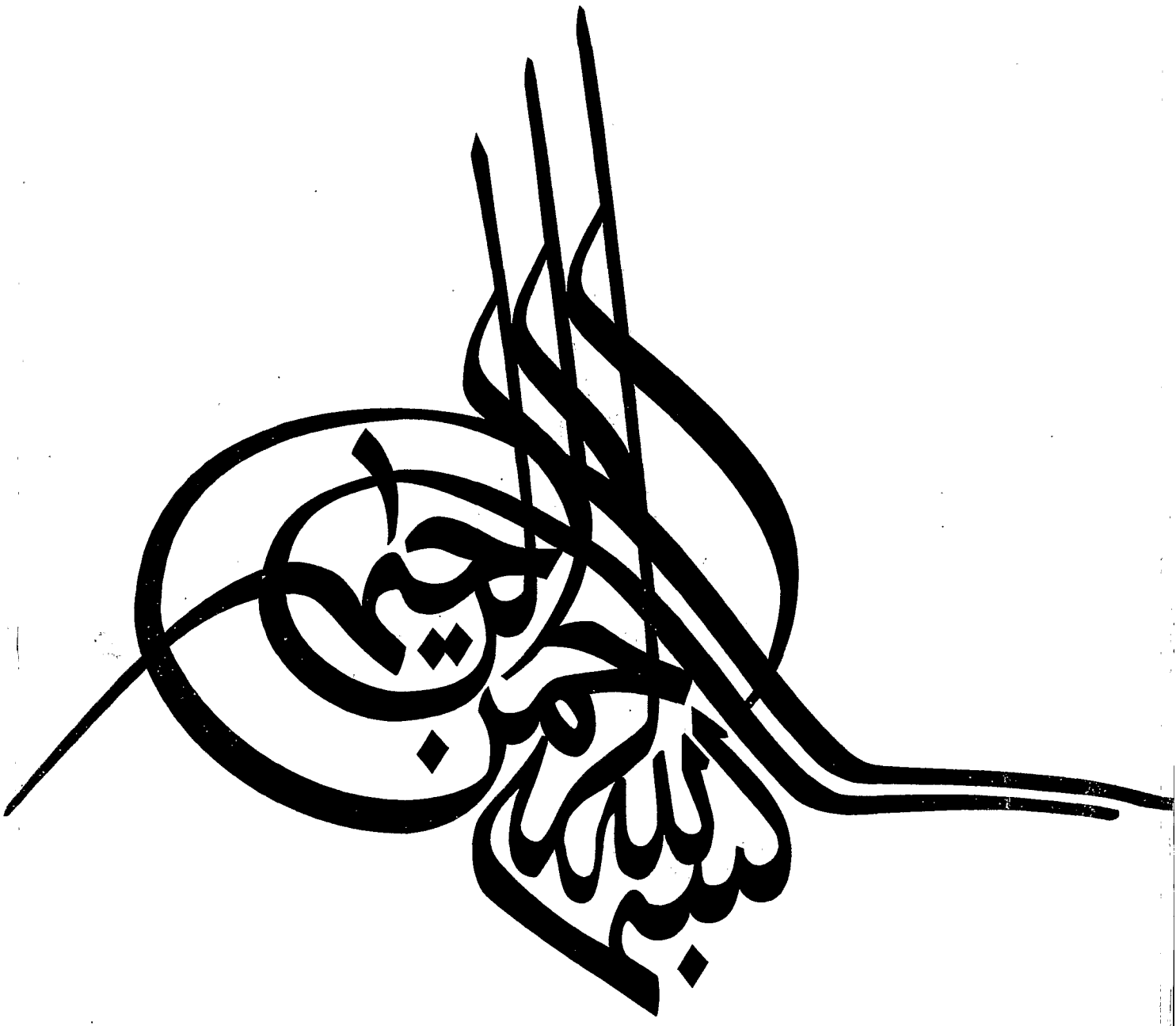
بسم الله الرحمن الرحيم

١٠٩٥٩٨

۸۷/۱۱/۶
۸۷/۱/۱ د ۳۸۲۱

دانشکده کشاورزی

تعیین نیاز آبی و ضریب گیاهی خیار گلخانه‌ای با استفاده از لایسیمتر در گلخانه

پایان‌نامه کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی

فریده فتحعلیان

اساتید راهنما

دکترمحمد رضا نوری امامزاده‌ئی
دکتر مهدی شهابی‌فر

استاد مشاور

دکترعبدالرحمن محمدخانی

۱۳۸۷ /۹/ ۲۳

۱۳۸۶

۱۰۹۵۹۵

دانشکده کشاورزی

پایان‌نامه کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی خانم فریده فتحعلیان

