

اثر آب زیرزمینی کم عمق و شور روی رشد و زیست توده برنج

مسعود پورغلام آمیجی، عبدالمجید لیاقت، آرزو نازی قمشلو^{۱*} و مجتبی خوشروش

دانشجوی کارشناسی ارشد گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران.

Mpourgholam6@ut.ac.ir

استاد گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران.

Aliaghat@ut.ac.ir

استادیار گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران.

A.ghameshlou@ut.ac.ir

استادیار گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری.

Khoshravesh_m24@yahoo.com

چکیده

مشکل شوری خاک در برخی از شالیزارهای نواحی حاشیه دریای خزر به دلیل همجواری با دریا و قرارگیری در مناطق کم ارتفاع با سطح ایستابی کم عمق و شور به چشم می خورد. همچنین، با توجه به اینکه برنج یکی از مهم ترین گیاهان راهبردی برای اقتصاد کشور و مردم این منطقه محسوب می شود، بررسی امکان تولید برنج در حضور سطح ایستابی کم عمق و شور امری ضروری است. این پژوهش در سال ۱۳۹۶ در مرکز تحقیقات آب و هواشناسی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی کرج-دانشگاه تهران در یک مدل فیزیکی (لایسیمتر بزرگ) انجام گرفت. پژوهش حاضر در لایسیمتر فلزی عایق تحت دو تیمار اصلی با سطح ایستابی کم عمق و غیرشور (FSG) و در حضور سطح ایستابی کم عمق و شور (SSG) به انجام رسید. شوری آب آبیاری برابر $0/94 \text{ dS/m}$ برای هر دو تیمار بوده و شوری آب زیرزمینی کم عمق در عمق ۴۰ سانتی متری از سطح خاک برای تیمار SSG به صورت تغذیه مصنوعی از پایین در 20 dS/m تنظیم گردید. نتایج پروفیل شوری خاک در تیمار SSG حاکی از اختلاط کم آب شور و شیرین در منطقه بینابینی (از زیر سخت لایه یعنی عمق ۳۰ تا ۴۰ سانتی متری از سطح خاک) و تاثیر ناچیز شوری بر منطقه ریشه بود. دلیل این امر وجود دائمی لایه آب در شالیزار و جریان رو به پایین آب می باشد که می تواند از جریان رو به بالای آب شور و صعود مویبندی جلوگیری کند. این مساله باعث شد تا عملکرد برنج تحت تاثیر قرار نگیرد و دچار افت نشود. نتایج حاصل از مقایسه میانگین پارامترهای عملکرد نیز همین امر را تصدیق می کند و نشان می دهد که شوری آب زیرزمینی کم عمق بر پارامترهای سطح برگ (LAI)، طول ریشه (RL)، ارتفاع بوته (PL)، پایداری غشا (MSI) و کلروفیل (SPAD)، محتوای آب نسبی (RWC) و زیست توده (BIO) در دو تیمار اثر قابل توجهی نداشته و باعث شده که اختلاف ناچیزی بین پارامترهای عملکرد حاصل شود. اختلاف پارامترهای عملکرد تیمار شاهد نسبت به شوری، از حدود ۱٪ تا ۱۲٪ بوده است. ضمن اینکه عملکرد دانه و بیولوژیک در تیمار SSG نسبت به FSG به ترتیب ۳/۲٪ و ۴/۵٪ کاهش یافته است. بنابراین با توجه به آبشویی قابل توجه خاک بعد از کشت، کاهش ناچیز محصول و تحلیل حرکت آب و املاح در خاک، می توان تولید برنج را در این نوع اراضی مدنظر قرار داد. همچنین با استفاده مفید و کارآمد از اراضی دارای مشکلات شوری آب زیرزمینی کم عمق می توان از فشار روی منابع آب و خاک متعارف کاست.

واژه های کلیدی: نواحی ساحلی، سطح ایستابی کم عمق، لایسیمتر، عملکرد برنج، پروفیل شوری

۱- آدرس نویسنده مسئول: کرج، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، گروه مهندسی آبیاری و آبادانی

*- دریافت: اردیبهشت ۱۳۹۷ و پذیرش: آبان ۱۳۹۷

مقدمه

خشک سالی در ایران یک واقعیت اقلیمی است و با توجه به روند روزافزون نیاز بخش های مختلف به آب، مشکل خشک سالی در سال های آینده حادتر نیز خواهد شد؛ به طوری که بر اساس گزارش موسسه بین المللی مدیریت آب (IWMI)، کشور ایران برای حفظ وضع فعلی خود تا سال ۲۰۲۵ باید بتواند ۱۱۲ درصد به منابع آب قابل استحصال خود بیفزاید (عباسی و همکاران، ۱۳۹۴). از طرفی، حدود ۷۰ درصد جمعیت دنیا در محدوده اراضی دیم و مابقی در اراضی فاریاب زندگی می کنند؛ بنابراین، بدون آبیاری و کشاورزی تأمین غذای کافی برای جمعیت کنونی دنیا امکان پذیر نیست (کمیسون بین المللی آبیاری و زهکشی، ۲۰۱۷).

چن و جیائو^۲ (۲۰۱۴) گزارش کردند که در بسیاری از مناطق ساحلی، آب زیرزمینی به عنوان مهمترین منبع تأمین آب مورد نیاز مصارفی همچون کشاورزی، شرب و صنعت تلقی می شود. در این نواحی، منابع آب شیرین در معرض نفوذ آب های شور و لب شور قرار دارند و همین امر همواره موجب ایجاد نگرانی هایی در این مناطق شده است. شوری منابع آب و خاک در حال تبدیل شدن به یک مشکل روزافزون در جهان است. خاک های تحت تأثیر شوری پراکندگی بالایی دارند و در هر کجا ممکن است یافت شوند. با این حال حدود ۵۰ درصد از زمین های کشاورزی در حال کشت تحت تأثیر درجه های مختلف شوری قرار دارند (سامر^۳، ۲۰۰۰؛ اقبال^۴، ۲۰۱۶). یکی از راهکارهای مقابله با کمبود منابع آب آبیاری استفاده از سطوح ایستایی کم عمق آب زیرزمینی برای آبیاری گیاه به خصوص در مناطق با آب زیرزمینی نزدیک به سطح زمین است؛ اما بالا آمدن نمک به منطقه ریشه در اثر جریان مویینگی، یک عامل محدودکننده برای استفاده از آب زیرزمینی کم عمق به منظور آبیاری گیاه محسوب می شود (ذاکری نیا و

همکاران، ۱۳۹۵؛ زارعی و همکاران^۵، ۲۰۱۰). طبق آمار، بیش از ۸۰۰ میلیون هکتار از زمین های جهان تحت تأثیر شوری اند که این مقدار بیش از ۶۰ درصد از مساحت کل زمین های زراعی جهان را در برمی گیرد. مساحت کل زمین های شور در جهان ۳۹۷ میلیون هکتار و خاک های سدیمی ۴۳۴ میلیون هکتار است (فائو، ۲۰۰۸).

علی رغم نیاز به افزایش تولید غذا به دلیل ازدیاد جمعیت جهان به حدود نه تا ۱۰ میلیارد نفر تا سال ۲۰۵۰ (ویشنلز و قدیر^۶، ۲۰۱۵)، پیش بینی ها حاکی از آن است که در طی این مدت، در اثر توسعه مداوم شهری، سطح قابل کشت حدود ۱۰ درصد کاهش خواهد یافت. در این شرایط شالیزارها که یک سوم سطح زیر کشت دنیا را اشغال نموده اند، نقش مهمی در تغذیه نیمی از مردم جهان دارند. بر اساس آمارهای موجود (وزارت جهاد کشاورزی، ۱۳۹۴)، سطح زیر کشت برنج کشور در مقایسه با مقدار آن در ۱۰ سال گذشته (۶۱۱ هزار هکتار در سال زراعی ۸۳-۸۲)، حدود ۱۱/۸ درصد کاهش یافته است. این در حالی است که سطح زیر کشت برنج جهان از حدود ۱۵۷/۸ میلیون هکتار در سال زراعی ۲۰۰۸-۲۰۰۹ به ۱۶۰/۶ میلیون هکتار در سال ۲۰۱۵-۲۰۱۴ افزایش یافته که حدود ۳۰ درصد از اراضی فاریاب جهان را تشکیل می دهد (لامپایان و همکاران^۷، ۲۰۱۵).

برنج یکی از مهم ترین و پرطرفدارترین گیاهانی است که در جهان کشت می شود. تقریباً ۷۵ درصد برنج جهان از اراضی شالیزار فاریاب تولید می شود (کارملیتا^۸ و همکاران، ۲۰۱۱). برای نیمی از جمعیت جهان، برنج حدود ۸۰ درصد از مصرف مواد غذایی آنها را تشکیل می دهد. با توجه به انعطاف پذیری و سازگاری آن با شرایط طبیعی، برنج در حدود ۱۱۳ کشور جهان کاشته شده است (فائو^۹، ۲۰۱۱).

⁵ Zarei et al.

⁶ Wichelns and Qadir

⁷ Lampayan et al.

⁸ Carmelita et al.

⁹ Fao

¹ International Water Management Institute

² Chen & Jiao

³ Summer

⁴ Iqbal

کشاورزی دارای مشکلات آب و خاک شور برای تولیدات مواد غذایی است. بسیاری از اراضی شالیزاری نواحی ساحلی دارای منابع آب کافی هستند، اما به دلیل مجاورت با دریا و پیشروی آب شور، احتمال مشکلات شوری آب زیرزمینی در این اراضی زیاد بوده و کشت و کار در آن نیاز به مدیریت خاص دارد. با توجه به نکات مذکور و اهمیت برنج و از طرفی همجواری با دریا و شور شدن آب زیرزمینی در اراضی شالیزاری پست، یک تحقیق علمی با توجه به در نظر گرفتن این دو عامل لازم بوده و نیاز به مطالعه دقیق دارد؛ بنابراین، اهداف این تحقیق شامل تعیین نوسانات سطح ایستابی و نیمرخ شوری خاک در طول دوره کشت و همچنین مقایسه محصول در این دو شرایط بود.

