

شبیه‌سازی اثر هم‌زمان تنش‌های شوری و خشکی بر عملکرد دانه برنج رقم هاشمی Simulation of simultaneous effect of salinity and drought stresses on grain yield of rice cv. Hashemi

فاطمه سلحشور دلیوند^۱، علی اشرف صدرالدینی^۲، امیرحسین ناظمی^۳، ناصر دواتگر^۴ و محمدرضا نیشابوری^۵

چکیده

سلحشور دلیوند، ف. ع. ۱. صدرالدینی، ا. ح. ناظمی، ن. دواتگر و م. ر. نیشابوری. ۱۳۹۲. شبیه‌سازی اثر هم‌زمان تنش‌های شوری و خشکی بر عملکرد دانه برنج رقم هاشمی. مجله علوم زراعی ایران. ۱۵(۴): ۳۳۶-۳۲۰.

در این آزمایش اثر هم‌زمان تنش‌های شوری و خشکی و حد آستانه تحمل این تنش‌ها برای برنج رقم هاشمی در سال ۱۳۸۹ در موسسه تحقیقات برنج کشور (رشت) مورد بررسی قرار گرفت و بهترین مدل بر آورد کاهش جذب آب در شرایط وقوع هم‌زمان تنش‌های شوری و خشکی تعیین گردید. تیمارهای آزمایشی شامل آبیاری در سه سطح غرقاب دائم با ارتفاع ۳ سانتی‌متر، دوره‌های آبیاری ۴ و ۸ روز و شوری در پنج سطح (۱، ۲، ۳، ۴ و ۵ دسی‌زیمنس بر متر) بودند که در قالب فاکتوریل بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی در چهار تکرار اعمال شدند. نتایج نشان داد که برای گیاه برنج رقم هاشمی، حد آستانه کاهش عملکرد در اثر تنش خشکی، ۸۰ درصد رطوبت اشباع خاک است. برای حد آستانه تنش شوری نیز، هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک ۲/۸۳ دسی‌زیمنس بر متر بود که نشان دهنده حساسیت این رقم به شوری است. بهترین مدل در پیش‌بینی تابع کاهش جذب آب در شرایط تنش‌های شوری و کم آبیاری، مدل همایی و فدس بود. در این مدل با تفاضل فشار اسمزی آستانه کاهش عملکرد از مقدار مکش آب در نقطه پژمردگی دائم، اثر توأم خشکی و شوری کم‌تر از مجموع و یا حاصلضرب هر یک از این تنش‌ها فرض شده است. به نظر می‌رسد در شرایطی که تنش‌های خشکی و شوری متوازن نیستند نیز پاسخ مدل به واقعیت نزدیک و توانایی پیش‌بینی مقادیر پایین عملکرد نسبی وجود داشته باشد.

واژه‌های کلیدی: برنج، تنش خشکی، تنش شوری و مدل‌های کاهش جذب آب.

این مقاله مستخرج از رساله دوره دکتری نگارنده اول می‌باشد

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۲/۱۷ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۸/۸

۱- دانشجوی دکتری دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز. عضو انجمن علوم زراعت و اصلاح نباتات ایران (مکاتبه کننده) (پست الکترونیک: ph_salahshoor@yahoo.com)

۲- دانشیار دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز

۳- دانشیار گروه مهندسی آب دانشگاه تبریز

۴- استادیار پژوهش موسسه تحقیقات برنج

۵- استاد گروه خاکشناسی دانشگاه تبریز

مقدمه

روش غالب آبیاری برای گیاه برنج در استان گیلان روش غرقابی با جریان مداوم در طول فصل رشد است که در هنگام بحران کمبود آب به روش تناوبی تغییر داده می‌شود. رودخانه سپیدرود که از به هم پیوستن دو رودخانه قزل‌اوزن (با آورد بیش از سه میلیارد متر مکعب در سال) و شاهرود (با آورد بیش از یک میلیارد متر مکعب در سال) تشکیل می‌شود، منبع اصلی تامین آب آبیاری استان گیلان است (Anonymous, 2004 and 2010). میزان رس در بیشتر خاک‌های شالیزاری این استان بالا و کانی غالب در این خاک‌ها از نوع متورم شونده (Smectite) است (Davatgar et al., 2006) که از پتانسیل بالایی برای انقباض و بروز ترک برخوردار است. در شرایط کنونی تناوب آبیاری در شبکه آبیاری و زهکشی سپیدرود در سطح کانال‌های درجه ۱ و ۲ انجام می‌شود که این موضوع به ویژه در شرایط محدودیت آب موجب ایجاد ترک در سطح شالیزارها شده و چنانچه اندازه این ترک‌ها گسترش یابد، راندمان آبیاری کاهش و احتمال وقوع تنش خشکی شدیدتر می‌گردد. بنابراین با تغییر رویکرد آبیاری در استان گیلان، تعیین حد آستانه تحمل ارقام برنج بومی به تنش خشکی اجتناب‌ناپذیر است.

با توجه به احداث سی و شش سد مخزنی بزرگ و حدود یکصد سد مخزنی کوچک در حوضه آبریز سپیدرود بزرگ (به ویژه حوضه قزل‌اوزن) (Japan International Cooperation Agency, 2012) علاوه بر کاهش قابل توجه حجم آب ورودی به مخزن سد سپیدرود، کیفیت آن نیز کاهش خواهد یافت. متوسط ده سال اخیر دبی و شوری آب در ایستگاه گیلوان واقع بر رودخانه قزل‌اوزن به ترتیب از میانگین بلند مدت ۱۱۷/۳۴ مترمکعب بر ثانیه و ۱/۸۱ دسی‌زیمنس بر متر به ۵۳/۲۹ مترمکعب بر ثانیه و ۲/۶۶ دسی‌زیمنس بر متر رسیده است.

گیاه برنج جزء گیاهان حساس به شوری است (Allen et al., 1998)، بنابراین با توجه به احتمال تشدید تنش شوری بررسی عکس‌العمل این گیاه نسبت به این تنش و تعیین حد آستانه تحمل آن برای ارقام بومی در استان گیلان ضروری است. در سال‌های خشک کشاورزان منطقه عموماً آب مورد نیاز در فصل بهار را از ذخیره محدود آب پشت سد سپیدرود، منابع آب داخلی استان و باران‌های بهاره تامین می‌کنند که این دوره تقریباً مصادف با پایان مرحله پنجه‌زنی است. از این زمان به بعد چنانچه آبی در اختیار کشاورز قرار گیرد کیفیت مطلوبی ندارد.

جذب آب توسط ریشه عامل مهمی در چگونگی توزیع آب و املاح در خاک، به ویژه در شرایط غیراشباع به شمار می‌رود (Abbasi, 2008). کاردون و لی‌تی (Cardon and Letey, 1992) نشان دادند که تقریباً همه مدل‌های ریاضی حرکت آب و املاح در خاک به وسیله حل عددی معادله داری-ریچاردز و با لحاظ عبارت جذب آب توسط ریشه ابداع شده‌اند. جذب آب توسط ریشه تابعی از فشار اسمزی، مکش آب خاک، خصوصیات ریشه و شرایط آب و هوایی (نیاز تبخیری اتمسفر) است. با وجود مشخص بودن کاهش جذب آب توسط ریشه در اثر کاهش پتانسیل ماتریک (به واسطه تنش خشکی) و پتانسیل اسمزی (به واسطه تنش شوری)، هنوز چگونگی اثر متقابل این دو تنش بر جذب آب توسط ریشه به خوبی مشخص نیست و چالش اصلی، چگونگی تلفیق تنش‌های شوری و خشکی است (Abbasi, 2008). توابع کاهش جذب آب به دو گروه عمده جمع‌پذیر و ضرب‌پذیر تقسیم می‌شوند. در مدل‌های جمع‌پذیر فرض شده که جذب آب توسط گیاه تحت تاثیر جمع‌پتانسیل آب خاک و پتانسیل اسمزی انجام می‌شود. در مدل‌های ضرب‌پذیر، ضرایب کاهش جذب مربوط به تنش‌های شوری و خشکی به طور جداگانه محاسبه و در یکدیگر ضرب می‌شوند (Skaggs et al., 2006a). وان دام و

خشکی بر گیاه برنج (رقم هاشمی) و تعیین حد آستانه تحمل آن در مراحل پنجه زنی و گلدهی که از حساس ترین مراحل نسبت به تنش خشکی هستند (Wopereis *et al.*, 1996; Islam *et al.*, 2003) و ب- تعیین بهترین مدل کاهش جذب آب برای گیاه برنج جهت پیش بینی عملکرد در شرایط محدودیت هم زمان خشکی و شوری، انجام شد.

