مدیریت آب و آبیاری

دوره ۴ ■ شماره ۱ ■ بهار و تابستان ۱۳۹۳

صفحه‌های ۳۲-۱۹

ارزیابی تحمل به خشکی به‌منظور افزایش بهره‌وری مصرف آب در بزرک

پروانه عسگری‌نیا[۱]، آقافخر میرلوحی*[۲]، قدرت‌الله سعیدی[۲]، مهدی قیصری[۳]، علی‌اکبر محمدی میریک[۴]، وحیده‌سادات رضوی[۵]

۱. دانشجوی دکتری گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکدهٔ کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران

۲. استاد گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکدهٔ کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران

۳. استادیار گروه مهندسی آب، دانشکدهٔ کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران

۴. استادیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکدهٔ کشاورزی، دانشگاه ولیعصر رفسنجان، رفسنجان، ایران

۵. کارشناس ارشد گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران

تاریخ وصول مقاله: ۱۳۹۲/۸/۴ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۲/۹/۱۱

چکیده

انتخاب رقم پرمحصول و مقاوم به تنش با بیشترین کارایی و بهره‌وری مصرف آب، از مهم‌ترین ابزارهای مدیریت آب در مزرعه در مناطق خشک و نیمه‌خشک است. این پژوهش به‌منظور شناسایی فامیل‌های مقاوم و متحمل به تنش خشکی با بیشترین بهره‌وری مصرف آب در بین ۱۱۹ فامیل $F_{2:3}$ حاصل تلاقی یک لاین داخلی (KO37) با یک لاین کانادایی (SP1066) در دو محیط تنش و عدم تنش رطوبتی انجام گرفت. نتایج مقایسهٔ میانگین صفات نشان داد که جمعیت تفرق‌یافتهٔ حاصل، دارای تنوع کافی از نظر تحمل به تنش خشکی و عملکرد دانه بود. براساس صفت بهره‌وری مصرف آب، فامیل‌های ۳۸، ۳۹، ۷۲، ۷۴ و ۱۱۹ که بهره‌وری مصرف آب زیادی در هر دو وضعیت تنش (به‌طور میانگین ۰/۴۷ کیلوگرم بر متر مکعب) و عدم تنش رطوبتی (به‌طور میانگین ۰/۶۳کیلوگرم بر متر مکعب) داشتند، به‌عنوان متحمل‌ترین فامیل‌ها به خشکی معرفی شدند. براساس ترسیم تری‌پلات حاصل از شاخص STI و بهره‌وری مصرف آب در هر دو وضعیت تنش و عدم تنش رطوبتی، فامیل‌های مذکور به‌عنوان مطلوب‌ترین فامیل‌ها معرفی شدند. نسل‌های پیشرفتهٔ حاصل از این فامیل‌ها می‌توانند در برنامه‌های اصلاحی آینده شامل بهبود و تولید اینبرد لاین‌های با عملکرد زیاد و مقاوم به خشکی در بزرک به‌منظور افزایش بهره‌وری مصرف آب، صرفه‌جویی در منابع آب و مدیریت آب در مزرعه استفاده شوند.

کلیدواژه‌ها: آبیاری قطره‌ای، تنش رطوبتی، جمعیت F_3، شاخص STI، گیاه دانه‌روغنی.

* نویسنده مسئول Email: mirlohi@cc.iut.ac.ir

مقدمه

بزرک[1] گیاهی دومنظوره است که از الیاف ساقه و همچنین روغن دانهٔ آن در صنعت، داروسازی و نیز به‌عنوان غذای انسان و دام استفاده می‌شود. این گیاه از نظر تولید روغن خوراکی بعد از خردل، کنجد و بادام زمینی قرار دارد [۲۴]. با توجه به اینکه این گیاه دارای ویژگی‌های مطلوبی از جمله ارزش غذایی زیاد (حاوی ۵۵ تا ۵۷ درصد آلفا لینولنیک اسید یا ω_3)، نیاز کم به نیتروژن، مقاومت نسبی به تنش‌های محیطی از جمله خشکی، و سازگاری به وضعیت نامساعد محیطی است [۳۰،۳۹]، مطالعه دربارهٔ آن، می‌تواند گامی مؤثر در تأمین بخشی از نیاز کشور به روغن‌های خوراکی و صنعتی گیاهی باشد. این گیاه به‌طور وسیع در کانادا، هند، چین، روسیه، مصر، بلژیک و فرانسه کشت می‌شود [۲۴]. به‌تازگی کشت بزرک در ایران نیز مورد توجه کشت‌وصنعت‌های گیاهان دارویی و صنعت روغن کشور قرار گرفته و تحقیقاتی در زمینه‌های مختلف دربارهٔ آن آغاز شده است [۲۵،۲۰،۳،۲،۱].

کمبود منابع آب یکی از محدودیت‌های بزرگ برای تولید محصول در مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران است [۲۲]. به‌منظور گذر از این محدودیت، راهکارهایی شامل بهینه‌سازی هزینه‌ها، عملکرد و کیفیت [۱۴]، استفاده از واریته‌های مناسب با سازگاری به وضعیت تنش و بهره‌وری مصرف آب (IWP) زیاد [۳۲] و استفاده از مدیریت کم‌آبیاری [۸، ۱۲،۱۳]، پیشنهاد شده است. بهره‌وری مصرف آب، مقدار محصول تولیدشده (دانه، زیتوده) به‌ازای مقدار آب مصرفی (شامل آب آبیاری، ذخیرهٔ رطوبتی خاک و باران) است [۳۳]. بهره‌وری مصرف آب به‌عنوان شاخصی مناسب برای ارزیابی نوع سیستم آبیاری [۱۸]، مدیریت آبیاری [۱۳، ۳۸]، مدیریت کود [۴، ۳۷،۱۳] و نوع واریته [۳۶،۳۲]، برای بسیاری از گیاهان زراعی استفاده شده است، اما مطالعات محدودی دربارهٔ ارزیابی بهره‌وری مصرف آب در بزرک و شناسایی ارقام متحمل به خشکی انجام گرفته است [۴۰، ۳۱].

برای شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی، چند معیار کمی مبتنی بر کاهش عملکرد تحت وضعیت تنش در مقایسه با وضعیت عدم تنش پیشنهاد شده است [۱۰، ۱۱، ۲۹ ، ۳۴]. شاخص STI برای شناسایی ژنوتیپ‌هایی که عملکرد زیادی تحت هر دو وضعیت تنش و عدم تنش تولید می‌کنند معرفی شده است و ژنوتیپ‌هایی که STI بیشتری دارند متحمل‌تر به تنش خشکی هستند [۱۰]. شاخص STI مناسب‌ترین شاخص برای شناسایی ارقام متحمل در بزرک معرفی شده است [۲]. کارایی زیاد شاخص STI در شناسایی ارقام مقاوم به تنش و دارای عملکرد زیاد قبلاً نیز در گندم [۲۷ ، ۳۵]، جو [۱۵ ، ۲۶]، گلرنگ [۲۳]، کلزا [۲ ، ۲۱] و ذرت [۱۷] گزارش شده است. همچنین کارایی نسبی شاخص‌های STI، GMP و MP در برنامه‌های اصلاحی به‌منظور تعیین فامیل‌های متحمل به خشکی در بین فامیل‌های F_3 و F_4 گندم دوروم [۱۶] و فامیل‌های F_5 پرعملکرد برنج [۲۸] قبلاً گزارش شده است.

با توجه به محدودیت منابع آب استفاده از گیاهان کم‌نیاز به آب و سازگار به وضعیت تنش، راهکاری مطلوب در کشاورزی پایدار است. بزرک گیاهی کم‌توقع از نظر مواد مغذی است [۳۰ ، ۳۹]، بنابراین شناسایی ارقام پرمحصول و متحمل آن می‌تواند بستر را برای توسعهٔ کشت بزرک در مناطق کم‌آب ایران فراهم آورد. هدف از این مطالعه، ارزیابی اثر تنش خشکی بر عملکرد دانه و شناسایی فامیل‌های مقاوم و متحمل به تنش خشکی با بهره‌وری مصرف آب زیاد در بین ۱۱۹ فامیل $F_{2:3}$ حاصل از تلاقی یک لاین داخلی (KO37) با یک لاین کانادایی (SP1066) در دو محیط تنش و عدم تنش رطوبتی بود.

1. *Linum usitatissimum* L.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در مزرعهٔ تحقیقاتی دانشکدهٔ کشاورزی دانشگاه صنعتی اصفهان واقع در لورک نجف‌آباد که در ۴۰ کیلومتری جنوب غربی اصفهان در عرض جغرافیایی ۳۲ درجه و ۲۲ دقیقهٔ شمالی و طول جغرافیایی ۵۱ درجه و ۳۲ دقیقهٔ شرقی واقع شده، انجام گرفت. ارتفاع مزرعه از سطح دریا ۱۶۳۰ متر و متوسط بارندگی و دمای منطقه به‌ترتیب ۱۴۰ میلی‌متر و ۱۴ درجهٔ سانتی‌گراد است. بافت خاک سایت آزمایش، لومی رسی، وزن مخصوص ظاهری لایهٔ صفر تا ۳۰ سانتی‌متر خاک ۱/۴ گرم بر سانتی‌متر مکعب، متوسط اسیدیته ۷/۵، هدایت الکتریکی ۱/۸ دسی‌زیمنس بر متر و رطوبت خاک در حد ظرفیت مزرعه ۲۲ درصد وزنی بود.

ژنوتیپKO37 که یک لاین اصلاحی داخلی گزینش‌شده از تودهٔ کردستان است و ژنوتیپ کانادایی SP1066، در دو وضعیت محیطی تنش و عدم تنش رطوبتی در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با سه تکرار و چهارصد بذر F_2 حاصل تلاقی بین آنها به فاصلهٔ یک سانتی‌متر از یکدیگر در اوایل اردیبهشت ۱۳۹۰ در مزرعهٔ تحقیقاتی دانشگاه صنعتی اصفهان کشت شدند. بذور F_3 حاصل از ۱۱۹ بوتهٔ F_2، به‌صورت مجزا در اوایل مرداد ۱۳۹۰ برداشت شدند و در اواخر اسفند ۱۳۹۰، بذور هر بوتهٔ F_2 به‌همراه دو والد در ردیف‌های مجزایی در دو وضعیت محیطی تنش و بدون تنش رطوبتی در قالب طرح لاتیس ساده (۱۱×۱۱) با سه تکرار کشت شدند. بذور F_4 حاصل از هر فامیل F_3 در اواسط تیر ماه ۱۳۹۱ برداشت شدند. هر واحد آزمایشی شامل یک ردیف به‌طول دو متر بود. فاصلهٔ بین ردیف‌ها ۳۰ سانتی‌متر و فاصلهٔ بین بوته‌ها در ردیف، یک سانتی‌متر در نظر گرفته شد.

برای اعمال تیمارهای آبیاری از نوعی سیستم آبیاری قطره‌ای –نواری (Drip-Tape) با فاصلهٔ قطره‌چکان ۱۵ سانتی‌متر و با دبی قطره‌چکان ۱/۵ لیتر در ساعت (Eurodrip S.A. Inc.) استفاده شد. فاصلهٔ نوارهای آبیاری از یکدیگر ۳۰ سانتی‌متر تعیین شد و برای هر ردیف کشت یک ردیف نوار آبیاری، نصب شد، به‌طوری که در زمان آبیاری جبهه‌های رطوبتی در یکدیگر ادغام شدند و یک سطح مرطوب یکنواخت ایجاد کردند. تیمارهای تنش و عدم تنش به‌وسیلهٔ لوله‌های مانیفلد در زیر واحد آبیاری جداگانه قرار گرفتند. برای اعمال دقیق مقدار آب کاربردی از کنتور حجمی با دقت ۰/۱ لیتر استفاده شد. بازده آبیاری ۹۵ درصد در نظر گرفته شد. محیط‌های رطوبتی استفاده‌شده در این تحقیق دو محیط بدون تنش (شاهد) و تنش رطوبتی بود. ضریب مدیریت مزرعه (MAD) برای محیط شاهد برابر با ۵۰ درصد [۷] و در تیمار تنش رطوبتی با حذف یک در میان آبیاری اعمال شد. عمق آب آبیاری در تیمار شاهد به‌منظور جایگزین کردن کمبود رطوبت خاک تا حد FC با استفاده از رابطهٔ زیر محاسبه شد:

$$D_{i(MAD=0.5)} = (\theta_{fc} - \theta_{pwp}) \times Z_{root} \times 0.5 \qquad (1)$$

در این رابطه $D_{i(MAD=0.5)}$: حداکثر عمق آب مجاز قابل تخلیه از عمق توسعهٔ ریشه در تیمار شاهد (سانتی‌متر)؛ θ_{fc}: رطوبت حجمی خاک در حد ظرفیت زراعی (درصد)؛ θ_{pwp}: رطوبت حجمی خاک در حد پژمردگی دائم (درصد)؛ و Z_{root}: عمق توسعهٔ ریشه (سانتی‌متر) است. در این پژوهش عمق توسعهٔ ریشهٔ بزرک در ۳۰ روز اول رشد، ۲۵ سانتی‌متر و پس از آن ۴۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد.

