دانشکده کشاورزی

پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد در رشته‌ی

آبیاری و زهکشی

ارزیابی تبخیر-تعرق بالقوه ذرت با استفاده از معادله پریستلی‌ـتیلور بر اساس روش بیلان آب خاک در منطقه باجگاه و مقایسه آن با روش مستقیم پنمن- مانتیث

به کوشش

وحیده سهله

استاد راهنما

دکتر شاهرخ زندپارسا

اردیبهشت ۱۳۹۳

بسم الله الرحمن الرحیم

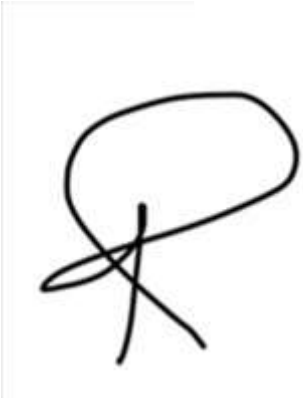
بـه نـام خـدا

اظـهـارنـامـه

اینجانب وحیده سهله (۹۰۰۱۲۱) دانشجوی رشته ی کشـاورزی گـرایش آبیاری زهکشی دانشگاه شیراز اظهار می‌کنم که این پایـان نامـه حاصـل پژوهش خودم بوده و در جاهایی که از منـابع دیگـران اسـتفاده کـرده ام نشانی دقیق و مشخصات کامل آن را نوشته‌ام. همچنین اظهار می‌کنم کـه تحقیق و موضوع پایان نامه‌ام تکراری نیست و تعهد می‌نمـایم کـه بـدون مجوز دانشگاه دستاوردهای آن را منتشر ننموده و یا در اختیار غیـر قـرار ندهم. کلیه حقوق این اثر مطابق با آیین نامـه مالکیـت فکـری و معنـوی متعلق به دانشگاه شیراز است.

نام ونام خانوادگی: وحیده سهله

تاریخ و امضاء: ۱۳۹۳/۲/۱۴



به نام خدا

ارزیابی تبخیر-تعرق بالقوه ذرت با استفاده از معادله پریستلی- تیلور بر اساس روش بیلان آب خاک در منطقه باجگاه و مقایسه آن با روش مستقیم پنمن- مانتیث

به کوشش

وحیده سهله

پایان نامه‌ی

ارائه شده به تحصیلات تکمیلی دانشگاه شیراز به عنوان بخشی از فعالیت‌های تحصیلی لازم برای اخذ درجه

کارشناسی ارشد

در رشته‌ی

آبیاری و زهکشی

دانشگاه شیراز

شیراز

جمهوری اسلامی ایران

ارزیابی کمیته پایان نامه، با درجه: عالی

دکتر شاهرخ زند پارسا، دانشیار بخش مهندسی آب (استاد راهنما) .....

دکتر علیرضا سپاسخواه، استاد بخش مهندسی آب (استاد مشاور) .....

دکتر فاطمه رزاقی، استادیار بخش مهندسی آب (استاد مشاور) .....

دکتر علی‌اکبر کامگار حقیقی، استاد بخش مهندسی آب (داور متخصص داخلی) .....

اردیبهشت ماه ۱۳۹۳

تقدیم به

گرانبهاترین موهبت‌های زندگی‌ام:

پدر بزرگوارم

که تمام صفحات حیاتم از برکت دستانش لبریز است.

مادر مهربانم

جلوه‌گر عشق و صفا و سرچشمه جوشان محبت

و

همسر عزیزم

به پاس قدردانی از قلبی آکنده از عشق و معرفت

سپاسگزاری

هر آنکه مرا علم آموخت به حقیقت مرا بنده خویش ساخته است. (حضرت علی علیه‌السلام)

این پایان نامه آماده نمیگردید مگر با لطف و رحمت پروردگار، تلاش و زحمات بی دریغ اساتید و صبوری و تشویق خانواده و همسر مهربانم. تقدیر ویژه من معطوف تمامی پرسنل دانشگاه شیراز و تمامی کسانی که به معنای واقعی به اینجانب الطاف لازم را مبذول داشتند. اجازه می خواهم بهترین قدردانی و سپاس خویش را از استاد راهنمای عزیز، دکتر شاهرخ زند پارسا داشته باشم که تلاش بی وقفه ای در راهنمایی و پشتیبانی اینجانب داشته‌اند و بهره گیری از دانش ایشان افتخاری ابدی در مسیر علمی اینجانب است.

همچنین از اساتید مشاور بزرگوارم جناب آقای دکتر علیرضا سپاسخواه و دکتر فاطمه رزاقی که در طول انجام این پژوهش همواره بنده را یاری نمودند، صمیمانه قدردانی می‌نمایم.

