نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره 3، جلد 10، مرداد - شهریور 1395، ص. 376-365

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 3, Vol. 10, Jul.-Agu. 2016, p. 365-376

تعیین تابع تولید گیاه ریحان تحت شرایط کم آبیاری و استفاده از نانو کود

محمد نادریان‌فر[1]

تاریخ دریافت: 1395/3/17 تاریخ پذیرش: 1395/6/10

چکیده

ریحان (*Ocimum basilicum* L.) یکی از گیاهان مهم متعلق به تیره نعناع (*Lamiaceae*) است که به عنوان گیاه دارویی، ادویه‌ای و هم‌چنین به صورت سبزی تازه مورد استفاده قرار می‌گیرد. تحقیق حاضر جهت تعیین عمق شاخص آبیاری تحت شرایط مدیریتی مختلف با ارزیابی اثر سه‌گانه کم آبیاری، بافت خاک و استفاده از نانو کود بر عملکرد گیاه ریحان دارویی انجام شد. آزمایش به صورت فاکتوریل بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با 18 تیمار و 3 تکرار در سال 1392-1393 در ایستگاه هواشناسی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد اجرا شد. تیمارهای کم آبیاری شامل سه سطح آبیاری (I_1=100% ET_c)، (I_2=75% ET_c) و (I_3=50% ET_c) و تیمار کود شامل 3 سطح نانو کود با غلظت کامل (F_1)، نانو کود با غلظت 70 درصد (F_2)، و عدم استفاده از نانو کود (F_3)؛ در دو بافت سبک (S_1) و متوسط (S_2) اجرا گردید. نتایج نشان داد که میزان متوسط تبخیر- تعرق واقعی برآوردی متوسط توسط دستگاه REC-P55، در ابتدای دوره رشد ریحان 3/38 میلی‌متر بوده که این میزان با افزایش دوره کشت به میزان 8/60 میلی‌متر در دوره میانی افزایش یافته است. نتایج آنالیز ضریب گیاهی نشان داد که بیش‌ترین ضریب گیاهی ریحان در تیر ماه به میزان 1/42 می‌باشد. نتایج تحقیقات حاکی از آن بود که بیش‌ترین میزان کارایی مصرف آب بر حسب عملکرد تر و خشک در تیمار $S_2I_3F_3$ به میزان 2/06 و 0/37 کیلوگرم در مترمکعب بدست آمد. در حالی که بیش‌ترین کارایی مصرف آب بر حسب عملکرد دانه در تیمار $S_1I_2F_2$ (0/37 کیلوگرم در مترمکعب) بدست آمد. با استفاده از نتایج تحقیق بر اساس سطوح مختلف آب مصرفی توابع تولید Y(W)، تابع هزینه C(W) و تابع درآمد B(W) برای گیاه ریحان بر اساس تحلیل ریاضی و اقتصادی این توابع، عمق‌های شاخص و بهینه آبیاری مورد ارزیابی قرار گرفت و مشخص گردید که با کم آبیاری در شرایط محدودیت آب، با هدف استفاده حداکثر از واحد حجم آب، عمق بهینه آب مصرفی نسبت به آبیاری بیشینه 20 درصد کاهش خواهد یافت. هم‌چنین با این میزان کم آبیاری حداکثر بازده ریالی به ازای هر مترمکعب آب مصرفی 1849 ریال بدست آمد.

واژه‌های کلیدی: تابع تولید، عمق بهینه آبیاری، کم آبیاری، نانو کود

مقدمه

کم آبیاری یک راهکار بهینه برای به عمل آوردن محصولات تحت شرایط کمبود آب است که البته همراه با کاهش محصول در واحد سطح است. عموماً از نظر زارع، راهکار بهینه، کاربرد حجمی از آب آبیاری است که درآمد خالص او را به حداکثر می‌رساند و نه مقدار آبی که بیش‌ترین محصول را تولید می‌کند. کم آبیاری راهکار بهینه-سازی است که در آن آگاهانه به گیاهان اجازه داده می‌شود با دریافت آب کم‌تر از نیاز، محصول خود را کاهش دهند (English et al., 1990). هدف اصلی از اجرای کم آبیاری، همانا افزایش راندمان کاربرد آب چه از طریق کاهش میزان آب آبیاری در هر نوبت یا حذف آبیاری‌هایی است که کم‌ترین بازدهی را دارند. هنگامی که مشکلاتی از نظر تأمین سرمایه، انرژی، نیروی کارگر و یا سایر منابع اساسی وجود داشته باشد، یا هنگامی که هزینه‌های این گونه منابع زیاد باشد اعمال کم آبیاری می‌تواند در افزایش عملکرد و سود مفید واقع شود. کم آبیاری می‌تواند برای گسترش سطح زیر کشت و به حداکثر رساندن و یا بهبود و تثبیت تولید محصولات یک منطقه نیز استفاده شود. کمبود آب آبیاری عمده‌ترین عامل بازدارنده در زراعت آبی محسوب می‌شود. به دلیل بحران فزاینده کمیت و کیفیت منابع آب، بهینه‌سازی مصرف آب شایان توجه است. در مناطقی که قیمت آب زیاد است نیز مصرف بهینه آن غیر قابل اجتناب است از این رو، تلاش برای بهینه کردن محصول تولیدی در ازای مصرف آب کم‌تر منطقی جلوه کرده است. برای تعیین حد بهینه آب آبیاری استفاده از مدل‌ها و روابط تجربی- ریاضی و توابع تغییرات مصرف آب- عملکرد اجتناب ناپذیر می‌باشد (سپاسخواه و همکاران، 1385).

اؤنلو و همکاران طی تحقیقی تأثیر کم آبیاری بر روی عملکرد و اجزای عملکرد پنبه در شرایط آب و هوای مدیترانه‌ای شرق ترکیه را بررسی کردند. این آزمایش مزرعه‌ای طی سال‌های 2005 تا 2008 با

1- استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه جیرفت
Email: naderian.mohamad@yahoo.com

Archive of SID
www.SID.ir

تیمارهای آبیاری 100%، 50%، 70% نیاز آبی و صفر درصد (دیم) صورت گرفت. نیاز آبی گیاه با استفاده از تشت تبخیر برآورد شد. عملکرد و برخی اجزای عملکرد شامل شاخص سطح برگ، ماده خشک، کیفیت کُرک پنبه و نیز کارآیی مصرف آب مورد ارزیابی قرار گرفت. میانگین تبخیر- تعرق فصلی حدوداً 600 میلی‌متر ثبت شد و تیمارهای کم آبیاری بر اساس این عدد اعمال شدند. کم آبیاری در این تحقیق به طور معناداری عملکرد و اجزای عملکرد را تحت تأثیر قرار داد. میانگین کارآیی مصرف آب آبیاری حدود 9/5 کیلوگرم در هکتار بر میلی‌متر برای آبیاری کامل و حدود 14 کیلوگرم در هکتار بر میلی‌متر برای تیمار 50% نیاز آبی به دست آمد. با افزایش سطح آبیاری، شاخص سطح برگ و ماده خشک بوته افزایش یافت. در مجموع برای مناطقی مانند محل آزمایش فوق که منابع آب در حال کاهش هستند، کم آبیاری با سطح 70% نیاز آبی قابل توصیه و اجرا می‌باشد (Unlu et al, 2011). گارسیا و فررسا برای بهینه‌سازی مدیریت آبیاری در سطح مزرعه، مدل AquaCrop را با یک مدل اقتصادی ترکیب کردند. با توجه به اینکه توابع تولید آب-عملکرد به صورت تجربی برآورد شده و به عنوان ورودی مدل‌های تحلیل اقتصادی به کار می‌روند، ایشان از مدل دینامیک AquaCrop برای شبیه‌سازی پاسخ‌های عملکرد گیاهی به سطوح مختلف آب آبیاری استفاده کرده و مدل بهینه‌سازی اقتصادی خود را اجرا نمودند. اجرای مدل حاضر نشان داد که تغییرات جاری در الگوی کشت در منطقه مورد مطالعه (جنوب غرب اسپانیا) حاصل سیاست‌های تشویقی برای صرفه‌جویی آب بوده و افزایش قیمت آب نقشی در این قضیه نداشته است. مدل مزبور پیش بینی کرد که تأخیر در تخصیص آب فصلی توسط مدیران سازمان امور آب، اثر منفی چشم‌گیری در حدود 300 یورو در هکتار متوجه کشاورزان می‌کند (Garcia and Fereresa., 2012).

