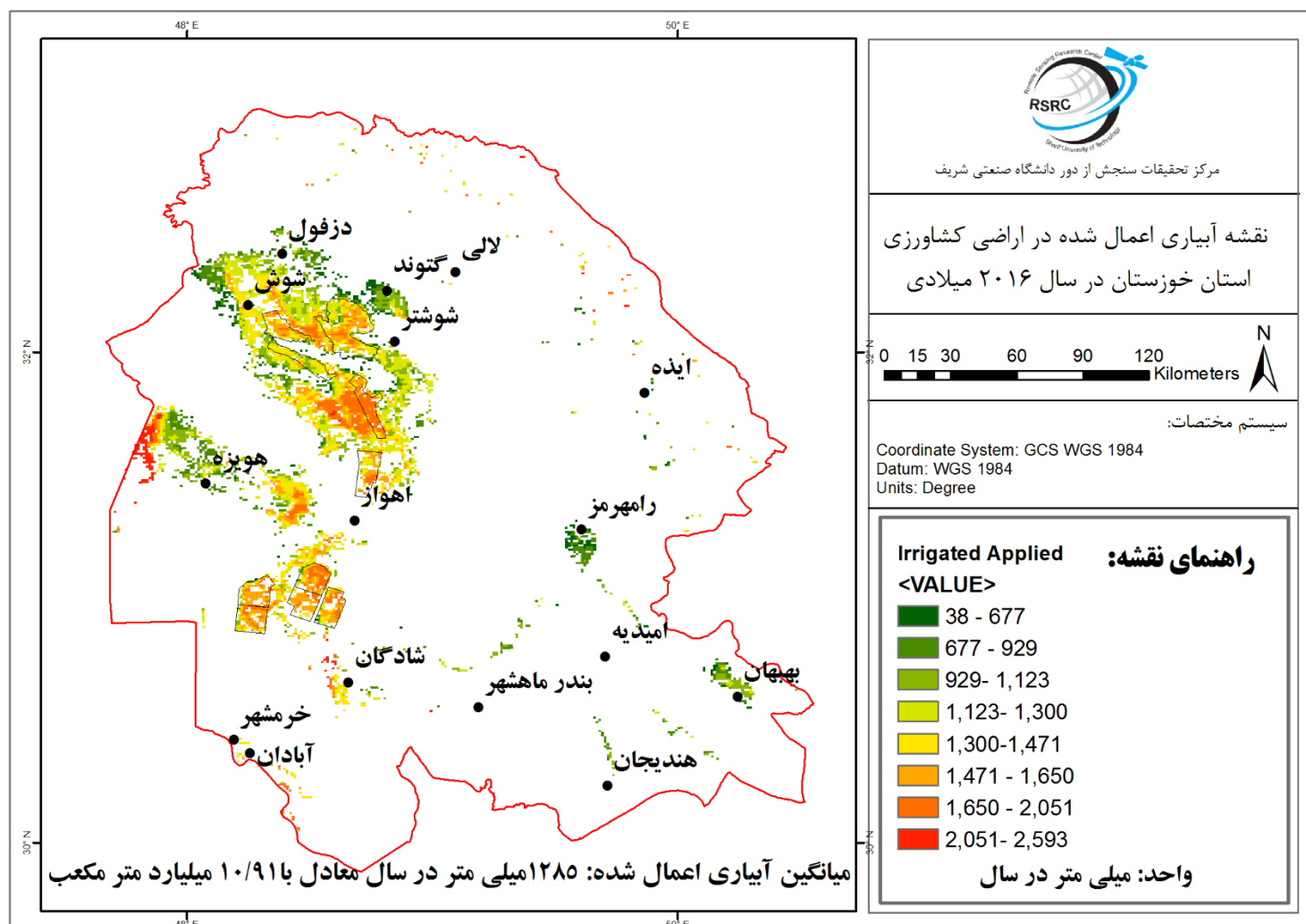
محصول	آغاجاری	امیدیه	اندیکا	اندیشک	اهواز	ایذه	باغ‌ملکی	باوی	ماهشهر	بهبهان	حمیدیه	خرمشهر	دزفول	دشت آزادگان	رامشیر	راهمهرمز	شادگان	شوش	شوشتر	کارون	گوند	لالی	مسجد سلیمان	هنگل	هندیجان	هوریزه	آبادان	جمع نیاز آبی هر محصول (MCM)
نیشکر	0	0	0	0	1179	0	0	0	101	0	0	91	0	0	0	0	168	105	243	82	0	0	0	0	0	0	0	1969
گندم	2	33	0	22	118	5	9	37	14	62	66	34	96	74	51	68	39	192	115	41	29	0	0	0	85	64	0	1256
برنج	0	1	0	0	117	8	34	17	1	10	7	12	4	22	19	0	31	113	106	11	0	0	0	0	0	0	0	513
ذرت دانه ای	0	0	0	40	5	0	0	1	0	42	0	0	79	0	0	0	0	131	11	0	12	0	0	0	0	0	0	321
یونجه	0	0	2	0	6	3	1	2	5	84	1	3	1	1	1	3	3	3	2	1	9	0	0	0	2	1	15	148
جو	0	2	0	0	20	0	0	4	8	1	2	6	1	7	5	5	11	4	6	2	1	0	0	0	12	7	0	104
ذرت علوفه ای	0	2	0	12	2	0	1	3	0	24	0	0	25	0	4	0	9	7	6	0	6	0	0	0	1	0	0	102
هندوانه	0	3	0	4	7	0	1	0	0	7	0	0	7	0	1	1	1	20	7	0	3	0	0	0	2	2	0	68
پیاز	0	0	0	7	0	1	6	0	0	5	0	0	18	0	0	3	0	4	1	0	1	0	0	0	0	0	0	46
لوبیا	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	5	1	0	1	1	2	25	2	2	1	0	0	0	2	0	43
گوجه فرنگی	0	0	0	2	2	0	0	0	0	3	1	0	6	2	0	1	0	1	1	0	2	0	0	0	1	0	0	22
سیب زمینی	0	0	3	5	0	0	0	0	0	2	0	0	4	0	0	3	0	0	1	0	2	0	0	0	0	0	0	20
شبدر	0	0	0	0	2	0	1	0	0	0	0	0	9	0	0	1	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	16
چغندر	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15
باقلا تازه	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
خیار	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1
محصولات فرعی	384																											384
مجموع نیاز آبی هر شهرستان (MC)	2	41	5	92	1459	17	53	165	28	240	77	147	266	112	77	95	254	588	525	139	68	1	0	1	103	76	15	5030

۵-۷- مقدار آب قابل صرفه‌جویی در اراضی کشاورزی-آبی استان خوزستان

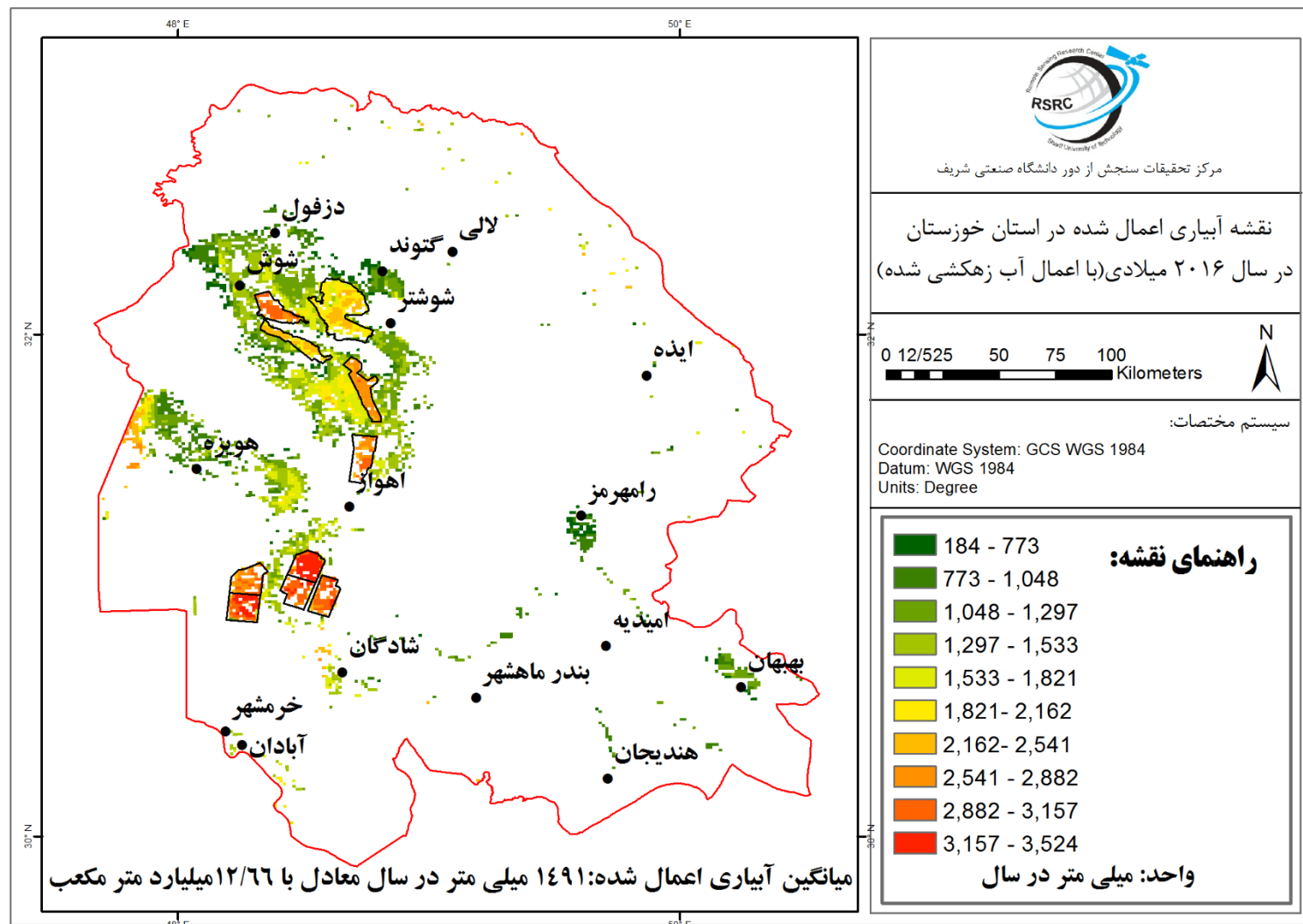
با برآورد تبخیر و تعرق واقعی، نیاز آبی، بارش موثر و مقدار آب زهکشی شده در اراضی کشاورزی استان خوزستان، مقدار آب قابل صرفه‌جویی از تفاوت بین نیاز خالص آبیاری و میزان آبیاری اعمال شده محاسبه گردید. در محاسبات این بخش از کاربری اراضی سنجنده MODIS به عنوان معیاری برای توزیع مکانی زمین‌های کشاورزی در استان خوزستان برای میانگین‌گیری از لایه‌های تبخیر و تعرق واقعی و بارش موثر در زمین‌های کشاورزی استفاده گردید و برای محاسبه حجم کل آب قابل صرفه‌جویی از سطح زیر کشت اعلام شده توسط سازمان جهاد کشاورزی برای بازه زمانی مورد مطالعه (سال ۲۰۱۶ میلادی) استفاده گردید. طبق این آمار کل سطح زیر کشت آبی شامل زمین‌های زراعی و باغی، ۸۴۹ هزار هکتار می‌باشد.