در انتها و در اصل ابتدا، تقدیر و تشکر قلبی خود را به خانواده و همسر مهربانم اعلام می‌دارم، که بدون حمایت های همه جانبه ایشان، این رساله را نه آغازی می‌بود و نه پایان

چکیده

ارزیابی تبخیر-تعرق بالقوه ذرت با استفاده از معادله پریستلی- تیلور بر اساس روش بیلان آب خاک در منطقه باجگاه و مقایسه آن با روش مستقیم پنمن- مانتیث

به وسیله‌ی
وحیده سهله

هدف از این پژوهش برآورد تبخیر- تعرق استاندارد ذرت با استفاده از روش پریستلی-تیلور و ضریب گیاهی دوگانه بود. جهت واسنجی و ارزیابی این مدل، از روش بیلان آب در خاک در شرایط مزرعه استفاده شد. نتایج تبخیر- تعرق برآورد شده از معادله پریستلی- تیلور با مدل MSM، روش پنمن- مانتیث بدون استفاده از ضریب گیاهی و با استفاده از ضریب گیاهی مقایسه شد. جهت اندازه‌گیری تبخیر-تعرق استاندارد ذرت به روش بیلان آب در خاک، از داده‌های اندازه‌گیری شده در شرایط کود و آبیاری کافی در سال‌های ۱۳۷۸، ۱۳۸۲ و ۱۳۸۳ در اراضی دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز، استفاده گردید. در روش بیلان آب در مزرعه، مقدار تجمعی تبخیر- تعرق استاندارد گیاه ذرت در فصل رشد برای سال‌های ۱۳۷۸، ۱۳۸۲ و ۱۳۸۳ به ترتیب برابر ۸۷۰، ۸۸۳ و ۸۴۱ میلی‌متر در شرایط آبیاری کامل اندازه گردید. به منظور برآورد ضریب معادله پریستلی-تیلور (α) مقدار آن به عنوان تابعی از کمبود فشار بخار، دمای حداکثر هوا و تابش خورشیدی رسیده به سطح زمین (R_s) بر اساس داده‌های سال‌های ۱۳۷۸ و ۱۳۸۲ واسنجی و با استفاده از داده های مستقل سال ۱۳۸۴ اعتبارسنجی گردید. نتایج حاصله نشان دادکه استفاده از مقدار R_s در واسنجی ضریب α و برآورد مقدار تبخیر-تعرق تجمعی استاندارد گیاه ذرت از دقت کافی برخوردار بود. در معادله پریستلی-تیلور با استفاده از ضریب گیاهی دوگانه در سال‌های ۱۳۷۸، ۱۳۸۲ و ۱۳۸۳ به ترتیب برابر ۸۵۹، ۸۷۸ و ۸۳۰ میلی‌متر برآورد شد. مقدار خطای فصلی برآورد شده در سال ۱۳۸۳ با استفاده از روش‌های پریستلی- تیلور، مدل MSM، روش پنمن- مانتیث بدون استفاده از ضریب گیاهی و با استفاده از ضریب گیاهی به ترتیب برابر ۱/۳، ۱/۱، ۴/۳- و ۱۶- درصد بود. نتایج نشان داد که در صورت اندازه گیری R_s، می‌توان با استفاده از معادله پریستلی ـ تیلور با اعمال ضریب گیاهی دوگانه مقدار تبخیر-تعرق تجمعی استاندارد گیاه ذرت را با دقت مناسبی برآورد کرد.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول: مقدمه ۱

