"مجله علوم زراعی ایران"
جلد پانزدهم، شماره ٤، زمستان ۱۳۹۲

# 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]، ناصردواتگر[۴] و محمدرضا نیشابوری[۵]

## چکیده

**سلحشور دلیوند، ف.، ع. ا. 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(٤): ۳۳٦-۳۲۰.**

**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 برآورد 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، دورهای آبیاری ٤ و ۸ روز و شوری در پنج سطح (۱، ۲، ۳، ٤ و ٥ 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 توام 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.**

تاریخ دریافت:۱۳۹۲/۲/۱۷ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۸/۸ این مقاله مستخرج از رساله دوره دکتری نگارنده اول می‌باشد

۱- دانشجوی دکتری دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز. عضوانجمن 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





[ DOR: 20.1001.1.15625540.1392.15.4.3.7 ]

**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 آبریزسپیدرود 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 دارسی- 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 تجمعی پتانسیل 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





[ DOR: 20.1001.1.15625540.1392.15.4.3.7 ]

همکاران (Van Dam *et al.*, 1997) توابع کاهش جذب فدس 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 فدس (Homaee and Feddes, 1999) نیز روشی را برای بیان اثر مشترک شوری و کم آبی ارائه نمودند که مبتنی بر ترکیب معادلات خطی و غیرخطی وابسته به شوری با معادله جذب آب توسط ریشه بوده و معتقدند که این روش با نظرات جمع‌پذیر و ضرب‌پذیر به طور بنیادی تفاوت دارد (Homaee, 2002). هر چند جمع‌پذیر بودن اثر تنش‌های شوری و خشکی از تعدادی از مطالعات آزمایشگاهی و صحرایی استنتاج گردیده است (Skaggs *et al.*, 2006a)، اما نتایج تحقیقات نشان می‌دهد که نظریه ضرب‌پذیر نتایج نزدیک‌تری را به واقعیت ارائه می‌دهد (Sepaskhah and Yousofi-Falakdehi, 2010). فوگات و همکاران (Phogat *et al.*, 2010) نیز در شبیه‌سازی جریان آب و املاح به کمک مدل هایدروس، نظریه ضرب‌پذیر را بر اساس مدل‌های فدس و همکاران (Feddes *et al.*, 1978) و همایی و همکاران (Homaee *et al.*, 2002) در تنش خشکی استفاده نمودند. همایی و همکاران (Homaee *et al.*, 2002) نشان دادند که مدل همایی و فدس (Homaee and Feddes, 1999) که بر پایه ترکیب معادلات خطی و غیرخطی مرتبط با تنش خشکی و شوری قرار دارد، در مقایسه با مدل‌های جمع‌پذیر و ضرب‌پذیر نتایج بهتری را ارائه می‌دهد.

بر اساس بررسی منابع انجام شده، تا کنون از مدل‌های یاد شده برای شبیه‌سازی 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 تنش‌های شوری و خشکی بر گیاه برنج (رقم هاشمی) و تعیین حد آستانه تحمل آن در مراحل پنجه‌زنی و گلدهی که از حساس‌ترین 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 پیش‌بینی عملکرد در شرایط محدودیت هم‌زمان خشکی و شوری، انجام شد.

## مواد و روش‌ها

این تحقیق در سال ۱۳۸۹ در موسسه تحقیقات برنج کشور (رشت) که در واحد فیزیوگرافی دشت‌های 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 میلی‌متر است. خاک محل آزمایش دارای بافت رس سیلتی بوده و کانی غالب آن از نوع اسمکتیت (Smectite) است. از ویژگی‌های این منطقه وجود آب زیرزمینی در عمق کم‌تر از ۱۰ متر و وجود حالت غرقابی در لایه‌های سطحی خاک (تا عمق دو متر) در اثر بارندگی و آبیاری است (Baghdadi, 1998; Mohammadi, 1970). ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد مطالعه در جدول یک نشان داده شده است.

