بسم الله الرحمن الرحيم

کلیه حقوق مادی مترتب بر نتایج مطالعات، ابتکارات و
نوآوری های ناشی از تحقیق موضوع این پایان نامه
متعلق به دانشگاه رازی است.

پردیس کشاورزی و منابع طبیعی

دانشکده علوم و مهندسی کشاورزی

گروه مهندسی آب

پایان نامه جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد رشته ی کشاورزی

گرایش آبیاری و زهکشی

عنوان پایان نامه

ریزمقیاس سازی نتایج مدل سبال در برآورد تبخیر و تعرق با استفاده از تصاویر MODIS و Landsat

استاد راهنما:

دکتر بهمن فرهادی بانسوله

نگارش:

نسیم کمالی

بهمن ماه ۱۳۹۳

تقدیم به

پدر و مادر عزیزم

خدای را بسی شاکرم که از روی کرم پدر و مادری فداکار نصیبم ساخته تا در سایه

درخت پربار وجودشان بیاسایم و از ریشه آنها شاخ و برگ گیرم و از سایه وجودشان

در راه کسب علم و دانش تلاش نمایم.

و تقدیم به

خواهر عزیز و برادر مهربانم

و تقدیم به

استاد راهنمای گرانقدرم جناب آقای دکتر بهمن فرهادی

که با کرامتی چون خورشید، سرزمین دل را روشنی بخشیدند و گلشن سرای علم و

دانش را با راهنمایی های کارساز و سازنده بارور ساختند

سپاسگزاری

سپاس خدای را که سخنوران، در ستودن او بمانند و شمارندگان، شمردن نعمت های او ندانند و کوشندگان، حق او را گزاردن نتوانند.

با سپاس فراوان از ستارگان روشنی بخش آسمان دانش اندوزی، اینان که یار یکرم بودند و راهنمای راهم تا اینکه با دستانی لبریز از آموختنی ها در پیشگاه خالق علم و عالم باشم. تحقیق پیش رو حاصل بذل و عنایت استاد بزرگوار و ارجمندی چون دکتر بهمن فرهادی که بار، همنودهای بی شائبه در انتخاب موضوع و جمع آوری مطالب این حقیر را یاری نمودند می باشد.

جا دارد از این عالی مقام و سایر عزیزانی و سایر دوستانی که به اقتضای قلم امکان درج نام آن ها وجود ندارد و هریک به نوعی مرا در گرد آوری و تهیه و تنظیم این تحقیق یار و یاور بودند کمال تشکر و سپاس را به جای آورم.

در پایان از کمک های بی دریغ پدر، مادر، برادر و خواهر عزیزم که همواره در تمامی لحظات زندگی یار و یاورم بودند سپاسگزاری نموده و از صمیم قلب آرزوی بهترین ها را در تمامی لحظات زندگیشان از خداوند منان دارم.

چکیده

تبخیروتعرق گیاهان زراعی یکی از مهمترین پارامترها برای برنامه ریزی منابع آب در بخش کشاورزی می باشد که دارای تغییرات زمانی و مکانی می باشد. با توجه به اینکه اندازه گیری این پارامتر در سطح یک منطقه هزینه بر و زمان بر می باشد روشهای متعددی برای برآورد این پارامتر ارایه شده است. الگوریتم‌های برآورد تبخیر و تعرق مبتنی بر سنجش از دور یکی از روشهای جدیدی است که در مطالعات تحقیقاتی متعددی استفاده شده است. هدف از مطالعه کنونی بررسی استفاده از ترکیب تصاویر ماهواره ای لندست ۸ و مودیس به منظور برآورد تبخیر و تعرق روزانه در سطح یکی از دشتهای استان کرمانشاه می باشد. برای این منظور تبخیر و تعرق واقعی در سطح منطقه مورد مطالعه در طول تابستان ۱۳۹۲ با استفاده از الگوریتم سبال و بر اساس ۶ تصویر ماهواره‌ای لندست ۸ و مودیس برآورد گردید. نتایج نهایی (تبخیر و تعرق) و میانی (شاخص گیاهی NDVI، دمای سطحی و ضریب آلبیدو) تصاویر مودیس با دو روش ریز مقیاس سازی (روش نسبت و روش تفریق) به مقیاس تصاویر لندست ۸ تبدیل گردید. نتایج تصاویر ریز مقیاس شده با نتایج مربوط به تصاویر لندست به صورت گرافیکی و آماری مورد مقایسه قرار گرفت. با توجه به اینکه در منطقه مورد مطالعه کاربری‌های متعدد با سطح کوچک و به صورت مختلط وجود دارد نتایج به دست آمده با روشهای ریز مقیاس سازی از دقت قابل قبولی برخوردار نبودند. اگرچه هر دو روش ریز مقیاس سازی نتایج قابل قبولی نشان ندادند ولی دقت روش تفاضل بهتر از روش نسبت بود. به طور کلی توصیه براین است که ریز مقیاس سازی تصاویر مودیس در مناطق با کاربری‌های مختلف و مخلوط با احتیاط صورت گیرد.