مواد و روش ها

این تحقیق در سال ۱۳۸۹ در موسسه تحقیقات برنج کشور (رشت) که در واحد فیزیوگرافی دشت های آبرفتی استان گیلان واقع است، اجرا شد. میانگین دمای سالانه هوا ۱۵/۸ درجه سلسیوس، میانگین رطوبت نسبی سالانه ۸۰ درصد و میانگین بارندگی ده ساله ۱۱۳۲ میلی متر است. خاک محل آزمایش دارای بافت رس سیلتی بوده و کانی غالب آن از نوع اسمکتیت (Smectite) است. از ویژگی های این منطقه وجود آب زیرزمینی در عمق کم تر از ۱۰ متر و وجود حالت غرقابی در لایه های سطحی خاک (تا عمق دو متر) در اثر بارندگی و آبیاری است (Baghdadi, 1998; Mohammadi, 1970). ویژگی های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد مطالعه در جدول یک نشان داده شده است. برای تعیین منحنی مشخصه رطوبتی خاک مورد مطالعه در مکش های ماتریک صفر، ۱۰۰ و ۱۵۰ سانتی متر از مجموعه ستون آویزان و در هر یک از پتانسیل های ماتریک ۳۳۰، ۱۰۰۰، ۲۰۰۰، ۳۰۰۰، ۶۰۰۰، ۹۰۰۰ و ۱۵۰۰۰ سانتی متر از محفظه فشار استفاده شد. از داده های اندازه گیری شده و مدل ون گنوختن (Van Genuchten, 1980) در نرم افزار RETC (Van Genuchten *et al.*, 1991) برای بدست آوردن پارامترهای معادله منحنی مشخصه رطوبتی خاک استفاده شد. مدل ون گنوختن (Van Genuchten, 1980) با رابطه یک نشان داده می شود.

$$h = \frac{1}{\alpha} \left[\left(\frac{\theta_s - \theta_r}{\theta - \theta_r} \right)^{\frac{1}{m}} - 1 \right]^n$$

همکاران (Van Dam *et al.*, 1997) توابع کاهش جذب فوس و همکاران (Feddes *et al.*, 1978) و ماس و هافمن (Mass and Hoffman, 1977) را در یکدیگر ضرب و تابع جدیدی ارائه دادند. همایی و فوس (Homaei and Feddes, 1999) نیز روشی را برای بیان اثر مشترک شوری و کم آبی ارائه نمودند که مبتنی بر ترکیب معادلات خطی و غیر خطی وابسته به شوری با معادله جذب آب توسط ریشه بوده و معتقدند که این روش با نظرات جمع پذیر و ضرب پذیر به طور بنیادی تفاوت دارد (Homaei, 2002). هر چند جمع پذیر بودن اثر تنش های شوری و خشکی از تعدادی از مطالعات آزمایشگاهی و صحرایی استنتاج گردیده است (Skaggs *et al.*, 2006a)، اما نتایج تحقیقات نشان می دهد که نظریه ضرب پذیر نتایج نزدیک تری را به واقعیت ارائه می دهد (Sepaskhah and Yousofi-Falakdehi, 2010). فوگات و همکاران (Phogat *et al.*, 2010) نیز در شبیه سازی جریان آب و املاح به کمک مدل هایدروس، نظریه ضرب پذیر را بر اساس مدل های فوس و همکاران (Feddes *et al.*, 1978) و همایی و همکاران (Homaei *et al.*, 2002) در تنش خشکی استفاده نمودند. همایی و همکاران (Homaei *et al.*, 2002) نشان دادند که مدل همایی و فوس (Homaei and Feddes, 1999) که بر پایه ترکیب معادلات خطی و غیر خطی مرتبط با تنش خشکی و شوری قرار دارد، در مقایسه با مدل های جمع پذیر و ضرب پذیر نتایج بهتری را ارائه می دهد.

بر اساس بررسی منابع انجام شده، تا کنون از مدل های یاد شده برای شبیه سازی اثرات تنش خشکی و شوری در ارقام بومی و کیفی برنج در نواحی شمالی کشور استفاده نشده است. از این رو آزمایش حاضر با هدف: الف- ارزیابی اثر توام تنش های شوری و

$$[n>1, m=1-1/n]$$

جدول ۱- ویژگی های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد مطالعه

Table 1. Physical and chemical properties of studied soil

عمق Depth (cm)	هدایت الکتریکی EC (dS.m ⁻¹)	اسیدیتته گل اشباع pH	کربن آلی O.C (%)	گنجایش تبادل کاتیونی CEC meq.(100g) ⁻¹	نیتروژن کل N (%)	پتاسیم قابل جذب K (mg.kg ⁻¹)	فسفر قابل جذب P (mg.kg ⁻¹)	هدایت هیدرولیکی اشباع K _s (cm.d ⁻¹)	جرم مخصوص ظاهری B _d (g.cm ⁻³)
0-15	0.62	7	1.22	35	0.137	252	10.6	0.21	1.1

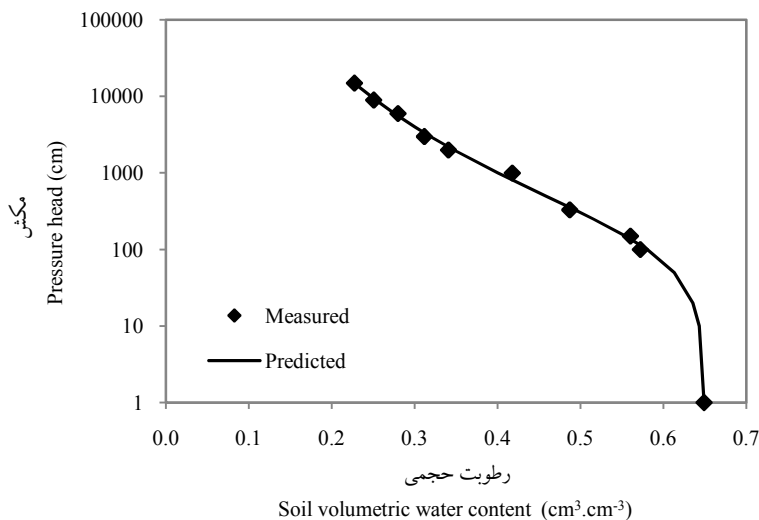
جدول ۲- میانگین بلند مدت کیفیت آب رودخانه سپیدرود در ایستگاه رودبار (۱۳۵۳ تا ۱۳۸۷)

Table 2. The long-term mean of the Sepidroud River water quality in Roudbar hydrometric station (1974 - 2008)

آبدهی Discharge (m ³ .s ⁻¹)	هدایت الکتریکی EC (dS.m ⁻¹)	اسیدیتته گل اشباع pH	باقی مانده خشک T.D.S (mg.l ⁻¹)	نسبت جذب سدیم SAR	سولفات							
					سدیم Na ⁺	منیزیم Mg ⁺⁺	کلسیم Ca ⁺⁺	پتاسیم K ⁺	کلر Cl ⁻	کربنات CO ₃ ⁻⁻	بی کربنات HCO ₃ ⁻	سولفات SO ₄ ⁻⁻
116.01	1.66	7.67	1052.26	4.4	8.51	2.90	4.44	0.12	8.42	0.01	3.33	4.47

در رابطه مزبور، h مکش خاک (cm) ، α عکس مکش ماتریک ورود هوا، m و n پارامترهای شکل، θ_s رطوبت اشباع $(\text{cm}^3 \text{cm}^{-3})$ و θ_r رطوبت باقیمانده $(\text{cm}^3 \text{cm}^{-3})$ هستند. مقدار پارامترهای برآورد شده از مدل عبارت بودند از: $\theta_s=0.649$ ، $\theta_r=0.001$ ، $\alpha=0.009 \text{ cm}^{-1}$ ، $m=0.177$ ، $n=1.215$. رطوبت ظرفیت زراعی (معادل مکش ۳۳۰ سانتی‌متر) و نقطه پژمردگی (معادل مکش ۱۵۰۰۰ سانتی‌متر) نیز به ترتیب $\theta_{Fc}=0.49$ و $\theta_{PWP}=0.22$ برآورد شدند (شکل ۱).