آبیاری تا زمان استقرار کامل گیاه، براساس نیاز گیاه و در بیشتر موارد یک‌روزدرمیان برای هر دو سطح آبیاری

یکسان اعمال شد. قبل از آغاز گلدهی تیمارهای تنش اعمال شدند، به‌طوری‌که در سال اول ۴۱ روز پس از کاشت و در سال دوم ۵۵ روز پس از کاشت تیمارهای تنش اعمال شد (شکل ۱). مقدار تبخیر-تعرق گیاه بزرک (ETc) طی دورهٔ رشد با استفاده از داده‌های هواشناسی روزانه، رابطهٔ فائو-پنمن- مانتیث [۷] و ضریب گیاهی بزرک (Flax) در مراحل مختلف رشد گیاه به‌شرح زیر محاسبه شد [۷]:

(۲)

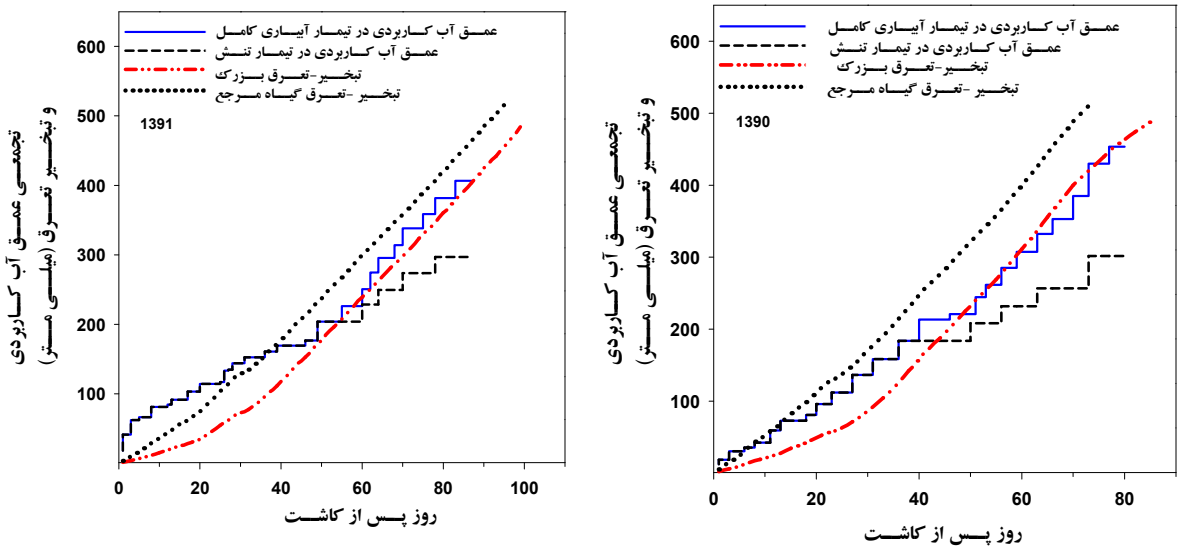
$$ET_0 = \frac{0.408\left[\Delta(R_n - G) + \gamma\left(\frac{900}{T+273}\right)U_2(e_s - e_a)\right]}{\Delta + \gamma(1 + 0.34U_2)}$$

(۳)

$$ET_c = ET_0 \times K_c$$

در این رابطه ET_0: تبخیر-تعرق مرجع؛ میلی‌متر در روز؛ Δ: شیب منحنی تغییرات فشار بخار اشباع نسبت به درجهٔ حرارت؛ R_n: تشعشع خالص در سطح گیاه، مگاژول بر متر مربع در روز؛ G: فلاکس گرمای خاک، مگاژول بر متر مربع در روز؛ γ: ضریب سایکرومتری، کیلوپاسکال بر درجهٔ سانتی‌گراد؛ T: متوسط دما، درجهٔ سانتی‌گراد؛ U_2: سرعت باد در ارتفاع دو متری، متر بر ثانیه؛ e_s: فشار بخار اشباع هوا، میلی‌بار؛ e_a: فشار واقعی بخار آب در هوا، میلی-بار؛ و Kc: ضریب گیاهی است.

زمانی که مقدار تجمعی ETc پس از آبیاری به‌مقدار مجاز تخلیهٔ آب از خاک در تیمار شاهد (معادلهٔ ۱) می‌رسید، آبیاری تیمار شاهد انجام می‌گرفت. آبیاری تیمار تنش رطوبتی یک‌درمیان انجام می‌گرفت و عمق آب کاربردی برابر با مقدار محاسبه‌شده برای تیمار شاهد در همان دور آبیاری بود. برای اطمینان از اعمال صحیح تیمارهای آبیاری به‌صورت دوره‌ای قبل از آبیاری از دو نقطه در هر تیمار در عمق توسعهٔ ریشه، نمونهٔ خاک تهیه و به‌روش وزنی رطوبت آن اندازه‌گیری و با مقادیر مورد انتظار مقایسه می‌شد.



شکل ۱. مقدار آب کاربردی و زمان آبیاری در وضعیت‌های تنش و عدم تنش رطوبتی، مقدار تبخیر تعرق گیاه محاسبه‌شده با استفاده از رابطهٔ فائو پنمن مانتیث در دو سال ۱۳۹۰ و ۱۳۹۱

صفت عملکرد دانه در واحد سطح از طریق محاسبهٔ عملکرد دانهٔ یک متر مربع از هر واحد آزمایشی و صفت عملکرد دانه در بوته، روی ۱۵ بوتهٔ تصادفی انتخاب‌شده از هر واحد آزمایشی با حذف اثر حاشیه، برای تمامی فامیل‌ها و والدین آنها اندازه‌گیری شد. برای ارزیابی فامیل‌ها از شاخص‌های بهره‌وری مصرف آب (IWP) [۱۹] و شاخص تحمل تنش STI [۱۰] به‌شرح زیر استفاده شد:

$$IWP = Y/WU \quad (۴)$$

$$STI = (Yp+Ys)/\bar{y}^2_P \quad (۵)$$

در این رابطه‌ها Y: وزن خشک دانه در زمان برداشت ($kg\ m^{-2}$)؛ WU: کل آب کاربردی شامل آب آبیاری و بارندگی ($M^3\ m^{-2}$)؛ IWP: بهره‌وری مصرف آب بر حسب کیلوگرم محصول بر متر مکعب آب؛ Yp: عملکرد دانه تحت وضعیت عدم تنش برای هر ژنوتیپ؛ Ys : عملکرد دانه تحت وضعیت تنش برای هر ژنوتیپ؛ $\bar{Y}p$: میانگین عملکرد تمام ژنوتیپ‌های تحت مطالعه در وضعیت عدم تنش؛ و STI: شاخص تحمل تنش برای هر ژنوتیپ است.

تجزیهٔ واریانس برای همهٔ صفات به‌صورت طرح لاتیس ساده انجام گرفت. سپس به‌دلیل آنکه کارایی نسبی طرح لاتیس نسبت به طرح بلوک کامل تصادفی برای تمامی صفات حدوداً برابر است و در ضمن نیازی به تصحیح اثر تیمارها برای اثر بلوک‌های ناقص نبود، تجزیهٔ واریانس مرکب داده‌ها در قالب طرح بلوک کامل تصادفی برای همهٔ صفات و با استفاده از داده‌های اصلی انجام گرفت. تجزیهٔ واریانس در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی روی مقادیر کمی شاخص‌های محاسبه‌شده برای هر فامیل در سه تکرار انجام گرفت.

برای تعیین ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی با عملکرد مناسب در هر دو محیط از نمایش سه‌بعدی بر مبنای عملکرد دانه در وضعیت تنش و عدم تنش رطوبتی و شاخص STI و همچنین بهره‌وری مصرف آب در وضعیت تنش و عدم تنش رطوبتی و شاخص STI براساس مدل فرناندز [۱۳] استفاده شد. براساس مدل فرناندز، ژنوتیپ‌هایی که برتری یکسانی در هر دو وضعیت تنش و نرمال داشتند در گروه A، ژنوتیپ‌هایی که پتانسیل عملکرد زیادی در محیط‌های نرمال داشتند در گروه B، ژنوتیپ‌هایی که عملکرد زیادی در محیط تنش داشتند در گروه C، و ژنوتیپ‌هایی که در هر دو محیط نرمال و تنش عملکرد ضعیفی از خود نشان دادند در گروه D جای گرفتند [۵، ۹ ، ۲۳]. برای تجزیه‌وتحلیل داده‌ها از نرم‌افزارهای Sigma Plot، STATEGRAPH و SAS استفاده شد.

نتایج و بحث

کل آب کاربردی شامل آب آبیاری و باران در سال ۱۳۹۰ در وضعیت تنش و عدم تنش رطوبتی به‌ترتیب۳۰۱/۶ و ۴۷۵/۷ میلی‌متر و در سال ۱۳۹۱ به‌ترتیب ۲۹۹/۳ و ۴۰۸/۸ میلی‌متر بود. در سال دوم به‌دلیل کشت گیاه در اواخر اسفند و کمتر بودن تقاضای تبخیر اتمسفر در طول دورهٔ رشد گیاه و نیز ذخیرهٔ رطوبت خاک، مقدار آب کاربردی کمتر بوده است. تیمار تنش در سال اول ۳۵ درصد و در سال دوم ۲۵ درصد آب کمتری نسبت به تیمار شاهد دریافت کرد. وقوع بارندگی در زمان رشد بزرک در سال دوم سبب شد تفاوت مقدار آب کاربردی در دو تیمار شاهد و تنش کمتر از سال اول شود. مقدار تجمعی آب کاربردی، زمان و مقدار آب کاربردی (شامل باران و آبیاری) و مقدار تجمعی تبخیر-تعرق بزرک در دو سال نشان از اجرای دقیق تیمار آبیاری دارد (شکل ۱). در ابتدای دورهٔ رشد در سال ۱۳۹۰، برای جبران کمبود رطوبت خاک در عمق توسعهٔ ریشه، مقدار آب کاربردی بیشتر از نیاز تبخیر-تعرق بود. در سال ۱۳۹۱ بارندگی، سبب افزایش آب کاربردی نسبت به نیاز تبخیر-تعرق شد.

برای دو سال در زمان اعمال تیمارهای آبیاری، آبیاری دقیقاً براساس نیاز گیاه انجام گرفت.

تجزیهٔ واریانس و مقایسهٔ میانگین صفات

براساس جدول تجزیهٔ واریانس مرکب، اثر ژنوتیپ برای همهٔ صفات در سطح احتمال ۱ درصد معنادار بود که نشان‌دهندهٔ تنوع ژنتیکی بین فامیل‌های F_3 از نظر صفات ارزیابی‌شده بود (جدول ۱). همچنین اثر محیط برای صفت عملکرد دانه در سطح احتمال ۵ درصد و برای صفت عملکرد دانه در بوته در سطح احتمال ۱ درصد معنادار بود، اما اثر محیط بر بهره‌وری مصرف آب معنادار نبود. اثر متقابل ژنوتیپ و محیط برای صفات عملکرد دانه در بوته و بهره‌وری مصرف آب در سطح احتمال ۵ درصد و برای صفت عملکرد دانه در سطح احتمال ۱ درصد معنادار بود که نشان‌دهندهٔ واکنش متفاوت فامیل‌های مختلف نسبت به تنش رطوبتی از نظر این صفات است (جدول ۱).

میانگین صفت عملکرد دانه در بوته برای لاین‌های والدینی KO37 و SP1066 در وضعیت عدم تنش به‌ترتیب ۲±۰/۲۵ و۱/۱±۰/۱۳ و در وضعیت تنش ۱/۲±۰/۲۲ و ۰/۴۸±۰/۱۸ گرم، و برای ۱۱۹ فامیل F_3 در وضعیت عدم تنش و تنش به‌ترتیب ۱/۳±۰/۴ و ۰/۷۴±۰/۳ گرم بود. در بین فامیل‌های F_3، در تیمار شاهد عملکرد دانه در بوته از ۰/۶ تا ۲/۳ و در وضعیت تنش از ۰/۳ تا ۱/۹ گرم متغیر بود. براساس مطالعات قبلی در بزرک میانگین عملکرد دانه در بوته در ایران حدود یک گرم است [۲۵].