انصاری (1386)، به منظور محاسبه عمق‌های شاخص و بهینه آب مصرفی و با توجه به هدف کسب سود حداکثر در اثر کم آبیاری، تحقیقی را در قالب یک طرح آماری با آرایش کرت‌های خرد شده بر روی سه رقم ذرت زودرس انجام داد. ارقام ذرت به عنوان تیمار اصلی با سه تکرار و سطوح آبیاری به عنوان تیمار فرعی در نظر گرفته شده و با استفاده از سیستم آبیاری تک شاخه‌ای مدل هنکس 6 سطح آبیاری در دو طرف لوله ایجاد شد. با استفاده از نتایج تحقیق بر اساس مقادیر مختلف آب مصرفی، توابع تولید، هزینه و درآمد برای هر سه رقم تعیین و بر اساس تحلیل ریاضی و اقتصادی این توابع، عمق‌های شاخص و بهینه آبیاری مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج این تحقیق نشان داد که با وجود اینکه آبیاری کامل بالاترین میزان عملکرد را به دنبال دارد اما به دلیل بالا رفتن هزینه‌ها سود خالص نهایی حداکثر نیست. هم‌چنین با کم آبیاری در شرایط محدودیت زمین با هدف استفاده حداکثر از واحد زمین، عمق بهینه آب مصرفی برای ارقام مختلف حدوداً 3% کاهش را نسبت به آبیاری بیشینه نشان می‌دهد؛ و با کم آبیاری در شرایط محدودیت آب با هدف استفاده حداکثر از واحد حجم آب، عمق بهینه آب مصرفی نسبت به آبیاری بیشینه به طور متوسط 19% کاهش خواهد یافت. هم‌چنین نشان داد که سود خالص در دو حالت به‌کارگیری یک عمق آب مصرفی معادل با عمق آب مصرفی بیشینه برابر می‌باشد، پس منطقی است که عمق آب مصرفی معادل که به طور متوسط 90% عمق آب مصرفی بیشینه است، به کار رود. انگلیش و همکاران مطالعاتی بر روی گندم زمستانه در مزارع مختلف انجام دادند. در این تحقیق توابع ریاضی (آب مصرفی- عملکرد) و (آب مصرفی- هزینه‌ها) تعیین شده و عمق بهینه آب مصرفی در دو حالت محدودیت منابع آب و محدودیت زمین، محاسبه شد (English et al., 1990). اندرزیان و همکاران مدل AquaCrop را برای محصول گندم تحت آبیاری کامل و کم آبیاری در ایران مورد ارزیابی قرار دادند. ایشان از این مدل برای مناطق گرم جنوب ایران با اعمال سناریوهای مختلف کم آبیاری (اعمال تیمارهای کم آبیاری در مراحل مختلف رشد) استفاده کردند (Andarzian et al., 2011). با توجه به اینکه تحقیقات کمی در رابطه با تابع تولید آب- عملکرد و کارایی مصرف آب ریحان دارویی انجام شده است تحقیق حاضر به دنبال تعیین تبخیر- تعرق واقعی، ضرایب گیاهی، تابع تولید، کارایی مصرف آب و اعماق شاخص آبیاری گیاه ریحان تحت تأثیر اثر سه‌گانه بافت خاک، نانو کودها و کم آبیاری می‌باشد.

مواد و روش‌ها

عملیات کاشت

کاشت ریحان در دو سال متوالی، در تاریخ 27 خرداد ماه سال 1392 در سال اول آزمایش و تاریخ 17 اردیبهشت 1393 در سال دوم آزمایش، در محوطه سایت هواشناسی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد صورت گرفت. برای بررسی اثرات کم آبیاری، کود، در دو بافت خاک بر رشد و عملکرد گیاه ریحان رقم کشکنی لولو (keshkeni luvelou) آزمایشی در دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی با عرض جغرافیایی 36 درجه و 16 دقیقه شمالی و طول جغرافیایی 59 درجه و 38 درجه شرقی و ارتفاع 985 متر از سطح دریا در تیر ماه سال 1392 انجام شد. آزمایشی به صورت فاکتوریل بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با 18 تیمار و سه تکرار اجرا شد. تیمارهای کم آبیاری شامل سه سطح آبیاری ET_c ،I_1=100% ET_c I_2=75% و I_3=50% ET_c بودند. منبع آب آبیاری آب لوله کشی شده گلخانه پژوهشی دانشگاه فردوسی مشهد بود که برخی خصوصیات شیمیایی آن در جدول 1 ارائه شده است. تا یک ماه پس از کاشت (6-8 برگی شدن بوته‌ها) گلدان‌ها به مقدار مساوی آبیاری شدند و از این مرحله به بعد تیمارهای کم آبیاری اعمال شد. تیمارهای کودی

Archive of SID

www.SID.ir

شامل سه سطح که یک سطح به عنوان شاهد (F_3) در نظر گرفته شد. اولین کود آبیاری در تاریخ 12 تیر 1392 (15 روز بعد از کاشت) انجام گرفت.

برای کشت ریحان از گلدان‌های پلاستیکی که در کف آن زهکش تعبیه شده بود، استفاده شد. داخل هر گلدان تعداد 15 بذر ریحان در عمق یک سانتی‌متر از خاک کاشته شد و پس از رشد ریحان در هر گلدان تعداد پنج عدد بوته نگهداری شد. حجم هر گلدان 17/2 لیتر (قطر این گلدان‌ها 27 سانتی‌متر و ارتفاع آن 30 سانتی‌متر) بود. خاک مورد استفاده در گلدان‌ها به صورت دستی و در دو بافت لوم- شنی و لومی (S_1 و S_2) در نظر گرفته شد و کلاس بافت خاک آن‌ها به روش هیدرومتری در آزمایشگاه تعیین شد. نتایج خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد نظر در جدول 2 ارائه شده است. برای تعیین عمق آبیاری، رطوبت خاک در حالت ظرفیت زراعی و نقطه پژمردگی با استفاده از دستگاه صفحات فشاری تعیین شد.

برای اعمال تیمارهای آبیاری از تشتک تبخیر استفاده شد. در هر نوبت آبیاری میزان آب مصرفی با ضریب تشت (0/8) و ضریب گیاهی پیشنهادی FAO در طول دوره رشد و میزان آبیاری ($ET_C=k_ck_pE_{pan}$) محاسبه و با توجه به تیمار آبیاری به وسیله استوانه مدرج با در نظر گرفتن سطح هر گلدان اعمال شد. لازم به ذکر است در طول آزمایش بارندگی رخ نداد. ضریب گیاهی ریحان در مراحل اولیه، توسعه، میانی و انتهایی رشد به ترتیب 0/6، 1، 1/15 و 1/1 در نظر گرفته شد و طول دوره رشد در هر مرحله 16، 44، 32 و 18 روز بود. به منظور محاسبه تبخیر- تعرق واقعی گیاه ریحان، رطوبت خاک با استفاده از دستگاه REC-P55[1] اندازه‌گیری شد. دستگاه REC-P55 از دو قسمت دیتالاگر و سنسورها تشکیل شده است. برای اندازه‌گیری رطوبت خاک تعداد 36 سنسور در دو تکرار استفاده شد. برای واسنجی دستگاه رطوبت سنج REC-P55 از دو گلدان که دارای بافت خاک S_1 و S_2 بودند، استفاده شد.