برای تعیین منحنی مشخصه رطوبتی خاک مورد مطالعه در مکش‌های ماتریک صفر، ۱۰۰ و ۱۵۰ سانتی‌متر از مجموعه ستون آویزان و در هر یک از پتانسیل‌های ماتریک ۳۳۰، ۱۰۰۰، ۲۰۰۰، ۳۰۰۰، ۶۰۰۰، ۹۰۰۰ و ۱۵۰۰۰ سانتی‌متر از محفظه فشار استفاده شد. از داده‌های اندازه‌گیری شده و مدل ون‌گنوختن (Van Genuchten, 1980) در نرم‌افزار RETC (Van Genuchten *et al.*, 1991) برای بدست آوردن پارامترهای معادله منحنی مشخصه رطوبتی خاک استفاده شد. مدل ون‌گنوختن (Van Genuchten, 1980) با رابطه یک نشان داده می‌شود.

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

[n>1, m=1-1/n۱]





[ DOR: 20.1001.1.15625540.1392.15.4.3.7 ]

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد مطالعه

Table 1. Physical and chemical properties of studied soil

| عمق Depth (cm) | هدایت الکتریکی EC ($dS.m^{-1}$) | اسیدیته 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)

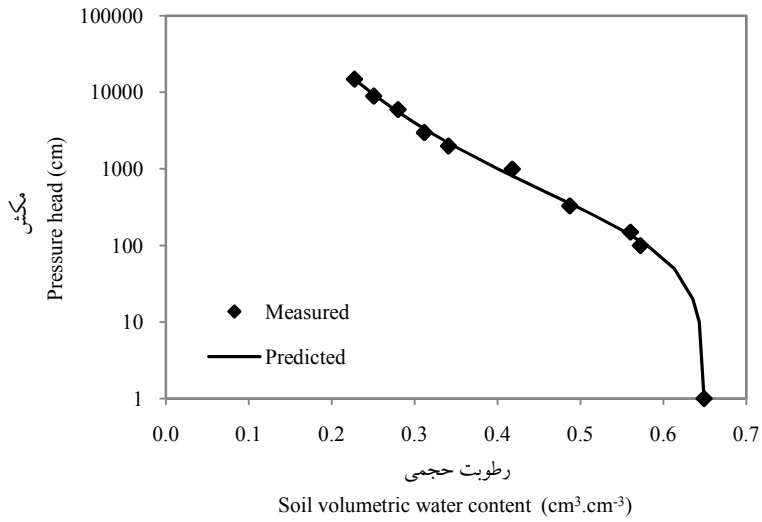
| آبدهی Discharge ($m^3.s^{-1}$) | هدایت الکتریکی EC ($dS.m^{-1}$) | اسیدیته گل اشباع pH | باقی مانده خشک T.D.S ($mg.l^{-1}$) | نسبت جذب سدیم SAR | سدیم $Na^+$ | منیزیم $Mg^{++}$ | کلسیم $Ca^{++}$ | پتاسیم $K^+$ | کلر $Cl^-$ | کربنات $CO_3^{--}$ | بی‌کربنات $HCO_3^-$ | سولفات $SO_4^{--}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | ($meq.l^{-1}$) | | | | | | | |
| 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 |





[ DOR: 20.1001.1.15625540.1392.15.4.3.7 ]

در رابطه مزبور، h مکش خاک (cm)، $\alpha$ عکس مکش ماتریک ورود هوا، m و n پارامترهای شکل، $\theta_s$ رطوبت اشباع ($cm^3cm^{-3}$) و $\theta_r$ رطوبت باقیمانده ($cm^3cm^{-3}$) هستند. مقدار پارامترهای برآورد شده از مدل عبارت بودند از: $\theta_s$=0.649، $\theta_r$=0.001، $\alpha$=0.009 $cm^{-1}$، 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).




شکل ۱- منحنی مشخصه رطوبتی در خاک مورد مطالعه

Fig. 1.Characteristic moisture curve of studied soil

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 دورهای 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 (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 گِلخراب 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





[ DOR: 20.1001.1.15625540.1392.15.4.3.7 ]

شرایط مشابه با مزرعه طبیعی از لحاظ تبخیر-تعرق با تراکم کشت ۲۰×۲۰ سانتی‌متر، گلدان‌ها بدون فاصله در کنار یکدیگر به صورت ردیفی داخل خاک کرت شالیزاری به ابعاد ۴۰×۲۰ 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 خزانه تا انتقال گیاهچه‌ها به گلدان‌ها و از مرحله نشاکاری تا پایان مرحله پنجه‌زنی آبیاری بصورت غرقابی با ارتفاع آب ثابت سه سانتی‌متر 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 هدایت‌سنج (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.

