

ارزیابی توابع کاهش جذب آب گیاه فلفل در شرایط تنش همزمان خشکی و شوری

یاسر حسینی^{۱*}، حسین بابازاده و بابک خاکپور عربلو

استادیار دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی مغان- دانشگاه محقق اردبیلی.

yaser_hoseini@ymail.com

دانشیار دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم تحقیقات تهران.

h_babazadeh@srbiau.ac.ir

کارشناس ارشد شرکت خدمات مهندسی سامان آبراه.

babak.khakpour@yahoo.com

چکیده

مدل‌های ریاضی متعددی در زمینه چگونگی پاسخ گیاهان به تنش همزمان شوری و خشکی و سهم هر یک از آنها در کاهش جذب آب، وجود دارد. مدل‌های جذب آب در شرایط تنش همزمان به سه دسته جمع‌پذیر، ضرب‌پذیر و مدل‌های مفهومی تقسیم‌بندی می‌شوند. در این مطالعه پنج تابع کاهش جذب آب ماکروسکوپی وان گنوختن جمع‌پذیر و ضرب‌پذیر، دیرکسن و آگوستیچن، وان دام و همکاران و همایی همکاران با استفاده از داده‌های کشت گلدانی گیاه فلفل دلمه‌ای مورد ارزیابی قرار گرفت. آزمایش در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار و در سه سطح شوری (۲/۵، ۴/۵، ۶/۵ دسی زیمنس بر متر) انجام شد. سطوح خشکی به صورت تغییرات پتانسیل ماتریک (سه سطح تخلیه رطوبتی ۵۰، ۶۰ و ۷۰ درصد ظرفیت زراعی) اعمال گردید. نتایج نشان داد که در سطح شوری ۲/۵ دسی زیمنس بر متر واکنش گیاه به تنش همزمان شوری و خشکی بیشتر جمع‌پذیر و در سطوح ۴/۵ و ۶/۵ دسی زیمنس بر متر ضرب‌پذیر است. همچنین مدل وان گنوختن (متوسط خطای ماکسیمم ۰/۱۵ و درصد متوسط ریشه مربعات خطا ۳) از بیشترین تطابق در سطح شوری پایین (۲/۵ دسی زیمنس بر متر) برخوردار بود. از میان مدل‌های ضرب‌پذیر مدل دیرکسن در سطوح شوری ۴/۵ دسی زیمنس بر متر (متوسط خطای ماکسیمم ۰/۰۹ و درصد متوسط ریشه مربعات خطا ۵) نزدیکی بیشتری با نتایج اندازه‌گیری‌ها داشتند. در سطح شوری بالاتر (۶/۵ دسی زیمنس بر متر)، مدل همایی (متوسط خطای ماکسیمم ۰/۱۲ و درصد متوسط ریشه مربعات خطا ۹) و وان دام (متوسط خطای ماکسیمم ۰/۱۱ و درصد متوسط ریشه مربعات خطا ۹) برآزش بهتری را با داده‌های اندازه‌گیری شده نشان داد.

واژه‌های کلیدی: جذب ریشه، خشکی خاک، شوری آب.

۱- آدرس نویسنده مسئول: اردبیل، پارس آباد، کیلومتر ۱۷ جاده اصلاندوز، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی مغان.

*- دریافت: تیر ۹۴ و پذیرش: آذر ۹۴

مقدمه

کشور ایران از نظر اقلیمی از جمله کشورهای با اقلیم خشک و نیمه‌خشک محسوب می‌شود با در نظر گرفتن شرایط منابع آبی و خاکی کشور، عملکرد محصولات زراعی از تنش‌های شوری و خشکی متأثر می‌باشد. در نتیجه بررسی و مطالعه تحمل گیاهان نسبت به تنش‌های شوری و خشکی جهت بهینه‌سازی برنامه‌ریزی آبیاری، انتخاب محصولات مناسب، پیش‌بینی روند عملکرد در دراز مدت و همچنین اثرات زیست محیطی آن می‌بایست مورد توجه قرار گیرد. مطالعات نشان‌داده است که وجود هریک از تنش‌های شوری و خشکی، جذب آب را کاهش می‌دهند و وجود هر دو باهم این کاهش را تشدید می‌کند (همایی، ۱۳۸۱). در رابطه با مدل‌های کاهش جذب آب توسط ریشه مطالعه‌ای که بر روی شش تابع کاهش جذب آب ماکروسکوپیکی وان‌گنوختن (جمع‌پذیر و ضرب‌پذیر) (۱۹۸۷)، دیرکسن و آگوستین (۱۹۸۸)، وان‌دام و همکاران (۱۹۹۷)، اسکگز و همکاران (۲۰۰۶) و همایی و همکاران (۱۳۸۱) با استفاده از داده‌های گلخانه‌ای گوجه‌فرنگی انجام شد نشان داد که در شوری‌های کم واکنش گیاهان به تنش همزمان شوری و خشکی جمع‌پذیر بوده در حالیکه در شوری‌های بالاتر از ۳/۵ دسی‌زیمنس بر متر مدل‌های ضرب‌پذیر برازش بهتری داشته‌اند و از میان مدل‌های ضرب‌پذیر مدل مفهومی همایی و مدل اسکگز و همکاران برازش بهتری داشته است (علیزاده و همکاران ۱۳۸۸).

در تحقیقی با استفاده از داده‌های مزرعه‌ای کشت گندم ارقام قدس و روشن، شش تابع کاهش جذب آب ماکروسکوپیکی وان‌گنوختن (۱۹۸۷)، دیرکسن و آگوستین (۱۹۸۸)، وان‌دام و همکاران (۱۹۹۷)، اسکگز و همکاران (۲۰۰۶) و همایی (۱۳۸۱) را ارزیابی نمودند. نتایج به‌دست آمده نشان داد که مدل جمع‌پذیر، مقدار عملکرد نسبی را در اکثر موارد کمتر از مقدار واقعی برآورد می‌کند. به عبارت دیگر نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که اثر تنش همزمان شوری و کم آبی کمتر از

مجموع اثرات آن‌ها است (شهیدی و همکاران، ۱۳۸۹). با هدف ارزیابی مدل‌های مختلف جذب آب تحت تنش شوری و تعیین ضرایب معادله عملکرد ماس و هافمن (۱۹۷۷)، تحقیقی در مرکز تحقیقات نیشکر انجام گرفت. نتایج نشان‌داد که در شرایط شوری برای واریته CP48-103 مدل ماس و هافمن بهترین جواب و پس از آن مدل‌های وان‌گنوختن و دیرکسن و همکاران قرار دارند. بهترین مدل جذب واریته CP57-614 مدل ماس و هافمن و برای واریته IRC99-01 مدل‌های ماس و هافمن و وان‌گنوختن و هافمن در رتبه یک و مدل دیرکسن در رتبه دوم قرار گرفته است (گلایی و ناصری، ۱۳۹۲).

جهت بررسی واکنش گندم به شرایط توام شوری و خشکی و تعیین تابع تولید آب - شوری به مدت دوسال زراعی (۸۱-۸۰ و ۸۲-۸۱) در شمال گرگان (آق‌قلا) پژوهشی اجرا گردید. نتایج نشان‌داد که تابع متعالی بهتر از توابع دیگر عملکرد گندم را پیش‌بینی می‌کند. برآورد تولید نهائی^۱ نسبت به متغیرهای شوری و رطوبت خاک نشان‌داد که اثر هرکدام بر عملکرد یکسان نیست و عملکرد گندم تحت تغییرات رطوبت خاک نسبت به تغییرات شوری حساس‌تر است (کیانی و همکاران، ۱۳۸۵). در تحقیقی که اثر پتانسیل‌های مختلف در هفت سطح (۰/۰۱، -۰/۰۵، -۰/۱، -۰/۲۵، -۰/۵ و -۱/۵- مگاپاسکال) مورد بررسی قرار گرفت، همچنین اثر خشکی بر گیاه با کاهش میزان رطوبت تا یک‌سوم و یک-ششم حد ظرفیت زراعی بر گیاه اعمال شد، نتایج کاهش جوانه‌زنی را بر اثر کاهش پتانسیل اسمزی نشان‌داد. همچنین کاهش جوانه‌زنی بر اثر تنش خشکی به وضوح مشاهده شد (سلیمی، ۱۳۹۰). برای بررسی اثر شوری آب آبیاری بر تعرق گیاه در مرحله گل‌دهی و عملکرد دانه گیاه کلزا، درخاک شنی لومی تحقیقی انجام شد. برازش مدل‌های مختلف بر مقادیر اندازه‌گیری شده تعرق گیاه، طی مرحله گل‌دهی نشان داد که مدل وان‌گنوختن و

چگونگی اثر متقابل تنش‌های شوری و خشکی بر جذب آب توسط ریشه و همچنین چگونگی اثر متقابل آن‌ها به دلیل نبود رابطه‌ای مشخص بین فشار اسمزی و مکش ماتریک خاک بخوبی مشخص نیست، در این پژوهش به منظور شناسایی واکنش گیاه فلفل نسبت به تنش همزمان شوری و خشکی، تعدادی از توابع کاهش جذب ماکروسکوپی مورد ارزیابی قرار می‌گیرد تا با برآزش مدل‌های مختلف با داده‌های اندازه‌گیری شده، مناسب‌ترین مدل برای پیش‌بینی کاهش جذب در گیاه فلفل در شرایط تنش همزمان خشکی و شوری تعیین گردد.