مواد و روش

معرفی منطقه

تحقیق حاضر در بازه مرداد تا آبان ماه سال ۱۳۹۶ در مرکز تحقیقات آب و هواشناسی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران واقع در شهر کرج با عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۵۵ دقیقه و طول جغرافیایی ۵۰ درجه و ۵۴ دقیقه و ارتفاع ۱۲۹۳ متر از سطح دریا انجام شده است. به منظور افزایش تشابه شرایط مطالعه به شرایط واقعی، مدل (لایسیمتر^۱) در فضای باز و بیرون از کارگاه مستقر گردید. طبق آمار و داده‌های میان‌مدت، منطقه دارای آب و هوای مدیترانه‌ای با تابستان‌های گرم و خشک و زمستان‌های نسبتاً سرد است. برابر آمار موجود، متوسط بارندگی سالیانه ۲۵۰ میلی‌متر، میانگین حداکثر درجه حرارت ماهیانه در تیرماه ۲۶ درجه سانتی‌گراد و حداقل درجه حرارت ماهیانه در دی ماه یک درجه سانتی‌گراد است. همچنین میانگین سالیانه دمای هوا ۱۴/۱ درجه سانتی‌گراد بوده که بیشینه و کمینه مطلق آن به ترتیب ۴۲ و ۲۰- درجه سانتی‌گراد به ثبت رسیده است. پارامترهای هواشناسی در بازه ماه‌های مرداد تا مهر سال

یکی از مشکل‌ترین قسمت‌های مدل بیلان آبی در خاک، جذب آب توسط ریشه است. جذب آب توسط ریشه وابسته به مکان و زمان بوده و عوامل دیگری مانند خصوصیات گیاه، کیفیت آب قابل دسترس و شرایط آب و هوایی بر آن مؤثر است. بررسی آلودگی منابع آب و خاک و عواملی که مانع از رشد حداکثری گیاه می‌شود، تشریح و بررسی پدیده انتقال املاح را می‌طلبد. انتقال توده ای آب و املاح، فرایند پخشیدگی و یا صعود موینگی از جمله راه‌های انتقال املاح در محیط‌های با آب و خاک شور می‌باشد (عباسی، ۱۳۸۶).

کلرمونت و همکاران^۱ (۲۰۱۰) به بررسی عملکرد برنج در شرایط آب و خاک شور در تایلند پرداختند. نتایج نشان داد که تنش آبی به طور معنی‌داری بر محصول، اجزای عملکرد و بازده مواد غذایی جذب‌شده تأثیر می‌گذارد. این درحالی است که شوری خاک تأثیر کمی بر جذب مواد غذایی و مراحل رشد برنج داشت. صرف‌نظر از مقدار بالای سدیم و هدایت الکتریکی، عمق خاک مورد تحقیق کمتر از یک متر بودند. از آنجایی که در منطقه طرح، هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک در عمق صفر تا ۲۰ سانتی‌متر برابر ۱۶ و به‌طور میانگین در منطقه برابر هشت دسی‌زیمنس بر متر بود، کاهش محصول برنج در این شرایط نسبت به تیمار شاهد حدود ۲۰ درصد گزارش شده است.

گیاه برنج کاملاً حساس به شوری آب و خاک شور است و این حساسیت به قدری است که حتی در اراضی شور به‌کارگیری آب با کیفیت خوب و غیر شور نیز باعث کاهش ناچیز محتوی آب ساقه و کاهش محصول می‌شود؛ اما به دلیل توانایی آن برای رشد در خاک‌های غرقاب، برنج به‌عنوان یک محصول زراعی کاهش‌دهنده نمک توصیه می‌شود (لافیت و همکاران^۲، ۲۰۰۴).

در شرایط بحرانی، یکی از راه‌های افزایش تولیدات گیاهی، استفاده بهینه و چندمنظوره از اراضی

¹ Lysimeter

¹ Clermont et al.

² Lafitte et al.

منابع آب و خاک

برای تعیین ویژگی های آب آبیاری، ابتدا نمونه ای از آب آبیاری برداشت و به آزمایشگاه انتقال داده شد. سپس پارامترهای مورد نیاز برای انجام محاسبات بعدی اندازه گیری شدند. در جدول ۲ ویژگی های شیمیایی آب آبیاری نشان داده شده است.

۱۳۹۶ (ژولای تا اکتبر ۲۰۱۷) که دوره کشت برنج است، از اداره کل هواشناسی استان البرز مربوط به ایستگاه سینوپتیک کرج به صورت روزانه دریافت شد. جدول ۱ خلاصه اطلاعات هواشناسی را نشان می دهد.

جدول ۱- خلاصه اطلاعات هواشناسی در دوره کشت برنج در محل تحقیق

ماه های سال	میانگین دمای حداقل °C	میانگین دمای حداکثر °C	میانگین کل دما °C	رطوبت نسبی %	رطوبت نسبی %	میانگین درصد رطوبت	مجموع تبخیر ماهانه mm/month	مجموع بارندگی ماهانه mm/month
مرداد	۱۹/۸	۳۵/۸	۲۷/۸	۱۵	۵۹	۳۳	۳۴۸/۴	۰
شهریور	۱۷/۶	۳۳/۲	۲۵/۴	۱۴	۵۲	۳۰	۲۹۴	۰
مهر	۱۰/۴	۲۴/۴	۱۷/۴	۲۳	۶۹	۴۴	۱۸۵/۸	۶

* که بر اساس ماه میلادی به صورت مرداد (Jul-Agu)، شهریور (Agu-Sep) و مهر (Sep-Oct) در نظر گرفته می شود.

جدول ۲- ویژگی های شیمیایی آب آبیاری

هدایت الکتریکی (dS/m)	pH	نیترات (mg/l)	کلر (meq/l)	کربنات بی کربنات (meq/l)	کلسیم (meq/l)	منیزیم (meq/l)
۰/۹۴۱	۷/۸۳	۱۶/۰۴	۲/۸	۰	۱/۱	۶/۷

این حالت برای کشت برنج در اراضی شالیزاری برای نگهداشت آب مناسب است.

منحنی مشخصه رطوبتی خاک^۳ با استفاده از دستگاه صفحات فشاری و آون اندازه گیری و در شکل ۱ نشان داده شد. برای محاسبه این منحنی، از مقادیر مکش ۰/۳، ۱، ۳، ۵، ۷، ۹، ۱۱ بار و رطوبت اشباع استفاده گردید.

با توجه به اینکه به طور معمول نیمرخ خاک شالیزارها متشکل از سه لایه است، برای شبیه سازی لایه بندی خاک، لایه رویین به عمق ۲۰ سانتی متر از سطح خاک برای عمل گل خرابی در نظر گرفته شد. همچنین، لایه بعدی سخت لایه^۱ به ضخامت ۲۰ سانتی متر و لایه زیرین به عمق ۴۰ سانتی متر در زیر سخت لایه در نظر گرفته شد. لازم به ذکر است که خاک موجود در لایسیمتر از اراضی شالیزاری شمال کشور تهیه گردید. برای اندازه گیری درصد رس، سیلت و شن و از روش هیدرومتری و از روش USDA^۲ برای تعیین کلاس بافت خاکها استفاده شد. برای اندازه گیری ظرفیت مزرعه از دستگاه صفحات فشاری استفاده شد. برای تعیین چگالی ظاهری از روش استوانه فولادی یا حلقه استفاده شد. مشخصات فیزیکی خاک در جدول ۳ نشان داده شده است. نوع خاک در لایه های مختلف عمدتاً سنگین بوده و

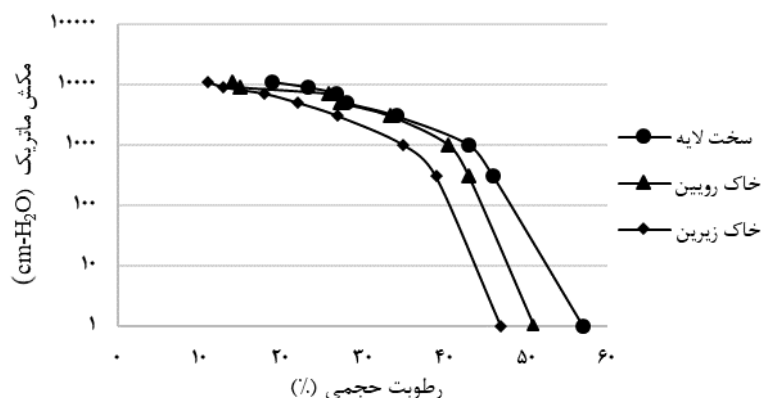
³ Soil Moisture Characteristics Curve

¹ Hard Pan

² United States Department of Agriculture

جدول ۳- مشخصات فیزیکی خاک

نام لایه	عمق (cm)	بافت	EC(dS/m)	رس (%)	سیلت (%)	شن (%)	ρ_b (g/cm ³)	θ_s (%)	θ_{fc} (%)
لایه رویین	۰-۳۰	لوم رسی	۱/۶۶	۳۱/۴	۴۲/۲	۲۶/۴۰	۱/۳۴	۵۱	۴۱
سخت لایه	۳۰-۴۰	رسی	۱/۷۴	۵۰/۵۶	۲۵/۳۴	۲۴/۱۰	۱/۲۲	۵۷	۴۳
لایه زیرین	۴۰-۸۰	لوم	۲/۰۸	۱۳/۶۸	۴۱/۶۱	۴۴/۷۱	۱/۳۰	۴۷	۳۹

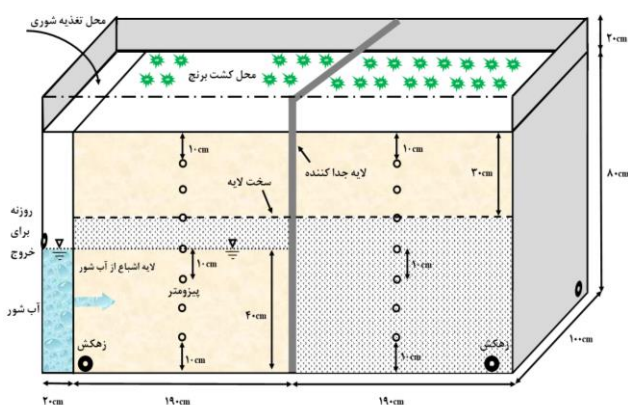


شکل ۱- منحنی مشخصه رطوبتی خاک در لایه‌های مختلف

چهار متر بوده، ولی به دلیل فضای لازم برای کنترل سطح ایستابی و تغذیه زیرزمینی آب شور از انتهای لایسیومتر، حدود ۲۰ سانتی‌متر از انتهای مدل خالی نگهداشته شد. نحوه قرارگیری لایسیومتر به دقت هم‌تراز شد تا خطای ایجادشده در داده‌ها به سبب وجود شیب در اراضی به کمترین میزان خود برسد.