[۲] مدل جمع‌پذیر ون‌گنوختن (Van Genuchten, 1987)

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

[۳] مدل ضرب‌پذیر ون‌گنوختن (Van Genuchten, 1987)

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

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

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

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

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

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

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

$(h_4-\pi)\le h\le h_3$ و $\pi\le\pi^*$

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

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

در رابطه‌های فوق $\alpha(h,\pi)$ تابع کاهش شدت جذب، h مکش ماتریک، $\pi$ فشار اسمزی، $h_{50}$ مکش ماتریکی که به ازای آن جذب آب توسط گیاه نصف می‌شود، $\pi_{50}$ فشار اسمزی که به ازای آن جذب آب توسط گیاه نصف می‌شود (در مدل‌های یاد شده واحد مکش ماتریک و فشار اسمزی سانتی‌متر است)، $a_1$ و $a_2$ در مدل جمع‌پذیر ون‌گنوختن (Van Genuchten, 1987) ضرایب تجربی برای مکش آب خاک و فشار اسمزی





[ DOR: 20.1001.1.15625540.1392.15.4.3.7 ]

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:

$$p_1 = \frac{h_{\max}}{h_{\max} - h_3} \qquad [۸]$$

$$p_2 = \frac{\pi_{\max}}{\pi_{\max} - \pi^*} \qquad [۹]$$

$h_3$ مکش آستانه کاهش برای تنش خشکی، $\pi^*$ 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 $\pi_{max}$ 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، $\pi$ فشار اسمزی (cm) و $EC_e$ شوری محلول اشباع خاک ($dS.m^{-1}$) است.

$$\pi = -360 \times ECe \qquad [۱۰]$$

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 ($dS.m^{-1}$)، $EC_{e-th}$ حد آستانه هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک ($dS.m^{-1}$) 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 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.

$$\begin{cases} \frac{Y_a}{Y_m} = 1 & 0 \le EC_e \le \\ \frac{Y_a}{Y_m} = 1 - (EC_e - EC_{e-th})\frac{b}{100} & EC_e > E \end{cases} \qquad [۱۱]$$

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 دورنبوس و کاسام (Doorenbos and Kassam, 1986) که توسط سپاسخواه و یوسفی فلکدهی (Sepaskhah and Yousofi-Falakdehi, 2010) اصلاح گردیده است، استفاده شد:

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

$$\frac{Y_a}{Y_m} = 1 - K_y\left[1 - \frac{\alpha(h,\pi)ET_p}{ET_p}\right] \qquad [۱۲]$$

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





[ DOR: 20.1001.1.15625540.1392.15.4.3.7 ]

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 پیرمرادیان و سپاسخواه (Pirmoradian and Sepaskhah, 2006) و ژیونگ 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 برآماره‌های فوق رابطه خطی (یک به یک) بین عملکرد نسبی 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).

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)

| | Irrigation آبیاری | | | |
|---|---|---|---|---|
| شوری Salinity ($dS.m^{-1}$) | غرقاب دائم Continuous flooding | دور آبیاری ۴ روز 4 Days intervals | دور آبیاری ۸ روز 8 Days intervals | میانگین Average |
| 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 |
| میانگین Average | 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

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 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 تنتاوی و قانم (Tantawi and Ghanem, 2001) مطابقت دارد. برای



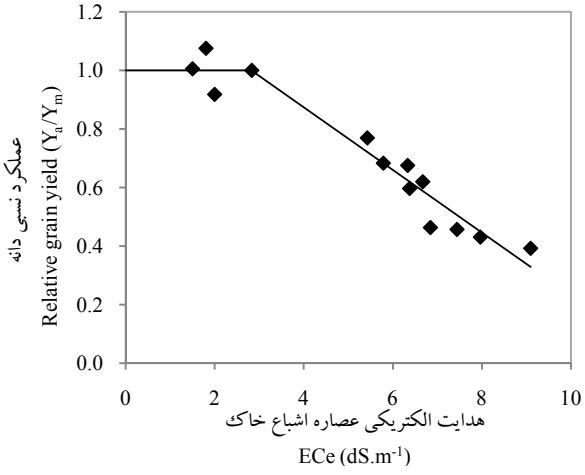


[ DOR: 20.1001.1.15625540.1392.15.4.3.7 ]

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.

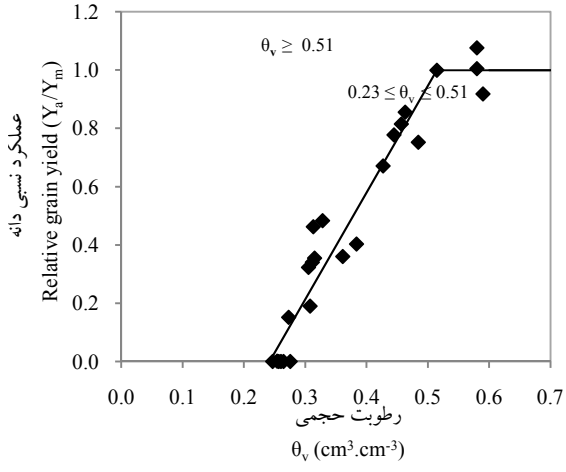
**تعیین شوری آستانه محلول خاک**

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 ($EC_{e\text{-}th}$) 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 دسی زیمنس بر متر خواهد بود. 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) نرخ 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 حسن‌سرایی) 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




شکل۳- 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

**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 رگرسیونیعملکرد نسبی برابر یک قرار داده شود، مقدار رطوبت آستانه کاهش جذب آب ($\theta_{v3}$) 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





[ DOR: 20.1001.1.15625540.1392.15.4.3.7 ]

سانتی‌متر شروع به کاهش نموده و در ۱۸۵۰ سانتی‌متر به صفر می‌رسد. بومن و همکاران (Bouman *et al.*, 2001) نیز حد آستانه مکش آب خاک را برای کاهش تعرق نسبی گیاه برنج ۷۰۰ سانتی‌متر 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 سانتی‌متر، عملکرد گیاه برنج به میزان کمی کاهش می‌یابد. شارما (Sharma, 1989) در مکش‌های خاک ۱۰۰ و ۳۳۰ سانتی‌متر 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($\theta_{v4}$) برابر ۲۴ درصد و مکش معادل با آن ($h_4$) ۱۱۱۸۳سانتی‌متر خواهد بود. دواتگر و همکاران (Davatgar *et al.*, 2009) نشان دادند که توقف جذب آب در مکش ۱۵۰۰۰ سانتی‌متر 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، رطوبت۵۰ درصد کاهش عملکرد ($\theta_{v50}$) برابر ۳۸ درصد و مکش معادل آن ($h_{50}$) برابر ۱۳۲۳ سانتی‌متر خواهد بود، در حالی که رطوبت حد ظرفیت مزرعه‌ای خاک مورد آزمایش ($\theta_{vF.C}$) ۴۹ درصد است. بنابراینرطوبت حد آستانه رقم هاشمی بیش‌تر 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