مواد و روش‌ها

مشخصات محل اجرای تحقیق

این تحقیق در شهرستان پارس‌آباد استان اردبیل و در شرایط مشابه گلخانه‌ای و قرار دادن پوشش پلاستیکی بر روی گلدان‌ها برای جلوگیری از تابش مستقیم آفتاب بر گلدان‌ها که می‌توانست موجب گرم شدن پوشش پلاستیکی گلدان‌ها شده و با افزایش دمای خاک، تاثیر منفی بر رشد گیاه بگذارد، انجام شد. طول جغرافیایی محل قرارگیری شهر پارس‌آباد $47^{\circ}55'$ شرقی و عرض جغرافیایی آن $39^{\circ}38'$ شمالی و ارتفاع آن از سطح دریا ۳۲ متر می‌باشد. خاک مورد استفاده برای کشت از زمین زراعی موجود در محوطه دانشکده کشاورزی مغان انتخاب گردید و مشخصات فیزیکی و شیمیایی آن در آزمایشگاه، تعیین گردید (جدول ۱).

هافمن از دقت بیشتری نسبت به سایر مدل‌ها برخوردار است. حال آنکه برای مرحله بلوغ، مدل همایی و همکاران توانست برآورد بهتری نسبت به سایر مدل‌ها ارائه دهد (جلالی و همکاران، ۱۳۸۷). در تحقیقی دیگر، تاثیر تنش‌های خشکی با اعمال تیمارهای آبیاری به مقدار ۱۰۰٪، ۸۵٪، ۷۰٪ نیاز آبی گیاه و شوری با اعمال تیمارهای سه سطح شوری به میزان ۱/۲، ۳ و ۶ دسی‌زیمنس بر متر، بر خصوصیات فیزیولوژیک و مورفولوژیک و عملکرد گیاه فلفل در سال ۹۲ مورد بررسی قرار گرفت.

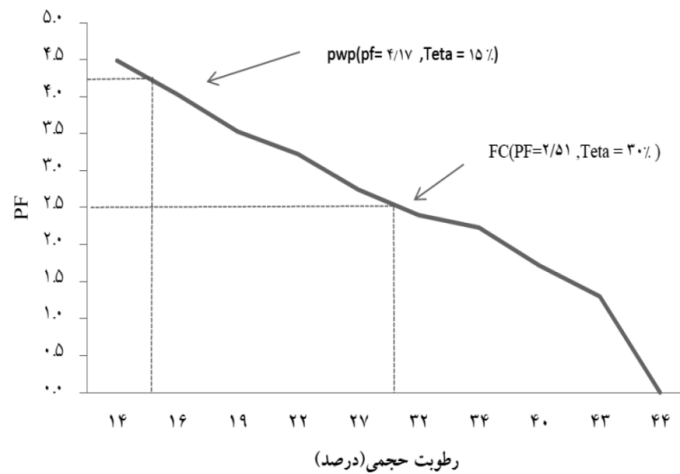
نتایج گیاه فلفل را نسبت به شوری، گیاهی نسبتاً حساس و در شرایطی که تیمارهای شوری و خشکی به صورت توأمان اعمال گردید، حساس نشان‌داد (سالاریان، ۱۳۹۳). در تحقیقی که اثر شوری و خشکی بر روی گیاه فلفل انجام شد و شوری در شش سطح (۰/۶۵، ۲، ۳، ۴، ۵، ۷ دسی‌زیمنس بر متر) و سطح خشکی در چهار سطح بر گیاه اعمال گردید، نتایج نشان‌داد ضریب حساسیت عملکرد نسبت به شوری ۱/۵۶ و نسبت به خشکی ۱/۶۶ می‌باشد. همچنین جذب آب توسط گیاه به صورت نمایی کاهش نشان داد و عملکرد گیاه به صورت خطی بعد از حد آستانه (۱/۲ دسی‌زیمنس بر متر) کاهش داشت (اونلوکارا و همکاران، ۲۰۱۵). در تحقیقی که تاثیر شوری (۱/۵، ۴، ۶/۵ دسی‌زیمنس بر متر) بر میزان مصرف آب گیاه فلفل انجام شد، نتایج نشان داد که مصرف آب از ۱۹ تا ۳۰ درصد در شوری ۴ تا ۶/۵ دسی‌زیمنس بر متر کاهش می‌یابد (لوپز و همکاران، ۲۰۰۸) از آنجا که

جدول ۱- نتایج تجزیه فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده

| ذرات خاک (درصد) | | | بافت texture | درصد رطوبت اثرات SP% | هدایت الکتریکی خاک (dS/m) | واکنش گل | درصد کربن آلی %OC |
|-------------------------------|------|----|---------------------|------------------------------|------------------------------|--------------------------------|----------------------|
| رس | سیلت | شن | | | | اشباع PH _p | |
| ۳۰/۷ | ۳۶/۳ | ۳۳ | C-L | ۵۲/۶ | ۲/۴۸ | ۷/۶۴ | ۱/۰۵ |
| عمق خاک Soil Depth (cm) | | | ازت کل Total.N % | فسفر قابل جذب (Ave.P) ppm | | پتاسیم قابل جذب (Ave.K) ppm | |
| ۰-۲۰ | | | ۰/۱۴۵۰ | ۴۳/۸ | | ۱۲۶۰ | |

زیرزمینی اجرا شده در بخش دو شرکت سهامی کشت و صنعت و دامپروری مغان با شوری ۳/۷ دسی‌زیمنس بر متر بوده که با اضافه نمودن مقدار معینی کلرید سدیم به آب مذکور شوری‌های بالاتر اعمال گردید. جهت اعمال شوری‌های کمتر از ۳/۷ دسی‌زیمنس بر متر با اضافه نمودن آب مقطر و کنترل هدایت الکتریکی آب تا رسیدن به هدایت الکتریکی مورد نظر استفاده گردید.

برای تعیین منحنی خصوصیات رطوبتی خاک، نمونه‌هایی از خاک مورد نظر انتخاب و با استفاده از دستگاه صفحات فشاری درصد رطوبت وزنی در فشارهای ۳/۰، ۵، ۱۰، و ۱۵- بار که در برگزیده نقاط پتانسیلی مهم خاک نیز می‌باشند تعیین گردید و منحنی مشخصه رطوبتی خاک ترسیم و پارامترهای معادله منحنی مشخصه خاک تعیین شد (شکل ۱). منبع آب شور برای اعمال تیمارهای مختلف شوری زه‌آب حاصله از زهکش

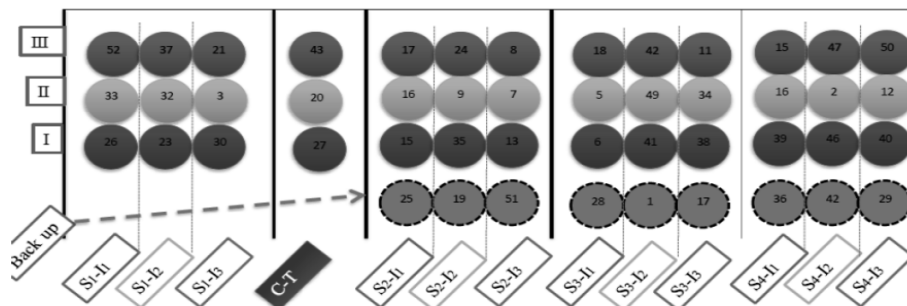


شکل ۱- منحنی مشخصه رطوبت حجمی خاک به همراه نقاط پتانسیلی FC و PWP

مشخصات طرح

در این مطالعه برای ارزیابی مدل‌های شبیه‌سازی جذب آب در شرایط متغیر پتانسیل اسمزی و ماتریک، آزمایشی در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار و در شرایط مشابه گلخانه‌ای بر روی گیاه فلفل دلمه‌ای *Capsicum annuum* رقم کالیفرنیا واندر ۳۰۱ انجام‌گرفت. تیمارهای اعمال شده شامل یک سطح غیر شور و سه سطح مختلف شوری (به ترتیب معادل ۲/۵،

۴/۵ و ۶/۵ دسی‌زیمنس بر متر) بود که همراه با سه سطح پتانسیل ماتریک خاک (معادل ۶۰، ۵۰ و ۷۰ درصد ظرفیت نگهداری رطوبت در خاک) در طول دور آبیاری اعمال گردید. نحوه اعمال درصدهای تخلیه رطوبتی خاک بر اساس اندازه‌گیری وزن روزانه گلدان‌ها و تعیین رطوبت خاک گلدان‌ها اعمال گردید (شکل ۲).