جدول ۱. نتایج تجزیهٔ واریانس مرکب برای صفات تحت مطالعه در وضعیت‌های محیطی تنش و بدون تنش رطوبتی در بین ۱۱۹ فامیل F_3 و لاین‌های والدینی (KO37 و SP1066) در سال ۱۳۹۱

منبع تغییرات	درجهٔ آزادی	میانگین مربعات		
		عملکرد دانه در بوته (گرم)	عملکرد دانه (گرم در متر مربع)	بهره‌وری مصرف آب (کیلوگرم بر متر مکعب)
محیط	۱	۵۷/۳**	۱۰۷۳۶۷۲*	۱/۸۲^{ns}
تکرار در محیط	۴	۲/۱	۷۷۸۶۱	۰/۶۱
ژنوتیپ	۱۲۰	۰/۴**	۵۳۹۱**	۰/۰۴**
ژنوتیپ* محیط	۱۲۰	۰/۲*	۲۴۰۷**	۰/۰۲*
خطا	۴۸۰	۰/۱۵	۱۷۲۰	۰/۰۱
دامنهٔ تغییرات		۱/۵۶	۱۴۱/۲	۰/۳۸
ضریب تبیین		۰/۶۶	۰/۷۴	۰/۶۵
ضریب تغییرات(٪)		۳۷/۷	۳۰/۳	۲۹/۵
LSD(۰/۰۵)		۰/۴۴	۴۷/۰۶	۰/۱۳

*و **: به‌ترتیب معناداری در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد، ns: عدم معناداری

به‌طور کلی تنش رطوبتی اثر بسیار معناداری بر صفت عملکرد دانه در بوته داشت و در همهٔ فامیل‌ها تنش به کاهش این صفت منجر شد، اما درصد کاهش عملکرد تحت تأثیر تنش در فامیل‌ها یکسان نبود. درصد کاهش این صفت بر اثر تنش برای لاین‌های والدینی KO37 و SP1066 ۴۰ و ۵۷ درصد و به‌طور متوسط برای ۱۱۹ فامیل F_3، ۴۳ درصد بود. فامیل ۲۹ بیشترین کاهش را داشت (۸۰ درصد)، به‌طوری‌که این فامیل دارای مقدار زیاد عملکرد دانه در بوته در وضعیت عدم تنش (۲/۳ گرم) و مقدار کم در وضعیت تنش (۰/۴۴گرم) بود و ناپایدارترین فامیل معرفی شد. فامیل‌های ۲۷، ۳۹، ۵۹، ۶۷، ۷۲، ۷۴، ۷۶، ۸۲، ۸۴، ۸۸ و ۹۹ دارای عملکرد بیشتر از متوسط در هر دو وضعیت بودند و از نظر عملکرد دانه در بوته به‌عنوان فامیل‌های مقاوم به تنش رطوبتی، معرفی شدند.

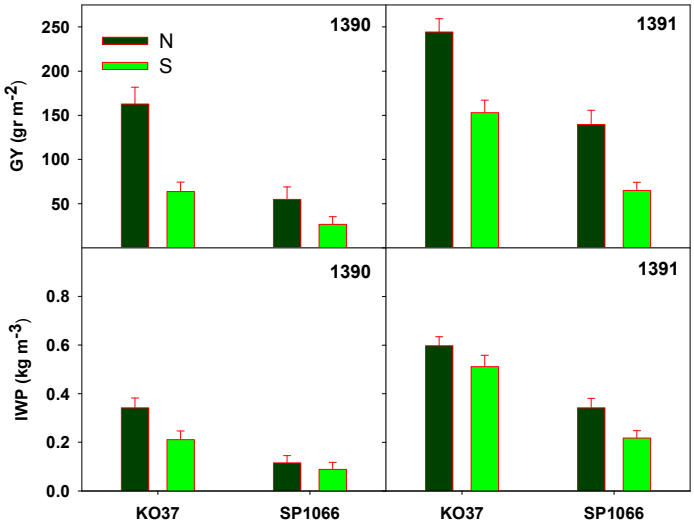
میانگین صفت عملکرد دانه در متر مربع برای لاین‌های والدینی KO37 و SP1066 در وضعیت عدم تنش به‌ترتیب ۱۵± ۲۵۰ و ۱۶±۱۳۰ و در وضعیت تنش ۱۴ ±۱۶۰و ۹ ±۷۰ گرم بود و برای ۱۱۹ فامیل F_3 در وضعیت‌های عدم تنش و تنش به‌ترتیب ۴۴±۱۷۵ و ۲۵± ۹۸ گرم به‌دست آمد. در بین فامیل‌های F_3، در تیمار شاهد عملکرد دانه از ۷۸ تا ۳۱۲ و در وضعیت تنش از ۳۲ تا ۱۶۸ گرم متغیر بود. بنابر مطالعات قبلی در بزرک میانگین عملکرد دانه در ایران حدود ۱۵۰ گرم است [۲۵]. بیشترین عملکرد دانه در وضعیت عدم تنش به‌ترتیب به فامیل‌های ۳۴، ۳۶، ۳۳، ۳۸، ۳۹، ۲۷، ۷۴، ۲۶، ۳۷، ۱۱۹، ۳۱ ، ۸۱ و ۵۹ و در وضعیت تنش به‌ترتیب به فامیل‌های ۷۲، ۷۴، ۳۸، ۵۰، ۴۲، ۷۸، ۶۸، ۷۰، ۱۱۸، ۳۹، ۱۱۹، ۴۳ و ۱۴ تعلق داشت که مطابق با نتایج مقایسهٔ میانگین عملکرد دانه بود. بر این اساس فامیل‌های ۳۸، ۳۹، ۷۴ و ۱۱۹ که در هر دو وضعیت تنش (به‌طور میانگین ۰/۴۷ کیلوگرم بر متر مکعب) و عدم تنش رطوبتی (به‌طور میانگین ۰/۶۳ کیلوگرم بر متر مکعب)، بهره‌وری مصرف آب زیادی را از خود نشان دادند، مطلوب‌ترین فامیل‌ها معرفی شدند.

به‌طور کلی تنش رطوبتی اثر بسیار معناداری بر صفت عملکرد دانه داشت و در همهٔ فامیل‌ها به کاهش این صفت منجر شد. درصد کاهش این صفت بر اثر تنش برای لاین‌های والدینی KO37 و SP1066، ۳۶ و ۴۶ درصد و به‌طور متوسط برای ۱۱۹ فامیل F_3، ۴۴ درصد بود. فامیل ۳۴ بیشترین کاهش را داشت (۷۸ درصد)، به‌طوری‌که این فامیل دارای بیشترین عملکرد دانه در وضعیت عدم تنش (۳۱۲ گرم) و عملکرد اندک در وضعیت تنش (۶۸ گرم) بود و ناپایدارترین فامیل معرفی شد. فامیل ۷۲ با کمترین کاهش عملکرد، دارای عملکرد زیادی در هر دو وضعیت بود. فامیل ۴۲ دارای عملکرد زیادی در وضعیت تنش و عملکرد متوسط در وضعیت عدم تنش بود و فامیل مناسب برای محیط‌های خشک معرفی شد.

میانگین صفت بهره‌وری مصرف آب برای لاین‌های والدینی KO37 و SP1066 در وضعیت عدم تنش به‌ترتیب ۰/۰۴± ۰/۶۱ و ۰/۰۴±۰/۳۲ و در وضعیت تنش ۰/۰۵ ±۰/۵۳ و ۰/۰۳ ±۰/۲۳ کیلوگرم بر متر مکعب بود (شکل ۲). این پارامتر برای ۱۱۹ فامیل F_3 در وضعیت عدم تنش و تنش به‌ترتیب ۰/۱۱±۰/۴۳ و ۰/۰۸± ۰/۳۳ کیلوگرم بر متر مکعب بود. بهره‌وری مصرف آب در بین فامیل‌های F_3، در وضعیت عدم تنش رطوبتی از ۰/۱۹تا ۰/۷۶ و در وضعیت تنش بین ۰/۱۱ تا ۰/۵۶ کیلوگرم بر متر مکعب متغیر بود. بیشترین بهره‌وری مصرف آب در وضعیت عدم تنش به‌ترتیب به فامیل‌های ۳۴، ۳۶، ۳۳، ۳۸، ۳۹، ۲۷، ۲۶، ۷۴ ، ۳۷، ۱۱۹، ۳۱ ، ۸۱ و ۵۹ و در وضعیت تنش به‌ترتیب به فامیل‌های ۷۲، ۳۸، ۷۴، ۵۰، ۴۲، ۷۸، ۶۸، ۷۰، ۱۱۸، ۳۹، ۱۱۹، ۴۳ و ۱۴ تعلق داشت که مطابق با نتایج مقایسهٔ میانگین عملکرد دانه بود. بر این اساس فامیل‌های ۳۸، ۳۹، ۷۴ و ۱۱۹ که در هر دو وضعیت تنش (به‌طور میانگین ۰/۴۷ کیلوگرم بر متر مکعب) و عدم تنش رطوبتی (به‌طور میانگین ۰/۶۳ کیلوگرم بر متر مکعب)، بهره‌وری مصرف آب زیادی را از خود نشان دادند، مطلوب‌ترین فامیل‌ها معرفی شدند.

به‌طور کلی بهره‌وری مصرف آب در اثر تنش رطوبتی در بیشتر فامیل‌ها کاهش یافت، اما در ۲۰ فامیل افزایش نشان داد که در بین آنها، تنها فامیل‌های ۴۲، ۵۰ و ۷۲ دارای بهره‌وری مصرف آب زیادی در هر دو وضعیت تنش و عدم تنش بودند. با توجه به اینکه فامیل ۷۲ دارای عملکرد زیادی در هر دو وضعیت نیز بود، متحمل‌ترین فامیل به تنش رطوبتی معرفی شد. فامیل‌های ۶۸، ۷۰ و ۱۱۸ دارای بهره‌وری مصرف آب زیادی در وضعیت تنش و عدم تنش و به‌خصوص در وضعیت تنش بودند و از این نظر فامیل‌های متحمل به تنش رطوبتی شناخته شدند.

براساس ارزیابی مقدار کاهش صفات مختلف بر اثر تنش رطوبتی، مشخص شد که ژنوتیپ کانادایی SP1066 بیشترین کاهش را از نظر عملکرد دانه در بوته، عملکرد دانه و بهره‌وری مصرف آب نسبت به والد ایرانی KO37 و متوسط فامیل‌های F_3 داشت. بر این اساس مشاهده می‌شود که ژنوتیپ SP1066 به تنش رطوبتی بسیار حساس است و تنش، به کاهش شدید عملکرد و بهره‌وری مصرف آب در آن منجر می‌شود، در صورتی‌که تحمل ژنوتیپ KO37 به وضعیت تنش خشکی بسیار بیشتر بود (شکل ۲). مقایسهٔ میانگین عملکرد دانه و بهره‌وری مصرف آب در وضعیت تنش و عدم تنش رطوبتی در میان فامیل‌های F_3 و والدین آنها و مقایسهٔ آن با میزان کاهش عملکرد دانه و بهره‌وری مصرف آب بر اثر تنش، تنوع گسترده در میان فامیل‌های F_3 از نظر تحمل به خشکی را نشان می‌دهد. براساس سه شاخص عملکرد تک‌بوته، وزن در واحد سطح و بهره‌وری مصرف آب، فامیل‌های ۳۹ و ۷۴، فامیل‌های متحمل به خشکی با بهره‌وری مصرف آب زیاد در وضعیت تنش و عدم تنش معرفی می‌شوند. فامیل‌های ۱۴ و ۷۲ به‌عنوان فامیل‌های مناسب برای وضعیت تنش و فامیل‌های ۲۷ و ۳۴ به‌عنوان فامیل‌های مناسب برای وضعیت عدم تنش با بیشترین کارایی مصرف آب توصیه می‌شوند. محققان قبلی نیز با استفاده از شاخص بهره‌وری مصرف آب ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی را در برنج [۶] و گندم [۳۲] شناسایی کردند.



شکل ۲. نمودار مقایسهٔ میانگین صفات عملکرد دانه (GY) و بهره‌وری مصرف آب (IWP) در بین والدین (KO37 و SP1066) در دو وضعیت تنش (S) و عدم تنش (N) در دو سال زراعی

تجزیهٔ واریانس و مقایسهٔ میانگین شاخص تحمل STI

تجزیهٔ واریانس اختلاف معناداری را بین فامیل‌های F_3 از نظر عملکرد دانه و بهره‌وری مصرف آب در وضعیت تنش و عدم تنش و شاخص تحمل STI نشان داد (جدول ۲). بیشترین رتبه از نظر شاخص STI، به‌ترتیب متعلق به فامیل‌های ۳۸، ۳۹، ۷۲، ۳۳، ۱۱۹، ۷۰، ۷۸، ۵۰، ۱۱۷، ۴۳، ۳۶، ۶۰ و ۱۱۸ بود که از نظر این شاخص، فامیل‌های با عملکرد زیاد و متحمل به خشکی معرفی شدند. رتبهٔ فامیل‌ها از نظر شاخص‌های میانگین حسابی (MP)، میانگین هارمونیک (HM) و میانگین هندسی (GMP) تقریباً مشابه شاخص تحمل تنش STI بود که در اینجا نتایج آنها ذکر نشده است. شاخص‌های MP، HM، GMP و STI در شناسایی ارقام مقاوم به تنش و دارای عملکرد زیاد قبلاً در بین فامیل‌های F_3 و F_4 گندم دوروم [۱۶] و فامیل‌های F_5 پرعملکرد برنج [۲۸] استفاده شده‌اند.

