دانشکده کشاورزی

گروه مهندسی آب

پایان نامه کارشناسی ارشد

برآورد تبخیر-تعرق مرجع در شرایط کمبود داده (مطالعه موردی : استان خراسان شمالی)

احسان توکلی

شهریور ۱۳۹۰

دانشکده کشاورزی

پایان نامه کارشناسی ارشد

برآورد تبخیر-تعرق مرجع در شرایط کمبود داده (مطالعه موردی : استان خراسان شمالی)

احسان توکلی

استاد راهنما

دکتر بیژن قهرمان

استادان مشاور

دکتر کامران داوری

دکتر حسین انصاری

شهریور ۱۳۹۰

دانشکده کشاورزی

تصویب نامه

این پایان نامه با عنوان

برآورد تبخیر-تعرق مرجع در شرایط کمبود داده (مطالعه موردی: استان خراسان شمالی) توسط احسان توکلی در تاریخ با نمره و درجه ارزشیابی در حضور هیات داوران با موفقیت دفاع شد.

هیات داوران:

ردیف	نام و نام خانوادگی	مرتبه علمی	سمت در هیات	امضاء
۱	آقای دکتر بیژن قهرمان	استاد	استاد راهنما	
۲	آقای دکتر کامران داوری	دانشیار	استاد مشاور	
۳	آقای دکتر حسین انصاری	استادیار	استاد مشاور	
۴	آقای دکتر سید محمد موسوی بایگی	دانشیار	استاد مدعو	
۵	آقای دکتر ابوالفضل مساعدی	دانشیار	استاد مدعو	
۶	آقای دکتر علی نقی ضیائی	استادیار	نماینده تحصیلات تکمیلی	

تعهد نامه

عنوان پایان نامه: برآورد تبخیر-تعرق مرجع در شرایط کمبود داده (مطالعه موردی: استان خراسان شمالی)

اینجانب احسان توکلی، دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته آبیاری و زهکشی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد تحت راهنمایی دکتر بیژن قهرمان متعهد می شوم:

- نتایج ارائه شده در این پایان نامه حاصل مطالعات علمی و عملی اینجانب بوده، مسئولیت صحت و اصالت مطالب مندرج را به طور کامل بر عهده می گیرم.
- در خصوص استفاده از نتایج پژوهشهای محققان دیگر به مرجع مورد نظر استناد شده است.
- مطالب مندرج در این پایان نامه را اینجانب یا فرد یگری به منظور اخذ هیچ نوع مدرک یا امتیازی تاکنون به هیچ مرجعی تسلیم نکرده است.
- کلیه حقوق معنوی این اثر به دانشگاه فردوسی مشهد تعلق دارد. مقالات مستخرج از پایان نامه، ذیل نام دانشگاه فردوسی مشهد (Ferdowsi University of Mashhad) به چاپ خواهد رسید.
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تاثیر گذار بوده اند در مقالات مستخرج از رساله رعایت خواهد شد.
- در خصوص استفاده از موجودات زنده یا بافتهای آنها برای انجام پایان نامه، کلیه ضوابط و اصول اخلاقی مربوطه رعایت شده است.

تاریخ

نام و امضاء دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، برنامه های رایانه ای، نرم افزارها و تجهیزات ساخته شده) به دانشگاه فردوسی مشهد تعلق دارد و بدون اخذ اجازه کتبی از دانشگاه قابل واگذاری به شخص ثالث نیست.
- استفاده از اطلاعات و نتایج این پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نیست.

چکیده

یکی از متداول ترین روش‌های مورد استفاده در برنامه‌ریزی آبیاری، استفاده از نیاز آبی برآورد شده گیاه براساس محاسبه تبخیر-تعرق گیاه مرجع (ETo) است. ارزیابی کمی تبخیر-تعرق در سطح منطقه‌ای، به منظور مدیریت منابع آب، تولید محصول و ارزیابی‌های زیست محیطی در مناطق فاریاب، ضروری است.