شکل ۲- نقشه شماتیک طرح آزمایشی

ظاهری خاک (gr/cm^3) و LF جزء آبشویی می‌باشد (درصد). در همه گلدان‌ها که به عنوان لایسیمترهای وزنی در نظر گرفته شده بودند به منظور اندازه‌گیری پتانسیل ماتریک خاک، مقادیر رطوبت‌های اندازه‌گیری شده روزانه در منحنی مشخصه خاک جایگزین و قدر مطلق پتانسیل ماتریک محاسبه گردید. جهت اندازه‌گیری رطوبت حجمی خاک، وزن همه گلدان‌ها هر روز و در یک ساعت مشخص و با اطمینان از پایان جذب روزانه گیاه (حدود ساعت ۲۲) با یک ترازوی دقیق و با دقت $0/001$ کیلوگرم اندازه‌گیری گردید و سپس با استفاده از وزن خاک خشک، وزن گلدان‌ها، وزن گیاه، وزن مخصوص ظاهری ($1/4$ گرم بر سانتی‌متر مکعب) رطوبت حجمی با استفاده از رابطه زیر محاسبه شد.

$$\theta_v = \left(\frac{\text{وزن خاک خشک} + \text{وزن بوته} + \text{وزن گلدان خالی} - \text{وزن گلدان مرطوب}}{\text{وزن خاک خشک}} \right) \times 1/4 \quad (2)$$

به دلیل غیرممکن بودن اندازه‌گیری وزن بوته‌ها بصورت روزانه، وزن بوته در شروع آزمایش و سپس پایان آزمایش اندازه‌گیری و میانگین آن با وزن بوته در شروع به عنوان وزن گیاه در نیمه اول آزمایش و همچنین میانگین آن (وزن بوته در شروع و پایان آزمایش) با وزن بوته در پایان آزمایش به عنوان وزن گیاه در نیمه دوم آزمایش لحاظ گردید. برای اندازه‌گیری پتانسیل اسمزی خاک در طول انجام آزمایشات حتی‌المقدور سعی گردید با اعمال جزء آبشویی بالا (30% درصد)، شوری محیط ریشه یکنواخت گردد و از طرفی نه عدد گلدان (سه سطح شوری هر کدام با سه سطح رطوبتی) به منظور انجام آزمایشات تعیین شوری خاک انتخاب و پس از انجام آبیاری تیمارها با برداشت نمونه خاک، شوری عصاره اشباع آن‌ها تعیین گردید. در طی انجام آبیاری میزان آب زهکشی هر یک از گلدان‌ها و همچنین هدایت الکتریکی آن‌ها با استفاده از EC متر دیجیتالی اندازه‌گیری شد. در پایان آزمایش نیز از خاک تمامی گلدان‌های مورد آزمایش، نمونه خاک برداشت شده و میانگین شوری عصاره اشباع آن‌ها اندازه‌گیری شد. جهت محاسبه پتانسیل اسمزی با

برای انجام تحقیق از گلدان‌هایی با ارتفاع ۲۷ سانتی‌متر، قطر دهانه ۲۶ سانتی‌متر استفاده شد. بافت خاک همه گلدان‌ها رسی‌لومی و وزن خاک مورد استفاده در همه آن‌ها $8/5$ کیلوگرم بود. ریختن خاک به داخل گلدان‌ها در دو مرحله انجام شد و در هر کدام، با مد نظر قراردادن چگالی ظاهری خاک تراکم لازم اعمال گردید. برای تعیین وزن خاک خشک، $8/5$ کیلوگرم از خاک مورد استفاده در آن گذاشته شده و وزن خشک آن پس از ۲۴ ساعت نگهداری در دمای 110 درجه با استفاده از ترازوی دقیق (دقت $0/001$ کیلوگرم) اندازه‌گیری شد. انتخاب دمای 110 درجه سانتی‌گراد به این دلیل است که در دماهای بیشتر مواد آلی خاک از بین می‌رود. برای کشت گیاه لفل از روش کشت غیر مستقیم (نشایی) استفاده گردید. بعد از کاشت نشاها در گلدان‌های پیش‌بینی شده، به مدت دو ماه با آب غیر شور آبیاری شدند و همزمان با شروع گلدهی نسبت به اعمال تیمارهای مختلف شوری و خشکی اقدام شد. در طول انجام آزمایش از هیچ نوع کود دامی یا شیمیایی برای تقویت گیاه استفاده نشد.

آبیاری با آب شور در تمام آبیاری‌ها و با اعمال 30% درصد جزء آبشویی به منظور اطمینان از یکنواختی شوری در خاک گلدان، با استفاده از روش قطره‌ای اعمال گردید تا آبشویی با راندمان بالایی صورت گیرد. جهت حذف تبخیر از سطح گلدان‌ها سطح آنها با گراول به ضخامت سه سانتی‌متر پوشانده شد. به منظور تسهیل در زهکشی آب مازاد گلدان‌ها، به ضخامت دو سانتی‌متر فیلتر سنی در کف گلدان اضافه گردید. برای محاسبه میزان آب آبیاری مورد نیاز بر مبنای ضرایب تیمارها از رابطه زیر استفاده شد:

$$\text{SMD} = (W_{fc} - W_i) \cdot pb / (1 - LF) \quad (1)$$

که در آن:

'SMD' کمبود رطوبت خاک (gr/cm^3)، W_{fc} درصد وزنی رطوبت در ظرفیت زراعی (gr/gr)، W_i درصد وزنی رطوبت موجود در خاک (gr/gr)، pb وزن مخصوص

$$\alpha(h, \pi) = \frac{1}{1 + \left(\frac{h}{h_{50}}\right)^{p_1}} \times \frac{1}{1 + \left(\frac{\pi}{\pi_{50}}\right)^{p_2}} \quad (6)$$

که در آن:

p_1 و p_2 ثابت‌های تجربی هستند و به شکل زیر محاسبه می‌شوند، در شرایطی که $\pi_{max} = \pi_{50}$ و h_{50} $h_{max} =$ آنگاه خواهیم داشت:

$$p_2 = \frac{\pi_{max}}{\pi_{max} - \pi^*} \quad (7)$$

$$p_1 = \frac{h_{max}}{h_{max} - h^*} \quad (8)$$

مدل دیرکسن و آگوستیچن: دیرکسن و آگوستیچن مضرب‌های تابع کاهش وان‌گنوختن را نسبت به آستانه کاهش شوری و آستانه پتانسیل ماتریک تعدیل و به صورت زیر ارائه کردند.

$$\alpha(h, \pi) = \frac{1}{1 + \left(\frac{h^* - h}{h^* - h_{50}}\right)^{p_1}} \times \frac{1}{1 + \left(\frac{\pi^* - \pi}{\pi^* - \pi_{50}}\right)^{p_2}} \quad (9)$$

مدل وان دام: وان دام و همکاران از تلفیق شاخه نزولی تابع کاهش فوس و همکاران (۱۹۷۸) برای تنش خشکی و تابع کاهش ماس و هافمن (۱۹۷۷) برای تنش شوری، تابع کاهش زیر را برای شرایط وجود همزمان تنش‌های شوری و خشکی ارائه کردند.

$$\alpha(h, \pi) = \frac{h - h_4}{h_5 - h_4} \times \left[1 - \frac{b}{360} (\pi^* - \pi) \right] \quad (10)$$

h_4, h_3 و b به ترتیب نقطه شروع تنش آبی، نقطه پژمردگی و درصد کاهش محصول به ازای افزایش واحد شوری می‌باشد.

مدل همایی: مدل همایی از تلفیق مدل وان‌گنوختن برای تنش خشکی و معادله ماس هافمن برای تنش شوری بدست آمده است.

$$\alpha(h, \pi) = \frac{h - (h_4 - \pi)}{h_5 - (h_4 - \pi)} \left[1 - \frac{b}{360} (\pi^* - \pi) \right] \quad (11)$$

معادله اخیر در شرایط π, π $h_4 - \pi \leq h \leq h_3$ ، صادق است (عباسی، ۱۳۸۶).

استفاده از شوری عصاره اشباع خاک از رابطه زیر استفاده گردید.

$$\pi = 360 * Ec_e \quad (3)$$

که در آن:

شوری عصاره اشباع برحسب (dS/m) و پتانسیل اسمزی بر حسب سانتی متر می‌باشد.