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

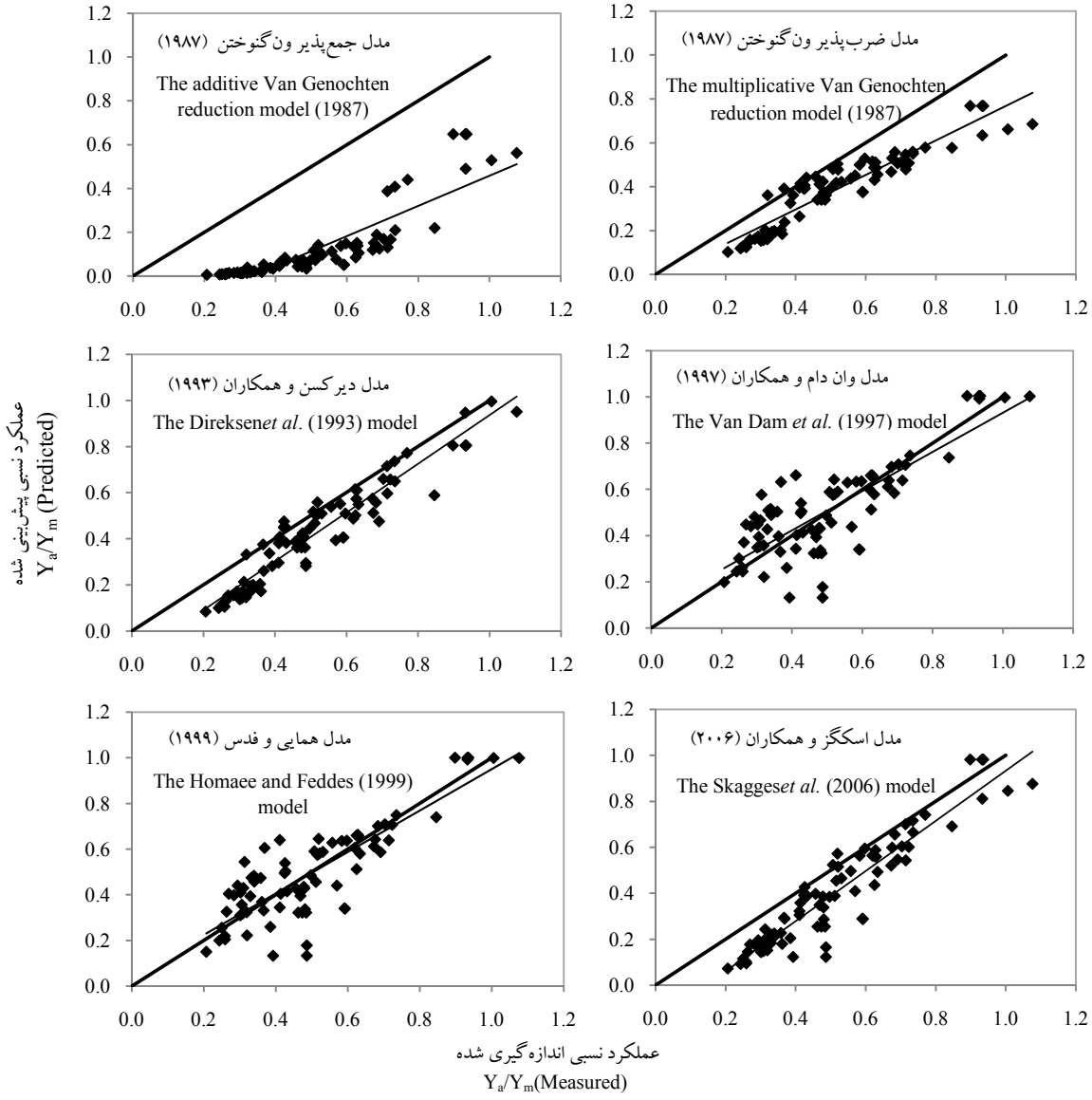
Table 4. The required parameters for computing coefficient in water adsorption equations of other researchers (Equations 2 to 7)

| ضرایب تجربی | | فشار اسمزی که جذب آب گیاه نصف می‌شود $\pi(cm)_{50}$ | فشار اسمزی آستانه کاهش عملکرد $\pi^*$ (cm) | مکش ماتریکی که جذب آب گیاه نصف می‌شود $h_{50}$ (cm) | مکش پژمردگی دائم یا توقف جذب آب $h_4$ (cm) | مکش آستانه کاهش جذب در تنش خشکی $h_3$ (cm) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| $P_2$ | $P_1$ | | | | | |
| 1.30 | 1.02 | -2716.98 | -1018.87 | -1322.77 | -11183.49 | -251.16 |





[ DOR: 20.1001.1.15625540.1392.15.4.3.7 ]




شکل۴- 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)

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 هسیائو (Shalhevet and Hsiao, 1986) و اسکگز و همکاران (Skaggs *et al.*, 2006a) نیز نشاندادند 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. بنابراینمدل یاد شده قادر به پیش‌بینی صحیح تابع کاهش





[ DOR: 20.1001.1.15625540.1392.15.4.3.7 ]

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* Models | تعداد نقاط No. of points | معادله Equation | شیب Slope | عرض از مبدا Intercept | ضریب تعیین R2 | میانگین ریشه دوم خطا RMSE | ضریب باقی مانده جرم CRM | میانگین قدرمطلق خطا MAE | ضریب توافق d | میانگین رتبه Average of rank | رتبه نهایی 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

ns: غیر معنی‌دار

s: Significant at 5% probability level

s: معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد

*: (۲) مدل جمع‌پذیر خطی ون‌گنوختن، (۳) مدل ضرب‌پذیر ون‌گنوختن، (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 Genochtenreduction model, (3) The multiplicative Van Genochten reduction model, (4) The Direksen et al. model, (5) The Van Dam *et al*. model, (6) The Homaee 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.