در این مطالعه، برای تخمین ETo در استان خراسان شمالی، به دلیل کمبود تعداد و داده‌های ثبت شده ایستگاه‌های سینوپتیک هواشناسی، از ۷ ایستگاه در استان‌های مجاور استفاده شد. تبخیر-تعرق گیاه مرجع با استفاده از ۶ روش شامل تشت تبخیر کلاس A، هارگریوز-سامانی، پریستلی-تیلور، تورک، مکینک و روش پیشنهادی آلن و همکاران (۱۹۹۸) برای محاسبه تبخیر-تعرق در شرایط کمبود داده، به همراه روش استاندارد فائو-پنمن-مانتیث برای ارزیابی روش‌های بیان شده (به دلیل عدم وجود داده‌های لایسیمتری) محاسبه شد. به دلیل عدم توافق در مورد روش مناسب محاسبه ETo در ایستگاه‌های مورد بررسی، با استفاده از آزمون معنی داری خطوط رگرسیونی و در هر ماه از سال، یک معادله رگرسیونی خطی برای تبدیل بهترین روش محاسبه تبخیر-تعرق به روش استاندارد به دست آمد. ارزیابی این معادلات نشان دهنده دقت قابل قبول آن‌ها (مقادیر MAE بین ۰/۲۳ تا ۱/۲۳ میلیمتر در روز) به ویژه در ماه‌های سرد سال است. در پایان، مقادیر تبخیر-تعرق مرجع به دست آمده با روش وزن دهی معکوس فاصله (IDW) برای هر ماه از سال پهنه‌بندی شد.

کلمات کلیدی: اقلیم خشک و نیمه‌خشک، پهنه‌بندی، رگرسیون، فائو-پنمن-مانتیث، وزن‌دهی معکوس فاصله.

م ا ان و ن پاک و م

پاس وردگاریتارا نرا ت ن شا ی آ و ن داس ه ا تادان رگ دا ه را طا ود.

ا ون ودلازم ی دام با مام و ود از ا طاف و ما ی **خاوادە بام** مارە اه و یاورم ودر پاس اری مام. ن از ز مات ی غ ورا ماں ی راهشا، د ندا ود وزا ا تاد رم **ناب آ ی د مر ثن مان** ها پاس ارم. از ی ا تادان شاورم **ناب آ ی د مرکا ان داوری** و **ناب آ ی د مر ن ا صاری** ل رادارم. پایان از دو تان ا م **ناب آ ی ن مدآبادی** و **ناب آ ی ید مدی** و **وی بایی** مراجام ان پلان از ی ن و زارن در ما رردای ی مام.