کلمات کلیدی: تبخیر و تعرق، ریز مقیاس سازی، سبال، لندست ۸، مودیس، ماهیدشت

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول: مقدمه

۱-۱- مقدمه ۲

۱-۲- اهداف پژوهش ۴

۱-۲-۱- اهداف کلی ۴

۱-۲-۲- اهداف جزئی ۵

فصل دوم: پیشینه موضوع

پیشینه موضوع ۷

فصل سوم: مواد و روشها

۳-۱- روش کلی تحقیق ۱۸

۳-۲- منطقه مورد مطالعه ۱۸

۳-۴- معرفی الگوریتم بالانس انرژی سطح SEBAL ۱۹

۳-۵- پارامترهای الگوریتم سبال برای محاسبه تبخیر و تعرق در تصاویر لندست۸ ..... ۲۰

۳-۵-۱-تابش طیفی برای هر باند (L_λ) ۲۱

۳-۵-۲- بازتاب طیفی برای هر باند (ρ_λ) ۲۲

۳-۵-۳- دمای روشنایی (T_s) ۲۳

۳-۵-۴- آلبیدو سطح (α) ۲۳

۳-۵-۵-تفاضل شاخص گیاهی نرمال شده (NDVI) ۲۴

۳-۵-۶- شاخص گیاهی تعدیل کننده اثرات خاک (SAVI) ۲۵

۳-۵-۷- شاخص سطح برگ (LAI) ۲۵

۳-۵-۸- قابلیت انتشار سطوح (ε) ۲۶

۳-۵-۹- تصحیح دمای سطحی با توجه به نقشه DEM ۲۶

۳-۵-۱۰- تشعشع خالص (R_n) ۲۷

۳-۵-۱۱- شار گرمای خاک (G_0) ۲۸

۳-۵-۱۲- زبری سطح برای انتقال اندازه حرکت (Z_{om}) ۲۹

۳-۵-۱۳- شار گرمای محسوس (H) ۳۰

۳-۵-۱۴- جزء تبخیری (Λ) ۳۳

۳-۵-۱۵- تبخیر-تعرق واقعی ۲۴ ساعته (ET_{24}) ۳۴

۳-۶- پارامترهای الگوریتم سبال برای محاسبه تبخیر و تعرق در تصاویر مودیس ۳۴

۳-۶-۱-بازتاب طیفی (L) برای باندهای ۱و۲ ..... ۳۵

۳-۶-۲- تابش طیفی باند حرارتی(dn^{**}) ۳۶

۳-۶-۳- دمای روشنایی سطحی(T_S) ۳۷

۳-۶-۴- تصحیح دمای سطحی با توجه به نقشه DEM ۳۸

۳-۶-۵- آلبیدو سطح (α) ۳۸
۳-۶-۶- قابلیت انتشار سطوح (ε) ۳۹
۳-۶-۷- تشعشع خالص (R_n) ۳۹
۳-۶-۸- شار گرمای خاک (G_0) ۳۹
۳-۶-۹- زبری سطح برای انتقال اندازه حرکت (Z_{om}) ۴۰
۳-۶-۱۰- شار گرمای محسوس (H) ۴۰
۳-۶-۱۱- جزء تبخیری (Λ) ۴۰
۳-۶-۱۲- تبخیر-تعرق واقعی ۲۴ ساعته (ET_{24}) ۴۰
۳-۷- ریزمقیاس سازی ۴۰
۳-۷-۱- روش نسبت ۴۰
۳-۷-۲- به دست آوردن تبخیر و تعرق مجازی به روش نسبت جهت اعتبار سنجی ۴۱
۳-۷-۳- روش تفاضل ۴۲
۳-۷-۴- به دست آوردن تبخیر و تعرق مجازی به روش تفاضل جهت اعتبار سنجی ۴۲

فصل چهارم: نتایج و بحث

۴-۱- نتایج میانی وتبخیر-تعرق در الگوریتم سبال مربوط به تصاویر لندست۸ ۴۵
۴-۱-۱- نتایج NDVI ۴۵
۴-۱-۲- نتایج دمای سطحی ۴۸
۴-۱-۳- نتایج آلبیدو ۵۰
۴-۱-۴- نتایج تبخیر تعرق روزانه ۵۲
۴-۲- نتایج تبخیر-تعرق مربوط به تصاویر مودیس ۵۴
۴-۲-۱- نتایج NDVI ۵۴
۴-۲-۲- نتایج دمای سطحی ۵۶
۴-۲-۳- نتایج آلبیدو ۵۸
۴-۲-۴- نتایج تبخیر تعرق روزانه ۶۰
۴-۳- نتایج ریزمقیاس سازی ۶۲
۴-۳-۱- اعتبار سنجی روش نسبت ۶۳
۴-۳-۲- نتایج تبخیر و تعرق حاصل از روش نسبت ۶۵
۴-۳-۳- اعتبار سنجی به روش تفاضل ۶۷
۴-۳-۴- روش تفاضل ۶۹

