نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک
جلد بیست و چهارم، شماره اول، ۱۳۹۶
http://jwsc.gau.ac.ir

اثر عمق غرق‌آبی بر تلفات تبخیر از سطوح شالیزاری

ابراهیم اسعدی‌اسکویی[۱]، *محمد موسوی‌بایگی[۲]، محمدرضا یزدانی[۳] و امین علیزاده[۲]

[۱]دانشجوی دکتری گروه هواشناسی کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، [۲]استاد گروه آبیاری، دانشگاه فردوسی مشهد،
[۳]استادیار پژوهش مؤسسه تحقیقات برنج کشور

تاریخ دریافت: ۹۵/۹/۳ ؛ تاریخ پذیرش: ۹۶/۲/۱۸

چکیده

سابقه و هدف: در روش آبیاری غرق‌آبی در اراضی شالیزاری، تبخیر آب از سطح خاک یکی از اجزای تلفات آب محسوب می‌گردد. مقدار تبخیر در این اراضی تابع عوامل دما، رطوبت نسبی، سرعت باد، سطح پوشش گیاهی، عمق غرق‌آبی، عمق ایستابی در زیر سطح خاک و عوامل متعدد دیگر می‌باشد. در مدیریت‌های مبتنی بر آبیاری تناوبی، شالیزارها از حالت غرق‌آب دایم خارج گردیده‌اند و در هر نوبت آبیاری سطح آب در آن‌ها از حد فاصل غرق‌آب تا ظهور ترک مویین تغییر می‌کند. این پژوهش با هدف اندازه‌گیری مقدار تبخیر در دوره رشد برنج در عمق‌های مختلف غرق‌آبی در شرایط اراضی شالیزاری استان گیلان در محل مزرعه مؤسسه تحقیقات برنج کشور در مجاورت ایستگاه تحقیقات هواشناسی رشت در سال ۱۳۹۲ انجام شد.

مواد و روش‌ها: پنج تیمار مختلف سطح ثابت آب نسبت به سطح خاک شالیزار (۵، ۲/۵، ۰، ۵- و ۱۰- سانتی‌متر) در سه تکرار و با استفاده از مینی‌لایسیمتر نصب شده در وسط کرت‌های بزرگ شالیزاری با استفاده از طرح بلوک‌های کامل تصادفی اعمال گردید و تبخیر روزانه در آن‌ها اندازه‌گیری شد.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که تلفات تبخیر در عمق‌های مختلف غرقابی در سطح ۵٪ در برخی موارد با یکدیگر تفاوت معنی‌دار دارند. بیش‌ترین مقدار تبخیر مربوط به تیمار صفر سانتی‌متر و کم‌ترین مقدار مربوط به تیمار ۱۰- سانتی‌متر، به‌ترتیب معادل ۱۲۰/۸ و ۹۴ میلی‌متر بود. در همه تیمارها با گذشت زمان از ابتدای دوره، تبخیر در شالیزار به نصف کاهش می‌یابد. وقوع بارندگی نیز تبخیر را تا ۷۵٪ کاهش می‌دهد. بدون در نظر گرفتن روزهای بارندگی نیز تفاوت تبخیر در سطوح مختلف غرقابی در شالیزار دارای تفاوت معنی‌دار می‌باشند. مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بالابودن ارتفاع سطح غرق‌آب در شالیزار موجب افزایش میزان تلفات تبخیر می‌گردد. با کاهش سطح غرق‌آب و نازک شدن لایه آب روی خاک، به‌خصوص در دوره رشد رویشی، تبخیر کاهش می‌یابد. اگر ارتفاع این لایه خیلی کم شود و به صفر برسد و یا خاک در حالت نیمه اشباع قرار بگیرد، تبخیر مجدداً افزایش می‌یابد. پس از آن در شرایطی که سطح آب در خاک پایین‌تر از شرایط نیمه اشباع است (۱۰- سانتی‌متر) تبخیر به‌طور معنی‌داری کاهش می‌یابد.

* مسئول مکاتبه: mousavi500@yahoo.com

نتیجه‌گیری: نتایج اندازه‌گیری‌های تبخیر و نوسانات آن تشابه چشمگیری با نوسانات دمای اندازه‌گیری شده در هر تیمار (در عمق ۵ و ۱۰ سانتی‌متری زیر سطح خاک) و همچنین دمای آب دارد و تیمارهایی که دارای تلفات تبخیر بیش‌تر هستند، تیمارهایی هستند که در بازه های روزانه دماهای بیش‌تری در محیط آب و خاک آن‌ها ثبت شده است. در شرایط وجود آب کافی وجود لایه نه چندان ضخیم غرق‌آب باعث جلوگیری از بالارفتن تبخیر آب می‌گردد، اما در صورت نبود آب لازم برای حفظ حالت غرق‌آب، برای کاهش تلفات تبخیر، استقرار آب در بیش از ۵ سانتی‌متر پایین‌تر از سطح خاک در اولویت قرار دارد.

واژه‌های کلیدی: تبخیر، شالیزار، عمق غرق‌آب، مرحله رویشی، مینی لایسیمتر

مقدمه

از آن‌جایی‌که مزارع شالیزاری در ایران به‌صورت متعارف در فصل گرم و در حالت غرق‌آب دائم و یا متناوب آبیاری می‌شوند همیشه مقادیر زیادی آب در معرض تبخیر قرار دارد. فرایند تبخیر به‌عنوان بخش مهمی از تلفات آبی، نقش مؤثری در رشد، نمو و عملکرد برنج ندارد و در مدیریت‌های بهتر آبیاری سعی در کاهش مقدار آن می‌شود. اما تاکنون میزان این تبخیر در اراضی شالیزاری ایران مورد بررسی قرار نگرفته است. برای این منظور لازم است مقدار تبخیر و تعرق در شرایط مزرعه از یکدیگر تفکیک گردند. تلاش‌هایی برای جداسازی میزان تعرق و تبخیر در مناطق مختلف دنیا در گیاهان زراعی و مرتعی انجام شده است. پژوهشگران مختلف اندازه‌گیری تبخیر مزارع را برای درک کامل‌تر چرخه هیدرولوژی در مزرعه و انجام آبیاری‌های دقیق‌تر لازم دانسته‌اند و معتقدند علی‌رغم اهمیت آن، دانش موجود در فرایندهای کلیدی بیلان آب (به‌خصوص در ارتباط با تفاوت مقادیر تعرق و تبخیر) بسیار محدود است (۷، ۱۸، ۱۹، ۲۵). فرایندهای تبخیر (E) و تعرق (T) هم‌زمان رخ می‌دهند و راه ساده‌ای برای اندازه‌گیری مجزای این دو وجود ندارد (۳). در اکثر مطالعات جداسازی تبخیر از تعرق از جزء سوم ET که گیرش (Interception) است و در محیط سایه‌انداز رخ می‌دهد صرف‌نظر شده و مقدار آن حتی در مناطق جنگلی در مقایسه با E و T بسیار اندک دانسته شده است (۱٤). در بعضی شرایط E می‌تواند موجب فراهم آمدن میکروکلیمای مناسب‌تری برای تعرق شود (۱۵، ۱٦، ۱۷) یا به‌عنوان تعدیلگر یا کاهنده تعرق عمل کند (۱)، به‌خصوص در آبیاری بارانی که تبخیر سهم بزرگی در کاهش تعرق دارد (۲٦). با این حال در حالت کلی، تبخیر از سطح خاک جزئی از مقادیر کلی تبخیر و تعرق است که نقشی در رشد گیاه ندارد (۵). در سیستم‌های مرطوب که آبیاری سطحی انجام می‌گیرد و محیط غرق‌آبی است، انتظار می‌رود که جز تبخیر از سطح خاک در گیاهانی که دارای تراکم کم و متوسط هستند بسیار قابل‌توجه باشد (۱٤). یکی از عوامل مؤثر در نسبت (E/ET) بافت خاک است و این نسبت در خاک‌های رسی بزرگ‌تر است. (۱۸).