۱-۱ مقدمه وکلیات ۱

۱-۲ تبخیر از خاک ۲

۱-۲-۱ تعرق گیاه ۳

۱-۲-۲ تبخیر- تعرق ۳

۱-۳ روش های تعیین تبخیر- تعرق ۴

۱-۳-۱ روش اندازه گیری ۴

۱-۳-۲ روش برآورد تبخیر - تعرق ۴

۱-۴ فرارفت ۴

۱-۵ اهداف پژوهش ۶

فصل دوم : مروری بر مطالعات انجام شده ۷

۲-۱ روش های اندازه گیری تبخیر- تعرق گیاه مرجع ۸

۲-۲ روش های برآورد تبخیر ـتعرق استاندارد ۹

۲-۳ معادله پریستلی- تیلور برای تعیین تبخیرـتعرق گیاه مرجع ۱۰

۲-۴ پژوهش های پیشین ۱۲

فصل سوم : مواد و روش ها ۱۷

۳-۱ مشخصات محل پژوهش ۱۷

۳-۲ روش تحقیق ۱۷

۳-۲-۱ شاخص سطح برگ (Leaf Area Index) ۱۹

۳-۲-۲ تعیین رطوبت خاک ۱۹

۳-۲-۳ تعیین ظرفیت زراعی خاک ۲۳

۳-۲-۴ آب آبیاری و نیتروژن مصرفی ۲۳

۳-۲-۵ آب آبیاری ۲۴

۳-۳ تعیین تبخیر-تعرق بالقوه گیاه ذرت به روش بیلان آب خاک ۲۵

۳-۴ روش برآورد ضریب پریستلی-تیلور ۲۷
۳-۵ واسنجی معادلات برآورد ضریب پریستلی-تیلور ۲۷
۳-۵-۱ واسنجی و اعتبار سنجی معادله پرستلی-تیلور ۲۸
۳-۶ محاسبه مستقیم تبخیر-تعرق گیاه ذرت به روش پنمن-مانتیث ۲۸
۳-۸ معادله پنمن-مانتیث ۲۹
۳-۸-۱ مقاومت آئرودینامیکی هوا (Aerodynamic Resistance) ۲۹
۳-۸-۲ مقاومت سطحی پوشش گیاهی (Bulk Surface Resistance) ۳۰
۳-۹ معادله پنمن-مانتیث فائو ۳۰
۳-۱۰ضریب گیاهی ۳۳
۳-۱۰-۱ ضریب گیاهی دو جزئی (Dual Crop Coefficient) ۳۴
۳-۱۰-۲ ضریب تبخیر (K_e) از سطح خاک ۳۴
۳-۱۰-۳ ضریب کاهش تبخیر (K_r) ۳۵
۳-۱۱کسر سطح خاک خیس شده با آبیاری یا بارندگی(f_w) ۳۶
۳-۱۲ معادله پریستلی-تیلور ۳۷
۳-۱۳ تعیین تبخیر-تعرق ذرت به کمک بیلان آب در مزرعه ۳۸
۳-۱۴ آماره‌های ارزیابی ۳۸

فصل چهارم: نتایج و بحث ۴۱
۴- بحث و نتایج ۴۱
۴-۱ تعیین تابش طول موج کوتاه خورشیدی (R_s) ۴۱
۴-۲ تعیین تبخیر ـ تعرق گیاه مرجع ۴۳
۴-۲-۱ تعیین طول دوره رشد گیاه ذرت ۴۷
۴-۳ تعیین ضریب گیاهی به روش نشریه فائو ۴۸
۴-۳-۱ ضریب تبخیر (K_e) از سطح خاک ۴۸
۴-۴ تعیین تبخیر ـ تعرق استاندارد گیاه ذرت با روش بیلان آب خاک ۵۰
۴-۴-۱ واسنجی ضریب معادله پریستلی-تیلور در سال ۱۳۷۸ و ۱۳۸۲ ..... ۵۵
۴-۴-۲ تحلیل آماری شاخص واسنجی ۵۵
۴-۵ اعتبار سنجی ۶۱
۴-۵-۱ اعتبار سنجی معادله پریستلی-تیلور در سال ۱۳۸۳ ..... ۶۱
۴-۶ تعیین تبخیر ـ تعرق استاندارد گیاه ذرت به روش پنمن ـ مانتیث بدون استفاده از ضریب گیاهی و با استفاده ضریب گیاهی دوگانه و مدل MSM ۶۳

۴-۸ ضریب معادله پریسلی-تیلور (α و تابش طول موج کوتاه رسیده به سطح زمین(R_s) ۷۲

فصل پنجم: نتیجه گیری ۷۴

نتیجه گیری ۷۷

فهرست منابع و مآخذ

منابع فارسی ۸۶

منابع لاتین ۸۷

فهرست جدول‌ها

عنوان **صفحه**

جدول ۱-۳ خصوصیات فیزیکی خاک محل آزمایش در سال ۱۳۷۸، ۱۳۸۲ و ۱۳۸۳. ..... ۱۸
جدول ۲-۳ مقادیر شاخص سطح برگ اندازه‌گیری شده در سال ۱۳۷۸ توسط زندپارسا (۲۰۰۱)..... ۱۹
جدول ۳-۳ مقادیر شاخص سطح برگ اندازه‌گیری شده در سال ۱۳۸۲ توسط مجنونی‌ـهریس(۱۳۸۴) ۱۹
جدول ۴-۳ مقادیر شاخص سطح برگ اندازه‌گیری شده در سال ۱۳۸۳ توسط مجنونی‌ـهریس(۱۳۸۴)..... ۱۹
جدول ۵-۳- رطوبت‌های حجمی ($m^3\ m^{-3}$) اندازه‌گیری شده‌ی خاک در اعماق مختلف در روزهای مختلف پس از کاشت در سال ۱۳۷۸..... ۲۰
جدول ۶-۳- رطوبت‌های حجمی ($m^3\ m^{-3}$) اندازه‌گیری شده‌ی خاک در اعماق مختلف در روزهای مختلف پس از کاشت در سال ۱۳۸۲..... ۲۱
جدول ۷-۳- رطوبت‌های حجمی ($m^3\ m^{-3}$) اندازه‌گیری شده‌ی خاک در اعماق مختلف در روزهای مختلف پس از کاشت در سال ۱۳۸۳..... ۲۲
جدول ۸-۳- مقادیر حجمی در حالت ظرفیت زراعی در اعماق مختلف خاک مزرعه در سال ۱۳۸۲ و ۱۳۸۳ ..... ۲۳
جدول ۹-۳- مقادیر آب آبیاری (m) در روزهای مختلف بعد از کاشت در سال ۱۳۷۸ توسط زندپارسا(۲۰۰۱) ۲۴
جدول ۱۰-۳- مقادیر آب آبیاری (m) در روزهای مختلف بعد از کاشت در سال ۱۳۸۲ توسط مجنونی هریس(۱۳۸۴) ۲۵
جدول ۱۱-۳- مقادیر آب آبیاری (m) در روزهای مختلف بعد از کاشت در سال ۱۳۸۳ توسط مجنونی هریس(۱۳۸۴) ۲۵
جدول ۱۲-۳ مقادیر معمول کسر خاک خیس شده با آبیاری یا بارندگی ۳۷
جدول ۱-۴ تعیین طول دوره رشد گیاه ذرت به روش نشریه فائو ۵۶ ..... ۴۸
جدول ۲-۴ مقادیر اندازه گیری شده تبخیر – تعرق استاندارد ذرت به روش بیلان در سال ۱۳۸۷ ..... ۵۲