فصل پنجم: نتیجه گیری و پیشنهادات

۵-۱- نتیجه گیری ۷۲
۵-۲- منابع خطا ۷۲
۵-۳- پیشنهادات ۷۴

منابع ۷۶

فهرست اشکال

عنوان **صفحه**

شکل ۳-۱- موقعیت محدوده مورد مطالعه در کشور و استان ۱۹
شکل ۳-۲- اجزای تشکیل دهنده معادله بیلان انرژی ۲۰
شکل ۳-۳- نمونه فایل حاوی اطلاعات تصاویر لندست۸ ۲۲
شکل ۳-۴- اجزای تشکیل دهنده بیلان انرژی سطح (باستینسن، ۱۹۹۸a) ۲۷
شکل ۳-۵- شار گرمای خاک ۲۹
شکل ۳-۶- بازدید از ماهیدشت ۳۰
شکل ۳-۷- فرآیند محاسبه شار گرمای خاک(واترز و همکاران ،۲۰۰۲) ۳۱
شکل ۳-۸- نحوه محاسبه ضرایب a و b ۳۲
شکل ۳-۹- رابطه بین مقدار بازتاب طیفی و مقدار SI ۳۵
شکل ۳-۱۰- نمایی از نرم افزارHDF Explorer ۳۶
شکل ۳-۱۱- رابطه بین مقدار بازتاب طیفی و مقدار SI ۳۷
شکل ۳-۱۲- نحوه به دست آوردن تبخیر و تعرق ریزمقیاس سازی شده در زمان t به روش نسبت ۴۱
شکل(۳-۱۳- الگوریتم اعتبار سنجی به روش نسبت ۴۲
شکل ۳-۱۴- نحوه به دست آوردن تبخیر و تعرق تصاویر لندست با استفاده از تصاویر مودیس، روش تفاضل ۴۳
شکل ۴-۱- شاخص NDVI برآورد شده براساس تصاویر لندست۸ در الف) ۱۳۹۳/۲/۱۳ ب) ۱۳۹۳/۳/۳۰ ت) ۱۳۹۳/۴/۳۱ ث) ۱۳۹۳/۵/۱۶ ج) ۱۳۹۳/۶/۱ چ) ۱۳۹۳/۶/۱۷ ۴۵
شکل ۴-۲- شاخص دمای سطحی برآورد شده بر اساس تصاویر لندست۸ در الف) ۱۳۹۳/۲/۱۳ ب) ۱۳۹۳/۳/۳۰ ت) ۱۳۹۳/۴/۳۱ ث) ۱۳۹۳/۵/۱۶ ج) ۱۳۹۳/۶/۱ چ) ۱۳۹۳/۶/۱۷ ۴۹
شکل ۴-۳- شاخص آلبیدو برآورد شده بر اساس تصاویر لندست۸ در الف) ۱۳۹۳/۲/۱۳ ب) ۱۳۹۳/۳/۳۰ ت) ۱۳۹۳/۴/۳۱ ث) ۱۳۹۳/۵/۱۶ ج) ۱۳۹۳/۶/۱ چ) ۱۳۹۳/۶/۱۷ ۵۱
شکل ۴-۴- نتایج تبخیر و تعرق روزانه بر اساس تصاویر لندست۸ در الف) ۱۳۹۳/۲/۱۳ ب)۱۳۹۳/۳/۳۰ ت) ۱۳۹۳/۴/۳۱ ث) ۱۳۹۳/۵/۱۶ ج) ۱۳۹۳/۶/۱ چ) ۱۳۹۳/۶/۱۷ ۵۳
شکل ۴-۵- نتایج شاخص NDVI برآوردشده بر اساس تصاویر مودیس در الف) ۱۳۹۳/۲/۱۳ ب)۱۳۹۳/۳/۳۰ ت) ۱۳۹۳/۴/۳۱ ث) ۱۳۹۳/۵/۱۶ ج) ۱۳۹۳/۶/۱ چ) ۱۳۹۳/۶/۱۷ ۵۵
شکل ۴-۶- نتایج شاخص دمای سطحی برآورد شده بر اساس تصاویر مودیس در الف) ۱۳۹۳/۲/۱۳ ب)۱۳۹۳/۳/۳۰ ت) ۱۳۹۳/۴/۳۱ ث) ۱۳۹۳/۵/۱۶ ج) ۱۳۹۳/۶/۱ چ) ۱۳۹۳/۶/۱۷ ۵۷
شکل ۴-۷- نتایج شاخص آلبیدو برآورد شده بر اساس تصاویر مودیس در الف)۱۳۹۳/۲/۱۳ ب)۱۳۹۳/۳/۳۰ ت)۱۳۹۳/۴/۳۱ ث)۱۳۹۳/۵/۱۶ ج)۱۳۹۳/۶/۱ چ) ۱۳۹۳/۶/۱۷ ۵۹
شکل ۴-۸- نتایج تبخیر و تعرق روزانه برآورد شده بر اساس تصاویر مودیس در الف)۱۳۹۳/۲/۱۳ ب)۱۳۹۳/۳/۳۰ پ)۱۳۹۳/۴/۳۱ ت)۱۳۹۳/۵/۱۶ ث)۱۳۹۳/۶/۱ ج)۱۳۹۳/۶/۱۷ ۶۱
شکل ۴-۹- تصاویر برآور شده از اعتبار سنجی مدل ریزمقیاس سازی نسبت در الف) ۱۳۹۳/۴/۳۱ ب) ۱۳۹۳/۵/۱۶ ت) ۱۳۹۳/۶/۱۷ (سمت راست تصاویر ریزمقیاس سازی و سمت چپ تصاویر لندست۸) ۶۴