جدول۲. تجزیهٔ واریانس براساس طرح بلوک کامل تصادفی برای عملکرد دانه در وضعیت تنش (Ys) و عدم تنش رطوبتی (Yp) ، بهره‌وری مصرف آب در وضعیت‌های تنش(IWPs) و عدم تنش(IWPp) و شاخص تحمل تنش(STI)

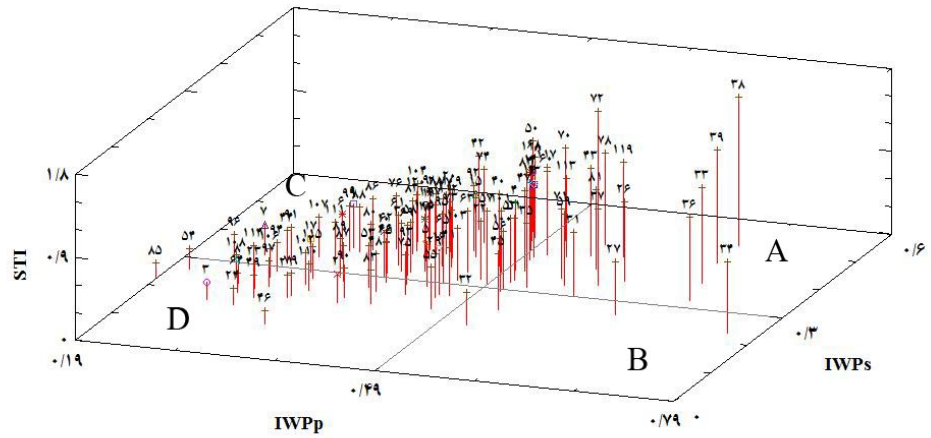
منبع	درجهٔ آزادی	میانگین مربعات				
		IWPp	IWPs	Yp	Ys	STI
بلوک	۲	۰/۶۲**	۰/۶۲**	۱۰۳۷۴۳**	۵۵۱۱۱**	۰/۳۱**
فامیل	۱۲۰	۰/۰۳**	۰/۰۲**	۵۶۹۷**	۱۸۳۴**	۰/۱۹**
خطا	۲۴۰	۰/۰۲	۰/۰۱	۲۶۰۲	۸۵۴	۰/۰۹
ضریب تبیین		۰/۵۹	۰/۶۲	۰/۵۹	۰/۶۲	۰/۶۱
ضریب تغییرات (٪)		۲۹/۱۳	۲۹/۷۶	۲۹/۱۳	۲۹/۷۶	۵۱/۳۶
میانگین		۰/۴۳	۰/۳۳	۱۷۵	۹۸	۰/۶۰
LSD(۰/۰۵)		۰/۲۰	۰/۱۶	۸۲	۴۷	۰/۴۹

** معناداری در سطح احتمال ۱ درصد

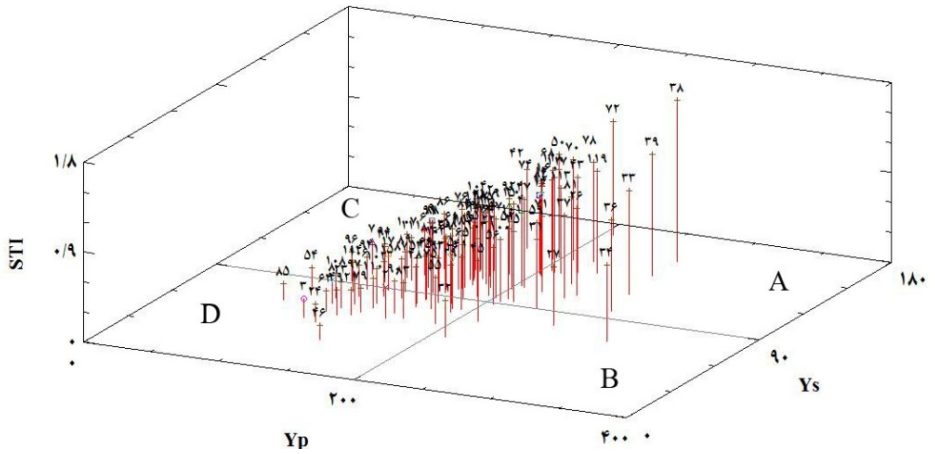
طبقه‌بندی فامیل‌ها براساس شاخص STI

به منظور شناسایی دقیق‌تر فامیل های متحمل به خشکی با عملکرد دانه و بهره‌وری زیاد مصرف آب در بزرک، پراکنش سه‌بعدی فامیل‌ها براساس بهره‌وری مصرف آب در وضعیت تنش و عدم تنش و شاخص STI ترسیم شد (شکل ۳). براساس مدل فرناندز [۱۰]، فامیل‌های مطالعه‌شده براساس بهره‌وری مصرف آب در وضعیت تنش و عدم تنش، به چهار گروه تقسیم شدند. ۲۲ فامیل در گروه A قرار گرفتند که از بین آنها فامیل‌های ۲۶، ۳۶، ۳۷، ۳۸، ۳۹، ۴۳، ۷۰، ۷۲، ۷۴، ۷۸، ۸۱، ۱۱۳ و ۱۱۹ بیشترین مقدار را از نظر بهره‌وری مصرف آب در وضعیت تنش و عدم تنش و شاخص STI به خود اختصاص دادند. از نسل‌های پیشرفتهٔ این فامیل‌ها می‌توان در برنامه‌های اصلاحی آینده شامل بهبود و تولید اینبرد لاین های با عملکرد زیاد و مقاوم به خشکی در بزرک به منظور افزایش بهره‌وری مصرف آب استفاده کرد. فامیل‌های ۲۷، ۳۱، ۳۲، ۳۴، ۴۵ و ۵۶ در گروه B جای گرفتند و حداکثر بهره‌وری مصرف آب را در وضعیت عدم تنش داشتند. این فامیل‌ها

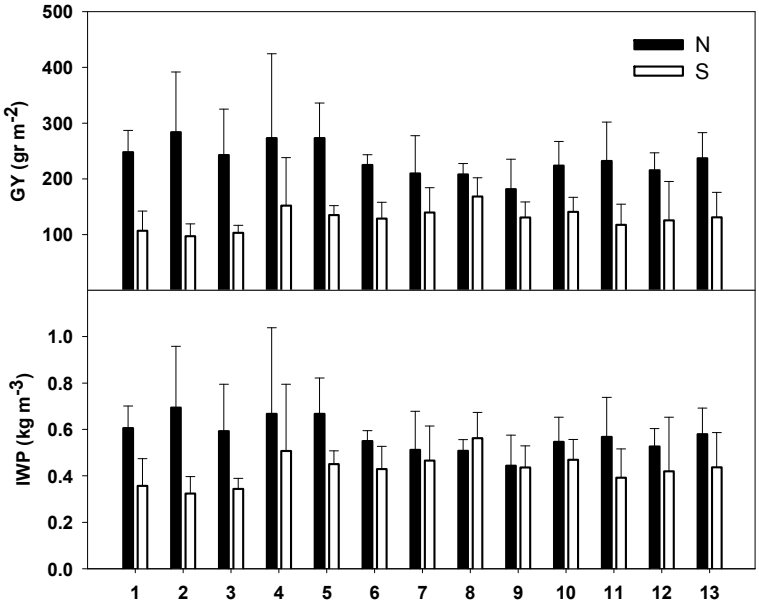
برای وضعیت بدون تنش رطوبتی توصیه شدند. از این بین ۵۶ فامیل در گروه C قرار گرفتند که در میان آنها فامیل‌های ۵۰،۴۲، ۶۸ و ۱۱۸ حداکثر بهره‌وری مصرف آب را در وضعیت تنش به خود اختصاص دادند و برای محیط‌های خشک توصیه شدند. همچنین ۳۵ فامیل در گروه D قرار گرفتند که بهره وری مصرف آب اندکی در هر دو وضعیت تنش و عدم تنش رطوبتی از خود نشان دادند. پراکنش سه‌بعدی فامیل ها براساس عملکرد دانه در وضعیت تنش و عدم تنش و شاخص STI نتایج یکسانی داشت (شکل‌های ۴ و ۵).



شکل ۳. تجزیهٔ تری‌پلات فامیل‌های F_3 براساس بهره‌وری مصرف آب در وضعیت تنش (IWPs) و عدم تنش رطوبتی(IWPp) و شاخص STI



شکل ۴. تجزیهٔ تری‌پلات فامیل‌های F_3 براساس عملکرد دانه در وضعیت تنش (Ys) و عدم تنش رطوبتی(Yp) و شاخص STI



شکل۵. مقایسهٔ میانگین صفات عملکرد دانه (GY) و بهره‌وری مصرف آب (IWP) در بین فامیل‌های F_3 برتر حاصل از تلاقی KO37 و SP1066 در دو شرایط تنش (S) و عدم تنش (N) در سال زراعی ۱۳۹۱. شماره‌های ۱ تا ۱۳ محور افقی به ترتیب نشان‌دهندهٔ فامیل‌های ۲۶، ۳۶، ۳۷، ۳۸، ۳۹، ۴۳، ۷۰، ۷۲، ۷۴، ۷۸، ۸۱، ۱۱۳ و ۱۱۹ است.

نتیجه‌گیری

به‌طور کلی براساس نتایج حاصل، جمعیت بزرک مطالعه‌شده، دارای تنوع کافی برای صفات عملکرد، بهره‌وری مصرف آب و مقاومت به خشکی بود و فامیل‌های متحمل به خشکی و پرعملکرد در این جمعیت شناسایی شدند. بر این اساس فامیل های ۲۶، ۳۶، ۳۷، ۳۸، ۳۹، ۴۳، ۷۰، ۷۲، ۷۴، ۷۸، ۸۱، ۱۱۳ و ۱۱۹، بهترین فامیل‌ها برای هر دو وضعیت تنش و عدم تنش رطوبتی معرفی شدند. فامیل های ۲۷، ۳۱، ۳۲، ۳۴، ۴۵ و ۵۶ برای وضعیت بدون تنش رطوبتی و فامیل‌های ۴۲، ۵۰، ۶۸ و ۱۱۸ برای محیط‌های خشک توصیه شدند. نسل‌های پیشرفتهٔ فامیل‌هایی را که در دو وضعیت تنش و عدم تنش مطلوب تشخیص داده شدند می‌توان در برنامه‌های اصلاحی آینده شامل بهبود و تولید اینبرد لاین‌های با عملکرد زیاد و مقاوم به خشکی در بزرک به منظور افزایش بهره وری مصرف آب و صرفه‌جویی در مصرف آب در مزرعه به‌کار گرفت.

منابع

۱. خندان ع. و سعیدی ق (۱۳۸۳) بررسی خصوصیات زراعی، تنوع ژنتیکی و روابط بین صفات در لاین‌های حاصل از تودهٔ بومی بزرک در اصفهان. علوم کشاورزی ایران. ۳۵(۱): ۱۵۵-۱۶۶.

۲. ملک شاهی ف.، دهقانی ح. و علیزاده ب (۱۳۸۸) مطالعهٔ شاخص‌های تحمل به خشکی در برخی ارقام پاییزهٔ کلزا (*Brassica napus* L.). علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی. ۱۳(۴۸): ۷۷-۸۹.

۳. نعمت‌اللهی ز. و سعیدی ق (۱۳۹۰) بررسی تحمل به خشکی برخی از ژنوتیپ‌های بزرک (*Linum usitatissimum* L.). پژوهش آب در کشاورزی. ۲۵(۱): ۵۷-۶۵.

4. Abbasi MK, Tahir MM and Rahim N (2013) Effect of N fertilizer source and timing on yield and N use efficiency of rainfed maize (*Zea mays* L.) in Kashmir–Pakistan. Geoderma. 195: 87-93.

5. Akçura M, Partigoç F and Kaya Y (2011) Evaluating of drought stress tolerance based on selection indices in Turkish bread wheat landraces. Animal & Plant Sciences. 21(4): 700-709.

6. Akhter J, Monneveux P, Sabiri SA, Ashrafi MY, Lateef Z and Serraj R (2010) Selection of drought tolerance and high water use efficient rice cultivars through 13C isotopie discrimination technique. Pakistan J. Botany. 42(6): 3887-3897.

7. Allen RG, Pereira LS, Raes D and Smith M (1998) Crop evapotranspiration-guidelines for computing crop water requirements. Irrigation and drainage. Paper 56. Rome, Italy.

8. Costa JM, Ortuño MF and Chaves MM (2007) Deficit irrigation as a strategy to save water: physiology and potential application to horticulture. Integrative Plant Biology. 49(10): 1421-1434.

9. Farshadfar E, Mohammadi R, Farshadfar M and Dabiri S (2013) Relationships and repeatability of drought tolerance indices in wheat-rye disomic addition lines. Australian J. Crop Science. 7(1):130-138.