تحت عنوان

تعیین نیاز آبی و ضریب گیاهی خیار گلخانه‌ای با استفاده از لایسیمتر در گلخانه

در تاریخ ۱۳۸٦/۱۲/۲۱ توسط کمیته تخصصی زیر مورد بررسی و تصویب نهایی قرار گرفت :

۱. استاد راهنمای پایان نامه	دکتر محمد رضا نوری امامزاده‌ئی
۲. استاد راهنمای پایان نامه	دکتر مهدی شهابی‌فر
۳. استاد مشاور پایان نامه	دکتر عبدالرحمن محمدخانی
٤. استاد داور پایان نامه	دکتر سعید اسلامیان
٥. استاد داور پایان نامه	دکتر محمد شایان نژاد

رئیس تحصیلات تکمیلی دانشکده — دکتر مجید اولیاء

۱۳۸۷ /۹/ ۲۳

« تشکر و قدردانی »

سپاس و ستایش او را سزد که یگانه بی همتاست و ذات بی کرانش آکنده از علم و دانش. چه با سخاوت از این خوان بی همتا بشر را موهبتی شگرف ارزانی داشت و دریای کمالات خود را به روی او گشود تا با تمسک و استعانت به عنایات خداوندیش راه کمال و آراستگی را برگزیند.

اینک که با عنایت الهی این تحقیق به انجام رسیده است، بر خود لازم میدانم از زحمات بی شائبه پدر و مادر بزرگوارم که همواره تکیه گاهی امن برایم بودند، و همراهی صمیمانه همسر عزیزم که هرگاه سختی راه امانم را می برید، مرا با لبخندی سرشار از امید می نمود، بی نهایت سپاسگزاری نمایم و از خواهران مهربانم که همواره امیدبخش زندگیم بوده اند.

از استاد راهنمای ارجمند جناب آقای دکتر محمد رضا نوری امامزاده‌ئی که اتمام موفقیت آمیز این پایان نامه بدون راهنماییهای ارزشمند و تجربیات گرانبهای ایشان میسر نبود، صمیمانه سپاسگزارم.

قدر دانم از جناب آقای دکتر مهدی شهابی فر که از نزدیک راهنمایی این پایان نامه را به عهده داشتند.

از استاد مشاور محترم جناب آقای دکتر عبدالرحمن محمدخانی و اساتید داور جناب آقای دکتر محمد شایان نژاد و آقای دکتر اسلامیان که زحمت بازخوانی این پایان نامه را به عهده داشتند کمال تشکر را دارم.

در طی مراحل مختلف این تحقیق از تجارب و مساعدت بی‌دریغ و بی‌شائبه جناب آقای دکتر روزبه مؤذن زاده بهره‌مند بوده‌ام که در اینجا از ایشان قدردانی و سپاسگزاری می‌نمایم.

از کلیه دوستان عزیز و مهربانم که در هر عنوان و سمتی صمیمانه یاریم نمودند، هزاران بار سپاسگزارم.

به امید موفقیت روزافزون و جاودان برای تمامی این عزیزان.

خداوند انسان را زنده می کند، می‌میراند و باز زنده می کند. به امید آنکه در تولد دوباره‌مان سربلند باشیم.

فریده فتحعلیان

اسفند ۱۳۸۶

تقدیم به:

پدر و مادر عزیزم، به خاطر تمامی لحظات زندگی و **روزبه** مهربانم که روح مرا تا سرشاخه‌های ابدیت، به پرواز درآورد.

کلیه حقوق مادی مترتب بر نتایج مطالعات،
ابتکارات و نوآوریهای ناشی از تحقیق موضوع
این پایان‌نامه متعلق به دانشگاه شهرکرد است.

انسان مجموعه‌ای از آنچه دارد نیست،
بلکه مجموعه‌ای است از آنچه هنوز ندارد،
اما می‌تواند داشته باشد.
ژان پل سارتر

