نشریه پژوهش آب در کشاورزی / ب / جلد ۳۳ / شماره ۲/ ۱۳۹۸
10.22092/JWRA.2019.119736

تعیین ضریب گیاهی چغندرقند با استفاده از لایسیمتر در دشت اردبیل و مقایسه آن با داده‌های جهانی فائو

مجید رئوف [۱*]

دانشیار گروه مهندسی آب، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.
majidraoof2000@gmail.com

چکیده

اگر چه تغییر اقلیم در بیشتر مناطق دنیا باعث تغییر در مقدار آب مصرفی گیاهان شده است، اما هنوز هم برای برنامه‌ریزی آبیاری و تعیین و تخصیص حجم آب آبیاری، داده‌های مختلف سازمان فائو مورد استفاده قرار می‌گیرد. هدف از این تحقیق ارزیابی دقت داده‌های جهانی فائو برای تعیین ضریب گیاهی چغندرقند در دشت اردبیل بود. پارامترهای معادله بیلان آب شامل بارش و آب آبیاری، آب زهکشی شده، آب ذخیره شده در خاک و تبخیر تعرق گیاه چغندرقند با استفاده از سه دستگاه لایسیمتر حجمی تعیین شد. پس از آماده‌سازی لایسیمترها، در اردیبهشت ۱۳۹۶، گیاه چغندرقند در خاک لایسیمترها و اطراف آن‌ها کشت و آبیاری گردید. رطوبت حجمی خاک قبل از هر آبیاری و آب زهکشی شده از لایسیمترها بعد از هر آبیاری، اندازه‌گیری شد. در نهایت با استفاده از داده‌های اندازه‌گیری شده، معادله بیلان برای بازه‌های زمانی مختلف کامل شده و میزان تبخیر تعرق گیاه و ضریب گیاهی برای مراحل مختلف چهارگانه رشد تعیین گردید. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون آماری t استیودنت و در دو سطح احتمال یک و پنج درصد انجام شد. نتایج نشان داد تبخیر تعرق گیاه چغندرقند در کل دوره رشد برابر ۱۰۱۳ میلیمتر بود. متوسط ضریب گیاهی برای دوره‌های اول، دوم، سوم، چهارم و کل دوره رشد به ترتیب ۰/۳۳، ۰/۹، ۱/۱۶، ۰/۸۸ و ۰/۹ به دست آمد. در تمام مراحل رشد، متوسط مقادیر اندازه‌گیری شده نسبت به مقادیر ارائه شده توسط فائو، در دو سطح احتمال یک و پنج درصد دارای اختلاف معنی‌دار نبود. اعداد به دست آمده در مقایسه با اعداد منتشر شده در نشریه فائو ۵۶ برای مناطق سردسیر انطباق خوبی را نشان می‌دهد، بنابراین می‌توان برای برنامه‌ریزی آبیاری در منطقه مورد مطالعه از داده‌های جهانی منتشر شده توسط فائو استفاده کرد.

واژه‌های کلیدی: بیلان آب، تبخیر تعرق، دوره رشد، فائو ٥٦

۱- آدرس نویسنده مسئول:گروه مهندسی آب، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

*- دریافت: مهر ۱۳۹۷ و پذیرش: اردیبهشت ۱۳۹۸

مقدمه

جمعیت جهان در سال ۲۰۵۰ به حدود نه میلیارد نفر خواهد رسید (فائو، ۲۰۰۹؛ اُدگارد و وندر وُت، ۲۰۱٤؛ بنه و همکاران، ۲۰۱۵؛ ون دیک و همکاران، ۲۰۱٦). بر اساس تحقیقات صورت گرفته جمعیت کشورمان نیز در سال ۱٤۰٤ از مرز ۸٦ میلیون نفر عبور خواهد کرد که رشد جمعیت در آن در مقایسه با بسیاری از کشورها دارای سرعت بیشتری است (محمودی و همکاران، ۱۳۹۱). برای رشد سریع جمعیت جهان و ایران یک چالش بزرگ در تولید غذا و با منابع آب و زمین محدود ایجاد خواهد شد. در این بین برخی از استان‌های کشور که دارای منابع آب سطحی یا زیرزمینی بیشتری بوده، از قبیل استان اردبیل (به خاطر قابلیت رودخانه ارس) دارای نقش بیشتری در تولید محصولات کشاورزی خواهد بود. اکثر مناطق استان اردبیل دارای بارندگی کم بوده، به طوری‌که متوسط بارش سالانه در استان حدود ۳۰۰ میلی‌متر است (میرزایی و همکاران ۱۳۹٤). اگرچه کمبود آب در سالیان گذشته در کل کشور یک مسئله مهم بوده است، اما در سال‌های اخیر به واسطه خشک‌سالی‌های اتفاق افتاده، این مسئله به مهم‌ترین مشکل کشور تبدیل شده است که در استان‌های مختلف به وضوح قابل مشاهده می‌باشد. مشکل ذکر شده مختص به کشور خودمان نبوده بلکه در بسیاری از کشورهای جهان نیز کم آبی مشکلات بسیاری را در مورد اقتصاد ملی کشورها ایجاد کرده است. سال ۲۰۱٤ به عنوان گرم‌ترین و خشک ترین سال در جهان ثبت گردید (مان و گلیک، ۲۰۱۵؛ چورنسکی و همکاران، ۲۰۱۵؛ سوآین و همکاران، ۲۰۱٤). کمبود آب باعث می‌گردد که نیاز به "مدیریت بهتر آب"، "بهینه‌سازی مصرف آب" و بالا بردن "کارآیی مصرف آب" در سطح مزعه بیش از پیش احساس گردد. یکی از ملزومات بهینه-سازی مصرف آب و بالا بردن بهره‌وری آب در سطح مزرعه تعیین حجم دقیق آب آبیاری و زمان و نحوه آبیاری در مزارع است که باعث افزایش عملکرد محصول و کاهش حجم آب کل مصرفی خواهد شد (پارکر و همکاران، ۱۹۹٦؛ جانسون و همکاران، ۲۰۱٦). برنامه‌ریزی دقیق آبیاری نیاز به تعیین آب مورد نیاز گیاهان زراعی خواهد داشت. آب مورد نیاز گیاهان زراعی همان مقدار تبخیر و تعرقی است که از سطوح سبز گیاه و سطح بدون پوشش خاک صورت می‌پذیرد. تخمین دقیق تبخیر تعرق گیاهان زراعی یکی از الزامات اولیه و اصلیتعیین دقیق زمان آبیاری گیاهان است (دورنباس و کسام، ۱۹۷٦).

چغندرقند مهم‌ترین منبع تولید قند و شکر در ایران است و نیشکر از این نظر مقام دوم را دارد (شهابی‌فر و رحیمیان، ۱۳۸٦). حجم اعظم آب مصرفی در ایران به بخش کشاورزی اختصاص دارد (رحیمیان و اسدی، ۱۳۸۰). نیاز آبی چغندرقند در کرمانشاه ۱۸۸۵ میلیمتر (وزیری، ۱۳۷۰)، در همدان ۱۰۹٦ میلیمتر (رحیمی، ۱۳۷٦)، در کرج حدود ۱۳۵۰ میلیمتر (طالقانی و همکاران، ۱۳۸۳)، در دو منطقه رودشت و بران اصفهان به ترتیب ۱۲۰۰ و ۹۷۰ میلیمتر (رئیسی، ۱۳۷۲)، در مشهد ۱۲۲۱ میلیمتر (شهابی‌فر و رحیمیان، ۱۳۸٦) و در کبوترآباد اصفهان ۱۰٦٦ میلیمتر (پناهی و همکاران، ۱۳۸۵) اندازه-گیری و گزارش شده است. علاوه بر موارد ذکر شده فوق، تحقیقاتی نیز در زمینه عملکرد محصول چغندرقند (عروج-نیا و همکاران،۱۳۹۱؛ پرهیزکاری و همکاران، ۱۳۹٤؛ ابراهیمی پاک و مستشاری، ۱۳۹۱؛ بهمنش و نورجو، ۱۳۹۵؛ جوزی و زارع ابیانه، ۱۳۹٤؛ سعادتی و همکاران، ۱۳۹٦) به انجام رسیده‌اند.