بر اساس روش مورد استفاده سپاسخواه و یوسفی فلکدهی (Sepaskhah and Yousofi-Falakdehi, 2010) آزمایش به صورت گلدانی در قالب فاکتوریل بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی و در چهار تکرار انجام شد. تیمارهای آبیاری در سه سطح شامل: غرقاب دائم با ارتفاع ۳ سانتی‌متر و آبیاری با دوره‌های ۴ و ۸ روز از زمان ناپدید شدن آب از سطح خاک و رساندن به ارتفاع ۳ سانتی‌متر در هر آبیاری و تیمار شوری نیز در پنج سطح شامل: قابلیت هدایت الکتریکی (EC) آب آبیاری ۱، ۲، ۳، ۴ و ۵ دسی‌زیمنس بر متر انجام شد. مشابه با آزمایش ووپیرز و همکاران (Wopereis *et al.*, 1996) از سطل‌های پلاستیکی به قطر ۲۰ سانتی‌متر و ارتفاع ۲۵ سانتی‌متر به عنوان گلدان استفاده شد. پس از وزن کردن گلدان‌ها یازده کیلوگرم از خاک سطحی اشباع گلخراب رس سیلتی



شکل ۱- منحنی مشخصه رطوبتی در خاک مورد مطالعه

Fig. 1. Characteristic moisture curve of studied soil

(شن ۸ درصد، سیلت ۴۴ درصد و رس ۴۸ درصد) با جرم مخصوص ظاهری خشک ۱/۱ گرم بر سانتی‌متر مکعب، برداشته شده از مزرعه آزمایشی موسسه تحقیقات برنج را که از دو روز قبل شخم زده و گلخراب شده بود در هر گلدان ریخته و چهار گیاهچه ۲۱ روزه در مرکز هر گلدان کشت شد. از رقم بومی هاشمی به عنوان رایج‌ترین رقم مورد کشت در استان گیلان استفاده گردید. فاصله سطح خاک از لبه گلدان پنج سانتی‌متر بود. نیتروژن، پتاسیم و فسفر به میزان ۴۳، ۱۸ و ۱۵ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک یک روز پیش از نشاکاری به هر گلدان افزوده شد. هم‌چنین در هر گلدان ۱۵ میلی‌گرم نیتروژن و ۸ میلی‌گرم پتاسیم در اواسط مرحله‌های پنجه‌زنی و تشکیل خوشه مورد استفاده قرار گرفت. سمپاشی برای مبارزه با آفت کرم ساقه‌خوار و بیماری بلاست انجام شد. به منظور ایجاد

بر اساس روش مورد استفاده سپاسخواه و یوسفی فلکدهی (Sepaskhah and Yousofi-Falakdehi, 2010) آزمایش به صورت گلدانی در قالب فاکتوریل بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی و در چهار تکرار انجام شد. تیمارهای آبیاری در سه سطح شامل: غرقاب دائم با ارتفاع ۳ سانتی‌متر و آبیاری با دوره‌های ۴ و ۸ روز از زمان ناپدید شدن آب از سطح خاک و رساندن به ارتفاع ۳ سانتی‌متر در هر آبیاری و تیمار شوری نیز در پنج سطح شامل: قابلیت هدایت الکتریکی (EC) آب آبیاری ۱، ۲، ۳، ۴ و ۵ دسی‌زیمنس بر متر انجام شد. مشابه با آزمایش ووپیرز و همکاران (Wopereis *et al.*, 1996) از سطل‌های پلاستیکی به قطر ۲۰ سانتی‌متر و ارتفاع ۲۵ سانتی‌متر به عنوان گلدان استفاده شد. پس از وزن کردن گلدان‌ها یازده کیلوگرم از خاک سطحی اشباع گلخراب رس سیلتی

خزانة تا انتقال گیاهچه‌ها به گلدان‌ها و از مرحله نشاکاری تا پایان مرحله پنجه‌زنی آبیاری بصورت غرقابی با ارتفاع آب ثابت سه سانتی متر انجام شد. در پایان مرحله پنجه‌زنی تیمارهای تنش شوری و تنش خشکی اعمال شدند. در طی دوره آزمایش به منظور اجتناب از ایجاد اختلال توسط بارندگی مکان آزمایش با استفاده از یک سایه‌بان متحرک در هنگام بارندگی پوشانده شد. پس از برداشت محصول هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک با نمونه‌برداری از تمام تیمارها در سه تکرار و با استفاده از دستگاه هدایت سنج (SWISS, METROHM, 644) انجام گرفت. مهم‌ترین مدل‌های ماکروسکوپی که برای بررسی جذب آب توسط ریشه در شرایط تنش‌های شوری و آبی استفاده شد در روابط ۲ تا ۷ ارائه شده است.

$$\alpha(h, \pi) = \frac{1}{1 + \left(\frac{a_1 h + a_2 \pi}{h_{50}}\right)^p}$$

$$\alpha(h, \pi) = \frac{1}{1 + \left[\frac{h}{h_{50}}\right]^{p_1}} \times \frac{1}{1 + \left[\frac{\pi}{\pi_{50}}\right]^{p_2}}$$

$$\alpha(h, \pi) = \frac{1}{1 + \left(\frac{h_3 - h}{h_3 - h_{50}}\right)^{p_1}} \times \frac{1}{1 + \left(\frac{\pi^* - \pi}{\pi^* - \pi_{50}}\right)^{p_2}}$$

$$\alpha(h, \pi) = \frac{h - h_4}{h_3 - h_4} \times \left[1 - \frac{b}{360} (\pi^* - \pi)\right]$$

$$\alpha(h, \pi) = \frac{h - (h_4 - \pi)}{h_3 - (h_4 - \pi)} \times \left[1 - \frac{b}{360} (\pi^* - \pi)\right]$$

$$\alpha(h, \pi) = \frac{1}{1 + \left[\frac{h}{h_{50}}\right]^{p_1}} \times \left[1 - \frac{b}{360} (\pi^* - \pi)\right]$$

نصف می‌شود (در مدل‌های یاد شده واحد مکش ماتریک و فشار اسمزی متر است)، a_1 و a_2 در مدل جمع‌پذیر ون گنوختن (Van Genuchten, 1987) ضرایب تجربی برای مکش آب خاک و فشار اسمزی

شرایط مشابه با مزرعه طبیعی از لحاظ تبخیر-تعرق با تراکم کشت 20×20 سانتی متر، گلدان‌ها بدون فاصله در کنار یکدیگر به صورت ردیفی داخل خاک کرت شالیزاری به ابعاد 20×40 متر قرار داده شد و مساحت باقی‌مانده کرت مطابق با روش رایج در منطقه نشاکاری شد.

به منظور تعیین املاح غالب رودخانه سپیدرود داده‌های مربوط به آنالیز کیفیت آب این رودخانه در ایستگاه رودبار در یک دوره آماری سی و پنج ساله از بانک اطلاعاتی شرکت آب منطقه‌ای گیلان دریافت شد (جدول ۲). املاح غالب رودخانه، کلرید سدیم (NaCl) و سولفات کلسیم ($CaSO_4$) به نسبت دو به یک می‌باشد که آب آبیاری با هدایت‌های الکتریکی یاد شده با رعایت این نسبت تهیه شد. از ابتدای مرحله تهیه

[۲] مدل جمع‌پذیر ون گنوختن (Van Genuchten, 1987)

[۳] مدل ضرب‌پذیر ون گنوختن (Van Genuchten, 1987)

[۴] مدل دیرکسن و همکاران (Dirksen et al., 1993)

[۵] مدل وان دام و همکاران (Van Dam et al., 1997)

[۶] مدل همایی و فدس (Homaei and Feddes, 1999)

$$(h_4 - \pi) \leq h \leq h_3 \text{ و } \pi \leq \pi^*$$

[۷] مدل اسکگز و همکاران (Skaggs et al., 2006b)

در رابطه‌های فوق $\alpha(h, \pi)$ تابع کاهش شدت جذب، h مکش ماتریک، π فشار اسمزی، h_{50} مکش ماتریکی که به ازای آن جذب آب توسط گیاه نصف می‌شود، π_{50} فشار اسمزی که به ازای آن جذب آب توسط گیاه

عملکرد نسبی برابر با یک، مقدار شوری آستانه محلول خاک بدست آمد. با قرار دادن نسبت عملکرد نسبی برابر با نیم در معادله، حد شوری ۵۰ درصد کاهش عملکرد محاسبه شد.

$$\begin{cases} \frac{Y_a}{Y_m} = 1 & 0 \leq EC_e \leq \\ \frac{Y_a}{Y_m} = 1 - (EC_e - EC_{e-th}) \frac{b}{100} & EC_e > E \end{cases} \quad [11]$$

برای تعیین پتانسیل‌های آستانه کاهش جذب آب در برنج، لازم بود رابطه بین عملکرد نسبی گیاه و میانگین رطوبت حجمی خاک در طی فصل رشد در تیمارهای غیرغرقاب و با شوری آب یک دسی‌زیمنس بر متر بدست آید. به دلیل حساسیت تعیین دقیق حد آستانه تنش خشکی، به صورت هم‌زمان آزمایش مجزایی با شرایط مشابه و در سه تکرار انجام شد. تیمارها شامل آبیاری غرقاب تا انتهای فصل کشت و قطع آبیاری در فواصل زمانی ۳، ۶، ۹، ۱۲، ۱۸ و ۲۱ روز از انتهای مرحله رشد سبزی‌نگی و ابتدای مرحله زایشی بود. رطوبت حجمی خاک در طول فصل رشد به صورت روزانه با دستگاه TDR اندازه‌گیری شد. برای دوره‌های آبیاری چهار و هشت روز، در روز آبیاری، رطوبت خاک پیش از انجام آبیاری مورد اندازه‌گیری قرار گرفت. با توجه به این که مکش آستانه کاهش جذب آب، مکشی است که در آن جذب نسبی شروع به کاهش می‌کند، با قرار دادن عملکرد نسبی برابر با یک در معادله رگرسیون برازش داده شده، مقدار رطوبت آستانه کاهش جذب محاسبه گردید. برای مشخص نمودن تابع تولید گیاه برنج در شرایط محدودیت آب از رابطه پیشنهادی (Doorenbos and Kassam, 1986) که توسط سپاسخواه و یوسفی فلک‌دهی (Sepaskhah and Yousofi-Falakdehi, 2010) اصلاح