فهرست مطالب

عنوان | **صفحه**

فهرست جداول ..... ده

فهرست شکلها ..... یازده

چکیده فارسی ..... سیزده

فصل اول: مقدمه

۱-۱ مقدمه ۱

۱-۲ اهداف مطالعه ۲

فصل دوم: بررسی منابع

۲-۱ کلیات ۳

۲-۲ تبخیر- تعرق ۳

۲-۳ روشهای تعیین تبخیر و تبخیر-تعرق مرجع ۴

۲-۳-۱ روش سازمان خواربار و کشاورزی سازمان ملل متحد ۴

۲-۳-۲ روش رزنبرگ ۵

۲-۳-۳ روش جنسن ۵

۲-٤ روشهای اندازه‌گیری مستقیم تبخیر و یا تبخیر-تعرق ۵

۲-٤-۱ کاهش آب خاک ۵

۲-۴-۲ لایسیمتر ٦

۲-٤-۳ بیلان آبی ۸

۲-۴-۴ بیلان انرژی ۸

۲-٤-۵ انتقال جرم ۹

۲-٤-٦ روش ترکیبی ۱۰

۲-۵ روش تخمین به‌وسیله داده‌های هواشناسی (روش تجربی) ۱۰

عنوان	صفحه

۲-۵-۱ روشهای ترکیبی ۱۱
- روش پنمن، پنمن-مانتیث، پنمن-مانتیث-فائو ۱۱
- روش پریستلی و تیلور ۱۷
۲-۵-۲ روشهای تشعشعی ۱۸
- روش جنسن - هیز ۱۸
- روش هارگریوز-سامانی ۱۹
- روش مکینگ ۱۹
۲-۵-۳ روشهای دمایی ۲۰
- روش تورنت وایت ۲۰
- روش بلانی-کریدل ۲۱
۲-۵-٤ روشهای تبخیری ۲۲
۲-۵-۵ روشهای همبستگی چندگانه ۲۳
- کریستین سن ۲۳
۲-٦ مروری بر تحقیقات گذشته ۲۳

فصل سوم: مواد و روشها

۳-۱ مشخصات کلی محل اجرای طرح ۳۴
۳-۲ مقدمات اجرای طرح ۳۵
۳-۳ اجرای طرح ۳۷
۳-۳-۱ کاشت بذر ۳۷
۳-۳-۲ مراحل کاشت و داشت ۳۸
۳-۵ روند انجام محاسبات ۴۱
۳-۵-۱ تعیین نیاز آبی خیار، چمن و ضریب گیاهی (kc) خیار ۴۱
۳-۵-۲ تخمین تبخیر-تعرق گیاه مرجع داخل گلخانه، با استفاده از برخی معادلات موجود ۴۲
۳-۵-۳ ارائه مدلهای رگرسیونی چندگانه به منظور برآورد تبخیر-تعرق چمن و خیار گلخانه‌ای. ۴۲

عنوان	صفحه

فصل چهارم: نتایج و بحث

٤-١ کلیات ۴۳

٤-٢ تعیین تبخیر- تعرق استاندارد خیار، چمن و ضریب گیاهی خیار گلخانه‌ای ۴۳

٤-٣ برآورد تبخیر-تعرق استاندارد گیاه مرجع داخل و خارج گلخانه ۴۷

٤-۴ مقایسه روشهای تخمین تبخیر-تعرق ۵۵

۴-۵ ارائه مدلهای رگرسیونی چندگانه برای برآورد تبخیر- تعرق گیاه مرجع داخل گلخانه ۵۹

۴-۵-۱ استفاده از همان متغیرهای به کار رفته در معادلات اصلی ۵۹

۴-۵-۲ استفاده از بهترین متغیرهای مؤثر در برآورد تبخیر- تعرق مرجع ۶۳

۴-۶ ارائه مدلهای رگرسیونی چندگانه برای برآورد تبخیر- تعرق خیار داخل گلخانه ۶۵

۴-۶-۱ ارائه مدل برای تمامی طول دوره رشد خیار ۶۵

۴-۶-۲ ارائه مدل برای هر مرحله از دوره رشد ۶۶

۴-۷ جمع بندی کلی نتایج ۷۲

٤-٨ پیشنهادها ۷۲

- پیوست ۷۴
- مراجع ۸۳
- چکیده انگلیسی I

فهرست جداول

جدول	صفحه

۳-۱ مشخصات لایسیمتر ۳۶

۳-۲ میانگین هفتگی داده‌های هواشناسی ثبت شده در داخل گلخانه ۴۱

۴-۱ تبخیر- تعرق خیار و چمن و ضریب گیاهی(Kc) خیار (مجموع هر دهه) ۴۴

۴-۲ مقادیر اندازه‌گیری شده پارامترهای هواشناسی ۴۸

۴-۳ میانگین ده روزه ضریب گیاهی خیار (Kc) ۵۴

۴-۴ نسبت تبخیر- تعرق اندازه‌گیری شده چمن به تبخیر- تعرق برآورد شده داخل گلخانه ۵۶

۴- ۵ نسبت تبخیر- تعرق اندازه‌گیری شده چمن به تبخیر- تعرق برآورد شده خارج گلخانه ۵۷