مدل‌های مورد ارزیابی در تحقیق: در این مطالعه پنج تابع کاهش جذب شامل وان‌گنوختن (۱۹۸۷) (ضرب پذیر و جمع پذیر)، دیرکسن و آگوستیچن (۱۹۹۳) ، ون‌دام (۱۹۹۷) و همایی (۱۹۹۹) در شرایط تنش همزمان شوری و خشکی با استفاده از داده‌های گلخانه‌ای گیاه فلفل مورد ارزیابی قرار گرفت. در ذیل به شرح مختصر هریک از مدل‌ها پرداخته می‌شود.

مدل جمع پذیر وان‌گنوختن: این مدل مطابق رابطه ذیل می‌باشد.

$$\alpha(h, \pi) = \frac{1}{1 + \left[\frac{a_1 h + a_2 \pi}{h_{50}} \right]^p} \quad (4)$$

که در آن:

h پتانسیل ماتریک و π پتانسیل اسمزی a_1 و a_2 نیز ضرایب مربوط به هر یک از تنش‌ها می‌باشد. معمولاً آن‌ها را باهم برابر و هریک را واحد در نظر می‌گیرند. h_{50} پتانسیل ماتریک می‌باشد که در آن پتانسیل میزان جذب ۵۰ درصد کاهش می‌یابد و p پارامتر تجربی وابسته به گیاه، خاک و اقلیم است. وان‌گنوختن (۱۹۸۷) و وان‌گنوختن -گوپتا (۱۹۹۳) معادله فوق را برای محصولات با دامنه شوری‌های مختلف بکاربرده و مقدار P را تقریباً سه به دست آوردند.

مدل ضرب پذیر وان‌گنوختن: معادله عمومی مدل‌های ضرب‌پذیر به صورت زیر است.

$$\alpha(h, \pi) = \alpha(h) \times \alpha(\pi) \quad (5)$$

مدل‌های ضرب‌پذیر اولین بار توسط وان‌گنوختن پیشنهاد گردید و در بسیاری از مدل‌های شبیه‌سازی شده عددی جذب آب توسط ریشه به کار گرفته شده اند.

تعیین پارامترهای مورد استفاده در مدل‌های مختلف جذب آب
در جدول (۲) مقادیر پارامترهای مورد نیاز
مدل‌های استفاده شده در تحقیق ارائه شده است.

جدول ۲- مقادیر پارامترهای مورد استفاده در مدل‌های مختلف جذب آب

| P_2 | P_1 | α (%) | π_{50} (cm) | h_{50} (cm) | h_4 (cm) | π^* (cm) | $h_2=h^*$ (cm) |
|-------|-------|-----------------|--------------------|------------------|---------------|-----------------|-------------------|
| ۱/۴۲ | ۱/۳ | ۱۴ | -۱۸۲۵ | -۲۵۰۰ | -۱۵۰۰۰ | -۵۴۰ | -۵۷۰ |

آماره‌های مورد استفاده در تحقیق: مقایسه کمی مدل‌ها با محاسبه آماره‌های خطای ماکزیمم^۱ (ME) و ریشه میانگین مربعات خطا^۲ (RMSE) برای هر کدام از مدل‌ها در تیمارهای مختلف شوری انجام شد. بیان ریاضی آماره‌های مذکور به صورت زیر است:

$$ME = \max |P_i - O_i| \quad (12)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{n}} \quad (13)$$

که در آن‌ها:

P_i مقادیر نسبت تعرق برآورد شده توسط مدل‌ها، O_i مقادیر اندازه‌گیری شده و n تعداد نمونه (اندازه‌گیری‌ها) است. کمترین مقدار برای ME و RMSE صفر است.

نتایج و بحث

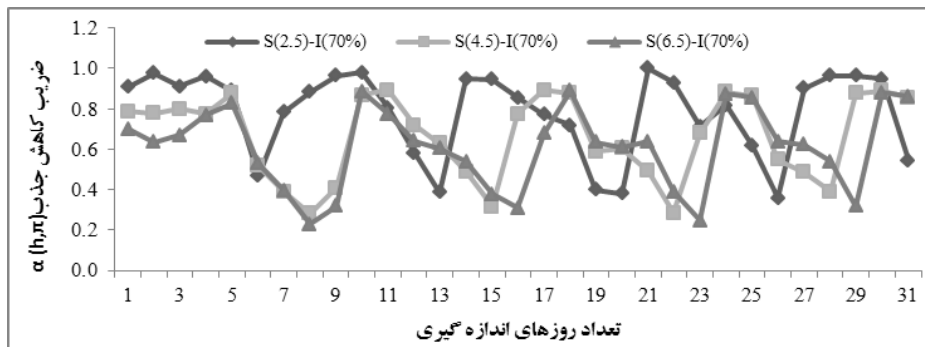
ضرایب کاهش جذب اندازه‌گیری شده

ارزیابی توابع کاهش جذب آب مستلزم اندازه‌گیری عملی ضرایب کاهش جذب در گیاهان تحت آزمایش و مقایسه آن با مقادیر پیش‌بینی شده توسط مدل‌ها می‌باشد. در این تحقیق برای اندازه‌گیری مقدار تعرق روزانه با استفاده از اختلاف وزن گلدان‌ها در دو روز متوالی بدست آمد و ضریب کاهش جذب آب نیز با استفاده از نسبت تعرق روزانه تیمارها به تعرق پتانسیل تیمار شاهد محاسبه شد. نتایج این اندازه‌گیری‌ها در نمودار میزان ضریب جذب روزانه تیمارها اندازه‌گیری شده و در اشکال ۳ الی ۵ ارائه شده است.

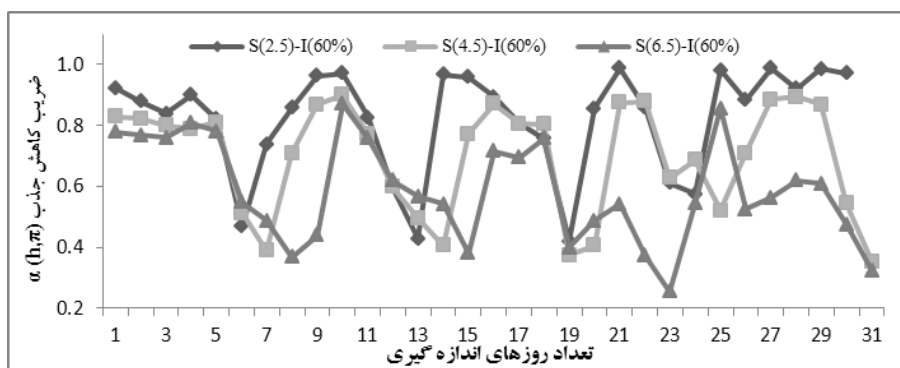
نحوه محاسبه پارامترهای جدول ۲

π^* : پتانسیل اسمزی در آستانه کاهش محصول بوده که با توجه به آستانه شوری برای کاهش عملکرد لفل تعیین میگردد (همایی، ۱۳۸۱). مقدار فشار اسمزی است که در آن جذب توسط گیاه ۵۰ درصد کاهش می‌یابد یا به عبارتی مقدار پتانسیل اسمزی در شرایطی که مقدار $\alpha(h) = 0.5$ باشد. از طرفی شیب خط کاهش عملکرد برای لفل ۱۴ درصد گزارش شده است. با قراردادن پتانسیل اسمزی آستانه (π^*) برابر ۵۴۰ سانتی‌متر و شیب خط ۱۴ درصد و در نظر گرفتن $\alpha(h) = 0.5$ مقدار π_{50} برابر -۱۸۲۵ سانتی‌متر بدست می‌آید. h_4 : همان پتانسیل ماتریک در نقطه پژمردگی دائم می‌باشد که عزیزاده (۱۳۹۰) آن را برابر -۱۵۰۰۰ سانتی‌متر گزارش نموده است. شیب خط درصد کاهش عملکرد به ازای هر واحد افزایش شوری عصاره اشباع خاک می‌باشد که با مراجعه به نشریه شماره (۵۸) کمیته ملی آبیاری و زهکشی مقدار آن ۱۴ درصد بدست می‌آید. h_3 مقدار پتانسیل ماتریک در آستانه کاهش عملکرد بوده و مقدار آن با توجه به تیمارهای غیر شور (مقدار نسبت کاهش جذب آب در تیمار غیر شور برای ۶۰، ۵۰ و ۷۰ درصد ظرفیت زراعی به ترتیب ۱۵، ۲۰، ۲۶ درصد برآورد گردید)، -۵۷۰ سانتی‌متر یعنی در حدود $PF = 2/75$ تعیین گردید. h_{50} مکشی از خاک است که در آن آبی که گیاه جذب می‌کند $\alpha(h) = 0.5$ باشد. با توجه به منحنی مکش ماتریک خاک مقدار h_{50} با استفاده از مقدار مکشی که مقدار جذب را به صفر می‌رساند ($h_4 = -15000$) و مقدار مکش ماتریک آستانه کاهش محصول ($h_3 = -570$)، مقدار h_{50} که مقدار مکشی است که معادل جذب ۵۰ درصد می‌باشد برابر -۲۵۰۰ بدست می‌آید.

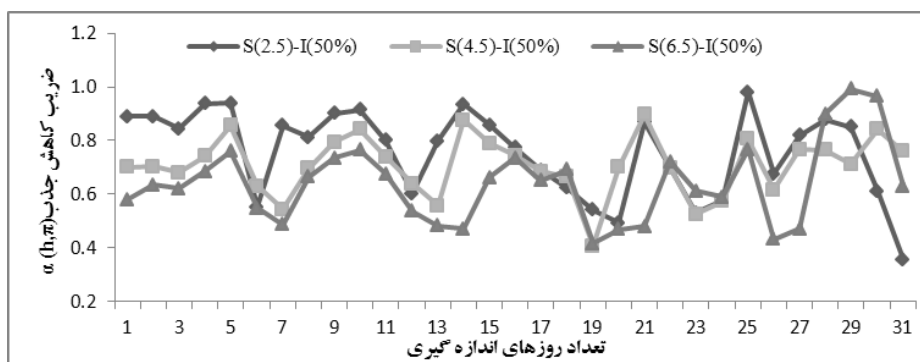
1 - Maximum Error
2 - Root Mean Square Error



شکل ۳- ضریب کاهش جذب تیمارهای سطوح شوری ۲/۵، ۴/۵ و ۶/۵ دسی زمینس بر متر با ۷۰ درصد تخلیه رطوبتی خاک



شکل ۴- ضریب کاهش جذب تیمارهای سطوح شوری ۲/۵، ۴/۵ و ۶/۵ دسی زمینس بر متر با ۶۰ درصد تخلیه رطوبتی خاک



شکل ۵- ضریب کاهش جذب تیمارهای سطوح شوری ۲/۵، ۴/۵ و ۶/۵ دسی زمینس بر متر با ۵۰ درصد تخلیه رطوبتی خاک

حساسیت گیاه به شوری کاهش می‌یابد و می‌تواند خود را با شوری محلول خاک سازگار نماید به عبارتی دیگر نقش پتانسیل ماتریک در مقایسه با پتانسیل اسمزی در جذب آب توسط ریشه تعیین کننده‌تر است. تحقیق یاناکاوا و فوجیماکی (۲۰۱۳) نیز موید این مطلب می‌باشد. ضریب کاهش جذب آب اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده توسط مدل‌های مختلف در سطوح مختلف پتانسیل ماتریک و اسمزی در اشکال ۶ الی ۱۴ و مقایسه آن‌ها از نظر آماره‌های خطای ماکزیمم و ریشه میانگین مربعات خطا در

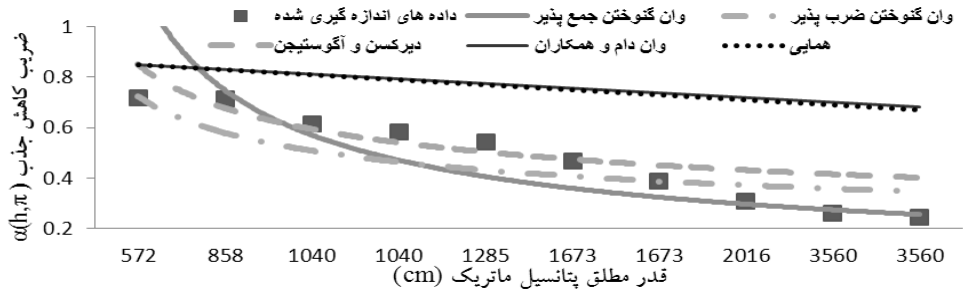
همان‌طور که در اشکال ۳، ۴، ۵ مشخص است، نمودار ضرایب کاهش جذب در تیمارهای با شوری بیشتر معمولاً در پایین‌ترین قسمت فرار می‌گیرد چرا که با افزایش میزان نمک اثر تجمعی پتانسیل اسمزی و ماتریک زیاد شده و در نتیجه باعث کاهش جذب آب قابل استفاده برای گیاه می‌شود. هم‌چنین با کاهش پتانسیل ماتریک، نمودارهای کاهش جذب در سطوح مختلف شوری و سطح پتانسیل ماتریک یکسان، به هم نزدیک شده‌اند. که می‌توان نتیجه گرفت، با کاهش میزان مکش ماتریک

رطوبتی خاک مدل ضرب‌پذیر وان‌گنوختن نیز با متوسط خطای ماکسیمم ۰/۱۹ و متوسط ریشه مربعات خطا هفت درصد برازش خوبی را با داده‌های اندازه‌گیری دارد. مدل‌های همایی و وان‌دام تمایل زیادی به بیش برآورد دارند و این می‌تواند به دلیل شیب کاهش جذب ریشه در شرایط شوری باشد از آنجاکه شیب مذکور در شرایط بدون تنش خشکی به‌دست می‌آید ممکن است در شرایطی که تاثیر توامان شوری و خشکی اعمال می‌گردد شیب مذکور بیش از حالتی باشد که گیاه صرفاً تحت تاثیر تنش شوری قرار گیرد و این سبب گردد که نتایج مدل خود نشان دهند. مدل دیرکسن نیز تا میانه‌های رطوبتی خاک تمایل به کم برآورد دارد و بعد از مدل جمع‌پذیر وان‌گنوختن با متوسط خطای ماکسیمم ۰/۲ و متوسط ریشه مربعات خطا ۱۲ درصد در رتبه بعدی قرار می‌گیرد از آنجا که در این مدل پتانسیل آستانه اسمزی و ماتریک در نظر گرفته می‌شود و این امر سبب می‌شود که تاثیر تنش‌های شوری و خشکی تا حدی تعدیل گردد لذا همان‌طور که در اشکال ۶، ۷، ۸ نیز مشخص است این مدل در شرایطی که پتانسیل ماتریک خاک افزایش می‌یابد تمایل به بیش برازش دارد.

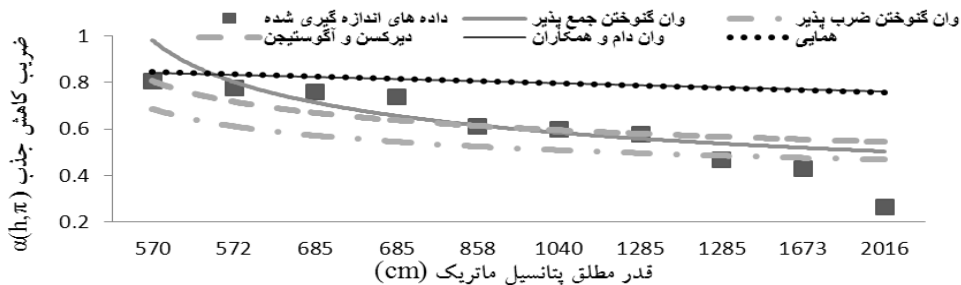
از میان این مدل‌ها در شرایط مذکور مدل جمع‌پذیر و ضرب‌پذیر وان‌گنوختن نتایج نزدیک‌تری به مقادیر اندازه‌گیری شده داشتند البته باید در نظر داشت که مدل جمع‌پذیر در شرایط تنش رطوبتی کمتر و مدل ضرب‌پذیر در شرایط تنش رطوبتی بالا با داده‌های اندازه‌گیری شده تطابق مناسب‌تری دارد و این می‌تواند به دلیل افزایش تاثیر متقابل تنش‌های خشکی و شوری با افزایش هر یک از آن‌ها باشد و دلیل کاهش ناگهانی جذب در شکل ۷ در مکش ۲۰۱۶ سانتی‌متر نیز ناشی از این امر باشد. در مطالعات مشابه، مدل فدس و همکاران برای مکش‌های پایین در شرایط تنش شوری کم و مدل وان‌گنوختن برای مکش‌های بالا پیشنهاد گردیده است (علیزاده و همکاران، ۱۳۸۸).

جدول ۳ ارائه شده است. نتایج کلی آزمایشات نشان می‌دهد که با افزایش تنش خشکی و شوری، میزان جذب ریشه به صورت غیر خطی کاهش می‌یابد به طوری که متوسط نسبت جذب در تیمارهای S_{2.5}-I_{50%} و S_{4.5}-I_{60%} به ترتیب برابر ۰/۶۹، ۰/۵۱ و ۰/۴۳ به‌دست آمد و در شرایطی که پتانسیل ماتریک خاک ثابت بماند با افزایش شوری، میزان جذب کاهش می‌یابد. به طوری که متوسط نسبت جذب در تیمارهای S_{2.5}-I_{50%} و S_{4.5}-I_{50%} S_{6.5}-I_{50%} به ترتیب برابر ۰/۶۹، ۰/۵۷ و ۰/۴۴ به‌دست آمد. اشکال ۸، ۷، ۶ جذب ریشه را در شرایط تنش شوری کم نشان می‌دهند. همان‌طور که در این اشکال مشخص است، تاثیر مشخصی در تیمارهای ۵۰، ۶۰، ۷۰ درصد تخلیه رطوبتی از نظر کاهش عملکرد و جذب آب توسط ریشه دیده نمی‌شود نسبت جذب در طول دوره رشد گیاه در تیمارهای غیر شور S_{0.9}-I_{50%}، S_{0.9}-I_{60%} S_{0.9}-I_{70%} به ترتیب برابر ۰/۸۴، ۰/۷۹ و ۰/۷۳ به‌دست آمد. با افزایش شوری به مقدار ۲/۵ دسی‌زیمنس بر متر تاثیر شوری بر میزان متوسط جذب به‌گونه‌ای است که در تیمارهای با شوری کم یعنی S_{2.5}-I_{50%}، S_{2.5}-I_{60%} S_{2.5}-I_{70%} متوسط نسبت جذب آب توسط ریشه به ترتیب برابر ۰/۶۹، ۰/۶۰ و ۰/۴۸ به‌دست آمد که تاثیر شوری آب آبیاری را بر مقدار جذب نشان می‌دهد و بیانگر تحمل بالای گیاه فلفل به تنش خشکی در صورت استفاده از آب مناسب برای آبیاری می‌باشد.

به عبارت دیگر در صورتی که گیاه تحت تنش شوری قرار نگیرد بهتر می‌تواند خود را در برابر تنش خشکی مقاوم نماید به‌طوری‌که تاثیر خاصی در عملکرد آن دیده نشود. از میان مدل‌های جذب در شرایط تنش خشکی، مدل جمع‌پذیر وان‌گنوختن با متوسط خطای ماکسیمم ۰/۱۵ و متوسط ریشه مربعات خطا سه درصد نتایج دقیق‌تری ارائه داده است. این امر بیانگر آنست که با وجود پایین بودن مقادیر تنش شوری، وقتی گیاه تحت تنش شوری و خشکی در این سطح قرار گیرد، تاثیر همزمان آن‌ها خاصیت جمع‌پذیر دارد. در مکش‌های پایین



شکل ۶- برازش مدل‌های مختلف بر داده‌های اندازه‌گیری شده حاصل از تیمار سطح شوری ۲/۵ds/m و تخلیه ۷۰



شکل ۷- برازش مدل‌های مختلف بر داده‌های اندازه‌گیری شده حاصل از تیمار سطح شوری ۲/۵ds/m و تخلیه ۶۰ درصد



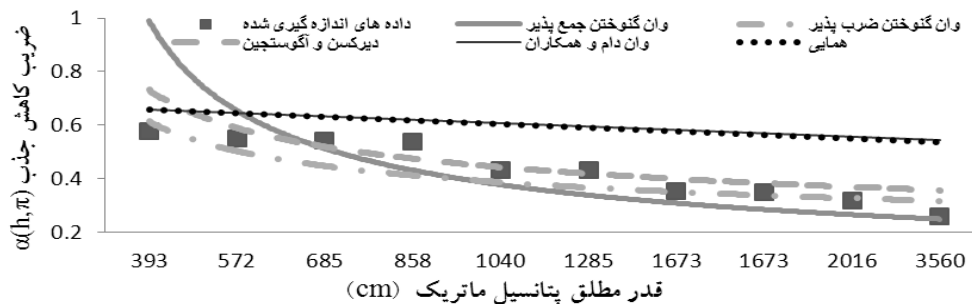
شکل ۸- برازش مدل‌های مختلف بر داده‌های اندازه‌گیری شده حاصل از تیمار سطح شوری ۲/۵ds/m و تخلیه ۵۰ درصد

متوسط ریشه مربعات خطا هفت درصد و وان گنوختن ضرب‌پذیر با متوسط خطای ماکسیمم ۰/۰۹ و متوسط ریشه مربعات خطا هشت درصد دارای برآورد مناسبی از عملکرد محصول در شرایط مذکور می‌باشند. از آنجا که مدل‌های همایی و وان‌دام در شرایط تنش شوری پایین نیز دارای بیش برآورد بودند، به نظر می‌رسد که این مدل‌ها حساسیت گیاه را به تنش‌های توامان خشکی و شوری کمتر برآورد می‌نمایند. اگر چه مدل وان دام و همایی شیب کاهش جذب آب توسط ریشه را در شرایط مختلف تنش خشکی یکسان در نظر می‌گیرند و در مدل‌های مذکور تاثیر تنش خشکی به صورت مجزا در نظر گرفته شده و سپس تنش شوری را لحاظ می‌کنند به نظر می‌رسد

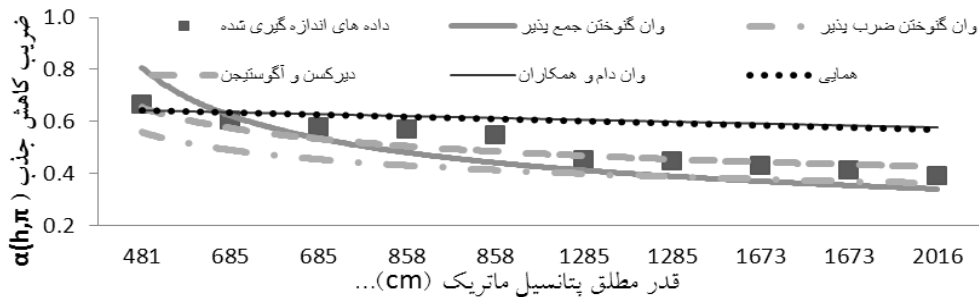
اشکال ۹، ۱۰، ۱۱ ارزیابی مدل‌ها را در شرایط تنش شوری میانه (۴/۵ دسی‌زیمنس بر متر) و اعمال تیمارهای خشکی کم، متوسط و زیاد نشان می‌دهند. همان‌طور که در این اشکال مشخص است، مدل‌های همایی با متوسط خطای ماکسیمم ۰/۱۹ و متوسط ریشه مربعات خطا ۱۲ درصد و مدل وان‌دام با متوسط خطای ماکسیمم ۰/۱۷ و متوسط ریشه مربعات خطا ۹ درصد، در هر سه تیمار دارای بیش برازش بوده و میزان ضریب کاهش جذب را بیش از مقادیر واقعی نشان می‌دهند لیکن مدل‌های دیرکسن و آگوستیچن با متوسط خطای ماکسیمم ۰/۰۹ و متوسط ریشه مربعات خطا چهار درصد و وان گنوختن جمع‌پذیر با متوسط خطای ماکسیمم ۰/۱۲ و

که این می‌تواند ناشی از این امر باشد که در شرایط تنش‌های بالای خشکی و شوری، دو بخش مربوط به اعمال تنش‌ها در مدل‌ها به صورت مستقل عمل نموده و در هم ضرب می‌گردد. در شرایط تنش شوری متوسط و اعمال تیمارهای خشکی، مدل وان‌گنوختن ضرب‌پذیر، برآوردهای دقیقتری نسبت به سایر مدل‌های جذب دارد. در واقع واکنش گیاه به تنش توام شوری متوسط و تنش خشکی، بیشتر خاصیت ضرب‌پذیری دارد و برازش بهتر مدل‌های ضرب‌پذیر وان‌گنوختن و دیرکسن مویلد این مطلب می‌باشد و نتایج آماری مقایسه مدل‌ها نیز تایید کننده این موضوع می‌باشد. با این حال مدل وان‌گنوختن جمع‌پذیر نیز دارای نتایج دقیقی می‌باشد. در تحقیقی که در سه سطح شوری بر روی گندم صورت گرفت افزایش دقت مدل‌های همایی در شوری‌های بیشتر بیان شده است که با نتایج این تحقیق همخوانی دارد (شهیدی و همکاران، ۱۳۸۹). همچنین در شرایط تنش شوری متوسط، مدل‌های جمع‌پذیر نتایج دقیقتری در مطالعات داشته‌اند (علیزاده و همکاران، ۱۳۸۸).

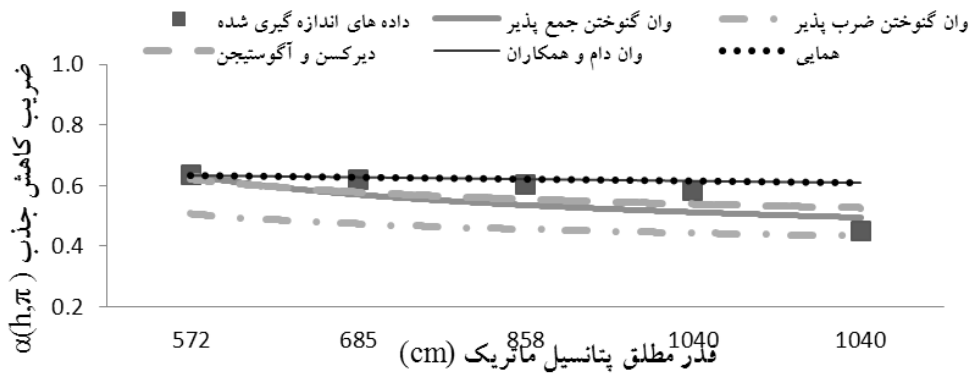
در تنش‌های رطوبتی کمتر و شوری کمتر با توجه به اینکه این مدل‌ها تمایل به بیش‌برازش دارند می‌بایست تاثیر تنش خشکی در این مدل‌ها در شرایط همزمانی با تنش شوری کمتر از مقدار واقعی برآورد می‌گردد به عبارت دیگر بخش دوم مدل‌های مذکور که تاثیر تنش شوری را در نظر می‌گیرد مجزا از بخش اول که تنش خشکی را لحاظ می‌نماید، نمی‌باشد. با کاهش پتانسیل اسمزی و پتانسیل ماتریک، انرژی آزاد آب در خاک و به تبع آن میزان جذب آب توسط گیاه کاهش می‌یابد هنگامی که گیاه تحت تاثیر تنش شوری قرار می‌گیرد می‌تواند خود را تا حدی با املاح محلول سازگار کند و یا اینکه در شوری‌های بالاتر، با افزایش نفوذپذیری ریشه‌ها نسبت به آب شور، شرایط جذب آب بیشتر را فراهم کند. در این شرایط، پاسخ گیاه به افزایش یک سانتی‌متر فشار اسمزی با کاهش یک سانتی‌متر مکش ماتریک یکسان نیست (همایی و همکاران، ۲۰۰۲). البته با بررسی شکل‌های ۹، ۱۰ و ۱۱ مشخص می‌شود که مدل همایی و وان‌دام در تنش‌های شوری بیشتر به مقادیر واقعی نزدیکتر می‌گردد



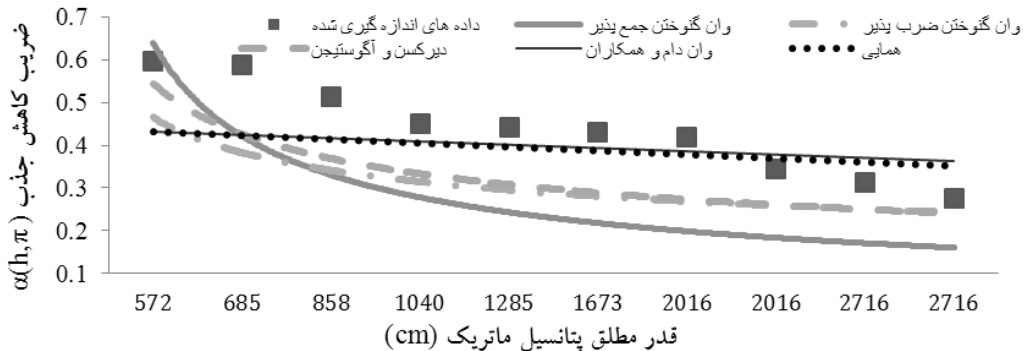
شکل ۹- برازش مدل‌های مختلف برداده‌های اندازه‌گیری شده حاصل از تیمار سطح شوری ۴/۵ dS/m و تخلیه ۷۰ درصد



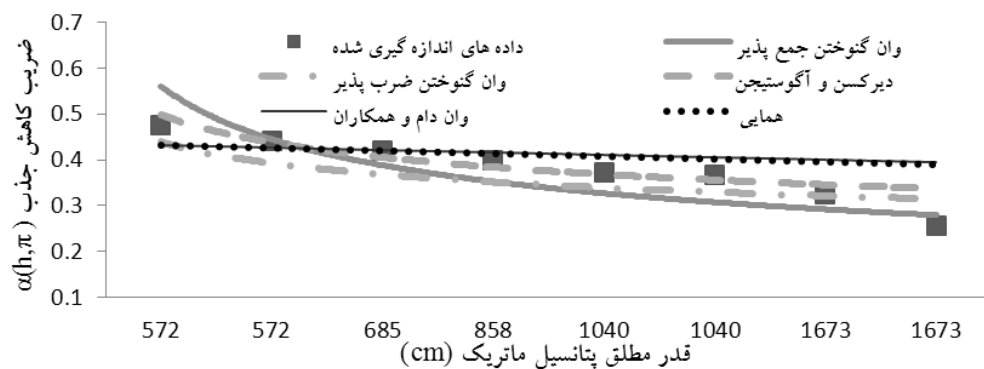
شکل ۱۰- برازش مدل‌های مختلف برداده‌های اندازه‌گیری شده حاصل از تیمار سطح شوری ۴/۵ dS/m و تخلیه ۶۰ درصد



شکل ۱۱- برازش مدل‌های مختلف برداده‌های اندازه‌گیری شده حاصل از تیمار سطح شوری ۴/۵ ds/m و تخلیه ۵۰ درصد اشکال ۱۲، ۱۳، ۱۴ نتایج جذب را در شرایط تنش شوری بالا و اعمال تنش‌های خشکی کم، متوسط و زیاد نشان می‌دهند. همانطور که در این اشکال مشخص است بر خلاف تنش شوری ۲/۵ دسی‌زیمنس بر متر، در شوری ۶/۵ دسی‌زیمنس بر متر برآورد مدل‌ها اکثراً در پایین مقادیر اندازه‌گیری شده قرار می‌گیرند. با توجه به آنکه در این شرایط مدل همایی و وان‌دام دارای نتایج دقیقتری می‌باشند می‌توان دلیل این امر را به در نظر گرفتن پتانسیل آستانه اسمزی و ماتریک در این مدل‌ها نسبت داد. به عبارت دیگر برآورد مدل‌ها از میزان جذب آب توسط ریشه کمتر از مقادیر واقعی می‌باشد. در شرایطی که سایر مدل‌ها برآورد کمتر از مقادیر واقعی از جذب آب توسط گیاه را نشان می‌دهند، مدل همایی (۱۹۹۹) با متوسط خطای ماکسیمم ۰/۱۱ و متوسط ریشه



شکل ۱۲- برازش مدل‌های مختلف برداده‌های اندازه‌گیری شده حاصل از تیمار سطح شوری ۶/۵ ds/m و تخلیه ۷۰ درصد



شکل ۱۳- برازش مدل‌های مختلف برداده‌های اندازه‌گیری شده حاصل از تیمار سطح شوری ۶/۵ds/m و تخلیه ۶۰ درصد



شکل ۱۴- برازش مدل‌های مختلف برداده‌های اندازه‌گیری شده حاصل از تیمار سطح شوری ۶/۵ds/m و تخلیه ۵۰ درصد

جدول ۳- مقایسه مدل‌ها از نظر آماره‌های خطای ماکزیمم و ریشه میانگین مربعات خطا

| مدل دارای بهترین برازش | وان گنوختن جمع پذیر | | وان گنوختن ضرب پذیر | | وان دام و همکاران | | همایی | | سطح تخلیه رطوبتی (درصد) | سطح شوری (دسی زیمنس بر متر) | ردیف |
|------------------------------|-----------------------------|---------------------------------------|-----------------------------|---------------------------------------|-----------------------------|---------------------------------------|-----------------------------|---------------------------------------|-------------------------|-----------------------------|------|
| | آماره های خطای ماکزیمم (ME) | ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) (درصد) | آماره های خطای ماکزیمم (ME) | ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) (درصد) | آماره های خطای ماکزیمم (ME) | ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) (درصد) | آماره های خطای ماکزیمم (ME) | ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) (درصد) | | | |
| وان گنوختن جمع پذیر | ۳۰ | ۰/۴۴ | ۳۱ | ۰/۴۴ | ۸ | ۰/۱۶ | ۷ | ۰/۱۴ | ۷۰ | | |
| وان گنوختن ضرب پذیر | ۲۴ | ۰/۴۸ | ۲۵ | ۰/۴۹ | ۹ | ۰/۲۱ | ۱۲ | ۰/۱۹ | ۶۰ | ۲/۵ | ۱ |
| وان گنوختن ضرب پذیر | ۳۰ | ۰/۳۹ | ۳۰ | ۰/۳۹ | ۲۰ | ۰/۲۵ | ۳ | ۰/۲۵ | ۵۰ | | |
| وان گنوختن ضرب پذیر و دیرکسن | ۱۸ | ۰/۲۵ | ۱۸ | ۰/۲۶ | ۵ | ۰/۰۹ | ۴ | ۰/۰۸ | ۷۰ | | |
| دیرکسن | ۱۲ | ۰/۱۷ | ۱۲ | ۰/۱۸ | ۴ | ۰/۱۱ | ۹ | ۰/۰۵ | ۶۰ | ۴/۵ | ۲ |
| دیرکسن | ۷ | ۰/۱۶ | ۷ | ۰/۱۶ | ۵ | ۰/۰۷ | ۱۳ | ۰/۱۵ | ۵۰ | | |
| همایی ، وان دام و دیرکسن | ۹ | ۰/۱۷ | ۹ | ۰/۱۷ | ۱۱ | ۰/۱۵ | ۱۳ | ۰/۱۹ | ۷۰ | | |
| وان گنوختن ضرب پذیر و دیرکسن | ۶ | ۰/۱۳ | ۶ | ۰/۱۴ | ۲ | ۰/۰۵ | ۴ | ۰/۰۷ | ۶۰ | ۶/۵ | ۳ |
| همایی ، وان دام و دیرکسن | ۳ | ۰/۰۵ | ۳ | ۰/۰۵ | ۲ | ۰/۰۳ | ۵ | ۰/۰۶ | ۵۰ | | |