در بسیاری از مناطق جهان برنامه‌ریزی آبیاری بر اساس داده‌های مختلفی که توسط برخی سازمان‌های بین-المللی منتشر شده است، صورت می‌گیرد. فائو در نشریه-های شماره ۲٤، ۳۳ و ۵٦ خود برخی از اطلاعات مورد نیاز برای تعیین نیاز آبی گیاهان و برنامه‌ریزی آبیاری را برای مناطق مختلف و شرایط آب و هوایی متفاوت، منتشر نموده است. یکی از مهم‌ترین پارامترهای مربوط به گیاهان، ضریب گیاهی است که برای تعیین میزان تبخیر تعرق گیاهان زراعی مختلف مورد استفاده قرار می‌گیرد. مقادیر ضریب گیاهی برای برخی شرایط اقلیمی و انواع گیاهان، در نشریه ۵٦ فائو آورده شده است. تحقیقات مختلفی در

مورد تعیین ضریب گیاهی برای گیاهان زراعی مختلف و مقایسه آن با داده‌های فائو در مناطق مختلف دنیا، انجام یافته و نتایج متفاوتی از آنها استخراج و گزارش شده است. برای نمونه می‌توان به تحقیقات آلن و همکارن (آلن و همکاران، ۲۰۱۱) برای منطقه خشک غرب ایالت متحده، تائو و همکاران (تائو و همکاران، ۲۰۱۷) برای منطقه کالیفرنیا، زارع ابیانه و همکاران (زارع ابیانه و همکاران، ۲۰۱۱) برای منطقه همدان اشاره نمود. در بیشتر تحقیقات صورت گرفته، تأکید بر آن است که بهتر است برای برنامه‌ریزی آبیاری از داده‌های محلی استفاده گردد.

گیاه چغندرقند جز یکی از گیاهان الگوی کشت در بسیاری از مناطق استان اردبیل و از جمله دشت اردبیل، مشکین‌شهر، خلخال و مغان است. بر اساس گزارشات وزارت جهاد کشاورزی، استان اردبیل از نظر کشت چغندر قند رتبه هشت را در بین استانهای کشور داشته و متوسط سطح زیر کشت این گیاه در استان اردبیل تقریباً ۲۷۰۰ هکتار (۲/٦ درصد مساحت تحت کشت چغندرقند کل کشور) است. از این نظر استان‌های آذربایجان غربی (۲۹/۱ درصد)، خراسان رضوی (۱۷/٤ درصد)، فارس (۱۲/٦ درصد) و کرمانشاه (۱۱/۹ درصد) در رتبه‌های یک تا چهار بوده و در مجموع ۷۱ درصد مساحت تحت کشت چغندرقند را به خود اختصاص می‌دهند. متوسط برداشت سالانه چغندرقند در استان اردبیل حدود ۵۳۵۰۰ تن است که نشان از اهمیت بالای این گیاه در استان دارد. با توجه به اهمیت آب مصرفی گیاهان در کشور، هدف از این تحقیق، تعیین ضریب گیاهی و در نتیجه تعیین میزان دقیق تبخیر تعرق و آب مصرفی گیاه چغندرقند در دشت اردبیل به عنوان یک منطقه با اقلیم سردسیر، با استفاده از داده‌های لایسیمتری است.

مواد و روش‌ها

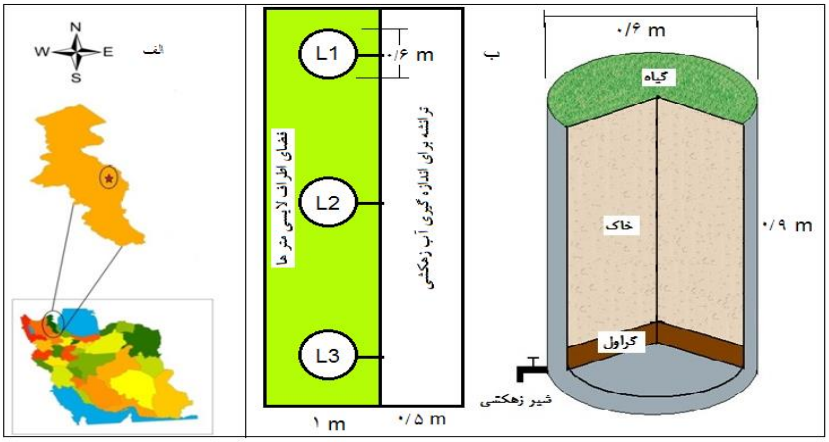
منطقه مورد مطالعه

این تحقیق در مزرعه تحقیقاتی هانگار دانشگاه محقق اردبیلی واقع در شهر اردبیل انجام شد. موقعیت جغرافیایی شهر اردبیل ۳۸ درجه و ۱۵ دقیقه‌ی شمالی و ٤۸ درجه و ۱۷ درجه‌ی شرقی است. شهر اردبیل، مرکز استان اردبیل با ارتفاع ۱۳۳۲ متر از سطح دریا، در میان کوه‌های تالش و سبلان واقع گردیده است. شهرستان اردبیل دارای اقلیم مدیترانه‌ای گرم، مدیترانه‌ای معتدل، کوهستانی سرد و معتدل است. بارندگی نیز در تمام فصول وجود دارد، ولی شدت آن در بهار و پاییز بیشتر است (میرزائی و همکاران، ۱۳۹٤). موقعیت منطقه‌ی مورد مطالعه در شکل ۱ نشان داده شده است. نوع اقلیم منطقه مورد مطالعه بر اساس طبقه‌بندی اقلیمی دومارتن نیمه خشک و سرد است (پیل‌پایه و همکاران، ۲۰۱۰). جهت استخراج پارامترهای هواشناسی به‌صورت روزانه، از داده‌های نزدیکترین ایستگاه هواشناسی منطقه (ایستگاه سینوپتیک اردبیل) در طول دوره مورد نیاز، استفاده شد.

خصوصیات لایسیمترهای مورد استفاده

برای انجام این تحقیق از سه لایسیمتر زهکش‌دار به قطر داخلی ۵۸ سانتی‌متر و عمق ۹۰ سانتی‌متر استفاده گردید. در انتهای لایسیمترها شیری برای خروج آب زهکشی تعبیه شد که آب زهکشی شده بعد از جمع‌آوری با استوانه‌ی مدرج اندازه‌گیری می‌شد. به منظور سهولت در زهکشی، لایه‌ای از شن به ضخامت ۱۰ سانتی‌متر در کف لایسیمترها ریخته شد (شکل ۱). در تاریخ ۱۲ اردیبهشت ۱۳۹٦ گیاه چغندرقند در لایسیمترها و مساحتی در اطراف لایسیمترها کاشته و جهت جوانه‌زنی آبیاری کامل شد. اولین آبیاری در تاریخ ۱۲ اردیبهشت ۱۳۹٦ انجام و اندازه‌گیری‌ها قبل از آبیاری شروع شد. آبیاری‌ها به صورت دو بار در هفته (ساعت هشت یکشنبه و ۱٦ چهارشنبه)، انجام شد. همچنین در هر روز دو بار و در ساعات ۱۰ (قبل از ظهر) و ۱۸ (٦ بعد از ظهر) آب زهکشی در صورت وجود، با استوانه‌ی مدرج، اندازه‌گیری می‌شد. جهت جلوگیری از تبخیر شدن آب زهکش شده سطح ظرف جمع‌آوری کننده آب زهکشی با پلاستیک پوشانده شده بود. جهت اندازه-گیری مقادیر بارش روزانه یک عدد باران‌سنج در کنار

لایسیمترهای مورد نظر نصب شد و بارندگی‌های روزانه اندازه‌گیری و ثبت گردید. جهت اندازه‌گیری رطوبت خاک موجود در لایسیمترها قبل از هر آبیاری، از عمق ۱۵-۰ سانتی‌متر، نمونه خاک دست خورده از هر لایسیمتر برداشت شد. جهت برداشت نمونه خاک برای تعیین رطوبت خاک، عمل تنک کردن گیاهچه‌های چغندرقند طوری صورت گرفت که محل‌های مناسبی برای برداشت نمونه خاک در داخل هر لایسیمتر باقی مانده باشد.



شکل ۱ -الف) موقعیت منطقه مورد مطالعه و ب) نمایی شماتیک از لایسیمترها

علاوه بر برداشت نمونه قبل از هر آبیاری، در طول فصل کاشت تا برداشت چغندرقند در چندین زمان مختلف از اعماق مختلف نیز با استفاده از مته نمونه‌برداری، نمونه‌های خاک دست خورده برای تعیین رطوبت در اعماق پایین‌تر خاک برداشت گردید. سعی گردید با انجام آبیاری به موقع رطوبت خاک از حد رطوبت سهل‌الوصول کمتر نگردد تا حتی‌الامکان به گیاه تنش رطوبتی وارد نشود. اندازه‌گیری‌ها تا ۲۰ آبان ۱۳۹۶ (زمان برداشت گیاه چغندرقند) ادامه داشت. با توجه به اینکه تراکم گیاهچه‌های چغندرقند بیشتر از حد معمول شده بود، عمل تنک کردن آن دو بار صورت گرفت. بعد از دومین تنک کردن فاصله گیاهچه‌ها از هم تقریبا به حالت استاندارد کشت چغندرقند یعنی حدود ۱۰۰ هزار بوته در هکتار (طالقانی و همکاران، ۱۳۸۳) رسید.