در ابتدا گلدان‌ها از آب اشباع شده و پس از آن وزن گلدان‌ها تا رسیدن به وزن اولیه خاک خشک در روزهای مختلف اندازه‌گیری و همزمان سنسورها قرائت شدند. با اندازه‌گیری وزن خاک خشک و وزن مرطوب خاک گلدان‌ها، درصد رطوبت وزنی و حجمی دو نوع خاک محاسبه و معادله بین رطوبت حجمی و قرائت سنسور بدست آمد و سنسورها واسنجی شد. با توجه به بافت خاک و حداکثر میزان تبخیر- تعرق گیاه، دور آبیاری در طول فصل رشد ثابت و دو روز در نظر گرفته شد. رطوبت خاک قبل از هر آبیاری و بعد از آبیاری پس از توقف زه‌آب با استفاده از دستگاه REC-P55 اندازه‌گیری شد و میزان آب مصرفی برای هر تیمار آبیاری در طول فصل رشد محاسبه شد.

برنامه کودی به این صورت اعمال شد که در ابتدای فصل فسفر، سوپر میکرو (شامل 11 عنصر اصلی مورد نیاز گیاه که به صورت مایع و یون قابل جذب می‌باشد)، پتاسیم و ازت با غلظت 100% (F_1) و 70% (F_2) و بدون مصرف کود (F_3) بر اساس خصوصیات شیمیایی خاک (جدول 2) و توصیه شرکت تولیدکننده کود مصرف شد. نتایج تجزیه کود (درصد عناصر مختلف) نشان می‌دهد (جدول 3)، کود کلات فسفر شامل 18% یون فسفر قابل جذب است درحالی‌که کود کلات پتاسیم و ازت دارای 23 و 25 درصد یون قابل جذب است. درصد عناصر مختلف در کود سوپر میکرو در جدول 3 ارائه شده است.

میزان کود مصرفی در هر مرحله از کشت در جدول 4 بر حسب لیتر در هکتار ارائه شده است. به طوری که از کل 18 لیتر در هکتار کود، 40 درصد در ابتدا و میانه فصل کشت و 20 درصد آن در انتهای فصل کشت مصرف شد. همچنین برنامه‌ریزی میزان کود داده شده به هر گلدان با در نظر گرفتن سطح گلدان‌ها بر حسب میلی‌لیتر ارائه شده است. به عنوان مثال در ابتدای فصل کشت حجم کود فسفر داده شده در تیمار F_1 برای هر گلدان 0/05 میلی‌لیتر بوده که به همراه آب آبیاری به حجم رسانده و در هر گلدان مصرف شد.

با توجه به داده‌های ورودی امکان برازش معادله چند متغیره وجود دارد لذا هر یک از قرائت‌ها به عنوان متغیرهای مستقل ورودی مدنظر قرار گرفتند و معادلات زیادی برازش داده شدند. این کار با استفاده از نرم افزار Data fit9 انجام شد.

برآورد میزان تبخیر- تعرق واقعی

برای تعیین مقدار تبخیر- تعرق واقعی گیاه در هر مرحله از معادله بیلان آب و خاک (رابطه 1) استفاده شد (Allen et al., 1998).

$$ET_C = I + P - D - Ro \pm \Delta S \quad (1)$$

که در رابطه فوق ET_C نیاز آبی گیاه، P بارش، I آبیاری، Ro رواناب سطحی، D آب زهکشی شده و Δs میزان تغییر در ذخیره آب خاک در بازه زمانی مشخص می‌باشد. جهت تعیین دقت دستگاه REC-P55 در محاسبه تبخیر- تعرق واقعی گیاه، رطوبت عمق ریشه گیاه قبل از آبیاری و یک ساعت بعد از آبیاری توسط دستگاه REC-P55 ثبت شد.

به منظور تعیین ضریب گیاهی ریحان در شرایط بدون تنش از رابطه 2 استفاده شد به طوری که جهت تعیین تبخیر- تعرق مرجع از روش پنمن- مونتیث فائو 56 (Allem et al., 1990) استفاده شد.

$$k_c = \frac{ET_c}{ET_0(PMForPan)} \quad (2)$$

که در آن، k_c: ضریب گیاهی بی‌بعد، ET_c: تبخیر- تعرق واقعی، ET_0 (PMF): تبخیر- تعرق مرجع از رابطه پنمن-مونتیث- فائو 56 (mm/day)، ET_0 (Pan): تبخیر- تعرق مرجع از تشت (mm/day).

1- دستگاه REC-P55 به وسیله دکتر حسین انصاری عضو هیئت علمی گروه مهندسی آب دانشگاه فردوسی مشهد اختراع شده است.

Archive of SID

www.SID.ir

جدول 1- خواص شیمیایی آب آبیاری

SAR	Mg^{2+}	Cl^-	HCO_3^-	CO_3^{2-}	Ca^{2+}	Na	pH	EC
$(meq/l)^{1/2}$	----------(meq/l) ----------						-	($dS\ m^{-1}$)
2/71	3/8	6/47	5/01	0/32	3	5	8/2	1/23

جدول 2- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش

علامت	بافت خاک	θ_{fc} (%)	ρ_b ($g\ cm^{-3}$)	N ($mg\ kg^{-1}$)	P ($mg\ kg^{-1}$)	K ($mg\ kg^{-1}$)	pH	CCE (%)
S_1	Loam-sandy	13	1/42	511	4/9	105/3	8/01	8/9
S_2	Loam	16	1/53	508	4/8	108/6	7/85	8/1

CCE: کربنات کلسیم معادل، θ_{fc}: رطوبت حجمی خاک، ρ_b: چگالی ظاهری خاک، N: ازت، P: فسفر، K: پتاسیم

جدول 3- درصد عناصر موجود در کودهای مختلف

نوع کود	P	K	N	Fe	Mn	Zn	Cu	Ca	Mg	Mo	B
سوپر میکرو	4	2	5	4	2	5	1	15	1	0/04	0/06
فسفر (P)	18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
پتاسیم (K)	-	23	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ازت (N)	-	-	25	-	-	-	-	-	-	-	-

جدول 4- برنامه‌ریزی مقدار کود مصرف شده در هر گلدان برای ابتدای فصل کشت

	نوع کود			
	فسفر	پتاسیم	ازت	سوپر میکرو
غلظت ابتدای فصل (L/ha)	7	7	11	7
$(m^2)\ A^*$	0/0572	0/0572	0/0572	0/0572
$(mL)\ Q^*$	0/04	0/04	0/04	0/04
خطای آزمایش	%20	%20	%20	%20
حجم نانو کود در تیمارF_1 (میلی‌لیتر)	0/05	0/05	0/075	0/05
حجم نانو کود در تیمارF_2 (میلی‌لیتر)	0/035	0/035	0/053	0/035

A^*: سطح مقطع گلدان و Q: حجم نانو کود داده شده

تعیین اعماق شاخص آبیاری

برای تعیین شاخص‌های آستانه‌ای عمق آب مصرفی مدلی برای بهینه‌سازی سود خالص مورد استفاده قرار می‌گیرد. یکی از بارزترین خصوصیات این مدل، وجود دو تابع (تولید و هزینه) و هم‌چنین قیمت محصول است که به صورت تلفیقی به کار گرفته می‌شوند (English et al., 1990؛ English and Raja., 1996). از خصوصیات دیگر این مدل وجود منطق ریاضی، ضوابط اقتصادی و مبانی زراعی در آن است. در این مطالعه از شکل اول بهینه‌سازی عمق آب مصرفی و در نتیجه سود خالص استفاده خواهد شد. در این حالت تابع تولید به صورت منحنی درجه دو، تابع هزینه به صورت خطی و قیمت محصول نیز ثابت (بر اساس نرخ تضمینی یا نرخ بازار) می‌باشد (انصاری، 1386). شکل عمومی این روابط به صورت زیر است:

$$Y(W) = a_1 + b_1 W + c_1 W^2 \quad (3)$$

$$C(W) = a_2 + b_2 W \quad (4)$$

$$P = \text{ثابت} \quad (5)$$

که در آن‌ها: Y(W) عملکرد بر حسب کیلوگرم در هکتار، C(W) هزینه کل بر حسب ریال در هکتار، W عمق آب مصرفی در طول فصل زراعی بر حسب سانتی‌متر و P قیمت واحد محصول به ریال است و بر اساس قیمت‌های سال 1393 محاسبه شد.