جدول ۳-۴ مقادیر اندازه گیری شده تبخیر – تعرق استاندارد ذرت به روش بیلان در سال ۱۳۸۲ ..... ۵۳
جدول ۳-۴ مقادیر اندازه گیری شده تبخیر – تعرق استاندارد ذرت به روش بیلان در سال ۱۳۸۳ ..... ۵۴
جدول ۵-۴ عوامل آماری شاخص توافق (d) ، مقدار نرمال شده جذر مجموع مربعات خطا ($NRMSE$) و خطای فصلی (EP) برای واسنجی معادله های مورد بررسی درسال ۱۳۷۸ و ۱۳۸۲ (n=148)..... ۵۶
جدول ۶-۴- عوامل آماری شاخص توافق (d)، جذر مجموع مربعات خطای نرمال ($NRMSE$) در مرحله اعتبارسنجی معادله پریستلی-تیلور در سال ۱۳۸۳ (n=148)..... ۶۱
جدول ۷-۴- مقادیر اندازه گیری شده تبخیر-تعرق استاندارد ذرت با روش بیلان، مقادیر برآورد شده و درصد خطای فصلی (EP) با روش پریستلی-تیلور، پنمن-مانتیث (مستقیم)، پنمن - مانتیث فائو و مدل MSM..... ۶۴

فهرست شکل‌ها

عنوان **صفحه**

شکل ۱-۴-تغییرات تابش خورشیدی رسیده به سطح زمین (R_s) در روزهای بعد از کاشت در سال ۱۳۷۸..... ۴۲
شکل ۲-۴-تغییرات تابش خورشیدی رسیده به سطح زمین (R_s) در روزهای بعد از کاشت در سال ۱۳۸۲..... ۴۲
شکل ۳-۴-تغییرات تابش خورشیدی رسیده به سطح زمین (R_s) در روزهای بعد از کاشت در سال ۱۳۸۳..... ۴۳
شکل ۴-۴ تغییرات تبخیر-تعرق گیاه مرجع ناشی از بخش تابش خورشیدی ($ET_{o\ R_n}$) نسبت به شدت تبخیر-تعرق گیاه مرجع (ET_o) در سال ۱۳۷۸..... ۴۴
شکل ۵-۴ تغییرات تبخیر-تعرق گیاه مرجع ناشی از بخش آئرودینامیک ($ET_{o\ a}$) نسبت به شدت تبخیر-تعرق گیاه مرجع (ET_o) در سال ۱۳۷۸..... ۴۴
شکل ۶-۴ تغییرات تبخیر-تعرق گیاه مرجع ناشی از بخش تابش خورشیدی ($ET_{o\ R_n}$) نسبت به شدت تبخیر-تعرق گیاه مرجع (ET_o) در سال ۱۳۸۲..... ۴۵
شکل ۷-۴ تغییرات تبخیر-تعرق گیاه مرجع ناشی از بخش آئرودینامیک ($ET_{o\ a}$) نسبت به شدت تبخیر-تعرق گیاه مرجع (ET_o) در سال ۱۳۸۲..... ۴۵
شکل ۸-۴ تغییرات تبخیر-تعرق گیاه مرجع ناشی از بخش تابش خورشیدی ($ET_{o\ R_n}$) نسبت به شدت تبخیر-تعرق گیاه مرجع (ET_o) در سال ۱۳۸۳..... ۴۶
شکل ۹-۴ تغییرات تبخیر-تعرق گیاه مرجع ناشی از بخش آئرودینامیک ($ET_{o\ a}$) نسبت به شدت تبخیر-تعرق گیاه مرجع (ET_o) در سال ۱۳۸۳..... ۴۶
شکل ۱۰-۴- تغییرات ضریب کاهش تبخیر (K_e) از سطح خاک در دوره رشد گیاه ذرت در سال ۱۳۷۸..... ۴۹
شکل ۱۱-۴- تغییرات ضریب کاهش تبخیر (K_e) از سطح خاک در دوره رشد گیاه ذرت در سال ۱۳۸۲..... ۴۹
شکل ۱۲-۴- تغییرات ضریب کاهش تبخیر (K_e) از سطح خاک در دوره رشد گیاه ذرت در سال ۱۳۸۳..... ۵۰
شکل ۱۳-۴- تبخیر ـ تعرق تجمعی گیاه ذرت برآورد شده از معادله پریستلی ـتیلور بر اساس معادله (۷-۳) در مقابل تبخیر ـ تعرق تجمعی اندازه‌گیری شده به روش بیلان آب در مزرعه، الف، در سال ۱۳۷۸و ب، در سال ۱۳۸۲..... ۵۷