ا سان وکلی

ورماه ۱۳۹۰

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول ۱

مقدمه ۱

۱-۱- اهمیت موضوع ۱

۱-۲- تبخیر-تعرق ۲

۱-۲-۱- تبخیر-تعرق واقعی ۳

۱-۲-۲- تبخیر-تعرق پتانسیل ۳

۱-۲-۳- تبخیر-تعرق گیاه مرجع ۴

۱-۳- فرضیات ۴

۱-۴- اهداف ۵

فصل دوم ۷

بررسی منابع ۷

۲-۱- مطالعات انجام شده در زمینه تخمین تبخیر-تعرق مرجع ۷

۲-۱-۱- مطالعاتی که دقت روش‌های تخمین تبخیر-تعرق را نسبت به لایسیمتر سنجیده‌اند ۷

۲-۱-۱-۱- مطالعات انجام شده در بازه‌های ساعتی تا ۱۰روزه ۷

۲-۱-۱-۲- مطالعات انجام شده در بازه‌های ماهانه ۱۰

۲-۱-۱-۳- مطالعات انجام شده در بازه‌های فصلی و سالانه ۱۱

۲-۱-۲- مطالعاتی که دقت روش‌های تخمین تبخیر-تعرق را نسبت به روش استاندارد ۱۲

۲-۱-۲-۱- مطالعات انجام شده در بازه‌های روزانه تا ۱۰روزه ۱۴

۲-۱-۲-۲- مطالعات انجام شده در بازه‌های ماهانه ۱۸

۲-۱-۲-۳- مطالعات انجام شده در بازه‌های فصلی و سالانه ۲۱

۲-۲- روش‌های درونیابی و تخمین داده ۲۲

۲-۱-۲- مطالعات انجام شده در زمینه روش‌های درونیابی و تخمین داده ۲۳

فصل سوم ۲۹

مواد و روش‌ها ۲۹

۳-۱- منطقه مورد مطالعه ۲۹

۳-۲- صحت سنجی داده‌ها ۳۲

۳-۳- معادلات مورد استفاده برای برآورد تبخیر-تعرق مرجع ۳۶

۳-۳-۱- روش فائو-پنمن-مانتیث (PM) ۳۶

۳-۳-۲- روش تشت تبخیر کلاس A (Pan) ۳۷

۳-۳-۳- روش مکینک (Mk) ۳۹

۳-۳-۴- روش تورک (Turc) ۳۹

۳-۳-۵- روش پریستلی-تیلور (PT) ۴۰

۳-۳-۶- روش پیشنهادی آلن و همکاران (۱۹۹۸) برای محاسبه تبخیر-تعرق مرجع... ..... ۴۰

۳-۳-۷- روش هارگریوز-سامانی (HG) ۴۱

۳-۴- پارامترهای ارزیابی ۴۲

۳-۵- چگونگی انتخاب معادله پایانی برآورد تبخیر-تعرق مرجع براساس روش فائو-پنمن-مانتیث و سایر روش‌ها ۴۴

۳-۶- پهنه‌بندی تبخیر-تعرق با استفاده از روش‌های درونیابی ۵۰

۳-۶-۱- روش IDW ۵۱

فصل چهارم ۵۳

نتایج و بحث ۵۳

۴-۱- تحلیل داده‌های هواشناسی ۵۳

۴-۱-۱-بررسی داده‌های دمای حداقل و حداکثر ۵۳

۴-۱-۲-بررسی داده‌های رطوبت نسبی حداقل و حداکثر ۵۳

۴-۱-۳-بررسی داده‌های سرعت باد ۵۴

۴-۱-۴-بررسی داده‌های تبخیر از تشت ۵۴

۴-۱-۵-بررسی داده‌های ساعت آفتابی ۵۴

۴-۲- اقلیم ایستگاه‌های سینوپتیک مورد استفاده ۵۷

۴-۳- مقادیر محاسبه شده تبخیر-تعرق مرجع به روش فائو-پنمن-مانتیث ۵۷
۴-۴- مقادیر محاسبه شده تبخیر-تعرق مرجع با سایر روش‌ها ۶۱
۴-۵- معادلات پایانی منتخب در هر ماه ۷۵
۴-۶- ارزیابی معادلات پیشنهادی ۷۹
۴-۷- پهنه‌بندی تبخیر-تعرق مرجع ۸۴
۴-۷-۱-روش IDW ۸۴
فصل پنجم ۹۹
نتیجه‌گیری و پیشنهادها ۹۹
۵-۱- نتیجه‌گیری ۹۹
۵-۲- پیشنهادها ۱۰۰
منابع ۱۰۱
پیوست ۱۰۸

فهرست اشکال

عنوان **صفحه**

شکل ۳-۱. منطقه مورد مطالعه و پراکندگی ایستگاه‌های مورد استفاده در استان‌های خراسان رضوی و سمنان ۲۹

شکل ۳-۲. فلوچارت انتخاب معادله پایانی محاسبه ETo براساس آزمون معنی داری خطوط رگرسیونی ۴۹

شکل ۴-۱. مقایسه مقادیر تابش خورشیدی (Rs) در مقابل تابش طول موج کوتاه محاسبه شده مورد انتظار در آسمان صاف (Rso) (الف) در طول سال ۱۳۸۵ برای ایستگاه بجنورد و (ب) در طول سال ۱۳۸۶ برای ایستگاه اسفراین ۵۶

شکل ۴-۲. مقایسه مقادیر تابش خورشیدی (Rs) در مقابل تابش طول موج کوتاه محاسبه شده مورد انتظار در آسمان صاف (Rso) (الف) در طول سال ۱۳۸۷ برای ایستگاه جاجرم و (ب) در طول سال ۱۳۸۸ برای ایستگاه مهمانک ۵۶

شکل ۴-۳. همبستگی بین مقادیر محاسبه شده تبخیر-تعرق به روش (الف) هارگریوز-سامانی و (ب) پریستلی-تیلور در تیر ماه برای ایستگاه بجنورد، (پ) مکینک و (ت) EPM در فروردین ماه برای ایستگاه اسفراین و (ث) هارگریوز-سامانی و (ج) تورک در مرداد ماه برای ایستگاه جاجرم، نسبت به روش استاندارد در کنار خط ۱:۱..... ۶۲

شکل ۴-۴. همبستگی بین مقادیر محاسبه شده تبخیر-تعرق به روش (الف) پریستلی-تیلور و (ب) هارگریوز-سامانی در دی ماه برای ایستگاه مهمانک، (پ) هارگریوز-سامانی و (ت) مکینک در فروردین ماه برای ایستگاه نیشابور و (ث) تشت تبخیر و (ج) پریستلی-تیلور در اردیبهشت ماه برای ایستگاه سبزوار، نسبت به روش استاندارد در کنار خط ۱:۱..... ۶۳