شکل ۲۶ و شکل ۲۷ نقشه میزان آبیاری اعمال شده در اراضی کشاورزی آبی استان خوزستان را نشان می‌دهند. با توجه به شکل ۲۶ مشاهده می‌گردد که میزان آب آبیاری شده با صرف نظر از زهکشی، به بیش‌تر از ۲۵۰۰ میلی‌متر در سال نیز می‌رسد. که بیش‌ترین مقادیر در کشت و صنعت‌های و زمین‌های کشاورزی نزدیک به رودخانه‌های اصلی مانند دز، کارون و کرخه می‌باشند. نکته قابل توجه دیگر میزان آبیاری در جنوب غرب استان خوزستان می‌باشد که با اینکه میانگین دمای هوا در این منطقه بیشتر از سایر مناطق بوده و مقدار بارش نیز کم‌تر می‌باشد، مقدار آب آبیاری کم‌تری در این منطقه مشاهده می‌گردد که می‌توان نتیجه گرفت که مصرف بیش‌تر از نیاز در سواحل رودخانه‌های پر آب به یک عادت تبدیل شده است که نیاز به فرهنگ‌سازی و یا سیاست‌گذاری در جهت کاهش مصرف می‌باشد.

با توجه به شکل ۲۷ نیز مشاهده می‌گردد که مقدار آبیاری اعمال شده در کشت و صنعت‌ها با اعمال آب زهکشی شده به بیش از ۳/۵ متر در سال می‌رسد که در صورت کنترل مصرف آب در این کشت و صنعت‌ها می‌توان مقدار صرفه‌جویی را به صورت قابل‌توجهی افزایش داد. توجه به این نکته ضروریست که داده‌های آب زهکشی شده از مزارع دارای سیستم زهکشی به طور کامل در دسترس نبوده و تنها مقدار آب زهکشی شده از کشت و صنعت‌ها قابل محاسبه بود که در مجموع مساحتی بالغ بر ۱۶۰ هزار هکتار دارند؛ در حالی که به گزارش خبرگزاری مهر (mehrnews.com/news/3740841) و به گفته محمد رضا شمسایی، مدیر عامل سازمان آب و برق خوزستان، نزدیک به ۵۵۰ هزار هکتار شبکه آبیاری و زهکشی در خوزستان موجود می‌باشد که با در نظر گرفتن این مساحت بدون شک مقدار آب زهکشی شده زیاده‌تر شده و در نهایت به مقدار آب قابل صرفه‌جویی نیز افزوده خواهد شد.



شکل ۲۶- آبیاری اعمال شده در اراضی کشاورزی استان خوزستان در سال ۲۰۱۶ میلادی



شکل ۲۷- آبیاری اعمال شده در اراضی کشاورزی استان خوزستان در سال ۲۰۱۶ میلادی با اعمال آب زهکشی شده

جدول ۱۴ مقادیر آب قابل صرفه جویی در اراضی کشاورزی استان خوزستان به همراه مولفه های آن را

نشان می دهد.

جدول ۱۴- محاسبه آب قابل صرفه جویی در اراضی کشاورزی استان خوزستان برای سال ۲۰۱۶ میلادی

مولفه های آب قابل صرفه جویی	میانگین در اراضی کشاورزی (mm)	سطح تاثیر (هزار هکتار)	حجم (MCM)
تبخیر و تعرق	۱۴۵۴	۸۴۹	۱۲۳۴۴
نیاز آبی	۶۶۹	۸۴۹	۵۶۷۹
آب زهکشی شده (فقط در کشت و صنعت ها)	۱۰۹۲	۱۶۰	۱۷۴۸
بارش موثر	۱۶۸	۸۴۹	۱۴۲۶
بارش موثر - نیاز آبی = نیاز خالص آبیاری			۴۲۵۳
بارش موثر - تبخیر و تعرق = آبیاری اعمال شده (بدون در نظر گرفتن زهکشی)			۱۰۹۱۸
زهکشی + بارش موثر - تبخیر و تعرق = آبیاری اعمال شده (با در نظر گرفتن زهکشی)			۱۲۶۶۶
نیاز خالص آبیاری - آبیاری اعمال شده = آب قابل صرفه جویی (بدون در نظر گرفتن زهکشی)			۶۶۶۵
نیاز خالص آبیاری - آبیاری اعمال شده = آب قابل صرفه جویی (با در نظر گرفتن زهکشی)			۸۴۱۳

با توجه به جدول ۱۲ و جدول ۱۳ مقدار نیاز آبی محصولات زراعی و باغی آبی در استان خوزستان ۵/۶۸ میلیارد متر مکعب محاسبه گردید. مقدار بارش موثر نیز ۱۶۸ میلی متر، معادل با ۱/۴۳ میلیارد متر مکعب محاسبه گردید که با توجه به این دو ترم، نیاز خالص آبیاری ۴/۲۵ میلیارد متر مکعب به دست آمد. در ادامه مقدار آبیاری اعمال شده با استفاده از تبخیر و تعرق واقعی محاسبه شده و بارش موثر، بدون در نظر گرفتن مقدار آب زهکشی شده ۱۰/۹۱ میلیارد متر مکعب و با در نظر گرفتن آب زهکشی شده ۱۲/۶۶ میلیارد متر مکعب به دست آمد. با به دست آوردن مولفه های مختلف، مقدار آب قابل صرفه جویی بدون در نظر گرفتن آب زهکشی شده ۶/۶۷ و با در نظر گرفتن آب زهکشی شده ۸/۴۱ میلیارد متر مکعب برآورد گردید.

درصد آب قابل صرفه جویی نیز با استفاده از رابطه زیر برای دو حالت با و بدون زهکشی به دست می آید.

$$100 \times \{ \text{آبیاری اعمال شده} / (\text{آب قابل صرفه جویی}) \} = \text{میزان صرفه جویی}$$

$$61\% = 100 \times (10918 / 6665) \quad \text{بدون در نظر گرفتن زهکشی}$$

$$66\% = 100 \times (12666 / 8413) \quad \text{با در نظر گرفتن زهکشی}$$

همانطور که مشاهده می گردد درصد آب قابل صرفه جویی در دو حالت بالا ۶۱ و ۶۶ درصد به دست آمد که اعداد به دست آمده قابل توجه بوده و نشان از هدر رفت بیش از اندازه آب در این استان می باشد. در تحقیقی که در مرکز تحقیقات سنجش از دور دانشگاه صنعتی شریف (۱۳۹۴) برای محاسبه آب قابل صرفه جویی در حوضه دریاچه ارومیه انجام گردید، مقدار آب قابل صرفه جویی بدون اعمال سیاست تغییر الگوی کشت یا بهبود سیستم آبیاری در دشت ارومیه برابر با ۳۹ درصد به دست آمد. اقلیم خوزستان گرم تر از حوضه دریاچه ارومیه بوده و آب موجود برای آبیاری، به علت وجود رودهای پرآب در خوزستان به مراتب بیشتر از دشت ارومیه می باشد. هم چنین در خوزستان گیاهان پر مصرف زیادی مانند نیشکر نسبت به ارومیه کشت می شود. با در نظر گرفتن همه این شرایط، مقدار ۶۱ درصد آب قابل صرفه جویی در خوزستان منطقی به نظر می رسد.