شکل ۴-۱۰- تصاویر برآورد شده از ریزمقیاس سازی به روش نسبت در الف)۱۳۹۳/۲/۲۱ ب)۱۳۹۳/۳/۶ پ)۴/۱۰/ ۱۳۹۳ ت)۱۳۹۳/۵/۸ ث)۱۳۹۳/۵/۲۴ ج)۱۳۹۳/۶/۲۵ ..... ۶۶
شکل ۴-۱۱- تصاویر اعتبار سنجی برآورد شده بر اساس مدل ریزمقیاس سازی تفاضل در الف)۴/۳۱/ ۱۳۹۳ ب)۱۳۹۳/۵/۱۶ ت)۱۳۹۳/۶/۱۷ (سمت راست تصاویر ریزمقیاس سازی و سمت چپ تصاویر لندست۸) ۶۸
شکل ۴-۱۲) تصاویر برآورد شده بر اساس مدل ریزمقیاس سازی تفاضل در الف)۱۳۹۳/۲/۲۱ ب)۱۳۹۳/۳/۶ ت)۴/۱۰/ ۱۳۹۳ ث) ۱۳۹۳/۵/۸ ج) ۱۳۹۳/۵/۲۴ چ)۱۳۹۳/۶/۲۵ ..... ۷۰

فهرست جداول

عنوان **صفحه**

جدول ۳-۱- باندهای متناظر در تصاویر لندست ۷ و۸..... ۲۱
جدول ۳-۲- مقادیر ضرایب $\rho_{a,b}$ و C_1 تا C_5 برای باندهای مختلف تصاویر لندست۵ (آلن و همکاران، ۲۰۰۵).... ۲۳
جدول ۳-۳- ضرایب وزنی Wb برای باندهای مختلف تصاویر لندست۵..... ۲۴
جدول ۳-۴- خصوصیات تصاویر مورد استفاده در این پژوهش..... ۳۴
جدول ۳-۵- مقادیر Reflectance Scale وReflectance Offset مربوط به باند ۱ و ۲ طیفی تصاویر MOD09GQ
..... ۳۶
جدول ۴-۱- خصوصیات آماری مربوط NDVI حاصل از تصاویر لندست۸..... ۴۷
جدول ۴-۲- مقادیر NDVI برای سطو ح مختلف(هلبن، ۱۹۸۶)..... ۴۷
جدول ۴-۳- خصوصیات آماری مربوط دمای سطحی حاصل از تصاویر لندست۸(درجه کلوین)..... ۵۰
جدول ۴-۴- خصوصیات آماری مربوط آلبیدوی سطحی حاصل از تصاویر لندست۸..... ۵۲
جدول ۴-۵- محدوده آلبیدو سطحی برای سطوح مختلف..... ۵۲
جدول ۴-۶- خصوصیات آماری مربوط تبخیر و تعرق حاصل از تصاویر لندست۸..... ۵۴
جدول ۴-۷- خصوصیات آماری مربوط NDVI اصل از تصاویر مودیس..... ۵۶
جدول ۴-۸- خصوصیات آماری مربوط به دمای سطحی حاصل از تصاویر مودیس (درجه کلوین)..... ۵۸
جدول ۴-۹- خصوصیات آماری مربوط به آلبیدوی سطحی حاصل از تصاویر مودیس..... ۶۰
جدول ۴-۱۰- خصوصیات آماری مربوط تبخیر و تعرق حاصل از تصاویر مودیس..... ۶۲