۴-۶ مقادیر RMSE ۵۹

فهرست شکلها

شکل **صفحه**

۳-۱ شمای کلی گلخانه..... ۳۵
۳-۲ ادوات هواشناسی موجود در گلخانه..... ۳۵
۳-۳ نمای لایسیمترها داخل گلخانه..... ۳۶
۳-۴ نمایی از دو لایسیمتر خیار و چمن..... ۳۸
۳-۵ تنش دهی به بوته خیار..... ۳۹
۳-۶ نمایی از مرحله داشت..... ۴۰
۴-۱ تبخیر- تعرق خیار گلخانه‌ای و چمن در طول دوره رشد..... ۴۵
۴-۲ ضریب گیاهی(Kc) خیار گلخانه‌ای در طول دوره رشد..... ۴۶
۴-۳ میانگین درجه حرارت روزانه داخل وخارج گلخانه..... ۴۹
۴-۴ میانگین رطوبت نسبی روزانه داخل وخارج گلخانه..... ۴۹
۴-۵ تابش خورشیدی داخل وخارج گلخانه..... ۵۰
۴- ۶ تبخیر-تعرق محاسبه شده گیاه مرجع چمن داخل گلخانه..... ۵۱
۴-۷ تبخیر-تعرق محاسبه شده گیاه مرجع چمن خارج گلخانه..... ۵۲
۴-۸ مقایسه مقادیر میانگین تبخیر-تعرق گیاه مرجع چمن داخل گلخانه به روشهای مختلف..... ۵۳
۴-۹ ضریب گیاهی خیار در طول دوره رشد، بر اساس تبخیر- تعرق مرجع برآورد شده..... ۵۵
۴-۱۰ نسبت تبخیر- تعرق اندازه‌گیری شده چمن به تبخیر- تعرق مرجع محاسباتی داخل گلخانه ۵۶
۴-۱۱ نسبت تبخیر-تعرق اندازه‌گیری شده چمن به تبخیر-تعرق مرجع محاسباتی خارج گلخانه.. ۵۷
۴-۱۲ نسبت تبخیر- تعرق مرجع محاسبه شده در داخل گلخانه به خارج آن..... ۵۸
۴-۱۳ تبخیر- تعرق مرجع اندزه‌گیری شده در مقابل برآورد شده(هارگریوز- سامانی)..... ۶۰
۴-۱۴ تبخیر- تعرق مرجع اندزه‌گیری شده در مقابل برآورد شده با مدل(هارگریوز- سامانی)..... ۶۰
۴-۱۵ تبخیر- تعرق مرجع اندزه‌گیری شده در مقابل برآورد شده(پنمن- مانتیث-فائو)..... ۶۱

فهرست شکلها

شکل	صفحه

۴-۱۶ تبخیر- تعرق مرجع اندزه گیری شده در مقابل برآورد شده با مدل(پنمن- مانتیث-فائو)..... ۶۲
۴-۱۷ تبخیر- تعرق مرجع اندزه گیری شده در مقابل برآورد شده(مکینگ)..... ۶۲
۴-۱۸ تبخیر- تعرق مرجع اندزه گیری شده در مقابل برآورد شده با مدل(مکینگ)..... ۶۳
۴- ۱۹ تبخیر-تعرق گیاه مرجع چمن داخل گلخانه(مؤثرترین متغیرها)..... ۶۴
۴-۲۰ تبخیر- تعرق مرجع اندزه گیری شده در مقابل برآورد شده با مدل(مؤثرترین متغیرها)..... ۶۴
۴-۲۱ تبخیر-تعرق خیار داخل گلخانه..... ۶۵
۴-۲۲ تبخیر- تعرق اندزه گیری شده خیار در مقابل برآورد شده با مدل..... ۶۶
۴-۲۳ تبخیر-تعرق خیار داخل گلخانه در مرحله ابتدایی رشد..... ۶۷
۴-۲۴ تبخیر- تعرق اندزه گیری شده خیار در مقابل برآورد شده با مدل(مرحله ابتدایی)..... ۶۷
۴-۲۵ تبخیر-تعرق خیار داخل گلخانه در مرحله توسعه رشد..... ۶۸
۴-۲۶ تبخیر- تعرق اندزه گیری شده خیار در مقابل برآورد شده با مدل(مرحله توسعه)..... ۶۸
۴-۲۷ تبخیر-تعرق خیار داخل گلخانه در مرحله میانی رشد..... ۶۹
۴-۲۸ تبخیر- تعرق اندزه گیری شده خیار در مقابل برآورد شده با مدل(مرحله میانی)..... ۶۹
۴-۲۹ تبخیر-تعرق خیار داخل گلخانه در مرحله انتهایی رشد..... ۷۰
۴-۳۰ تبخیر- تعرق اندزه گیری شده خیار در مقابل برآورد شده با مدل(مرحله انتهایی)..... ۷۰
۴-۳۱ تبخیر-تعرق خیار گلخانه‌ای در کل مرحله رشد..... ۷۱
۴-۳۲ تبخیر- تعرق اندزه گیری شده خیار در مقابل برآورد شده با مدل(در کل مرحله رشد)..... ۷۱

چکیده

منابع آب و خاک کشور محدود می‌باشد و استفاده بهینه از منابع آب در این بخش، مستلزم تعیین هر چه دقیق‌تر میزان آب مصرفی توسط گیاهان مختلف در شرایط متفاوت می‌باشد. این امر در کشتهای گلخانه‌ای به لحاظ توسعه سریع آنها بیش از پیش ضروری می‌باشد.