شکل ۴-۱۴- تبخیر ـ تعرق تجمعی گیاه ذرت برآورد شده از معادله پریستلی ـتیلور بر اساس معادله (۸-۳) در مقابل تبخیر ـ تعرق تجمعی اندازه‌گیری شده به روش بیلان آب در مزرعه، الف، در سال ۱۳۷۸و ب، در سال ۱۳۸۲.....۵۸
شکل ۴-۱۵- تبخیر ـ تعرق تجمعی گیاه ذرت برآورد شده از معادله پریستلی ـتیلور بر اساس معادله (۴-۲) در مقابل تبخیر ـ تعرق تجمعی اندازه‌گیری شده به روش بیلان آب در مزرعه، الف، در سال ۱۳۷۸و ب، در سال ۱۳۸۲.....۵۹
شکل ۴-۱۶- تبخیر ـ تعرق تجمعی گیاه ذرت برآورد شده از معادله پریستلی ـتیلور بر اساس معادله (۵-۲) در مقابل تبخیر ـ تعرق تجمعی اندازه‌گیری شده به روش بیلان آب در مزرعه، الف، در سال ۱۳۷۸و ب، در سال ۱۳۸۲.....۶۰
شکل ۴-۱۷-مقایسه تبخیر ـ تعرق استاندارد گیاه ذرت برآورد شده از معادله پریستلی‌ـتیلور بر اساس معادله (۵-۲) در مقابل تبخیر ـ تعرق اندازه‌گیری شده به روش بیلان آب در مزرعه در سال ۱۳۸۳.....۶۲
شکل ۴-۱۸-مقایسه تبخیر- تعرق تجمعی استاندارد برای روش‌های بیلان آب در خاک، پنمن‌ـمانتیث (مستقیم)، پنمن ـ مانتیث فائو، MSM، پریستلی‌ـتیلور و مقادیر اندازه‌گیری شده آب آبیاری در سال ۱۳۷۸.....۶۵
شکل ۴-۱۹-مقایسه تبخیر- تعرق تجمعی استاندارد برای روش‌های بیلان آب در خاک، پنمن‌ـمانتیث (مستقیم)، پنمن ـ مانتیث فائو، MSM، پریستلی‌ـتیلور و مقادیر اندازه‌گیری شده آب آبیاری در سال ۱۳۸۲.....۶۶
شکل ۴-۲۰-مقایسه تبخیر- تعرق تجمعی استاندارد برای روش‌های بیلان آب در خاک، پنمن‌ـمانتیث (مستقیم)، پنمن ـ مانتیث فائو، MSM، پریستلی‌ـتیلور و مقادیر اندازه‌گیری شده آب آبیاری در سال ۱۳۸۳.....۶۷
شکل۴-۲۱- رابطه بین شدت تبخیر- تعرق اندازه گیری شده و برآورد شده گیاه ذرت در سال ۱۳۷۸ الف: PT، ب:PM، ج: MSM و د: PMF.....۶۹
شکل۴-۲۲- رابطه بین شدت تبخیر- تعرق اندازه گیری شده و برآورد شده گیاه ذرت در سال ۱۳۸۲ الف: PT، ب:PM، ج: MSM و د: PMF.....۷۰
شکل۴-۲۲- رابطه بین شدت تبخیر- تعرق اندازه گیری شده و برآورد شده گیاه ذرت در سال ۱۳۸۳ الف: PT، ب:PM، ج: MSM و د: PMF.....۷۱

فصل اول

۱-۱- مقدمه و کلیات

ذرت[1] یکی از چهار غله مهم جهان می‌باشد و بعد از گندم و برنج تولید آن در دنیا در مقام سوم قرار دارد. با توجه به زمان کاشت آن و شرایط اقلیمی در ایران، آبیاری امری اجتناب ناپذیر است. با توجه به محدودیت آب در ایران لازم است تا با اعمال مدیریت درست در برنامه‌بندی آبیاری بهره‌وری آب را افزایش داد. تبخیر ـ تعرق و تأمین نیاز آبی گیاه از عوامل اصلی در تدوین برنامه آبیاری می‌باشد. بسیاری از مناطق خشک ایران علاوه بر تابش خورشید تحت اثر انرژی فرارفت[2] که به طورافقی وارد منطقه می‌شود، نیز قرار دارند. برای برنامه ریزی آبیاری نیاز به برآورد نسبتاً دقیق تبخیر ـ تعرق منطبق با شرایط منطقه می باشد. زیرا معادلاتی که برای محاسبه تبخیر ـ تعرق پتانسیل استفاده می شوند پارامترهای اقلیمی یکسانی را در بر نمی‌گیرند و به دلیل ماهیت تجربی آنها برای تمامی شرایط اقلیمی مناسب نمی‌باشند (موسوی‌بایگی و همکاران، ۱۳۸۸).