فصل اول

مقدمه

۱-۱- مقدمه

آب یکی از مهمترین منابع مورد نیاز جامعه بشری است. موضوع چگونگی حفظ این منبع حیاتی و بهره برداری از آن، یکی از مهمترین چالش های قرن حاضر است. در این راستا، محدودیت منابع آب و خاک به دلیل موقعیت جغرافیایی و اقلیمی کشور از یک سو و ضرورت تحقق پذیری آرمان خود کفایی در امور زیر بنایی از سوی دیگر، موجبات بهره برداری بهینه از منابع آب و خاک موجود در سطح کشور را امری اجتناب ناپذیر می سازد (میرئی و فرشی، ۱۳۸۲). افزایش روز افزون جمعیت و خشکسالی‌های اخیر باعث شده است که مدیران و سیاست گذاران بخش کشاورزی به فکر استفاده بهینه از مقدار آب تخصیص یافته به این بخش و تولید بیشتر مواد غذایی باشند. آبیاری از عوامل توسعه کشاورزی است که رشد روش‌های آبیاری از سی سال پیش تا کنون سبب افزایش ۵۰ درصدی در تولید مواد غذایی در جهان شده است (لطفی، ۱۳۸۱). ایران از نظر عرض جغرافیایی در کمربند پرفشار واقع شده است که اغلب مناطق خشک و نیمه خشک جهان در آن قرار دارند. (علیزاده، ۱۳۸۷). از مجموع ۱۶۵ میلیون هکتار اراضی کشور، حدود۳۷ میلیون هکتار آن جهت عملیات کشت و زرع مناسب است، لیکن به خاطر محدودیت منابع آب حدود ۸/۱ میلیون هکتار از این اراضی به صورت فاریاب و ۶/۲ میلیون هکتار به صورت دیم زیر کشت محصولات زراعی قرار گرفته است. بنابراین به نظر می‌رسد که محدودیت منابع آب و استفاده نامطلوب و غیر اقتصادی ار آن عامل اصلی محدود کننده، توسعه کشاورزی و افزایش تولیدات غذایی در ایران است. لذا بهبود مدیریت آبیاری در سطوح مختلف (حوضه، شبکه‌های آبیاری و مزرعه) و افزایش کارایی و سودمندی اقتصادی آب اصلی ترین راه استفاده مطلوب و بهینه از منابع آب است (اکبری و حیدری ۱۳۸۵). در حال حاضر حدود ۹۴ درصد آب استحصالی از منابع آب کشور در بخش کشاورزی مصرف می‌شود و این درحالی است که سهم بخش آب شرب و صنعت به ترتیب ۵ و ۱ درصد می‌باشد. عدم استفاده مطلوب از آب آبیاری، محدودیت آب و نیاز فزآینده بشر به غذای بیشتر، ایجاب می‌نماید تا با اعمال شیوه‌های مدیریتی نوین به صرفه جویی در مصرف آب و افزایش بازده آبیاری اقدام شود (فرشی و همکاران، ۱۳۸۲). بر اساس برنامه پنجم توسعه با نرخ رشد ۷ درصد مقرر شد کل تولیدات کشاورزی از ۱۰۲ میلیون تن در سال۱۳۸۶ به ۱۴۳ میلیون تن در سال۱۳۹۳ افزایش یابد (افراخته و همکاران، ۱۳۹۲). در بخش کشاورزی در افق ۲۰۲۰ جمعیت کشور از مرز ۱۰۰ میلیون نفر گذشته و نیاز آن دو برابر نیاز فعلی خواهد بود. به عبارت دیگر نیاز آبی کشور در سال مذکور بالغ بر ۱۵۰ میلیارد متر مکعب خواهد شد که ۱۵ درصد بیشتر از ظرفیت کل کشور است.

با توجه به اینکه بهره‌برداری از منابع آب کشور تقریباً به سقف اقتصادی و فنی خود نزدیک شده، بهره-برداری‌های آتی از آن به سهولت گذشته نخواهد بود. لذا هر گونه تلاش برای بهینه سازی مدیریت منابع آب بدون توجه به مدیریت آبیاری در بخش کشاورزی، موفقیت آمیز نخواهد بود (کشاورز و صادق‌زاده ۱۳۷۹). یکی از راه‌های مهم سازگاری با خشکی در ایران، خصوصاً در بخش کشاورزی استفاده بهینه و پایدار از منابع آب است. باید سعی کرد تا حد امکان از ریزش‌های جوی، جریان آب سطحی و منابع زیرزمینی به نحو مطلوب استفاده شود. این کار بدون شناخت دقیق نیازهای آبی در بخش کشاورزی عملی نخواهد بود (میرزایی و همکاران، ۱۳۸۷). یکی از روش‌هایی که باعث بهبود مدیریت بهره برداری آب و در نهایت افزایش راندمان مصرفی می‌شود، برآورد دقیق تبخیر و تعرق یا تخمین میزان آب مصرفی گیاهان می‌باشد. تبخیر و تعرق یکی از مولفه‌های اصلی بیلان آبی هر منطقه و همچنین یکی از عوامل کلیدی برای برنامه‌ریزی درست و مناسب آبیاری برای بهبود راندمان آب مصرفی در اراضی فاریاب می‌باشد (لی و همکاران ۲۰۰۳).

در زنجیره آب- خاک- گیاه- اتمسفر آب مستقیماً از سطح خاک و یا توسط گیاه به داخل اتمسفر وارد می شود. انتقال آب از سطح خاک به هوا را تبخیر[1] و خارج شدن آن از گیاه را تعرق[2] گویند. این دو پدیده هر دو ماهیت تبخیری داشته و چون تفکیک آنها از یکدیگر امکان پذیر نمی باشد مجموعاً به نام تبخیر- تعرق در نظر گرفته می‌شوند(علیزاده، ۱۳۸۵). تبخیر- تعرق پدیده‌ی هیدرولوژیکی چند بعدی است که تحت تأثیر چندین متغیر عمل می‌کند. به طور کلی، متغیرهایی که در فرآیند تبخیر- تعرق اثرگذار هستند دما، بارندگی، سرعت باد، تابش خورشیدی، فشار سطحی، رطوبت، ساعات آفتابی، ابرناکی، همرفت[3] (انتقال افقی گرمای محسوس و رطوبت)، پوشش زمین، خصوصیات خاک و گیاه و مقدار آب می‌باشد (سیفی و همکاران، ۱۳۸۹). بنابراین میزان تبخیر- تعرق و نیاز آبی در مناطق مختلف با توجه به شرایط اقلیمی متفاوت می‌باشد.