توجه به چند نکته در به دست آوردن مقدار آب قابل صرفه جویی حائز اهمیت می باشد:

۱. یکی از مبنای اصلی محاسبات در این تحقیق استفاده از نیاز آبی گیاهان است که آمار سطح زیر کشت آن از سازمان جهاد کشاورزی اخذ شده است. خطا در ارائه سطح زیر کشت هر محصول در این آمار تاثیر مستقیم بر نتیجه های حاصل شده خواهد گذاشت.
۲. میزان خطای تبخیر و تعرق محاسبه شده با توجه به کالیبراسیون انجام شده در این مطالعه حداکثر ۱۳ درصد می باشد که با اعمال این خطا به مقدار $\pm 5\%$ در درصدهای صرفه جویی تاثیر می گذارد.
۳. در این مطالعه برای به دست آوردن نیاز خالص آبی، بارش موثر از نیاز آبی کم شده است؛ در صورتی که کل بارش موثر گیاه صرف تامین نیاز آبی گیاه نمی شود و در زمان هایی که بارش به صورت چند روز پشت سر هم رخ می دهد، به دلیل بالا بودن رطوبت خاک بارش موثر کم تر از مقدار فرض شده (۶۹ / بارش کل) می باشد. به صورت تقریبی تاثیر این مورد کمتر از ۱ درصد خواهد بود.
۴. به دلیل در دسترس نبودن داده، تنها ۱۶۰ هزار هکتار از ۵۵۰ هزار هکتار شبکه آبیاری زهکشی در محاسبه مقدار آب زهکشی شده تاثیر داده شده اند که احتمالاً با تاثیر دادن همه شبکه مقدار آب قابل صرفه جویی افزایش خواهد یافت. با توجه به اینکه میزان زهکشی با توجه به شرایط هر زمین، میزان آبیاری و محصول

کشت شده متفاوت می باشد، بدون در دست داشتن داده های دقیق نمی توان در مورد مقدار آب زهکشی شده اظهار نظر نمود. البته استفاده مجدد از آب های زهکشی شده قابل بحث می باشد که با توجه به اینکه در این مطالعه فقط مقدار آب زهکشی شده از از مزارع نیشکر تاثیر داده شده و پساب خروجی نیشکر از نظر کیفی مناسب هیچگونه کشاورزی نمی باشد؛ از امکان استفاده مجدد از این پساب ها صرف نظر شده است.

۵-۸- مقدار آب قابل صرفه جویی در کشت و صنعت های هفت گانه نیشکر

استان خوزستان از دیرباز یکی از مراکز مهم کشت نیشکر بوده است، بطوریکه تولید ۲۲۰ تن نی در هکتار در این استان تجربه شده است. از اینرو کشت نیشکر در این استان، دارای مزیت نسبی به شمار می رود. هلدینگ توسعه نیشکر و صنایع جانبی، بزرگترین تولید کننده شکر در کشور، در این استان واقع شده که با ظرفیت تولید ۷۰۰ هزار تن شکر سفید، نیمی از شکر تولیدی کشور را به خود اختصاص داده است. همچنین این شرکت به موازات فعالیت اصلی خود، به تولید تخته صنعتی (MDF) از تفاله نیشکر، خمیر مایه و الکل طبی از ملاس و همچنین اجرای پروژه های تولید شکر دارویی، شکر قهوه های، شکر طع مدار و شکر پودری پرداخته است.

پیش بینی اولیه طرح شامل کشت نیشکر مجموعاً به میزان ۸۴ هزار هکتار از زمین های استان خوزستان و ایجاد هفت واحد کشت و صنعت هر کدام به وسعت ۱۲ هزار هکتار (شامل ۱۰ هزار هکتار زیر کشت محصول و ۲ هزار هکتار آیش) و برآورد تولید ۷۰۰ هزار تن شکر و برداشت ۷ میلیون تن نیشکر و نیز مواد اولیه تشکیل کارخانه های کاغذ (با حجم عملیاتی ۳۵۰ هزار تن کاغذ در سال)، تخته صنعتی (با یکصد هزار تن محصول)، بیوتکنولوژی (با ۱۰ هزار تن خمیر مایه و ۳۳ میلیون لیتر الکل صنعتی) و خوراک دام (با ۷۰۰ هزار تن محصول) می باشد.

از جمله شرکت های فرعی این گروه شامل شرکت های کشت و صنعت امام خمینی، امیرکبیر، دعبل خزاعی، میرزا کوچک خان، سلمان فارسی، حکیم فارابی، شرکت خوراک دام شعیبیه، بازرگانی توسعه نیشکر، آبان بسپار توسعه، راصد صنعت توسعه، خمیر مایه و الکل، کشت و صنعت نیشکر دهخدا، فنی مهندسی و پشتیبانی سداد فام نیشکر، لوح سبز جنوب، فالح صنعت و موسسه تحقیقات و آموزش توسعه نیشکر می باشد. نقشه محل استقرار کشت و صنعت های استان خوزستان در نشان داده شده است.

نیاز آبی نیشکر در اقلیم شهرستان اهواز با استفاده از نرم افزار CROPWAT برابر ۲۲۳۶ میلی متر محاسبه شده است. ایزدپناه و همکاران (۱۳۹۰) نیز با استفاده از لایسیمتر موجود در کشت و صنعت امیرکبیر، نیاز آبی نیشکر برای کشت جدید را ۲۶۰۲ و برای بازرویی ۲۲۲۲ میلی متر محاسبه کرده اند که با در نظر گرفتن ۲۵ درصد کشت

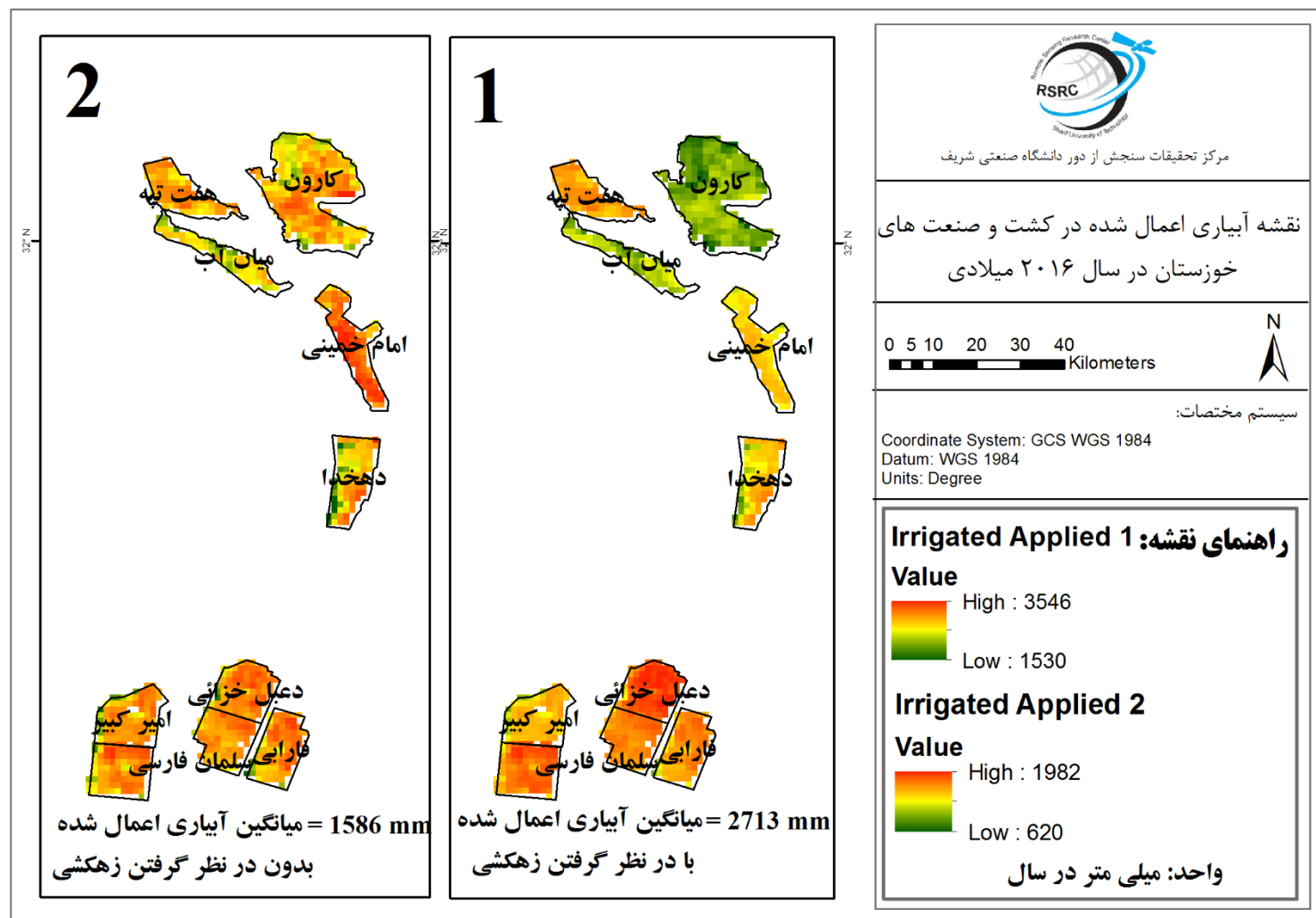
جدید و ۷۵ درصد بازروی مقدار تبخیر و تعرق به طور میانگین ۲۳۰۰ میلی متر به دست آمده است که به عدد محاسبه شده توسط نرم افزار CROPWAT بسیار نزدیک می باشد. بنابراین در این مطالعه نیاز آبی نیشکر برای کشت و صنعت های هفت گانه برابر ۲۳۰۰ میلی متر فرض شد.