10. Fernandez GCJ (1992) Effective selection criteria for assessing stress tolerance. In: Kuo CG (Ed). Proceedings of the International Symposium on Adaptation of Vegetables and Other Food Crops in Temperature and Water Stress, Publication, Tainan, Taiwan.

11. Fischer RA and Maurer R (1978) Drought resistance in spring wheat cultivars. I., Grain yield response. Australian J. Agricultural Research. 29: 897-907.

12. Geerts S and Raes D (2009) Deficit irrigation as an on-farm strategy to maximize crop water productivity in dry areas. Agricultural Water Management. 96(9): 1275-1284.

13. Gheysari M, Mirlatifi SM, Bannayan M, Homaee M and Hoogenboom G (2009) Interaction of water and nitrogen on maize grown for silage. Agricultural Water Management. 96: 809-821.

14. Ghrab M, Zitouna R, Mimoun MB, Masmoudi MM, Mechlia NB (2013) Yield and water productivity of peach trees under continuous deficit irrigation and high evaporative demand. Biological Agriculture & Horticulture. 29(1): 29-37.

15. Giancarla V, Madosa E, Ciulca S, Adriana C, Cerasela P and Nicoleta B (2010) Assessment of drought tolerance in some barley genotypes cultivated in West part of Romania. Horticulture, Forestry and Biotechnology. 14(3): 114-118.

16. Golabadi M, Arzani A and Mirmohammadi Maibody SAM (2006) Assessment of drought tolerance in segregating populations in durum wheat. African J. Agricultural Research. 1 (5): 162-171.

17. Hejazi P, Mousavi SMN, Mostafavi K, Shahreza M, Ghomshei, Hejazi S and

Mousavi SMN (2013) Study on hybrids maize response for drought tolerance index. Advances in Environmental Biology. 7(2): 333-338.

18. Howell TA (2006) Challenges in increasing water use efficiency in irrigated agriculture. In: International Symposium on Water and Land Management for Sustainable Irrigated Agriculture, Adana, Turkey. (CD-ROM) 4–8.

19. Howell TA, Steiner JE, Schneider AD, Evertt SR and Tolk JA (1997) Seasonal and maximum daily evapotranspiration of irrigated winter wheat, sorghum and corn: Southern High Plains. Trans ASAE. 40: 623–634.

20. Kadkhodaie A and Bagheri M (2011) Seed Treatment during Germination in Linseed to Overcome Salt and Drought Stresses (*Linum usitatissimum* L.). World Academy of Science, Engineering and Technology. 49: 373-377.

21. Khalili M, Naghavi MR, Pour Aboughadareh A and Talebzadeh SJ (2012) Evaluating of Drought Stress Tolerance Based on Selection Indices in Spring Canola Cultivars (*Brassica napus* L.). Agricultural Science. 4(11): 78-85.

22. Kiziloglu F, Sahin U, Kuslu Y and Tunc T (2009) Determining water–yield relationship, water use efficiency, crop and pan coefficients for silage maize in a semiarid region. Irrigation Science. 27: 129–137.

23. Majidi MM, Tavakoli V, Mirlohi AF and Sabzalian MR (2011) Wild safflower species (*Carthamus oxyacanthus* Bieb.): A possible source of drought tolerance for arid environments. Australian J. Crop Science. 5:1055-1063.

24. Marchenkov A, Rozhmina T, schapovsky IU and Muir AD (2003) Cultivation of flax. In Muir AD, Westcott ND (eds) Flax: the genus Linum. CRC, New York, pp. 74-91.

25. Mohammadi AA, Saeidi G and Arzani A (2010) Genetic analysis of some agronomic traits in flax (Linum *usitatissimum* L.). Australian J. Crop Science. 4:343-352.

26. Nazari L and Pakniat H (2010) Assessment of drought tolerance in barley genotypes. Applied Sciences. 10(2): 151-156.

27. Nouraein M, Mohammadi SA, Aharizad S, Moghaddam M and Sadeghzadeh B (2013) Evaluation of drought tolerance indices in wheat recombinant inbred line population. Annals of Biological Research. 4 (3):113-122.

28. Rahimi M, Dehghani H, Rabiei B and Tarang AR (2013) Evaluation of rice segregating population based on drought tolerance criteria and biplot analysis. International J. Agriculture and Crop Sciences. 5(3): 194-199.

29. Rosielle AA and Hamblin J (1981) Theoretical aspects of selection for yield in stress and non-stress environment. Crop Science. 21: 943-946.

30. Savoire R, Lanoisellé JL, Ducatel H and Vorobiev E (2008) Oil yield and compressibility modeling during microscale expression: Criteria for linseed breeding.

European J. Lipid Science Technology. 110: 725–734.

31. Sharma JC, Tomar SS, Shivran RK and Chandra P (2012) Water requirement, water use efficiency, consumptive use, yield and quality parameters of linseed (*Linum usitatissimum* L.) varieties as influenced by fertility levels, irrigation scheduling. Advances in Life Sciences. 1(2): 180- 182.

32. Siahpoosh MR, Dehghanianb E and Kamgarc A (2011) Drought tolerance evaluation of bread wheat genotypes using water use efficiency, evapotranspiration efficiency, and drought susceptibility index. Crop Science. 51(3): 1198-1204.

33. Sinclair TR, Tanner CB and Bennett JM (1984) Water-Use Efficiency in Crop Production. BioScience. 34: 36-40.

34. Sio-Se Mardeh A, Ahmadi A, Poustini K and Mohammadi V (2006) Evaluation of drought resistance indices under various environmental conditions. Field Crops Research. 98: 222–229.

35. Talebi R**,** Fayaz F and Naji AM ***(2009)*** Effective selection criteria for assessing drought stress tolerance in durum wheat (*Triticum durum* Desf.). General and Applied Plant Physiology**.** 35(1): 64-67.

36. Végh KR (2013) Root and leaf traits, water use and drought tolerance of maize genotypes. Biologia. 68(6): 1123-1127.

37. Vegh KR, Szundy T, Rajkai K and Tischner T (1998) Roots, phosphorus uptake and water use efficiency of maize genotypes. Acta Agronomy Hungarica. 46: 35-43.

38. Wang HX, Zhang L, Dawes WR and Liu CM (2001) Improving water use efficiency of irrigated crops in the North China Plain–measurements and modeling. Agricultural Water Management. 48: 151-167.

39. Westcott ND and Muir ND (2003) Chemical studies on the constituents of Linum sp. In: Muir AD, Westcott ND (eds) Flax, the genus Linum. Taylor and Francis, New York, pp 55–73.

40. Yenpreddiwar MD, Nikam RR, Dange RB and Gaidhane SN (2007) Water use studies in linseed as influenced by different irrigation levels and moisture conservation practices. Soils and Crops. 17 (1): 176-177.

مدیریت آب و آبیاری

دوره ۴ ■ شماره ۱ ■ بهار و تابستان ۱۳۹۳

صفحه‌های ۴۳-۳۳

برآورد نیاز آبی و ضرایب گیاهی یک‌جزئی و دوجزئی رزماری (*Rosmarinus officinalis* L.) در اقلیم نیمه‌خشک

هوشنگ قمرنیا*[۱]، سجاد امیری[۲] و محمود خرمی وفا[۳]

۱. دانشیار، گروه مهندسی آب، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه رازی کرمانشاه، کرمانشاه، ایران

۲. دانشجوی کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی، گروه مهندسی آب، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه رازی کرمانشاه، کرمانشاه، ایران

۳. استادیار، گروه زراعت، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه رازی کرمانشاه، کرمانشاه، ایران

تاریخ وصول مقاله: ۱۳۹۲/۷/۱۴ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۲/۱۰/۱۱

چکیده

برای برنامه‌ریزی آبیاری مناسب و اعمال مدیریت کارا و آگاهانه، تعیین ضرایب گیاهی بر مبنای مراحل رشد و نیز تخمین تبخیر و تعرق گیاه ضروری است. پژوهش حاضر به‌منظور تعیین نیاز آبی و ضرایب گیاهی یک‌جزئی و دوجزئی گیاه رزماری در منطقه‌ای با اقلیم نیمه‌خشک با استفاده از لایسیمتر زهکش‌دار انجام گرفت. با به‌کارگیری لایسیمتر می‌توان مقدار دقیق نیاز آبی را در هر روز تعیین کرد و ارتباط آن با تبخیر و تعرق پتانسیل، مقدار مصرف آب در دوره‌های مختلف رشد گیاه و ضریب K_c گیاه را مشخص و در نتیجه برنامه‌ریزی مناسب آبیاری را اعمال کرد. به‌این منظور از پنج لایسیمتر زهکش‌دار استفاده شد که دو لایسیمتر به محاسبهٔ تبخیر تعرق چمن و خاک بدون پوشش گیاهی اختصاص یافت و در سه لایسیمتر دیگر گیاه رزماری کشت شد. در طول دورهٔ رشد، آب کافی در اختیار گیاه قرارگرفت و مقدار پتانسیل آب در خاک همواره در حد ظرفیت زراعی بود. مقدار تبخیر و تعرق برای لایسیمترهای چمن و خاک از رابطهٔ بیلان آبی محاسبه شد و از اندازه‌گیری تبخیر و تعرق لایسیمترها، نیاز آبی گیاه رزماری ۴۹۵/۶۳ میلی‌متر به‌دست آمد. در ضمن بیشترین تبخیر و تعرق در ماه شهریور اتفاق افتاد و از تقسیم نیاز آبی گیاه بر نیاز آبی گیاه مرجع، ضرایب گیاهی منفرد و ضرایب گیاهی پایه در مراحل اولیه، توسعه و میانی به‌ترتیب ۰/۳۰، ۰/۶۳، ۰/۹۶و ۱/۰،۲۰/۳۲، ۱/۰۵ به‌دست آمد.

کلیدواژه‌ها: رزماری، ضریب گیاهی، لایسیمتر زهکش‌دار، معادلهٔ بیلان آب، نیاز آبی.

* نویسنده مسئول Email: hghamarnia@razi.ac.ir

مقدمه

تبخیر- تعرق یکی از اجزای مهم چرخهٔ هیدرولوژی است. با توجه به کاهش شدید ذخیرهٔ آبهای شیرین دنیا، برآورد دقیق تبخیر- تعرق و نیاز آبی گیاه ضروری به‌نظر می‌رسد [۶]. شناخت رفتار و خصوصیات پوشش گیاهی غیرمرجع در مقایسه با پوشش گیاهی مرجع (چمن)، اولین قدم در شناخت تبخیر- تعرق است. ضریب گیاهی (K_c) بیان‌کنندهٔ تأثیرات پوشش گیاهی و رطوبت خاک گیاه غیرمرجع در مقایسه با گیاه مرجع است [۱۰].

در سال ۲۰۱۱ نیاز آبی و ضرایب گیاهی منفرد و دوجزئی سیر با استفاده از لایسیمتر زهکش‌دار در آب‌وهوای نیمه‌خشک سرد اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که ضریب گیاهی دوجزئی از ضریب گیاهی منفرد دقیق‌تر است، اما استفاده از ضریب گیاهی منفرد برای کاربر ساده‌تر است [۲]. لیو و لوو در سال ۲۰۱۰ ضرایب گیاهی دوگانه را که توسط FAO-56 برای ذرت تابستانه و گندم پاییزه در منطقهٔ شمال چین گزارش شده بود، ارزیابی و بررسی کردند. نتایج نشان داد که روش استفاده از ضرایب گیاهی دوجزئی برای دو محصول پذیرفتنی است، اما برای دورهٔ حداکثر نتایج غلطی ارائه می‌دهد. آنها پیشنهاد کردند که مقادیر ضرایب گیاهی پایه طی دوره‌های اولیه، میانی و پایانی برای دو محصول اصلاح شود. مقادیر ضرایب گیاهی برآوردشده توسط لایسیمتر طی دوره‌های رشد شامل اولیه، توسعه، میانی و پایانی برای گندم پاییزه به‌ترتیب ۰/۸، ۱/۱،۲۵/۱۵ و ۰/۹۵ و برای ذرت تابستانه به‌ترتیب ۰/۹، ۰/۹۳، ۱/۲۵ و ۱ برای منطقهٔ تحت مطالعه گزارش شد [۱۱]. محققان در سال ۲۰۰۹ ضرایب گیاهی پیاز را در اتیوپی با استفاده از سه دستگاه لایسیمتر زهکش‌دار به‌دست آوردند. آنها مقادیر نیاز آبی در مراحل ابتدایی، توسعه، میانی و انتهایی رشد را به‌ترتیب ۵۱/۳، ۱۴۰/۵، ۱۴۴/۸ و ۵۳/۹ میلی‌متر محاسبه کرده و مقادیر KC برای مراحل ابتدایی، میانی و پایانی رشد را به‌ترتیب ۰/۴۷، ۰/۹۹ و ۰/۴۶ برآورد کردند [۹]. در سال ۱۳۹۰ به‌منظور تعیین ضرایب گیاهی گشنیز، آزمایشی به‌مدت دو سال با استفاده از لایسیمتر زهکش‌دار انجام گرفت. در این تحقیق، مقدار نیاز آبی گشنیز با استفاده از روش بیلان آبی و مقدار تبخیر- تعرق مرجع با روش پنمن- مونتیث- فائو محاسبه شد و در نهایت طی دو سال آزمایش، مقدار ضرایب گیاهی برای گشنیز در مراحل رشد اولیه، توسعه، میانی و پایانی به‌ترتیب ۰/۶۶، ۱/۱۹، ۱/۳۶ و ۰/۹۸ به‌دست آمد [۳].