از آنجایی که اکثر روستاهای ایران در مناطق خشک اثر واحه ای[3] داشته اند که علاوه بر تابش مستقیم خورشید تحت تأثیر انرژی فرارفت نیز قرار دارند (علیزاده وهمکاران، ۱۳۸۳). نیاز آبی گیاه را می‌توان با بهره گیری از روش‌های اندازه‌گیری تبخیر ـ تعرق (استفاده از لایسیمتر یا بیلان آب خاک[4] که معتبر ترین روش در واسنجی مدل های تبخیر ـ تعرق می باشد) و روش های تجربی(پنمن‌ـمانتیث، هارگریوزو سامانی، پریستلی و تیلور) با احتساب تبخیر ـ تعرق مرجع و ضریب گیاهی، بدست آورد.

بیشتر روش‌های محاسبه تبخیرـتعرق مانند روش پنمن، بدون در نظر گرفتن اثر فرارفت انرژی، تبخیر ـ تعرق را ۳۰ تا ۴۰ درصد کمتر از تبخیر ـ تعرق استاندارد برآورد می‌کنند (Hanks et al., 1971). با اثر دادن این انرژی در معادلات تبخیر ـ تعرق، می‌توان نیاز آبی گیاه را برآورد کرد. در اغلب نقاط دنیا و از جمله در ایران برای برآورد تبخیر- تعرق گیاه مرجع، استفاده از روش‌های متکی بر داده های اقلیمی از جمله روش پنمن- مانتیث- فائو متداول است. این معادله با استفاده از داده‌های تابش خورشیدی، دما، رطوبت نسبی هوا و سرعت باد، تبخیر- تعرق مرجع را برآورد می‌کند. به منظور اطمینان از صحت محاسبات، اندازه‌گیری داده های هواشناسی باید در ارتفاع ۲ متری و کشت گیاه مرجع در یک سطح

---

[1]. Zea mays L.
[2]. Advection
[3] Oasis Effect
[4]. Water Balance

وسیع پوشیده از چمن سبز که بر روی زمین سایه افکنـده و دچـار کمبـود آب و کـود نباشـد، انجام پذیرد.

با توجه به پارامترهای مورد استفاده در معادله‌های برآورد تبخیر ـ تعرق، می‌توان آنهـا را به چند دسته تقسیم کرد. این گروه‌ها شـامل روش‌هـای دمـایی، تابشـی، رطـوبتی و ترکیبـی می‌باشند. روابط گروه ترکیبی مانند روش‌های پنمن، پنمن-فائو و پنمن-مانتیث-فائو از دو جزء اصلی آئرودینامیک و توازن انرژی تشکیل شده‌اند. در گروه دمایی، دمای هوا به عنـوان پـارامتر اصلی این روابط شناخته می‌شود. روش‌های بلانی-کریـدل و روش هـارگریوز- سـامانی در ایـن گروه قرار می‌گیرند.

در گروه تابشی، انرژی خورشیدی نقش اساسی در تبخیرـتعرق گیاهی را بـر عهـده دارد. روش‌های ماکینگ، تورک، جنسن- هیز و تابشی (دورنباس-پرو) و پریستلی- تیلـور جـزء ایـن گروه هستند. در گروه رطوبتی علاوه بر دمای هوا از رطوبـت نسـبی نیـز در معـادلات اسـتفاده می‌شود. روش ایوانف در این گروه می‌باشد. مدل های ترکیبی مانند معادله پنمن ـ مانتیـث در نشریه فائو ۵۶ (Allen et al., 1998) مقدار تبخیر ـ تعرق را برای منطقه باجگاه شیراز به خوبی بر آورد نمی‌کند (مجنونی‌ـهریس و همکـاران، ۱۳۸۶). بـا توجـه تحقیقـات صـورت گرفتـه در منطقه باجگاه و دوره کاشت ذرت، در برخی از ماه های سال مقدار فرارفت قابل توجه است.

۱-۲- تبخیر از خاک

با مرطوب شدن خاک توسط آبیاری یا بارندگی، تبخیر از سطح خاک آغاز می‌گردد. مقدار آب تبخیر شده از سطح خاک بستگی به ویژگی‌های خاک و شرایط اقلیمی منطقه دارد. در نواحی خشک و نیمه خشک بخش قابل توجهی از بارندگی بر اثر تبخیر تلف می‌شود. حتی هنگامی که سطح خاک دارای پوشش گیاهی است، بسته به روش آبیاری و مرحله رشد و نوع گیاهان، حدود، ۱۰ تا ۶۰ درصد میزان کل تبخیر- تعرق را تبخیر از سطح خاک تشکیل می‌دهد (Hillel, 1998).