[ DOR: 20.1001.1.15625540.1392.15.4.3.7 ]

جذب آب در اثر تنش هم زمان 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 (Homaee 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 (Homaee and Feddes, 1999)، عرض از مبدا رابطه خطی برازش عملکرد نسبی پیش‌بینی شده در مقابل مشاهده شده معنی‌دار بود، به بیان دیگر در شرایطی که عملکرد نسبی به علت وقوع تنش‌های خشکی و شوری به شدت کاهش می‌یابد، این مدل‌ها توانایی پیش‌بینی نداشته و عملکرد را به اشتباه صفر در نظر می‌گیرند، اما در مدل همایی و فدس (Homaee and Feddes, 1999) با تفاضل فشار اسمزی ($\pi^*$) از مقدار مکش آب در نقطه پژمردگی دائم ($h_4$) فرض شده است که اثر توام خشکی و شوری کم‌تر از مجموع و یا حاصل ضرب هر یک از تنش‌ها است و بنابراین مدل یاد شده در شرایط وقوع تنش‌های شدید خشکی و شوری که همراه با کاهش زیاد در عملکرد نسبی است، توانایی پیش‌بینی مقدارهای کم از عملکرد نسبی را دارد.

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 (Homaee and Feddes, 1999) مقدار عملکرد نسبی را بیش‌تر 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 (Homaee 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 (Homaee 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





[ DOR: 20.1001.1.15625540.1392.15.4.3.7 ]

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

## نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد که گیاه برنج (رقم هاشمی) بر پایه حد شوری آستانه عصاره اشباع خاک (۲/۸۳ دسی‌زیمنس 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 می‌باشد 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 سانتی‌متر آغاز می‌شود، در حالی که مکش معادل آستانه کاهش جذب آب در شرایط تنش شوری برابر با ۱۰۱۹ سانتی‌متر 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، می‌توان اظهار داشت که این رقم نسبت به تنش خشکی حساس‌تر است. در شبیه‌سازی عملکرد گیاه برنج، مدل جمع‌پذیر مقدار عملکرد نسبی را کم‌تر از مقدار واقعی آن برآورد نمود که نشان دهنده کم‌تر بودن اثر تنش هم‌زمان شوری و کم‌آبی از مجموع اثرات آنها است. مدل همایی و فدس (Homaee and Feddes, 1999) که ترکیبی از معادلات خطی و غیرخطی است از دقت بیش‌تری در برآورد پارامتر ضریب کاهش جذب آب در برهمکنش تنش‌های شوری و خشکی برخوردار است. این نتایج نشان داد که علی‌رغم محدودیت‌های فیزیولوژیک، این مدل توانایی زیادی در پیش‌بینی توابع کاهش جذب آب و استفاده از اطلاعات آن در برآورد عملکرد در شرایط وقوع هم‌زمان تنش شوری و خشکی را داراست، بنابراین می‌توان از آن برای طراحی و تحلیل فعالیت‌های مدیریت ریسک استفاده نمود. هم‌چنین 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 می‌شود با تکرار آزمایش برای ارقام مختلف برنج، تصحیح مدل مورد بررسی قرار گیرد.

**منابع مورد استفاده**

**References**

**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





[ DOR: 20.1001.1.15625540.1392.15.4.3.7 ]

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. Kavoosi, 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.

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

**Homaee, 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.

**Homaee, 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.

**Kavoosi, 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).





[ DOR: 20.1001.1.15625540.1392.15.4.3.7 ]

**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.



[ DOR: 20.1001.1.15625540.1392.15.4.3.7 ]

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

**Salahshour Dalivand, F.[1], A. A. Sadradini[2], A. H. Nazemi[3], N. Davatgar[4] and M. R. Neyshabouri[5]**

## 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 Homaee 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.



[ DOR: 20.1001.1.15625540.1392.15.4.3.7 ]

**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