با توجه به اینکه در این مناطق حدود ۹۲ هزار هکتار نیشکر کشت می شود، می توان حجم کل نیاز آبی سالانه آنها را محاسبه کرد. طبق صحت سنجی انجام شده برای سطوح زیر کشت اعلام شده توسط سایت هر کشت و صنعت، مشخص گردید که سطح زیر کشت کشت و صنعت های خوزستان در سال ۲۰۱۶ میلادی، ۱۰۵ هزار هکتار می باشد که مشخص گردید حدود ۱۳ هزار هکتار از سطح زیر کشت کشت و صنعت ها به کشت غیر از نیشکر اختصاص یافته است. برای محاسبه نیاز آبی کشت و صنعت های ده گانه خوزستان نیاز آبی نیشکر ۲۳۰۰ میلی متر و مناطق غیر نیشکر برابر با میانگین نیاز آبی محصولات زراعی-باغی (۱۱۶۲ میلی متر) فرض می گردد. جدول ۱۵ جزئیات محاسبه نیاز آبی در کشت و صنعت های خوزستان را نشان می دهد.

جدول ۱۵- نیاز آبی کشت و صنعت های خوزستان

نوع محصول	سطح زیر کشت (هزار هکتار)	نیاز آبی (mm)	حجم نیاز آبی (MCM)
نیشکر	۹۲	۲۳۰۰	۲۱۱۶
غیر نیشکر	۱۳	۱۱۶۲	۱۵۱
مجموع	۱۰۵		۲۲۶۷

با توجه به جدول ۱۵ مقدار نیاز آبی کشت و صنعت های ده گانه خوزستان ۲۲۶۷ میلیون متر مکعب به دست آمد. هم چنین با استفاده از نقشه های بارش تولید شده مقدار بارش موثر ۱۶۰ میلی متر معادل با ۲۵۶ میلیون متر مکعب به دست آمد. هم چنین شکل ۲۸ آبیاری اعمال شده در کشت و صنعت های خوزستان در دو قسمت با در نظر گرفتن آب زهکشی شده (۱) و بدون در نظر گرفتن (۲) آن را نشان می دهد. با توجه به شکل ۲۸ قسمت (۱) مشاهده می گردد که کشت و صنعت دعبل خزایی دارای بیشترین آبیاری اعمال شده و کشت و صنعت کارون دارای کمترین آبیاری اعمال شده می باشند. به دلیل اینکه در کشت و صنعت کارون در بیش از نیمی از مساحت آن نیشکر کشت نمی شود میزان آبیاری آن کاهش یافته است. هم چنین کشت و صنعت امام خمینی دارای بیشترین و کشت و صنعت میان آب دارای کمترین آبیاری اعمال شده می باشند.



شکل ۲۸- آبیاری اعمال شده در کشت و صنعت‌های خوزستان برای سال ۲۰۱۶ میلادی

جدول ۱۶ مولفه های محاسبه آب قابل صرفه جویی را با جزئیات نشان می دهد. با توجه به اعداد به دست آمده از جدول ۱۶ مقدار آب قابل صرفه جویی بدون در نظر گرفتن زه آب ۵۰۳ میلیون متر مکعب و با در نظر گرفتن زه آب ۲/۲۵ میلیارد متر مکعب برآورد گردید.

جدول ۱۶- محاسبه آب قابل صرفه جویی در کشت و صنعت های استان خوزستان برای سال ۲۰۱۶ میلادی

مولفه های آب قابل صرفه جویی	میانگین ارتفاع (mm)	سطح تاثیر (هزار هکتار)	حجم (MCM)
تبخیر و تعرق	۱۷۳۱	۱۶۰	۲۷۷۰
نیاز آبی	۱۴۱۶	۱۶۰	۲۲۶۷
آب زهکشی شده	۱۰۹۲	۱۶۰	۱۷۴۸
بارش موثر	۱۶۰	۱۶۰	۲۵۶
بارش موثر - نیاز آبی = نیاز خالص آبیاری			۲۰۱۱
بارش موثر - تبخیر و تعرق = آبیاری اعمال شده (بدون در نظر گرفتن زهکشی)			۲۵۱۴
زهکشی + بارش موثر - تبخیر و تعرق = آبیاری اعمال شده (با در نظر گرفتن زهکشی)			۴۲۶۲
نیاز خالص آبیاری - آبیاری اعمال شده = آب قابل صرفه جویی (بدون در نظر گرفتن زهکشی)			۵۰۳
نیاز خالص آبیاری - آبیاری اعمال شده = آب قابل صرفه جویی (با در نظر گرفتن زهکشی)			۲۲۵۱

با در نظر گرفتن رابطه زیر درصد آب قابل صرفه جویی به دست می آید.

$$100 \times \{ \text{آبیاری اعمال شده} / (\text{آب قابل صرفه جویی}) \} = \text{میزان صرفه جویی}$$

$$20\% = 100 \times (503 / 2514) \quad \text{بدون در نظر گرفتن زهکشی}$$

$$53\% = 100 \times (2251 / 4262) \quad \text{با در نظر گرفتن زهکشی}$$

همانطور که مشاهده می گردد مقدار آب زهکشی شده در اراضی کشت و صنعت خوزستان تاثیر زیادی در هدر رفت آب دارند که لازمه توجه بیش تر به این بخش و اعمال زهکشی کنترل شده را بیش از پیش نمایان می سازد.

برای درک بیشتر از شرایط واقعی تر و هم چنین در نظر گرفتن برخی از فرضیات، با استفاده از سناریوهای مختلف مقدار آب قابل صرفه جویی را برر سی می نماییم. پنج سناریو برای برر سی بیشتر مقدار آب قابل صرفه جویی مطرح می باشد. نتایج سناریوهای مختلف از جدول ۱۷ تا جدول ۲۰ ارائه شده است.

سناریو ۱- در نظر گرفتن یا نگرفتن آب زهکشی شده برای محاسبه آب قابل صرفه جویی و اعمال ۱۰۰ درصد نیاز آبی :

جدول ۱۷- درصد آب قابل صرفه جویی با سناریو ۱

منطقه مورد مطالعه	نیاز خالص آبیاری (MCM)	آبیاری اعمال شده (MCM)		درصد آب قابل صرفه جویی	
		بدون زهکشی	با زهکشی	بدون زهکشی	با زهکشی
اراضی کشاورزی خوزستان	۴۲۵۳	۱۲۶۶۶	۱۰۹۱۸	۶۶٪	۶۱٪
کشت و صنعت های خوزستان	۲۰۱۱	۴۲۶۲	۲۵۱۴	۵۳٪	۲۰٪

سناریو ۲- تکرار سناریو ۱ با در نظر گرفتن اینکه میزان ۸۰ درصد نیاز آبی برای رشد و نمو گیاه کافی باشد:

جدول ۱۸- درصد آب قابل صرفه جویی با سناریو ۲

منطقه مورد مطالعه	نیاز خالص آبیاری (MCM)	آبیاری اعمال شده (MCM)		درصد آب قابل صرفه جویی	
		بدون زهکشی	با زهکشی	بدون زهکشی	با زهکشی
اراضی کشاورزی خوزستان	۳۱۱۷	۱۲۶۶۶	۱۰۹۱۸	۷۵٪	۷۱٪
کشت و صنعت - های خوزستان	۱۵۵۷	۴۲۶۲	۲۵۱۴	۶۳٪	۳۸٪

سناریو ۳- محجوبی و همکاران (۱۳۹۲) با استفاده از زهکشی کنترل شده در تیمارهای مختلف توانستند میزان آب زهکشی شده (ضریب زهکشی) را در تیمار CD70 به میزان ۶۷ درصد و در تیمار CD90 به میزان ۵۴ درصد کاهش دهند، به طوری که در مقدار محصول تغییری حاصل نگردید. با توجه به این مقاله در این قسمت فرض می کنیم که با استفاده از زهکشی کنترل شده می توان به میزان ۵۰ درصد از آب زهکشی شده کم نمود. (تکرار سناریو ۱ با کم کردن ۵۰ درصد از میزان زهکشی)

جدول ۱۹- درصد آب قابل صرفه جویی با سناریو ۳

منطقه مورد مطالعه	نیاز خالص آبیاری (MCM)	آبیاری اعمال شده با ۵۰ درصد زهکشی (MCM)	درصد آب قابل صرفه جویی با ۵۰ درصد زهکشی
اراضی کشاورزی خوزستان	۴۲۵۳	۱۱۷۹۲	۶۳٪
کشت و صنعت های خوزستان	۲۰۱۱	۳۳۸۸	۴۰٪

سناریو ۴- ۵۰ درصد زهکشی کاهش یافته و ۸۰ درصد نیاز آبی برای رشد و نمو گیاه کافی باشد.