ابعاد و مشخصات مدل فیزیکی

برای شبیه‌سازی شرایط کشت متناسب با اراضی شالیزاری، از یک لایسیومتر با یک دیواره از جنس پلاکسی گلاس استفاده گردید. مشخصات مدل موردنظر عبارت است از: پیزومترهای^۱ نصب‌شده بر بدنه به‌منظور گرفتن نمونه از محلول خاک، سوراخ‌های تعبیه‌شده در کف برای خروج آب از کف لایسیومتر در مواقع ضروری (همانند عملکرد زهکش‌های کنترل شده در اراضی شالیزاری شمال کشور و مشابه با آن)، فضایی برای تغذیه و سوراخی در بدنه برای کنترل سطح ایستابی، صفحه عایق برای جداسازی پلات‌های^۲ شور و غیرشور و خاک مناسب با شرایط کشت اراضی شالیزاری. مزیت مدل‌های آزمایشگاهی در این است که علاوه بر شبیه‌سازی شرایط مزرعه، امکان کنترل و اندازه‌گیری دقیق پارامترهای مورد آزمایش را فراهم می‌کند و تأثیر عوامل خارجی تأثیرگذار در روند آزمایش را حذف می‌کند.



شکل ۲- تصویری از لایسیومتر استفاده شده در تحقیق و اجزای آن

تصویر و جزئیات لایسیومتر موردنظر در شکل ۲ نشان داده شد. طول، عرض و ارتفاع لایسیومتر فلزی به ترتیب برابر با ۳/۸، ۱ و ۱ متر است. طول واقعی لایسیومتر

¹ Piezometers
² Plots

تیمارهای مورد مطالعه

برای فراهم کردن شرایط مورد نیاز، در ابتدا عمل گل خرابی و آماده سازی لایه بالایی خاک به عمق حدود ۳۰ سانتی متر انجام گرفت و بذر برنج در خزانه‌ای که از قبل آماده شده و به مرحله نشاء رسیده بود، درون لایسیمتر کاشته شد (برنج مورد نظر از نوع طارم و زودرس بوده است). مقدار کوددهی برنج برای رشد، متناسب با شیوه مرسوم در اراضی شالیزاری و با مقدار حدودی $N:P:K^1$ با نسبت ۱۵:۱۰:۱۰ گرم در هر مترمربع اعمال شد. آبیاری برنج با آب معمولی به شیوه غرقابی بوده و اعمال شوری، در لایه پایینی از طریق فضای خالی انتهای لایسیمتر انجام شد. شوری آب زیرزمینی، معادل شوری آب زیرزمینی در اراضی کشاورزی نوار ساحلی دریای خزر، یعنی 20 ds/m در نظر گرفته و نگهداری شد. شوری اعمال شده، از نمک صنعتی موسوم به نمک شکر (NaCl) تهیه و به غلظت مورد نظر رسانده شد. سپس در دوره کشت برنج که حدود ۹۰ روز است، زهکشی میان فصل و پایان فصل متناسب با اراضی شالیزاری اعمال شد. زهکشی میان فصل یک هفته و زهکشی پایان فصل ده روز به طول انجامید و در پایان هر دوره رطوبت خاک به ظرفیت مزرعه رسیده بود؛ بنابراین در این تحقیق از دو تیمار؛ آبیاری غرقابی با آب غیرشور و در حضور سطح ایستابی کم عمق و غیرشور FSG (شاهد) و آبیاری غرقابی با آب غیرشور و در حضور سطح ایستابی کم عمق و شور SSG استفاده شد. آبیاری غرقابی با آب غیر شور با هدایت الکتریکی 0.94 ds/m انجام شد. ضمن اینکه سطح ایستابی در تیمار SSG، در چهل سانتی متری از سطح زمین قرار داشت. فرضیات موجود برای انتخاب گیاه برنج و شروع تحقیق، عبارت بودند از:

فرضیه اول: با توجه به غرقاب بودن دائم اراضی شالیزاری به ارتفاع معمول سه الی هفت سانتی متر، فشار جریان رو به پایین وجود دارد که باعث جلوگیری از صعود آب

زیرزمینی شور به سطح خاک شده و به نظر می‌رسد شوری آب زیرزمینی را در یک حد مشخصی کنترل کند. **فرضیه دوم:** در اراضی شالیزاری لایه‌ای از خاک به نام سخت کفه شخمی (سخت لایه) در عمق ۲۰ تا ۳۰ سانتی متر در اثر عملیات کشاورزی و گل خرابی ایجاد شده که احتمال صعود آب زیرزمینی شور به اعماق بالاتر را کم می‌کند. شرایط آب زیرزمینی شور و دارای پتانسیل فشاری، در برخی از اراضی پست نوار ساحلی دریای خزر وجود دارد.

اندازه گیری‌ها

بعد از تغذیه لایه زیرین با آب شور و گذشت دو هفته برای فرصت تبادل یونی بین محلول خاک و ذرات جامد خاک، برداشت نمونه آب از لایه اشباع خاک آغاز شده و در هر بازه پنج روزه تا انتهای دوره کشت (۱۰ روز قبل از برداشت برنج) نمونه‌های آب مورد بررسی قرار گرفت. در طول دوره کشت، ۱۲ بار شوری نمونه آب خروجی از پیژومترهای نصب شده بر بدنه لایسیمتر در هر دو تیمار FSG و SSG اندازه گیری و ثبت شد. شوری آب خروجی (محلول خاک) از پیژومترهای نصب شده با فواصل ۱۰ سانتی متری بر بدنه لایسیمتر به وسیله دستگاه شوری سنج^۲ مورد بررسی قرار گرفت. علاوه بر ثبت شوری محلول خاک، خاک لایسیمتر هم در اعماق مختلف نمونه برداری شد و عصاره اشباع خاک مشخص گردید. با این توضیح که نمونه خاک‌های برداشت شده به وسیله اگر از لایه سطحی تا عمق ۷۰ سانتی متری (هر ۱۰ سانتی متر، یک نمونه)، به آزمایشگاه منتقل و شوری آن اندازه گیری شد. در طول فصل کشت، در مجموع چهار مرتبه نمونه خاک برداشت شده است که به ترتیب در مرحله ابتدایی رشد بعد از تغذیه شوری، بعد از زهکشی میان فصل، بعد از زهکشی پایان فصل و سپس نمونه آخر در انتهای دوره کشت بعد از برداشت محصول بوده است. جدول ۴، زمان بندی انجام عملیات زراعی قبل از کاشت، مرحله

² Electrical Conductivity Meter¹ Nitrogen: Phosphorus: Potassium

عصاره اشباع خاک قبل و بعد از آیشویی گرفته شد. از میانگین گیری مقدار آیشویی در اعماق مختلف، عدد نهایی بدست آمد.

نشاء و تا برداشت محصول و سپس آیشویی خاک لایسیمتر را نشان می دهد. ضمن اینکه در بحث مربوط به چگونی مقدار محاسبه آیشویی باید گفت که در تمامی اعماق گفته شده (از ۱۰ تا ۷۰ سانتی متر) نمونه های

جدول ۴- زمان بندی انجام کل عملیات زراعی صورت گرفته

تاریخ انجام عملیات زراعی از ابتدا تا انتهای دوره کشت						
گلخرابی لایسیمتر	نشاء برنج	زهکشی میان فصل	آخرین آبیاری قبل از برداشت	زهکشی پایان فصل	برداشت محصول	آیشویی خاک
۱۰ تیر تا ۳ مرداد	۳ مرداد	۴-۱۰ شهریور	۱۹ مهر	۲۰-۳۰ مهر	۳۰ مهر	۱ آبان
زمان تجمعی از مرحله گلخرابی	۲۳ روز	۵۶-۶۲ روز	۷۲ روز	۷۳-۸۳ روز	۸۳ روز	۸۴ روز

کم عمق و شور بر رشد طولی ریشه مشخص گردد. از آنجایی که در برنج بین میزان فتوسنتز و نیتروژن برگ ارتباط نزدیکی وجود دارد، لذا به جای سنجش کلروفیل از روش اندازه گیری تراکم کلروفیل^۷ استفاده گردید. کلروفیل نوعی ترکیب شیمیایی گیاهی است که باعث ایجاد رنگ سبز در گیاهان می شود و از روی آن می توان به وجود یا عدم وجود تنش های مختلف نظیر خشکی و شوری در گیاه پی برد. دستگاه مورد استفاده مدل SPAD 502 Plus Chlorophyll Meter بوده و عددی بدون بعد را نشان می دهد. این پارامتر، از روی برگ های سالم در دو تیمار سنجیده شد.