روش‌های اندازه‌گیری تبخیر-تعرق را میتوان به گروه‌های مهم زیر طبقه بندی کرد:

- روش‌های بیلان آب
- روش‌های میکرو-هواشناسی
- تکنیک‌های ببیلان انرژی (سنجش از دور)

روش‌های معمول اندازه‌گیری تبخیر-تعرق محدودیت دارند و برای کاربرد پیوسته در فاصله های مناسب در منطقه بسیار پر خرج و وقت گیر است، لذا استفاده از تصاویر ماهواره‌ای جهت برآورد تبخیر-تعرق یکی از راه‌های غلبه به برخی از آن محدودیت‌هاست. پیشرفت روزافزون تکنولوژی سنجش از دور، امکان برآورد تبخیر-تعرق واقعی و مقدار پتانسیل آن در سطح وسیعی فراهم نموده است. در تحقیقات زیادی محققین برای

[1] Evaporation
[2] Transpiration
[3] Advection

تخمین تبخیر-تعرق واقعی و توزیع زمانی و مکانی از داده‌های ماهواره‌ای استفاده نموده‌اند (باستیانسن و همکاران ۲۰۰۰). در ایران مطالعات محدودی در زمینه برآورد تبخیر و تعرق با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای از جمله تصاویر لندست و مودیس انجام گرفته است ولی به ترکیب آن‌ها پرداخته نشده است. مطالعه حاضر به این منظور طراحی و اجرا شده است.

روش های مختلفی برای اندازه گیری تبخیر-تعرق از سطح زمین ارائه شده است، که روش‌های مبتنی بر بیلان انرژی از جمله آن‌ها می‌باشند. امروزه روش‌های سنجش از دور[۴] کاربردهای مختلفی در کشاورزی دارند؛ یکی از روش های جدید برای تخمین تبخیر-تعرق خصوصاً در مناطق بزرگ، استفاده از تکنولوژی سنجش از دور می باشد. تصاویر ماهواره‌ای دارای قدرت تفکیک زمانی و مکانی متفاوتی می‌باشند، آنهایی که رزولوشن زمانی بالایی دارند دارای رزولوشن مکانی پایین هستند(مانند تصاویر مودیس). از جمله مزایای این تصاویر دسترسی روزانه به آن‌هاست ولی با توجه به قدرت تفکیک مکانی پایین دقت زیادی ندارند و ممکن است در هر پیکسل از این تصاویر پدیده‌های مختلفی موجود باشد. تصاویری که تفکیک مکانی بالایی دارند دارای تفکیک زمانی پایین می‌باشند (مانند تصاویر لندست۸). یکی از مزایای این تصاویر بالا بودن دقت در برداشت اطلاعات از سطح زمین می‌باشد که به علت بالا بودن قدرت تفکیک مکانی بالای این تصاویر می-باشد(۳۰ متر) ولی این تصاویر دارای قدرت تفکیک زمانی پایین(۱۶ روز) می‌باشند که استفاده از این تصاویر را با محدودیت مواجه می‌کند. لذا یکی از راه حل‌های حل این مشکل ترکیب کردن این تصاویر می‌باشد، که از جمله این روش‌ها می‌توان به روش‌های ادغام[۵] و ریزمقیاس‌سازی[۶] اشاره کرد.

با در دست داشتن تصاویر ماهواره ای ونوشتن الگوریتم سبال میتوان تبخیر تعرق را برآورد نمود. در استان کرمانشاه در این زمینه کارهای زیادی صورت نگرفته است. با ترکیب نتایج تبخیر-تعرق حاصل از این دو تصویر می‌توان در بازه‌های زمانی کوتاه تبخیر-تعرق را با دقت نسبتاً بالایی در دست داشت.

۱-۲- اهداف پژوهش

۱-۲-۱- اهداف کلی

هدف کلی از این مطالعه برآورد تبخیر-تعرق در منطقه با استفاده از سنجش از دور و تصاویر ماهواره‌ای لندست و مودیس می‌باشد.

[4] Remote sensing)
[5] fusion
[6] Downscaling

۱-۲-۲- اهداف جزئی

۱. برآورد تبخیر-تعرق با استفاده از مدل سبال و تصاویر لندست۸
۲. برآورد تبخیر-تعرق با استفاده از مدل سبال و تصاویر مودیس
۳. ریزمقیاس سازی تبخیر و تعرق برآوردی بر اساس تصاویر مودیس به مقیاس تصاویر لندست.

فصل دوم

پیشینه موضوع

برای تعیین تبخیر-تعرق با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و الگوریتم سبال تحقیقات زیادی انجام شده است. در این بخش سعی شده است که مروری بر این تحقیقات انجام یافته و نتایج آنها ارائه گردد.

ابراهیمی و یزدانی(۱۳۹۲) به محاسبه تبخیر-تعرق فضای سبز به روش سبال با استفاده از تصاویر مودیس پرداختند. در این پژوهش از الگوریتم توازن انرژی برای زمین با استفاده از تصاویر مودیس با فاصله زمانی ۱۰ روزه و قدرت تفکیک مکان ۲۵۰ متر، مقدار تبخیر-تعرق فضای سبز پارک ملت مشهد برآورد گردید. تبخیر-تعرق برآوردی پارک ملت مشهد(به ازای هر متر مربع) در طول فصل رشد به میزان ۱۲۱۰/۶ میلیمتر می‌رسد. ارتباط بین تبخیر-تعرق گیاه مرجع محاسبه شده توسط روش پنمن فائو مانتیث۵۶ با روش سبال معنی‌دار بوده و دارای ضریب همبستگی ۰/۷۶۳۷ می‌باشد.