عمق‌های شاخص آب مصرفی با استفاده از روابط زیر تعیین خواهند شد.

عمق آبیاری کامل (W_m)، که با مشتق‌گیری از تابع تولید بر حسب عمق آب مصرفی (I) و مساوی صفر قرار دادن آن به صورت

Archive of SID

www.SID.ir

زیر به دست می‌آید:

$$W_m = -\frac{b_1}{2c_1} \quad (6)$$

عمق آب مصرفی در حالت محدودیت زمین (W_l)

$$W_1 = -\frac{b_2 - b_1 P}{2c_1 P} \quad (7)$$

عمق آب مصرفی در حالت محدودیت آب (W_w)

$$W_w = \left[\frac{a_1 P - a_2}{c_1 P}\right]^{0.5} \quad (8)$$

عمق معادل آبیاری کامل در حالت محدودیت زمین (W_{el})

$$W_{el} = \frac{(b_2 - b_1 P) \pm Z_1}{2c_1 P} \quad (9)$$

که در آن:

$$Z_1 = \left[(b_1 P - b_2)^2 - 4c_1 P\left(\frac{b_1^2 P}{4c_1} - \frac{b_1 b_2}{2c_1}\right)\right]^{0.5} \quad (10)$$

عمق معادل آبیاری کامل در حالت محدودیت آب (W_{ew})

در این سطح از آب آبیاری، سود خالص به ازای واحد این عمق آب مصرفی (W_{ew}) برابر با سود خالص به ازای واحد عمق آب مصرفی آبیاری کامل (W_m) است.

$$W_{ew} = \frac{-Z_2 \pm \left[Z_2^2 - 4c_1 P(a_1 P - a_2)\right]^{0.5}}{2c_1 P} \quad (11)$$

که در آن:

$$Z_2 = \frac{b_1^2 P + 4a_1 c_1 P - 4a_2 c_1}{2b_1} \quad (12)$$

در تحقیق حاضر قیمت هر لیتر نانو کود پتاسیم، ازت، فسفر و سوپر میکرو بر اساس قیمت‌های سال 1393 شرکت توزیع کننده نانو کود، به ترتیب 165000، 110000، 185000 و 240000 ریال می‌باشد که به عنوان هزینه ثابت در نظر گرفته شد. مقدار هزینه متغیر بر طبق نظر وزارت نیرو برای مصرف یک مترمکعب آب در بخش کشاورزی 850 ریال در نظر گرفته شد (انصاری و همکاران، 1393). فروش هر کیلو سبزی تر و بذر ریحان طبق آمار سازمان جهاد کشاورزی خراسان رضوی به ترتیب 5000 و 80000 ریال برآورد شده است. برای تعیین توابع آب مصرفی- عملکرد از متوسط داده‌های عملکرد و عمق آب مصرفی در سطوح مختلف آبیاری در سال اول و دوم کشت استفاده شد و مناسب‌ترین توابع ریاضی به روش کم‌ترین مربعات خطا (OLS) و به کمک نرم افزار Data fit9 بدست آمد.

نتایج و بحث

محاسبه تبخیر- تعرق واقعی گیاه ریحان

به منظور تعیین دقت دستگاه REC-P55 میزان تبخیر- تعرق واقعی گیاه ریحان توسط روش بیلان آبی نیز محاسبه شد. نتایج روند تغییرات روزانه تبخیر- تعرق واقعی گیاه ریحان به روش بیلان آبی در شکل 1- الف نشان داده شده است. نمودار تبخیر- تعرق ریحان همان گونه که انتظار می‌رود یک روند صعودی، ثابت و نزولی را طی می‌کند که نشان‌دهنده مراحل مختلف رشد گیاه می‌باشد. این پدیده را این گونه می‌توان تشریح نمود که در ابتدای دوره رشد (دوره رشد اولیه) به علت کوچک بودن سطح برگ‌ها، تبخیر- تعرق دارای کم‌ترین مقدار بوده و با رشد گیاه و افزایش سطح برگ‌ها این مقدار افزایش یافته است و در انتهای دوره رشد کاهش یافته است. بیش‌ترین میزان تبخیر- تعرق 9/6 میلی‌متر پس از 83 روز از تاریخ کشت (1393/05/07) در مرداد ماه بدست آمد. نتایج تحقیق چترنور و همکاران (1390) که روی نیاز آبی و ضریب گیاهی ریحان در اردبیل انجام شده بود نشان داد که بیش‌ترین مقدار تبخیر- تعرق گیاه ریحان در ماه آگوست (مرداد) به میزان 9/31 میلی‌متر بدست آمده است. با توجه به اینکه تحقیق حاضر در اقلیم خشک و نیمه خشک انجام شده است میزان تبخیر- تعرق کمی بیش‌تر از تحقیق چترنور و همکاران که در منطقه اردبیل انجام داده بودند بدست آمد. در ابتدای دوره رشد متوسط تبخیر- تعرق واقعی ریحان 3/75 میلی‌متر بوده است که این میزان با افزایش دوره کشت به میزان 8/28 میلی‌متر در دوره میانی افزایش یافته است. نمودار روزانه تبخیر- تعرق ریحان علاوه بر برخورداری از روند صعودی و نزولی دارای تکرار نوسانی نیز می‌باشد. این نوسانات در زمان قبل از برداشت اول به اوج خود رسیده و پس از چیدن برگ‌ها روند نزولی به خود می‌گیرد. این فراز و فرودها در کل نمودار قابل مشاهده می‌باشد.

روند تغییرات روزانه تبخیر- تعرق گیاه ریحان با استفاده از دستگاه REC-P55 در شکل 1- ب نشان داده شده است. نتایج نشان می‌دهد که بیش‌ترین میزان تبخیر- تعرق اندازه‌گیری شده با استفاده از دستگاه به میزان 12/7 میلی‌متر پس از 63 روز از تاریخ کشت (1393/04/18) در تیر ماه بدست آمد. متوسط تبخیر- تعرق اندازه‌گیری شده توسط دستگاه، در ابتدای دوره رشد ریحان 3/38 میلی‌متر بوده است که این میزان با افزایش دوره کشت به میزان 8/60 میلی‌متر در دوره میانی افزایش یافته است. هم‌چنین در شکل 1- ب نوسانات تبخیر- تعرق به خوبی مشهود است که علت آن نیز برداشت ریحان طی دوره کشت می‌باشد.