سطوح بالا ماهیت واکنش ضرب‌پذیر می‌گردد. همچنین در سطح شوری ۲/۵ دسی‌زیمنس بر متر و با افزایش میزان پتانسیل ماتریک خاک، مدل جمع‌پذیر وان گنوختن برازش

با توجه به جدول (۳) می‌توان دریافت که در شرایط تنش همزمان خشکی و شوری در شوری‌های پایین‌تر ماهیت واکنش جمع‌پذیر بوده و در شوری‌های

نتیجه گیری

از میان مدل‌های یاد شده مدل دیرکسن با بیشترین تعداد برازش خوب با داده‌های اندازه‌گیری شده در سطوح شوری ۴/۵ و ۶/۵ می‌تواند به عنوان مدل بهتر معرفی گردد. هرچند در سطوح شوری بالا و تخلیه رطوبتی بیشتر، مدل‌های همایی و وان‌دام نیز برازش بهتری با داده‌های اندازه‌گیری شده دارند. برای پیش‌بینی عملکرد گیاه تحت تنش شوری و خشکی پیشنهاد می‌گردد در سطوح پایین شوری از مدل جمع‌پذیر وان‌گنوختن، در شوری‌های سطوح متوسط از مدل‌های ضرب‌پذیر وان‌گنوختن و دیرکسن و در سطوح شوری بالا از مدل‌های ضرب‌پذیر همایی و وان‌دام استفاده گردد.

بهتری را با داده‌های اندازه‌گیری ارایه نمودند. در سطح شوری ۴/۵ دسی‌زیمنس بر متر از میان مدل‌های ضرب‌پذیر، مدل دیرکسن بهترین برازش را با داده‌های اندازه‌گیری در سطوح تخلیه رطوبتی ۵۰ و ۶۰ درصد داشت و با کاهش پتانسیل ماتریک خاک و تخلیه رطوبت تا ۷۰ درصد، مدل ضرب‌پذیر وان‌گنوختن نتایج بهتری داشت. در سطح شوری ۶/۵ دسی‌زیمنس بر متر و سطوح تخلیه رطوبتی ۵۰ و ۶۰ درصد، مدل ضرب‌پذیر دیرکسن بهترین برازش را با داده‌های اندازه‌گیری داشت و در سطح تخلیه رطوبتی ۷۰ درصد نیز مدل‌های وان‌دام و همایی تطابق بهتری با داده‌های اندازه‌گیری داشتند.

فهرست منابع

۱. جلالی و همایی م. میرنیا س.خ. ۱۳۸۷. مدل‌سازی واکنش کلزا به شوری طی دوره‌های رشد زایشی. مجله علوم آب و خاک. علوم و فنون کشاورزی و منابع. ۱۲(۴۴):۱۲۱-۱۱۱.
۲. سالاریان م، ۱۳۹۳. بررسی اثرات کم‌آبایی و شوری آب بر عملکرد فلفل گلخانه‌ای در سیستم هوشمند آبیاری قطره‌ای. پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه فردوسی مشهد.
۳. سلیمی ح. ۱۳۹۰. بررسی اثر پتانسیل اسمزی آب و رطوبت خاک بر جوانه زنی بذر و سبز شدن گیاهچه اکوتیپ‌های مختلف خردل وحشی. مجله دانش علف‌های هرز. ۷(۲): ۹۴-۸۹.
۴. شهیدی ع. نحوی نیا م. ج. پارسى نژاد م. ۱۳۸۹. ارزیابی توابع کاهش جذب آب در شرایط تنش همزمان شوری و خشکی توسط رقم روشن گندم. مجله پژوهش آب ایران. ۴(۷): ۱-۱۲.
۵. عباسی ف. ۱۳۸۶. فیزیک خاک پیشرفته. تهران: دانشگاه تهران.
۶. علیزاده ح. ع. نوری محمدیه م. لیاقت ع. ۱۳۸۸. ارزیابی توابع کاهش جذب آب توسط گوجه فرنگی در شرایط تنش همزمان شوری و خشکی. نشریه آب و خاک. ۲۳(۳): ۹۷-۸۸.
۷. علیزاده ا. ۱۳۹۰. رابطه آب و خاک و گیاه. مشهد: دانشگاه فردوسی.
۸. کیانی ع. همایی م. میرلطیفی م. ۱۳۸۵. ارزیابی توابع کاهش عملکرد گندم در شرایط توأم شوری و کم‌آبی. مجله علوم خاک و آب. ۲۰(۱): ۷۳-۸۳.
۹. گلابی م. ناصری ع. ع. ۱۳۹۲. ارزیابی مدل‌های جذب آب تحت تنش شوری (مطالعه موردی گیاه نیشکر، استان خوزستان). دومین کنفرانس بین‌المللی مدلسازی گیاه، آب، خاک و هوا، کرمان، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته.
۱۰. همایی م. ۱۳۸۱. واکنش گیاهان به شوری. تهران: نشریه شماره ۸، کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران.
11. Dirksen, C., and Augustijn D.C. 1988. Root water uptake function for nonuniform pressure and osmotic potentials. Agric. Abstracts. pp.188.
12. Feddes, R.A., Kowalik, P.J. and Zaradny, H. 1978. Simulation of field water use and crop yield. Prudoc, Wageningen. 189 pp.

13. Homae, M., Dirksen, C. and Feddes, R.A. 2002. Simulation of root water uptake . I .Non – uniform transient salinity using different macroscopic reduction functions .agricultural water management .57.89-109 .
14. Homae, M. 1999. Root water uptake under nonuniform transient salinity and water tress.Ph.D. Thesis , Wageningen Agricultural University. 173 pp.
15. Lopez,M., Ulery, A., Samani, Z., Picchioni, G., Flynn, R.P. 2008. Response of Chile Ppepper(*Capsicum annuum L.*) to Salt Stress and Organic and Inorganic Nitrogen Sources. Tropical and Subtropical Agroecosystems, 14: 757-763.
16. Maas, E.V. and Hoffman, G.J. 1977. Crop salt tolerance Current assessment. J. Irrig. Drain. Div. Am. Soc.Civ. Eng, 103:115–134.
17. Skaggs, T.H., Van Genuchten, M.Th., Shouse, P.J. and Poss J.A. 2006. Root uptake and transpiration: From measurements and models to sustainable irrigations. Agric. Water Manage, 86: 140–179.
18. Unlukara, A.,Kurunc, A., Cemek, B. 2015. Green Long Pepper Growth under Different Saline and Water Regime Conditions and Usability of Water Consumption in Plant Salt Tolerance. Journal of Agricultural Sciences. 21: 167-176.
19. Van Dam, J.C., Huygen, J., Wesseling, J.G., Feddes, R.A., Kabat, P., Van Walsum, P.E.V., Groenendijk, P. and Van Diepen, C.A. 1997.Theory of SWAP, version 2. Simulation of water flow, solute transport plant growth in the soil-water-atmosphere-plant environment. Report No.71. Dept. of Water Resources.Wageningen Agricultural Univ. 167 pp.
20. Van genuchten, M. Th. and Gupta, S.K.1993. A Reassessment of the Crop Tolerance Response Function. Journal of the Indian Society of Soil Science, 41(4): 730-737.
21. Van Genuchten, M. Th. 1987. A numerical model for water and solute movement in and below the root zone. Research Report, U. S. Salinity Lab. Riverside CA.
22. Yanagawa , A. and Fujimaki, H.2013. Tolerance of canola to drought and salinity stresses in terms of root water uptake model parameters. J. Hydrol. Hydromech. 61(1) 73–80.