رزماری با نام علمی (*Rosmarinus officinalis* L.) از خانوادهٔ نعناعیان (Labiatae) است که پرورش آن در بسیاری از نقاط ایران معمول است [۴]. گیاه رزماری یکی از کاربردی‌ترین گیاهان دارویی و معطر در صنایع دارویی و غذایی است. روغن رزماری در صنایع دارویی و آرایشی و بهداشتی کاربرد وسیعی دارد [۵]. رزماری گیاهی چندساله و به‌شکل بوته‌ای است که در تمام فصل‌های سال سرسبز است. از خصوصیات این گیاه بوی فراوان برگ‌ها است که آن را به‌عنوان یک گیاه معطر مشهور کرده است. این گیاه از گیاهان بومی مدیترانه است و در ایران نیز کشت می‌شود. اسانس رزماری با کاربرد طعم‌دهندگی در مواد غذایی استفاده می‌شود و همچنین به‌علت دارا بودن خاصیت ضدمیکروبی و خاصیت آنتی‌اکسیدانی وسیع نوعی گیاه دارویی به‌شمار می‌رود [۱].

با توجه به اینکه در منابع مختلف مقداری برای ضرایب گیاهی رزماری و همچنین برآورد نیاز آبی آن تاکنون در هیچ مرجعی گزارش نشده و علی‌رغم مصرف و توان تولید فراورده‌های مختلف دارویی از آن، هنوز مطالعهٔ خاصی برای برنامه‌ریزی و مدیریت آب آن صورت نپذیرفته است،، این تحقیق با هدف اندازه‌گیری و برآورد نیاز آبی و تعیین K_c رزماری و بررسی الگوی تغییرات آن طی فصل رشد، با استفاده از روش بیلان آبی و براساس مقادیر تبخیر و تعرق لایسیمتری در اقلیم نیمه‌خشک طراحی و اجرا شد.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در مزرعهٔ تحقیقاتی پردیس دانشکدهٔ کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه رازی کرمانشاه با طول جغرافیایی ۴۷ درجه و ۹ دقیقهٔ شرقی و عرض جغرافیایی ۳۴ درجه و ۲۱ دقیقهٔ شمالی و ارتفاع ۱۳۱۹ متری از سطح دریا در سال ۱۳۹۱ به انجام رسید. طی مدت اجرای تحقیق و بررسی داده‌های هواشناسی از ایستگاه هواشناسی تمام‌اتوماتیک که به فاصلهٔ پنجاه متری از محل آزمایش قرار داشت، به‌صورت روزانه دریافت شد. پارامترهای هواشناسی در طول دورهٔ آزمایش در جدول ۱ ارائه شده است.

برای اجرای این طرح از پنج عدد لایسیمتر زهکش‌دار به قطر ۱/۳ متر و عمق ۱/۴متر استفاده شد که در سه لایسیمترها گیاه رزماری و در یک لایسیمتر، گیاه مرجع چمن کشت شد و در لایسیمتر دیگر تبخیر از خاک بدون پوشش برآورد شد. بافت خاک به‌کاررفته در لایسیمترها، سیلتی رسی و مقدار رطوبت آن در محدودهٔ ظرفیت زراعی خاک ۲۴ درصد وزنی و جرم مخصوص ظاهری آن ۱/۳ گرم بر سانتی‌متر مکعب بود. در جدول‌های ۲ و ۳ مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک منطقهٔ تحت استفاده در لایسیمترها آمده است.

جدول ۱. پارامترهای هواشناسی در طول دورهٔ آزمایش در سال ۱۳۹۱

سال	ماه	متوسط درجهٔ حرارت(^oC)	متوسط رطوبت نسبی (درصد)	متوسط سرعت باد (m/s)	متوسط ساعت آفتابی (hr)	بارندگی ماهیانه (mm)	تابش (j/cm^2)
	خرداد	۲۴/۹	۲۱/۴	۷/۹	۹/۷	۰/۰	۴۵۲۶/۵
	تیر	۲۸/۱	۱۹/۶	۷/۶	۱۰/۲	۰/۰	۲۵۷۴/۲
۱۳۹۱	مرداد	۲۹/۸	۱۶/۳	۷/۸	۹/۹	۰/۰	۲۵۷۵/۳
	شهریور	۲۵/۹	۱۴/۶	۷/۴	۱۰/۳	۰/۰	۱۷۷۷
	مهر	۲۰/۱	۲۷/۷	۶/۹	۸/۳	۰/۱	۲۳۷۵

جدول ۲. مشخصات فیزیکی خاک منطقهٔ تحت مطالعه

عمق نمونه‌گیری (cm)	وزن مخصوص ظاهری (g/cm^3)	بافت خاک	شن (درصد)	سیلت (درصد)	رس (درصد)
۹۰ -۰	۱/۳	سیلتی رسی	۳/۷	۴۲/۳	۵۴

جدول ۳. مشخصات شیمیایی خاک منطقهٔ تحت مطالعه

pH	EC_e(µmohs/cm)	فسفر قابل جذب (ppm)	پتاسیم جذب قابل(ppm)	کربن آلی ٪	Mn (mg/kg)	Fe (mg/kg)	Zn (mg/kg)	Cu (mg/kg)
۷/۳	۰,۶۰	۲۶	۴۴۰	۱/۳۸	۷/۸	۱۱/۹	۱/۳۶	۱/۶۴

در خرداد ۱۳۹۱ کشت رزماری از طریق انتقال بوته‌ها به محل کشت انجام گرفت. طول دورهٔ رشد گیاه ۱۲۵ روز بود و رشد گیاه تا زمان گلدهی و شرایط مناسب برای اسانس‌گیری از گیاه ادامه داشت. به‌دلیل اینکه بهترین زمان برای برداشت بوته‌ها و سرشاخه‌های مناسب برای اسانس‌گیری قبل از رفتن بوته به گلدهی است، قبل از رسیدن دورهٔ پایانی گیاه برداشت صورت گرفت. با شروع فصل رشد نمونه‌برداری‌ها آغاز شد. ضمناً در هر رکوردگیری مقادیر عمق آبیاری، بارندگی، زهکش و تغییرات ذخیرهٔ رطوبتی خاک ثبت و با استفاده از معادلهٔ بیلان آب، تبخیر و تعرق واقعی گیاه رزماری و چمن و خاک بدون پوشش تعیین شد.

برای اندازه‌گیری تبخیر و تعرق گیاهی توسط لایسیمتر زهکش‌دار برای دورهٔ زمانی معین، از رابطهٔ بیلان آبی خاک استفاده شد.

$$ET_C = I + P - D \pm \Delta S \qquad (۱)$$

که در آن:

I= آب آبیاری (mm)

P= بارندگی (mm)

D= زهکش (mm)

ΔS= تغییرات رطوبت خاک در دورهٔ معین (mm)

در این تحقیق اندازه‌گیری محتوای آب خاک قبل از هر آبیاری توسط دستگاه TDR و حسگرهای مربوط که در هر لایسیمتر در اعماق ۲۰، ۴۰ و ۶۰ سانتی‌متری از سطح خاک قرار داشت انجام گرفت و چنانچه رطوبت خاک در لایسیمتر با کشت رزماری حداکثر از ۷۰ درصد رطوبت سهل‌الوصول کمتر بود، اقدام به آبیاری می‌شد. آب اضافی خارج‌شده از لایسیمترها نیز با استفاده از لوله‌های زیرزمینی به داخل مخازن موجود در اتاقک دسترسی زیرزمینی مجاور لایسیمترها تخلیه شده و توسط ظرف مدرج اندازه‌گیری شد.

۱. محاسبهٔ ضریب گیاهی منفرد (یک‌جزئی)

ضریب گیاهی منفرد اثر متفاوت بودن ویژگی‌های یک محصول و سطح چمن با ظاهر ثابت و پوشش گیاهی کامل را در یک ضریب می‌گنجاند. بنابراین، انواع محصولات، ضرایب گیاهی متفاوتی دارند. متغیر بودن ویژگی‌های گیاه در طول دورهٔ رشد نیز بر ضریب گیاهی مؤثر است. ضریب گیاهی منفرد برای دو گروه لایسیمتر تحت آزمایش از رابطهٔ ۲ به‌دست آمد.

$$K_C = \frac{ET_C}{ET_O} \qquad (۲)$$

در این آزمایش مقدار ET_C از معادلهٔ بیلان آبی خاک (۱) برای گیاه به‌دست آمده و مقدار ET_O با اندازه‌گیری مستقیم از لایسیمتر، برای گیاه مرجع محاسبه شد. ضمنا، در این تحقیق، تبخیر و تعرق پتانسیل گیاه چمن به‌طور مستقیم از لایسیمتر و روش بیلان آبی محاسبه شده، ولی از آنجا که همیشه امکان محاسبهٔ مستقیم ETo وجود ندارد باید مناسب‌ترین روش تجربی را که بیشترین دقت را در محاسبهٔ تبخیر تعرق مرجع دارد به‌دست آورد. در این شرایط، پس از بررسی روش‌های مختلف، روش پنمن مانتیث با داشتن ضریب همبستگی R^2 = ۰/۷۹ با نتایج لایسیمتری، به‌عنوان بهترین روش محاسبهٔ ETo انتخاب شد. تبخیر تعرق گیاه مرجع در روش پنمن مانتیث از رابطهٔ ۳ محاسبه شد [۸].

(۳)

$$ET_\circ = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T+273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34u_\circ)}$$

که در آن:

Rn= تابش خالص خورشیدی ($MJ\ m^{-2}\ per\ day$)؛

G= شار حرارتی خاک ($MJ\ m^{-2}\ day^{-1}$)؛

γ= ثابت سایکرومتری ($kPa°C^{-1}$)؛

Δ= شیب منحنی فشار بخار اشباع با دما ($kPa°C^{-1}$)؛

u2 = سرعت باد در ارتفاع ۲ متری ($m\ s^{-1}$)؛

$(e_s - e_a)$= کمبود فشار بخار اشباع هوا (kPa).

جدول ۴. مقایسهٔ روش‌های مختلف محاسبهٔ ET_O

	Method	Mean (mm/day)	Total (mm)	R	RMSE	MBE	t
1	FAO-Penman equation	۱۷/۸۳	۲۷۶۳/۴۱	۰/۵۰	۱۳/۳۵	۱۲/۵۱	۳۳/۲۷
2	Penman-Kimberly	۱۱/۵۴	۱۷۸۹/۱۹	−۰/۱۶	۷/۷۲	۶/۲۲	۱۶/۹۵
3	Penman-Monteith 56 (PM)	۴/۸۹	۷۵۷/۳۷	۰/۸۹	۱/۲۰	−۰/۴۳	۴/۷۹
4	Turc-Radiation	۲/۶۶	۴۱۲/۷۰	۰/۸۵	۳/۰۵	−۲/۶۶	۲۱/۸۹
5	Priestley and Taylor	۷/۱۰	۱۱۰۱/۲۲	۰/۷۴	۲/۳۷	۱/۷۹	۱۴/۱۷
6	Hargreaves	۶/۹۳	۱۰۷۳/۷۴	۰/۸۷	۱/۹۶	۱/۶۱	۱۷/۸۱
7	Blaney-Criddle	۷/۴۹	۱۱۶۱/۳۹	۰/۸۹	۲/۵۴	۲/۱۷	۲۰/۶۲
8	Makkink	۴/۴۰	۶۸۱/۲۳	۰/۷۳	۱/۸۷	−۰/۹۲	۷/۰۵
9	FAO-Radiation	۸/۴۴	۱۳۰۸/۱۸	۰/۸۰	۳/۵۱	۳/۱۲	۲۴/۱۳

۲. محاسبهٔ ضریب گیاهی دوجزئی

ضریب گیاهی در روش دوجزئی، به دو ضریب جداگانه که یکی اثر تعرق گیاه را توصیف می‌کند و ضریب گیاهی پایه (K_{Cb}) نامیده می‌شود و دیگری اثر تبخیر از خاک (K_e) را بیان می‌کند، تفکیک می‌شود و بنابراین، ضریب گیاهی دوجزئی به‌صورت رابطهٔ ۴ محاسبه شد.

$$K_C = K_{Cb} + K_e \qquad (۴)$$

که در آن:

K_{cb} = ضریب گیاهی پایه؛

K_e= ضریب مربوط به تبخیر از سطح خاک.