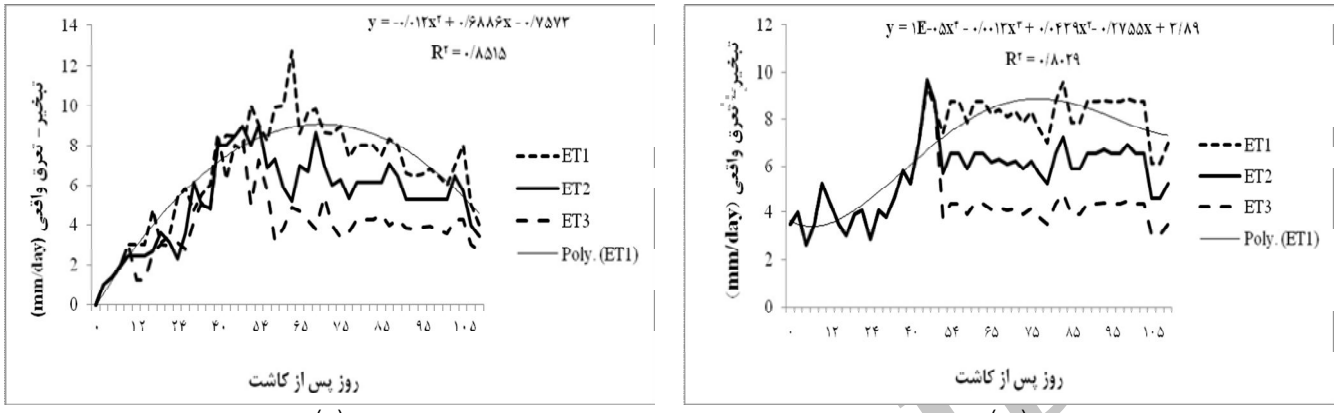
محاسبه ضریب گیاهی

تغییرات روزانه ضریب گیاهی ریحان در تیمارهای مختلف آبیاری

Archive of SID

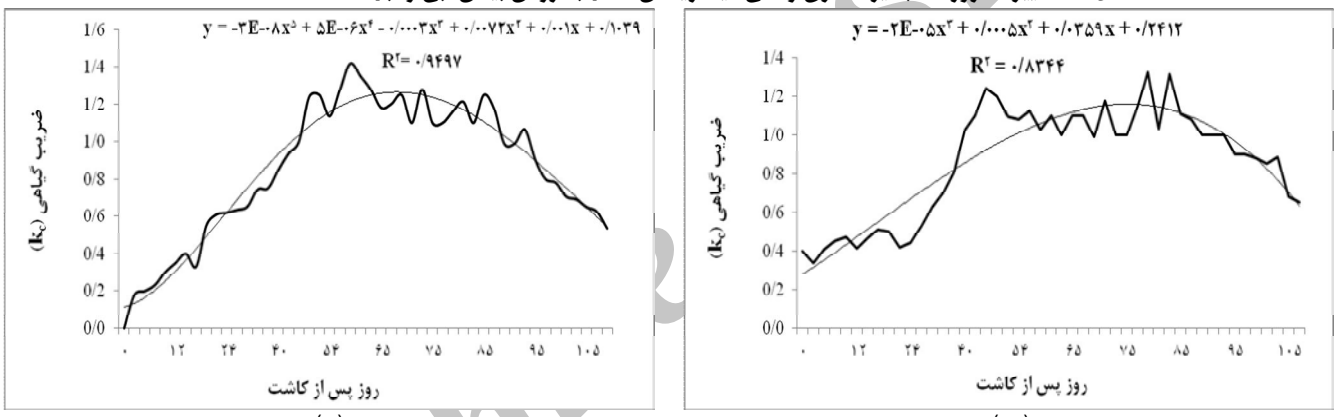
www.SID.ir

در شکل 2- الف و 2- ب نشان داده شده است. معادله خط برازش داده شده نشان می‌دهد که ضریب گیاهی در ابتدای دوره رشد کم-ترین میزان بوده است و با افزایش دوره رشد، مقدار ضریب گیاهی نیز افزایش یافته است به طوری که بیش‌ترین ضریب گیاهی ریحان در تیر ماه به میزان 1/42 بدست آمده است.



(ب) (الف)

شکل 1- تغییرات روزانه تبخیر- تعرق واقعی گیاه ریحان: الف) به روش بیلان آبی و ب) دستگاه REC-P55



(ب) (الف)

شکل 2-تغییرات ضریب گیاهی در طول فصل رشد در تیمار آبیاری کامل: الف) روش بیلان آبی و ب) دستگاه REC-P55

پس از محاسبه تبخیر- تعرق مرجع با استفاده از داده‌های هواشناسی منطقه در طول فصل کشت و هم‌چنین محاسبه تبخیر و تعرق گیاه به روش بیلان آبی، ضریب یک جزئی گیاه ریحان (k_c) محاسبه گردید. با تعیین طول مراحل رشد با توجه به دستورالعمل FAO-56 ضرایب گیاهی برای هر مرحله، محاسبه و در جدول 5 نشان داده شده است. ضریب گیاهی ریحان در مرحله رشد اولیه (Initial)، توسعه (Development)، میانی (Middle) و انتهایی (Late) رشد به ترتیب معادل 0/48، 1/05، 1/11 و 0/95 برآورد گردید. مقایسه ضریب گیاهی منفرد اندازه‌گیری شده و ضریب گیاهی پیشنهادی توسط فائو-56، بیانگر نزدیکی قابل قبولی بین مقادیر اندازه‌گیری شده و پیشنهادی است. مقدار پیشنهادی فائو نسبت به مقدار اندازه‌گیری شده در دوره سوم 15 درصد کم‌تر است.

مقدار ضریب گیاهی ریحان در ماه اول کم‌ترین و در ماه سوم بیش‌ترین مقدار را به خود اختصاص داده است (جدول 5). دلیل آن رشد اولیه گیاه تا به مرحله چند برگی می‌باشد که در این مرحله به جهت کم بودن سطح گیاه و اندام هوایی نیاز آبی کم می‌باشد و به مرور زمان با ادامه رشد رویشی و ورود به مرحله زایشی ضریب گیاهی روند افزایشی داشته و نهایتاً در ماه سوم که با گلدهی گیاه مصادف است میزان فتوسنتز و تنفس بالا رفته و نیاز آبی گیاه به حداکثر خود می‌رسد که در این مرحله برداشت صورت می‌گیرد و پس از آن ضریب گیاهی کاهش می‌یابد. این موضوع دلیل افزایش و کاهش متوالی ضریب گیاهی می‌باشد (عابدی کوپایی و همکاران، 1390).

Archive of SID

www.SID.ir

جدول 5- مراحل رشد ریحان در تیمار آبیاری کامل و مقدار ضریب گیاهی

روز پس از کشت	30	60	90	110
طول دوره	16	44	32	18
ضریب گیاهی(محاسبه شده)	0/48	1/05	1/11	0/95
ضریب گیاهی (FAO 56)	0/6	-	1/15	1/1

همانند گیاهان زراعی، در گیاهان دارویی نیز تعیین ضرایب گیاهی و استفاده از جدول‌های نیاز آبی از اهمیت به‌سزایی برخوردار بوده و می‌تواند عامل تعیین‌کننده‌ای در کمیت و کیفیت تولید باشد. زیرا گیاهان در مراحل مختلف رشد حساسیت‌های متفاوتی نسبت به خشکی داشته، بنابراین با استفاده از جدول‌های نیاز آبی گیاه و با اعمال مدیریت صحیح در تنش و آبیاری در مراحل مختلف رشد، می‌توان عملکردهای کمی و کیفی گیاهان دارویی را کنترل نمود (شریفی عاشور آبادی و همکاران، 1391).

کارایی مصرف آب (WUE)

نتایج آنالیز واریانس کارایی مصرف آب بر حسب عملکرد تر برگ ریحان (WUE_{wet}) در جدول 6 ارائه شده است. نتایج نشان می‌دهد که آبیاری، بافت خاک اثر معنی‌داری روی کارایی مصرف آب دارد به طوری که در سطح احتمال 0/01 معنی‌دار شده است. نتایج نشان داد که تیمار کودی نانو کود در سطح احتمال 0/05 معنی‌دار شده است. نتایج مقایسه میانگین‌های اثر متقابل تیمارهای سه‌گانه (جدول 7) نشان داد که بیش‌ترین کارایی مصرف آب در تیمار $S_2I_3F_3$ به میزان 2/06 کیلوگرم در مترمکعب بدست آمد در حالی که کم‌ترین کارایی مصرف آب در تیمار $S_1I_1F_3$ (0/34 کیلوگرم در مترمکعب) بدست آمد.