از آن‌جا که برنج معمولاً در اقلیم‌های مرطوب ایران کشت می‌شود وجود تبخیر نه تنها تأثیر مثبتی بر گیاه ندارد بلکه به‌دلیل افزایش رطوبت نسبی سایه‌انداز ممکن است به‌دلیل ایجاد شرایط مطلوب برای آفات و بیماری‌ها آثار منفی بر عملکرد گیاه برنج بگذارد. اما اهمیت اصلی تبخیر تأثیری است که بر بیلان آبی شالیزار می‌گذارد. در سال‌های اخیر و وقوع بحران‌های متعدد آب در کشور و از جمله حوضه‌های آبریزی که

در آن‌ها برنج کشت می‌شود، اهمیت برآورد و کنترل تبخیر را در کشاورزی افزایش داده است. مشکلات به‌وجود آمده در زمینه مدیریت آب موجب گشت که در سال‌های اخیر در استان گیلان، رژیم‌های آبیاری تناوبی جایگزین روش سنتی (غرق‌آب دائم) شود. در مدیریت‌های جدید رژیم‌های مختلف آبیاری متناسب با فیزیولوژی گیاه در جهت افزایش محصول، کاهش مصرف آب، بالابردن راندمان آبیاری، کنترل علف‌های هرز و جلوگیری از ماندابی شدن اراضی شالیزاری اعمال می‌شود (۲۷). در این رژیم‌ها پس از غرق‌آب نمودن شالیزارها تا یک سطح ارتفاعی مشخص آب نسبت به سطح خاک، از ورود آب به مزرعه جلوگیری شده و پس از گذشت چند روز دوباره کرت‌ها آب‌گیری می‌شوند. بدیهی است در طول زمان بین دو آبگیری سطح آب در مزرعه در ارتفاع‌های مختلفی قرار می‌گیرد و به تدریج فروکش کرده و به زیر سطح خاک می‌رسد. دستورالعمل‌های فنی این اجازه را به کشاورزان می‌دهد تا اجازه دهند سطح آب تا جایی افت کند که درز و ترک‌های مویین درخاک بروز کنند. فرض بر این است که تغییرات ارتفاع سطح آب داخل شالیزار (ناشی از اعمال مدیریت‌های آبیاری مختلف) بر مقادیر تبخیر و تعرق اثرگذار باشد (۲۷). گزارش‌های علمی و کارشناسی اعلام کرده‌اند که با انجام این روش‌ها، بدون این‌که افت محسوسی در عملکرد ایجاد شود تا حدود قابل‌توجهی در مصرف آب صرفه‌جویی شده است. با پذیرفتن این گزاره اولین نتیجه‌گیری آنست که اعمال رژیم‌های آبیاری به کاهش تعرق (T) منجر نشده است. از طرف دیگر با توجه به این‌که بیلان آبی شالیزار عمدتاً شامل تعرق (T)، نفوذ عمقی، نفوذ جانبی و تبخیر (E) است و مجموع مقادیر اشکال مختلف نفوذ بخش کوچکی از موازنه آبی شالیزار را تشکیل می‌دهد بنابرین صرفه‌جویی انجام شده باید در تبخیر اتفاق افتاده باشد. بنابراین اندازه‌گیری تبخیر مهم است و نقش مؤثری در بالا بردن بازده مصرف آب دارد. دقیق‌ترین راه اندازه‌گیری مقادیر واقعی تبخیر و تعرق در مزرعه استفاده از لایسیمتر است (۹، ۲۰) که با کنترل ورودی‌ها و خروجی‌های آب در آن می‌توان میزان آبی که صرف تبخیر و تعرق شده است را اندازه گرفت. لایسیمتر مجموعه‌ای از خاک، آب و گیاه در داخل یک بشکه و یا یک جعبه است که به‌منظور اندازه‌گیری دقیق قابلیت مصرف آب توسط گیاهان به‌کار می‌رود (۲، ٦). با این حال روش‌های لایسیمتری متعارف مجموع تبخیر و تعرق را اندازه‌گیری می‌نمایند. جداسازی عملی مقادیر تبخیر از تعرق در مجموعه تبخیر- تعرق در اجرا چالش مهمی محسوب می‌شود و دقیق‌ترین روش موجود در این زمینه به‌کارگیری روش‌های ایزوتوپی است (۸).

فرتی (۲۰۰۳) با استفاده از ایزوتوپ‌های پایدار دریافت که در حد فاصل ماه می تا سپتامبر، تبخیر عامل موثر در صفر تا ٤۰٪ افت آب در یکی از دشت‌های مورد مطالعه می‌باشد (۱۰). کول (۲۰۱٤) در ۳۲ مورد از ۵۲ مورد تحت بررسی خود در جمع‌بندی مطالعات انجام شده در جداسازی تبخیر از تعرق، میانگین نسبت E/ET را ۳۰٪ اعلام نمود و آن را شاهدی بر اهمیت جزء تبخیر دانست (۱٤). تلاش‌های اولیه برای تفکیک تبخیر از تعرق با استفاده از روش‌هایی صورت گرفت که در آن‌ها سطح زمین در بعضی از پلات‌ها کاملاً پوشیده بوده (به‌دلیل حذف تبخیر از سطح خاک) و تنها عامل افت آب در آن پلات‌ها تعرق گیاه است. مقادیر افت آب در این پلات‌ها با مقادیر افت آب در پلات‌های آزاد مقاسیه می‌گردید (۱۲، ۲۱، ۲۳). نتایج نشان داد پوشاندن سطح زمین در وسعت زیاد باعث تغییر در شرایط میکروکلیمایی شده و توازن انرژی را تغییر خواهد داد (۲۳).

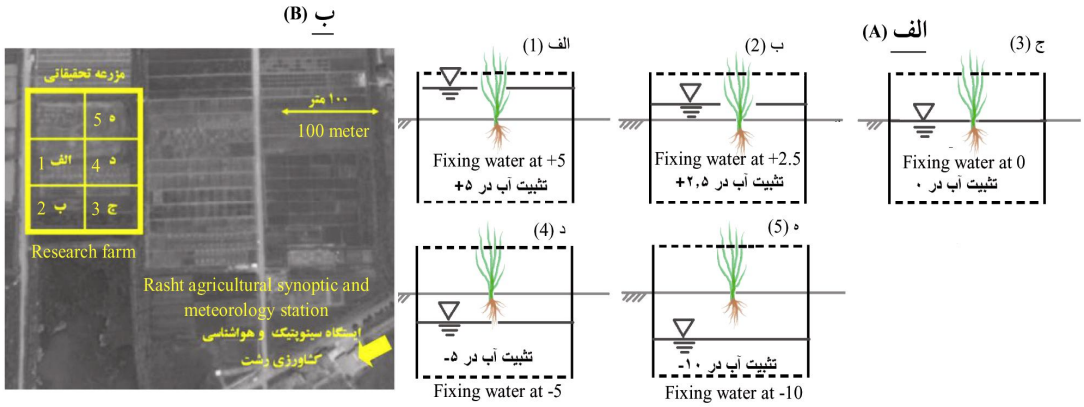
با ظهور مینی‌لایسیمترها، اندازه‌گیری مستقیم تبخیر سطحی بدون تغییر قابل‌ملاحظه در شرایط مزرعه ناشی از وجود پوشش امکان‌پذیر گردید (۲٤). به‌کارگیری این روش در کنار اندازه‌گیری تبخیر- تعرق در شرایط مشابه امکان تفکیک اجزا تبخیر- تعرق را فراهم ساخت (۱۱، ۱۳). همزمان اندازه‌گیری‌های دیگری نیز با استفاده از روش‌های انتقالی به‌خصوص روش Sap Flow در جریان بوده است. ساکوراتانی (۱۹۸۷) نخستین کسی بود که با استفاده از این روش، مؤلفه‌های تبخیر- تعرق را به تفکیک اندازه‌گیری نمود (۲۲). اشکتراب (۱۹۹٤) با استفاده از نسبت باوون تبخیر سطحی و سپس با استفاده از مینی لایسیمترهای وزنی اجزا تبخیر- تعرق را اندازه گرفت و نتایج دو روش را در حد قابل‌قبولی همانند یافت (٤). نسبت میزان تبخیر- تعرق در مراحل مختلف فنولوژیک گیاه متفاوت است. در زمان بذرپاشی نسبت E/ET برابر ۱۰۰ درصد و هنگام توسعه کامل گیاه و پوشش کامل مزرعه این نسبت به ۱۰ درصد می‌رسد (۳).