خاک تحت اثر آبیاری، بارندگی و یا صعود مویینگی[1] از سطح ایستابی مرطوب می‌شود. در شرایطی که آب مورد نیاز تبخیر با سرعت کافی تأمین شود، تبخیر از خاک سطحی تنها تابع وضعیت اقلیمی است. هرگاه فاصله خیس شدن خاک سطحی طولانی و قابلیت هدایت

[1].Capillary rise

هیدرولیکی آب در این لایه پایین باشد، مقدار آب در دسترس کاهش می‌یابد و سطح خاک به خشکی می‌گراید، در این شرایط، شدت تبخیر تابع آب خاک است. در شرایط تأمین نشدن آب، تبخیر و انتقال آب به صورت مایع به سرعت کاهش یافته و ممکن است در طول چند روز به طور کامل متوقف شود و تنها به صورت جریان هوای خاک نمود پیدا کند.

۱-۲-۱- تعرق گیاه

تعرق مصرف آب در گیاه می‌باشد و گرچه تعرق در اصل فرآیندی تبخیری است ولی ساختمان گیاه و طرز عمل روزنه‌ها و نیز عوامل فیزیکی کنترل کننده تبخیر نیز بر آن مؤثرند. از جمله عوامل محیطی مؤثر بر تعرق شامل شدت تابش خالص، فشار بخار اتمسفر، درجه حرارت، باد و وجود آب برای ریشه‌ها می‌باشد. همچنین از عوامل گیاهی مؤثر بر آن نیز می‌توان به توسعه و راندمان ریشه‌ها در جذب، سطح برگ، ترتیب قرار گرفتن برگ‌ها و ساختمان آن‌ها و طرز عمل روزنه‌ها اشاره داشت.

۱-۲-۲- تبخیر- تعرق

به استثنای تبخیر از سطوح آزاد آب (مانند دریاچه‌ها، رودخانه‌ها و مخازن آب) در حوضه های آبریز که در آن‌ها هم سطوح مرطوب خاک وجود دارد و هم پوشش گیاهی، تبخیر در سطح زمین همواره با تعرق همراه بوده و مقدار تبخیر از سطوح مرطوب خاک و گیاه را به سادگی 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 برگهای آن تعرق می‌پذیرد، تبخیر-تعرق گفته می‌شود و با علامت ET نشان داده می‌شود. تبخیر یک فرآیند وابسته به انرژی است که متضمن تغییر از حالت مایع به بخار می‌باشد. شدت تعریق تابع اختلاف فشار بخار، مقاومت در برابر جریان آب، و توانائی گیاه و خاک از نظر انتقال آب به جایگاه تعرق می‌باشد.

تعرق عمدتاً نیروی محرکه جهت به جریان انداختن آب جذب شده در گیاه را علی‌رغم وجود نیروی ثقل و مقاومت‌های اصطکاکی موجود در مسیر آب تأمین می‌کند. سرعت جذب آب عمدتاً توسط شدت تعرق تعیین می‌شود. فشار ریشه و جذب فعال آب نقش ناچیزی در جذب آب ایفاء می‌نمایند و وقتی این مکانیزم‌ها مشخص می‌شوند که تعرق کم باشد و یا متوقف شده است. تبخیر-تعرق یکی از پیچیده ترین اجزای سیستم خاک- گیاه- اتمسفر می‌باشد. در تمامی مدل های ساده و پیچیده، تبخیر-تعرق برای تخمین مقادیر عملکرد، جریان آب خاک و تمامی عواملی که رطوبت تأثیر می‌پذیرند مورد نیاز می‌باشد.

۱-۳- روش های تعیین تبخیر–تعرق

روش‌هایی که برای تعیین تبخیر ـ تعرق گیاهان بکار می‌رود معمولا به دو گروه اصلی تقسیم بندی می‌شوند. این روش‌ها شامل روش اندازه‌گیری و روش استفاده از معادلات تجربی و نیمه تجربی (برآورد) هستند.

۱-۳-۱- روش اندازه‌گیری

در روش اندازه‌گیری یا مزرعه ای از اصل بیلان آب استفاده می‌شود و مقدار تبخیر ـ تعرق واقعی گیاه بر اساس موازنه آب ورودی و خروجی در یک حجم مشخص از خاک و با استفاده از اندازه‌گیری دوره‌ای رطوبت خاک انجام می‌گیرد.

در لایسیمترهای وزنی،تبخیر–تعرق مستقیماً توسط وزن ستون خاک اندازه‌گیری می‌شود. در روش لایسیمترهای غیر وزنی، تبخیر–تعرق به صورت غیر مستقیم توسط معادله بیلان اندازه‌گیری می‌شود. بنابراین تبخیر ـ تعرق می‌تواند با بررسی موازنه آب در خاک یا لایسیمترها تعیین گردد.