نتایج آنالیز واریانس کارایی مصرف آب بر حسب عملکرد خشک برگ ریحان (WUE_{dry}) نشان می‌دهد که آبیاری، بافت خاک و اثر متقابل سه‌گانه، اثر معنی‌داری روی کارایی مصرف آب دارد به طوری که در سطح احتمال 0/01 معنی‌دار شده است. در حالی که تیمار کودی نانو کود معنی‌دار نشده است. هم‌چنین مقایسه میانگین اثر متقابل تیمارهای سه‌گانه (جدول 7) روی WUE_{dry} نشان داد که بیش‌ترین میانگین کارایی در تیمار $S_2I_3F_3$ (0/37) و کم‌ترین کارایی مصرف آب در تیمار $S_2I_1F_3$ (0/05) بدست آمد.

نتایج آنالیز واریانس کارایی مصرف آب بر حسب عملکرد دانه ریحان (WUE_{seed}) نشان می‌دهد که فقط تیمار نانو کود (F) اثر معنی‌داری روی کارایی مصرف آب دارد به طوری که در سطح احتمال 0/05 معنی‌دار شده است. با توجه به اینکه اثر متقابل سه‌گانه روی کارایی مصرف آب دانه ریحان معنی‌دار نشده است، لذا تمام تیمارها در یک سطح قرار گرفتند. با این حال بیش‌ترین میانگین در تیمار $S_1I_2F_2$ (0/37 کیلوگرم در مترمکعب) بدست آمد.

حمزه زاده و همکاران (1390) در تحقیقی که روی کارایی مصرف آب گیاه ریحان رقم کشکنی لو لو انجام دادند، نتایج آن‌ها نشان داد که کارایی مصرف آب بیشینه (WUE_{max}) در عملکرد بیشینه اتفاق نمی‌افتد. هم‌چنین نتایج حاصل از تحقیق آن‌ها نشان داد که مقدار تبخیر- تعرق در شرایط عملکرد بیشینه 8 درصد بیش‌تر از تبخیر- تعرق در شرایط کارایی مصرف آب بیشینه می‌باشد، در صورتی که مقدار عملکرد 4/2 درصد افزایش یافته است.

در تحقیق حاضر نیز بیش‌ترین عملکرد تر و خشک برگ در تیمار آبیاری کامل $S_2I_1F_1$ به میزان 0/33 و 0/063 کیلوگرم بر مترمربع بدست آمده است در حالی که بیش‌ترین میانگین کارایی مصرف آب در تیمار کم آبیاری بدست آمده است.

در شکل 3 میانگین اثرات ساده کارایی مصرف آب در تیمارهای مختلف ارائه شده است به طوری که بیش‌ترین WUE_{wet} در تیمارهای کم آبیاری (I_1 و I_2) و تیمار شاهد بدست آمد.

جدول 6- نتایج آنالیز واریانس کارایی مصرف آب (WUE)

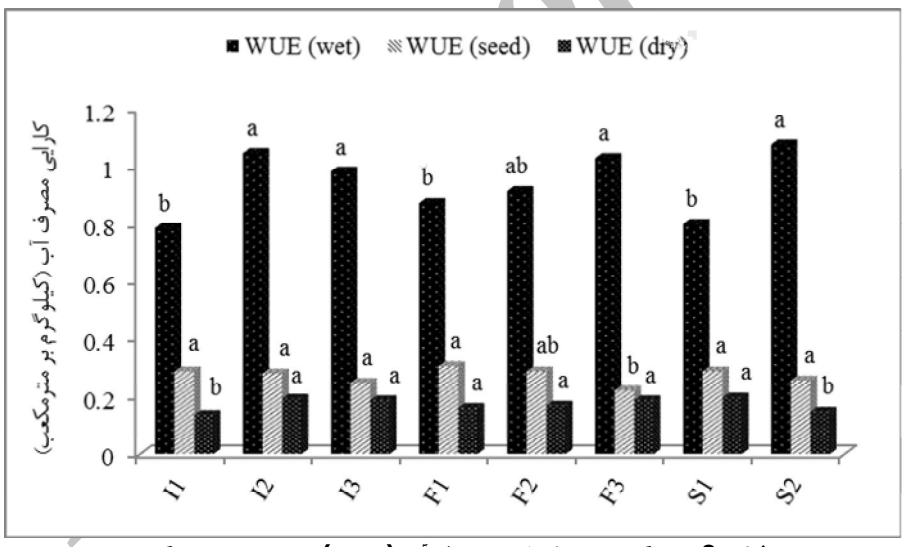
منابع تغییر	درجه آزادی	بر حسب عملکرد تر	بر حسب عملکرد خشک برگ	بر حسب عملکرد دانه
S	1	1/03**	0/032**	0/013^{ns}
I	2	0/33**	0/017**	0/008^{ns}
F	2	0/11*	0/003^{ns}	0/035*
اثر متقابل S*I	2	0/14*	0/006*	0/003^{ns}
اثر متقابل S*F	2	0/09^{ns}	0/003^{ns}	0/017^{ns}
اثر متقابل I*F	4	0/47**	0/013**	0/001^{ns}
اثر متقابل S*I*F	4	1/05**	0/035**	0/007^{ns}
خطا	36	0/03	0/001	0/008
خطای کل	53	9/63	0/33	0/492

Archive of SID

www.SID.ir

جدول 7- مقایسه میانگین اثر متقابل سه‌گانه بر کارایی مصرف آب

WUE_{seed} (kg/m^3)	WUE_{dry} (kg/m^3)	WUE_{wet} (kg/m^3)	F	I	S
$0/33^{a}$	$0/11^{def}$	$0/69^{def}$	1		
$0/33^{a}$	$0/13^{def}$	$0/76^{def}$	2	1	
$0/29^{a}$	$0/14^{def}$	$0/82^{cdef}$	3		
$0/33^{a}$	$0/13^{def}$	$0/73^{def}$	1		
$0/37^{a}$	$0/09^{ef}$	$0/58^{ef}$	2	2	1
$0/21^{a}$	$0/25^{bc}$	$1/32^{bc}$	3		
$0/22^{a}$	$0/13^{def}$	$0/70^{def}$	1		
$0/28^{a}$	$0/16^{cde}$	$0/84^{cdef}$	2	3	
$0/23^{a}$	$0/13^{def}$	$0/76^{def}$	3		
$0/35^{a}$	$0/20^{bcd}$	$1/18^{bcd}$	1		
$0/28^{a}$	$0/15^{cdef}$	$0/94^{cde}$	2	1	
$0/16^{a}$	$0/05^{f}$	$0/34^{f}$	3		
$0/30^{a}$	$0/20^{bcd}$	$1/13^{bcd}$	1		
$0/22^{a}$	$0/29^{ab}$	$1/65^{ab}$	2	2	2
$0/22^{a}$	$0/15^{cdef}$	$0/84^{cdef}$	3		
$0/32^{a}$	$0/15^{cdef}$	$0/83^{cdef}$	1		
$0/22^{a}$	$0/15^{def}$	$0/84^{cdef}$	2	3	
$0/19^{a}$	$0/37^{a}$	$2/06^{a}$	3		



شکل 3- میانگین ساده کارایی مصرف آب (WUE) در تیمارهای سه‌گانه

ضریب کاهش نسبی عملکرد (k_y)

k_y ضریب کاهش نسبی عملکرد متأثر از کاهش تبخیر- تعرق گیاه تحت تنش آبی است که در جدول 8 برای گیاه ریحان ارائه شده است. به طور کلی کاهش عملکرد تحت تنش آبی در دوره رشد رویشی و رسیدن محصول، کم‌تر و در دوره‌های گل‌دهی و تشکیل میوه بیش‌تر است. ضریب حساسیت گیاه به تنش در سال دوم کشت بیش‌تر از سال اول می‌باشد به طوری که مقدار آن در سال اول و دوم کشت به ترتیب 1/35 و 1/82 بدست آمد.