جدول ۲۰- درصد آب قابل صرفه جویی با سناریو ۴

منطقه مورد مطالعه	۸۰ درصد نیاز خالص آبیاری (MCM)	آبیاری اعمال شده با ۵۰ درصد زهکشی (MCM)	درصد آب قابل صرفه جویی با ۵۰ درصد زهکشی
اراضی کشاورزی خوزستان	۳۱۱۷	۱۱۷۹۲	۷۳٪
کشت و صنعت های خوزستان	۱۵۵۷	۳۳۸۸	۵۴٪

سناریو ۵- ۵۰ درصد زهکشی کاهش یافته و ۱۰ تا ۲۰ درصد خطا در آمار سطوح زیر کشت اعلام شده توسط سازمان جهاد کشاورزی وجود داشته باشد. فرض ۱۰ و ۲۰ درصد خطا با توجه به اختلاف داشتن ۱۲ درصدی آمار اعلام شده با کاربری اراضی سنجنده MODIS انجام شده است.

جدول ۲۱- درصد آب قابل صرفه جویی با سناریو ۵

منطقه مورد مطالعه	نیاز خالص آبیاری (MCM) با $\pm 10\%$ درصد خطا در آمار	آبیاری اعمال شده با ۵۰ درصد زهکشی (MCM)	درصد آب قابل صرفه جویی با ۵۰ درصد زهکشی
اراضی کشاورزی خوزستان	4253 ± 420	۱۱۷۹۲	$63 \pm 3\%$
کشت و صنعت های خوزستان	2011 ± 201	۳۳۸۸	$40 \pm 6\%$
منطقه مورد مطالعه	نیاز خالص آبیاری (MCM) با $\pm 20\%$ درصد خطا در آمار	آبیاری اعمال شده با ۵۰ درصد زهکشی (MCM)	درصد آب قابل صرفه جویی با ۵۰ درصد زهکشی
اراضی کشاورزی خوزستان	4253 ± 840	۱۱۷۹۲	$63 \pm 7\%$
کشت و صنعت های خوزستان	2011 ± 402	۳۳۸۸	$40 \pm 12\%$

نتایج به دست آمده از جدول ۱۷ تا جدول ۲۰ نشان می دهد که بیشترین درصد صرفه جویی برای اراضی کشاورزی خوزستان در سناریو ۲ برابر با ۷۵ درصد برای حالت محاسبه کل حجم زهکشی شده به عنوان صرفه جویی و در نظر گرفتن ۸۰ درصد نیاز آبی به دست آمده است. هم چنین کمترین درصد صرفه جویی برای اراضی کشاورزی در سناریو ۱ برابر با ۶۱ درصد برای حالت عدم محاسبه حجم زهکشی شده به عنوان صرفه جویی و در نظر گرفتن ۱۰۰ درصد نیاز آبی به دست آمد. بیشترین درصد صرفه جویی برای کشت و صنعت های خوزستان در سناریو ۲ برابر با ۶۳ درصد برای حالت محاسبه کل حجم زهکشی شده به عنوان صرفه جویی و در نظر گرفتن ۸۰ درصد نیاز آبی به دست آمده است. هم چنین کمترین درصد صرفه جویی برای کشت و صنعت های خوزستان در کشاورزی در سناریو ۱ برابر با ۲۰ درصد برای حالت عدم محاسبه حجم زهکشی شده به عنوان صرفه جویی و در نظر گرفتن ۱۰۰ درصد نیاز آبی به دست آمد.

هم چنین در سناریو ۵ با اعمال احتمال وجود خطا در آمار سطح زیر کشت اعلام شده، بیشترین میزان صرفه جویی برای اراضی کشاورزی استان خوزستان با در نظر گرفتن ۲۰ درصد خطا، ۷۰ درصد و کمترین میزان صرفه جویی برای کشت و صنعت خوزستان با در نظر گرفتن ۱۰ درصد خطا برابر با ۲۸ درصد محاسبه گردید. جدول محاسبات مربوط به سناریو ۵ در جدول ۲۱ آورده شده است.

۶- عدم قطعیت ها

۶-۱- امکان وجود خطا در درونیابی و تولید نقشه های بارش

در این مطالعه از داده های بارش ۲۰ ایستگاه سینوپتیک در استان خوزستان استفاده شده است. با توجه به وجود پیچیدگی های مختلف تاثیر گذار در توزیع مقادیر بارش در سطح یک منطقه، مانند نوع پوشش گیاهی و توپوگرافی منطقه و... با انجام درونیابی با استفاده از داده های بارش در ۲۰ نقطه در وسعت یک استان، امکان به وجود آمدن خطا در مقدار و توزیع بارش وجود دارد. هم چنین ضریب بارش موثر در این مطالعه بر اساس پیشنهاد FAO، در نظر گرفته شده است که می تواند برای مناطق مختلف متفاوت باشد. با به وجود آمدن ۱ درصد خطا در تعیین بارش موثر، ۱۴ میلیون متر مکعب در میزان صرفه جویی خطا ایجاد می شود که با بررسی های انجام شده خطا در این بخش کمتر از ۱۰ درصد پیش بینی می گردد.

۶-۲- امکان وجود خطا در محاسبه تبخیر و تعرق مرجع

تبخیر و تعرق مرجع محاسبه شده در این مطالعه برای گیاه مرجع (یونجه) ۲۶۸۳ میلی متر در سال به دست آمد در حالی که تبخیر و تعرق لایسمتر نیشکر ۲۳۸۶ میلی متر در سال اندازه گیری شده است. البته برای محاسبه تبخیر و تعرق در مزارع نیشکر، تبخیر و تعرق مرجع محاسبه شده با توجه به اعداد لایسمتر تصحیح گردید ولی با توجه به در دسترس نبودن محصولات کشت شده در سایر مناطق استان خوزستان صحیح یا ناصحیح بودن استفاده از تبخیر و تعرق مرجع (یونجه) برای سایر مناطق قابل بحث می باشد.

۶-۳- امکان وجود خطا در تخمین تبخیر و تعرق واقعی

با توجه به صحت سنجی های انجام شده در این مطالعه، خطا در محاسبه تبخیر و تعرق حداکثر ۱۵ درصد می باشد. البته این صحت سنجی برای تبخیر و تعرق در مزارع نیشکر اعمال شده است که می توان با تقریب خوبی برای کل مناطق کشاورزی در نظر گرفت.

۶-۴- در دسترس نبودن آمار مساحت زمین های کشاورزی تحت شبکه زهکشی و مقدار آب زهکشی شده

به گزارش خبرگزاری مهر (mehrnews.com/news/3740841) و به گفته مدیر عامل سازمان آب و برق خوزستان، نزدیک به ۵۵۰ هزار هکتار شبکه آبیاری و زهکشی در خوزستان موجود می باشد که از این میزان آمار میزان زهکشی کم تر از ۱۰۰ هزار هکتار در دسترس می باشد. برای محاسبه آب قابل صرفه جویی با در نظر گرفتن میزان زهکشی به داده های دقیقی در مورد سطح زهکشی، میزان زهکشی صورت گرفته و میزان زهکشی بهینه نیاز می باشد که در صورت نداشتن آمار دقیق تاثیر این قسمت در محاسبه صرفه جویی در نظر گرفته نخواهد شد.

۶-۵- عدم قطعیت در آمار مساحت زیر کشت و نوع محصول اعلام شده توسط سازمان جهاد کشاورزی

در این تحقیق، آب خالص آبیاری با استفاده از سطح زیر کشت اعلام شده برای هر محصول توسط سازمان جهاد کشاورزی محاسبه گردیده است. وجود هر گونه خطا در مساحت زیر کشت و نوع هر محصول باعث وارد شدن خطا در محاسبه میزان آب قابل صرفه جویی می گردد. صحت سنجی آمار اعلام شده برای هر محصول در سطح استان امکان پذیر نمی باشد. برای بررسی مساحت کلی گزارش شده، از محصول کاربری اراضی MCD12Q1 V6 سنجنده MODIS در سال ۲۰۱۶ میلادی استفاده گردید. مساحت کل زمین های کشاورزی زراعی و باغی استان خوزستان در آمار، ۸۳۹ هزار هکتار گزارش شده است که در کاربری اراضی سنجنده MODIS، ۹۵۵ هزار هکتار به دست آمده است. بدین ترتیب، آمار اعلام شده ۱۱۶ هزار هکتار کم تر از کاربری اراضی کشاورزی محاسبه شده با تصاویر ماهواره ای می باشد.

۷- نتیجه گیری

در مطالعه انجام شده نرخ تبخیر و تعرق واقعی استان خوزستان در سال ۲۰۱۶ میلادی با استفاده از الگوریتم SUTMETRIC و تصاویر سنجنده MODIS برآورد شده است. میانگین تبخیر و تعرق سالانه برای استان خوزستان برابر با ۹۰۰ میلی متر در سال برآورد گردید. پس از برآورد تبخیر و تعرق واقعی اقدام به محاسبه بارش موثر، مقدار آب زهکشی شده، نیاز آبی گردیده و در نهایت آب قابل صرفه جویی در اراضی کشاورزی -آبی استان خوزستان و کشت و صنعت های استان خوزستان محاسبه شد. از جمله نتایج به دست آمده از این تحقیق می توان به موارد زیر اشاره نمود.