در این راستا به منظور تعیین تبخیر- تعرق و ضریب گیاهی (Kc) خیار گلخانه‌ای، دو عدد میکرولایسیمتر برای کشت خیار و چمن در گلخانه تعبیه شد. میزان تبخیر- تعرق این دو گیاه به روش وزنی و به صورت روزانه اندازه‌گیری گردید. همچنین با استفاده از داده‌های هواشناسی ثبت شده داخل گلخانه و اخذ شده از نزدیکترین ایستگاه هواشناسی به محل اجرای طرح، تبخیر- تعرق گیاه مرجع با سه روش پنمن-مانتیث-فائو، هارگریوز-سامانی، و مکینگ محاسبه شد. نتایج حاصل از این تحقیق را می توان به صورت زیر ارائه نمود:

تبخیر- تعرق خیار گلخانه‌ای در طول ٤ ماهه دوره رشد، ٧٦/٥١ کیلوگرم به دست آمد، و بر اساس مساحت در نظر گرفته شده برای هر بوته خیار [فاصله کشت (٧٠×٤٠)]، این مقدار به میلیمتر تبدیل شد و نهایتاً تبخیر-تعرق خیار در طول ٤ ماهه دوره رشد ٢٧٣/٢٥ میلیمتر به دست آمد. بالاترین مقادیر تبخیر- تعرق خیار در مرحله شکوفه‌دهی و میوه‌دهی مشاهده شد که مقادیری در رنج ٣/٣ الی ٤/٦٢ میلیمتر در روز داشت. مقدار ضریب گیاهی خیار در دهه اول رشد ٠/٠٧ بوده، به تدریج افزایش یافته و به بیشینه مقدار ١/٥ در دهه ٩ رشد رسید و پس از آن به مقدار ٠/٨٦ در انتهای دوره رشد (دهه ١٢) کاهش یافت. میانگین (Kc) خیار گلخانه‌ای در مرحله ابتدایی رشد ٠/١٤، در مرحله توسعه ٠/٧٨، در مرحله میانی ١/٣٧ و در مرحله انتهایی ٠/٨٦ به دست آمد. مقادیر ضریب گیاهی حاصل از تبخیر- تعرق مرجع روشهای هارگریوز- سامانی و مکینگ به مقادیر واقعی ضریب گیاهی نزدیک بودند. معادله پنمن- مانتیث-فائو نیز، مقدار (Kc) را حدود ١/٦ تا ٥ برابر بیشتر از مقدار واقعی برآورد کرد.

در میان روش‌های مورد مطالعه، روش هارگریوز-سامانی در تخمین تبخیر-تعرق گیاه مرجع چمن داخل گلخانه کمترین خطا (RMSE =٠/٥٧) ، و روش پنمن-مانتیث-فائو، از بالاترین خطای برآورد (RMSE =١/٤٥) برخوردار بود. مقادیر تبخیر-تعرق برآوردی گیاه مرجع با سه روش مذکور در خارج گلخانه، خیلی بیشتر از مقادیر واقعی داخل گلخانه به دست آمد. طوریکه مقادیر داده‌های لایسیمتری چمن داخل گلخانه، حدود ٣٠ الی ٤٠ درصد مقادیر برآوردی بود.

تبخیر- تعرق مرجع برآورد شده با سه روش پنمن-مانتیث-فائو، هارگریوز-سامانی و مکینگ در داخل گلخانه به ترتیب ٢٣-١٠ درصد، ٥٣-٣٧ و ٣٦-٣١ درصد تبخیر- تعرق برآورد شده در خارج گلخانه به دست آمد.

در انتها با استفاده از نرم افزار Sigma Stat برای برآورد هرچه بهتر تبخیر- تعرق چمن و خیار گلخانه‌ای، مدلهای رگرسیونی چندگانه ارائه شد. مدلهای ارائه شده جدید بسیار معنی دار بودند ($p<٠/٠٥$).

فصل اول
مقدمه

۱-۱ مقدمه

آب عامل حیات و نهاده اصلی در کشاورزی است. قسمت اعظم کشور ما به دلیل واقع شدن در منطقه خشک و نیمه خشک، با کمبود جدی این نعمت گرانبهای الهی روبروست. بخش کشاورزی مهمترین بخش مصرف کننده آب بوده و مصرف بهینه و افزایش بهره‌وری از آب در این بخش سهم به‌سزایی در حفظ آن دارد. در این راستا در سالهای اخیر توسعه سیستم‌های کشاورزی پایدار مورد توجه قرار گرفته است. از آنجا که منابع آب و خاک کشور محدود است، تولید محصولات از طریق توسعه سطح زیر کشت قابل توجیه نمی‌باشد، بنابراین یکی از مناسب‌ترین راههای دستیابی به بهره‌وری بالا افزایش عملکرد در واحد سطح می‌باشد. این مهم از طریق استفاده از ارقام پر محصول و سازگار به شرایط محیطی و تغییر روشهای کشت سنتی به شیوه‌های نوین قابل کنترل گلخانه‌ای، امکان پذیر است.