جدول 8- میانگین k_y در دوره رشد گیاه تحت تنش آبی

	$1-Y/Y_{max}$	$1-ET/ET_{max}$	k_y
سال اول کشت	0/63	0/47	1/35
سال دوم کشت	0/44	0/28	1/82

Archive of SID

www.SID.ir

تعیین توابع آب- مصرفی عملکرد و آب مصرفی هزینه

جهت بهینه‌سازی عمق آبیاری از مدل انگلیش و همکاران استفاده شد. مدل مذکور برای انجام محاسبات مربوط به اعماق شاخص و بهینه به تعیین توابع آب مصرفی- عملکرد و آب مصرفی- هزینه نیاز دارد. همان‌گونه که اشاره شد برای تعیین توابع آب مصرفی- عملکرد از متوسط داده‌های عملکرد و عمق آب مصرفی در سطوح مختلف آبیاری در سال اول و دوم کشت استفاده شد و مناسب‌ترین توابع ریاضی به دست آمد که نتایج آن در جدول 9 ارائه شده است.

نتایج تابع آب مصرفی- عملکرد و تابع آب مصرفی- هزینه برای روش‌های مختلف محاسبه عمق آبیاری در جدول 9 ارائه شده است. نتایج نشان داد مدل بیلان آبی دارای ضریب تعیین (R^2=0/85) بهتری نسبت به مدل‌های تشت تبخیر و REC-P55 دارد.

جدول 9- نتایج حاصل از تعیین عمق‌های بهینه گیاه ریحان

روش محاسبه عمق آبیاری	تابع آب مصرفی- عملکرد	R^2	تابع آب مصرفی- هزینه
تشت تبخیر	*$Y(W)=-2.866W^2+428.92W-1022$	0/82	*C(W)= 85000W+10000000
بیلان آبی	$Y(W) -2.2302W^2 + 303.85W - 4437.9$	0/85	C(W)= 85000W+10000000
REC-P55	$Y(W) = -1.9973W^2 + 267.18W - 3042.2$	0/83	C(W)= 85000W+10000000

* Y: برابر است با عملکرد ریحان بر حسب کیلوگرم در هکتار، W: عمق آب مصرفی بر حسب سانتی‌متر می‌باشد، C: تابع هزینه بر حسب ریال

محاسبه عمق‌های بهینه شاخص

عمق آب مصرفی در شرایط محدودیت زمین (W_l)، عمق آب مصرفی در شرایط محدودیت آب (W_w)، عمق معادل آبیاری بیشینه (W_{el}) و بیشینه عمق آب مصرفی (W_m) با توجه به مدل ارائه شده توسط انگلیش (English., 1990) و هم‌چنین بر اساس توابع تولید و هزینه محاسبه شد که نتایج آن در جدول 10 ارائه شده است. در اثر کم آبیاری ریحان نسبت به آبیاری بیشینه مقداری آب صرفه‌جویی می‌شود، که بر اساس مقدار عمق آب صرفه‌جویی شده سطح جدیدی را به زیر کشت برد و عملکرد کل را افزایش داد و در نهایت باعث افزایش درآمد شد. نتایج نشان می‌دهد که عمق آبیاری بیشینه به روش تشت تبخیر برای ریحان 74/82 سانتی‌متر می‌باشد که از مقدار عمق می‌توان 9/52 سانتی‌متر را صرفه‌جویی کرد و سطح زیر کشت را 0/13 هکتار افزایش داد. در حالی که در روش بیلان آبی سطح زیر کشت را می‌توان 0/21 هکتار افزایش داد.

با توجه به افزایش سطح زیر کشت در اثر کم آبیاری، امکان افزایش سطح زیر کشت برای شرایط محدودیت آب نسبت به آبیاری بیشینه به میزان حدود 20 درصد برای گیاه ریحان وجود دارد، لذا در شرایط یکسان و در حالتی که محدودیت زمین وجود نداشته باشد می‌توان سود بیش‌تری را عاید ساخت. در جدول 11 نتایج تحلیل اقتصادی و میزان سود و هزینه برای گیاه ریحان ارائه شده است. نتایج نشان می‌دهد که بیش‌ترین بازده ریالی به ازای هر مترمکعب آب در حالت محدودیت آب برای گیاه ریحان 1849 ریال می‌باشد.

جدول 10- نتایج حاصل از تعیین عمق‌های بهینه گیاه ریحان

روش محاسبه عمق آبیاری	عمق صرفه جویی شده (سانتی‌متر)	عمق آبیاری بیشینه (سانتی‌متر)	عمق آب مصرفی در شرایط محدودیت آب (سانتی‌متر)	عمق آب مصرفی در شرایط محدودیت زمین (سانتی‌متر)
تشت تبخیر	9/52	74/82	65/30	71/86
بیلان آبی	14/39	68/12	53/73	64/32
REC-P55	16/64	66/89	50/24	62/64

جدول 11- نتایج تحلیل اقتصادی و میزان سود و هزینه به روش انگلیش (English., 1990)

روش محاسبه عمق آبیاری	بازده ریالی هر مترمکعب آب (ریال)	سود خالص در هکتار (ریال)	هزینه کل (ریال)	درآمد کل (ریال)
تشت تبخیر	1720	15444861	16383792	31828653
بیلان آبی	1849	16602975	17598092	34201067
REC-P55	1907	17118584	18141909	35260493

نتیجه‌گیری

نتایج روند تغییرات روزانه تبخیر- تعرق واقعی گیاه ریحان به روش بیلان آبی نشان داد که بیش‌ترین میزان تبخیر- تعرق 9/6 میلی‌متر پس از 83 روز از تاریخ کشت در مرداد ماه (1393/05/07)

Archive of SID

www.SID.ir

بدست آمد. روند تغییرات روزانه تبخیر- تعرق گیاه ریحان با استفاده از دستگاه REC-P55 نیز نشان داد که بیش‌ترین میزان تبخیر- تعرق اندازه‌گیری شده با استفاده از دستگاه به میزان 12/7 میلی‌متر پس از 63 روز از تاریخ کشت (1393/04/18) در تیر ماه بدست آمد.

متوسط تبخیر- تعرق اندازه‌گیری شده توسط دستگاه، در ابتدای دوره رشد ریحان 3/38 میلی‌متر بوده است که این میزان با افزایش دوره کشت به میزان 8/60 میلی‌متر در دوره میانی افزایش یافته است. مقایسه ضریب گیاهی منفرد اندازه‌گیری شده و ضریب گیاهی پیشنهادی توسط فائو-56، بیانگر نزدیکی قابل قبولی بین مقادیر اندازه‌گیری شده و پیشنهادی است. مقدار پیشنهادی فائو نسبت به مقدار اندازه‌گیری شده در دوره سوم 15 درصد کم‌تر است. بیش‌ترین میزان کارایی مصرف آب (WUE) بر حسب عملکرد تر و خشک در تیمار $S_2I_3F_3$ به میزان 2/06 و 0/37 کیلوگرم در مترمکعب بدست آمد. در حالی که بیش‌ترین کارایی مصرف آب بر حسب عملکرد دانه در تیمار $S_1I_2F_2$ (0/37کیلوگرم در مترمکعب) بدست آمد. ضریب کاهش نسبی عملکرد k_y تحت تنش آبی در سال اول و دوم کشت به ترتیب 1/35 و 1/82 بدست آمد که نشان‌دهنده حساسیت گیاه ریحان به تنش آبی است. توابع آب- مصرفی عملکرد و آب مصرفی هزینه برای گیاه ریحان بدست آمد و در ادامه عمق آب مصرفی در شرایط محدودیت زمین (W_l)، عمق آب مصرفی در شرایط محدودیت آب (W_w)، عمق معادل آبیاری بیشینه (W_{el}) و بیشینه عمق آب مصرفی (W_m) با توجه به مدل ارائه شده توسط انگلیش (Emglish., 1990) و بر اساس توابع تولید و هزینه محاسبه شد. نتایج بهینه‌سازی عمق آب مصرفی نشان داد که عمق آبیاری بیشینه برای ریحان 68/12 سانتی‌متر می‌باشد که از مقدار عمق می‌توان 14/39 سانتی‌متر را صرفه‌جویی کرد و 0/21 هکتار سطح زیر کشت را افزایش داد و یا این مقدار آب را جهت ذخیره منابع آبی به‌کار برد. در نهایت بازده ریالی برای هر مترمکعب آب مصرفی 1849 ریال بدست آمد.