۱-۳-۲- روش برآورد تبخیر–تعرق

برای برآورد تبخیر–تعرق از عوامل مختلف اقلیمی و گیاهی استفاده می‌شود. با استفاده از ارتباط آنها با معادلاتی که قبلاً با روش‌های اندازه‌گیری واسنجی شده اند، تبخیر ـ تعرق پوشش گیاهی مورد نظر برآورد می‌شود. در ابتدا تبخیر ـ تعرق گیاه مرجع برآورد می‌گردد و سپس با بکارگیری ضرایب گیاهی در دوره مختلف رویش، مقدار تبخیر ـ تعرق مرجع (ET_o) به تبخیر ـ تعرق استاندارد گیاه (ET_c) تبدیل می‌شود. تبخیر ـ تعرق گیاه مستقیماً نیز با روش پنمن–مانتیث بدون اعمال ضرایب گیاهی با استفاده از داده های هواشناسی و اطلاعات گیاهی محاسبه می‌شود. تبخیر ـ تعرق گیاه با تعدیل ضریب بازتابش، تغییر مقاومت های آئرودینامیکی و سطحی (ظاهری) پوشش گیاهی به روش مستقیم قابل محاسبه است.

۱-۴- فرارفت

هر پوشش گیاهی علاوه بر تابش مستقیمی که از خورشید دریافت می‌کند، با مناطق همجوار خود مبادله انرژی داشته و تحت تأثیر انتقال گرما به صورت فرارفت قرار می‌گیرد (علیزاده و همکاران، ۱۳۸۳). وقتی گرمای محسوس هوا به اندازه‌ای زیاد باشد که جریان توده‌ای را در نزدیکی سطح زمین ایجاد کند فرارفت اتفاق می‌افتد(McNaughton and Jarvis, 1983). فرارفت در مناطق خشک و نیمه خشک ممکن است محلی و یا منطقه‌ای باشد. هرگاه محدوده انتقال گرما از ۲۰ تا

۲۰۰ متر از اطراف مزرعه تغییر کند به آن فرارفت محلی و یا اثر مرزی اطلاق می‌شود(Dyer and Crawford, 1965) و اگر این رخداد در سطح وسیعی انجام گیرد، فرارفت منطقه‌ای یا اثر واحه‌ای خوانده می‌شود (Rosenberg et al., 1983). در مناطق خشک و نیمه خشک علاوه بر تابش خالص، پدیده فرارفت نیز با انتقال افقی گرما از نواحی اطراف نقش مهمی در تأمین انرژی برای تبخیر ـ تعرق ایفا می‌کند(مجنونی‌هریس و همکاران، ۱۳۹۲).

مدل های ترکیبی مانند معادله پنمن ـ مانتیث فائو در نشریه فائو ۵۶ (Allen et al., 1998) مقدار تبخیر‌ـتعرق را برای منطقه باجگاه به خوبی برآورد نمی‌کند (مجنونی‌هریس و همکاران، ۱۳۸۶). با توجه به تحقیقات صورت گرفته در منطقه باجگاه و دوره کاشت ذرت، مقدار فرارفت قابل توجه است. در این پژوهش از معادله پریستلی تیلور با اعمال ضریب گیاهی دوگانه برای برآورد تبخیر ـ تعرق استاندارد گیاه ذرت استفاده می‌شود. معادله پریستلی‌ـتیلور یک مدل تابشی است و در آن تابش خورشیدی نقش اساسی در تبخیر ـ تعرق گیاهی را برعهده دارد. تبخیر ـ تعرق گیاهی را می‌توان با استفاده از اطلاعات سنجش از دور و تابش خورشیدی (R_s) بدست آورد. با نظر به اینکه ضریب معادله پریستلی‌ـتیلور بر اساس شرایط آب و هوایی متغیر است و در سیستم خاک‌ـگیاه‌ـاتمسفر مقدار ثابتی نیست و ممکن است تابعی از شاخص سطح برگ (LAI)[1]،کمبود فشار بخار هوا (VPD)[2]، تابش خورشیدی (R_s) و رطوبت خاک باشد (Tanner and Jury, 1976). بنابراین برآورد آن مهم است. ضرایب معادلات تجربی برای برآورد ضریب α به کمک روش بیلان واسنجی خواهد شد. سپس از ضرایب واسنجی شده در مرحله اعتبارسنجی استفاده می‌شود. نتایج حاصل از روش پریستلی تیلور با مدل MSM و پنمن ـ مانتیث بدون استفاده از ضریب گیاهی و با استفاده از ضریب گیاهی دوگانه به روش پیشنهادی نشریه فائو ۵۶ (Allen et al., 1998) مقایسه می‌شود. مدل MSM جهت شبیه سازی تبخیر ـ تعرق ذرت دانه‌ای بکار رفت. این مدل دارای یک برنامه اصلی و نه زیر برنامه می باشد. جریان آب خاک به صورت عددی و بر پایه حل معادله ریچاردز در نظر گرفته شده و برآورد تبخیر – تعرق از جمله زیربرنامه های مدل می باشد. در این زیر برنامه تبخیر- تعرق گیاه ذرت، بر اساس کاربرد مستقیم معادله پنمن‌ـمانتیث (بدون استفاده از ضریب گیاهی) و بیلان انرژی شبیه سازی می شد (زندپارسا و همکاران، ۱۳۸۳).

[1] . Leaf Area Index
[2] . Vapor Pressure Deficit