علاوه بر این به لحاظ آنکه کشت گلخانه‌ای شرایط لازم برای تولید بسیاری از محصولات، خصوصاً صیفی‌جات و سبزیجات را در خارج از فصل زراعی و مستقل از شرایط آب و هوایی و نوع اقلیم فراهم می‌آورد، به‌طور فزآینده‌ای مورد توجه قرار گرفته و به‌طور روزافزون توسعه می‌یابد. کشت گیاهان گلخانه‌ای

و توسعه این تکنیک یکی از راه‌کارهایی است که علی‌رغم سرمایه‌گذاری اولیه بالا، می‌تواند در طول عمر پروژه اقتصادی بوده و مصرف آب را تا حد امکان بهینه نماید.

نیاز آبی یکی از اجزا مهم چرخه آب در بخش کشاورزی می‌باشد. بنابر تعاریف موجود نیاز آبی گیاه عبارت است از میزان تبخیر-تعرق گیاه که بایستی با دقت اندازه‌گیری و یا برآورد شود. استفاده بهینه از منابع آبی در بخش کشاورزی مستلزم تعیین هر چه دقیقتر میزان آب مصرفی توسط گیاهان مختلف در شرایط متفاوت است. این امر در کشتهای گلخانه‌ای نیز صادق می‌باشد. علی‌رغم تحقیقات متعددی که در زمینه کشت‌های گلخانه‌ای صورت گرفته، تعیین نیاز آبی و برنامه‌ریزی آبیاری گیاهان گلخانه‌ای کمتر مورد توجه واقع شده‌است.

در این تحقیق قصد داریم نیاز آبی خیار را به عنوان یکی از رایجترین کشتهای گلخانه‌ای، از طریق اصلاح روشهای مرسوم برآورد نیاز آبی در شرایط گلخانه‌ای برآورد نماییم.

از میان تولیدات گلخانه‌ای خیار به عنوان یکی از مهمترین و پر مصرف‌ترین سبزیجاتی است که به انحاء مختلف و گاهاً در قالب میوه مصرف می‌شود. تولید سالیانه این محصول در سطح دنیا بالغ بر ۴۰ میلیون تن برآورد می‌شود (انونیموس ۲۰۰۳).

۱-۲ اهداف مطالعه

در این تحقیق با اندازه گیری اجزای بیلان آب برای دو گیاه چمن (به عنوان سطح مرجع) و خیار گلخانه‌ای در طول فصل کشت، میزان تبخیر-تعرق سطح مرجع، نیاز آبی و ضریب گیاهی خیار گلخانه‌ای در مراحل مختلف رشد، در شرایط کشت گلخانه‌ای تعیین خواهد شد. همچنین در انتها برای برآورد تبخیر-تعرق سطح مرجع و تبخیر-تعرق خیار گلخانه‌ای، مدلهای رگرسیونی ارائه خواهد شد.

فصل دوم
بررسی منابع

۲-۱ کلیات

تابش خورشیدی و دمای هوا، به عنوان عناصر هواشناسی، نقش مهمی را در تبخیر-تعرق گیاهی و گرم کردن خاک و هوا ایفا می‌کنند. از این رو مطالعه مشخصه‌های این دو عنصر به علت اثرگذاری در رشد گیاهان مختلف ضروری است. از طرفی بهبود تولید گیاهی، مستلزم تعیین واقعی تبخیر-تعرق گیاهی می‌باشد. تبخیر-تعرق علاوه بر عناصر آب و هوا به فاکتورهای خاک و گیاه نیز وابسته است.

۲-۲ تبخیر-تعرق

در زنجیره آب، خاک-گیاه-اتمسفر، آب مستقیماً از سطح خاک و یا توسط گیاه به داخل اتمسفر وارد می‌شود. انتقال آب از سطح خاک به هوا را تبخیر[۱] و خارج شدن آن از گیاه را تعرق[۲] گویند. این دو پدیده هر دو ماهیت تبخیری داشته و چون تفکیک آنها از یکدیگر امکان پذیر ن می‌باشد، مجموعاً به نام تبخیر-تعرق[۳] در نظر گرفته شده و با علامت ET نشان داده می‌شود.تبخیر-تعرق پتانسیل[۴] حداکثر مقدار آبی است