شکل ۴-۵. همبستگی بین مقادیر محاسبه شده تبخیر-تعرق به روش (الف) تورک و (ب) EPM در اردیبهشت ماه برای ایستگاه قوچان، (پ) هارگریوز-سامانی و (ت) مکینک در مرداد ماه برای ایستگاه گلمکان و (ث) EPM و (ج) پریستلی-تیلور در دی ماه برای ایستگاه درگز، نسبت به روش استاندارد در کنار خط۱:۱..... ۶۴

شکل ۴-۶. همبستگی بین مقادیر محاسبه شده تبخیر-تعرق به روش (الف) مکینک و (ب) تورک در اسفند ماه برای ایستگاه شاهرود و (پ) هارگریوز-سامانی و (ت) مکینک در شهریور ماه برای ایستگاه بیارجمند، نسبت به روش استاندارد در کنار خط ۱:۱..... ۶۵

شکل ۴-۷. مقایسه مقادیر تبخیر-تعرق مرجع به دست آمده با استفاده از معادلات پیشنهادی (نمودار نقطه چین) و روش استاندارد فائو-پنمن-مانتیث (نمودار خط) در کل دوره آماری مورد استفاده برای ایستگاه بجنورد ۸۲

شکل ۴-۸. مقایسه مقادیر تبخیر-تعرق مرجع به دست آمده با استفاده از معادلات پیشنهادی (نمودار نقطه چین) و روش استاندارد فائو-پنمن-مانتیث (نمودار خط) در کل دوره آماری مورد استفاده برای ایستگاه اسفراین ۸۲

شکل ۴-۹. مقایسه مقادیر تبخیر-تعرق مرجع به دست آمده با استفاده از معادلات پیشنهادی (نمودار نقطه چین) و روش استاندارد فائو-پنمن-مانتیث (نمودار خط) در کل دوره آماری مورد استفاده برای ایستگاه جاجرم ۸۳

شکل ۴-۱۰. مقایسه مقادیر تبخیر-تعرق مرجع به دست آمده با استفاده از معادلات پیشنهادی (نمودار نقطه چین) و روش استاندارد فائو-پنمن-مانتیث (نمودار خط) در کل دوره آماری مورد استفاده برای ایستگاه مهمانک ۸۳

شکل ۴-۱۱. پهنه‌بندی تبخیر-تعرق مرجع استان خراسان شمالی برای ماه فروردین ۸۶

شکل ۴-۱۲. پهنه‌بندی تبخیر-تعرق مرجع استان خراسان شمالی برای ماه اردیبهشت ۸۷
شکل ۴-۱۳. پهنه‌بندی تبخیر-تعرق مرجع استان خراسان شمالی برای ماه خرداد ۸۸
شکل ۴-۱۴. پهنه‌بندی تبخیر-تعرق مرجع استان خراسان شمالی برای ماه تیر ۸۹
شکل ۴-۱۵. پهنه‌بندی تبخیر-تعرق مرجع استان خراسان شمالی برای ماه مرداد ۹۰
شکل ۴-۱۶. پهنه‌بندی تبخیر-تعرق مرجع استان خراسان شمالی برای ماه شهریور ۹۱
شکل ۴-۱۷. پهنه‌بندی تبخیر-تعرق مرجع استان خراسان شمالی برای ماه مهر ۹۲
شکل ۴-۱۸. پهنه‌بندی تبخیر-تعرق مرجع استان خراسان شمالی برای ماه آبان ۹۳
شکل ۴-۱۹. پهنه‌بندی تبخیر-تعرق مرجع استان خراسان شمالی برای ماه آذر ۹۴
شکل ۴-۲۰. پهنه‌بندی تبخیر-تعرق مرجع استان خراسان شمالی برای ماه دی ۹۵
شکل ۴-۲۱. پهنه‌بندی تبخیر-تعرق مرجع استان خراسان شمالی برای ماه بهمن ۹۶
شکل ۴-۲۲. پهنه‌بندی تبخیر-تعرق مرجع استان خراسان شمالی برای ماه اسفند ۹۷

فهرست جداول

عنوان **صفحه**

جدول ۳-۱. مشخصات و طول دوره آماری موجود در ایستگاه‌های سینوپتیک مورد استفاده ۳۱

جدول ۳-۲. مقادیر میانگین روزانه پارامترهای هواشناسی مورد استفاده در ایستگاه‌های مختلف ۳۲