براساس پژوهش آلن و پریرا در سال ۲۰۰۹ برای K_{cb} رابطهٔ ۵ ارائه شده است [۷]:

$$K_{cb} = K_{c,min} + K_d(K_{cbfull} - K_{c,min}) \qquad (۵)$$

که در آن:

K_{cb}= ضریب گیاهی پایه؛

$K_{c,min}$= حداقل ضریب گیاهی برای خاک خشک بدون پوشش(۰/۱۵-۰/۲) که در این آزمایش ۰/۱۵در نظر گرفته شده است؛

K_d= ضریب تراکم

$K_{cb,full}$= مقدار K_{cb} در دورهٔ پیک رشد گیاه (هنگامی که پوشش گیاه کامل باشد).

$$K_d = (1 - e^{(-0.7LAI)}) \qquad (۶)$$

که در آن:

LAI= شاخص سطح برگ (m^2/m^2)؛

h= متوسط ارتفاع گیاه در طول دورهٔ رشد (m).

(۷)

$$K_{cbfull} = F_r(\min(1 + 0.1h, 1.2) + \left[0.04(U_2 - 2) - 0.004(RH_{min} - 45)\right](h/3)^{0.3})$$

Fr= فاکتور اصلاحی برای کنترل روزنهٔ گیاه که مقدار آن بین ۰ تا ۱ متغیر است.

مقدار استاندارد Fr برابر یک است، زیرا برای اغلب گیاهان یکساله مقدار r برابر (s/m) ۱۰۰ در نظر گرفته می‌شود [۸].

فرض بر این است که تبخیر از خاک زیرین پوشش گیاهی درK_{cb} گنجانده شده است، بنابراین به‌صورت مستقیم اندازه‌گیری نمی‌شود. تبخیر محاسبه شده، مربوط به

لایهٔ خاک خیس در معرض هوا است. تبخیر Ei از معادلهٔ زیر محاسبه شد:

$$\frac{Ei}{few} = K_e \times ET_o \qquad (۸)$$

عبارت (E_i/few)، شدت تبخیردر کسر خاک خیس‌شده و در معرض هوا را نشان می‌دهد.

few = کسر خاک خیس‌شده و در معرض هوا؛

K_e= ضریب مربوط به تبخیر از سطح خاک؛

Ei = تبخیر از خاک؛

ET_o = تبخیر تعرق گیاه مرجع.

few= 1- fc

$$f_c = \left(\frac{K_{cb} - K_{cmin}}{K_{cmax} - K_{cmin}}\right)^{(1+0.5h)} \qquad (۹)$$

که در آن:

f_c= کسر پوشش گیاهی مؤثر (۰-۰/۹۹)؛

K_{cb}= ضریب گیاهی پایه برای یک روز یا یک دورهٔ مشخص؛

K_{cmin}= حداقل ضریب گیاهی برای خاک خشک بدون پوشش (۰/۱۵-۰/۲)؛

K_{cmax}= حداکثرضریب گیاهی بلافاصله پس از خیس شدن سطح خاک (رابطهٔ ۱۰)؛

h= میانگین ارتفاع گیاه (m).

(۱۰)

$$K_{cmax} = \max\left\{\left[1.2 + [0.04(U_2 - 2) - 0.004(RH_{min} - 45)](h/3)^{0.3}, (K_{cb} + 0.05)\right\}\right.$$

که در آن:

K_{cb} = ضریب گیاهی پایه؛

h= حداکثر ارتفاع گیاه در دورهٔ مورد نظر؛

U_2= سرعت باد در ارتفاع ۲ متری (ms^{-1})؛

RH_{min} = میانگین روزانهٔ حداقل رطوبت نسبی (٪).

مقدار تبخیر از خاک بدون پوشش به‌طور مستقیم از لایسیمتر اندازه‌گیری شد و با محاسبهٔ کسر خاک خیس‌شده و در معرض هوا از روابط گفته‌شده، جزء تبخیر در معادلهٔ ضریب گیاهی دوجزئی برآورد شد.

نتایج و بحث

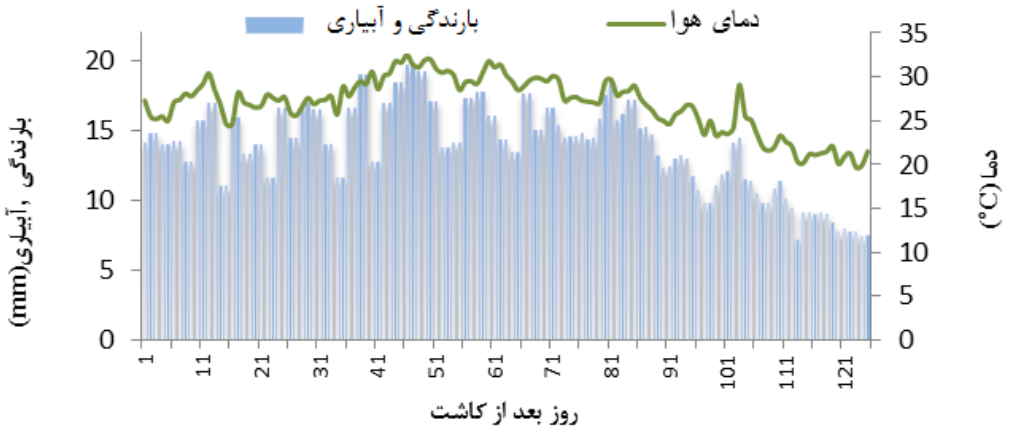
هدف این تحقیق فراهم آوردن بهترین شرایط برای رشد گیاه بود. بنابراین دور آبیاری به‌گونه‌ای انتخاب شد که تنشی به گیاه وارد نشود. در جدول ۵، مقدار آب آبیاری، تاریخ آبیاری و تعداد دفعات آبیاری طی آزمایش ارائه شده است. همچنین شکل ۱ زمان، مقدار آبیاری، بارندگی و تغییرات متوسط دما را نشان می‌دهد. در تاریخ‌هایی که در منطقهٔ تحت مطالعه بارندگی رخ داده، نیازی به آبیاری نبوده و در ماه‌های گرم (تیر و مرداد) که نیاز آبی گیاه بیشتر است، مقدار آبیاری نیز بیشتر بوده است. شکل ۲، تغییرات تبخیر- تعرق گیاه از لایسیمتر (ET_C) و گیاه مرجع(ET_O) در دورهٔ رشد گیاه رزماری درلایسیمترها را نشان می‌دهد. اختلاف بین مقادیر تبخیر- تعرق گیاه رزماری و تبخیر- تعرق گیاه مرجع طی دورهٔ رشد، نشان از افزایش نیاز آبی رزماری در دورهٔ رشد گیاه دارد. در جدول ۶، تبخیر – تعرق ماهیانهٔ رزماری در طول دورهٔ رشد آورده شده است. پس از محاسبهٔ ET_c در هر یک از لایسیمترها، میانگین تبخیر تعرق ماهیانه محاسبه شد. مجموع تبخیر تعرق در طول دورهٔ رشد رزماری ۵۰ /۴۹۵ میلی‌متر به‌دست آمد.

جدول ۵. تاریخ و مقدار آب آبیاری برای لایسیمترهای گیاه رزماری

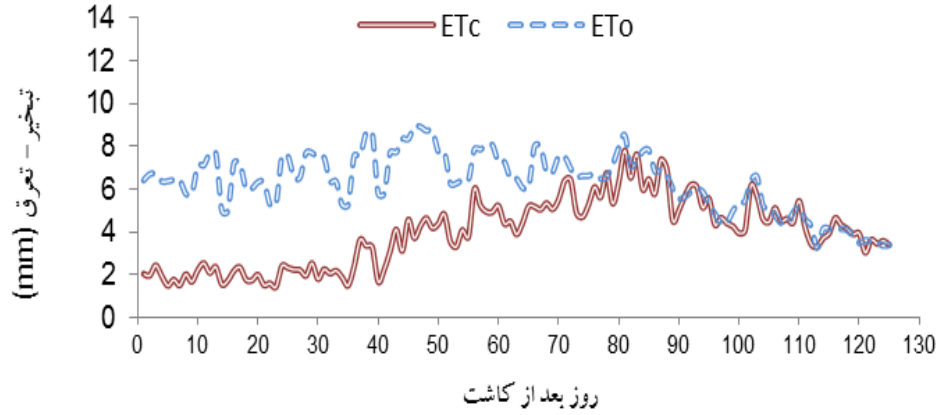
ردیف	تاریخ آبیاری	مقدار آبیاری (mm)	ردیف	تاریخ آبیاری	مقدار آبیاری (mm)	ردیف	تاریخ آبیاری	مقدار آبیاری (mm)	ردیف	تاریخ آبیاری	مقدار آبیاری (mm)
۱	۱۳۹۱/۳/۱۹	۱۴/۱	۱۶	۱۳۹۱/۴/۳۱	۲۰/۰۶	۳۱	۱۳۹۱/۶/۶	۳۶/۰۵	۴۶	۱۳۹۱/۷/۹	۲۴/۱۶
۲	۱۳۹۱/۳/۲۱	۱۰/۳۵	۱۷	۱۳۹۱/۵/۴	۳۵/۸۰	۳۲	۱۳۹۱/۶/۹	۴۲/۲۴	۴۷	۱۳۹۱/۷/۱۴	۵۵/۸۸
۳	۱۳۹۱/۳/۲۳	۱۲/۸۸	۱۸	۱۳۹۱/۵/۷	۲۶/۸۷	۳۳	۱۳۹۱/۶/۱۱	۴۳/۰۹			
۴	۱۳۹۱/۳/۲۶	۱۶/۶۱	۱۹	۱۳۹۱/۵/۹	۲۲/۹۷	۳۴	۱۳۹۱/۶/۱۳	۳۰/۸۳			
۵	۱۳۹۱/۳/۲۹	۱۶/۹۸	۲۰	۱۳۹۱/۵/۱۱	۲۸/۲۱	۳۵	۱۳۹۱/۶/۱۵	۳۹/۷۲			
۶	۱۳۹۱/۴/۱	۱۵/۲۹	۲۱	۱۳۹۱/۵/۱۳	۱۹/۸۲	۳۶	۱۳۹۱/۶/۱۷	۳۱/۸۲			
۷	۱۳۹۱/۴/۴	۱۴/۹۹	۲۲	۱۳۹۱/۵/۱۶	۳۸/۳۶	۳۷	۱۳۹۱/۶/۱۹	۲۲/۳۶			
۸	۱۳۹۱/۴/۷	۱۳/۲۳	۲۳	۱۳۹۱/۵/۱۹	۳۱/۴۳	۳۸	۱۳۹۱/۶/۲۱	۳۲/۶۰			
۹	۱۳۹۱/۴/۱۰	۱۶/۸۱	۲۴	۱۳۹۱/۵/۲۱	۲۷/۳۰	۳۹	۱۳۹۱/۶/۲۳	۱۹/۰۵			
۱۰	۱۳۹۱/۴/۱۳	۱۶/۷۷	۲۵	۱۳۹۱/۵/۲۳	۲۴/۴۶	۴۰	۱۳۹۱/۶/۲۶	۳۱/۲۱			
۱۱	۱۳۹۱/۴/۱۶	۱۵/۹۲	۲۶	۱۳۹۱/۵/۲۵	۲۷/۷۴	۴۱	۱۳۹۱/۶/۲۸	۱۸/۴۱			
۱۲	۱۳۹۱/۴/۱۹	۱۴/۱۹	۲۷	۱۳۹۱/۵/۲۸	۴۱/۵۹	۴۲	۱۳۹۱/۶/۳۰	۱۹/۹			
۱۳	۱۳۹۱/۴/۲۳	۲۲/۵۶	۲۸	۱۳۹۱/۵/۳۰	۲۴/۰۴	۴۳	۱۳۹۱/۷/۲	۳۰/۴۴			
۱۴	۱۳۹۱/۴/۲۵	۱۲/۵۵	۲۹	۱۳۹۱/۶/۱	۳۰/۲۰	۴۴	۱۳۹۱/۷/۴	۱۸/۰۹			
۱۵	۱۳۹۱/۴/۲۸	۲۲/۴۰	۳۰	۱۳۹۱/۶/۴	۴۱/۸۰	۴۵	۱۳۹۱/۷/۷	۵۷,۲۵			

جدول ۶. تبخیر- تعرق ماهانهٔ رزماری (میلی‌متر)

لایسیمتر	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	مهر	جمع
لایسیمتر ۱	۲۸/۲	۶۹/۵	۱۵۶/۳	۱۷۱/۸	۷۲/۹	۴۹۸/۷
لایسیمتر ۲	۲۲/۸	۶۳/۰	۱۴۳/۸	۱۷۱/۶	۶۲/۵	۴۶۳/۷
لایسیمتر ۳	۳۷/۴	۹۴/۰	۱۵۴/۸	۱۷۳/۴	۶۴/۷	۵۲۴/۳
میانگین	۲۹/۴	۷۵/۵	۱۵۱/۶	۱۷۲/۳	۶۶/۷	۴۹۵/۵