معادله بیلان آب، استخراج تبخیر تعرق و ضریب گیاهی

با دانستن مقادیر رطوبت خاک، آب آبیاری و بارندگی در طول دوره‌ی رشد گیاه چغندرقند، در هر لایسیمتر و نیز تعیین نفوذ عمقی از طریق جمع‌آوری آب خارج شده از انتهای لایسیمترها، از رابطه‌ی ۱ تبخیر تعرق چغندرقند قابل محاسبه شد (شوشتریان و زندپارسا، ۱۳۹۲):

$$ET_c=I+R-D-\Delta S \quad (1)$$

که در آن:

ET_c تبخیر تعرق گیاه چغندرقند در فاصله‌ی اندازه‌گیری رطوبت خاک در لایسیمتر (mm)، I مقدار آب آبیاری (mm)، R میزان بارندگی (mm)، D مقدار آب زهکشی شده (mm) و ΔS تغییرات رطوبت خاک در عمق توسعه ریشه گیاه در فاصله‌ی اندازه‌گیری رطوبت خاک در دو نوبت (mm) هستند. تغییرات رطوبت خاک در عمق توسعه ریشه گیاه از رابطه ۲ محاسبه می‌شود.

$$\Delta S = S_2 - S_1 = \int_0^L \theta dz \simeq \sum_{i=1}^{n} \theta\, \Delta z = \theta L \quad (2)$$

که در آن:

S_1 رطوبت ذخیره شده در خاک در ابتدای دوره‌ی زمانی، S_2 رطوبت ذخیره شده در خاک در انتهای دوره‌ی زمانی، θ رطوبت حجمی خاک، Δz عمق لایه‌های خاک، L ارتفاع کل ستون خاک و n تعداد لایه‌های نیمرخ هستند. همان‌طور که قبلاً اشاره شد، جهت اندازه‌گیری رطوبت

خاک در لایسیمترها از روش نمونه‌برداری دست خورده استفاده شد. تغییرات رطوبت خاک در هر دور آبیاری به این صورت محاسبه شد که اختلاف رطوبت ابتدا و انتهای دور آبیاری در متوسط عمق ریشه‌ی گیاه در دور آبیاری موردنظر ضرب شد. رطوبت ابتدا و انتها به ترتیب میانگین رطوبت عمق‌های مختلف در ابتدا و انتهای دور آبیاری در نظر گرفته شد.

خصوصیات فیزیکی و هیدرولیکی خاک در اعماق مختلف، در آزمایشگاه اندازه‌گیری شدند. در جدول شماره ۱ خصوصیات مورد نظر در چهار عمق ۱۵-۰، ۳۰-۱۵، ۵۰-۳۰ و ۹۰-۵۰ آورده شده‌اند. درصد بالای ذرات شن در تمام اعماق بیانگر این موضوع است که آب داده شده به لایسیمترها به احتمال زیاد به آسانی زهکشی خواهد شد و ذخیره رطوبتی خاک و نگهداشت آن بالا نخواهد بود؛ بنابراین نمی‌توان دور آبیاری بالا را اعمال نمود زیرا در این صورت احتمال وارد شدن تنش به گیاه وجود خواهد داشت. در اعماق پایین‌تر جرم ویژهٔ ظاهری نسبتاً بیشتر و تخلخل نسبتاً کمتر است، این مورد می‌تواند به دلیل اثر وزن ستون خاک اعماق بالا در اعماق پایین باشد (رئوف و همکاران، ۲۰۰۹).

جدول ۱ - برخی خصوصیات خاک منطقه مورد مطالعه در اعماق مختلف

عمق خاک (cm)	جرم ویژهٔ ظاهری $\left(\frac{gr}{cm^3}\right)$	تخلخل کل (٪)	رطوبت حجمی ظرفیت مزرعه (٪)	رطوبت حجمی پژمردگی دائم (٪)	درصد ذرات تشکیل دهنده (٪)			بافت خاک
					رس	سیلت	شن	
۰-۱۵	۱/۴	۴۴/۱	۲۲/۹	۱۳/۲	۶	۳۱	۶۳	لوم شنی
۱۵-۳۰	۱/۳	۴۶/۲	۲۳/۱	۱۳/۵	۶	۳۰	۶۴	لوم شنی
۳۰-۵۰	۱/۴	۴۵/۳	۲۳/۷	۱۲/۳	۵	۳۲	۶۳	لوم شنی
۵۰-۹۰	۱/۴	۴۳/۷	۲۲/۵	۱۳	۵	۳۲	۶۳	لوم شنی

طول دوره‌ی رشد گیاه چغندرقند بسته به منطقه کشت بین ۱۵۵ تا ۲۵۵ روز متغیر است (آلن و همکاران، ۲۰۱۱). در این تحقیق طول دوره رشد ۱۹٤ روز بود (از ۱۲ اردیبهشت تا ۲۰ آبان ۱۳۹٦). همچنین، طول مراحل چهارگانه رشد به ترتیب برابر ۳۰، ۵۰، ۸۰ و ۳٤ روز به دست آمدند. بر اساس تحقیقات صورت گرفته توسط فائو (۲۰۰۹)، بسته به نوع خاک، اقلیم و واریته چغندرقند، حداکثر عمق توسعه‌ی ریشه گیاه در طول دوره‌ی رشد ۱۰۰ سانتی‌متر و حداکثر ارتفاع گیاه در طول دوره رشد ۵۰ سانتی‌متر است. با توجه به اینکه عمق مفید لایسیمترها ۸۰ سانتی‌متر است (۱۰ سانتیمتر کف لایسیمترها از گراول پر شده و با توجه به اینکه شیر تخلیه آب زهکشی تقریبا شش سانتی‌متر از کف لایسیمتر بالاتر است لذا در ۱۰ سانتی‌متر کف، به دلیل اشباع بودن خاک، امکان رشد ریشه وجود ندارد)، عمق ریشه‌دوانی و سپس عمق آب آبیاری در هر دور آبیاری مشخص شد. در این تحقیق حداکثر عمق ریشه دوانی گیاه چغندرقند برابر ۸۰ سانتیمتر اندازه‌گیری شد. آب آبیاری با توجه به مساحت لایسیمترها به صورت حجمی به لایسیمترها داده شد. به این ترتیب که ارتفاع آب مورد نیاز گیاه در سطح لایسی ضرب شده و حجم آب آبیاری محاسبه و به لایسیمترها داده شد. مقدار بارندگی روزانه از آمار دستگاه باران‌سنجی که در کنار لایسیمترها نصب شده بود استخراج و اعمال گردید. حجم آب زهکشی شده از انتهای لایسیمترها در هر دور آبیاری بر حسب لیتر اندازه-گیری شد. عمق آب زهکشی شده و عمق آب آبیاری به ترتیب از تقسیم حجم آب زهکشی و حجم آب آبیاری بر مساحت لایسیمترها (۲٦٤۲ سانتی‌متر مربع) به‌دست آمدند. در انتها تمامی پارامترهای رابطه‌ی ۲ به میلی‌متر تبدیل شدند. تبخیر تعرق به دست آمده بر حسب میلی‌متر، بر دوره‌ی زمانی که معادله‌ی بیلان آب خاک در آن تعیین شده، تقسیم گردید تا تبخیر تعرق گیاه برحسب میلی‌متر بر روز به دست آید.

تبخیر تعرق گیاه مرجع چمن بر اساس تحقیقات صورت گرفته در دشت اردبیل توسط رئوف و عزیزی

(۱۳۹۶) معین بوده و با داشتن این پارامتر و میزان تبخیر تعرق گیاه چغندرقند مقدار ضریب گیاهی برای هر یک از روزهای دوره رشد می‌تواند از رابطه ۳ محاسبه گردد (آلن و همکاران، ۲۰۱۱).

$$K_c = \frac{ET_c}{ET_0} \qquad (۳)$$

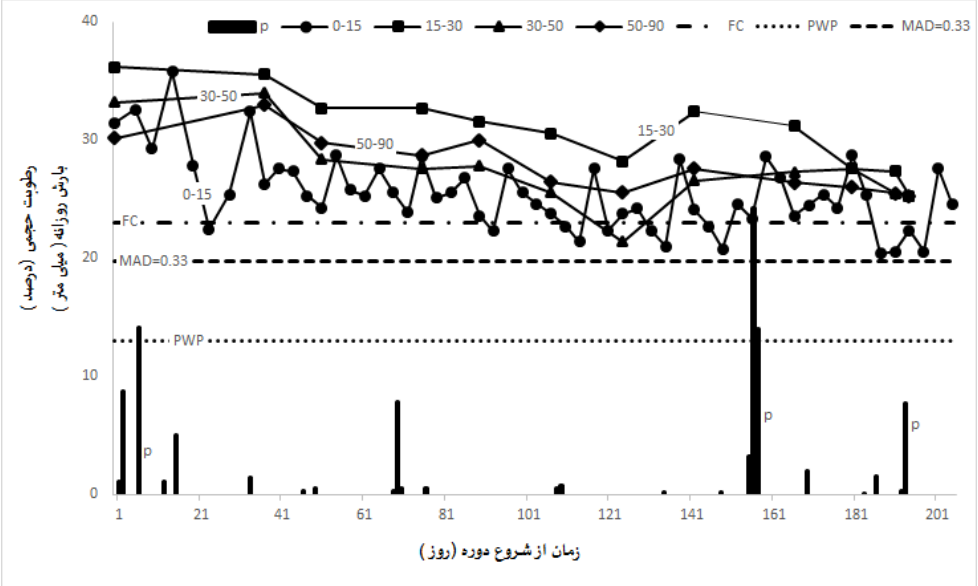
که در آن:

K_c، ضریب گیاهی، T_c، تبخیر تعرق گیاه زراعی در هر روز (mm/day) و ET_0، تبخیر تعرق گیاه مرجع چمن (mm/day) در همان روز هستند.

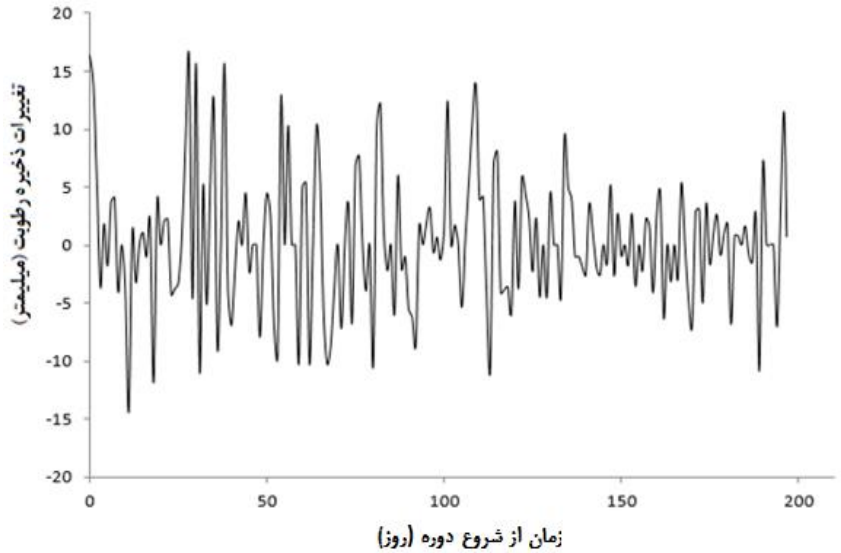
نتایج و بحث

پارامترهای معادله بیلان آب در لایسیمتر

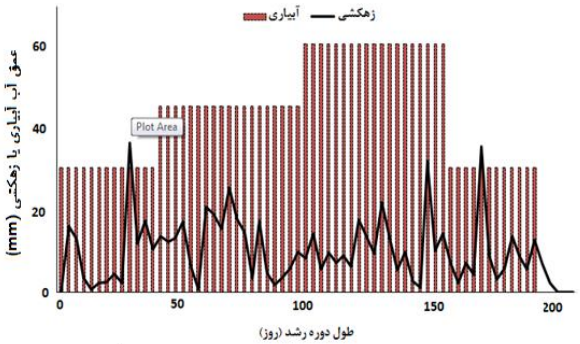
در شکل ۲ مقادیر رطوبت حجمی خاک برای چهار عمق مورد اندازه‌گیری (متوسط سه لایسیمتر) و مقادیر بارندگی روزانه برای کل دوره رشد چغندرقند نشان داده شده است. چنانچه از شکل ۲ مشخص است در بیشتر مواقع از دوره رشد رطوبت اندازه‌گیری شده در عمق ۱۵-۰ سانتیمتر کمتر از سایر اعماق بوده است همچنین رطوبت در عمق ۳۰-۱۵ سانتیمتر از رطوبت بقیه اعماق بیشتر بوده است. با توجه به اینکه اکثر اندازه‌گیری رطوبت در عمق سطحی قبل از آبیاری (زمانی که رطوبت خاک تخلیه شده است) صورت گرفته است، دلیل پایین‌تر بودن رطوبت در عمق ۱۵-۰ تبخیر بیش از حد آب از لایه بالایی خاک بود زیرا این لایه بیشتر در معرض اتمسفر قرار داشته است. بالا بودن رطوبت در عمق ۳۰-۱۵ سانتیمتر به این دلیل است که تبخیر نسبت به لایه سطحی کمتر بوده و منجر به نگهداشت رطوبتی بالا شده است. مقادیر بارش اندازه‌گیری شده نیز نشان می‌دهد که بارش در طول فصل رشد چغندرقند از یک روند ثابت پیروی نکرده بلکه بصورت غیریکنواخت در طول دوره رشد پراکنده شده است. در زمان‌هایی که بارندگی وجود داشته است رطوبت اندازه-گیری شده نیز مقادیر تقریبا بالایی داشته است. در برخی از دوره‌های کوتاه مقدار رطوبت خاک در اعماق مختلف خاک بسیار نزدیک به هم به دست آمده است. در این زمان‌ها دمای هوا پایین بوده و لذا مقدار آبی که از طریق تبخیر از سطح خاک یا تعرق از سطح گیاه خارج می‌گردد کم بوده و منجر به ایجاد رطوبت یکنواخت در اعماق مختلف خاک گردیده است. شکل ۳ تغییرات ذخیره رطوبت حجمی خاک، شکل ٤ مقدار متوسط ارتفاع آب آبیاری و زهکش شده از زیر لایسیمترها و شکل ۵ مقادیر تجمعی آب آبیاری داده شده به مزرعه، تبخیر تعرق چغندرقند، آب زهکش شده و بارندگی را نشان می‌دهند.



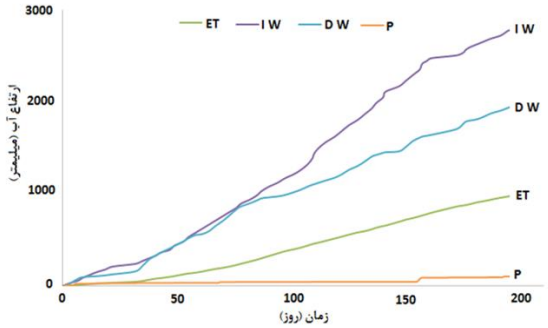
شکل ۲ - مقادیر بارش و متوسط رطوبت حجمی اندازه گیری شده خاک برای اعماق مختلف



شکل ۳ - میانگین تغییرات ذخیره رطوبتی خاک برای سه لایسیمتر مورد آزمایش (عمق ۰ تا ۹۰ سانتیمتر)



شکل ۴ - مقدار متوسط ارتفاع آب آبیاری و زهکش شده از لایسیمترها



شکل ۵ - مقادیر تجمعی تبخیر تعرق (ET_c)، آب آبیاری (IW)، آب زهکش شده (DW) و بارندگی (P) در کل دوره رشد

تغییرات ذخیره رطوبتی خاک، ارتفاع آب آبیاری و زهکش شده همگی برای دوره‌های برابر با دور آبیاری استخراج شده‌اند. چنانچه از شکل ۳ مشخص است در برخی از بازه‌های زمانی مقدار ذخیره رطوبتی خاک مثبت و در برخی دیگر منفی است که بیانگر این موضوع است که در طول دوره رشد گیاه چغندرقند، روندهای خیس شدگی و خشک شدگی خاک به‌طور مداوم تکرار شده‌اند. روندهای صعودی (تر شدگی) به علت آبیاری یا بارندگی و روندهای نزولی (خشک شدگی) به علت تبخیر تعرق و جریان زهکشی بوده‌اند. آبیاری گیاه چغندرقند با هشت لیتر در هر دور آبیاری به ازای هر لایسیمتر (معادل ۳۲/۲ میلیمتر) در ابتدای دوره رشد آغاز شد. با گذشت زمان از ابتدای دوره رشد و به علت افزایش دمای هوا و طول مدت روشنایی روزانه و در نتیجه افزایش میزان تبخیر از سطح خاک و تعرق از سطح گیاه، میزان آب آبیاری به ۱۲ لیتر (معادل ٤٥/٤٤ میلیمتر) و سپس به ١٦ لیتر (معادل ٦٤/٤ میلیمتر) افزایش یافته و در نهایت در انتهای دوره (که دمای هوا و مدت روشنایی روزانه کاهش یافت) به علت کاهش میزان تبخیر تعرق به هشت لیتر (معادل ۳۲/۲ میلیمتر) کاهش داده شد. اگرچه مقدار آب آبیاری در دوره‌های میانی رشد چغندر قند افزایش یافته، مقدار آب زهکش شده دارای افزایش محسوس نبوده و بیانگر این موضوع است که اکثر آب داده شده به لایسیمترها به‌صورت تبخیر تعرق از سیستم لایسیمتر خارج شده است. در برخی زمان‌ها حجم آب زهکش شده افزایش داشته است که به دلیل وجود بارندگی زیاد و آب مازادی است که از بارش ایجاد شده است. البته

این موضوع می‌تواند به کم بودن میزان تبخیر و جذب ریشه گیاه نیز مرتبط باشد زیرا در روزهایی که دمای هوا پایین بوده است، میزان تبخیر تعرق کم بوده و در نتیجه آب زهکش شده افزایش داشته است.

شیب نمودار تجمعی بارندگی کمتر از تبخیر تعرق، تبخیر تعرق کمتر از آب زهکش شده و آب زهکش شده کمتر از آب آبیاری است. کل آب آبیاری ۲۷۷۱/۹۵ میلیمتر، کل آب زهکش شده ۱۹۵۲/۲۲ میلیمتر، کل تبخیر تعرق ۱۰۱۳/۳٤ میلیمتر و کل بارندگی برابر ۹٦/۷ میلیمتر به دست آمده است. به دو دلیل زیر، در دو بازه‌ی زمانی (روزهای حدود ٤۰ تا ٦۰ و تقریبا روزهای ۷٤ تا ۷٦) آب زهکش شده تجمعی از لایسیمترها تقریبا برابر با آب آبیاری تجمعی داده شده به لایسیمترها بوده است:

۱- در این دو بازه‌ی زمانی بارندگی زیاد بوده است. با توجه به اینکه آبیاری به صورت منظم صورت می‌گرفت در صورت وجود هر گونه بارش انتظار می‌رود که حجم آب زهکش شده افزایش قابل ملاحظه‌ای داشته باشد.

۲- در ابتدای دوره رشد به دلیل پایین بودن دمای هوا در منطقه مورد نظر، رشد گیاه خوب نبوده و لذا مقدار تبخیر تعرق کم بوده و حجم اعظم آب آبیاری داده شده به گیاه زهکش شده است.

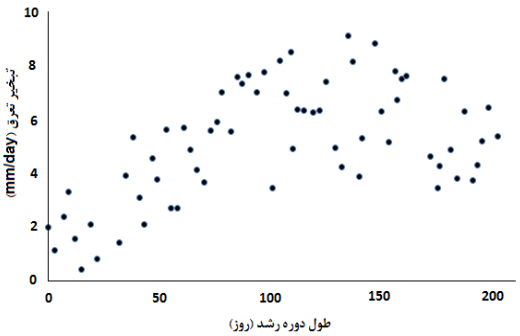
تبخیر تعرق گیاه و تعیین ضریب گیاهی

با مشخص شدن مقادیر آب آبیاری، بارندگی، زهکشی و تغییرات ذخیره رطوبتی خاک، پارامترهای معادله (۱) (معادله بیلان آب در لایسیمتر) تکمیل شده و می‌توان مقادیر تبخیر تعرق گیاه را استخراج نمود. در جدول ۲ مقادیر برخی پارامترهای مربوط به تبخیر تعرق و ضریب گیاهی برای گیاه چغندرقند آورده شده است. جهت استخراج مقادیر تبخیر تعرق روزانه، ابتدا مقدار تبخیر تعرق برای هر دور آبیاری محاسبه و سپس به روزانه تبدیل شد. مقادیر مربوط به میانگین تبخیر تعرق هر دوره نشان داد که حداکثر تبخیر تعرق در دوره سوم و حداقل آن در دوره اول اتفاق افتاد که با تحقیقات آلن و همکارن (۲۰۱۱)، تائو و همکاران (۲۰۱۷)، زارع ابیانه و همکاران (۲۰۱۱) و فائو (۲۰۰۹) مطابقت دارد.

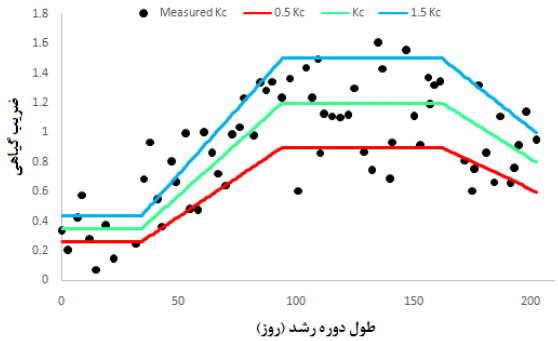
جدول ۲- برخی پارامترهای مربوط به تبخیر تعرق و ضریب گیاهی چغندرقند

	پارامتر				
مراحل رشد	طول مراحل (روز)	متوسط تبخیر تعرق (mm/day)	حداقل و حداکثر تبخیر تعرق (mm/day)	کل تبخیر تعرق (mm)	حداقل و حداکثر ضریب گیاهی (-)
اول	۳۰	۱/۹	۰/۴۲ – ۳/۹	۵۶/۲	۰/۰۷-۰/۶۹
دوم	۵۰	۵/۰۹	۲/۰۸-۷/۶۴	۲۹۷/۶۴	۰/۳۷-۱/۳۴
سوم	۸۰	۶/۵۹	۳/۴۵-۹/۱۱	۴۳۸/۹۸	۰/۶۱-۱/۶
چهارم	۳۴	۴/۹۹	۳/۳۳-۷/۵۳	۲۲۰/۵۱	۰/۵۸-۱/۳۲
کل دوره	۱۹۴	۵/۱۳	۰/۴۲-۹/۱۱	۱۰۱۳/۳۴	۰/۰۷-۱/۶

شکل شماره ٦ مقادیر تبخیر تعرق گیاه چغندرقند را بر حسب میلیمتر بر روز نشان می‌دهد. در شکل شماره ۷ نیز مقادیر اندازه‌گیری شده ضریب گیاهی به همراه ضریب گیاهی فائو برای کل دوره رشد گیاه چغندرقند نشان داده شده است. مطابق شکل ٦ مقادیر تبخیر تعرق گیاه چغندرقند در ابتدا کم بوده و با گذشت زمان از ابتدای دوره رشد تبخیر تعرق افزایش داشته و سپس در انتهای دوره رشد دچار کاهش می‌گردد. متوسط تبخیر تعرق اندازه‌گیری شده گیاه چغندرقند برای دوره‌های اول، دوم، سوم و چهارم رشد به ترتیب ۱/۹، ۵/۰۹، ٦/۵۹ و ٤/۹۹ میلیمتر بر روز محاسبه شد.



شکل ۶ – مقادیر تبخیر تعرق گیاه چغندرقند در طول دوره رشد آن



شکل ۷ – نحوه تغییرات ضریب گیاهی چغندرقند در طول فصل رشد

متوسط تبخیر تعرق روزانه اندازه‌گیری شده برای کل دوره رشد ۵/۱۳ میلیمتر بر روز استخراج شد. تبخیر تعرق گیاه در دوره اول رشد کم بوده اما بعد از دوره اول رشد به سرعت افزایش یافته است دلیل این امر دو عامل شرایط جوی (گرمتر شدن هوا و مساعد شدن شرایط اقلیمی محیط رشد) و توسعه رشد گیاه در طول دوره دوم رشد است. به نظر می‌رسد ماکزیمم تبخیر تعرق گیاه در دوره سوم رشد اتفاق افتاده و به بیشتر از نه میلیمتر در روز نیز رسیده است. تبخیر تعرق چغندرقند برای کل دوره رشد برابر ۱۰۱۳/۳٤ میلیمتر به دست آمده است. این مقدار کمتر از مقادیر به دست آمده برای مناطق کرمانشاه (وزیری،۱۳۷۰)، همدان (رحیمی، ۱۳۷٦)، کرج (طالقانی و همکاران، ۱۳۷۸)، رودشت اصفهان (رئیسی، ۱۳۷۲) و مشهد (شهابی‌فر و رحیمیان، ۱۳۸٦) و بیشتر از مقدار به دست آمده برای منطقه بران اصفهان (رئیسی، ۱۳۷۲) است. با توجه به اینکه اردبیل نسبت به بسیاری از شهرهای دیگر ایران دارای آب و هوای خنک‌تری است، این انتظار وجود دارد که میزان تبخیر تعرق گیاه چغندرقند نسبت به بسیاری از شهرهای کشور کمتر باشد چرا که یکی از عوامل موثر در میزان تبخیر تعرق گیاه دمای هوا است. در دوره چهارم رشد (دوره آخر) به علت کاهش دمای هوا و رسیدن گیاه مقدار تبخیر تعرق گیاه کاهش یافته است. بر اساس تحقیقات لایسیمتری صورت گرفته توسط رئوف و عزیزی (۱۳۹٦) در همان منطقه (اردبیل)، مقدار تبخیر تعرق گیاه مرجع چمن برابر ۵/٦۸٤ میلیمتر در روز استخراج و مبنای محاسبه ضریب گیاهی چغندرقند قرار داده شده است. همچنین در شکل ۷ ضریب گیاهی با ۵۰ درصد افزایش و ۵۰ درصد کاهش نسبت به اعداد توصیه شده توسط سازمان فائو نشان داده شده است. در این نمودارها چهار دوره مختلف رشد (مرحله یک تا چهار رشد) برای گیاه مورد نظر مشخص شده است. بیشتر داده‌های اندازه‌گیری شده ضریب گیاهی مربوط به چغندرقند بین 0.5Kc و 1.5 Kc قرار دارد. متوسط ضریب گیاهی اندازه‌گیری شده در دوره-های اول، دوم، سوم و چهارم رشد گیاه چغندرقند به ترتیب ۰/۳۳، ۰/۹، ۱/۱٦ و ۰/۸۸ به دست آمدند که در مقایسه با اعداد ارائه شده توسط سازمان فائو (۰/۳۵، ۰/۷۷۵، ۱/۲ و ۱) (فائو، ۲۰۰۹)، قابل قبول بوده و دارای خطای کمی هستند. مقدار ضریب گیاهی به دست آمده در این تحقیق برای دوره حداکثر مصرف گیاه (دوره سوم رشد)، کمتر از مقدار به دست آمده توسط آلن و همکارن (۲۰۱۱) برای غرب ایالات متحده (۱/۲ تا ۱/٤)، مقدار ذکر شده در نشریه فائو ٥٦ (۱/۲) و مقدار ذکر شده توسط تائو و همکاران (۲۰۱۷) برای ایالت کالیفرنیا (۱/۲٦) و بیشتر از مقدار ذکر شده توسط زارع ابیانه و همکاران (۲۰۱۱) برای منطقه همدان (۱/۰٤) به دست آمده است. اگرچه اختلاف ضریب گیاهی به دست آمده در این تحقیق با تحقیقات ذکر شده کم است اما از جمله دلایل وجود اختلاف بین این دو می-توان به متفاوت بودن شرایط اقلیمی مناطق مورد تحقیق و نوع واریته گیاهی چغندرقند و چمن اشاره نمود. مقدار ضریب گیاهی برای مرحله انتهایی رشد نیز کمتر از مقدار

گزارش شده توسط تائو و همکاران (۲۰۱۷) (۰/۹۲)، مقدار پیشنهاد شده در نشریه ٥٦ فائو (۱) برای اقلیم مدیترانه‌ای و بیشتر از مقدار ذکر شده توسط زارع ابیانه و همکاران (۲۰۱۱) (۰/۸۲) به دست آمده است. تغییرات ضریب گیاهی در یک منطقه نسبت به سایر مناطق می‌تواند به متفاوت بودن پارامترهای اقلیمی، موقعیت منطقه (از جمله عرض جغرافیایی)، نوع واریته گیاه مرجع چمن و گیاه چغندرقند در منطقه مورد مطالعه (اگر چه مقدار آب مصرفی چمن برای واریته‌های مختلف دارای اختلاف اندک است) و در نهایت سازگار شدن گیاه زراعی و چمن با منطقه مورد مطالعه در طول سالیان متمادی ارتباط داده شود (فائو، ۲۰۰۹). از آنجا که مقادیر ذکر شده در نشریه ٥٦ فائو به عنوان ملاک و معیار در تمام نقاط دنیا مورد استفاده قرار می‌گیرد در این تحقیق نیز مقادیر ضریب گیاهی ذکر شده در نشریه ٥٦ فائو نسبت به مقادیر اندازه‌گیری شده مورد مقایسه قرار گرفته است. مقدار متوسط ضریب گیاهی اندازه‌گیری شده برای کل دوره رشد گیاه چغندرقند برابر ۰/۹ استخراج گردید که در مقایسه با مقدار استخراج شده توسط فائو (۰/۸۹)، دارای اختلاف کمی است. در جدول شماره ۳ مقادیر متوسط ضریب گیاهی اندازه‌گیری شده و ارائه شده توسط فائو برای مراحل مختلف رشد و مقایسه آماری آنها آورده شده است. جهت محاسبه مقادیر اندازه-گیری شده متوسط ضریب گیاهی، از مقادیر روزانه ضریب گیاهی در هر دوره، میانگین‌گیری ساده صورت گرفته است. از آزمون آماری t استیودنت برای مقایسه استفاده شده است. مقایسه میانگین در دو سطح اعتماد یک و پنج درصد انجام یافته است.

جدول ۳ - مقادیر ضریب گیاهی برای دوره‌های مختلف رشد و مقایسه آن با مقادیر پیشنهادی فائو

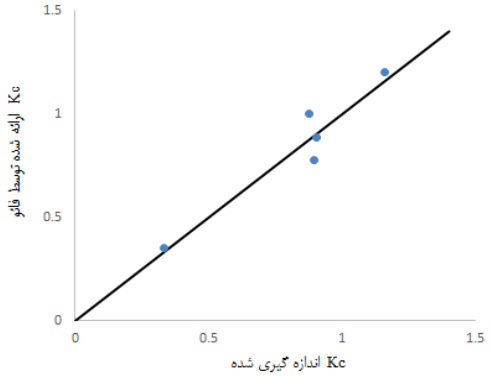
مراحل رشد	متوسط ضریب گیاهی اندازه گیری شده (-)	متوسط ضریب گیاهی ارائه شده توسط فائو(-)	t استیودنت جدول		t استیودنت محاسبه شده	سطوح اعتماد	
			٪۹۹	٪۹۵		٪۱	٪۵
اول	۰/۳۳	۰/۳۵	۳/۲۵	۲/۲۶۲	۰/۳۰۲۳	NS	NS
دوم	۰/۹	۰/۷۷	۲/۸۶۱	۲/۰۹۳	۱/۸۲۹	NS	NS
سوم	۱/۱۶	۱/۲	۲/۸۰۷	۲/۰۶۹	۰/۷۲۷	NS	NS
چهارم	۰/۸۸	۱	۳/۱۰۶	۲/۲۰۱	۲/۰۱۲	NS	NS
کل دوره	۰/۹	۰/۸۹	۲/۶۶	۲	۰/۳۰۶۳	NS	NS

NS: عدم معنی‌داری و S: معنی‌داری

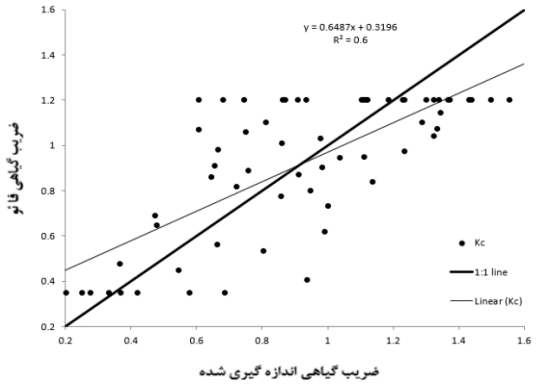
در هر دو سطح اعتماد یک و پنج درصد، در تمام مراحل رشد، متوسط مقادیر اندازه‌گیری شده نسبت به مقادیر ارائه شده توسط فائو دارای اختلاف معنی‌دار نیستند. از آنجا که در این تحقیق از مقادیر ارائه شده توسط فائو برای مناطق سردسیر استفاده شده است انتظار می‌رود که اختلاف داده‌ها معنی‌دار نباشند. در شکل شماره ۸ مقادیر متوسط ضریب گیاهی اندازه‌گیری شده در این تحقیق نسبت به مقادیر ارائه شده توسط فائو برای مراحل ۱، ۲، ۳، ٤ و کل دوره رشد در اطراف خط یک به یک آورده شده است. در شکل ۹ نیز مقادیر ضریب گیاهی پیشنهاد شده توسط فائو در مقایسه با مقادیر اندازه‌گیری شده در اطراف خط یک به یک آورده شده است. چنانچه از شکل مشخص است مقادیر متوسط در اطراف خط یک به یک به‌صورت یکنواخت پخش شده که بیانگر اختلاف کم مقادیر اندازه-گیری شده نسبت به مقادیر فائو است. در دوره دوم رشد (مصادف با نیمه اول تابستان ۱۳۹٦) یک موج گرما در منطقه مورد مطالعه ایجاد شده بود که منجر به افزایش تبخیر تعرق گیاه چغندرقند و در نهایت افزایش متوسط ضریب گیاهی شده است. در این دوره متوسط مقدار ضریب گیاهی اندازه‌گیری شده نسبت به مقدار فائو بیشتر است. در دوره چهارم رشد نیز (مصادف با اواخر مهر و ۲۰ روز از آبان ماه) موج سرمای ایجاد شده در منطقه مورد مطالعه باعث کاهش شدید تبخیر تعرق شده و در نهایت مقادیر ضریب

گیاهی کاهش یافته و موجب شده است که مقادیر اندازه-گیری شده ضریب گیاهی نسبت به مقادیر فائو دارای کاهش باشد.

مقدار خطای نسبی[1] و خطای مربعات متوسط ریشه[2] مقادیر پیشنهاد شده توسط فائو نسبت به داده‌های اندازه‌گیری شده به ترتیب ۱۹/۶۲ درصد و ۰/۲۰۸ میلیمتر بر روز به دست آمد که نشان از نزدیک بودن این دو سری داده‌ها به همدیگر دارد. حداقل مقدار ضریب گیاهی پیشنهادی فائو ۰/۳۵ و حداکثر مقدار آن ۱/۲ است در حالی که دامنه مقادیر اندازه‌گیری شده از ۰/۰۷ در مرحله اول رشد تا ۱/۶ در دوره سوم رشد بوده است. اگرچه طبق شکل ۹ نقاط در اطراف خط یک به یک پراکنده شده است، اما مقدار ضریب باقیمانده جرم برای اعداد پیشنهاد شده توسط فائو نسبت به مقادیر اندازه گیری شده برابر ۰/۰۰۲۶- محاسبه شد که بیانگر این موضوع است که در کل مقادیر ضریب گیاهی اندازه‌گیری شده کمتر از مقادیر پیشنهادی فائو است.



شکل ۸ – مقادیر اندازه‌گیری شده ضریب گیاهی نسبت به مقادیر پیشنهاد شده فائو در اطراف خط یک به یک (متوسط هر مرحله رشد آورده شده است)



شکل ۹ – مقادیر ضریب گیاهی پیشنهاد شده توسط فائو در مقایسه با مقادیر اندازه‌گیری شده در اطراف خط یک به یک

نتیجه‌گیری

برای برنامه‌ریزی آبیاری نیاز است مقادیر نیاز آبی گیاه در مراحل مختلف رشد معین باشد. در این تحقیق مقدار نیاز آبی گیاه چغندرقند برای شهر اردبیل اندازه‌گیری شد. کل تبخیر تعرق در کل دوره رشد گیاه برابر ۱۰۱۳/۳٤ میلیمتر اندازه‌گیری شد. از آنجا که تحقیقات ذکر شده در بخش پیشینه تحقیقات این مطالعه برای سایر نقاط کشور در سال ۱۹۸۸ (تقریباً سه دهه قبل) صورت گرفته است، اگر تبخیر تعرق گیاه چغندرقند برای مناطق ذکر شده مجدداً اندازه‌گیری گردند مطمئناً متفاوت از اعداد ذکر شده برای سال ۱۹۸۸ خواهند بود. به نظر می‌رسد تحقیقات به روز و جدیدتری برای کل نقاط کشور در این زمینه نیاز باشد. متوسط ضریب گیاهی برای دوره‌های اول، دوم، سوم، چهارم و کل دوره رشد نشان داد که بیشترین مصرف آب گیاه چغندرقند در دوره سوم رشد و کمترین آن در دوره اول (ابتدایی رشد) است. مقایسه ضرایب گیاهی در دوره-های مختلف رشد نشان می‌دهد که اعداد به دست آمده برای منطقه مورد مطالعه تطابق خوبی با اعداد ذکر شده توسط فائو در نشریه شماره ٥٦ برای مناطق سرد و خشک نشان می‌دهد. اگر چه مقدار ضریب باقیمانده جرم محاسبه شده (مقایسه اعداد فائو نسبت به اندازه‌گیری شده) نشان داد که مقادیر ضریب گیاهی اندازه‌گیری شده کمتر از مقادیر پیشنهادی فائو است اما مقایسه آماری متوسط ضریب گیاهی اندازه‌گیری شده در مراحل مختلف رشد نسبت به مقادیر فائو نشان داد که در تک تک مراحل رشد و در کل دوره رشد، اختلاف‌ها در هر دو سطح اعتماد ۵ و ۱ درصد معنی‌دار نبوده‌اند. در کل می‌توان گفت داده‌های سازمان فائو

[1]Relative error

[2]Root Mean Square Error

با اطمینان بالا می‌تواند برای برنامه‌ریزی آبیاری در منطقه
مورد مطالعه استفاده گردد.

فهرست منابع

۱. ابراهیمی پاک، ن. ع و مستشاری، م. ۱۳۹۱. ارزیابی مدیریت مصرف آب آبیاری و کود بور در جهت افزایش کارایی مصرف آب چغندرقند. مدیریت آب و آبیاری، جلد ۲ شماره ۲: ۵۳-٦۷.

۲. بهمنش، ج و نورجو، ا. ۱۳۹۵. تاثیر فشردگی خاک بستر جویچه و آرایش کاشت بر بهره‌وری آب در زراعت چغندرقند. چغندرقند. جلد ۳۲ شماره ۱: ٦۲-۵۱.

۳. پناهی، م.، عقدایی، م و رضایی، م. ۱۳۸۵. تعیین تبخیرتعرق استاندارد گیاه چغندرقند در کبوتر آباد اصفهان. چغندر قند، جلد ۲۲ شماره ۱: ۳۷-۲۵.

٤. پرهیزکاری، ا.، مظفری، م. م.، حسینی خدادادی، م و پرهیزکاری، و. ۱۳۹٤. بررسی تغییرات اقتصادی الگوی کشت ناشی از تغییرات سطح زیر کشت چغندرقند (مطالعه موردی: دشت قزوین). چغندرقند. جلد ۳۱ شماره ۱: ۹۲-۷۷.

۵. جوزی، م و زارع ابیانه، ح. ۱۳۹٤. تاثیر سطوح کود نیتروژن و کم آبیاری بر عملکرد کمی و کیفی چغندرقند. چغندرقند، جلد ۳۱ شماره ۲: ۱٤۱-۱۵٦.

٦. رحیمی، م. ۱۳۷٦. تعیین آب مصرفی پتانسیل چغندرقند به روش لایسیمتری. گزارش پژوهشی بخش تحقیقات خاک و آب همدان.

۷. رحیمیان، م و اسدی، ح. ۱۳۷۱. اثر تنش آبی روی عملکرد کیفی و کمی چغندرقند و تعیین تابع تولید و ضریب گیاهی. آب و خاک. جلد ۱۲ شماره ۱۰: ٦۳-۵۷.

۸. رئوف، م و عزیزی، ج. ۱۳۹٦. ارزیابی ۱۸ مدل تبخیر تعرق گیاه مرجع چمن برای شرایط آب و هوایی اردبیل. پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، جلد ۲٤ شماره ٦: ۲٤۱-۲۲۷.

۹. رئیسی، ف. ۱۳۷۲. بررسی تأثیر کاهش میزان آب آبیاری در آخر فصل رشد در تولید قند و چغندرقند گزارش نهایی شماره ۱۸ مرکز تحقیقات کشاورزی اصفهان.

۱۰. سعادتی، ز.، دلبری، م.، پناهی، م. و امیری، ا. ۱۳۹٦. تاثیر مدیریت‌های مختلف آبیاری بر خصوصیات رویشی، عملکرد و میزان قند چغندرقند در استان لرستان. پژوهش آب در کشاورزی. جلد ۳۱ شماره ۲: ۱٦۲-۱۵۱.

۱۱. شوشتریان، م و زندپارسا، ش. ۱۳۹۲. اندازه‌گیری تبخیر-تعرق با روش بیلان آب در مزرعه و مقایسه‌ی آن با برخی از روش‌های تجربی در منطقه باجگاه شیراز. دومین کنفرانس بین‌المللی مدل‌سازی گیاه، خاک، آب و هوا، کرمان.

۱۲. شهابی فر، م و رحیمیان،م. ح. ۱۳۸٦. تعیین نیاز آبی چغندرقند به روش لایسیمتری در مشهد. چغندرقند، جلد ۲۳ شماره ۲: ۱۷۷-۱۸٤.

۱۳. طالقانی، د.، حبیبی، ف.، عابدی، و.، قهاری، ج.، جگینی، م. ا و قاسمی، ب. م. ۱۳۸۳. تعیین تراکم گیاه و فاصله ردیف‌های چغندرقند در سیستم آبیاری قطره‌ای. ششمین کنگره کشاورزی و پرورش گیاهان. بابلسر، دانشگاه مازندران.

۱٤. طالقانی، د.، گوهری، ج.، توحیدلو، ق و قوروحی، ا. ۱۳۷۸. مطالعه کارآیی مصرف آب و ازت در شرایط مطلوب و تنش در دو آرایش کاشت چغندرقند.گزارش نهایی مؤسسه تحقیقات چغندرقند.

۱۵. عروج‌نیا، س.، حبیبی، د.، فتح‌الله طالقانی، د.، صفری دولت‌آبادی، س.، پازکی، ع.، معاونی، پ.، رحمانی، م و فرشیدی، م. ۱۳۹۱. بررسی عملکرد و اجزاء عملکرد ژنوتیپ‌های مختلف چغندرقند تحت شرایط تنش خشکی. زراعت و اصلاح نباتات. جلد ۸ شماره ۱: ۱٤٤-۱۲۷.

۱٦. محمدی، ح.، احمدپور، م.، ضیائی، س.، فاخری، ب و رامرودی، م. ۱۳۹۲. تدوین الگوی کشت بهینه بهره‌برداران چغندر کار با تأکید بر ریسک قیمت و عملکرد: مطالعه موردی شهرستان فسا. چغندرقند. جلد ۲۹ شماره ۲: ۲۲۹-۲٤۰.

۱۷. محمودی، م.، کاظمی پور، ج.، احراری، م و نیکو نسبتی، ا. ۱۳۹۱. تخمین رشد جمعیت ایران با تکیه بر اجزای اقتصادی-اجتماعی. برنامه‌ریزی و بودجه. جلد ۱۷ شماره ۲: ۱۲٦-۹۷.

۱۸. میرزایی، س.، رئوف، م.، رسول‌زاده، ع. و پوراسکندر، س. ۱۳۹٤. شبیه سازی هیدروگراف سیلاب رودخانه حوضه آتشگاه استان اردبیل با بهره‌گیری از الگوی بارش بهینه. پژوهش های حفاظت آب و خاک. جلد ۲۲ شماره ۵: ٦۳-۸۰.

۱۹. وزیری، ژ. ۱۳۷۰. تعیین آب مصرفی پتانسیل چغندرقند با استفاده از لایسیمتر. گزارش پژوهشی بخش تحقیقات خاک و آب کرمانشاه.

20. Allen, R. G., L. S. Pereira,T. A. Howell andM. E. Jensen.2011. Evapotranspiration information reporting: I. Factors governing measurement accuracy. Agricultural Water Management, 98(6): 899-920.
21. Béné, C., M.Barange, R.Subasinghe, P.Pinstrup-Andersen, G.Merino, G. I.Hemre andM.Williams.2015. Feeding 9 billion by 2050–Putting fish back on the menu. Food Security,7(2): 261-274.
22. Chornesky E. A., D. D.Ackerly, P.Beier, F. W.Davis, L. E.Flint, J. J.Lawler, P. B.Moyle, M. A.Moritz, M.Scoonover, K.Byrd andP.Alvarez.2015. Adapting California's ecosystems to a changing climate. BioScience, 65(3): 247-262.
23. Doorenbos, J. andA.H.Kassam.1979. Yield response to water. FAO Irrig. And Drain. Paper No. 33, FAO, Rome, Italy.193 pp.
24. FAO. 2009.Food and Agriculture Organization of the United Nations. How to feed the World in 2050. http://www.fao.org/fileadmin/templates/wsfs/docs/expert paper/How to Feed the World in 2050. (accessed March 25, 2017).
25. Johnson, L. F., M.Cahn, F.Martin, F.Melton, S.Benzen, B.Farrara andK.Post.2016. Evapotranspiration-based irrigation scheduling of head lettuce and broccoli. HortScience,51(7): 935-940.
26. Mann, M. E. andP. H.Gleick.2015. Climate change and California drought in the 21st century. Proceedings of the National Academy of Sciences,112(13): 3858-3859.
27. Odegard, I. Y. R. and Van der E.Voet.2014. The future of food—scenarios and the effect on natural resource use in agriculture in 2050. Ecological Economics,97: 51-59.
28. Parker, D. D. andD.Zilberman.1996. The use of information services: The case of CIMIS. Agribusiness,12(3): 209-218.
29. Pilpayeh, A., H. Musavi Jahromi andM, Raoof.2010. Optimization of multipurpose serial reservoir systems operation in deluge, normal rainfall, and drought conditions (A case study of Aras River Basin, Iran). Journal of Food, Agriculture & Environment, 8 (3&4): 1004-1009.
30. Raoof, M.2011. Effect of Land Slope on Some Soil Physical and Hydraulic Properties. International Conference on New Technology of Agricultural Engineering,May 27-29, 2011, Zibo, China.

Determination of Sugar Beet Crop Coefficient Using Lysimeter in Ardabil Plain and its Comparison with FAO Global Data

M. Raoof [1] *

Assoc. Prof. Water Engineering Dept. University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.
majidraoof2000@gmail.com

Abstract

Although climate change in most parts of the world has changed the amount of water consumed in agriculture, various data from FAO are still used in irrigation planning and in determining allocation of irrigation water. The aim of this study was to determine the accuracy of FAO global data for sugar beet crop coefficient in Ardabil plain. At first, parameters of the water balance equation including rainfall and irrigation, drained water, soil water storage, and sugar beet evapotranspiration were determined, using three volumetric lysimeters. After preparation of lysimeters, on May 2017, sugar beet was planted in the lysimeters and the surrounding area, and irrigated. Volumes of drainage water collected from the lysimeters after each irrigation and volumetric water content before each irrigation was measured. Finally, using the measured data, the water balance equation was completed for various time intervals and the plant evapotranspiration and crop coefficients were determined for different quadruple growth stages. Means comparison was performed using t student test at two probability levels of 1% and 5%. Results showed that total the seasonal evapotranspiration of sugar beet plant was 1013 mm. The average crop coefficients for the first, second, third, and the fourth growth stages and the whole growing period were 0.33, 0.9, 1.16, 0.88, and 0.9, respectively. At two probability levels of 1% and 5% and in all growth stages, the mean of measured crop coefficient values was not significantly different compared to the values provided by FAO. The measured crop coefficient values are in good agreement with the published FAO values, therefore, the published data by FAO can be used for irrigation scheduling in the studied area.

Keywords: Evapotranspiration, FAO 56, Growth period, Water balance

[1] - Corresponding author: Water Engineering Dept., University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.
* - Received: September 2018 , and Accepted: May 2019

31. Raoof, M.,S. A. A.Sadraddini, A. H.Nazemi andS.Marofi.2009. Estimating saturated and unsaturated hydraulic conductivity and sorptivity coefficient in transient state in sloping lands. Journal of Food, Agriculture & Environment,7 (3&4): 861-864.
32. Swain, D. L., M.Tsiang, M.Haugen, D.Singh, A.Charland, B.Rajaratnam andN. S.Diffenbaugh. 2014. The extraordinary California drought of 2013/2014: Character, context, and the role of climate change. Bulletin of the American Meteorological Society,95(9): 3-9.
33. Thao, T., F. C.Sharma,D.Goorahoo,J. E.Ayars. 2017. Developing Crop Coefficients (Kc) For Sugar Beet (Beta Vulgaris L.) Grown Under Drip Irrigation Using Weighing Lysimeters. Thesis for Master of Science in Plant Science. California State University, Fresno.
34. Van Dijk, M., M.Mandryk, M.Gramberger, D.Laborde, L.Shutes, E.Stehfest, H. Valin and K.Zellmer. 2016.Scenarios to explore global food security up to 2050: Development process, storylines and quantification of drivers. LEI Wageningen UR.
35. Zareh Abyaneh, H.,E.Farrokhi, M. B.Varkeshi andM.Ahmadi. 2011. Determination of water requirement and effect of its variations on some quantitative and qualitative traits of sugar beet product. Journal of Sugar Beet, 27(2):21-27.