جدول ۳-۳. داده‌های مورد نیاز روش‌های مورد استفاده برای محاسبه تبخیر-تعرق مرجع در مقیاس روزانه ۴۲

جدول ۳-۴. مشخصات ایستگاه‌های مجازی مورد استفاده برای پهنه‌بندی تبخیر-تعرق مرجع ۵۱

جدول ۴-۱. نوع اقلیم ایستگاه‌های سینوپتیک مورد استفاده به روش دومارتن و آمبرژه ۵۷

جدول ۴-۲. میانگین ماهانه و سالانه ETo به روش PM و CV (ضریب تغییرات) آن در دوره آماری مورد بررسی... ..... ۵۹

جدول ۴-۳. مقایسه R^2 (ضریب تعیین) روابط مختلف برآورد تبخیر- تعرق گیاه مرجع با روش PM در ایستگاه‌های استفاده شده در ماه فروردین و اردیبهشت ۶۷

جدول ۴-۴. مقایسه R^2 (ضریب تعیین) روابط مختلف برآورد تبخیر- تعرق گیاه مرجع با روش PM در ایستگاه‌های استفاده شده در ماه خرداد و تیر ۶۸

جدول ۴-۵. مقایسه R^2 (ضریب تعیین) روابط مختلف برآورد تبخیر- تعرق گیاه مرجع با روش PM در ایستگاه‌های استفاده شده در ماه مرداد و شهریور ۶۹

جدول ۴-۶. مقایسه R^2 (ضریب تعیین) روابط مختلف برآورد تبخیر- تعرق گیاه مرجع با روش PM در ایستگاه‌های استفاده شده در ماه مهر و آبان ۷۰

جدول ۴-۷. مقایسه R^2 (ضریب تعیین) روابط مختلف برآورد تبخیر- تعرق گیاه مرجع با روش PM در ایستگاه‌های استفاده شده در ماه آذر و دی ۷۱

جدول ۴-۸. مقایسه R^2 (ضریب تعیین) روابط مختلف برآورد تبخیر- تعرق گیاه مرجع با روش PM در ایستگاه‌های استفاده شده در ماه بهمن و اسفند ۷۲

جدول ۴-۹. روش مناسب محاسبه تبخیر-تعرق مرجع نسبت به روش استاندارد براساس شاخص آماری R^2 ..... ۷۳

جدول ۴-۱۰. معادلات پیشنهادی برای تعیین تبخیر-تعرق گیاه مرجع در هر ماه از سال ۷۷

جدول ۴-۱۱ خطای قدرمطلق میانگین معادلات پیشنهادی برای تعیین تبخیر-تعرق مرجع برای تمام ایستگاه‌های مورد بررسی (میلیمتر در روز) ۷۹

جدول ۴-۱۲ خطای قدرمطلق میانگین معادلات پیشنهادی برای تعیین تبخیر-تعرق مرجع.... ..... ۸۰

جدول ۴-۱۳ توان‌های مورد استفاده در روش IDW و میزان خطای قدرمطلق میانگین آنها ۸۴

جدول ۴-۱۴ مقادیر ماهانه به دست آمده تبخیر-تعرق مرجع در ایستگاه‌های مجازی مورد استفاده برای پهنه‌بندی ۸۵

فهرست علائم و اختصارات

علامت اختصاری	انگلیسی	فارسی
ANN	Artificial Neural Network	شبکه عصبی مصنوعی
ASCE	American Society of Civil Engineers	انجمن مهندسین عمران آمریکا
HG	Hargreaves-Samani	هارگریوز-سامانی
IDS	Inverse Distance Squared	مجذور معکوس فاصله
IDWA	Inverse Distance Weighted Averaging	میانگین وزنی معکوس فاصله
IDW	Inverse Distance Weighting	وزن دهی معکوس فاصله
MAE	Mean Absolute Error	میانگین قدرمطلق خطا
MBE	Mean Bias Error	خطای انحراف میانگین
Mk	Makkink	مکینک
ODA	Optimal inverse Distance Averaging	میانگین گیری بهینه معکوس فاصله
PM	Penman-Monteith	فائو-پنمن-مانتیث
PT	Priestly-Tailor	پریستلی-تیلور
RMSE	Root Mean Square Errors	ریشه میانگین مربعات خطا
SEE	Standard Error Estimated	خطای استاندارد تخمین
TSA	Trend surface analysis	تحلیل سطح روند