گردیده است، استفاده شد:

$$p_r = \frac{\theta_s - \theta_{v3}}{\theta_s - \theta_{v4}}$$

$$\frac{Y_a}{Y_m} = 1 - K_y \left[1 - \frac{\alpha (h, \pi) ET_p}{ET_p} \right] \quad [12]$$

که در آن ET_p تبخیر- تعرق بالقوه گیاه (mm) و K_y

بوده و معمولاً با هم مساوی و برابر یک در نظر گرفته می‌شوند، P ضریب تجربی وابسته به خاک، گیاه و اقلیم است و معمولاً وقتی تابع S شکل برای داده‌های شوری بکار می‌رود برابر ۳ می‌باشد، h_4 پتانسیل در نقطه پژمردگی دائم و b درصد کاهش محصول به ازای افزایش یک واحد شوری است. P_1 و P_2 پارامترهای تجربی و با رابطه‌های زیر محاسبه می‌شوند:

$$P_1 = \frac{h_{max}}{h_{max} - h_3} \quad [8]$$

$$P_2 = \frac{\pi_{max}}{\pi_{max} - \pi^*} \quad [9]$$

h_3 مکش آستانه کاهش برای تنش خشکی، π^* فشار اسمزی آستانه کاهش برای تنش شوری، h_{max} آستانه دوم کاهش که مکش ماتریک را بدون این که تاثیر معنی‌داری بر جذب آب ریشه داشته باشد، کاهش می‌دهد و π_{max} آستانه دوم کاهش که فشار اسمزی را بدون این که تاثیر معنی‌داری بر جذب آب ریشه داشته باشد، کاهش می‌دهد. با استفاده از شوری‌های اندازه‌گیری شده در خاک و رابطه ۱۰ (Richards, 1954) فشار اسمزی محاسبه شد که در آن، π فشار اسمزی (cm) و EC_e شوری محلول اشباع خاک ($dS \cdot m^{-1}$) است.

$$\pi = -360 \times EC_e \quad [10]$$

عملکرد نسبی در شرایط تنش شوری از رابطه ۱۱ بدست آمد (Mass and Hoffman, 1977) که در آن EC_e هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک ($dS \cdot m^{-1}$)، EC_{e-th} حد آستانه هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک ($dS \cdot m^{-1}$) که در مقادیر بیش از آن عملکرد کاهش می‌یابد. b درصد کاهش عملکرد به ازای هر واحد افزایش در شوری خاک، Y_a عملکرد واقعی دانه و Y_m حداکثر عملکرد دانه مورد انتظار در شرایطی است که هدایت الکتریکی کم‌تر از هدایت الکتریکی آستانه باشد. برای بدست آوردن حد آستانه شوری، عملکرد نسبی گیاه در مقابل شوری خاک برازش داده شد. در معادله رگرسیون برازش داده شده، با لحاظ مقدار

مشاهده و پیش‌بینی شده تعیین گردید. پس از آزمون F، شیب رابطه خطی و عرض از مبدا آن برای مدل برتر لازم است به ترتیب به یک و صفر نزدیک و اختلاف معنی‌دار نداشته باشند. تجزیه‌های آماری با استفاده از نرم‌افزار MSTATC، مقایسه میانگین‌ها به کمک آزمون LSD و نیز آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح یک و پنج درصد در این نرم‌افزار و رسم نمودارها با استفاده از نرم‌افزار Excel2007 انجام شد.

نتایج و بحث

تجزیه واریانس عملکرد دانه نشان داد که بین سطوح شوری، آبیاری و شوری در آبیاری در سطح احتمال یک درصد اختلاف معنی‌داری وجود داشت. نتایج نشان داد که تیمار شوری یک دسی‌زیمنس بر متر در یک گروه و تیمارهای شوری ۲ و ۳ دسی‌زیمنس بر متر و نیز ۴ و ۵ دسی‌زیمنس بر متر در گروه دیگری قرار گرفتند (جدول ۳).

فاکتور بدون بعد واکنش گیاه به تنش خشکی در طول فصل رشد است که برای گیاه برنج برابر با یک (بر پایه نشریه FAO 56)، می‌باشد. عملکرد نسبی با بهره‌گیری از معادله ۱۲ و ضریب کاهش جذب آب $\alpha(h, \pi)$ ، که با استفاده از مدل‌های ماکروسکوپی جذب آب در شرایط توام خشکی و شوری (رابطه‌های ۲ تا ۷) برآورد گردیده بود، پیش‌بینی شد. به منظور ارزیابی توانایی مدل‌های ماکروسکوپی جذب آب برای پیش‌بینی عملکرد نسبی از شاخص‌های آماری پیشنهادی توسط پیرمادیان و سپاسخواه (Pirmoradian and Sepaskhah, 2006) و ژبیونگ و همکاران (Xiong et al., 2008) شامل قدرمطلق میانگین خطا (MAE)، ضریب تبیین (R^2)، میانگین ریشه دوم خطا (RMSE)، ضریب باقیمانده جرم (CRM) و ضریب توافق (d) استفاده شد. مدل برتر در پیش‌بینی دارای بیش‌ترین R^2 ، MAE نزدیک به صفر، d نزدیک به یک، RMSE و CRM کوچک‌تر است. علاوه بر آماره‌های فوق رابطه خطی (یک به یک) بین عملکرد نسبی

جدول ۳- برش‌دهی اثر تیمارهای شوری و آبیاری بر عملکرد دانه (گرم در بوته) برنج رقم هاشمی

Table 3. Slicing effect of salinity and irrigation treatments on grain yield (g.plant⁻¹) of rice (cv. Hashemi)

شوری Salinity (dS.m ⁻¹)	آبیاری Irrigation			میانگین Average
	غرقاب دائم Continuous flooding	دور آبیاری ۴ روز 4 Days intervals	دور آبیاری ۸ روز 8 Days intervals	
1	7.893b	8.593a	6.323c	7.600a
2	5.855de	5.743de	2.634i	4.740bc
3	5.677e	6.041cd	2.852i	4.857b
4	3.802g	5.663e	3.201h	4.222cd
5	3.981g	5.281f	2.649i	3.970cd
Average میانگین	5.440b	6.264a	3.532c	

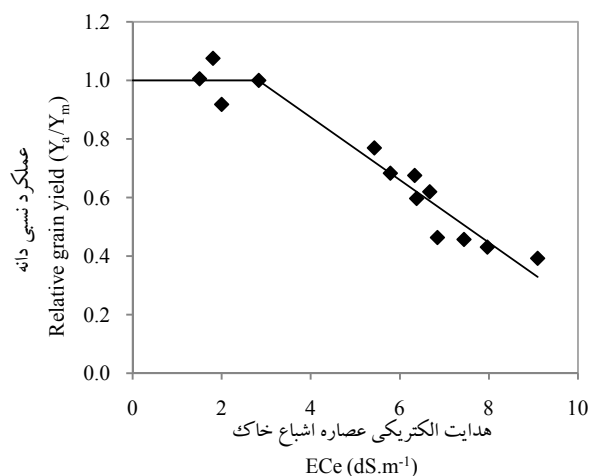
در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند، بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

Mean in each column followed by similar letter(s) are not significantly different at 5% probability level, using Duncan's Multiple Range Test

خود اختصاص داده و تیمارهای غرقاب دائم و دور ۸ روز، عملکرد دانه را به ترتیب ۱۳/۱۶ و ۴۳/۶۲ درصد نسبت به این تیمار کاهش دادند. این موضوع با نتایج حاصل از تحقیقات تتاوی و قانم (Tantawi and Ghanem, 2001) مطابقت دارد. برای

به طور کلی تیمارهای شوری ۲، ۳، ۴ و ۵ دسی‌زیمنس بر متر نسبت به تیمار شوری یک دسی‌زیمنس بر متر به ترتیب ۳۷/۵۸، ۳۶/۰۹، ۴۴/۴۵ و ۴۷/۷۶ درصد عملکرد دانه را کاهش دادند. تیمار آبیاری با دور ۴ روز بیش‌ترین عملکرد دانه را به

نرخ کاهش عملکرد به ازای هر واحد شوری (b) برابر با ۱۰/۶ بود، یعنی با افزایش هر واحد شوری، عملکرد نسبی ۱۰/۶ درصد کاهش می‌یابد. کاوسی و مجللی (Kavoosi and Mojalali, 1996) کاهش عملکرد را برای ارقام اصلاح شده پرمحصول سپیدرود و خزر و رقم بومی حسن سرایی به ترتیب برابر ۱۸، ۱۴/۲ و ۱۱/۶ درصد به ازای هر واحد افزایش شوری خاک گزارش کردند و شوری آستانه کاهش عملکرد در این سه رقم را به ترتیب ۲/۰، ۲/۲۷ و ۲/۴۵ دسی‌زیمنس بر متر به دست آوردند. این نتایج نشان می‌دهد که ارقام بومی (مانند هاشمی و حسن سرایی) از آستانه تحمل بیش‌تر و نرخ نزولی کم‌تری نسبت به ارقام پرمحصول برخوردارند.