---

[۱] -Evaporation

[۲] -Transpiration

[۳] -Evapotranspiration

[۴] -Potential Evapotranspiration

که بدون هیچ محدودیتی،می‌تواند توسط سطوح خاک و گیاه، از خاک خارج شود. تبخیر-تعرق پتانسیل به مقدار انرژی موجود برای عمل تبخیر بستگی داشته و از روزی به روز دیگر متغیر است. تبخیر-تعرق گیاه مرجع[1] که آن را با علامت ET_o نشان‌می‌دهند، همان تبخیر-تعرق پتانسیل برای یک پوشش گیاهی به خصوص است که معمولاً چمن یا یونجه انتخاب می‌شود. تعریفی که برای گیاه مرجع چمن شده این است که ارتفاع این گیاه ۸ تا ۱۵ سانتیمتر بوده، سطح وسیعی را در بر گرفته و به طور کامل و یکنواخت زمین را پوشانده باشد، سبز و شاداب بوده و بدون محدودیت آب تبخیر-تعرق آن صورت گیرد. برای گیاه مرجع یونجه نیز تعریف مشابهی شده است. به این معنی که به طور یکنواخت مساحت وسیعی را در بر گرفته و بوته‌ها سبز و شاداب و قائم با ارتفاع ۲۰ سانتیمتر باشند، و بدون محدودیت آب، تبخیر و تعرق نمایند. بنابراین تبخیر-تعرقی که از سطح پوشیده از گیاه مذکور صورت‌می‌گیرد، به نام تبخیر-تعرق گیاه مرجع معروف است.

در کشاورزی آب مورد مصرف زراعت، به مجموع مقدار تبخیر از سطح خاک و مقدار آبی گفته می‌شود که توسط ریشه‌های گیاه از خاک جذب می‌شود. بنابراین اختلاف آن با ET، تنها در مقدار آبی است که صرف فتوسنتز و انتقال مواد در داخل گیاه می‌شود و یا در ساختمان گیاه به کار رفته است. چون این مقدار در مقایسه با تعرق بسیار ناچیز است، عملاً تبخیر-تعرق با آب مورد مصرف در زراعت برابر در نظر گرفته می‌شود.

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 کرده و بدون آنکه با تنش آبی مواجه شود، رشد خود را تکمیل، و حداکثر مقدار محصول را تولید کند. از آنجا که عوامل زیادی در تبخیر-تعرق دخالت دارند، برآورد دقیق آن کار بسیار مشکلی می‌باشد.

۲-۳ روشهای طبقه بندی برآورد تبخیر و تبخیر-تعرق مرجع

برای محاسبه و برآورد مقدار تبخیر و یا تبخیر-تعرق مرجع روشهای زیادی ابداع شده است. هر کدام از این روشها پارامتر به خصوصی را برای تعیین یا برآورد تبخیر و یا تبخیر-تعرق منظور کرده‌اند. با توجه به پارامترهای به کار رفته در هر روش، می‌توان آنها را طبقه بندی کرد. نظریه‌های مختلفی برای طبقه بندی روشها وجود دارد. از جمله:

۲-۳-۱ روش سازمان خواربار و کشاورزی سازمان ملل متحد (FAO)

این سازمان روشهای مختلف تبخیر-تعرق را، در ۵ گروه کلی به شرح ذیر دسته بندی کرده است.

الف- اندازه‌گیری مستقیم تبخیر-تعرق بوسیله لایسیمتر[2]

---

[1] -Reference Evapotranspiration

[2] -Lysimeter

ب- تخمین تبخیر و یا تبخیر-تعرق بوسیله تشت و تبخیر سنج
ج- فرمولهای تجربی
د- روش آیرودینامیک
ه- روش بیلان انرژی

۲-۳-۲ روش رزنبرگ

رزنبرگ[۱] روشهای برآورد و تخمین تبخیر و یا تبخیر-تعرق مرجع، را به سه دسته کلی روشهای بیلان آبی[۲] و هیدرولوژیکی، روشهای کلیماتولوژی و اندازه‌گیریهای مستقیم تقسیم بندی کرد.

۲-۳-۳ روش جنسن

سومین تقسیم بندی روش طبقه‌بندی جنسن و همکاران، و مربوط به کمیته آبیاری و زهکشی انجمن مهندسین امریکا می‌باشد. آنها تمام روشهای تعیین تبخیر و یا تبخیر-تعرق را به دو دسته کلی اندازه‌گیری مستقیم و تخمین به وسیله داده‌های هواشناسی تقسیم کرده‌اند.