فصل اول

مقدمه

۱-۱-اهمیت موضوع

در مقیاس جهانی حدود ۵۷ درصد از آبی که روی خشکی‌ها به صورت نزولات جوی فرو می‌ریزد مستقیما تبخیر می‌شود. مقدار تبخیر از روی دریاها ۱۱۰ درصد مقدار نزولات جوی روی آنهاست؛ یعنی بیش از مقدار آبی که روی دریاها به صورت بارندگی ریزش می‌کند، از سطح آنها تبخیر صورت می‌گیرد. در آب و هوای خشک و نیمه خشک، قسمت اعظم بارندگی‌های سالانه بلافاصله پس از بارش توسط تبخیر یا تعرق مجددا وارد جو می‌گردد (علیزاده، ۱۳۸۹).

کشور ایران به لحاظ اقلیمی و شرایط آب و هوایی جزء کشورهای خشک و نیمه خشک جهان به حساب می‌آید. در پهنه ایران که مقدار بارندگی سالانه در مجموع حدود ۴۱۳ میلیارد متر مکعب برآورد شده است، ۲۹۶ میلیارد متر مکعب یا ۷۲ درصد آن بلافاصله توسط تبخیر-تعرق تلف شده و وارد جو می‌شود (علیزاده، ۱۳۸۹).

هم اکنون حدود ۹۱ درصد آب استحصالی از منابع آب کشور در بخش کشاورزی مصرف می‌شود و این در حالی است که سهم بخش آب شرب و صنعت به ترتیب حدود ۷ و ۲ درصد است (شبکه خبری کشاورزی ایران[1]). چنانچه ملاحظه می‌شود بخش کشاورزی مصرف کننده اصلی آب در کشور است؛ بنابراین، با توجه به میزان اندک نزولات جوی و محدودیت منابع آب در ایران، می‌توان با بهبود مدیریت

[1] -www.iana.ir

مصرف آب در این بخش و افزایش راندمان مصرف آن، به نحو قابل توجهی در مصرف آب صرفه‌جویی کرد.

یکی از مهمترین روش‌های بهبود مدیریت مصرف آب در مزرعه، برنامه‌ریزی آبیاری است. برنامه-ریزی آبیاری شامل فرآیندهای پیش‌بینی زمان و مقدار آبیاری است و نقش مهمی در برنامه‌ریزی های آینده در کشاورزی، به ویژه در کشور های در حال توسعه ایفا می کند؛ و می‌تواند به روش های مختلف انجام شود. یکی از متداول ترین روش ها، استفاده از نیاز آبی برآورد شده گیاه براساس محاسبه تبخیر-تعرق گیاه مرجع است. ارزیابی کمی تبخیر-تعرق در سطح منطقه ای، به منظور مدیریت منابع آب، تولید محصول و ارزیابی‌های زیست محیطی در مناطق فاریاب، ضروری است. افزایش رقابت بر سر استفاده از آب در میان مصرف کنندگان این ماده حیاتی، ضرورت تخمین دقیق‌تر نیاز آبی و تبخیر-تعرق را بیشتر نشان می‌دهد (نوشادی و سپاسخواه، ۲۰۰۵).

۱-۲- تبخیر-تعرق

فرآیند تبدیل آب به بخار را تبخیر گویند. تبخیر ممکن است از سطوح آزاد آب، از سطح مرطوب خاک و یا به صورت تعرق از گیاهان صورت گیرد. بین پدیده‌های مختلف چرخه هیدرولوژی، اندازه‌گیری تبخیر مشکل‌ترین آنهاست. به استثنای تبخیر از سطوح آزاد آب (مانند دریاچه‌ها، رودخانه‌ها و مخازن آب)، تبخیر در سطح زمین همواره با تعرق همراه بوده و مقدار تبخیر از سطوح مرطوب خاک و گیاه را نمی‌توان از یکدیگر تفکیک کرد. به همین دلیل به مجموع مقدار تبخیر از سطح خاک و مقدار آبی که از طریق ریشه های گیاه جذب و از سطوح شاخ و برگ آن تعرق می‌پذیرد، تبخیر-تعرق گفته می‌شود. در مهندسی هیدرولوژی، تبخیر از دو نظر دارای اهمیت است؛ اول از آنجایی که تبخیر از سطح رودخانه‌ها، دریاچه‌ها و مخازن سدها باعث تلفات آب می شود، لازم است مقدار آن محاسبه شود. دیگر آنکه تبخیر-تعرق از سطح خاک و پوشش گیاهی در داخل حوضه‌های آبریز یکی از عمده‌ترین اجزاء چرخه هیدرولوژی است که تخمین درست آن در طراحی و مدیریت سیستم‌های آبیاری، تاسیسات آبی، مطالعات زهکشی و هیدرولوژیکی و مطالعات منابع آب از اهمیت زیادی برخوردار است (علیزاده، ۱۳۸۹).