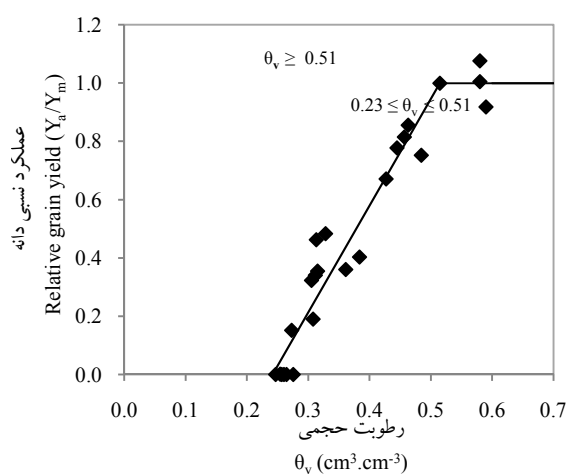


شکل ۲- تغییرات عملکرد نسبی گیاه برنج (رقم هاشمی) نسبت به هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک در تیمار غرقاب دائم
Fig. 2. Changes of relative yield of rice (cv. Hashemi) versus EC of soil saturated extraction in continuous flooding treatment

تیمار آبیاری با دور ۸ روز، افزایش شوری به بیش از دو دسی‌زیمنس بر متر نیز اثر معنی‌داری بر کاهش عملکرد دانه نداشت که این موضوع می‌تواند نشان دهنده نقش غالب تنش خشکی باشد.

تعیین شوری آستانه محلول خاک

رابطه بین عملکرد نسبی گیاه برنج در مقابل شوری خاک در تیمار آبیاری غرقابی در شکل ۲ نشان داده شده است. چنانچه مقدار عملکرد نسبی در معادله رگرسیون برازش داده شده برابر یک قرار داده شود، حد آستانه شوری محلول خاک (EC_{e-th}) برای کاهش عملکرد برابر با ۲/۸۳ دسی‌زیمنس بر متر و اگر مقدار عملکرد نسبی در معادله حاصل برابر با ۰/۵ قرار داده شود، حد آستانه شوری برای ۵۰ درصد کاهش عملکرد (EC_{50}) برابر با ۷/۵۵ دسی‌زیمنس بر متر خواهد بود.



شکل ۳- تغییرات عملکرد نسبی گیاه برنج (رقم هاشمی) نسبت به رطوبت حجمی خاک در تیمارهای آبیاری تناوبی
Fig. 3. Changes of relative yield of rice (cv. Hashemi) versus soil volumetric moisture in interval irrigation treatments

مقدار رطوبت آستانه کاهش جذب آب (θ_{v3}) برابر با ۰/۵۱ سانتی‌متر مکعب بر سانتی‌متر مکعب و مکش معادل آن (h_3) با استفاده از منحنی مشخصه رطوبتی برابر با ۲۵۱ سانتی‌متر خواهد بود. دواتگر و همکاران (Davatgar *et al.*, 2009) برای رقم هاشمی در استان گیلان گزارش کردند که تعرق نسبی از مکش ۷۸۰

تعیین آستانه کاهش و توقف جذب آب

رابطه بین عملکرد نسبی در مقابل میانگین رطوبت حجمی خاک در طول فصل رشد برای تیمارهای آبیاری تناوبی (بدون اعمال تنش شوری) در شکل ۳ نشان داده شده است. چنانچه در معادله رگرسیون عملکرد نسبی برابر یک قرار داده شود،

درصد و مکش معادل آن (h_{50}) برابر ۱۳۲۳ سانتی متر خواهد بود، در حالی که رطوبت حد ظرفیت مزرعه‌ای خاک مورد آزمایش (θ_{vFC}) ۴۹ درصد است. بنابراین رطوبت حد آستانه رقم هاشمی بیش تر از رطوبت حد ظرفیت زراعی خاک است. سپاسخواه و یوسفی فلکدهی (Sepaskhah and Yousofi-Falakdehi, 2010) نیز نتیجه‌ای مشابه را برای برنج رقم قصرالدشتی بدست آوردند. به نظر می‌رسد که حد ظرفیت زراعی نمی‌تواند شاخص مناسبی برای تعیین محدوده آب قابل استفاده در گیاه برنج باشد.

ارزیابی مدل‌های برآورد ضریب کاهش جذب آب

ضریب کاهش جذب آب در تنش‌های توام شوری و خشکی به وسیله مدل‌های ماکروسکوپی جذب آب ریشه (رابطه‌های ۲ تا ۷) برآورد گردیده و پس از قرار دادن در رابطه ۱۲ مقدار عملکرد نسبی برآورد شد. پارامترهای مورد نیاز برای محاسبه ضریب کاهش جذب آب در جدول ۴ نشان داده شده است. مقادیر اندازه‌گیری شده عملکرد نسبی در مقابل مقادیر پیش‌بینی شده آن توسط مدل‌های ماکروسکوپی جذب آب توسط ریشه نیز در نمودار یک به یک (۱:۱) در شکل ۴ نشان داده شده است.

معنی‌داری ضریب‌های شیب و عرض از مبدا و آماره‌های ارزیابی دقت برآوردها در جدول ۵ نشان داده شدند. در مدل جمع‌پذیر خطی ون‌گنوختن (Van Genuchten, 1987)، عرض از مبدا و شیب خط عملکرد نسبی مشاهده شده در مقابل پیش‌بینی شده به ترتیب از صفر و یک دارای اختلاف معنی‌دار بودند. از

سانتی متر شروع به کاهش نموده و در ۱۸۵۰ سانتی متر به صفر می‌رسد. بومن و همکاران (Bouman *et al.*, 2001) نیز حد آستانه مکش آب خاک را برای کاهش تعرق نسبی گیاه برنج ۷۰۰ سانتی متر گزارش نمودند. دورنبوس و کاسام (Doorenbos and Kassam, 1986) نشان دادند هنگامی که رطوبت خاک به ۷۰ تا ۸۰ درصد مقدار اشباع می‌رسد، عملکرد گیاه برنج شروع به کاهش می‌کند که بر اساس نتایج حاصل از آزمایش حاضر، این میزان ۸۰ درصد رطوبت اشباع است. بومن و تانگ (Bouman and Tuong, 2001) نشان دادند که در دامنه مکش خاک ۱۰۰ سانتی متر، عملکرد گیاه برنج به میزان کمی کاهش می‌یابد. شارما (Sharma, 1989) در مکش‌های خاک ۱۰۰ و ۳۳۰ سانتی متر کاهش معنی‌دار عملکرد گیاه برنج را به میزان ۸ و ۱۳ درصد گزارش کرد.