اندازه گیری شاخص RWC، بعد از کامل شدن رشد سبزیگی و قبل از خوشه دهی و به خزان رفتن گیاه صورت انجام شد. در هر دو تیمار FSG و SSG نمونه برداری از آخرین برگ توسعه یافته انجام گرفته و در هر مرحله قسمتی از برگ تازه و انتهایی و نوک هر بوته (کپه) مورد بررسی قرار گرفت. محتوای آب نسبی با استفاده از رابطه ۲ محاسبه شد (پوراحمدی و همکاران، ۱۳۹۳):

$$RWC = \frac{(FW - DW)}{(WT - DW)} \times 100 \quad (2)$$

که در آن:

FW، وزن تر برگ، DW، وزن خشک برگ، WT، وزن آماس برگ همگی بر حسب گرم (g) هستند.

ویژگی های مرفولوژیکی گیاه نظیر کلروفیل یا سبزیگی برگ، محتوای آب نسبی^۲، ارتفاع بوته، طول ریشه، وزن تر و خشک بوته یا زیست توده^۳، نشت الکترولیت و شاخص پایداری غشاء^۴، شاخص سطح برگ گیاه^۵ برنج از اواسط تا انتهای دوره کشت مورد ارزیابی قرار گرفتند. ویژگی های عملکرد بیولوژیکی، فیزیولوژیکی و دانه برنج، نیز در پایان فصل کشت مورد بررسی قرار گرفتند و مقایسه میانگین پارامترهای عملکرد برنج در دو شرایط با نرم افزار Minitab انجام شد.

برای ارتباط بین عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک، شاخص برداشت (HI^۶) به صورت زیر تعریف می شود تا رابطه ای بین عملکرد اقتصادی و بیولوژیک برقرار گردد. شاخص برداشت را می توان با استفاده از رابطه ۱ محاسبه کرد (مهدوی و همکاران، ۱۳۸۴):

$$HI = \frac{EY}{BY} \times 100 \quad (1)$$

که در آن:

EY عملکرد اقتصادی یا عملکرد دانه و BY عملکرد بیولوژیک یا بیومس (ماده خشک) و HI مقدار شاخص برداشت است.

همچنین طول ریشه و ارتفاع بوته در هر دو تیمار FSG و SSG اندازه گیری شد تا اثر آب زیرزمینی

¹ Chlorophyll

² Relative Water Content

³ Biomass

⁴ Electrolyte Leakage and Membrane Stability Index

⁵ Plant Leaf Area Index

⁶ Harvesting Index

⁷ SPAD Value

دارد و ۳) منطقه زیرین که از عمق ۴۰ سانتی متر تا کف لایسیمتر قرار دارد. شکل های ۳ تا ۶ تغییرات شوری آب زیرزمینی کم عمق در طول فصل کشت را که حاصل نمونه برداری از عمق های مختلف است را برای دو شرایط FSG و SSG نشان می دهد.

شکل ۳ و ۴ تغییرات شوری محلول خاک مربوط به شرایط شاهد (FSG) و به ترتیب برای دوره رشد ابتدایی تا میانی و میانی به بعد (زهکشی میان فصل) را نشان می دهد. در تیمار شاهد که آب زیرزمینی غیرشور بوده است؛ تغییرات خاصی در شوری آب زیرزمینی ایجاد نشده است. با گذشت زمان پس از نشاکاری EC محلول خاک به ویژه در منطقه ریشه روند افزایشی دارد و دامنه تغییرات شوری محلول خاک با توجه به عدم شوری آب زیرزمینی از حدود یک تا ۲/۵ dS/m بوده و با توجه به دوره های تر و خشک (زهکشی های میان فصل و پایان فصل) این تغییرات ظاهر شده است. این افزایش شوری به علت رهاسازی یون های آهن و منگنز دو ظرفیتی، کاتیون های هیدروکسید آهن و منگنز و تجمع یون های NH_4^+ و HCO_3^- بوده که سبب افزایش هدایت الکتریکی می شود (پنام پروما^۳، ۱۹۷۲). در طی دو سه هفته اول این روند افزایشی حاصل شده و با توجه به شور نبودن آب آبیاری در همان حد ثابت مانده است. در منطقه بینابینی یعنی عمق ۳۰ تا ۴۰ سانتی متر و منطقه پایینی یعنی عمق ۴۰ تا ۷۰ سانتی متر نیز تغییرات کمی ایجاد شده است.

دامنه تغییرات شوری آب زیرزمینی بعد از زهکشی میان فصل یعنی از ۵۸ تا ۸۳ امین روز بعد از نشا نیز کم و بین ۰/۹ تا ۲/۶ دسی زیمنس بر متر است. به دلیل عدم آبیاری در دوره زهکشی، صعود موینگی رخ می دهد اما چون در این شرایط شوری آب زیرزمینی وجود ندارد، لذا مقدار آن خیلی قابل توجه نیست. به طور کلی می توان گفت روند تغییرات شوری افزایشی است، اما این تغییرات بیشتر بعد از زهکشی میان فصل (بازه ۳۹ تا ۴۳ روز بعد از

برای اندازه گیری شاخص پایداری غشا (MSI)، میزان هدایت الکتریکی آب مقطر همراه نمونه به عنوان نشت اولیه (L_1) با دستگاه شوری سنج اندازه گیری شد. نشت ثانویه (L_2) نیز از طریق اندازه گیری میزان هدایت الکتریکی نمونه ها پس از حرارت دادن آن ها به مدت یک ساعت و در ۱۰۰ درجه سانتی گراد در حمام آب گرم (بن ماری^۱) اندازه گیری شد. شاخص پایداری غشا از طریق رابطه زیر محاسبه می شود (محمدی و همکاران، ۱۳۹۴):

$$MSI = (1 - (L_1 / L_2)) \times 100 \quad (3)$$

برای اندازه گیری شاخص سطح برگ (LAI) در آزمایش، پس از کامل شدن رشد برنج و به حداکثر رسیدن رشد طولی و سبزینگی در انتهای دوره کشت و قبل از خوشه دهی، اقدام به نمونه گیری و ثبت شاخص سطح برگ شده است. برای این کار از دستگاه اندازه گیری سطح برگ^۲ استفاده شده است.

نتایج و بحث

بررسی نیم رخ شوری آب زیرزمینی کم عمق

بررسی نوسانات شوری آب زیرزمینی در اعماق مختلف خاک به سه بخش مختلف تقسیم و تجزیه و تحلیل برای مقایسه تغییرات شوری در دو شرایط FSG و SSG در هریک از این نواحی به صورت مجزا انجام شد. این بخش ها به شرح زیر است:

۱) ناحیه ریشه (منطقه ای که بیشترین تمرکز و عمق توسعه ریشه در آن بوده و شامل عمق صفر تا ۳۰ سانتی متری از سطح خاک است)، ۲) سخت لایه با تراکم بیشتر خاک که در عمق ۳۰ تا ۴۰ سانتی متری از سطح لایسیمتر قرار دارد (خط رسم شده افقی در عمق ۳۰ سانتی متری خاک (در شکل های ۳ تا ۸)، نشان دهنده وجود سخت لایه در این عمق است). این منطقه بیشتر با تیمار SSG مرتبط است، زیرا در بالای این ناحیه، آب شیرین و در پایین این ناحیه آب زیرزمینی شور وجود

³ Ponnampereuma

¹ Bain Marie or Water Bath

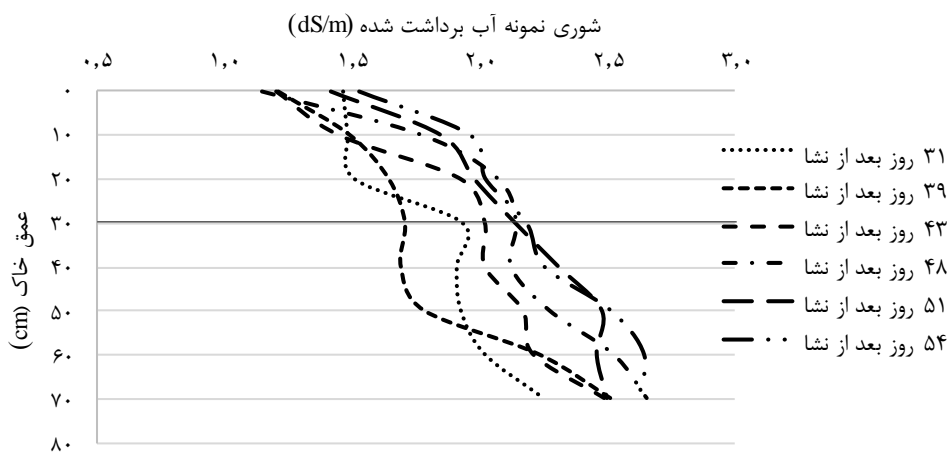
² Leaf Area Meter - delta t England

و اندازه منافذ کوچک این لایه باشد. در لایه زیرین هم روند افزایشی تکرار شده است. خاک این ناحیه سبک‌تر بوده و بالطبع املاح موجود در لایه‌های سطحی با آبیاری اعمال‌شده به کف لایسیمتر منتقل گردیده است.

در شکل ۳ با گذشت زمان منحنی‌های شوری در سمت راست روز اول نمونه‌برداری (۳۱ روز بعد نشا) قرار گرفته است که طبیعی می‌باشد؛ اما در شکل ۴ با گذشت زمان منحنی‌های شوری در سمت چپ روز ۵۸ نمونه‌برداری قرار گرفتند. این بدین معنی است که در روز ۵۸ بیشترین شوری‌ها ثبت شده است. این تاریخ نمونه‌برداری، بعد از زهکشی میان فصل و کاهش رطوبت در اثر خشک شدن آن می‌باشد. خشک شدن خاک از یک طرف و گرما و تبخیر و تعرق بالا از طرف دیگر، باعث شده شوری اعماق خاک رو به سطح تا تاریخ ۶۰-۵۰ روز بعد از نشا که در اوج گرما قرار دارد، روند افزایشی داشته باشد. بعد از روز ۵۸ ام، میانگین دمای هوا کمتر شده و تاثیر آن بر تبخیر و تعرق و صعود موینگی تاثیرگذار بوده است.