در مجموع با توجه به مطالعات انجام شده و عنایت به اهمیت موضوع و لزوم تعیین مقدار تبخیر و نقش آن در صرفه‌جویی در مقدار آب در مدیریت آبیاری تناوبی که به‌طور گسترده در اراضی شالیزاری استان گیلان در دست اجرا می‌باشد، تعیین مقدار تبخیر و نسبت آن با مقدار تعرق برای کمک به ارتقای روش آبیاری تناوبی و صرفه‌جویی در مقدار آب، در این اراضی الزامی می‌باشد. در این پژوهش با انتخاب چند ارتفاع ثابت سطح آب آبیاری در شالیزار که معرف وضعیت‌های استقرار آب از مرحله غرق‌آب تا قبل از رسیدن خاک به ترک مویین بودند، با هدف تعیین مقادیر تبخیر در هر عمق و تغییرات آن، در فصل رشد برنج اندازه‌گیری شد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در زمینی به وسعت ۱/۵ هکتار در یک مزرعه در محل مؤسسه تحقیقات برنج کشور در مختصات جغرافیایی ۳۷ درجه ۱۲ دقیقه ۱۳ ثانیه عرض شمالی و ٤۹ درجه ۳۸ دقیقه ۳۷ ثانیه طول شرقی، در مجاورت ایستگاه سینوپتیک هواشناسی کشاورزی رشت (در فاصله هوایی ۳۰۰ متر از مزرعه) انجام گردید. ارتفاع ایستگاه از سطح دریا ۲٤ متر و اقلیم منطقه بر اساس طبقه‌بندی کوپن بسیار مرطوب می‌باشد. بافت خاک منطقه مورد مطالعه، متوسط تا سنگین بوده و جرم مخصوص ظاهری این خاک‌ها در دامنه ۰/۹۵ تا ۱/۱ قرار داشت. pH منطقه اسیدی ضعیف بوده و کانی غالب در منطقه اسمکتایت است. سال مورد مطالعه از لحاظ آماری سالی نرمال محسوب می‌شود و پارامترهای هواشناسی در این سال از جمله دما و بارش در محدوده نرمال اقلیمی منطقه قرار می‌گیرند.

زمین زراعی به پنج کرت اصلی (به ابعاد ۵۰*۵۰ متر) تقسیم و بعد از آماده‌سازی زمین در وسط هر کرت، چهار عدد مینی‌لایسیمتر استوانه‌ای فلزی به ارتفاع ٦۰ و به قطر ٥٦/٥ سانتی‌متر (سه عدد برای اندازه‌گیری تبخیرسنجی و یک عدد سرپوشیده و بدون گیاه برای اندازه‌گیری نفوذ عمقی (با مدیریت آبیاری مشابه تیمار مزبور) به‌صورت ایستاده در داخل خاک شالیزار و در عمق ۵۰ سانتی‌متری خاک) نصب گردیدند. برای نصب مینی‌لایسیمترها از چکش و صفحه کوبش دبل رینگ‌های اندازه‌گیری نفوذ استفاده گردید. به‌دلیل استقرار لبه پایینی لایسیمتر در لایه نفوذناپذیر خاک (هاردپن) مقادیر نفوذ عمقی مشابه کرتی که لایسیمترها در آن قرار دارند و نفوذ جانبی نیز به‌دلیل غیرقابل نفوذ بودن جدار لایسیمتر صفر می‌گردد. تیمارهای سطح ثابت آبیاری در عمق‌های ۵، ۲/۵، ۰، ۵- و ۱۰- سانتی‌متری نسبت به سطح خاک، هر کدام در یک کرت مجزا و لایسیمترهای مربوط به هر کرت اجرا گردیدند (شکل ۱).

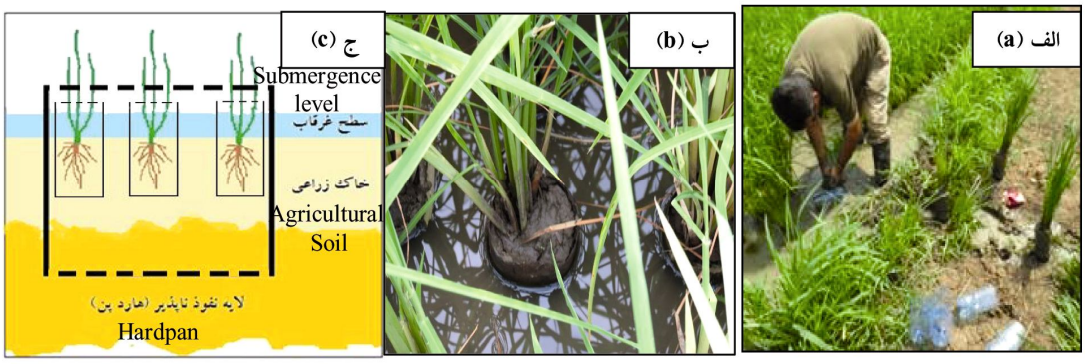


شکل ۱ (الف). الف: تیمار ارتفاع صفر (اشباع)؛ ب: تیمار غرق‌آب ۵ سانتی‌متری؛ ج: تیمار غرق‌آب ۲/۵ سانتی‌متری؛ د: تیمار ۵- سانتی‌متری؛ ه: تیمار ۱۰- سانتی‌متری. ۱ (ب): شمای سطح آب تیمارهای مختلف (به سانتی‌متر).

Figure 1 (A): 1 Zero (Saturated) treatment, 2- Submerged (5 cm) treatment 3- Submerged (2.5 cm) treatment. 4- Minus 5 cm treatment 5- minus 10 cm treatment; 1(B): Plan of the locations of plots of different treatments.

برای اندازه‌گیری تبخیر خالص از سطح آب و خاک باید روشی اتخاذ گردد که گیاه از آب داخل لایسیمتر برای تعرق بهره نگیرد. به همین جهت با استفاده از گلدان‌های کوچک با ارتفاع ۲۵ سانتی‌متر و قطر ۱۰ سانتی‌متر ریشه گیاه از دسترسی به آب داخل لایسیمتر محروم گردید. تعداد گلدان‌ها و چیدمان آن‌ها در لایسیمتر دقیقاً مشابه وضعیت گیاهان نشا شده در مزرعه بود. بنابراین شرایط محیطی مزرعه و لایسیمترهای تبخیرسنج (از لحاظ تبخیر و نفوذ) تا حد امکان مساوی فرض گردید. از آن‌جایی‌که ریشه بوته‌ها در لایسیمترهای تبخیرسنج از دسترسی آب داخل لایسیمتر محروم هستند باید هر روز به‌صورت مجزا و با دقت آبیاری گردند تا هم از خشک شدنشان جلوگیری شود و هم از اختلاط آب آبیاری گلدان‌ها و آب داخل لایسیمتر جلوگیری به‌عمل آید. به‌دلیل محدود بودن فضای ریشه در گلدان گیاهان داخل گلدان سرعت رشد کم‌تری نسبت به گیاهانی که مستقیماً در شالیزار کشت شده‌اند، دارند. بنابراین در زمان بروز تفاوت بین ظاهر گیاهان داخل گلدان و گیاهان عادی نسبت به تعویض و نو کردن گیاهان داخل گلدان با بوته‌های نرمال از داخل مزرعه اقدام گردید.

سطوح عمق آبیاری به‌عنوان سطوح معرف شناخته می‌شوند زیرا در طی یک دور آبیاری تناوبی کامل از زمان غرق‌آب دائم (که آب در ارتفاع حدوداً ۵ سانتی‌متری خاک قرار دارد) تا زمانی که به مرحله بروز درز و ترک مویین نزدیک می‌شود (که سطح آب در خاک تقریباً به کم‌تر از ۱۰- سانتی‌متر می‌رسد) سطح آب در سطوح مختلفی نسبت به سطح خاک در نوسان است و عمق‌های مدنظر در این پژوهش به‌عنوان عمق‌های معرف این تغییرات می‌باشند.



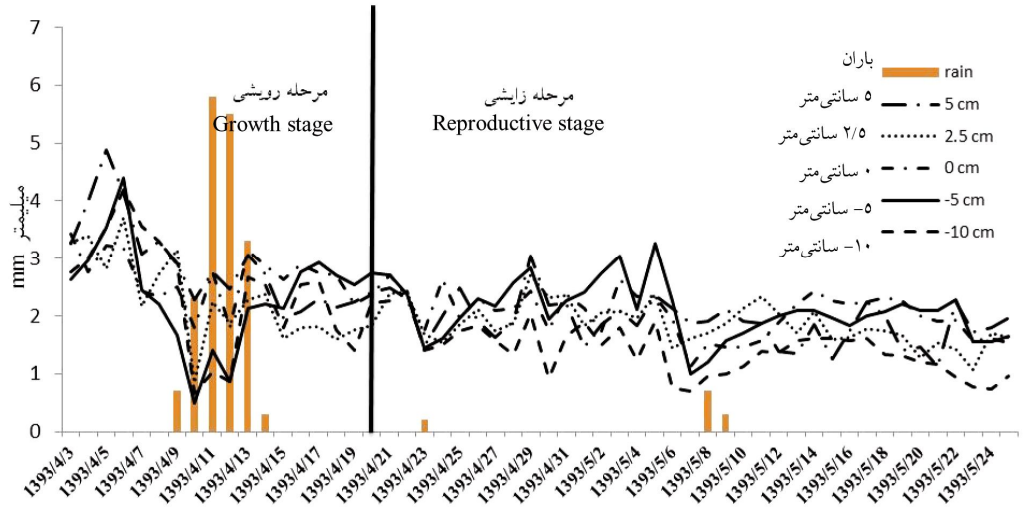
شکل ۲- جلوگیری از دسترسی ریشه به آب داخل لایسیمتر. الف: شمای قرارگیری لایسیمتر گلدان‌ها و ریشه‌ها در داخل یکدیگر. ب: تصویری از عدم ارتباط آب درون لایسیمتر و گیاهان درون گلدان. ج: انجام عملیات تعویض دوره‌ای گیاهان داخل گلدان برای حفظ هماهنگی در شادابی و رشد گیاهان داخل لایسیمتر و بقیه کرت.

Figure 2. Preventing the roots to access lysimeter water. a: Schema of lysimeter, vas and roots. b: The picture shows that there is no connection between water in lysimeter and vases. c: changing the plants inside the vases to keep them fresh and similar to other normal plants.

تثبیت سطح ایستابی به‌صورت روزانه و در تیمارهای ارتفاع مثبت با استفاده از نشانه و در تیمارهای منفی با استفاده از چاهک و خط‌کش صورت می‌گرفت. به این صورت که میزان کاهش روزانه ارتفاع آب نسبت به سطح تثبیت، با افزایش آب جبران گردید. تثبیت ارتفاع آب در صفر و ۵- و ۱۰- در یک بازه و با نوسان حداقل صورت گرفت. مثلا در ارتفاع صفر تلاش بر این بوده است که خاک همیشه در حالت اشباع قرار گیرد، اما در عین‌حال ارتفاع سطح آب در بالای سطح خاک به بیش از یک سانتی‌متر نرسد. به‌عبارت دیگر سطح آب در این تیمار در ارتفاع ۱ و ۱- سانتی‌متری در نوسان بوده است. با تبدیل حجم آب افزوده شده به ارتفاع در واحد سطح با لحاظ کاهش سطح اشغالی توسط گلدان‌ها، میزان آب مصرفی روزانه (دربرگیرنده تبخیر) محاسبه گردید. پس از استقرار گیاه و رسیدن گیاه به اواسط مرحله پنجه‌زنی اعمال تیمارهای آبیاری و تثبیت سطح ایستابی در کرت‌ها و لایسیمترهای درون آن‌ها آغاز گردید. تفاوت مقادیر به‌دست آمده در لایسیمترهای تبخیرسنج با رعایت ضریب کاهش سطح (ناشی از وجود گلدان‌های کوچک) با مقادیر نفوذ اندازه‌گیری شده در لایسیمتر نفوذسنج در هر تیمار به‌عنوان مقادیر تبخیر منظور گردید.

نتایج و بحث

در طی ٥٤ روز از اواسط پنجه‌زنی (۳ تیر) تا آخرین آبیاری برنج (۲۵ مرداد) به‌طور روزانه سطح آب داخل لایسیمترها با افزودن آب تثبیت و با تبدیل مقدار حجم آب افزوده شده به ارتفاع، مقدار تبخیر محاسبه گردید. در این مدت سه رخداد بارندگی (با تداوم ۵، ۱ و ۲ روزه) اتفاق افتاد. در شکل ۳ نمودار روند تغییرات متوسط مقادیر تبخیر لایسیمترهای هر تیمار و مقادیر بارندگی بر حسب روز مشخص گردیده است.

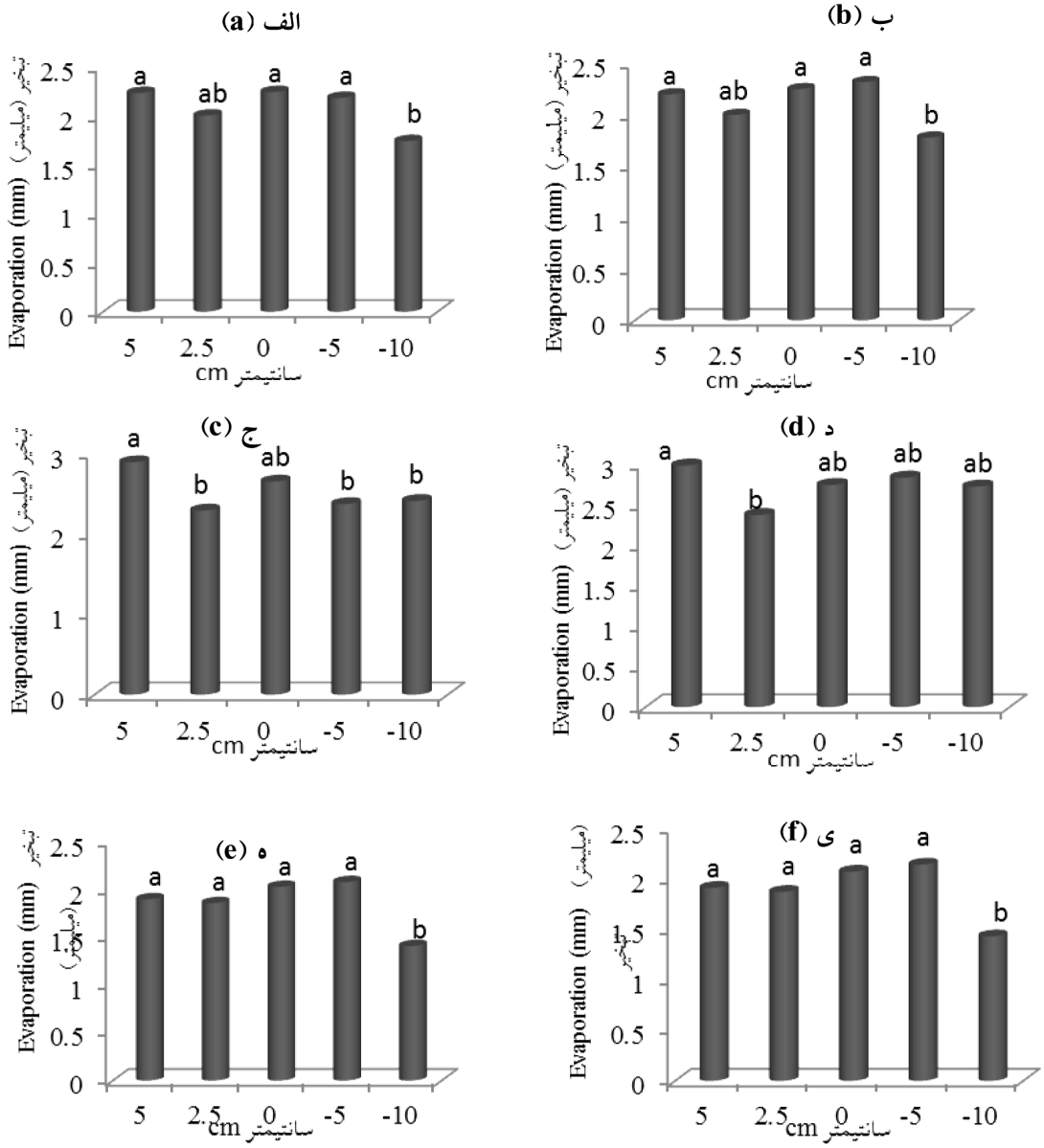


شکل ۳- نمودار تغییرات میانگین مقادیر تبخیر در تیمارهای مختلف در طول دوره اندازه‌گیری.

Figure 3. The diagram of fluctuations of evaporation in different treatments at the measurement period.

با توجه به شکل ۳ مشاهده می‌گردد که روند تغییرات مقدار تبخیر در طول زمان کاهشی می‌باشد و هرچه به انتهای فصل نزدیک‌تر می‌شویم بر اثر افزایش پوشش گیاهی از میزان تبخیر کاسته می‌گردد. باید توجه داشت که روند کاهش تبخیر در حالی صورت می‌گیرد که در طول دوره دما روندی افزایشی دارد. افت و خیزهای متعدد تبخیر در زمان‌های مختلف متأثر از عوامل هواشناسی است، به‌خصوص در هنگام بارندگی میزان تبخیر در همه تیمارها کاهش یافته و مقادیر اندازه‌گیری شده تا حدی به هم نزدیک می‌شوند. بزرگ‌ترین مقدار تبخیر ثبت شده ۵ میلی‌متر در تیمار ۵+ سانتی‌متری و کم‌ترین آن ۰/۳ میلی‌متر در تیمار ۲/۵+ سانتی‌متری اندازه‌گیری شده است. برای بررسی اختلاف‌های آماری بین تیمارهای مختلف پس از انجام آزمون مقایسه‌ها با استفاده از روش مقایسه میانگین (توکی)، داده‌ها در سه وضعیت دوره کامل، دوره رویش و دوره زایشی دسته‌بندی و مقایسه شده‌اند. هر کدام از دوره‌های مذکور نیز به دو زیر دوره "با" و "بدون" بارندگی تقسیم می‌شوند. به‌عبارت دیگر داده‌ها در ٦ حالت مختلف مورد بررسی قرار گرفته‌اند (شکل ٤). نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نیز در جدول یک نشان داده شده است.

در تمام شکل‌ها، اندیس حروف کوچک انگلیسی مشترک نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد با استفاده از آزمون توکی می‌باشد.



شکل ٤- مقایسه میانگین مقادیر تبخیر تیمارهای آزمایش. الف: کل دوره. ب: کل دوره بدون بارندگی ج: دوره رویشی. د: دوره رویشی بدون بارندگی. ه: دوره زایشی. ی: دوره زایشی بدون بارندگی.

Figure 4. Compare mean of evaporation in different treatments, a: whole period. b: whole period without precipitation, c: vegetative period, d: vegetative period without precipitation, e: productive period, f: productive period without precipitation.

جدول ۱- تجزیه واریانس مقادیر تبخیر تیمارهای آزمایش (میانگین مربعات).

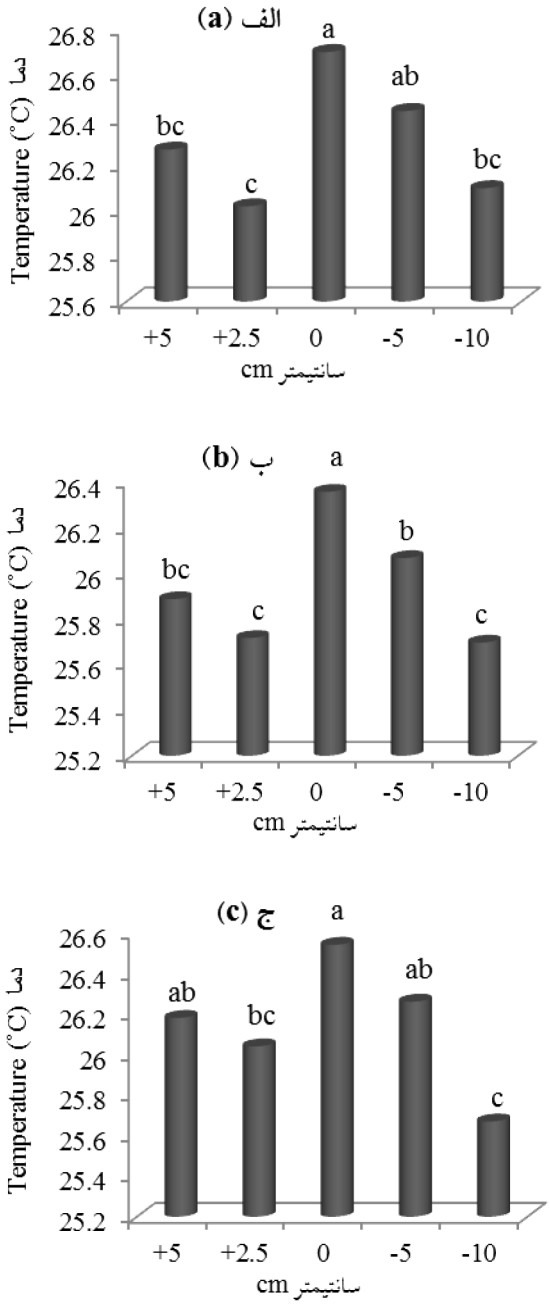
Table 1. Analysis of variance for evaporation in different treatments (mean squares)

منابع تغییرات (Sources of variations)	درجه آزادی (Degree of freedom)	کل دوره (whole period)	کل دوره بدون بارندگی (whole period without precipitation)	دوره رویشی (vegetative period)	دوره رویشی بدون باران (vegetative period without precipitation)	دوره زایشی (productive period)	دوره زایشی بدون باران (productive period without precipitation)
تیمار (Treatment)	4	0.133**	0.145**	0.178**	0.150*	0.212**	0.227**
تکرار (Repeat)	2	0.007^{ns}	0.007 ^{ns}	0.003 ^{ns}	0.000 ^{ns}	0.016 ^{ns}	0.015 ^{ns}
خطا (Error)	8	0.010	0.015	0.018	0.030	0.019	0.021

* و ** به‌ترتیب معنی‌دار در سطح ۵٪، ۱٪ و ^{ns}، غیرمعنی‌دار.

دوره کامل: در بررسی کل دوره اختلاف معنی‌دار بین تکرارها مشاهده نگردید. در بین تیمارها تفاوت معنی‌دار با سایر تیمارها در میزان تبخیر در تیمار ۱۰- سانتی‌متر دیده شد (شکل ٤، a). در این تیمار میزان تبخیر از سطح خاک به کم‌ترین حد خود رسیده است و کم‌ترین تلفات تبخیری در این تیمار مشاهده می‌گردد. صرف‌نظر از معنی‌دار بودن، در بررسی روند تغییرات تبخیر، تناسب آن با عمق آب آبیاری قابل‌توجه است. تیمار ۲/۵ سانتی‌متری نیز تیماری است که در گروه مشترک است و از لحاظ کم بودن میزان تبخیر در رده دوم قرار دارد. با کاهش سطح غرق‌آب از ۵ سانتی‌متری و نازک شدن لایه آب روی خاک از میزان تبخیر کاسته می‌گردد. این افت تبخیر به‌دلیل کاهش اثر دما (شبانه) بر این تیمار است. زیرا به‌دلیل پایین بودن رطوبت خاک در این تیمار در هنگام شب خاک سریع‌تر سرد می‌گردد و این کاهش دمای خاک بر روی تبخیر نیز اثرگذار است. سپس با کاهش ارتفاع آب و نزدیک شدن سطح آب به سطح خاک مجدداً به تلفات تبخیر افزوده می‌شود و این تلفات هم‌چنان تا رسیدن سطح آب به عمق ۵- بالاست. سپس با رسیدن آب به عمق ۱۰- به‌طور معنی‌داری از میزان تلفات تبخیر کاسته می‌گردد.

نکته قابل‌توجه در این بررسی این است که نتایج اندازه‌گیری‌های تبخیر و نوسانات آن تشابه چشمگیری با نوسانات دمای اندازه‌گیری شده در هر تیمار (در عمق ۵ و ۱۰ سانتی‌متر زیر سطح خاک) و همچنین دمای آب دارد و تیمارهایی که دارای تلفات تبخیر بیش‌تر هستند، تیمارهایی هستند که در بازه‌های روزانه دماهای بیش‌تری در محیط آب و خاک آن‌ها ثبت شده است (شکل ۵). بنابراین اگرچه وجود لایه غرق‌آب در سطح خاک موجب خنک‌تر شدن محیط خاک نسبت به شرایط اشباع و نیمه اشباع می‌گردد اما با پایین‌تر رفتن سطح آب در خاک (تیمار ۱۰- سانتی‌متر)، آب در محیط خنک‌تری قرار گرفته و به‌طور طبیعی انرژی بیش‌تری برای انجام تبخیر آب نیاز است.



شکل ۵- مقایسه میانگین دمای (روزانه) اندازه‌گیری شده در لایسیمترها؛ الف: دمای عمق ۵ سانتی‌متری خاک، ب: دمای عمق ۱۰ سانتی‌متری خاک و ج: دمای آب (در زیر سطح استقرار).

Figure 5. compare mean of the lysimeter daily temperature; a: temperature at the depth of 5 cm, b: temperature at the depth of 10 cm and c: water temperature.

دوره کامل (بدون بارندگی): استخراج روزهای بدون بارندگی در این دوره نیز تفاوت چشمگیری در نتایج نوسانات تبخیر ایجاد نمی‌کند. با این تفاوت که بیش‌ترین تبخیر در تیمار نزدیک به اشباع (۵- سانتی‌متر) دیده می‌شوند. تیمارهای غرق‌آب (۵ و ۲/۵ سانتی‌متر)، اشباع (صفر سانتی‌متر) و نزدیک به اشباع تفاوت معنی‌دار ندارند و روند مشابهی مانند حالت قبل دارند و تیمار ۱۰- سانتی‌متر با تفاوتی معنی‌دار

کم‌ترین میزان تبخیر را دارد (شکل b،٤). در این حالت نیز تیمار ۲/۵ سانتی‌متر با قرار گرفتن در هر دو گروه دارای دومین رتبه در کاهش تبخیر است. اختلاف معنی‌داری بین تکرارهای آزمایش در داخل هر تیمار وجود ندارد.

دوره رویشی: در گام بعدی کل دوره اندازه‌گیری به دو دوره رویشی و زایشی تفکیک گردید. در دوره رویشی، زمانی که گیاه هنوز به حداکثر تراکم نرسیده، ۱۸ روز اندازه‌گیری انجام گرفته که در ۵ روز آن بارندگی رخ داده است. مقایسه میانگین نشان می‌دهد که در تکرارهای آزمایش اختلاف معنی‌داری وجود ندارد. در مقایسه تیمارها در این دوره (شکل ٤، c)، بیش‌ترین تبخیر در تیمار غرقاب ۵ سانتی‌متر و پس از آن در تیمار اشباع (۰ سانتی‌متر) دیده می‌شود. اگرچه تیمارهای زیر اشباع (۵- و ۱۰- سانتی‌متر) و تیمار ۲/۵ سانتی‌متر تفاوت معنی‌داری با هم نشان نداده‌اند، کم‌ترین تبخیر در تیمار غرق‌آب ۲/۵ سانتی‌متر مشاهده شده است. به‌نظر می‌رسد در زمان رشد رویشی که سطح شالیزار هنوز در تأثیرپذیری بیش‌تری از عوامل جوی محیط مزرعه‌اند، وجود ارتفاع بالای آب در شالیزار زمینه را برای تبخیر بیش‌تر فراهم می‌کند اما با نازک کردن لایه آب در لایه غرق‌آب، مقدار تبخیر به‌میزان قابل‌توجهی کم‌تر است. در صورت نبود آب کافی برای حفظ شرایط غرق‌آب آب بهتر است خاک در شرایط کم‌تر از اشباع قرار گیرد زیرا وجود شرایط اشباع در سطح خاک مجدداً به افزایش تبخیر خواهد انجامید.

دوره رویشی (بدون بارندگی): با کم کردن روزهای بارندگی از دوره رویشی گیاه تغییر اساسی روند تغییرات میزان تبخیر با عمق دیده نشد و تکرارها همچنان دارای اختلاف معنی‌داری نیستند. بیش‌ترین میزان تبخیر در تیمار غرق‌آب ۵ سانتی‌متر و پس از آن در تیمارهای اشباع و نزدیک به اشباع مشاهده شد. با کاهش حجم آب غرق‌آب در سطح خاک (تیمار ۲/۵ سانتی‌متر) میزان تبخیر به شکل معنی‌داری کاهش می‌یابد (شکل ٤، d).

دوره زایشی: در این مرحله که از انتهای مرحله رویشی تا پایان کامل آبیاری (۳۲ روز اندازه‌گیری شده است) و وضعیت گیاه از لحاظ تراکم و حجم بوته در شالیزار ثابت بوده و می‌توان گفت که در طول این مدت پوشش کامل گیاهی اثر ثابتی بر عوامل محیطی گذاشته است. در این مرحله آزمون تجزیه واریانس هم‌چنان نشان‌دهنده عدم تفاوت معنی‌دار در تکرارها است. اما در تیمارها تنها تفاوت معنی‌دار را در تیمار ۱۰- نشان داده است (شکل ٤، e). اگرچه تیمارهای اشباع و نزدیک به اشباع، تبخیر بیش‌تری از تیمارهای غرق‌آب دارند اما این تفاوت ها معنی‌دار نبودند. با این حال از روند تغییرات تبخیر با عمق وضعیت مشابه کل دوره می‌باشد که با کاهش ارتفاع سطح غرق‌آب ابتدا از میزان تبخیر کاسته و سپس با رسیدن به وضعیت اشباع و نیمه اشباع تبخیر افزایش می‌یابد. پس از آن و با قرار گرفتن آب در عمق ۱۰- خاک، تبخیر به شکل چشمگیری کاهش پیدا می‌کند.

دوره زایشی (بدون بارندگی): در این دوره دو مورد بارندگی یک‌روزه و دو روزه (در مجموع ۳ روز) رخ داده است. با کسر این موارد و انجام آزمون تجزیه واریانس نشان‌دهنده روند و دسته‌بندی مشابهی با حالت قبل است (شکل ٤، f). در این دوره نیز تیمار ۱۰- سانتی‌متر کم‌ترین میزان تبخیر را داشت. همچنین این تیمار اختلاف معنی‌داری را با سایر تیمارها نشان داد. در مقایسه با دوره رویشی بدون بارندگی که تیمار ۵ سانتی‌متر حداکثر تبخیر و تیمار ۲/۵ سانتی‌متر حداقل میزان تبخیر را داشت، در این دوره تیمار ۵- سانتی‌متر حداکثر تبخیر و تیمار ۱۰- سانتی‌متر حداقل تبخیر را داشت.

نتیجه‌گیری

در طول دوره رشد برنج روند تغییرات میزان تبخیر از شالیزار کاهشی است که دلیل آن رشد و سایه‌اندازی گیاه روی زمین می‌باشد. مقادیر تبخیر روزانه از سطح شالیزار علاوه بر ارتفاع سطح آب آبیاری درون کرت به عوامل محیطی دیگری هم بستگی دارد. وقوع بارندگی موجب کاهش ۲۵ تا ۷۵ درصدی میزان تبخیر در شالیزار می‌گردد. با این حال در نظر نگرفتن موارد بارندگی نتیجه مقایسه وضعیت و نسبت تبخیر در سطوح مختلف ارتفاع آب در شالیزار را تغییر نمی‌دهد و در تمامی دوره‌های مورد بررسی (کل دوره، زایشی و رویشی) در نظر گرفتن روزهای بارندگی در سری داده‌ها تاثیر چندانی در نتیجه آزمون تجزیه واریانس و معنی‌داری اختلافات نداشته است. تغییرات میزان تبخیر از شالیزار در حالتی که سطح آب در شالیزار در غرق‌آب، اشباع و کم‌تر از آن قرار دارد خطی نبوده و روند متغیر شبه‌سینوسی دارد. در حالت کلی ارتفاع زیاد سطح آب غرق‌آب در شالیزار (بدون اینکه اثر مثبتی در وضعیت رشد گیاه داشته باشد) موجب افزایش میزان تلفات تبخیر می‌گردد. در حالی که با کاهش سطح آب غرق‌آب و نازک شدن این لایه بر روی خاک شالیزار، به‌خصوص در دوره رشد رویشی، مقدار تبخیر به صورت قابل‌ملاحظه‌ای کاهش می‌یابد. اگر ارتفاع این لایه خیلی کم شود و به صفر (حالت اشباع) برسد و یا در ارتفاع کمی کم‌تر از آن (نیمه اشباع) قرار بگیرد میزان تبخیر مجددا به مقدار قابل‌توجهی (بین ۱۵ تا ۲۰ درصد) افزایش می‌یابد. به‌عبارت دیگر نزدیک شدن سطح آب به سطح خاک موجب افزایش تلفات تبخیر در شالیزار می‌گردد. از طریق بررسی دماهای اندازه‌گیری شده در لایسیمترها این نتیجه قابل حصول است که تماس مستقیم خاک با تابش خورشید و به‌تبع آن افزایش دمای خاک و آب و در دسترس بودن آب کافی در خاک می‌تواند از دلایل جهش مقادیر تبخیر در شرایط اشباع و نیمه اشباع باشد. پس از آن و در شرایطی که سطح آب در خاک پایین‌تر از شرایط نیمه اشباع است (تیمار ۱۰- سانتی‌متر) به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای و به‌میزان ۷ میلی‌متر کاهش می‌یابد. این کاهش ۳۰ درصدی می‌تواند ناشی از دو دلیل عمده باشد: یکی این‌که اگرچه خاک بر خلاف حالت‌های غرق‌آب در معرض تابش مستقیم آفتاب قرار دارد ولی در سطح خاک رطوبت کافی برای تبخیر وجود ندارد و از طرف دیگر سطح آب آزاد در عمق خنک‌تری از خاک قرار دارد و تقریباً در این عمق از دامنه نوسانات شدید شبانه‌روزی دما در امان است. به‌نظر می‌رسد در شرایط وجود آب کافی در مدیریت شالیزار وجود لایه نه چندان ضخیم غرق‌آب (بین ۲ تا ۳ سانتی‌متر) ضمن تامین آب کافی و اثرات مفید جانبی (کنترل رشد علف‌های هرز، سهولت به‌کارگیری کودهای شیمیایی و ...) باعث جلوگیری از بالا رفتن تبخیر آب می‌گردد. اما در غیر این صورت و نبود آب لازم برای حفظ حالت غرق‌آب، برای حفظ ذخایر آبی و کاهش تلفات تبخیر خروج خاک از حالت اشباع در اولویت قرار دارد و بهتر است مدیریتی اعمال شود که سطح آب در اعماق بیش از ۵ سانتی‌متر پایین‌تر از سطح خاک قرار گیرد. بدیهی است این کاهش در رطوبت خاک باید تا حدی ادامه یابد که به تنش آبی و ظهور درز و ترک‌های بیش از ترک مویین منجر نگردد.

مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بالابودن ارتفاع سطح غرق‌آب در شالیزار موجب افزایش میزان تلفات تبخیر می‌گردد. با کاهش سطح غرق‌آب و نازک شدن لایه آب روی خاک، خصوصاً در دوره رشد رویشی، تبخیر کاهش می‌یابد. اگر ارتفاع این لایه خیلی‌کم شود و به صفر برسد و یا خاک در حالت نیمه اشباع قرار گیرد، تبخیر مجدداً افزایش می‌یابد. پس از آن در شرایطی که سطح آب در خاک پایین‌تر از شرایط نیمه اشباع است (۱۰- سانتی‌متر) تبخیر به‌طور معنی‌داری کاهش می‌یابد.

منابع

1.Agam, N., Evett, S.R., Tolk, J.A., Kustas, W.P., Colaizzi, P.D., Alfieri, J.G., Mckee, L.G., Copeland, K.S., Howell, T.A., and Chavez, J.L. 2012. Evaporative loss from irrigatedinter rows in a highly advective semi-arid agricultural area. Adv. Water Res. 50: 20-30.

2.Alizadeh, A. 2004. Soil, Water, Plant relationship. Astan Quds Razavi, press, 470p.

3.Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., and Smith, M. 1998. Crop Evapotranspiration: Guidelines for Computing Crop Requirements. FAO irrigation and drainage paper no. 56. Food and Agricultural Organisation of the United Nations, Rome, Italy.

4.Ashktorab, H., Pruitt, W., and Paw, U.K. 1994. Partitioning of Evapotranspiration Using Lysimeter and Micro-Bowen-Ratio System. J. Irrig. Drain. Eng. 120: 450-464.

5.Balwinder, S., Eberbach, P.L., Humphreys, E., and Kukal, S.S. 2011. The effect of ricestraw mulch on evapotranspiration, transpiration and soil evaporation of irrigated wheat in Punjab. India. Agric. Water Manage. 98: 1847-1855.