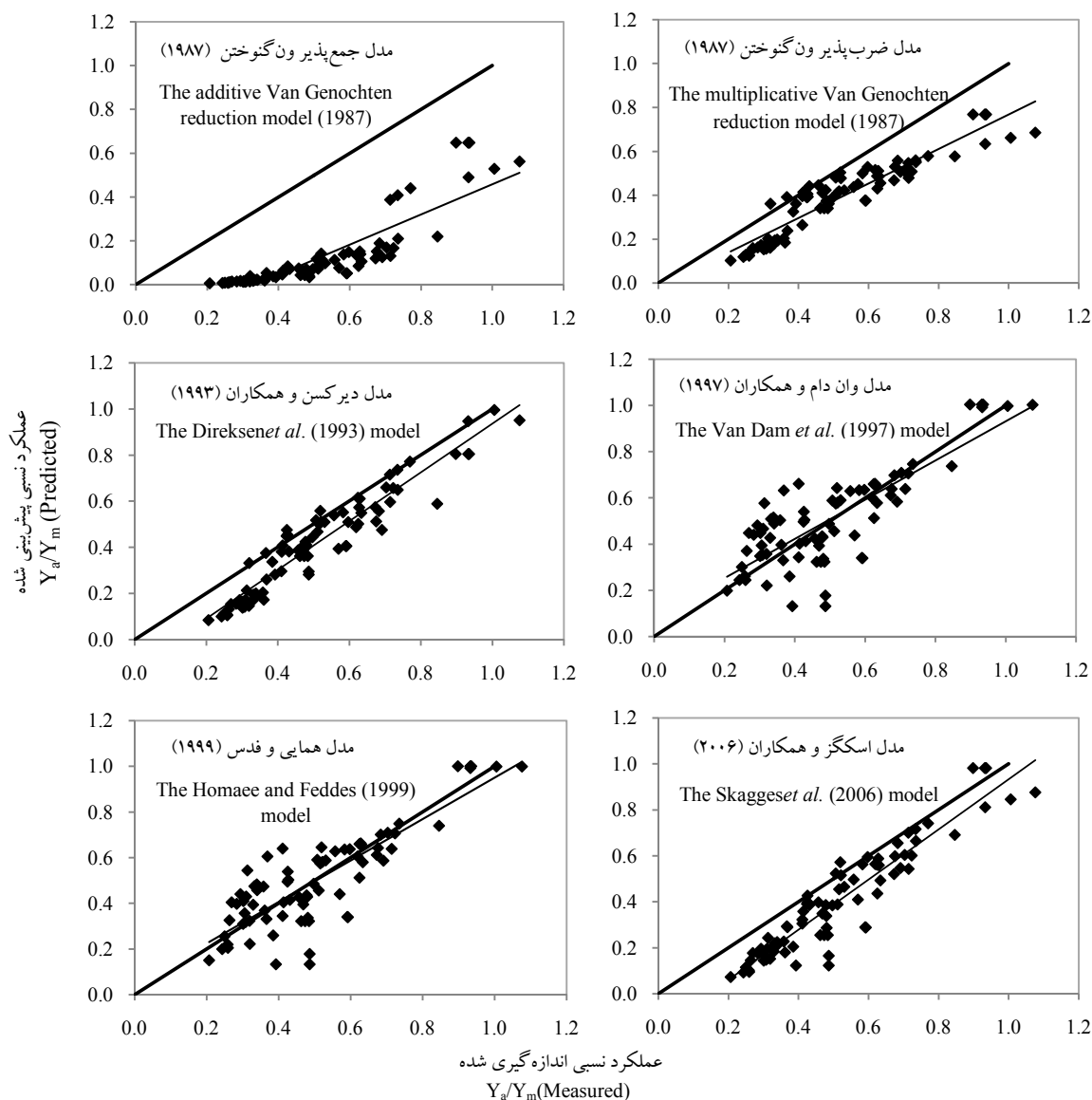
چنانچه عملکرد نسبی در معادله استخراج شده برابر صفر قرار داده شود، مقدار رطوبت در نقطه پژمردگی دائم یا توقف جذب آب (θ_{v4}) برابر ۲۴ درصد و مکش معادل با آن (h_4) ۱۱۸۳ سانتی متر خواهد بود. دواتگر و همکاران (Davatgar *et al.*, 2009) نشان دادند که توقف جذب آب در مکش ۱۵۰۰۰ سانتی متر در خصوص گیاه برنج رقم هاشمی صادق نمی‌باشد. شیب زیاد کاهش عملکرد نسبی نسبت به رطوبت حجمی (۳/۶۵۴) نشان دهنده سرعت بالای تاثیر تنش کمبود آب در این رقم است. اگر Y_a/Y_m برابر ۰/۵ قرار داده شود، رطوبت ۵۰ درصد کاهش عملکرد (θ_{v50}) برابر ۳۸

جدول ۴- پارامترهای مورد نیاز در معادلات محاسبه ضریب جذب آب سایر محققان (رابطه‌های ۲ تا ۷)

Table 4. The required parameters for computing coefficient in water adsorption equations of other

researchers (Equations 2 to 7)

مکش آستانه کاهش جذب در تنش خشکی h_3 (cm)	مکش پژمردگی دائم یا توقف جذب آب h_4 (cm)	مکش ماتریکی که جذب آب گیاه نصف می‌شود h_{50} (cm)	فشار اسمزی آستانه کاهش عملکرد π^* (cm)	فشار اسمزی که جذب آب گیاه نصف می‌شود π (cm) ₅₀	ضرایب تجربی	
					P ₁	P ₂
-251.16	-11183.49	-1322.77	-1018.87	-2716.98	1.02	1.30



شکل ۴- مقایسه مقادیر اندازه‌گیری شده عملکرد نسبی در برابر مقادیر پیش‌بینی شده با مدل‌های کاهش جذب آب برای برنج (رقم هاشمی)

Fig. 4. Comparison of measured values of relative grain yield versus predicted values using the water adsorption reduction models for rice (cv. Hashemi)

و اسکگز و همکاران (Skaggs *et al.*, 2006a) نیز نشان دادند که کاربرد عمومی این مدل با عدم قطعیت زیادی همراه است. این وضعیت به ویژه برای مزارعی که با دامنه نسبتاً وسیعی از پتانسیل آب به علت دوره‌های تر و خشک مواجه هستند، وجود دارد. بنابراین مدل یاد شده قادر به پیش‌بینی صحیح تابع کاهش

سوی دیگر این مدل بر پایه آماره‌های ارزیابی در آخرین رتبه‌بندی و دارای کم‌ترین دقت در برآورد ضریب کاهش جذب آب و به دنبال آن عملکرد نسبی بود. این موضوع نشان می‌دهد که جذب آب تحت تاثیر تجمعی و همسان مکش آب و فشار اسمزی قرار ندارد. شالوت و هسیانو (Shalvet and Hsiao, 1986)

جدول ۵- آماره‌های ارزیابی مدل‌های کاهش جذب آب برای پیش‌بینی عملکرد نسبی برنج (رقم هاشمی)

Table 5. Evaluation statistics of water adsorption reduction models for predicting relative grain yield of rice (cv. Hashemi)

مدل‌ها*	تعداد نقاط	معادله	شیب	عرض از مبدا	ضریب تعیین	میانگین ریشه دوم خطا	ضریب باقی مانده جرم	میانگین قدرمطلق خطا	ضریب توافق	میانگین رتبه	رتبه نهایی
Models	No. of points	Equation	Slope	Intercept	R2	RMSE	CRM	MAE	d	Average of rank	Final rank
رابطه ۲ Eq. 2	81	y=0.69x-0.23	s	s	0.748(4)**	0.749(6)	-0.763(6)	0.390(6)	0.503(6)	5.6	6
رابطه ۳ Eq. 3	81	y=0.79x-0.02	s	s	0.863(3)	0.148(5)	-0.250(5)	0.022(3)	0.845(5)	4.2	5
رابطه ۴ Eq. 4	81	y=1.06x-0.12	ns	s	0.904(1)	0.125(3)	-0.180(3)	0.092(4)	0.926(1)	2.4	2
رابطه ۵ Eq. 5	81	y=0.85x+0.08	s	ns	0.653(6)	0.124(2)	0.013(2)	0.007(2)	0.896(4)	3.2	3
رابطه ۶ Eq. 6	81	y=0.91x+0.04	ns	ns	0.707(5)	0.116(1)	-0.009(1)	0.005(1)	0.914(2)	2	1
رابطه ۷ Eq. 7	81	y=1.09x-0.16	ns	s	0.874(2)	0.139(4)	-0.217(4)	0.111(5)	0.899(3)	3.6	4

ns: Not significant

s: Significant at 5% probability level

ns: غیر معنی‌دار

S: معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد

*: (۲) مدل جمع‌پذیر خطی ون گنوختن، (۳) مدل ضرب‌پذیر ون گنوختن، (۴) مدل دیرکسن و همکاران، (۵) مدل وان دام و همکاران، (۶) مدل همایی و فدس، (۷) مدل اسکگز و همکاران

*: (2) The additive Van Genochten reduction model, (3) The multiplicative Van Genochten reduction model, (4) The Direksen et al. model, (5) The Van Dam *et al.* model, (6) The Homae and Feddes model, (7) The Skagges *et al.* model.

** : Number in parenthesis indicate the ranked of model in statistics.

** : اعداد داخل پرانتز رتبه مدل را در آماره نشان می‌دهد.

جذب آب در اثر تنش هم‌زمان شوری و خشکی نمی‌باشد. از سوی دیگر ضریب باقیمانده جرم (CRM) برای این مدل منفی و نشان دهنده کم برآوردی این مدل نسبت به واقعیت است. بر پایه آماره‌های ارزیابی، مدل ضرب‌پذیر ون‌گنوختن (Van Genuchten, 1987) علی‌رغم این که پیش‌بینی‌های بهتری را نسبت به مدل جمع‌پذیر ارائه نمود، اما هم‌چنان عرض از مبدا و شیب خط بزرگ و اختلاف آنها نسبت به صفر و یک معنی‌دار و از رتبه ضعیفی برخوردار بود.

به نظر می‌رسد که یکی از بزرگ‌ترین اشکالات مدل‌های جمع‌پذیر و ضرب‌پذیر ون‌گنوختن (رابطه‌های ۲ و ۳) در خطی فرض نمودن پاسخ گیاه نسبت به هر یک از تنش‌های خشکی و شوری و عدم لحاظ حدهای آستانه برای مکش‌های رطوبتی و شوری است، اما منحنی‌های پاسخ گیاه نسبت به تنش‌های خشکی و شوری به شکل سیگموئید (Van Genuchten and Hoffman, 1984) و یا مدل شیب-آستانه (Threshold-slope model) هستند (Feddes *et al.*, 1978) که در آنها حدهای آستانه برای پتانسیل رطوبتی و شوری وجود دارند.