تخمین بیش از حد آب مورد نیاز گیاه ضمن هدردادن آب آبیاری باعث ماندابی شدن اراضی، شستشوی مواد غذائی خاک و آلوده نمودن منابع آب زیرزمینی می‌شود. ضمن آنکه تخمین کمتر نیز باعث اعمال تنش رطوبتی به گیاه شده و در نتیجه کاهش محصول را به همراه خواهد داشت.

آگاهی از میزان تبخیر-تعرق به منظور تعیین آب مصرفی کشاورزی در مناطق خشک و نیمه خشک که کشاورزی شغل اول محسوب می‌شود، اهمیتی در حد مدیریت منابع آبی دارد (احمدی و فولادمند، ۲۰۰۸).

منظور از تعیین تبخیر-تعرق برآورد مقدار آبی است که باید به یک پوشش زراعی داده شود تا در طول دوره رویش صرف تبخیر-تعرق نموده و بدون اینکه با تنش آبی مواجه شود رشد خود را تکمیل نموده و حداکثر مقدار محصول را تولید کند. عوامل بسیار زیادی در تعیین تبخیر-تعرق دخالت دارند که از آن جمله می‌توان به دمای هوا، سرعت باد، تشعشع خورشیدی، رطوبت نسبی و پوشش گیاهی که تعرق می‌نماید، اشاره کرد (علیزاده، ۱۳۸۳، بای بوردی، ۱۳۷۰؛ آلن و همکاران، ۱۹۹۸). اثر متقابل این عوامل اقلیمی به همراه نوع و مرحله رشد گیاه، و عوامل دیگر سبب شده است تا تبخیر-تعرق به صورت پدیده ای غیر خطی و پیچیده بیان شود (کوچک زاده و بهمنی، ۱۳۸۴).

۱-۲-۱- تبخیر-تعرق واقعی

تبخیر-تعرق واقعی به مجموع تبخیر از سطح خاک و تعرق توسط پوشش گیاهی در شرایط طبیعی اطلاق می‌شود. برآورد تبخیر-تعرق واقعی بسیار مشکل است و عملا غیر قابل اجراست. حتی در صورت انجام نیز نمی توان به نتایج حاصله اطمینان داشت. در ایستگاه های تحقیقاتی برای برآورد تبخیر-تعرق از دستگاه هایی به نام لایسیمتر استفاده می‌شود.

۱-۲-۲- تبخیر-تعرق پتانسیل

نظر به اینکه فرمول‌های تبخیر-تعرق واقعی معمولا به نتایج مطلوبی منتهی نمی‌شوند و استفاده از لایسیمتر نیز در تمام شرایط امکان پذیر نیست، در هیدرولوژی به جای تبخیر-تعرق واقعی توان تبخیر-تعرق منطقه را تخمین می زنند که آن را تبخیر-تعرق پتانسیل می‌گویند. تبخیر-تعرق پتانسیل یا

مطلق حداکثر مقدار تبخیر-تعرقی است که در یک وضعیت آب و هوایی مشخص و در صورتی که محدودیتی از نظر آب وجود نداشته باشد، از یک پوشش گیاهی کامل مثل چمن که در آن ارتفاع گیاهان یکسان بوده، رشد فعالی دارند و علاوه بر این، با سایه خود کاملاً سطح خاک را می‌پوشانند، صورت می‌گیرد (علیزاده، ۱۳۸۹). بسیاری از طبقه بندی های اقلیمی به جای استفاده از تبخیر-تعرق واقعی بر مبنای مقادیر تبخیر-تعرق پتانسیل می‌باشند.