نشا) و به ویژه ۵۴ روز بعد از نشا بیشتر محسوس است و این به دلیل خشک شدن خاک و صعود شوری از طریق صعود مویینه آب به لایه‌های سطحی است. مقدار کاهش رطوبت خاک در لایه سطحی در حد ترک برداشتن خاک بوده و به نظر می‌رسد که گردایان هیدرولیکی لازم برای صعود از لایه‌های زیرین از این طریق تامین شود؛ اما در حضور دائم آب روی سطح خاک و فشار روبه پایین، مانع این صعود می‌شود.

نکته بعدی که در شکل ۳ و ۴ مشخص است، متناسب با نیم‌رخ شوری در روزهای مختلف سه رفتار متفاوت در هریک از لایه‌ها دیده می‌شود. در لایه سطحی با افزایش عمق، روند افزایشی در شوری محلول خاک دیده می‌شود و تا سخت لایه که مانعی برای حرکت رو به پایین آب می‌باشد، صدق می‌کند. پیش بینی می‌شود این افزایش شوری با شیب ملایم از سطح تا سخت لایه، به دلیل انباشت املاح موجود در آب آبیاری در این لایه باشد. در سخت لایه شخمی تقریباً تغییر خاصی در شوری محلول خاک رخ نداده و این به دلیل شوری کم آب زیرزمینی کم‌عمق و همچنین بافت خاک با تراکم سنگین



شکل ۳- نیم‌رخ شوری محلول خاک از اولین تا ششمین مرحله نمونه‌برداری در شرایط شاهد (FSG)

شوری نمونه آب برداشت شده (dS/m)

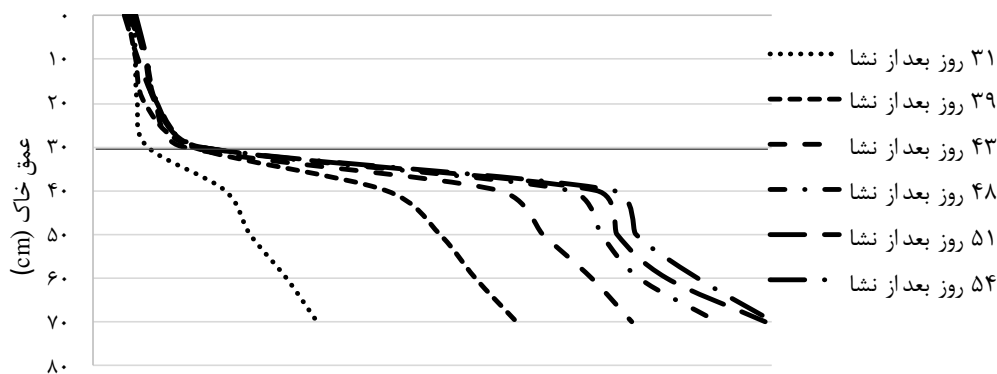


شکل ۴- نیم رخ شوری محلول خاک از ششمین تا دوازدهمین مرحله نمونه برداری در شرایط FSG

این لایه محلول آبی با هدایت الکتریکی ۲۰ دسی زیمنس بر متر وجود دارد. در نتیجه در این لایه با ضخامت حدودی ۱۰ سانتی متر شدت تغییرات EC به دلیل وجود سخت لایه متراکم با اندازه منافذ بسیار کوچک بسیار بالا است که به صورت مانعی با مقاومت هیدرولیکی زیاد در مقابل انتقال آب و املاح عمل می نماید. در چنین شرایطی، با توجه به خشک شدن دوره ای خاک و اعمال زهکشی میان فصل، انتقال املاح به صورت صعود موئینگی و پخشیدگی نسبت به انتقال توده ای غالب بوده و منجر به صعود املاح، هرچند ناچیز، به لایه های بالایی خاک می شود (عباسی، ۱۳۸۶). بعد از اعمال اولین زهکشی، روند افزایش شوری با شیب نسبتاً زیادی رخ داده و بعد از آن تقریباً با یک روند ملایم در نوسان است.

شکل ۶ و ۵ به ترتیب، شوری محلول خاک برای دوره ابتدایی و میانی رشد (بعد از زهکشی میان فصل) و دوره پایانی رشد (زهکشی پایان فصل) تا برداشت برنج برای شرایط SSG را نشان می دهد. در شکل ۵ با وجود تزریق آب شور (۲۰ dS/m) به لایه زیرین خاک، روند افزایشی شوری محلول خاک تا روز ۵۰ ام بعد از نشاءکاری به دلیل تبادل و جذب املاح و یونها به سطح ذرات خاک زمان برده است تا به میزان پیش فرض این تحقیق (۲۰ dS/m) برسد. این تغییرات بیشتر در زیر سخت لایه مدنظر بوده و بالای این لایه (عمق ۳۰ سانتی متری) به دلیل آبیاری غرقابی با آب غیرشور و جریان رو به پایین آن، تغییرات شوری مشابه با شرایط FSG بوده است. بالای سخت لایه محلول آبی با هدایت الکتریکی کمتر از یک دسی زیمنس بر متر و پایین

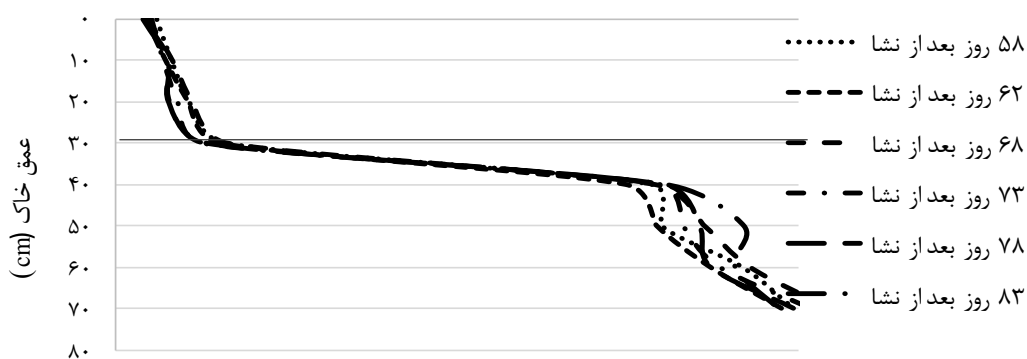
شوری نمونه آب برداشت شده (dS/m)



شکل ۵- نیم رخ شوری محلول خاک از اولین تا ششمین مرحله نمونه برداری در شرایط SSG

صورت پخشیدگی و صعود موینگی اتفاق می‌افتد (عباسی، ۱۳۸۶). این مشاهدات با فرضیات تحقیق که اذعان دارد سخت لایه و فشار بار آبی یا جریان رو به پایین مانع از شور شدن لایه سطحی خاک (ناحیه ریشه) می‌شود، مطابقت دارد؛ زیرا در بیشتر مواقع، شوری ناحیه پایینی نیز، شوری به حالت تعادل رسیده و با مقدار تزریق شده شوری یعنی 20 dS/m ، برابر شده است.

شوری نمونه آب برداشت شده (dS/m)



شکل ۶- نیم‌رخ شوری محلول خاک از ششمین تا دوازدهمین مرحله نمونه‌برداری در شرایط SSG

است. دلیل این امر به علت افزایش شوری در نتیجه فرایند تبادل یون ها بین فاز جامد و محلول خاک و افزایش غلظت کاتیون های با ظرفیت بیشتر محلول خاک می‌باشد. در ابتدای نمونه گیری ها بین EC عصاره اشباع و محلول خاک اختلافات ناچیزی وجود دارد، اما با گذشت زمان (تقریباً بعد از دو نمونه برداری) بین EC محلول خاک با EC خاک تعادل برقرار شد. در ناحیه ریشه روند تغییرات EC عصاره اشباع خاک در دو تاریخ ۵۴ و ۸۹ روز بعد از نشا کاملاً مشابه بوده اما بعد از منطقه ریشه اختلافی ایجاد شده و بعد از زهکشی پایان فصل مقدار آن کمتر روز ۵۴-ام است. به دلیل تنش خشکی وارد شده در طی زهکشی میان‌فصل، آب از اعماق پایین‌تر به لایه‌های بالایی حرکت نموده و مقدار کمی از املاح خود را در اعماق بالا (۴۰-۳۰ سانتی‌متر) به‌جای گذاشته است اما سخت لایه مانع از صعود املاح زیاد به لایه‌های بالایی شده است. با گذشت

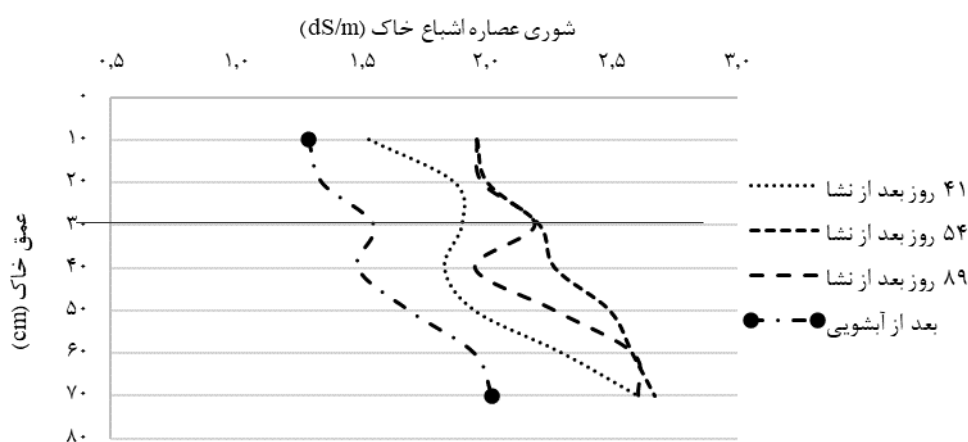
شکل ۶ که تغییرات شوری آب زیرزمینی بعد از دوره میانی رشد (زهکشی میان‌فصل) را نشان می‌دهد، در منطقه ریشه و تا عمق ۳۰ سانتی‌متر روندی همانند مرحله قبلی دارد. در سخت لایه، شیب تغییرات شوری بسیار زیاد و همانند روزهای ۴۸ تا ۵۴ روز بعد از نشا است. در مواقعی که خاک اشباع باشد، انتقال آب و املاح از طریق جریان توده‌ای است اما در مواقع خشک شدن دوره‌ای خاک نظیر زهکشی‌های میان و پایان‌فصل، انتقال املاح به