6.Borhan, A. 1990. Plant water requirement and irrigation planning. Interior ministry. (In Persian)

7.Ding, R., Kang, S., Zhang, Y., Xinmei, H., Tong, L., and Du, T. 2013. Partitioning evapotranspiration into soil evaporation and transpiration using a modified dual crop coefficient model in irrigated maize field with ground-mulching. Elsevier. 127: 85-96.

8.Ehleringer, J.R., Roden, J.R., and Dawson, T.E. 2000. Assessing ecosystem-level water relations through stable isotoperation analyses. P 181-198, In: O.E. Sala, R. Jackson, H.A. Mooney and R. Howarth (Eds.), Methods in Ecosystem Science. SpringerVerlag, New York, USA.

9.FAO. Crop Evapotranspiration (Guidelines for Computing Crop Water Requirements), FAO Irrigation and Drainage Paper No.56.

10.Ferretti, D.F., Pendall, E., Morgan, J.A., Nelson, J.A., LeCain, D., and Mosier, A.R. 2003. Partitioning evapotranspiration fluxes from a Colorado grassland using stable isotopes: seasonal variations and ecosystem implications of elevated atmospheric CO_2. Plant and Soil J. 254: 291-303.

11.Ham, J.M., Heilman, J.L., and Lascano, R.J. 1990. Determination of soil water evaporation and transpiration from energy balance and stem flow measurement. Agricultural and Forest Meteorology. 52: 287-301.

12.Harrold, L.L., Peters, D.B., Driebelbis, F.R., and Mc-Guiness, J.L. 1959. Transpiration evaluation of corn grown on a plastic-cove red lysimeter. Soil Sci. Soc. Of Am. Proc. 23: 174-178.

13.Jara, J., Stockle, C.O., and Kjelgard, J. 1998. Measurement of evapotranspiration and its components in a corn (Zea Mays L.) field. Agric. For. Meteorol. 92: 131-145.

14.Kool, D., Agam, N., Lazarovitch, N., Heitman, J.L., Sauer, T.J., and Ben-gal, A. 2014. A review of approaches for evapotranspiration partioning. Agric. For. Meteorol. 184: 56-70.

15.Kustas, W.P., and Agam, N. 2014. Soil Evaporation. Encyclopedia of Natural Resources. DOI: 10.1081/E-ENRL-120049129.

16.Kustas, W.P., and Norman, J.M. 1999a. Evaluation of soil and vegetation heat flux predictions using a simple two-source model with radiometric temperatures for partial canopy cover. Agric. For. Meteorol. 94: 13-29.

17.Kustas, W.P., and Norman, J.M. 1999b. Reply to comments about the basic equations of dual-source vegetation-atmosphere transfer models. Agric. For. Meteorol. 94: 275-278.

18.Lauenroth, W.K., and Bradford, J.B. 2006. Ecohydrology and the Partitioning AET between Transpiration and Evaporation in a Semiarid Steppe. Ecosystems. 9: 756-767.

19.Lawrence, D.M., Thornton, P.E., Oleson, K.W., and Bonan, G.B. 2007. The Partitioning of Evapotranspiration into Transpiration, Soil Evaporation and Canopy Evaporation in a GCM: Impacts on Land–Atmosphere Interaction. J. Hydrometeor. 8: 862-880.

20. Modabberi, H. 2010. Determining evapotranspiration and crop coefficient of rice varieties in swamp plain (Guilan). Irrigation and Drainage Master's Thesis. Agricultural Faculty, Tarbiat Modarres University. (In Persian)
21. Peters, D.B., and Russell, M.B. 1959. Relative water losses by evaporation andtranspiration in field corn. Soil Sci. Soc. Am. J. 23: 170-173.
22. Sakuratani, T. 1987. Studies on evapotranspiration from crops. (2) Separate estimation of transpiration and evaporation from a soybean field without water shortage. J. Agric. Meteorol. 42: 309-317.
23. Shaw, R.H. 1959. Water use from plastic covered and uncovers corn plots. Agron. J. 51: 172-173.
24. Shawcroft, R.W., and Gardner, H.R. 1983. Direct evaporation from soil under a row crop canopy. Agric. Meteorol. 28: 229-238.
25. Sutanto, S.J., Wenninger, J., Coenders-Gerrits, A.M.J., and Uhlenbrook, S. 2012. Partitioning of evaporation into transpiration, soil evaporation and interception: a comparison between isotope measurements and a HYDRUS-1D model, Hydrol. Earth Syst. Sci. 16: 2605-2616.
26. Tolk, J.A., Howell, T.A., Steiner, J.L., Krieg, D.R., and Schneider, A.D. 1995. Role of transpi-ration suppression by evaporation of intercepted water in improving irrigation efficiency. Irrig. Sci. 16: 89-95.
27. Yazdani, M.R., Sharifi, M.M., Razavi poor, T., and Sharafi, N. 2002. Comparison of several water management methods in rice fields Of Guilan province. 11th National Committee Conference on Irrigation and Drainage. (In Persian)

Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

J. of Water and Soil Conservation, Vol. 24(1), 2017
http://jwsc.gau.ac.ir

The effect of submergence depth on evaporation losses in paddy fields

E. Asadi Oskouei[1], *M. Mousavi Baigi[2], M.R. Yazdani[3] and A. Alizadeh[2]
[1]Ph.D. Student of Agrometeorology. Ferdowsi University of Mashhad, [2]Professor, Dept. of Irrigation, Ferdowsi University of Mashhad, [3]Assistant Prof. of Rice Research Institute of Iran
Received: 11/23/2016; Accepted: 05/08/2017

Abstract
Background and Objective: Evaporation is one of the main components of water losses in submerged irrigation method in paddy fields. The amount of evaporation is a function of temperature, relative humidity, wind speed, vegetated surface, submerges depth, water table level and other elements. In different intermittent irrigation managements, paddy fields frequently are under submerged and non-submerged situation. In each irrigation practice, the water level changes from submerged to capillary crack. This research aims measuring of evaporation rate during rice growth in different submerged depths in Guilan Province paddy fields in Rice Research Institute near meteorological research station in 2013.
Material and Methods: Five different water level treatments (5, 2.5, 0, -5, -10 cm) where applied to the farm in three repetition and using mini Lysimeters the evaporation is measured in daily scale in the middle of pig plots.
Results: The results show that evaporation in different submerged levels is significantly different in 5%.The most and least evaporation amounts are consequently seen in 0 cm and 10 cm treatments respectively 120.8 and 94 millimeters. In all treatments the evaporation reduces during the time to the half. Precipitation minimize also evaporation rate till 75%. Neglecting precipitation dates also does not change the difference between treatments. The comparisons show that higher levels of water on the soil surface cause higher evaporation losses. By reducing water level and narrowing water depth on soil surface, especially in vegetation period evaporation reduces. If the thickness of this layer reduces and reaches to zero or soil became semi saturated, evaporation increases again. If the thickness of this layer reduces and reaches to zero or soil became semi saturated evaporation increases again. Then when the soil became dryer and the water level stays at -10 cm below soil level, the evaporation decreases significantly.
Conclusion: The results of evaporation measurements and its fluctuations are highly strongly to fluctuations of soil temperature in every treatment (in depth of 5 and 10) and water temperature and treatments which have higher records of temperature in the soil and water environment, have severer evaporation rates. In case of enough available water, presence a thin layer of water on top soil surface can reduce effectively evaporation. But in the absence of water necessary to maintain submergence, to reduce evaporation losses it is recommended to keep water level table in lower than 5 cm from top soil surface.

Keywords: Depth of submerged, Evaporation, Mini lysimeter, Paddy field, Vegetation

* Corresponding Author; Email: mousavi500@yahoo.com