۱-۲-۳- تبخیر-تعرق گیاه مرجع

براساس روش های استاندارد موجود برای محاسبه نیاز آبی در طرح های آب، به جای محاسبه تبخیر-تعرق پتانسیل مفهوم دیگری به نام تبخیر-تعرق گیاه مرجع به کار می‌رود. اصطلاح گیاه مرجع که ابتدا توسط پنمن و سپس توسط پروت و همکاران وی در هنگام تهیه دستورالعمل معروف به فائو ۲۴ برای تخمین نیاز آبی گیاهان به کار برده شده، به صورت زیر تعریف می‌شود: "تبخیر و تعرق از یک سطح فرضی پوشیده شده کامل از چمن کوتاه به ارتفاع ۸ تا ۱۰ سانتیمتر که وسعت آن بسیار زیاد باشد و بدون آنکه دارای آفات یا بیماری باشد در وضعیتی که در محدودیت آبی از نظر مصرف قرار نداشته باشد، فعالانه رشد کند." گرچه ابتدا فقط گیاه مرجع چمن تعریف شده بود اما سپس فرمول‌های دیگری با توجه به گیاه مرجع یونجه (روش پنمن-رایت) یا گیاه مرجع فرضی (روش فائو-پنمن-مانتیث) نیز برای محاسبه تبخیر-تعرق گیاه مرجع ارائه گردید (علیزاده، ۱۳۸۹). گیاه مرجع در روش فائو-پنمن-مانتیث به صورت زیر تعریف شده است: "گیاهی فرضی به صورت یک سطح کاملا پوشیده به ارتفاع ۱۲ سانتیمتر، مقاومت سطحی ثابت ۷۰ ثانیه بر متر و ضریب بازتابش ۰/۲۳ که بیانگر تبخیر-تعرق از یک سطح گسترده و یکنواخت چمن سبز، در شرایط رشد فعال و بدون محدودیت آب است" (آلن و همکاران، ۱۹۹۸).

۱-۳-فرضیات

۱- معادله فائو-پنمن-مانتیث به عنوان معادله استاندارد برای محاسبه تبخیر-تعرق گیاه مرجع در تمامی نقاط قابل استفاده است.

۲- معادله مناسب برای تخمین تبخیر-تعرق مرجع را می‌توان به اقلیم‌های مشابه تعمیم داد.

۱-۴-اهداف

۱- بررسی روش‌های مختلف محاسبه تبخیر–تعرق مرجع در استان خراسان شمالی.

۲-انتخاب بهترین روش برآورد تبخیر-تعرق مرجع که نیاز به داده‌های کمی داشته باشد و بهترین تطابق و کمترین انحراف را نیز نسبت به روش استاندارد فائو-پنمن-مانتیث نشان دهد.

۳- تخمین تبخیر-تعرق مرجع در استان خراسان شمالی به روش یا روش‌های منتخب.

فصل دوم

بررسی منابع

۲-۱- مطالعات انجام شده در زمینه تخمین تبخیر-تعرق مرجع

۲-۱-۱-مطالعاتی که دقت روش‌های تخمین تبخیر-تعرق را نسبت به لایسیمتر سنجیده اند

در پنج دهه اخیر، عمده مطالعات پژوهشگران بر روی توسعه روش‌های برآورد تبخیر-تعرق و بهبود بخشیدن به عملکرد روش‌های موجود متمرکز شده است. با این وجود، هنوز معتبرترین روش تعیین تبخیر-تعرق گیاه مرجع، استفاده از لایسیمتر است؛ به طوری که دقت سایر روش‌ها با آن سنجیده می‌شود. حاصل بررسی‌های محققان مختلف را می‌توان در سه بازه زمانی ساعتی تا ۱۰روزه، ماهانه، فصلی و سالانه طبقه بندی کرد. برخی از مطالعات انجام شده در این سه گروه در ادامه بررسی شده است.

۲-۱-۱-۱- مطالعات انجام شده در بازه‌های ساعتی تا ۱۰ روزه

رضائی و همکاران (۱۳۸۶) پس از مقایسه نتایج ۲۰ روش تئوری تخمین تبخیر-تعرق مرجع در کرمان با نتایج لایسیمتر دقیق الکترونی-وزنی در ۳ بازه زمانی ساعتی، روزانه و ماهانه به این نتیجه رسیدند که در مقیاس ساعتی معادله فائو-پنمن-مانتیث با $SEE = 0.38$ mm/day و $R^2 = 0.73$ بهترین روش است. برای مقیاس روزانه معادله پنمن-کیمبرلی با $SEE = 1.94$ و $R^2 = 0.82$ و در ماهانه نیز پنمن-کیمبرلی با $SEE = 0.59$ و $R^2=0.97$ بهترین روش می‌باشند.