سیمایی و همکاران (۱۳۹۲) به ارزیابی مدل سبال برای برآورد تبخیر و تعرق با استفاده از اطلاعات سنجنده-های TM و مودیس پرداختند. این پژوهش در بخشی از حوزه آبخیز زنجان‌رود واقع در استان زنجان که کشت غالب آن گندم آبی و دیم است انجام شد. در این مطالعه امکان استفاده از الگوریتم سبال برای تصاویر لندست۵ و مودیس طی ماه‌های خرداد تا مرداد ۱۳۸۷ بررسی شد، سپس تبخیر-تعرق روزانه برآورد شده توسط مدل سبال برای اراضی آبی و دیم زیر کشت گندم با استفاده از ارقام دو تشتک تبخیر مقایسه شد. نتایج آماره‌های ارزیابی نشان داد، مدل سبال از کارایی مناسبی برای تخمین تبخیر و تعرق واقعی اراضی زیر کشت گندم آبی و دیم برخوردار است.

بابازاده و همکاران(۱۳۹۱) با استفاده از تصاویر سنجنده مودیس رطوبت لایه سطحی خاک اراضی مرتع مناطق خشک و نیمه خشک دارای پوشش گیاهی افمرال[1]، را براساس شاخص دما و پوشش گیاهی(TVX[2]) برآورد کردند. برای تخمین رطوبت لایه سطحی خاک در این تحقیق از داده‌های میدانی رطوبت خاک و داده‌های هواشناسی سه ایستگاه مشهد، نیشابور و گلمکان در استان خراسان در سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۳ استفاده شد. نتایج حاصل از این تحقیق، همبستگی خوبی بین شیب رابطه TVX(NDVI[3] و LST[4]) و مقادیر رطوبت لایه سطحی خاک نشان داد.

[1] Ephemeral
[2] Temperature Vegetation Index
[3] Normalized Difference Vegetation Index
[4] Land Surface Temperature

خیرخواه‌زرکش و همکاران(۱۳۹۱) به مقایسه‌ی برآورد آلبیدوی سطحی با استفاده از تصاویر لندست و مودیس پرداختند. در این پژوهش آلبیدو بر اساس الگوریتم سبال برآورد گردید و مقادیر برآوردی توسط دو سنجنده در کاربری‌های مختلف اراضی مقایسه شد. نتایج این تحقیق نشان داد که مقدار میانگین آلبیدو در کاربری زراعت فعال، در تصاویر لندست و مودیس به ترتیب ۰/۱۸۶ و ۰/۳۴۴ نشان می‌داد، که کمترین مقدار را بین انواع کاربری‌ها دارا بوده و در کاربری مسیل، مقدار ۰/۲۴۲ را نشان داد که در بین کاربری‌های ذکر شده بیشترین مقدار می‌باشد.

رضائی‌بنفشه و همکاران(۱۳۹۱) در مطالعه‌ای به برآورد تبخیر-تعرق واقعی در حوضه سفیدرود با استفاده از پردازش تصاویر ماهواره‌ای پرداختند. در این پژوهش با استفاده از تصاویر ماهواره مودیس در فاصله زمانی ۱۳۸۱ الی ۱۳۸۷ در حوضه سفیدرود، مقادیر تبخیر-تعرق واقعی از طریق الگوریتم سبال تنظیم شده برای مناطق کوهستانی برآورد گردیده و تأثیر افزایش دمای سطح زمین به عنوان یکی از عوامل مؤثر در کاهش مقدار تبخیر-تعرق واقعی در اثر خشکی سطح زمین و کاهش پوشش گیاهی مورد مطالعه قرار گرفته است. نتایج نشان داد که دمای سطح زمین به طور متوسط در حال افزایش و مقدار تبخیر-تعرق واقعی در حال کاهش است. عامل اصلی افزایش دمای سطح نیز، کاهش ۷۸٪ در بارندگی منطقه در سال ۸۷ می‌باشد.

حسن‌پور و همکاران(۱۳۹۱) به مقایسه الگوریتم‌های سبال و S-SEBI در برآورد تبخیر و تعرق در منطقه کرج با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای مودیس پرداختند. در این مطالعه شارهای گرمایی سطح زمین را توسط بیلان انرژی و نسبت بوون در ۶ روز اندازه‌گیری کردند. نتایج نشان داد که ریشه میانگین مربعات خطا در برآورد شار گرمای خاک توسط الگوریتم سبال به ترتیب ۴۶و۴۳ (w/m^2) بوده است. و این مقدار برای الگوریتم S-SEBI به ترتیب ۱۱۱و ۷۴ (w/m^2) هستند.

کریمی و همکاران(۱۳۹۱) تبخیر و تعرق واقعی در مقیاس منطقه‌ای را با استفاده از الگوریتم سبال و تصاویر لندست۵ محاسبه و با مقادیر لایسیمتری مقایسه کردند. این تحقیق در دشت ماهیدشت در استان کرمانشاه، با استفاده از ۴ تصویر ماهواره لندست۵ در سال ۱۳۸۹ انجام گرفت. حداکثر درصد خطا بین تبخیر و تعرق محاسبه شده برای محصول ذرت با الگوریتم سبال و مقادیر اندازه‌گیری شده در لایسیمتر کمتر از ۱۰ درصد تعیین گردید.