۱. مقایسه تبخیر و تعرق مرجع در اهواز و تبخیر و تعرق لایسیمتر نیشکر نشان داد که تبخیر و تعرق مرجع محاسبه شده در ماه های سرد بیش تخمین و در ماه های گرم کم تخمین است لذا اقدام به تصحیح تبخیر و تعرق مرجع با استفاده از تبخیر و تعرق لایسیمتر گردید. بزرگ ترین ضریب اصلاحی برای ماه می برابر با ۱/۲ و کوچک -ترین آن برای ماه های ژانویه، فوریه و دسامبر برابر با ۰/۳ به دست آمد.
۲. در صحت سنجی تبخیر و تعرق واقعی در کشت و صنعت های نیشکر با داده های لایسیمتر با استفاده از سطح زیر کشت نیشکر اعلام شده توسط سایت هر کشت و صنعت مقدار RMSE برابر با ۳۷ میلیون متر مکعب و مقدار RMSE تقسیم بر میانگین برابر با ۱۵ درصد به دست آمد. با تصحیح سطوح زیر کشت با کلاس بندی کشت و صنعت ها، و صحت سنجی دوباره مقدار RMSE به ۳۶ میلیون متر مکعب و مقدار RMSE تقسیم بر میانگین به ۱۳ درصد رسید.
۳. نیاز آبی محصولات زراعی و باغی-آبی در استان خوزستان با استفاده از سطح زیر کشت اعلام شده توسط سازمان جهاد کشاورزی و نیاز آبی با استفاده از NETWAT و CROPWAT تعیین گردید. برای سال ۲۰۱۶ میلادی نیاز آبی ۸۴۹ هزار هکتاری سطح زیر کشت زراعی و باغی-آبی برابر با ۵۷۶۹ میلیون متر مکعب برآورد گردید. هم چنین نیاز آبی کشت و صنعت های خوزستان به صورت مجزا ۲۲۶۷ میلیون متر مکعب محاسبه گردید.
۴. در نهایت آب قابل صرفه جویی در اراضی کشاورزی استان خوزستان و کشت و صنعت ها محاسبه گردید. نتایج نشان داد که زمین های کشاورزی استان خوزستان دارای پتانسیل صرفه جویی حداقل ۶ و حداکثر ۸ میلیارد مترمکعبی برابر با ۶۱ تا ۶۶ درصد را دارند. هم چنین کشت و صنعت های خوزستان دارای پتانسیل حداقل ۰/۵ و حداکثر ۲/۲ میلیارد مترمکعبی برابر با ۲۰ تا ۵۳ درصد می باشند.
۵. با استفاده از اعمال سناریو های مختلف درصد صرفه جویی در زمین های کشاورزی در بیش ترین حالت به ۷۵ درصد نیز می رسد. هم چنین در کشت و صنعت های خوزستان نیز درصد صرفه جویی بیشینه به ۶۳ درصد می رسد.
۶. با اعمال عدم قطعیت آمار سطح زیر کشت مشخص گردید که ۱۰ درصد خطا در آمار، ۳ و ۶ درصد در میزان صرفه جویی در اراضی کشاورزی خوزستان و کشت و صنعت ها تاثیر خواهد داشت. این ارقام برای اعمال ۲۰ درصد خطا به ترتیب به ۱۲ و ۷ درصد می رسد.

با توجه به اینکه داده های نسبتاً کامل تری در کشت و صنعت ها نسبت به سایر اراضی کشاورزی استان خوزستان وجود دارد، نتایج به دست آمده در کشت و صنعت ها از قطعیت بیشتری نسبت به سایر مناطق برخوردار می باشد. در میان سناریوهای اعمال شده، سناریوی شماره ۵ انطباق زیادی با شرایط موجود داشته و اعداد به دست آمده از این سناریو (به ویژه در کشت و صنعت ها) با در نظر گرفتن ۱۰ درصد خطا در آمار سطح زیر کشت، از نظر نویسنده قطعیت زیادی دارد که در آن حداقل آب قابل صرفه جویی در کشت و صنعت ها، ۳۴ درصد (معادل با ۱/۱۷ میلیارد متر مکعب) و در اراضی کشاورزی استان خوزستان ۶۰ درصد (معادل با ۷ میلیارد متر مکعب) به دست آمد.

۸- پیشنهادات

- ۱- با انجام مطالعات بیشتر در مورد نوع محصولات و پراکندگی محصولات اراضی کشاورزی در استان خوزستان (به غیر از کشت و صنعت ها) می توان دید خوبی نسبت به تبخیر و تعرق مرجع در مناطق مختلف استان داشته و با بکاربردن تبخیر و تعرق مرجع منطقی، دقت تخمین تبخیر و تعرق را افزایش داد.
- ۲- با توجه به انجام پایان نامه کارشناسی ارشد در دانشگاه تربیت مدرس با موضوع مشابه با این تحقیق برای اراضی کشت و صنعت های خوزستان، توسط دانشجوی دکتر میرلطیفی از دانشکده کشاورزی، می توان دو نتیجه را با هم مقایسه نموده و از تجربیات آن کار هم استفاده کرد.
- ۳- برای بالا بردن دقت داده های ورودی همچون (LAI، NDVI، LST و...) می توان کارزمینی انجام داده و دقت مدل را افزایش داد.

۹- مراجع

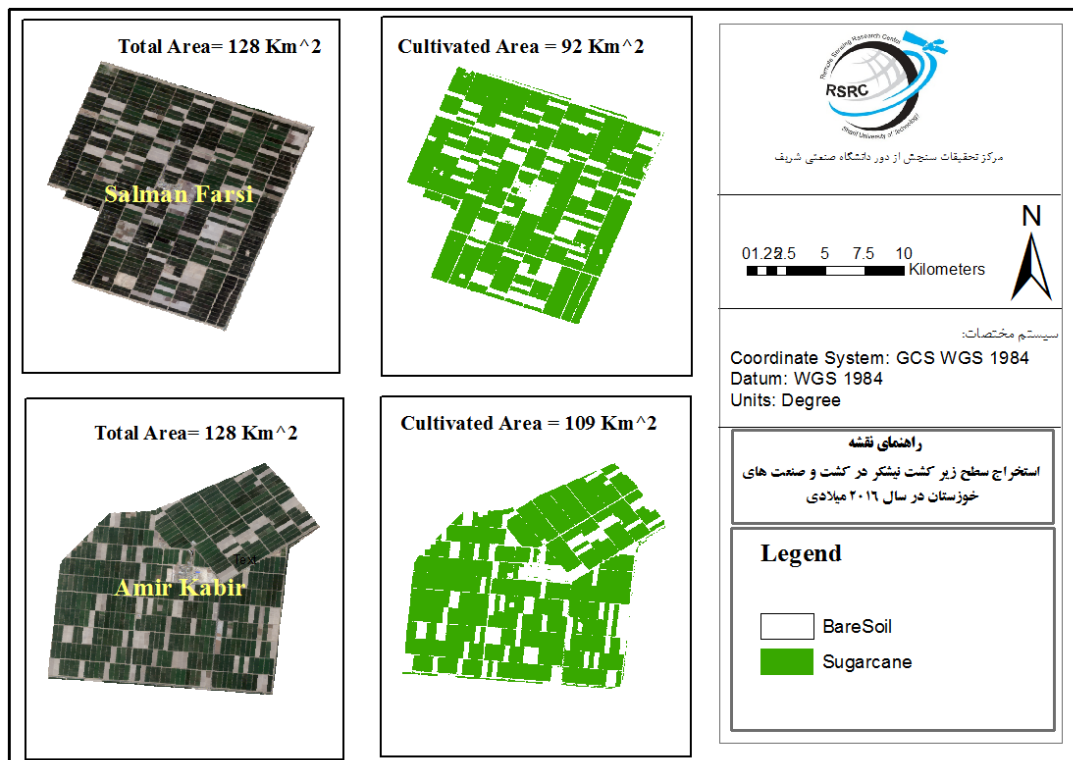
- ایزدپناه، زهرا؛ مصطفی قهرمان نژاد؛ فرزاد حق نظری و آیدا روشن قیاس، ۱۳۹۰، تعیین نیاز آبی و ضرایب گیاهی نیشکر در اراضی کشت و صنعت امیرکبیر اهواز، یازدهمین سمینار سراسری آبیاری و کاهش تبخیر، کرمان، دانشگاه شهید باهنر،
- برومندنسب، سعید؛ حیدر علی کشکولی و محمدرضا خالدیان، ۱۳۸۵، تعیین نیاز آبی و ضرایب گیاهی نیشکر در اراضی کشت و صنعت هفت تپه خوزستان، اولین همایش ملی مدیریت شبکه های آبیاری و زهکشی، اهواز، دانشگاه چمران
- سهیلی فر، زهرا، میر لطیفی، سید مجید، ناصری، عبد علی، عصار، مصطفی. (۱۳۹۲). برآورد تبخیر - تعرق واقعی نیشکر با استفاده از داده های سنجنش ازدور در اراضی کشت و صنعت نیشکر میرزا کوچک خان. دانش آب و خاک، ۲۳(۱)، ۱۵۱-۱۶۳.
- سیما، س. (۱۳۹۲). تحلیل دینامیکی - مکانی تغییرات تبخیر و نمک در دریاچه های شور - مطالعه موردی دریاچه ارومیه. پایان نامه دکتری دانشکده مهندسی عمران: دانشگاه صنعتی شریف.
- شینی دشتگل، علی؛ عبدعلی ناصری و سیروس جعفری، ۱۳۸۸، مطالعه نیاز آبی و ضرایب گیاهی نیشکر به روش لایسمتری در اراضی نیشکر جنوب اهواز، یازدهمین کنگره علوم خاک ایران، گرگان، دانشگاه گرگان، صارمی، م. و رادمهر، س.، ۱۳۸۱، تعیین آب مورد نیاز نیشکر رقم cp48-103 در منطقه هفت تپه، نشریه 81/217 کشت و صنعت هفت تپه
- محبوبی، آرش، هوشمند، عبدالرحیم، ناصری، عبدعلی، و جعفری، سیروس (۲۰۱۴). اثر زهکشی کنترل شده بر روی کاهش ضریب زهکشی و حجم زهاب خروجی در مزارع نیشکر کشت و صنعت امام خمینی. آب و خاک، ۲۷(3)، 1133-1144. doi:10.22067/jsw.v0i0.33145
- محمدی، ساناز، میرلطیفی، سید مجید، اکبری، مهدی. (۱۳۹۴). برنامه ریزی آبیاری نیشکر با استفاده از تلفیق داده های سنجنش از دور و مدل SWAP در کشت و صنعت نیشکر میرزا کوچک خان خوزستان. پژوهش آب در کشاورزی 2015.101063. doi: 10.22092/jwra.2015.101063, 39-50, 28.1(1),
- مرکز تحقیقات سنجنش از دور دانشگاه صنعتی شریف. (۱۳۹۴). برآورد تبخیر و تعرق، مصارف و میزان آب قابل صرفه جویی محدوده های کشاورزی حوضه آبریز دریاچه ارومیه در سال ۲۰۱۰ میلادی
- موسوی حسب، راحله و عبدعلی ناصری، ۱۳۸۷، اندازه گیری نیاز آبی واقعی نیشکر و مقایسه آن با نرم افزار REF ET -در جنوب اهواز جهت تعیین فرمول مناسب برای برنامه ریزی آبیاری، دومین همایش ملی مدیریت شبکه های آبیاری و زهکشی، اهواز، دانشگاه چمران،