بررسی شوری عصاره اشباع خاک

شوری عصاره اشباع خاک در شرایط شاهد (FSG) مربوط به تاریخ‌های نمونه‌برداری از نیم‌رخ خاک به ترتیب بعد از زهکشی میان‌فصل (۴۰ روز بعد از نشا)، دو هفته بعد از زهکشی میان‌فصل (۵۴ روز بعد از نشا)، بعد از زهکشی پایان‌فصل (۸۹ روز بعد از نشا) و آبشویی در شکل ۷ نشان داده شد. اولین مقدار EC در هر یک از لایه‌ها ۴۱ روز بعد از نشاکاری برنج از لحاظ روند تغییرات با بعد از آبشویی مشابه بوده و کمی اختلاف دارد. مقدار عددی شوری عصاره اشباع خاک بعد از آبشویی کمتر شده است؛ اما مقدار عددی شوری بین این دو تاریخ (۴۰ روز بعد از نشا و بعد از آبشویی) تقریباً برای تمامی اعماق ناچیز بوده و اختلاف کمتر از 0.5 dS/m است. شوری اندازه‌گیری شده در روز ۵۴ ام بیشتر از شوری اندازه‌گیری شده در تاریخ ۴۱ روز بعد از نشا

لایه و بار آبی وارد شده از غرقاب بودن سطح خاک و عملکرد آن در ممانعت از اختلاط آب شور و شیرین دو لایه سطحی و زیرین می باشد. در شکل ۷ که مربوط به شرایط شاهد (FSG) است، تغییرات شوری نیمرخ خاک نسبت به SSG کم بوده و در محدوده شوری اولیه خاک و آب آبیاری (حدود یک تا ۱/۵ دسی زیمنس بر متر) قرار دارد. نکته دیگر آبشویی بعد از برداشت برنج است. میانگین مقدار آبشویی در شرایط FSG و برای اعماق مختلف، حدود ۲۷/۴ درصد به دست آمده است.

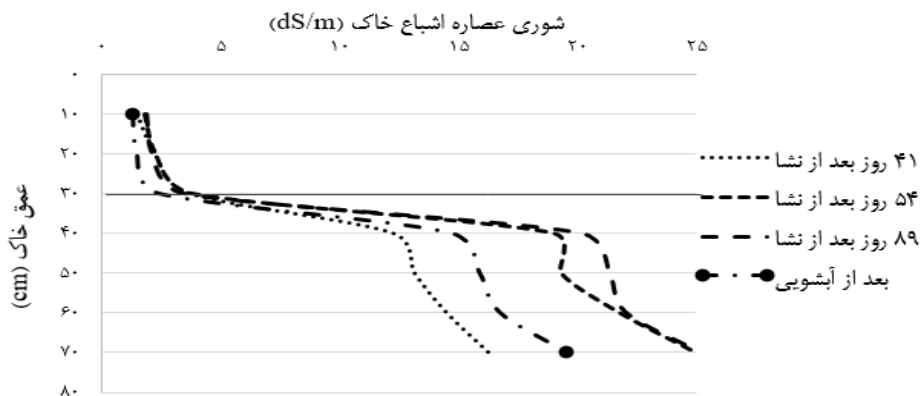
زمان مقدار شوری نیمرخ خاک کمی افزایش یافت و این به دلیل جذب بیشتر آب توسط گیاه در طول دوره رشد و دخیل شدن فرایند صعود موینگی و پخشیدگی سطح ایستابی کم عمق تا زیر سخت لایه است. هر چند لایه زیرزمینی در شرایط FSG شور نیست اما املاح لایه پایینی از سطح خاک بیشتر می باشد. مقدار تغییرات شوری در ناحیه ریشه و لایه زیرین همانند شوری محلول خاک بوده و از مقدار ۱/۵ به ۲/۵ dS/m (شکل های ۳ و ۴) می رسد. تفاوت عمده ای بین مقدار عددی شوری در عمق ۳۰ و ۴۰ سانتی متر وجود دارد که نشان از وجود سخت



شکل ۷- نیمرخ شوری عصاره اشباع خاک طی چهار مرحله نمونه برداری در شرایط FSG در طول دوره رشد

شکل ۵ و ۶ بوده و نشان از به تعادل رسیدن شوری عصاره اشباع و محلول خاک در طی زمان می باشد؛ اما روند تغییرات EC عصاره اشباع خاک در سخت لایه و لایه زیرین در دو شرایط FSG و SSG متفاوت است (شکل های ۷ و ۸) و مقدار شوری در لایه پایینی شرایط SSG خیلی بیشتر از شرایط FSG است.

شکل ۸ نیمرخ شوری خاک در شرایط SSG در تاریخ های مختلف را نشان می دهد. روند تغییرات شوری نیمرخ خاک طی چهار مرحله نمونه برداری در برخی نواحی همانند منطقه ریشه شبیه روند تغییرات در شرایط FSG است. نوسانات شوری عصاره اشباع خاک در شرایط SSG (شکل ۸) همانند روند تغییرات موجود در



شکل ۸- پروفیل شوری عصاره اشباع خاک طی چهار مرحله نمونه برداری در تیمار SSG در طول دوره رشد

به‌خصوص در منطقه ریشه (از صفر تا ۳۰ سانتی‌متری خاک)، مشخص است که شوری نیم‌رخ خاک به حد مجاز و قابل تحمل برنج نرسیده و کاهش محصول قابل توجه‌ای رخ نخواهد داد.

بررسی عملکرد برنج

برای ارزیابی تیمارهای اعمال‌شده، شاخص‌های مختلفی نظیر عملکرد دانه یا عملکرد اقتصادی^۳، عملکرد زیست‌توده یا عملکرد بیولوژیک^۴ و عملکرد فیزیولوژیکی و مرفولوژیکی (صفات مرفولوژیک شامل طول ریشه، ارتفاع بوته، سبزیگی یا کلروفیل برگ، سطح برگ و صفات فیزیولوژیک شامل محتوای آب نسبی و نشت یونی) وجود دارد. در این بخش هر کدام از این شاخص‌ها برای محصول برنج، تفکیک شده و مورد بررسی قرار گرفته است. مقدار عملکرد دانه یا "اقتصادی" برنج در تیمار شاهد FSG برابر با ۱/۱۰۵ و در تیمار SSG برابر با ۱/۰۷۰ کیلوگرم (جدول ۵) و پس از تعمیم مساحت دو مترمربع هر تیمار به هکتار، مقدار عملکرد دانه به ترتیب ۵۵۲۵ و ۵۳۵۰ کیلوگرم در هکتار به‌دست آمد که به مقدار عملکرد برنج در ارضی شالیزاری نزدیک است. مقدار عملکرد بالقوه برنج در اراضی شالیزاری شمال کشور برای رقم طارم، بین ۶/۵ تا ۷/۵ تن در هکتار است (پلنگی و همکاران، ۱۳۹۳). اختلاف به وجود آمده از تحقیق حاضر نسبت به مقدار عملکرد پتانسیل به‌خصوص در شرایط شاهد (FSG)، می‌تواند ناشی از تفاوت شرایط اقلیمی به‌ویژه رطوبت نسبی محیط باشد؛ زیرا مناسب‌ترین رطوبت نسبی هوا در زمان گلدهی ۷۱ تا ۸۱ درصد است. در رطوبت نسبی کمتر از ۴۱ درصد و بیشتر از ۹۱ درصد در گلدهی تلقیح اختلال ایجاد می‌شود (کریمی، ۱۳۸۷). علی‌رغم آنکه با یک پلاستیک به ارتفاع حدوداً یک متری، دور محدوده کشت شده پوشانده شد تا این اثر به حداقل برسد؛ اما میانگین رطوبت نسبی هوا در جدول ۱ کمتر از ۴۱٪ بود که می‌تواند بر کاهش عملکرد نهایی تاثیرگذار

تغییر ناگهانی هدایت الکتریکی در سخت لایه از عمق ۳۰ به ۴۰ سانتی‌متر، ناشی از قرار گرفتن آب شیرین آبیاری در لایه فوقانی گلخراب و در نتیجه عدم شور شدن ناحیه ریشه برنج است. مقدار شوری در مرز بالا و پایین سخت لایه نزدیک به ۱۵ dS/m اختلاف دارد. در مرز پایینی سخت کفه به علت کوچک شدن اندازه و مقدار منافذ سخت لایه و در نتیجه افزایش مقاومت هیدرولیکی از یک سو و بار فشاری ناشی از جریان آب شیرین در لایه گل‌خرابی از سوی دیگر، امکان صعود موینگی آب شور از لایه زیرین به سخت لایه وجود ندارد و در نتیجه غلظت املاح کم می‌شود. نکته دیگر اینکه بعد از آبتوبی، شوری نیم‌رخ خاک نسبت به مقدار شوری در روزهای ۵۴ و ۸۹ روز پس از نشاکاری، به‌طور میانگین در کل نیم‌رخ خاک حدود ۲۷/۸ درصد کاهش نشان می‌دهد. مقدار شوری عصاره اشباع خاک بعد از آبتوبی در شرایط FSG، با عصاره اشباع خاک قبل از شروع آزمایش برابری دارد. در شرایط SSG و بعد از آبتوبی خاک، شوری عصاره اشباع خاک در ناحیه ریشه نیز برای قبل و بعد از آزمایش مشابهت دارد، اما برای اعماق زیرین به دلیل اعمال تیمار با شوری بالا، در مقدار عصاره اشباع خاک قبل و بعد از انجام آزمایش تفاوت وجود دارد.