ثنایی‌نژاد و همکاران(۱۳۹۰) تبخیر و تعرق واقعی را با استفاده از تصاویر ماهواره مودیس و الگوریتم سبال به دست آوردند. نتایج در این پژوهش نشان داد، تصاویر سنجنده مودیس و الگوریتم سبال قادر هستند مقدار تبخیر و تعرق را در مقیاس روزانه در زیر حوضه آبریز مشهد به خوبی برآورد نمایند. بر اساس نتایج به دست آمده، نواحی باپوشش گیاهی متراکم و دمای پایین دارای مقادیر بالای تبخیر و تعرق بوده و مناطق دارای دمای بالا و پوشش گیاهی پراکنده و کم از مقدار تبخیر و تعرق کمی برخوردارند

غلامی سفیدکوهی و همکاران(۱۳۸۹) در پژوهشی به بررسی برآورد ضریب گیاهی و تبخیر-تعرق واقعی گندم با استفاده از سنجش‌دور در حوضه گرگانرود پرداختند. هدف از این تحقیق بررسی کاربرد سری زمانی ۱۶ روزه شاخص گیاهی NDVI از تصاویر سنجنده مودیس جهت محاسبه مقادیر تبخیر-تعرق واقعی گندم در طول دوره رشد در حوضه گرگانرود با استفاده ترکیبی از اطلاعات ماهواره‌ای و زمینی بود. نتایج آماری حاصل از روش به کار رفته در این تحقیق نسبت به مدل پنمن-مانتیث فائونشان می‌دهد که استفاده از این روش دارای ریشه میانگین مربعات خطا ۱۸ میلی‌متر میانگین خطای مطلق ۱۶ میلی‌متر می‌باشد.

قمرنیا و همکاران (۱۳۸۹) در تحقیقی با استفاده از الگوریتم سبال و تصاویر سنجنده مودیس مقادیر متوسط تبخیر-تعرق واقعی و کل تبخیر و تعرق روزانه از سطح، در دشت میان دربند را در ۱۵ روز مختلف محاسبه نمودند. پس از برآورد پارامترهای دمای سطح زمین، آلبیدو و شاخص‌های پوشش گیاهی، مقادیر شاخص سطح برگ، گسیلندگی سطح و تابش خالص محاسبه شدند و نقشه توزیع مکانی تبخیر-تعرق واقعی روزانه در سطح منطقه به دست آمد. نتایج نشان می‌داد که استفاده از الگوریتم سبال و تصاویر سنجنده مودیس، جهت برآورد تبخیر-تعرق واقعی در سطح منطقه مناسب می‌باشند.

عبدلی و همکاران(۱۳۸۹) با استفاده از تصاویر ماهواره لندست و مودیس تبخیر و تعرق را از طریق سنجش از دور و الگوریتم سبال به منظور مدیریت آبیاری برآورد کردند و نتایج حاصل را با هم مقایسه کردند، همچنین مقادیر برآورد شده را با فرمول پنممن مانتیث مقایسه کردند.در این مطالعه میانگین تبخیر - تعرق واقعی برای مزارع برنج در منطقه لنجانات با استفاده از تصاویر لندست ۷ در زمان تصویر ۶/۴۸۸ میلی متر درروز به دست آمد درحالیکه در همان زمان تبخیر -تعرق واقعی با استفاده از فرمول پنمن مانتیث و در نظر گرفتن ضریب گیاهی ، ۶/۲۷۶میلی متر درروز برآورد شد.

یعقوبی فشکی و همکاران(۱۳۸۸) با استفاده از مدل سبال و تصاویر ماهواره مودیس تبخیر و تعرق را محاسبه کردند. این پژوهش برای دشت چمچمال واقع در استان کرمانشاه انجام شد، و با تبخیر تعرق به دست آمده از فرمول‌های بلانی کریدل، جنسن‌هیز، پنمن‌مانتیث و تشتک تبخیر مقایسه شد، که نتایج نشان داد، اولاً تاثیر شرایط اتمسفری بر تبخیر و تعرق عملی بسیار چشمگیر است دوماً با مقایسه تبخیر و تعرق عملی در دو زمان دریافتند که تراکم بالای گیاهی باعث شده که اختلاف بین شرایط اتمسفری در این دو زمان تا حد زیادی خنثی شود.

علی‌اصغر زاده و ثنایی (۱۳۸۵) در مطالعه ای تبخیر و تعرق را با استفاده از تصاویر ماهواره لندست، نقشه توپوگرافی، پوشش گیاهی و داده های هواشناسی برآورد کردند. در ابتدا مقادیر تبخیر- تعرق واقعی و گیاه مرجع به ترتیب توسط معادل های توازن انرژی و هارگریوز در سرتاسر حوضه محاسبه شدند. سپس برای هر پیکسل از هر پوشش گیاهی، مقدار ضریب گیاهی از تقسیم دو مقدار تبخیر- تعرق فوق محاسبه کردند. نتایج