Adrien, N. G. (2003). Computational hydraulics and hydrology: an illustrated dictionary. CRC Press.

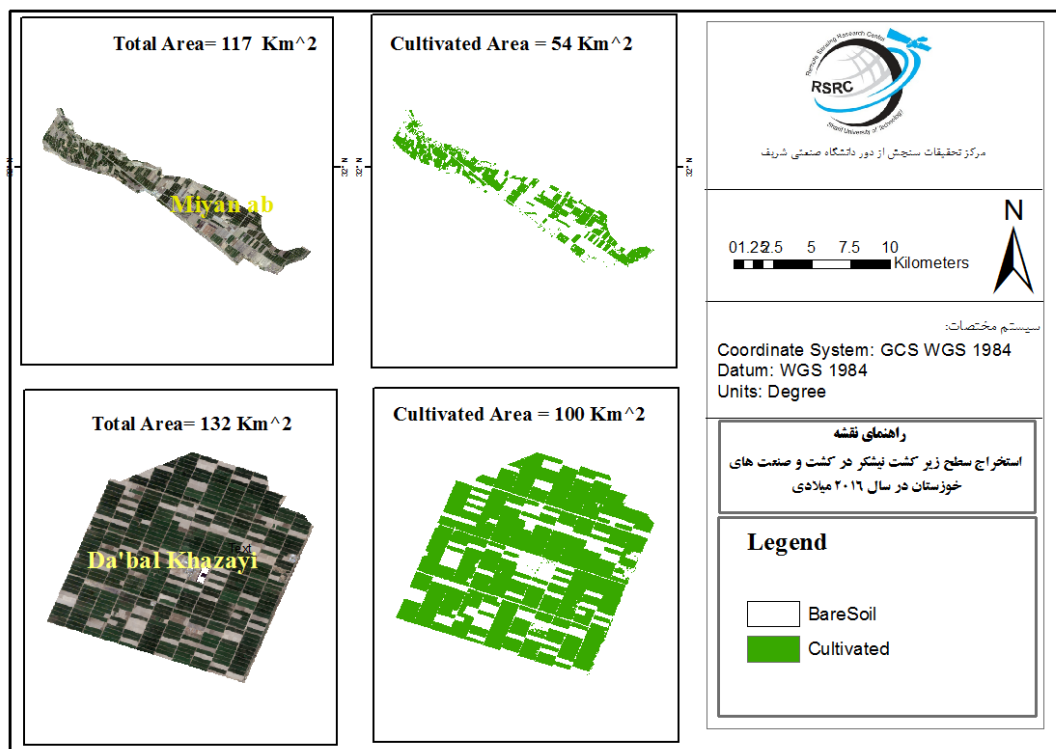
- Allen, R., Tasumi, M., Trezza, R., Waters, R., & Bastiaanssen, W. (2002). Surface Energy Balance Algorithm for Land (METRIC)—Advanced training and Users Manual. Kimberly: Idaho Implementation
- Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., & Smith, M. (1998). Crop evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements-FAO Irrigation and drainage paper 56. FAO, Rome, 300, D05109
- Allen, R.G., Tasumi, M., & Trezza, R. (2007). Satellite-based energy balance for mapping evapotranspiration with internalized calibration (METRIC)—Model. Journal of irrigation and drainage engineering, 133, 380-394
- ASCE-EWRI (2005). The ASCE standardized reference evapotranspiration equation: ASCE-EWRI Standardization of Reference Evapotranspiration Task Committee Report. In: ASCE Reston
- Bastiaanssen, W. (2000). SEBAL-based sensible and latent heat fluxes in the irrigated Gediz Basin, Turkey. Journal of hydrology, 229, 87-100
- Bastiaanssen, W., Chemin, Y., Ahmad, M.-u.-D., & Asif, S. (1999). Patterns of crop evaporation in the Indus Basin, recognized from the NOAA-AVHRR Satellite
- Bastiaanssen, W., Pelgrum, H., Wang, J., Ma, Y., Moreno, J., Roerink, G., & Van der Wal, T. (1998). A remote sensing surface energy balance algorithm for land (SEBAL): Part 2: Validation. Journal of hydrology, 212, 213-229
- Bastiaanssen, W.G.M. (1995). Regionalization of surface flux densities and moisture indicators in composite terrain: A remote sensing approach under clear skies in Mediterranean climates. Landbouwniversiteit te Wageningen
- Batra, N., Islam, S., Venturini, V., Bisht, G., & Jiang, L. (2006). Estimation and comparison of evapotranspiration from MODIS and AVHRR sensors for clear sky days over the Southern Great Plains. Remote Sensing of Environment, 103, 1-15
- Cooper, P. (1969). The absorption of radiation in solar stills. Solar energy, 12, 333-346
- Courault, D., Seguin, B., & Olioso, A. (2005). Review on estimation of evapotranspiration from remote sensing data: From empirical to numerical modeling approaches. Irrigation and Drainage systems, 19(3-4), 223-249.
- Du, J., Song, K., Wang, Z., Zhang, B., & Liu, D. (2013). Evapotranspiration estimation based on MODIS products and surface energy balance algorithms for land (SEBAL) model in Sanjiang Plain, Northeast China. Chinese geographical science, 23, 73-91
- Duffle, J., & Beckman, W. (1980). Solar engineering of thermal processes Wiley and Sons. New York
- Granger, R. (1997). Comparison of surface and satellite-derived estimates of evapotranspiration using a feedback algorithm. In, Proceedings of 3rd International Workshop on Application of Remote Sensing in Hydrology (pp. 71-81)
- Hafeez, M.M. (2003). Water accounting and productivity at different spatial scales in a rice irrigation system: a remote sensing approach. Cuvillier
- Hemakumara, H., Chandrapala, L., & Moene, A.F. (2003). Evapotranspiration fluxes over mixed vegetation areas measured from large aperture scintillometer. Agricultural water management, 58, 109-122
- Hong, S.-h., Hendrickx, J.M., & Borchers, B. (2009). Up-scaling of SEBAL derived evapotranspiration maps from Landsat (30m) to MODIS (250m) scale. Journal of hydrology, 370, 122-138
- <http://karuncane.com/45-2/>
- <http://www.irimo.ir>
- <http://www.mehrnews.com/news/3740841>