با اندازه‌گیری میانگین هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک در محدوده توسعه ریشه گیاه می‌توان به اثر شوری بر روند رشد و عملکرد گیاهان پی برد. بر اساس جداول موجود در نشریه ۵۶ فائو (دستورالعمل محاسبه آب مورد نیاز گیاهان)، حد مجاز شوری منطقه ریشه یا آستانه کاهش عملکرد محصول^۱ برای گیاه برنج حدود ۳-۳/۵ dS/m و بعد از آن درصد کاهش عملکرد محصول، به ازای یک واحد افزایش هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک (dS/m) در محدوده توسعه ریشه گیاه حدود ۱۲ درصد برآورد شده است؛ بنابراین، گیاه برنج جزء محصولات حساس قلمداد می‌شود (آلن و همکاران^۲، ۱۹۹۸؛ علیزاده، ۱۳۹۳). بر اساس نمودارهای موجود و

³ Economic Yield

⁴ Biological Yield

¹ ECe Threshold

² Allen et al.

باشد. مقایسه میانگین عملکرد دانه در دو تیمار نشان داد که اختلاف ناچیزی با هم دارند؛ بنابراین، با پذیرفتن کاهش جزئی عملکرد (حدود ۳/۲ درصد) در تیمار SSG نسبت به تیمار شاهد FSG، انتظار بر این است که در صورت پاسخ مثبت در مقیاس مزرعه قابل تعمیم برای اراضی با لایه بندی مشابه این آزمایش و دارای مشکل آب زیرزمینی کم عمق و شور باشد.

برای تعیین عملکرد "بیولوژیک" یا زیست توده در دو تیمار، در انتهای دوره رشد اقدام به برداشت نمونه گیاهی در هر دو تیمار FSG و SSG گردید. مقدار ماده خشک در تیمار FSG برابر با ۱/۹۲۰ کیلوگرم و در تیمار SSG برابر با ۱/۸۳۵ کیلوگرم برآورد گردید (جدول ۵) که با نتایج حاصل از تحقیق پلنگی و همکاران (۱۳۹۳) تطابق دارد. البته کاهش ناچیز این مقدار (حدود ۴/۵ درصد) در تیمار SSG می تواند به شرایط اقلیمی و محیطی محل این آزمایش در مقایسه با اراضی شالیزاری

در شمال کشور نسبت داده شود. مقایسه میانگین پارامتر زیست توده در دو تیمار و با استفاده از آزمون T (جدول ۶) نشان داد که تغذیه آب شور زیرزمینی کم عمق اختلاف ۱۲ درصدی بین میانگین پارامتر زیست توده دو تیمار حاصل کرده است. این امر، ناشی از اثر شوری آب زیرزمینی کم عمق بر گیاه و زیست توده هر بوته است. در میان پارامترهای عملکرد، زیست توده بیشترین تاثیر را از اعمال تیمار شوری آب زیرزمینی پذیرفته است. جدول ۵ مقدار شاخص برداشت برای دو نوع عملکرد را نشان می دهد.

با توجه به جدول ۵، مقدار شاخص برداشت در هر دو شرایط FSG و SSG تقریباً یکسان و بدین معنی است که حتی با کمتر شدن قسمتی از برگ و اندام هوایی اثری بر عملکرد دانه نداشته است. مقایسه میانگین اثر ساده تیمارها برای صفات مورد مطالعه در جدول ۶ نشان داده شده است.

جدول ۵- ارزیابی شاخص برداشت، عملکرد اقتصادی (دانه) و بیولوژیک (زیست توده)

تیمار	عملکرد اقتصادی (EY) Kg	عملکرد بیولوژیک (BY) Kg	شاخص برداشت (HI) %
FSG	۱/۱۰۵	۱/۹۲۰	۵۷/۵۵
SSG	۱/۰۷۰	۱/۸۳۵	۵۸/۳۱

جدول ۶- نتایج حاصل از مقایسه میانگین شاخص ها در تیمارها

ردیف	پارامتر	میانگین FSG	میانگین SSG	تغییرات نسبت به شاهد (%)
۱	زیست توده (BIO)	۳۳/۸	۲۹/۶	۱۲/۴۲
۲	طول ریشه (RL)	۲۶/۴	۲۵/۸	۲/۲۷
۳	ارتفاع بوته (PL)	۸۷/۴	۸۵/۱	۲/۶۳
۴	کلروفیل (SPAD)	۳۷/۲	۳۵	۵/۹۱
۵	محتوای آب نسبی (RWC)	۸۸/۳	۸۵/۴	۳/۲۸
۶	شاخص پایداری غشا (MSI)	۸۴/۵	۸۳/۸	-۰/۸۲
۷	شاخص سطح برگ (LAI)	۲/۴۳	۲/۱۵	۱۱/۵۲

افزایش تنفس، کاهش ارتفاع و محصول گیاه می شود؛ اما نتایج حاصل از مقایسه میانگین شاخص ها در این مطالعه (جدول ۶) نشان داد که بین میانگین طول ریشه و ارتفاع بوته در دو شرایط اختلاف ناچیزی وجود داشته و درصد تغییرات طول ریشه و ارتفاع بوته در شرایط SSG نسبت

انتظار بر این است که با افزایش غلظت املاح در منطقه ریشه، فشار اسمزی^۱ محلول خاک زیاد می شود، در نتیجه مقدار انرژی صرف شده گیاه برای جذب آب از خاک افزایش می یابد. این عمل باعث کاهش جذب آب،

^۱ Osmotic Pressure

شاخص سطح برگ^۳ مقدار توسعه اندام هوایی و سبز گیاه را نشان می‌دهد و با توجه به آن می‌توان اثر یا عدم اثر حضور سطح ایستابی شور و کم‌عمق را بر توسعه پوشش سبز گیاه بررسی نمود. نتایج مقایسه میانگین انجام‌شده در جدول ۶ نشان داد که سطح ایستابی کم‌عمق با شوری بالا، اختلاف زیادی در میانگین مقدار شاخص سطح برگ دو تیمار FSG و SSG ایجاد نکرده است و بین شرایط SSG نسبت به FSG، ۱۱/۵۲ درصد اختلاف حاصل شد.

نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از این تحقیق نشان می‌دهد که با کشت در اراضی دارای مشکلات سطح ایستابی کم‌عمق و شور مشابه با شرایط این آزمایش و در صورت پاسخ مثبت، با کاهش ناچیز مقدار عملکرد نهایی می‌توان محصول برنج را به زیر کشت برد. در این شرایط لزوم احداث زهکش برای کاهش غلظت نمک در خاک مخصوصاً منطقه ریشه حس نمی‌شود؛ زیرا مشکلی از لحاظ شوری گیاه را تهدید نمی‌کند اما به دلیل نفوذ عمقی موجود در شالیزارها ممکن است زهکش عمقی لازم به اجرا باشد. در بخش نیم‌رخ شوری خاک، سطح ایستابی کم‌عمق با شوری بالا (حدود ۲۰ دسی‌زیمنس بر متر) تأثیری در روند رشد ریشه و سپس عملکرد برنج ایجاد نکرد. عمده نگرانی‌های اراضی دارای مشکلات شوری آب زیرزمینی، مربوط به اختلاط آب شور و شیرین است و در این پژوهش ثابت شد که در شرایط مشابه با این مطالعه مشکل‌ساز نخواهد بود و سخت‌لایه شخمی (بین عمق ۳۰ و ۴۰ سانتی‌متر از سطح خاک)، از اختلاط آب شیرین ناشی از نفوذ عمقی از سخت‌لایه و صعود رو به بالای آب شور تغذیه‌شده، جلوگیری می‌کند. مقایسه میانگین انجام‌شده بین پارامترهای عملکرد نشان داد که شوری آب زیرزمینی کم‌عمق به جز دو مورد زیست‌توده و شاخص سطح برگ (به ترتیب با ۱۲/۴۲ و ۱۱/۵۲ درصد)، باعث اختلاف ناچیز پارامترهای عملکرد بین دو

به FSG تغییرات ناچیز به ترتیب ۲/۲۷ و ۲/۶۳ درصد محاسبه شد.

نتایج بیان‌شده در جدول ۶ نیز بیانگر این موضوع است که اختلاف ناچیزی بین میانگین مقدار اندازه‌گیری شده کلروفیل یا سبزیگی در دو شرایط FSG و SSG وجود دارد و شوری آب زیرزمینی کم‌عمق اثری بر سبزیگی یا کلروفیل گیاه نداشته است. درصد تغییرات این پارامتر در دو شرایط فقط ۵/۹۱ درصد بوده است.

محتوای آب نسبی برگ^۱ از مهم‌ترین شاخص‌های فیزیولوژیک به‌منظور شناسایی و مقایسه گیاهان در شرایط تنش‌های شوری و خشکی است. علت کاهش محتوای آب نسبی در شرایط تنش خشکی و شوری، کاهش پتانسیل آب برگ و سپس کاهش جذب آب از ریشه در این شرایط است. برپایه مقایسه میانگین انجام شده، درمی‌یابیم که اختلاف معنی‌داری بین میانگین پارامتر RWC در دو تیمار FSG و SSG وجود نداشته و کاهش عملکرد ۳/۲۸ درصدی بدست آمد. این موضوع نشان می‌دهد که تیمار اعمال‌شده، اثری بر محتوای آب برگ نداشته و تنشی را بر گیاه وارد نکرده است.

تنش‌های محیطی مانند شوری باعث تولید گونه‌های فعال اکسیژن شده و انتظار می‌رود این گونه‌ها باعث آسیب به دیواره سلولی و درنهایت، نشت محتوای آن شود. هرچه مقدار شاخص پایداری غشا^۲ بیشتر باشد، مقاومت گیاه در برابر نشت محتوای درون گیاه به محیط بیرونی بیشتر می‌شود. با توجه به نتایج حاصل از جدول ۶، شوری سطح ایستابی کم‌عمق در میانگین مقدار شاخص پایداری غشا بین دو تیمار FSG و SSG اثری نگذاشته و کمتر از یک درصد با هم اختلاف دارند. این امر نشانگر این موضوع است که شاخص MSI در شرایط شوری آب زیرزمینی اعمال‌شده دچار کاهش نشده، ساختار دیواره آسیب ندیده و میزان هدایت الکتریکی محلول تراوش‌یافته از گیاه تغییری نیافته است.

¹ Relative Water Content

² MSI

³ LAI

تیمار شده است. عملکرد دانه در شرایط SSG نسبت به اراضی واقعی مشابه با این مطالعه کشت برنج انجام شود، FSG فقط ۳/۲ درصد کاهش یافت. انتظار می رود اگر در محصول گیاه برنج با تنش شوری مواجه نشود.

فهرست منابع

۱. اسدی، ر.، رضایی، م. و امیری، ا. ۱۳۸۸. تأثیر سطوح مختلف شوری بر عملکرد و اجزای عملکرد ارقام اصلاح شده برنج. پژوهشنامه اصلاحی گیاهان زراعی، ۱(۳)، ص ۲۴-۳۷.
۲. پلنگی، م.، پیرمادیان، ن.، کریمی، و. و امیری لاریجانی، ب. ۱۳۹۳. تأثیر زهکشی سطحی میان فصل بر روند رشد، شاخص های فیزیولوژیک و عملکرد برنج رقم طارم هاشمی. نشریه تحقیقات غلات، دانشگاه گیلان، ۴(۴): ۲۶۷-۲۷۸.
۳. پوراحمدی، م.، هنرنژاد، ر. و اویسی، م. ۱۳۹۳. تأثیر شدت برگ زدایی بر صفات کلروفیل، محتوای نسبی آب برگ و پایداری غشای سلولی و عملکرد دانه در سورگوم دانه ای (*Sorghum Bicolor L.*) تحت شرایط خشکی. پژوهش های زراعی در حاشیه کویر، ۱۱(۴): ۲۴۳-۲۳۷.
۴. ذاکری نیا، م.، فکوری دکاهی، ب. و ابراهیمی، س. س. ۱۳۹۵. تأثیر شوری های مختلف آب زیرزمینی در صعود نمک در پروفیل خاک و تبخیر از سطح آن. علوم و مهندسی آبیاری (مجله علمی- پژوهشی)، ۳۹(۱): ۸۳-۹۱.
۵. عباسی، ف. ۱۳۹۶. فیزیک خاک پیشرفته. انتشارات دانشگاه تهران، چاپ پنجم، تهران، ایران، ۳۳۴ صفحه.
۶. عباسی، ف.، ناصری، ا.، سهراب، ف.، باغبانی، ج.، عباسی، ن. و اکبری، م. ۱۳۹۴. ارتقای بهره وری مصرف آب. جلد ۱، انتشارات سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ۶۸ صفحه.
۷. عزیزاده، ا. ۱۳۹۳. رابطه آب و خاک و گیاه. جلد ۴، انتشارات دانشگاه صنعتی سجاد، مشهد، ۴۰۰ صفحه.
۸. کریمی، ه. ۱۳۸۷. گیاهان زراعی. انتشارات دانشگاه تهران، چاپ ششم، تهران، ایران، ۷۱۴ صفحه.
۹. محمدی، ن.، باقی زاده، ا. و رجایی، پ. ۱۳۹۴. تأثیر بتا آمینوبوتیریک اسید بر محتوای آب نسبی، تنظیم اسمزی و فعالیت آنزیم های آنتی اکسیدان در گیاه کلزا (*Brassica napus L.*) تحت تنش خشکی. مجله پژوهش های گیاهی (مجله زیست شناسی ایران)، ۲۸(۴): ۸۶۰-۸۴۴.
۱۰. مهدوی، ف.، اسماعیلی، م. ع.، فلاح، ا. و پیردشتی، ه. ۱۳۸۴. مطالعه خصوصیات مرفولوژیک، شاخص های فیزیولوژیک، عملکرد و اجزای عملکرد دانه در ارقام بومی و اصلاح شده برنج (*Oryza sativa L.*). مجله علوم زراعی ایران، ۷(۴): ۲۹۷-۲۸۰.
11. Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., & Smith, M. 1998. FAO Irrigation and Drainage paper No. 56. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 56(97): e156.
12. Annual Report. 2016-17. Agricultural Water Management for Sustainable Rural Development, International Commission on Irrigation and Drainage (ICID).
13. Carmelita, M., Wassmann, R., Hirano, T., Miyata, A., Hatano, R., Kumara, A., Padrea, A. & Amante, M. 2011. Comparisons of energy balance and evapotranspiration between flooded and aerobic rice fields in the Philippines. Agricultural Water Management, 98(9): 1417-1430.
14. Chen, K. and Jiao, J. J. 2014. Modeling freshening time and hydro chemical evolution of groundwater in coastal aquifers of Shenzhen, China. Environmental Earth Sciences 71(5): 2409-2418.

15. Chu, G., Chen, T., Wang, Z., Yang, J. & Zhang, J. 2014. Morphological and physiological traits of roots and their relationships with water productivity in water-saving and drought-resistant rice. *Field Crops Research*, 162: 108–119.
16. Clermont-Dauphin, C., Suwannang, N., Grünberger, O., Hammecker, C. & Maeght, J. L. 2010. Yield of rice under water and soil salinity risks in farmers' fields in northeast Thailand. *Field Crops Research*, 118(3): 289-296.
17. FAO. 2008. Extend and causes of salt-affected soil in participating countries. Available at <http://www.fao.org/agll/spuch/topic4/htm>.
18. FAO. 2011. Food and Agriculture Organization. Statistics: FAOSSGAT agriculture from <http://fao.org/crop/statistics>.
19. Iqbal, T. 2016. Rice straw amendment ameliorates harmful effect of salinity and increases nitrogen availability in a saline paddy soil. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*.
20. Lafitte, H.R., Ismail, A. and Bennett, J. 2004. Abiotic stress tolerance in rice for Asia: progress and the future. International Rice Research Institute.
21. Lampayan, R.M., Rejesus, R.M., Singleton, G.R. & Bouman B.A.M. 2015. Adoption and economics of alternate wetting and drying water management for irrigated lowland rice. *Field Crops Research*, 170: 95–108.
22. Ministry of Jihad-E-Agriculture., 2006. Agronomic and Horticultural Production. Jihad-E-Agriculture, Deputy of Planning and Economic. Buria of Statistics and Technology, No, 85/09.
23. Ponnampereuma, F. N. 1972. The chemistry of submerged soils. *Advances in Agronomy*, 24: 59-96.
24. Summer, M.E., 2000. Handbook of Soil Science. CRC Press, Boca Raton.
25. Wichelns, D. & Qadir, M. 2015. Achieving sustainable irrigation requires effective management of salts, soil salinity, and shallow groundwater. *Agricultural Water Management*, 157: 31–38.
26. Zarei, G., Homae, M., Liaghat, A. M., & Hoorafar, A. H. 2010. A model for soil surface evaporation based on Campbell's retention curve. *Journal of Hydrology*, 380(3-4): 356-361.

Effect of Shallow and Saline groundwater on Rice Growth and Biomass

M. Pourgholam Amiji, A. Liaghat, A. Nazi Ghameshlou^{1*}, And

M. Khoshravesh

MSc Student, Department of Irrigation & Reclamation Engineering, College of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran.

Mpourgholam6@ut.ac.ir

Professor, Department of Irrigation & Reclamation Engineering College of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran.

Aliaghat@ut.ac.ir

Assistant Professor, Department of Irrigation & Reclamation Engineering, College of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran.

A.ghameshlou@ut.ac.ir

Assistant Professor, Department of Water Engineering, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University. **Khoshravesh_m24@yahoo.com**

Abstract

The problem of soil salinity exists in the paddy field areas in Iran, especially in the Caspian Sea coastal areas, due to its proximity to the sea and low altitude with saline and shallow water table. Besides, considering that rice is one of the most important strategic crops for economy of Iran and the people in this area, this research was necessary in order to investigate the possibility of production of rice in the presence of shallow and saline groundwater table. This research was performed as a physical model (insulated metallic lysimeter) in the Meteorological Research Center of College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, in 2017. The complete randomized design included two treatments with shallow water table: FSG and SSG, with fresh (control) and saline water, respectively. The salinity of irrigation water was 0.94 dS/m for both treatments. Moreover, for SSG treatment, the EC of shallow groundwater was 20 dS/m at 40 cm soil depth and was regulated as an artificial recharge. The results of salinity profile in SSG treatment showed that there was almost no mixing of fresh and saline water in interstitial zone (under the hard pan from 30 cm to 40 cm of soil surface). In this manner, there was insignificant effect of salinity in the root zone, because of existing of permanent water layer in rice field and downward water flow, which makes an obstacle for upward flow for saline water. This problem did not affect the rice yield, which didn't decrease. The results of data analysis confirm this and show that shallow groundwater salinity has no significant effect on the parameters like leaf area index (LAI), root length (RL), plant length (PL), membrane stability index (MSI), chlorophyll (SPAD), relative water content (RWC) and the biomass (BIO). The difference between the performance of the control and the salinity treatments was about 1 to 12 percent, while the grain and biological yield in SSG treatment compared with FSG treatment decreased 3.2% and 4.5 percent, respectively. Therefore, considering the significant leaching of soil after cultivation, the negligible loss of yield and upward movement of saline water in the soil, production of rice and other plants in such areas seems possible. Also, with the help of efficient and effective use of lands with shallow saline groundwater, we can decrease the pressure on conventional soil and water resources.

Keywords: Coastal areas, Shallow water table, Lysimeter, Rice yield, Salinity profile

1- Corresponding Author: Karaj, College of Agriculture & Natural Resources, Department of Irrigation & Reclamation Engineering

* - Received: May 2018 and Accepted: November 2018