شکل ۱. زمان و مقدار آبیاری و بارندگی و تغییرات متوسط دما در لایسیمترها

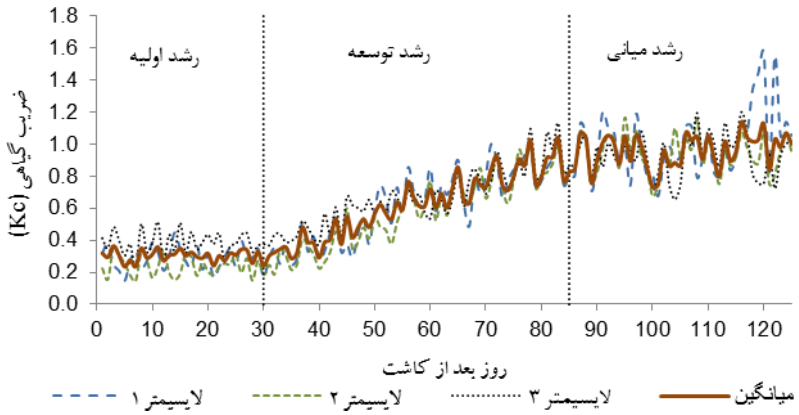


شکل ۲. تغییرات تبخیر- تعرق گیاه رزماری از لایسیمتر(ETC) و گیاه مرجع(ETO) در دورهٔ رشد

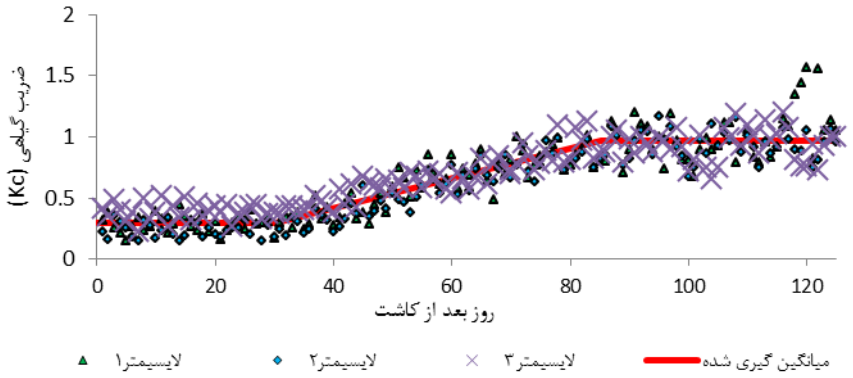
۱. محاسبهٔ ضریب گیاهی منفرد (یک‌جزئی)

دورهٔ رشد رزماری به سه مرحله (ابتدایی، توسعه و میانی) تقسیم شد. در شکل ۳ ضرایب گیاهی منفرد روزانهٔ رزماری طی دورهٔ رشد مشاهده می‌شود. در نهایت در شکل ۴ میانگین مقادیر K_C از لایسیمترها و منحنی میانگین‌گیری‌شدهٔ آنها بر حسب روزهای رشد نشان داده شده است. در جدول ۷، مقادیر ضرایب گیاهی برای دوره‌های مختلف رشد در لایسیمترها آورده شده است.

میانگین ضرایب گیاهی برای مراحل اولیه، توسعه و میانی لایسیمترها به‌ترتیب (۰/۳۰، ۰/۶۳، ۰/۹۶) به‌دست آمد. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده از ضریب گیاهی می‌توان نتیجه گرفت که در مرحلهٔ اولیه اندازهٔ گیاه کوچک بوده و مقدار تبخیر بیشتر از مقدار تعرق است و به‌همین علت مقدار K_c پایین بوده، ولی در مراحل توسعه و میانی با رشد گیاه و افزایش شاخص سطح برگ مقدار تعرق زیاد شده و به‌دنبال آن K_c نیز افزایش یافته است.



شکل ۳. ضرایب گیاهی منفرد روزانه در مراحل رشد برای لایسیمترها



شکل ۴. ضرایب گیاهی منفرد رزماری در مراحل رشد و منحنی میانگین‌گیری‌شده برای لایسیمترها

جدول۷. میانگین ضرایب گیاهی منفرد رزماری در مراحل رشد برای لایسیمترها

سال	مرحلهٔ ابتدایی	مرحلهٔ توسعه	مرحلهٔ میانی
لایسیمتر۱	۰/۲۹	۰/۶۳	۱/۰۱
لایسیمتر۲	۰/۲	۰/۵۸	۰/۹۴
لایسیمتر۳	۰/۳۸	۰/۶۷	۰/۹۳
میانگین	۰/۳۰	۰/۶۳	۰/۹۶

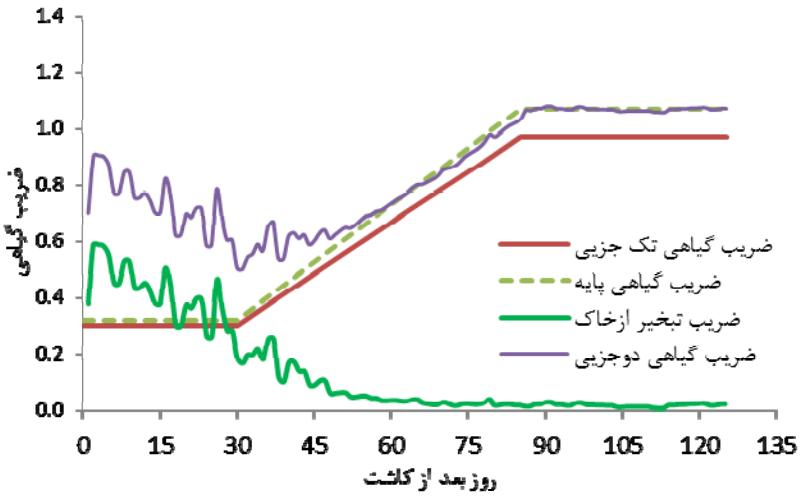
۲. محاسبهٔ ضریب گیاهی دوجزئی

مقادیر ضریب گیاهی پایه (K_{cb}) و ضریب تبخیر (K_e) و ضریب گیاهی دوجزئی از طریق لایسیمترها در هر روز به‌دست آمد. مقادیر ضریب گیاهی پایه (K_{cb}) در مراحل مختلف رشد گیاه رزماری در جدول ۸ ارائه شده است. شکل ۵ نیز تغییرات ضریب گیاهی دوجزئی را برای گیاه رزماری نشان می‌دهد. نتایج نشان‌دهندهٔ آن است که مقدار ضریب گیاهی پایه (جزء تعرق) به‌تدریج زیاد شد و در

مرحلهٔ میانی به حداکثر خود رسید. مقدار ضریب تبخیر از سطح خاک (K_e) پس از خیس شدن لایهٔ خاک سطحی با بارندگی یا آبیاری، بیشترین مقدار است. با خشک شدن این لایه، ضریب تبخیر کاهش می‌یابد. در شرایطی که آب در لایهٔ خاک سطحی باقی نباشد، ضریب تبخیر می‌تواند صفر لحاظ شود. با در نظر گرفتن نمودارهای ارائه‌شده، در مرحلهٔ اولیه که پوشش سبز گیاه کم است، مقدار تبخیر از خاک حداکثر بود و این ضریب به‌تدریج کاهش یافت تا اینکه در مرحلهٔ میانی به حداقل رسید. ضریب گیاهی دوگانه که مجموع جزء تعرق و جزء تبخیر است، نیز به‌تدریج کاهش یافت. در ضمن نوسانات مشاهده‌شده در نمودارها به‌دلیل کوتاه بودن دور آبیاری است.

جدول۸. میانگین ضرایب گیاهی پایهٔ رزماری در مراحل رشد برای لایسیمترها

مراحل رشد	مرحلهٔ اولیه	مرحلهٔ توسعه	مرحلهٔ میانی
میانگین	۰/۳۲	۱/۲۰	۱/۰۵



شکل ۵. ضرایب گیاهی دوجزئی رزماری در مراحل رشد برای لایسیمترها

نتیجه‌گیری

استفاده از ضرایب گیاهی منتشرشده در نشریهٔ خواربار جهانی (فائو) برای برآورد نیاز آبی گیاهان امری عادی است، هرچند که در این مرجع هیچ مقداری در مورد گیاهان دارویی و از جمله رزماری ارائه نشده است. لذا در این تحقیق مقادیر تبخیر- تعرق گیاه مرجع با استفاده از لایسیمتر زهکش‌دار و رابطهٔ بیلان آبی به‌دست آمد و نیاز آبی رزماری (ET_C) با استفاده از نتایج لایسیمتر و با روش بیلان آبی تعیین شد. روند تغییرات تبخیر تعرق رزماری و گیاه مرجع نشان داد که در آغاز فصل رشد سهم تبخیر از سطح خاک، از تبخیرتعرق صورت‌گرفته بیشتر بود، ولی با شروع مرحلهٔ توسعه و رشد رفته‌رفته سهم تعرق از تبخیر پیشی گرفت. در ابتدای کشت، نیاز آبی گیاه رزماری کمتر از گیاه مرجع بود و بعد از رسیدن به مرحلهٔ توسعه و میانی

به مقدار نیاز آبی گیاه مرجع نزدیک شد. میانگین نیاز آبی رزماری ۵۰/ ۴۹۵ میلی‌متر اندازه‌گیری شد. ضرایب گیاهی منفرد و ضرایب گیاهی پایهٔ به‌دست‌آمده در مراحل اولیه، توسعه و میانی به‌ترتیب ۰/۳۰، ۰/۶۳، ۰/۹۶ و ۰/۳۲، ۱/۲۰، ۱/۰۵ بود. از مقادیر به‌دست‌آمده در این تحقیق، به‌ویژه ضرایب گیاهی منفرد (یک‌جزئی)، می‌توان برای مدیریت و برنامه‌ریزی منابع آب گیاه دارویی رزماری در مناطقی که با اقلیم نیمه‌خشک کشت می‌شوند، به‌عنوان مرجعی جدید و ساده استفاده کرد.

منابع

۱. جعفرزاده خالدی ک. آقازاده مشگی م. شریفیان ا. لاریجانی ک(۱۳۸۹). بررسی اثر اسانس رزماری بر روی روند باکتری استافیلوکوکوس ارئوس در رسوب آماده تجارتی. بیوپاتولوژی مقایسه‌ای ایران.۷(۲) ۲۵۵-۲۶۳.

۲. زارع ابیانه ح. قاسمی ع. معروف ص. بیات ورکشی م(۱۳۸۹). تعیین نیاز آبی و ضرایب گیاهی منفرد و دوگانه سیر در اقلیم نیمه خشک سرد. مجله دانش آب و خاک.۱(۱): ۱۱۱-۱۲۲.

۳. قمرنیا ه. جعفرزاده م. میری ا. قبادی م (۱۳۹۰) . برآورد ضریب گیاهی گشنیز (*Corandrum Sativa* L.) در منطقه‌ای با اقلیم نیمه‌خشک. مجله مدیریت آب و آبیاری. دورهٔ ۱ (۲): ۷۳ – ۸۳ .

۴. قنادی ع. سجادی ا. محمد المسلمی م ا(۱۳۸۱). بررسی فیتو شیمیایی فلاونوئیدها و روغن فرار گیاه رزماری کشت شده در ایران. مجله علمی پزشکی اهواز.۳۴.

۵. ملکی دوززاده م. خدیوپارسی پ. رضازاده ش.ابوالقاسمی ح. پیرعلی همدانی م.(۱۳۸۶). بررسی فرایند استخراج روغن های فرار گیاه رزماری به روش تقطیر با بخار آب. فصلنامه گیاهان داروئی.۶(۲۴): ۱۰۱-۱۱۰.

۶. نعمت‌پور ع.میرلطفی م. محمدی ک(۱۳۸۹). ارزیابی اثر مقاومت آیرودینامیک و تاج گیاه بر برآورد تبخیر-تعرق مرجع به وسیله معادله پنمن مانتیس. مجله آبیاری و زهکشی.۴(۱):۱۵۶-۱۶۶

7. Allen RG and. Pereir L S (2009). Estimating crop coefficients from fraction of ground cover and height. Irrigation Science. 28:17-34.

8. Allen RG, Pereira L S, Raes D and Smith M (1998). Crop Evapotranspiration.Irrig. Drain. Paper 56, FAO, Rome.

9. Bossie M, Tilahun K and Hordofa T (2009). Crop coefficient and evaptranspiration of onion at Awash Melkassa, Central Rift Valley of Ethiopia.Irrig Drainage Syst, 23:1-10.

10. Doorenbos J and Pruitt W O (1977). Guidelines for predicting crop water requirements. Irrigation Drainage Paper No. 24, FAO, Rome, Italy.

11. Liu Y and Luo Y (2010) A consolidated evaluation of the FAO-56 dual crop coefficient approach using the lysimeter data in the North China Plain. Agricultural Water Management. 97(1): 31-40.