- Huntingford, C., Verhoef, A., & Stewart, J. (2000). Dual versus single source models for estimating surface temperature of African savannah. *Hydrology and Earth System Sciences Discussions*, 4, 185-191
- Kjaersgaard, J. H., Allen, R. G., Garcia, M., Kramber, W., & Trezza, R. (2009). Automated selection of anchor pixels for landsat based evapotranspiration estimation. In Nishida, K., Nemani, R.R., Running, S.W., & Glassy, J.M. (2003). An operational remote sensing algorithm of land surface evaporation. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 108
- Norman, J.M., Kustas, W.P., & Humes, K.S. (1995). Source approach for estimating soil and vegetation energy fluxes in observations of directional radiometric surface temperature. *Agricultural and Forest Meteorology*, 77, 263-293
- Rahman, M. R., Islam, A. H. M. H., & Rahman, M. A. (2004). NDVI derived sugarcane area identification and crop condition assessment. *Plan Plus*, 1(2), 1-12.
- Ritzema, H. P., Kselik, R. A. L., & Chanduvi, F. (1996). Drainage of irrigated lands: a manual (No. 9). Food & Agriculture Org.
- Sánchez, J., Kustas, W., Caselles, V., & Anderson, M. (2008). Modelling surface energy fluxes over maize using a two-source patch model and radiometric soil and canopy temperature observations. *Remote Sensing of Environment*, 112, 1130-1143
- Schneider, U., Fuchs, T., Meyer-Christoffer, A., & Rudolf, B. (2008). Global precipitation analysis products of the GPCC. *Global Precipitation Climatology Centre (GPCC), DWD, Internet Publikation*, 112
- Starks, P.J., Norman, J.M., Blad, B.L., Walter-Shea, E.A., & Walthall, C.L. (1991). Estimation of shortwave hemispherical reflectance (albedo) from bidirectionally reflected radiance data. *Remote Sensing of Environment*, 38, 123-134
- Su, Z. (2002). The Surface Energy Balance System (SEBS) for estimation of turbulent heat fluxes. *Hydrology and Earth System Sciences Discussions*, 6, 85-100
- Victoria, D. D. C., Paz, A. R. D., Coutinho, A. C., Kastens, J., & Brown, J. C. (2012). Cropland area estimates using Modis NDVI time series in the state of Mato Grosso, Brazil. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 47(9), 1270-1278.
- Vidal, A., & Perrier, A. (1989). Technical note Analysis of a simplified relation for estimating daily evapotranspiration from satellite thermal IR data. *International Journal of Remote Sensing*, 10, 1327-1337
- Webb, R., Eckert, E., & Goldstein, R. (1971). Heat transfer and friction in tubes with repeated-rib roughness. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 14, 601-617
- World Environmental and Water Resources Congress 2009: Great Rivers (pp. 1-11).
- Zhang, K., Kimball, J. S. and Running, S. W. (2016), A review of remote sensing based actual evapotranspiration estimation. *WIREs Water*, 3: 834–853.
- Zwart, S.J., & Bastiaanssen, W.G. (2007). SEBAL for detecting spatial variation of water productivity and scope for improvement in eight irrigated wheat systems. *Agricultural water management*, 89, 287-296

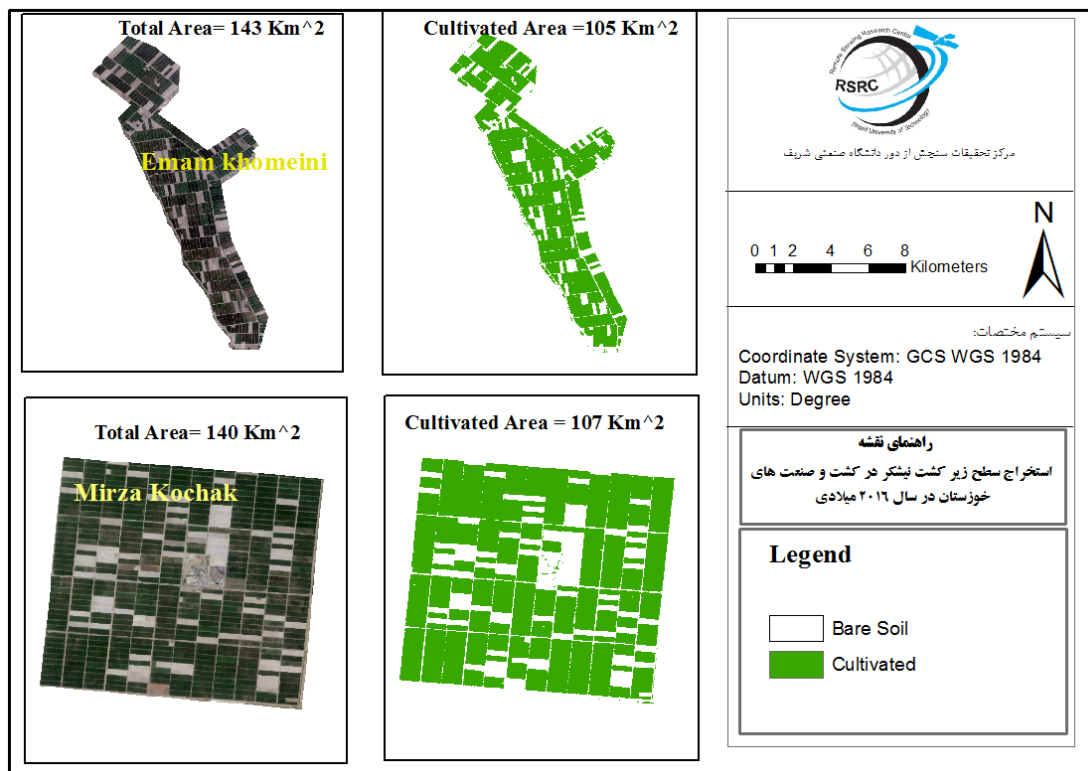
پیوست:



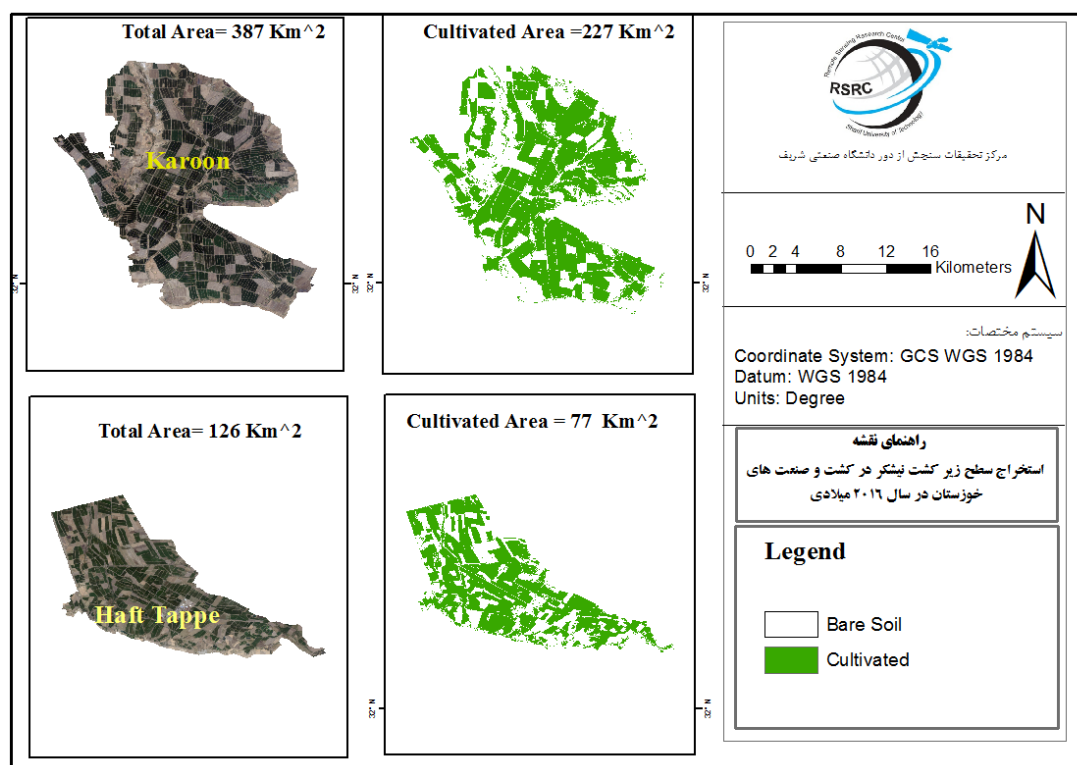
شکل پ ۱- استخراج سطح زیر کشت در کشت و صنعت های سلمان فارسی و امیر کبیر با استفاده از شاخص NDVI



شکل پ ۲- استخراج سطح زیر کشت در کشت و صنعت های میان آب و دعبل خزایی با استفاده از شاخص NDVI



شکل پ ۳- استخراج سطح زیر کشت در کشت و صنعت های امام خمینی و میرزا کوچک خان با استفاده از شاخص NDVI



شکل پ ۴- استخراج سطح زیر کشت در کشت و صنعت های کارون و هفت تپه با استفاده از شاخص NDVI



Sharif University of Technology
Remote Sensing Research Center

Estimation of Evapotranspiration, Water Saving and Agricultural Water Consumption at Khuzestan Povince Croplands, In Year 2016

Technical Manager

Mostafa Javadian

Author

Mohammad Abdoli
Mostafa Javadian

Document ID

RN-96-17

June 2018