مدل همایی و فدس (Homae and Feddes, 1999) دارای شیب خط و عرض از مبدا به ترتیب بدون اختلاف معنی‌دار و نزدیک به یک و صفر و بر پایه آماره‌های ارزیابی دارای بالاترین رتبه نهایی بود که نشان دهنده توانایی بالای آن در پیش‌بینی صحیح تابع کاهش برهمکنش تنش شوری و خشکی است. نتایج بدست آمده توسط سپاسخواه و یوسفی فلکدهی (Sepaskhah and Yousofi-Falakdehi, 2010) در گیاه برنج رقم قصرالدشتی نیز بر این موضوع تاکید دارد. مدل دیرکسن و همکاران (Dirksen *et al.*, 1993) بر پایه آماره‌های ارزیابی در رتبه دوم و به دنبال آنها مدل وان دام و همکاران (Van Dam *et al.*, 1997) و مدل اسکگز و همکاران (Skaggs *et al.*, 2006) قرار داشتند. در این مدل‌ها بر خلاف مدل همایی و فدس

با افزایش تنش خشکی در تیمارهایی با شوری آب آبیاری تا ۳ دسی‌زیمنس بر متر مدل‌های وان دام و همکاران (Van Dam *et al.*, 1997) و همایی و فدس (Homae and Feddes, 1999) مقدار عملکرد نسبی را بیش تر از مقدار واقعی برآورد نمودند، اما مدل‌هایی مانند اسکگز و همکاران (۲۰۰۶)، دیرکسن و همکاران (Dirksen *et al.*, 1993) و مدل ضرب‌پذیر وان‌گنوختن (Van Genuchten, 1987) نتایج نزدیک‌تری را به واقعیت ارائه دادند (نتایج نشان داده نشده است). با افزایش شوری آب آبیاری، دقت مدل‌های وان دام و همکاران (Van Dam *et al.*, 1997) و همایی و فدس (Homae and Feddes, 1999) در پیش‌بینی کاهش جذب آب و عملکرد نسبی افزایش یافت، به گونه‌ای که در تیمار با شوری آب آبیاری ۴ دسی‌زیمنس بر متر، برآورد مدل همایی و فدس (Homae and Feddes, 1999) تقریباً منطبق با مقدار واقعی بود. علت تفاوت رفتار مدل را می‌توان این گونه بیان نمود که هرگاه اثر تنش‌های خشکی و شوری متوازن باشند، پاسخ مدل به واقعیت نزدیک‌تر بوده، اما هر گاه توازن این دو تنش بهم خورده و اثر یکی بر

جذب آب در اثر تنش هم‌زمان شوری و خشکی نمی‌باشد. از سوی دیگر ضریب باقیمانده جرم (CRM) برای این مدل منفی و نشان دهنده کم برآوردی این مدل نسبت به واقعیت است. بر پایه آماره‌های ارزیابی، مدل ضرب‌پذیر ون‌گنوختن (Van Genuchten, 1987) علی‌رغم این که پیش‌بینی‌های بهتری را نسبت به مدل جمع‌پذیر ارائه نمود، اما هم‌چنان عرض از مبدا و شیب خط بزرگ و اختلاف آنها نسبت به صفر و یک معنی‌دار و از رتبه ضعیفی برخوردار بود.

به نظر می‌رسد که یکی از بزرگ‌ترین اشکالات مدل‌های جمع‌پذیر و ضرب‌پذیر ون‌گنوختن (رابطه‌های ۲ و ۳) در خطی فرض نمودن پاسخ گیاه نسبت به هر یک از تنش‌های خشکی و شوری و عدم لحاظ حدهای آستانه برای مکش‌های رطوبتی و شوری است، اما منحنی‌های پاسخ گیاه نسبت به تنش‌های خشکی و شوری به شکل سیگموئید (Van Genuchten and Hoffman, 1984) و یا مدل شیب-آستانه (Threshold-slope model) هستند (Feddes *et al.*, 1978) که در آنها حدهای آستانه برای پتانسیل رطوبتی و شوری وجود دارند.

مدل همایی و فدس (Homae and Feddes, 1999) دارای شیب خط و عرض از مبدا به ترتیب بدون اختلاف معنی‌دار و نزدیک به یک و صفر و بر پایه آماره‌های ارزیابی دارای بالاترین رتبه نهایی بود که نشان دهنده توانایی بالای آن در پیش‌بینی صحیح تابع کاهش برهمکنش تنش شوری و خشکی است. نتایج بدست آمده توسط سپاسخواه و یوسفی فلکدهی (Sepaskhah and Yousofi-Falakdehi, 2010) در گیاه برنج رقم قصرالدشتی نیز بر این موضوع تاکید دارد. مدل دیرکسن و همکاران (Dirksen *et al.*, 1993) بر پایه آماره‌های ارزیابی در رتبه دوم و به دنبال آنها مدل وان دام و همکاران (Van Dam *et al.*, 1997) و مدل اسکگز و همکاران (Skaggs *et al.*, 2006) قرار داشتند. در این مدل‌ها بر خلاف مدل همایی و فدس

برنج، مدل جمع پذیر مقدار عملکرد نسبی را کم تر از مقدار واقعی آن برآورد نمود که نشان دهنده کم تر بودن اثر تنش هم زمان شوری و کم آبی از مجموع اثرات آنها است. مدل همایی و فدس (Homae and Feddes, 1999) که ترکیبی از معادلات خطی و غیرخطی است از دقت بیش تری در برآورد پارامتر ضریب کاهش جذب آب در برهمکنش تنش های شوری و خشکی برخوردار است. این نتایج نشان داد که علی رغم محدودیت های فیزیولوژیک، این مدل توانایی زیادی در پیش بینی توابع کاهش جذب آب و استفاده از اطلاعات آن در برآورد عملکرد در شرایط وقوع هم زمان تنش شوری و خشکی را داراست، بنابراین می توان از آن برای طراحی و تحلیل فعالیت های مدیریت ریسک استفاده نمود. هم چنین با توجه به ضریب همبستگی بالای مدل دیرکسن و همکاران (Dirksen *et al.*, 1993) و موازی بودن معادله خط مدل با خط یک به یک و فاصله کم این دو خط از یکدیگر پیشنهاد می شود با تکرار آزمایش برای ارقام مختلف برنج، تصحیح مدل مورد بررسی قرار گیرد.

دیگری غلبه یابد مدل ها قادر به تخمین صحیح تابع کاهش شدت جذب آب نخواهند بود.

نتیجه گیری

نتایج نشان داد که گیاه برنج (رقم هاشمی) بر پایه حد شوری آستانه عصاره اشباع خاک (۲/۸۳ دسی زیمنس بر متر) و کاهش ۱۰/۶ درصدی عملکرد نسبی به ازای افزایش هر واحد شوری خاک، نسبت به تنش شوری حساس است. از سوی دیگر مقدار حد آستانه رطوبت برای کاهش جذب آب این رقم نیز ۵۱ درصد حجمی می باشد که نشان دهنده کاهش عملکرد این رقم در رطوبت حتی بالاتر از رطوبت ظرفیت مزرعه است. آستانه کاهش جذب آب در تنش خشکی از مکش ۲۵۱ سانتی متر آغاز می شود، در حالی که مکش معادل آستانه کاهش جذب آب در شرایط تنش شوری برابر با ۱۰۱۹ سانتی متر است، بنابراین با توجه به این که آغاز تنش خشکی برای رقم هاشمی در رطوبت بیش از حد ظرفیت زراعی است و با توجه به سرعت زیاد گسترش این تنش در مقایسه با تنش شوری، می توان اظهار داشت که این رقم نسبت به تنش خشکی حساس تر است. در شبیه سازی عملکرد گیاه

References

منابع مورد استفاده

- Abbasi, F. 2008. Advanced soil physics. University of Tehran Press (In Persian).
- Allen, R. G., L. S. Pereira, D. Raes and M. Smith. 1998. Crop evapotranspiration. Irrigation and Drainage Paper, No. 56, Food and Agriculture Organization (FAO), Rome, Italy.
- Anonymous. 2010. The update study of water resources atlas of Sefidroud and Talesh-Anzali Lagoon. The Ministry of Energy, Guilan Regional Water Resources Company (In Persian).
- Baghdadi, M. 1998. The north of Iran's soils investigation (Guilan province), a comprehensive mapping project of Iran's soils. Ministry of Agriculture. Research Organizations, Education and Agricultural Extension, Soil and Water Research Institute. Technical Bulletin No. 1045 (In Persian).
- Bouman, B. A. M., M. J. Kropff, T. P. Tuong, M. C. S. Wopereis, M. F. M. Ten Berge and H. H. Van Laar. 2001. ORYZA 2000: Modeling Lowland Rice. IRRI. The Philippines, P. 235.
- Bouman, B. A. M. and T. P. Tuong. 2001. Field water management to save water and increase its productivity

in irrigated rice. Agric. Water Manag. 49: 11-30.