آنها روشهای اندازه‌گیری مستقیم را به ٦ دسته کلی کاهش آب خاک، لایسیمتر، بیلان آبی، بیلان انرژی، انتقال جرم و روشهای ترکیبی تقسیم بندی کرده‌اند. آنها همچنین روشهای تخمین به وسیله داده‌های هواشناسی را به پنج گروه اصلی روشهای ترکیبی، روشهای تشعشعی، روشهای دمایی، روشهای تبخیری و روشهای همبستگی چندگانه طبقه بندی کرده‌اند.

۲-٤ روشهای اندازه‌گیری مستقیم تبخیر و یا تبخیر-تعرق

اندازه‌گیریهای مستقیم و مزرعه‌ای بسیار پر هزینه هستند و اصولاً نتایج حاصل از آنها برای کالیبره کردن روشهای تجربی مورد استفاده‌قرارمی‌گیرند. مهمترین روشهای مستقیم عبارتند از:

۲-٤-۱ کاهش آب خاک

تبخیر-تعرق در شرایط مزرعه ای رامی‌توان با ثبت تغییرات آب خاک، در یک دوره زمانی تعیین کرد. در این روش برای اندازه‌گیری مقدار رطوبت خاک، از روش وزنی و اخیراً از روش نوترون‌متر استفاده‌می‌شود. خطای اصلی در تعیین تبخیر-تعرق با این روش، امکان حرکت رو به بالای آب از لایه‌های تحتانی به منطقه نمونه برداری می‌باشد. تشخیص هر دو حالت مشکل است، ولی با احتیاط‌های لازم‌می‌توان آنها را به حداقل رساند. معمولاً نمونه برداری از خاک دو تا چهار روز بعد از آبیاری و مجدداً هفت تا پانزده روز بعد یا درست قبل از آبیاری بعدی انجام می‌گیرد. متوسط میزان ET بین تاریخهای نمونه برداری با استفاده ازمعادله زیر محاسبه می‌شود:

---

[۱] -Norman J. Roseenberg

[۲] -Water Balance method

$$Et = \frac{Wet}{\Delta t} = \frac{\sum_{i=1}^{Nr}(\theta_1 - \theta_2)\Delta Si + \mathrm{Re} - Wd}{\Delta t} \qquad (۱-۲)$$

که در آن

Nr: تعداد لایه‌ها تا منطقه ریشه موثر

S_i: ضخامت هر لایه (mm)

θ_1: مقدار حجمی آب خاک در اولین تاریخ نمونه برداری (cm^3/cm^3)

$\theta 2$: مقدار حجمی آب خاک در دومین تاریخ نمونه برداری (cm^3/cm^3)

Re: باران موثر (mm)

Wd: زهکشی از منطقه نمونه برداری (mm)

بحث جامع درباره مسائل مربوط به این روش توسط روبین[۱] و همکاران (۱۹۵٤)، جنسن (۱۹٦۷) و جنسن ورایت[۲] (۱۹۷۸) شرح داده شده است.

۲-٤-۲ لایسیمتر

لایسیمتر به مجموعه ای مجزا از خاک و گیاه در داخل یک حجم محدود و معین اطلاق می‌شود، که به منظور اندازه‌گیری دقیق بیلان رطوبتی خاک به کار برده می‌شود. با استفاده از لایسیمترمی‌توان داده‌های مطمئن در رابطه با تبخیر-تعرق به دست آورد. خصوصیات خاک درون لایسیمتر باید اساساًهمان خصوصیات خاک بیرون از آن باشد. لایسیمتر باید از همان گیاه که درون آن‌می‌روید احاطه شود و محل نصب آن در داخل مزرعه ای از همان گیاه باشد و حداقل ۱۰۰متر از حاشیه مزرعه فاصله داشته باشد. لایسیمتر یکی از قابل اعتماد ترین راههای اندازه‌گیری مستقیم تبخیر-تعرق است. اما برای آنکه اطلاعات حاصل از آن نماینده شرایط مزرعه باشد باید مواردی را در نصب آن رعایت نمود که در زیر به چند مورد اشاره می‌شود.

الف: لایسیمتر باید به اندازه کافی بزرگ و وسیع باشد تا از این راه اثرات جدار را کاهش داده و مانعی برای توسعه ریشه‌ها وجود نداشته باشد.

ب: شرایط فیزیکی داخل لایسیمتر باید مشابه شرایط بیرونی باشد، خاک نباید به اندازه ای سست باشد که انشعاب ریشه‌ها و حرکت آب در داخل لایسیمتر سهل‌تر انجام گیرد.

ج: یک لایسیمتر در مواردی که گیاهان داخل آن بلندتر،کوتاهتر،متراکمتر و یا تنکتر از گیاهان بیرون باشند، نمی تواند نماینده مناطق اطراف خود باشد.

لایسیمترها به دو دسته کلی زهکش دار۳ و وزنی[۱] تقسیم می‌شوند.

---

[۱] -Robin

[۲] -Wright

[۳] -Drainage lysimeter