منابع

انصاری،ح. 1386. تعیین عمق شاخص و بهینه آبیاری در ذرت‌های زودرس با هدف احتساب حداکثر سود. مجله آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی).22 .2: 107-115.

انصاری،ح.، سالاریان،م.، تکرلی،ع.، بایرام،م. 1393. تعیین عمق بهینه آبیاری برای محصول گندم و گوجه‌فرنگی به کمک مدل Aquacrop (مطالعه موردی مشهد). نشریه آبیاری و زهکشی ایران. 1 .8: 95-86.

سپاسخواه،ع.ر.، توکلی،ع.ر و موسوی،س.ف. 1385. اصول و کاربرد کم آبیاری. کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران. 288 صفحه.

شریفی عاشور آبادی،ا.، روحی پور،ح.، عصاره،م.ح و لباسچی،م.ح. 1391. تعیین نیاز آبی گیاه دارویی بومادران (*Achillea millefolium* L) با استفاده از لایسیمتر. فصلنامه تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران. 28 .3: 492-484.

عابدی کوپایی،ج.، اسلامیان،س.، و زارعیان،م.ج. 1390. اندازه‌گیری و مدل‌سازی نیاز آبی و ضریب گیاهی خیار، گوجه فرنگی و فلفل با استفاده از میکرو لایسیمتر در گلخانه. مجله علوم و فنون کشت-های گلخانه‌ای. 2 .7: 51-63.

چتر نور،م.، رسول‌زاده،ع.، رحمانیان،م.، اسماعیل پور،ب.، و عبدل پور دلال،ع. 1390. اندازه‌گیری نیاز آبی و ضریب گیاهی ریحان در اردبیل. ششمین همایش ملی ایده‌های نو در کشاورزی. دانشگاه آزاد اسلامی خوراسگان.

حمزه‌زاده،م.، فتحی،پ.، جوادی،ت.، و حسنی،ع. 1390. بررسی تأثیر سطوح مختلف آب آبیاری بر کارایی مصرف آب در گیاه ریحان رقم کشکنی لولو با استفاده از تئوری آنالیز حاشیه‌ای. نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی). 25,5: 960-953.

Allen,R.G., Pereira,L.S., Raes,D and Smith,M. 1998. Crop evapotranspiration: guidelines forcomputing crop water requirements. Irrigation and Drainage Paper n. 56. FAO, Rome, Italy, 300pp.

Andarzian,B., Bannayan,M., Steduto,P., Mazraeh,H., Barati,M.E., Barati,M.A and Rahnama,A. 2011. Validation and testing of the AquaCrop model under full and deficit irrigated wheat production in Iran, Agricultural Water Management 100: 1– 8.

Domíngueza,A., Tarjueloa,J.M., de Juana,J.A., López-Mataa,E., Breidyb,J and Karamc,F. 2011. Deficit irrigation under water stress and salinity conditions: The MOPECO-Salt Model, Agricultural Water Management 98: 1451– 1461.

English,M.J and Nuss,G.S. 1982. Designing for deficit irrigation. ASCE, Journal of Irrigation. And Drainage. Engeering. 108.2: 91-106.

English,M.J. 1990. Deficit irrigation: Analytic framework. ASCE, Journal of Irrigation. And Drainage. Engeering.. 116.3: 399-412.

English,M.J., Musick,J.T and Murty,V.N. 1990. Deficit irrigation. PP. 631-663. In: Hoffman,G.J., Howell,T.A and Solomon,K.H. (Eds.), Management of Farm Irrigation Systems, ASAE, St. Joseph, Michigan.

English,M and Raja,S.N. 1996. Perspective on deficit irrigation. Agric. Water Manage. 32: 1-14.

García-Vilaa,M., Fereresa,E. 2012. Combining the simulation crop model AquaCrop with an economic model for the optimization of irrigation management at farm level, Europe. Journal. Agronomy. 36: 21-

Archive of SID

www.SID.ir

mediterranean environment, Agricultural Water Management. 98: 597–605.

31.

Unlu,M., Kanber,R., Levent Koc,D., Tekin,S., Kapur,B. 2011. Effects of deficit irrigation on the yield and yield components of drip irrigated cotton in a

Archive of SID

www.SID.ir

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 3, Vol. 10, Jul.-Agu. 2016, p. 365-376

نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره 3، جلد 10، مرداد - شهریور 1395، ص. 376-365

Determination of Water-Yield Basil Function Under the Terms of Deficit Irrigation and Nano Fertilizer Application

M. Naderianfar[1]

Recived: Jun.06, 2016 Accepted: Aug.31, 2016

Abstract

Basil (Ocimum basilicum L.) is one of the important aromatic plants belonging to the genus Lamiaceae, which is used as a herb, spice as well as fresh vegetable.The present study was performed to determine the irrigation depth index under different management conditions with evaluating the effect of deficit irrigation, soil texture and nano fertilization on herbal basil yield. The experiment was performed as a factorial based on randomized complete block design (RCBD) with 18 treatments and three replications at weather station, Ferdowsi University of Mashhad. Deficit irrigation treatments consisted of three levels of irrigation (I1=100% ETc), (I2=75% ETc), (I3=50% ETc) and three levels of nano fertilizers, containing nano fertilizer with full concentration (F1), 70% (F2), and non-using of nano fertilizer (F3) were implemented in two light soil texture (S1) and medium soil texture (S2). The results showed that the average actual evapotranspiration estimation by REC-P55 device has been equal to 3.38 mm at the beginning of the growing period of Basil, which amount has increased to 8.60 mm with increased cultivation period in the middle period. The results of plant coefficient analysis showed that the maximum kc of basil (1.42) was detected in July. The results also indicated that the highest water use efficiency (WUE) was obtained in terms of fresh and dry yield as 2.06 and 0.37 kg/m3 in S2I3F3 treatment, respectively, while the maximum water use efficiency in terms of seed yield (0.37 kg/m3) was obtained in S1I2F2 treatment. Using the research results, according to different levels of water use of functions of yield Y(W), cost C(W), and benefit B(W) for Basil based on mathematical and economic analysis of these functions, irritation index and optimal depths were evaluated. It was found that with deficit irrigation under water restriction conditions, with the aim of maximum use of water volume unit, the optimal water consumption depth will be reduced by 20% compared to maximum irrigation mode. Also, with this amount of deficit irrigation, the maximum Rial return per cubic meter of water consumption would be as 1849 Rials.

Keywords: Nano Fertilizer, Deficit Irrigation, Yield Function, Optimum Irrigation Depth

Archive of SID

1- Assistant Professor, Water Engineering Department, Jiroft University, Kerman - Iran
Email: Naderian.mohamad@yahoo.com

www.SID.ir