Cardon, G. E. and J. Letey. 1992. Plant water uptake terms evaluate for soil water and solute movement models. Soil. Sci. Am. J. 32: 1876-1880.

Davatgar, N., M. R. Neishabori, A. R. Sepaskhah and A. Soltani. 2009. Physiological and morphological responses of rice (*Oryza sativa* L.) to varying water stress management stratiges. International Journal of plant Production 3(4): 1735-8043.

Davatgar, N., M. Kavooosi, M. H. Alinia and M. Peykan. 2006. Study of potassium status and effect of physical and chemical properties of soil on it in paddy soils of Guilan Province. JWSS, Isfahan University of Technology 9(4): 71-89. (In Persian with English abstract).

Dirksen, C., J. B. Kool, P. Koorevaar and M. Th. Van Genuchten. 1993. HYSWASOR–Simulation model of hysteretic water and solute transport in the root zone. In: D. Russo and G. Dagan (Eds). Water Flow and Solute Transport in Soils. Springer Verlag, pp. 99-122.

Doorenbos, J. and A. H. Kassam. 1986. Yield response to water. Food and Agriculture Organisation (FAO) of the United Nations. Irrigation and Drainage Paper No. 33, Rome, Italy.

Feddes, R. A., P. Kowalik and H. Zarandy. 1978. Simulation of water use and crop yield. Simulation Monograph. Pudoc Wageningen, The Netherlands.

Homaei, M. 2002. Plant response to salinity. Iranian National Committee on Irrigation and Drainage (IRNCID) Press.No. 58 (In Persian).

Homaei, M. and R. A. Feddes. 1999. Water uptake under nonuniform transient salinity and water stress. In: J. Feyen and K. Wiyo (Eds.), Modeling of Transport Processes in Soil at Various Scales in Time and Space. 416-427.

Homaei, M., R. A. Feddes and C. Dirksen. 2002. A macroscopic water extraction model for nonuniform transient salinity and water stress. Soil SciSoc Am J 66: 1764-1772.

Islam, M. J., G. Mowla, M. S. Islam and P. B. Leeds-Harrison. 2003. Model for efficient use of limited water for rice production. Pak. J. Biol. Sci. 6: 1600-1607.

Japan International Cooperation Agency. 2012. The study on integrated water resources management for Sefidroud river basin in the Islamic Republic of Iran. Final report. CTI Engineering International Co., Ltd. Water Resources Management Company. The Ministry of Energy, the Islamic Republic of Iran.

Kavooosi, M. and H. Mojalali. 1996. Salinity effect of soil extraction on rice yield (Sepidroud, Hasansaraei and Khazar cultivars). Proceeding of 5th Congress of Iranian Soil Science. Karaj, Iran. pp131 (In Persian).

Mass, E. V. and G. J. Hoffman. 1977. Crop salt tolerance-current assessment. Irrig.Drainage Div. Am. So. Civ. Eng. 103 (IR2): 115-134.

Mohammadi, M. 1970. Pilot farm soil detailed report of improve rice farming Project. Institute of Soil and Fertility, Guilan Province. Bulletin No. 269 (In Persian).

- Phogat, V., A. K. Yadav and R. S. Malik. 2010.** Simulation of salt and water movement and estimation of water productivity of rice crop irrigated with saline water. *Paddy water Environ.* 8: 333-346.
- Pirmoradian, N. and A. R. Sepaskhah. 2006.** A very simple model for yield prediction of rice under different water and nitrogen applications. *Biosys. Engin.* 93(1): 25-34.
- Richards, L. A. 1954.** Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. U. S. Dept. of Agriculture. *Agricultural Handbook*, No 60.
- Sepaskhah, A. R. and A. Yousofi-Falakdehi. 2010.** Rice yeild modeling under salinity and water stress condition using an appropriate macroscopic root water uptake equation. *Pak. J. Biol. Sci.* 13(22): 1099-1105.
- Shalhevet, J. and Th. C. Hsiao. 1986.** Salinity and drought. *Irrig. Sci.* 7: 249-264.
- Sharma, P. K. 1989.** Effect of period moisture stress on water-use efficiency in wetland rice. *Oriza* 26: 252-257.
- Skaggs, T. H., M. Th., Van Genuchten, P. J. Shouse and J. A. Poss. 2006a.** Macroscopic approaches to root water uptake as a function of water and salinity stress. *Agric. Water Manage.* 86: 140-179.
- Skaggs, T. H., P. J. Shouse and J. A. Poss. 2006b.** Irrigating forage crops with saline waters: 2. Modeling root uptake and drainage. *Vadose Zone J.* 5: 824-837.
- Tantawi, B. A. and S. A. Ghanem. 2001.** Water use efficiency in rice culture. Agricultural Research Center, Giza (Egypt). *CIHM-Optin Mediterranean's*, 40: 39-45.
- Van Dam, J. C., J. Huygen, J. G. Wesseling, R. A. Feddes, P. Kabat, P. E. V. Van Walsum, P. Groenendijk and C. A. Van Diepen. 1997.** Theory of SWAP, version 2.0. Simulation of water flow, solute transport and plant growth in soil- water- atmosphere- plant enviroment. Rep. No. 71. Dept. of Water Resour., Wageningen. Agricultural Univ., Wageningen, The Netherland.
- Van Genuchten, M. Th. 1987.** A numerical model for water and solute movement in and below the root zone. Res. Report. U. S. Salinity Lab. Riverside. CA.
- Van Genuchten, M. Th. 1980.** A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 44: 892-898.
- Van Genuchten, M. Th. and G. J. Hoffman. 1984.** Analysis of crop salt tolerance data. In: shainberg, I., Shalhevet, J. (Eds.), *Soil salinity under irrigation, Ecological Studies*. Vol. 51. Springer Verlag, Berlin. 258-271.
- Van Genuchten, M. Th., F. J. Leij and S. R. Yates. 1991.** The RETC code for quantifying the hydraulic function of unsaturated soils. EPA/600/2-91/065. USEPA, Ada. Oklahoma, American.
- Wopereis, M. C. S., M. J. Kropff, A. R. Maligaya and T. P. Toung. 1996.** Drought-stress responses of two lowland rice cultivars to soil water status. *Field Crops Res.* 46: 21-39.
- Xiong, W., I. Holman, D. Conway and E. Lin. 2008.** A crop model cross calibration for use in regional climate impacts studies. *Ecol. Modeling* 213: 365-380.

Simulation of simultaneous effect of salinity and drought stresses on grain yield of rice cv. Hashemi

Salahshour Dalivand, F.¹, A. A. Sadradini², A. H. Nazemi³, N. Davatgar⁴ and M. R. Neyshabouri⁵

ABSTRACT

Salahshour Dalivand, F., A. A. Sadradini, A. H. Nazemi, N. Davatgar and M. R. Neyshabouri. 2014. Simulation of simultaneous effect of salinity and drought stresses on grain yield of rice cv. Hashemi. *Iranian Journal of Crop Sciences*.15(4): 320-336. (In Persian).

Simultaneous effect of salinity and drought stresses and their critical limits imposed on cv. Hashemi (most common rice cultivar in Guilan province) was investigated. Also the best model to estimate the reduction of plant's water absorption due to simultaneous interaction of salinity and water stresses was identified. Experimental treatments consisted of three levels of irrigation; continuous flood irrigation (3 cm water height) and two intermittent irrigation (4 and 8 days intervals) and five levels of salinity by using irrigation water with electric conductivity of 1, 2, 3, 4 and 5 dS.m⁻¹ applied in factorial based randomized block design with four replications. Results indicated that for rice plant yield loss threshold due to drought stress occurred at soil moisture about 80% of saturation. Salinity threshold for this cultivar was at soil extraction of 2.83 dS.m⁻¹ which implies it's sensitivity to salinity. Among the evaluated models, the best model for predicting the reduction of plant's water absorption due to simultaneous effect of salinity and water stresses is Homaei and Feddes for rice. In this model, by subtraction of yield reduction threshold osmotic pressure from the soil water pressure in permanent wilting point, simultaneous effect of salinity and water stresses assumed to be less than total or product of these stresses. It is concluded that under conditions when drought and salinity stresses are not balance, predictions by this model are closer to observation and the prediction of relative low grain yield is possible.

Key words: Drought stress, Salinity stress, Rice and Water uptake models.

Received: May, 2013

Accepted: October, 2013

1- Ph.D Student, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran (Corresponding author)

(Email:ph_salahshoor@yahoo.com)

2& 3- Associate Prof., Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran

4- Assistant Prof., Rice Research Institute of Iran, Rasht, Iran

5- Professor, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran