

## جذب آب توسط ریشه ذرت در شرایط تنش توأمان خشکی و شوری

شکراله اسماعیلی<sup>۱\*</sup>، مسعود پارسی نژاد<sup>۲</sup> و عبدالمجید لیاقت<sup>۳</sup>

### چکیده

در فاصله بین دو آبیاری تغییرات شوری و رطوبت همواره باعث نوسان جذب در نیمرخ ریشه می‌شود. هدف این تحقیق بررسی اثر تنش شوری و خشکی به صورت جداگانه و توأمان در دو لایه مجزا از ریشه است. دو سطح شوری (ECe) ۱/۰ و ۳/۸ دسی زیمنس بر متر و دو سطح تخلیه رطوبتی (Dep) برابر ۳۰ (بدون تنش) و ۶۰ درصد (تنش رطوبتی) آب قابل استفاده در نظر گرفته شد. هر لایه ترکیبی از یک سطح شوری و یک سطح تخلیه رطوبتی بود. آزمایش بر روی گیاه ذرت و در هوای آزاد صورت گرفت. ۱۶ تیمار با سه تکرار و در مجموع ۴۸ عدد لایسیمتر انتخاب و به دو لایه ۳۲ سانتی‌متری در بالا و ۴۸ سانتی‌متری در پایین تقسیم شدند. لایه بالا از سطح و لایه پایین به روش زیر سطحی آبیاری شد. نتایج نشان داد که بیشترین جذب جبرانی از بخشهایی از ریشه صورت گرفت که شوری کمتر و رطوبت بیشتری داشتند و لایه پایین کاهش جذب ناشی از تنش در لایه بالا را تا حدودی می‌تواند جبران کند. در برخی تیمارها هر چند جذب به صورت جبرانی نبود ولی افزایش تنش در یک لایه از ریشه باعث افزایش جذب در لایه دیگر شد. گیاه با سازگاری بیشتر با شرایط تنشی جدید، بیشترین جذب را از نقاطی دارد که در آن کمترین تنش را داشته باشد. این تحقیق نشان داد که جذب جبرانی زمانی صورت می‌گیرد که یکی از لایه‌ها تحت هیچ گونه تنشی قرار نداشته باشند.

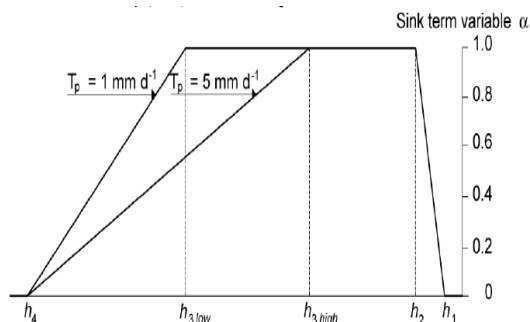
**واژه‌های کلیدی:** ریشه، جذب جبرانی، تنش شوری، تنش خشکی.

ارجاع: اسماعیلی ش.ا. پارسی نژاد م. و لیاقت ع. ۱۳۹۰. جذب آب توسط ریشه ذرت در شرایط تنش توأمان خشکی و شوری. مجله پژوهش آب ایران. (۹)۵: ۱۰۱-۱۱۲.

۱- دانشجوی سابق دکتری آبیاری و زهکشی، دانشکده مهندسی آب و خاک، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران  
۲- دانشیار گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، دانشکده مهندسی آب و خاک، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران.  
۳- استاد گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، دانشکده مهندسی آب و خاک، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران.

\* نویسنده مسئول: [sh\\_esmaeili\\_gh@yahoo.com](mailto:sh_esmaeili_gh@yahoo.com)

تاریخ دریافت: ۱۳۸۹/۰۹/۱۳ تاریخ پذیرش: ۱۳۸۹/۱۲/۲۱



شکل ۱- متغیر  $\alpha$  به صورت تابعی از مکش رطوبت خاک (فدس و همکاران، ۱۹۷۸)

توزیع غیر یکنواخت رطوبت در ناحیه ریشه بعد از آبیاری یا در بارندگی‌های کوتاه مدت سبب تغییرات پروفیل رطوبت از مرطوب در سطح تا خشک در اعماق می‌گردد، در چنین حالتی الگوی جذب نوسان داشته و این مسأله زمانی پیچیده‌تر می‌شود که املاح موجود در خاک نیز چنین وضعیتی داشته باشند. ضریب کاهش جذب توأمان  $\alpha_i(h, h_0)$ ، که تابعی از پتانسیل رطوبتی و اسمزی است به صورت معادله ۲ توصیف می‌شود (همانی، ۲۰۰۲).

$$\alpha(h, h_0) = \frac{h - (h_4 - h_0)}{(h_3) - (h_4 - h_0)} \left[ 1 - \frac{a}{360} (h_0^* - (h_0)) \right] \quad (2)$$

که در آن  $h_0^*$  فشار اسمزی حد آستانه تحمل به شوری که تا پیش از آن کاهش در جذب آب رخ نمی‌دهد (cm).  $h_0$  فشار اسمزی پس از عبور از حد آستانه تحمل به شوری (cm)،  $h_4$  پتانسیل ماتریک در نقطه پژمردگی (cm) و  $h_3$  پتانسیل ماتریک در آستانه کاهش جذب آب (cm)،  $a$  شیب خط و ۳۶۰ ضریبی که شوری خاک (ds/m) را به فشار اسمزی بر حسب سانتی‌متر آب تبدیل می‌کند. جذب آب بوسیله ریشه وابسته به زمان و مکان بوده و بوسیله خصوصیات خاک، گیاه و اتمسفر کنترل می‌شود.

در مناطق خشک و نیمه خشک همواره آب آبیاری حاوی املاح مختلفی بوده و با تبخیر آب از سطح خاک و همچنین تعرق بوسیله گیاه میزان شوری در لایه‌های سطحی خاک افزایش می‌یابد که در نهایت سبب تغییرات جذب در پروفیل ریشه می‌شود در حالی که در مدل‌های جذب موجود فقط متوسط شوری محیط ریشه اعمال می‌شود (همایی، ۲۰۰۸). آگاهی از نحوه جذب آب توسط

## مقدمه

در یک فرایند پیوسته بین خاک-گیاه و اتمسفر، شدت تعرق متأثر از میزان جذب آب بوسیله گیاه است. پدیده جذب یک پدیده غیر ایستا و دینامیک است و متأثر از عوامل متعددی مانند هدایت هیدرولیکی خاک، عمق ریشه، تراکم و توزیع ریشه، مکش ماتریک و اسمزی آب خاک، نیاز تبخیری جو، وجود آب زیرزمینی کم عمق، مقاومت گیاهی و مراحل مختلف رشد گیاهی می‌باشد. از نظر کمیت جذب آب توسط ریشه، مدل‌ها به دو دسته کلان (ماکروسکوپی) و خرد (میکروسکوپی) تقسیم‌بندی می‌شوند. در روش میکروسکوپی که عمومی‌ترین شکل آن توسط گاردنر (۱۹۶۰) ارائه شد جذب در مقیاس هر رشته ریشه و به صورتی در نظر گرفته می‌شود که خصوصیات جذب آب در مقطع عرضی دقیقاً شبیه یکدیگر است. این گونه مدل‌ها بخاطر عدم دسترسی به بعضی از پارامترهای آن غیر ممکن است و از آنها کمتر استفاده می‌شود. مدل‌های کلان، منطقه توسعه ریشه را به صورت کلی لحاظ می‌شود و فرض بر این است که تمام سیستم ریشه هم زمان در جذب آب شرکت دارند. در واقع جذب آب از خاک، توسط گیاه برابر تعرق واقعی بوده و اگر تنش وجود نداشته باشد، حداکثر تعرق اتفاق خواهد افتاد.

در شرایط مناسب رطوبتی، حداکثر جذب آب،  $S_p(z)$  (d<sup>-1</sup>) در تمام عمق ریشه، برابر تعرق پتانسیل، (cm d<sup>-1</sup>)  $T_p$  است، که بوسیله شرایط اتمسفر کنترل می‌شود. فدس و همکاران (۱۹۷۶) برای اولین بار مقدار  $S$  را به صورت تابعی از رطوبت خاک ( $\theta$ ) ارائه کردند. در تحقیقات بعدی (فدس و همکاران ۱۹۷۸) میزان جذب به صورت تابعی از مکش رطوبت خاک، ( $h$ ) بیان شد:

$$S(h) = \alpha(h) S_p(z) \quad (1)$$

که در آن:  $\alpha(h)$  فاکتور بدون بعدی که تابع مکش رطوبت خاک است. در شرایط غیر ایده آل (خشکی یا رطوبت بیش از حد)  $S_p(z)$  بوسیله فاکتور  $\alpha(h)$  تابع مکش ماتریک خاک،  $\alpha(h_0)$  تابع فشار اسمزی یا  $\alpha(h, h_0)$  تابع فشار ماتریک و اسمزی به صورت توأمان، کاهش پیدا می‌کند. شکل فاکتور  $\alpha(h)$  که بوسیله فدس و همکاران (۱۹۷۸) پیشنهاد گردید به صورت شکل ۱ است.

جبرانی بی معنی خواهد بود. هر کلرات و همکاران (۱۹۷۷) برای اندازه‌گیری توزیع عمودی جذب آب بوسیله ریشه هر ستون خاک را به پنج قسمت تقسیم و به وسیله واکس از یکدیگر جدا نمودند و نشان دادند که بیشترین جذب ابتدا در نزدیکی سطح خاک و پس از آن در اعماق صورت می‌گیرد. بعضی از تحقیقات نشان می‌دهد که آب جذب شده از قسمت‌های مرطوب خاک بوسیله بافت‌های گیاهی منتقل شده و در قسمت‌های خشک وارد خاک می‌شوند (فیلیپس وریا، ۱۹۹۴).

مدیریت مناسب و پایدار منابع آب و خاک بستگی زیادی به توانایی پیش بینی اثرات تنش شوری و رطوبتی بر روی گیاهان دارد. تغییرات رطوبتی و شوری در عمق ریشه نسبت به زمان همواره وجود دارد و در سراسر ناحیه ریشه نیز یکنواخت نیست. افزایش تنش در یک بخش ریشه با افزایش جذب از قسمت‌های مرطوب‌تر و با شوری کمتر جبران می‌گردد. هدف از انجام این پژوهش بررسی الگوی جذب آب از گستره عمق ریشه در شرایط رطوبتی مختلف و شوری‌های متفاوت است.

### مواد و روش‌ها

برای بررسی میزان جذب در لایه‌های مختلف ریشه در اثر تنش رطوبتی و شوری این آزمایش در ایستگاه تحقیقات آب پردیس کشاورزی و منابع طبیعی کرج واقع در  $35^{\circ}48'$  شمالی و  $51^{\circ}$  شرقی انجام شد. ارتفاع منطقه از سطح دریا  $1335$  متر و دارای آب و هوای نیمه خشک سرد می‌باشد. میزان بارندگی متوسط سالیانه  $250$  میلی‌متر بوده و حداکثر و حداقل درجه حرارت آن به ترتیب معادل  $41$  درجه سانتی‌گراد و  $21/7$ - درجه سانتی‌گراد می‌باشد. برای انجام این مطالعه تعداد  $48$  عدد لایسیمتر به قطر  $55$  و ارتفاع  $90$  سانتی‌متر انتخاب شد. لایسیمترها در هوای آزاد قرار داشتند و خاک مورد استفاده از خاک زراعی تهیه و الک شد و سپس لایسیمترها در لایه‌های  $10$  سانتی‌متری پس از اطمینان از تراکم نسبی پر شد به گونه‌ای که اندازه‌گیری‌ها نهایتاً جرم مخصوص ظاهری خاک  $1/4$  گرم بر سانتی‌متر مکعب را نشان داد. مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک لایسیمترها در جداول ۱ تا ۳ آورده شده است.

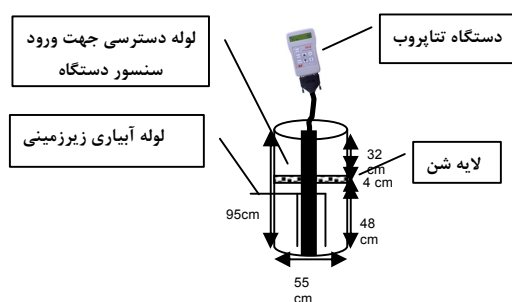
ریشه در اعماق مختلف و در شرایط محیطی متفاوت لازم است و می‌تواند به مدیریت بهتر منابع آب، صرفه جویی و نظارت بر مصرف آب کمک کند. اکثر مدل‌های جذب آب توسط ریشه که توسط محققین مختلف ارایه شده است همواره جبران جذب آب توسط قسمت‌های مرطوب‌تر ریشه را بیان نکرده و فقط تعداد محدودی مطالعه در مورد جذب جبرانی آب در شرایط تنش رطوبتی صورت پذیرفته است (یارویس، ۱۹۸۹؛ لی و همکاران، ۲۰۰۱). با استفاده از مکانیسم جذب جبرانی میزان کاهش جذب از یک قسمت ریشه بوسیله افزایش جذب از نواحی دیگر جبران می‌گردد و غالباً این نکته مهم در معادلات جذب در نظر گرفته نمی‌شود. بعضی مطالعات نشان داده است که وقتی لایه بالایی ریشه دارای رطوبت کمتری است سهم زیادی از تعرق توسط اعماق پایین‌تر و مرطوب‌تر ریشه جبران می‌گردد (نیاما و بلک، ۱۹۷۷؛ اسکگر و همکاران، ۲۰۰۶؛ گرین و همکاران، ۱۹۹۹).

پانگ و لتی (۱۹۹۸) روشی را ارایه کردند که در آن کاهش جذب آب در یک قسمت ریشه با جذب بیشتر رطوبت توسط قسمت‌های دیگر جبران می‌شود. مدل‌های ارایه شده توسط ویلیامز (۱۹۹۵)؛ لی و همکاران (۲۰۰۱) نشان دهنده جذب جبرانی آب توسط ریشه است که گیاه با تغییر نقطه حداکثر جذب آب از سطح به عمق می‌تواند تا حدود زیادی از تنش رطوبتی جلوگیری کند. ذاکری نیا و همکاران (۱۳۸۷) اثر تنش آبی را بر روی جذب قسمت‌های مختلف ریشه مورد بررسی قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که صرفنظر از چگالی طولی ریشه، گیاه می‌تواند با افزایش فعالیت ریشه و جذب بیشتر در لایه‌های عمقی مرطوب بخشی از اثر تنش خشکی ناشی از رطوبت کم در لایه‌های فوقانی را جبران کند.

تحقیقات نشان داده است که با ایجاد تنش خشکی در یک قسمت از ریشه علاوه بر افزایش راندمان مصرف آب در عملکرد گیاه نیز کاهش محسوسی مشاهده نمی‌شود (شائوژونگ و همکاران، ۲۰۰۲؛ موسوی و همکاران، ۲۰۱۰؛ شاه نظری و همکاران، ۲۰۰۶)

سیمونک و هاپمنز (۲۰۰۹) با معرفی پارامتری بنام شاخص استرس بحرانی و با بررسی جذب جبرانی آب توسط ریشه در شرایط تنش رطوبتی نشان دادند که اگر تمام ناحیه ریشه تحت تنش رطوبتی قرار گیرد جذب

میلیمتری به صورت عمودی و به موازات یکدیگر به طول ۲۵ سانتی‌متر انجام شد که لوله‌های ۱۶ میلی‌متری در فواصل ۵ سانتی‌متری دارای روزنه‌هایی به قطر یک میلی‌متر بوده و تمام اطراف آنها بوسیله پارچه نخی پوشانده شدند. این لوله‌ها بوسیله سه راهی پلی اتیلن به هم مرتبط و به یک مخزن متصل شده بودند. پایش تغییرات رطوبت خاک اعماق لایسیمترها بوسیله دستگاه پروفیل پروب (شکل ۲) و از طریق لوله عمودی تعبیه شده در سرتاسر عمق خاک انجام شد. حجم آب آبیاری به گونه‌ای محاسبه شد که رطوبت خاک بسته به تیمار مورد نظر در محدوده DEP ۳۰ یا ۶۰ درصد باقی بماند. تیمارها به صورت روزانه آبیاری گردید و حجم آب مورد نیاز برای لایه بالا از سطح و لایه پایین بوسیله مخزنی که در کنار لایسیمترها قرار داشت تأمین شد.



شکل ۲ - نمای لایسیمترهای ساخته شده

جدول ۱- مشخصات فیزیکی خاک بر پایه معادله ونگنوختن

شرح	پارامتر
۲۴	رطوبت حجمی ظرفیت زراعی (%)
۹	رطوبت حجمی نقطه پژمردگی (%)
۴۱	رطوبت حجمی اشباع (%)
۲۳/۲	هدایت آبی (cm/day)
۱/۴۵	n
۰/۵	L
۰/۰۱۵	(cm) $\alpha$

جدول ۲- مشخصات فیزیکی خاک

بافت خاک	رس (%)	سیلت (%)	شن (%)
S.L.	۱۴/۴	۲۸	۵۷/۶

برای جلوگیری از تبادل رطوبتی و تفکیک هر قسمت، یک لایه شن شسته شده به ضخامت ۴ سانتی‌متر استفاده و هر لایسیمتر به دو لایه ۴۸ (پایین) و ۳۲ سانتی‌متری (لایه بالا) تقسیم شد. با فرض اینکه جذب از روش ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰ و ۱۰ درصدی تبعیت می‌کند عمق دو لایه طوری در نظر گرفته شد که آب به صورت مساوی جذب شود.

آبیاری لایه بالا از سطح و لایه پایین به روش زیر سطحی و با استفاده از دو لوله پلی اتیلن ۱۶

جدول ۳- مشخصات شیمیایی خاک

Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Mg <sup>++</sup>	Ca <sup>++</sup> mequ/lit	So <sub>4</sub> <sup>--</sup>	Cl <sup>-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Ece ds/m	PH
۲/۱	۳۳	۲	۶	۳/۸۳	۲	۴/۶	۱/۰۱	۷/۵۳

جدول ۴- خصوصیات شیمیایی آب

SAR	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup> mequ/lit	Mg <sup>++</sup>	Ca <sup>++</sup>	So <sub>4</sub> <sup>--</sup>	Cl <sup>-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	CO <sub>3</sub> <sup>--</sup>	PH	EC ds/m
۱/۰۵	۰/۰۱	۱/۸۲	۳	۳	۲/۱	۲/۱۲	۳/۶	۰	۷/۵	۰/۷

جدول ۵- مشخصات تیمارهای اعمال شده

تیمار	لایه بالا		لایه پایین	
	Dep (%)	ECe (dS/m)	Dep (%)	ECe (dS/m)
۱	۳۰	۱	۳۰	۱
۲	۶۰	۱	۳۰	۱
۳	۳۰	۱	۶۰	۱
۴	۶۰	۱	۶۰	۱
۵	۳۰	۳/۸	۳۰	۳/۸
۶	۶۰	۳/۸	۳۰	۳/۸
۷	۳۰	۳/۸	۶۰	۳/۸
۸	۶۰	۳/۸	۶۰	۳/۸
۹	۳۰	۳/۸	۳۰	۱
۱۰	۳۰	۱	۳۰	۳/۸
۱۱	۶۰	۳/۸	۶۰	۱
۱۲	۶۰	۱	۶۰	۳/۸
۱۳	۶۰	۱	۳۰	۳/۸
۱۴	۳۰	۱	۶۰	۳/۸
۱۵	۶۰	۳/۸	۳۰	۱
۱۶	۳۰	۳/۸	۳۰	۱

### نتایج و بحث

در طول دوره اعمال تیمارها رطوبت خاک به طور مرتب در هر دو لایه قبل و بعد از هر آبیاری روزانه اندازه‌گیری شد. وجود لایه تفکیک کننده شنی از تبادل و توزیع مجدد رطوبت در بین دو لایه جلوگیری نمود ضمن اینکه حد رطوبت کنترل شده در هر لایه پایین‌تر از ظرفیت زراعی بود و در نتیجه زمینه نفوذ ثقلی وجود نداشت. نوسانات رطوبتی در فاصله بین دو آبیاری در اثر جذب رطوبت بوسیله گیاه تعیین شد.

این طرح در قالب بلوک‌های کامل تصادفی بررسی شد. تجزیه آماری نشان داد که در لایه بالا، بین تیمارهای مورد بررسی از نظر میزان جذب در سطح آماری ۱٪ تفاوت معنی‌داری وجود دارد (جدول ۶). با مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون دانکن مشخص شد که تیمارهای ۱۵ و ۹ به ترتیب بیشترین میزان جذب را در لایه بالا به خود اختصاص دادند و کمترین میزان جذب در لایه بالا به ترتیب مربوط به تیمارهای ۸، ۱۲ و ۷ بود. سایر تیمارها از نظر میزان جذب در بین این دو گروه قرار داشتند (جدول ۷).

برای ورود سنسور دستگاه رطوبت سنج و قرائت رطوبت در خاک، لوله دسترسی از جنس PVC و به طول یک متر (پس از واسنجی) در وسط لایسیمترها جاسازی شدند. بذر ذرت (رقم ۳۷۰) از سازمان تحقیقات کشاورزی تهیه و در اواسط خرداد ۱۳۸۹ کشت شد. برای اطمینان از رشد کامل ریشه، در کلیه تیمارها تا پایان دوره رویشی با آب معمولی آبیاری شد و با شروع دوره زایش تیمارها اعمال شدند. طرح شامل ۱۶ تیمار در شامل سه تکرار بود. دو سطح شوری (ECe) ۱/۰ دسی زیمنس (بدون کاهش عملکرد) و ۳/۸ دسی زیمنس بر متر (معادل حد شوری خاک برای پذیرش کاهش ۲۵ درصدی عملکرد) و همچنین دو سطح تخلیه رطوبتی (Dep) برابر ۳۰ (بدون تنش) و ۶۰ درصد (با تنش) آب قابل استفاده در نظر گرفته شد. بر اساس اندازه‌گیری‌های انجام شده ظرفیت زراعی خاک ( $\theta_{FC}$ ) ۲۴ و نقطه پژمردگی آن برابر ۹ درصد حجمی بود. به عنوان مثال در تیمارهایی که حد تخلیه رطوبتی برابر با ۶۰ درصد بود، با توجه به مقادیر  $\theta_{FC}$  و رطوبت اندازه‌گیری شده مقادیر آبیاری در هر روز به نحوی تنظیم می‌گردید که رطوبت در محدوده ۱۵/۴ درصد حجمی نگه داشته شود و هیچ گونه آب زهکشی شده در هر دو لایه وجود نداشته باشد. در ابتدای آزمایش با توجه به شوری اولیه خاک (یک دسی زیمنس بر متر) نمک مورد نیاز جهت افزایش شوری محاسبه و به همراه آب آبیاری به خاک اضافه شد. این میزان نمک جهت رساندن لایه بالا و پایین به شوری ۳/۸ دسی زیمنس بر متر به ترتیب ۴۶/۸ و ۷۵/۵ گرم محاسبه شد که مخلوطی از NaCl و CaCl<sub>2</sub> بود. قرائت رطوبت هر روز صبح زود انجام شد و با توجه به میزان کاهش رطوبت، مقدار آب آبیاری محاسبه و به هر لایه از خاک اضافه شد. با توجه به شوری اولیه خاک و میزان نمک موجود در آب آبیاری که روزانه به خاک اضافه می‌گردید وضعیت شوری در لایه‌های مختلف ریشه بدست آمد. تیمارهای اعمال شده به تفکیک در جدول ۵ آورده شده است. به همین ترتیب، مدیریت کنترل شوری و رطوبت تا تکمیل مرحله رشد گیاه و به مدت ۳۶ روز انجام شد. در انتها با توجه به مدیریت مختلف رطوبت خاک در فاصله دو آبیاری، روزانه میزان جذب در هر لایه تعریف و تعیین شد.

جدول ۶- مقایسه میانگین مربعات میزان جذب در لایه بالا و پایین تیمارهای مورد بررسی

منابع تغییر s.o.v	درجه آزادی df	میانگین مربعات جذب لایه بالا MS	میانگین مربعات جذب لایه پایین MS
بلوک	۲	۰/۰۲۲۶۶۸۸ ns <sup>†</sup>	۰/۱۸۷۴۰۸۳۳**
تیمار	۱۵	۷/۷۳۳۷۱۲۱** <sup>†</sup>	۴/۷۹۹۷۵۸۷۵**
خطا	۳۰	۰/۰۰۸۸۴۲۱	۰/۰۰۱۳۰۱۶۷

†: معنی‌دار در سطح آماری ۱٪، ns معنی‌دار نیست

پتانسیل در نظر گرفته شود (شکل ۶)، در تیمار شاهد سهم لایه بالا ۶۶/۵ و لایه پایین ۳۳/۵ درصد خواهد بود (شکل ۷). در تیمار ۲ با ایجاد تنش رطوبتی در لایه بالا میزان جذب در مقایسه با شاهد ۱۴ درصد کاهش یافت (شکل ۸) و از این مقدار ۱۱/۱ درصد لایه پایین جبران شد (شکل ۹). همچنین آزمون چند دامنه‌ای دانکن نشان می‌دهد که در لایه بالای تیمارهای ۲، ۴، ۶ و ۱۳ تفاوت معنی‌داری از نظر جذب آب در سطح ۵٪ وجود ندارد. زمانی که لایه بالا تحت تنش رطوبتی قرار دارد و جذب در آن کاهش می‌یابد لایه پایین تا حدی جبران نماید. علت عدم تکافوی جذب جبرانی می‌تواند تراکم کمتر ریشه در لایه پایین باشد.

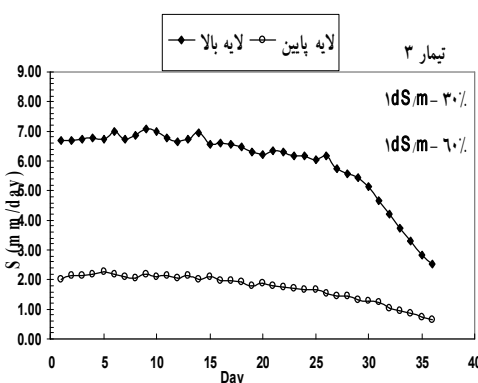
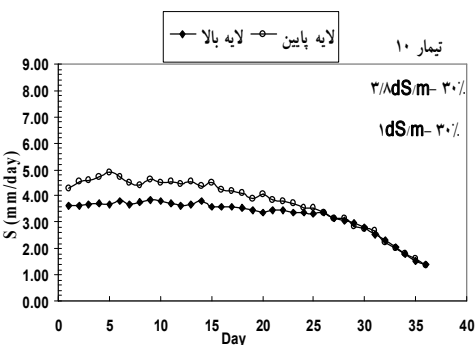
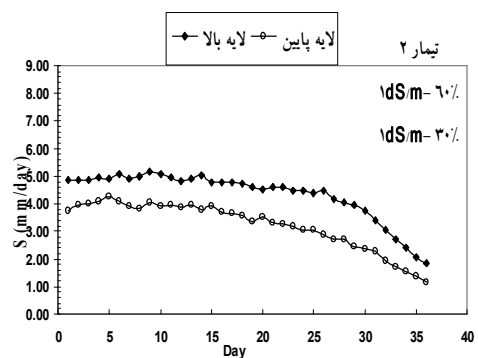
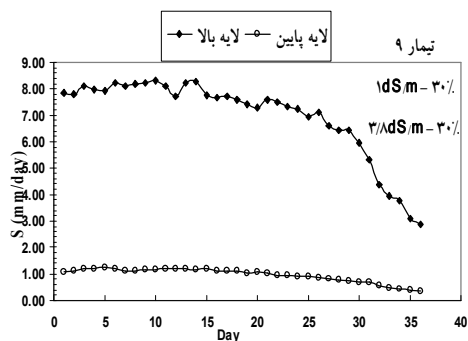
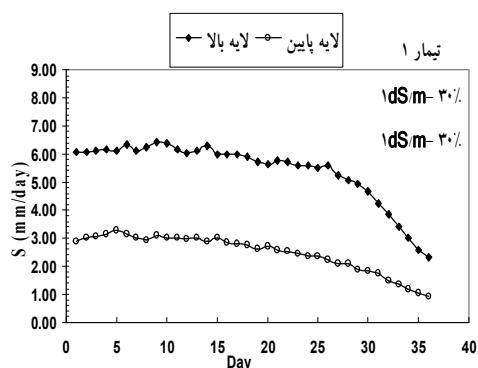
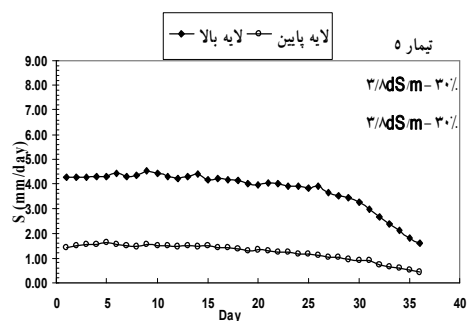
در تیمار سوم با حفظ رطوبت خاک در حد ۶۰ درصد تخلیه آب قابل دسترس، تنش رطوبتی در عمق پایین اعمال شد و در نتیجه میزان جذب ۱۱ درصد کاهش یافت. این میزان کاهش بوسیله لایه بالا کاملاً جبران شد و مجموع جذب برابر با جذب تیمار شاهد بود. هر چند لایه بالا دارای ضخامت کمتری نسبت به لایه پایین بود ولی به علت تراکم زیاد ریشه، با جذب بیشتر، کمبود جذب در لایه دوم بطور کامل جبران شد. در جدول مقایسه میانگین میزان جذب، لایه بالای تیمار ۳ در هیچ گروهی قرار ندارد ولی لایه پایین آن با لایه پایین تیمار ۷ هم‌گروه بوده و در سطح احتمال ۵٪ با یکدیگر اختلاف معنی‌داری ندارند. در تیمار ۴ با افزایش حد تخلیه به ۶۰ درصد هر دو لایه تحت تنش رطوبتی قرار گرفتند. در نتیجه جذب لایه بالا ۱۱ و لایه پایین ۱۲ درصد و در مجموع نسبت به شاهد ۲۳ درصد کاهش وجود داشت و هیچ‌گونه جذب جبرانی مشاهده نشد.

جدول ۷- مقایسه میانگین میزان جذب در لایه بالا و پایین تیمارهای مورد بررسی

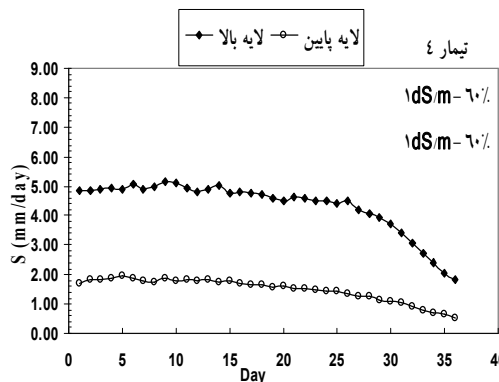
تیمار	میانگین جذب در لایه بالا	میانگین جذب در لایه بالا
۱	۶/۱۴c <sup>†</sup>	۲/۸۷c
۲	۴/۸۵e	۳/۷۳b
۳	۶/۶۷b	۲/۰۱e
۴	۴/۸۵e	۱/۷۲f
۵	۴/۳۱f	۱/۴۳g
۶	۴/۷۸e	۰/۵۶l
۷	۳/۰۴h	۲/۰۱e
۸	۳/۰۵h	۰/۸۴J
۹	۷/۸۴a	۱/۰۴i
۱۰	۳/۶۴g	۴/۳a
۱۱	۵/۴۵d	۰/۶۴k
۱۲	۳/۰۴h	۲/۲۹d
۱۳	۴/۸۱e	۱/۷۲f
۱۴	۳/۰۲۳h	۴/۳۳a
۱۵	۷/۸۹a	۰/۵۶l
۱۶	۵/۴۶d	۱/۱۵h

†: میانگینها با حروف مشابه در هر ستون اختلاف معنی‌دار با هم ندارند (دانکن ۵٪)

همچنین نتایج تجزیه واریانس برای لایه پایین نیز نشان داد که در سطح ۱٪ بین تیمارهای مورد بررسی از نظر میزان جذب در لایه پایین تفاوت معنی‌دار وجود دارد (جدول ۶) و تیمارهای ۱۴ و ۱۰ بیشترین میزان جذب و تیمارهای ۱۵ و ۱۶ کمترین میزان را نشان دادند (جدول ۷). میزان جذب از هر لایه برای تیمارهای مختلف در شکل‌های ۳، ۴ و ۵ نشان داده شده است. در این تحقیق میزان جذب به صورت میلی‌متر در روز آورده شده است. اگر میزان جذب در تیمار یک (بدون تنش شوری و خشکی در هر دو لایه) به عنوان مبنا و مقایسه در حد

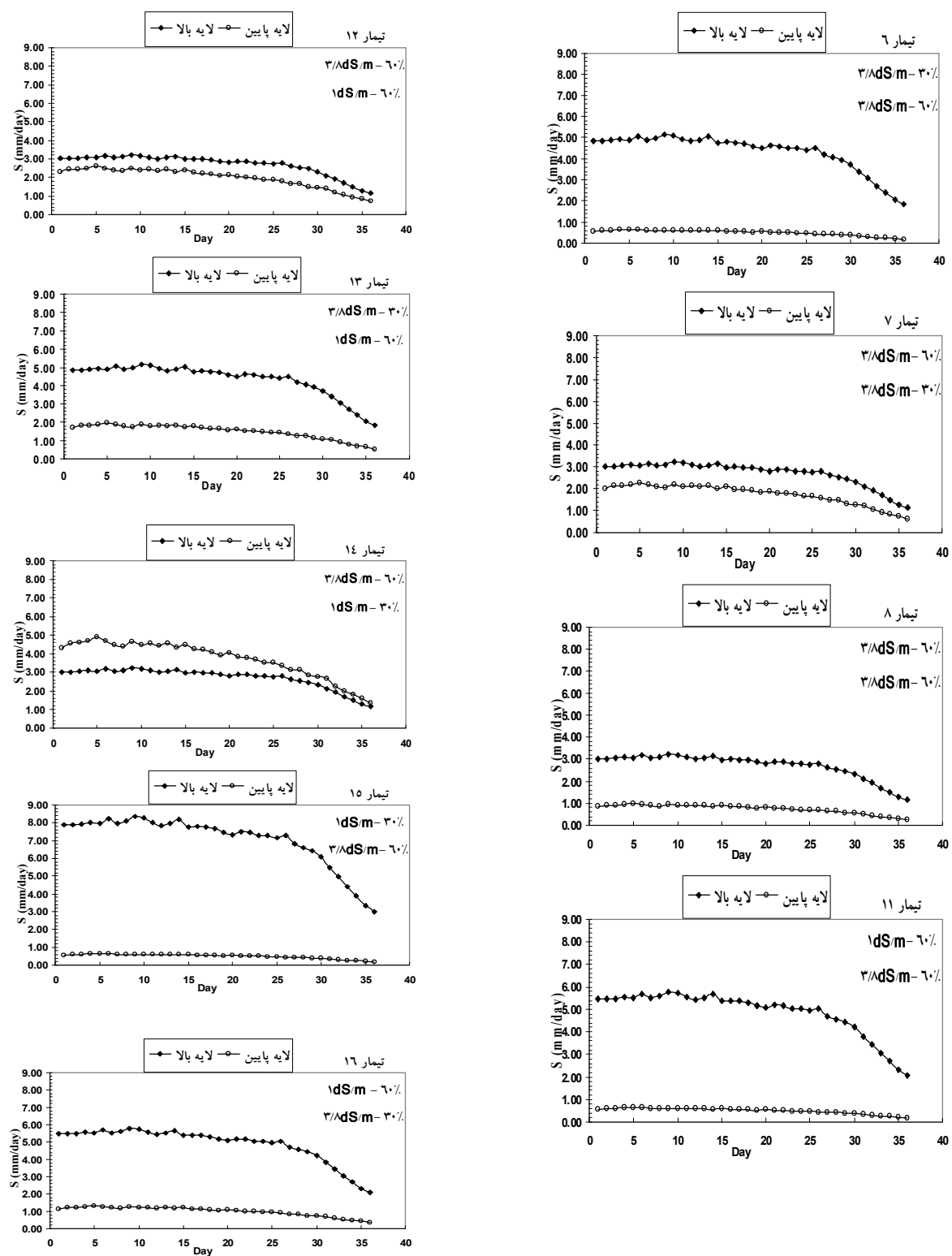


شکل ۴ - نوسانات میزان جذب در دو لایه تحت تیمارهای شوری متفاوت - بدون تنش رطوبتی



شکل ۳ - نوسانات میزان جذب در دو لایه تحت تیمارهای رطوبتی متفاوت - بدون تنش شوری

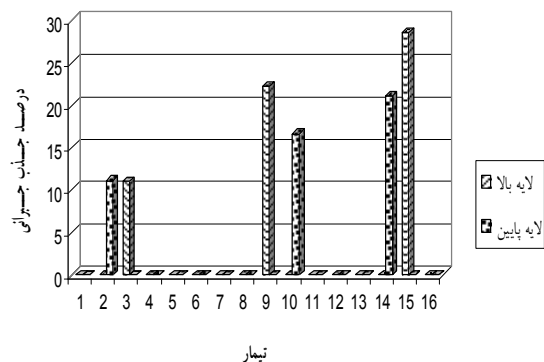
با مقایسه میانگین‌ها به کمک آزمون دانکن مشخص می‌شود که لایه پایین تیمار ۴ همراه با لایه پایین تیمار ۱۳ در یک گروه بوده و در آنها تفاوت معنی‌داری مشاهده نمی‌شود (جدول ۷). مقایسه جذب در این تیمار با تیمارهای ۲ و ۳ نشان دهنده میزان جذب در شرایط تنش موضعی است. در تیمار ۵ هر دو لایه بالا و پایین فقط تحت تنش شوری قرار گرفتند و از مقدار کل جذب به ترتیب ۲۰ و ۱۶ درصد کاسته شد. تیمار ۵ در هر دو لایه با هیچ کدام از تیمارهای دیگر هم‌گروه نیست و با تمام لایه‌های تیمارهای دیگر از نظر جذب در سطح ۵ درصد اختلاف معنی‌داری دارد.



شکل ۵- نوسانات میزان جذب در دو لایه تحت تیمارهای تنش توأمان شوری و خشکی

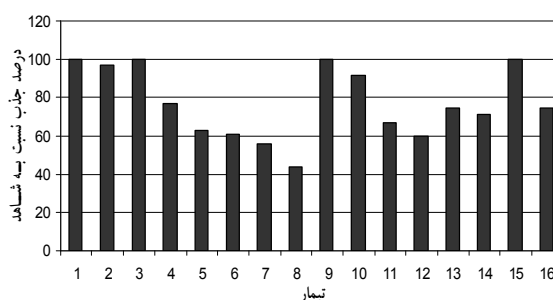


لایه بالا ۱۱/۶ درصد و لایه پایین ۲۷/۷ درصد بود. زمانیکه لایه بالا فقط تحت تنش شوری و لایه پایین تحت تنش توأمان شوری و خشکی قرار گیرند، به میزان جذب لایه بالا فقط ۸/۹ درصد از کل جذب افزوده شده و کاهش جذب ناشی از تنش شوری و خشکی در لایه پایین (۲۷/۷ درصد) را نمی تواند جبران کند (مقایسه تیمار ۵ و ۶) ولی با این وجود هر دو لایه ۵ و ۶ در یک گروه قرار نداشته و با یکدیگر اختلاف معنی داری دارند (در سطح ۵ درصد). تیمار ۷ در لایه بالا تحت تنش توأمان شوری و رطوبتی و در لایه پایین تحت تنش رطوبتی قرار گرفت و در مقایسه با شاهد میزان کاهش جذب لایه اول ۳۳ و لایه پایین ۱۱ درصد بود. لایه بالای تیمارهای ۷، ۸، ۱۲ و ۱۴ اختلاف زیاد (۵ درصد) با یکدیگر ندارند و اگر به جدول ۴ توجه شود.

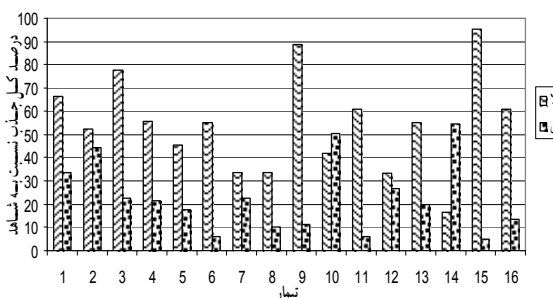


شکل ۹- میزان جذب جبرانی تیمارها

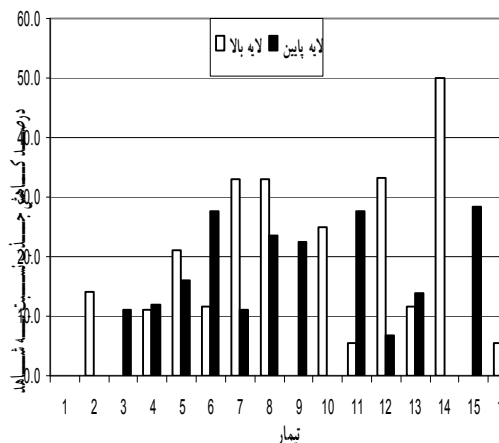
معلوم می شود که لایه بالای تیمارهای ذکر شده دارای تنش توأمان شوری و خشکی هستند. با مقایسه تیمارهای ۵ و ۷ مشخص می شود که با اعمال تنش توأمان در لایه بالا به میزان جذب لایه پایین ۵ درصد اضافه شده است که این ۵ درصد جبران لایه مجاور آن نیست بلکه گیاه با سازگاری بیشتر با شرایط، جذب بیشتری را انجام داده است. بحرانی ترین حالت زمانیست که هر دو لایه تحت تنش توأمان شوری و خشکی قرار گیرند (تیمار ۸). در این حالت کاهش جذب برابر با ۵۶/۵ درصد خواهد بود. با مقایسه تیمار ۷ و ۸ مشخص می شود که در جذب لایه بالایی هر دو تیمار تغییراتی مشاهده نمی شود ولی با اضافه شدن تنش شوری به لایه پایین تیمار ۸ جذب این لایه ۱۱ درصد (در مقایسه با تیمار ۷) کم شده است.



شکل ۶- درصد جذب آب توسط تیمارهای مختلف نسبت به تیمار یک (شاهد)



شکل ۷- سهم هر کدام از لایه ها در میزان جذب در مقایسه با شاهد



شکل ۸- درصد کاهش جذب لایه های تیمارها نسبت به شاهد

با مقایسه میزان جذب لایه بالا و پایین تیمار ۵ با شاهد معلوم شد که اثر شوری بر روی جذب لایه پایین بیشتر است به عبارتی شوری جذب لایه بالا را ۳۰ و لایه پایین را ۴۷ درصد کاهش داده است. جدول ۷ نیز نشان می دهد که هیچ مشابهتی بین تیمار ۵ و ۱ وجود ندارد و در سطح ۵ درصد اختلاف معنی داری وجود دارد. در تیمار ۶ لایه بالا تحت تنش شوری و لایه پایین تحت تنش توأمان شوری و خشکی قرار گرفت، میزان کاهش جذب

می‌باشد. خشکی سبب کاهش ۱۳/۸ درصدی جذب در لایه پایین تیمار ۱۳ شد. لایه بالای تیمار ۱۳ با وجود اینکه دارای تنش شوری بود ولی میزان جذب آن فقط ۵/۵ درصد افزایش یافت. هر دو لایه تیمار ۱۳ با تیمار ۴ در یک گروه قرار داشته و در سطح ۵ درصد اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند. هر دو لایه زیرین آنها دارای تنش شوری بوده ولی در لایه بالا تنش‌های متفاوتی وجود دارد.

تیمار ۱۴ دارای تنش توأمان شوری و خشکی در لایه بالا می‌باشد و در لایه پایین هیچگونه تنشی وجود نداشت. کاهش جذب ناشی از تنش توأمان در لایه بالا ۵۰ درصد بود که ۲۱/۱ درصد آن بوسیله لایه پایین جبران گردید. تیمار ۱۵ برخلاف تیمار ۱۴ دارای تنش توأمان در لایه پایین و بدون تنش در لایه بالا بود. کاهش ۲۸/۵ درصدی جذب لایه پایین تماماً بوسیله لایه بالا جبران شد. تیمار ۱۵ در لایه بالا با تیمار ۹ هم‌گروه است ولی در لایه تحتانی با لایه پایین بقیه تیمارها اختلاف معنی‌داری (در سطح ۵ درصد) دارد. در تیمار ۱۶ کاهش ۲۵/۵ درصدی جذب مشاهده شد که سهم لایه اول از این کاهش ۵/۵ و لایه پایین ۲۰ درصد بود.

با مقایسه لایه پایین تیمار ۳ با شاهد مشخص می‌شود که تنش رطوبتی و در نتیجه تغییر در پتانسیل ماتریک به اندازه ۲۵۳ سانتی‌متر ( $\Delta h = 253 \text{ cm}$ ) کاهش جذبی برابر با ۱۱ درصد را در پی خواهد داشت در حالی که با اعمال تنش شوری در لایه پایین تیمار ۹ و مقایسه آن با شاهد مشخص می‌شود که با کاهش پتانسیل اسمزی به اندازه ۲۰۹۲ سانتی‌متر ( $\Delta h_0 = 2092 \text{ cm}$ ) از میزان جذب ۲۲ درصد کاسته می‌شود. مقایسه لایه فوقانی تیمار ۲ و ۱۰ با شاهد نیز نشان می‌دهد که اثر کاهش پتانسیل اسمزی (۲۰۹۳ سانتی‌متر) باعث کاهش جذب به میزان ۲۵ درصد و اثر تغییر در پتانسیل ماتریک (۲۵۳ سانتی‌متر) کم شدن ۱۴ درصدی از جذب می‌شود به طور کلی در تیمارهای ۳ و ۱۵ جذب جبرانی کامل صورت گرفت ولی در تیمارهای ۲، ۱۰ و ۱۴ جذب جبرانی به طور کامل انجام نشد. تجزیه آماری نشان داد که لایه پایین تیمارهای ۱۰ و ۱۴ با یکدیگر تفاوت معنی‌داری (در سطح ۵٪) ندارند و هرچند جذب جبرانی به طور کامل صورت پذیرفته است ولی لایه بالای آنها مشابه یکدیگر نبوده و

وجود این با مقایسه میانگین آزمون دانکن این نتیجه بدست می‌آید که تیمار ۷ و ۸ در لایه بالا از نظر جذب تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند ولی در لایه پایین هم‌گروه نیستند.

در تیمار ۹ تنش شوری فقط در لایه پایین اعمال شد و سبب کاهش ۲۲/۲ درصد جذب در این لایه شد که تماماً بوسیله لایه بالا جبران شد. لایه بالای تیمار ۹ و ۱۵ در حد ۵٪ با یکدیگر اختلاف معنی‌داری ندارند زیرا هر دو تحت تنش نبوده و جذب مشابهی انجام داده‌اند. در تیمار ۱۰ فقط تنش شوری در لایه بالا اعمال شد. کاهش جذب لایه بالا برابر ۲۵ درصد برآورد شد که لایه پایین فقط ۱۶/۶ درصد از کاهش جذب را جبران نمود. مقایسه تیمارهای ۹ و ۱۰ نشان می‌دهد که پتانسیل جذب جبرانی در لایه اول به مراتب بیشتر است. از نظر آماری در سطح ۵٪، لایه بالای تیمار ۱۰ جزء هیچ گروهی از تیمارها نبوده ولی لایه پایین آن با تیمار ۱۴ مشابهت دارد.

تیمار ۱۱ در لایه بالا تحت تنش رطوبتی و در لایه پایین تحت تنش توأمان قرار گرفت. این تیمار را می‌توان با تیمار ۸ مقایسه کرد که هر دو لایه آن دارای تنش رطوبتی و شوری بودند. با برداشتن تنش شوری از لایه بالا جذب به اندازه ۲۷/۷ درصد افزایش می‌یابد. اگر تیمار ۱۵ با ۱۱ مقایسه شود، مشخص می‌شود که با اعمال تنش رطوبتی در لایه بالا (تیمار ۱۱) از مقدار جذب ۳۳ درصد کاسته می‌شود. با مقایسه میانگین جذب مشاهده می‌شود که لایه بالای تیمار ۱۶ هم‌گروه با تیمار ۱۱ بوده و در سطح ۵٪ تفاوتی با یکدیگر ندارند ولی لایه زیرین آن تفاوت زیادی با بقیه تیمارها دارد.

در لایه بالای تیمار ۱۲ تنش توأمان شوری و خشکی و در پایین تنش خشکی اعمال شد. کاهش جذب در هر دو لایه برابر ۴۰ درصد شاهد بود. اگر تیمار ۱۲ را با ۸ مقایسه شود مشخص می‌شود که با حذف تنش شوری در لایه پایین تیمار ۱۲، مقدار جذب ۱۶/۸ درصد افزایش می‌یابد و این لایه اختلاف معنی‌داری با بقیه تیمارها دارد. تیمار ۱۳ (تنش شوری در لایه بالا و تنش رطوبتی در لایه پایین) را می‌توان با تیمار ۱۰ مقایسه کرد. در لایه بالایی هر دو تیمار تنش شوری اعمال شده است ولی در لایه پایین تیمار ۱۳ تنش خشکی و تیمار ۱۰ بدون تنش

آب توسط بخش های مختلف ریشه. مجله علوم

کشاورزی و منابع طبیعی. ۱۵(۵): ۱۶۶-۱۷۹

- 2- Feddes R.A. Kowalik P. and Kolinska-Malinka K. 1976. Simulation of field water uptake by plants using a soil water dependent root extractant function. *Journal of Hydrology*. 31 (31). 13-26.
- 3- Feddes R.A. Kowalik P. and Zarandy H. 1978. Simulation of field water use and crop yield. PUDOC. Wageningen. pp.189.
- 4- Gardner W.R. 1960. Dynamic aspect of water availability to plants. *Soil sci*. 89. 63-73.
- 5- Green S. and Clothier B. 1999. The root zone dynamics of water uptake by a mature apple tree. *Plant and Soil*. 206. 61-77.
- 6- Herkelrath W.N. Miller E.E. and Gardner W.R. 1977. Water uptake by plants: I. Divided Root Experiments. *SSSAJ*. 41. 1033-1038.
- 7- Homae M. and Schmidhalter U. 2008. Water integration by plants root under non-uniform soil salinity. *Irrig Sci*. 27. 83-95.
- 8- Jarvis N.J. 1989. A simple empirical model of root water uptake. *J. Hydrol*. 107. 57-72.
- 9- Kang S. Hu X. Goodwin I. and Jerie P. 2002. Soil water distribution, water use, and yield response to partial root zone drying under a shallow groundwater table condition in a pear orchard. *Scientia Horticulturae*. 92. 277-291.
- 10- Li K.Y. Boisvert J.B. and De Jong R. 1999. An exponential root-water-uptake-model. *Can. J. Soil Sci*. 79. 333-343.
- 11- Mousavi S.F. Soltani Gerdefaramarzi S. and Mostafazadeh Fard B. 2010. Effects of partial rootzone drying on yield, yield component and irrigation water use efficiency of canola (*Brassica napus L*) *Paddy Water Environ*. 8. 157-163
- 12- Nnyamah J.U. and Black T.A. 1977. Rates and patterns of water uptake in a Douglas-fir forest. *Soil Sci. Soc. Am. Proc* 41. 972-979.
- 13- Pang X.P. and Letey J. 1998. Development and elevation of ENVIRO-GRO: an integrated water, salinity, and nitrogen model. *Soil SSSAJ*. 62(5). 1418-1427.
- 14- Philips. J.G. and Riha S.J. 1994. Root Growth, water uptake and canopy development in eucalyptus viminalis Seedling. *Australio Yournad of plant physiology*. 21(1). 69- 78.
- 15- Simunek J. and Hopmans J.W. 2009. Modeling compensated root water and nutrient uptake. *Ecological modeling*. 220 (4). 505-521.
- 16- Shahnazari A. Liu F. Andersen M. N. Jacobsen S.E. and Jensen C. R. 2006. Effects of partial root-zone drying on yield, tuber size and water use efficiency in potato under field condition. *Field crop research*. 100. 117-124.

در یک گروه قرار ندارند. این تحقیق نشان داد که جذب جبرانی زمانی به طور کامل اتفاق می افتد که یکی از لایه ها تحت هیچ گونه تنش نباشند. این نتیجه از تحقیقات سیمونک و هاپمنز (۲۰۰۹) نیز حاصل شده است.

### نتیجه گیری

رطوبت و شوری خاک در فاصله دو آبیاری در نقاط مختلف منطقه ریشه در حال نوسان است و سبب تغییر در الگوی جذب آب می شود. نتایج بدست آمده از این تحقیق نشان می دهد که بین تیمارهای مورد بررسی از نظر میزان جذب تفاوت معنی داری در هر دو لایه وجود دارد. همچنین مشخص شد که بیشترین میزان جذب در مناطقی با شوری کمتر و رطوبت بیشتری صورت می گیرد. به عبارتی گیاه آب را از قسمتهایی از ریشه جستجو می کند که جهت جذب آب احتیاج به انرژی کمتری داشته باشد. این روند در لایه هایی که تراکم ریشه بیشتری دارند، تشدید می شود. تا زمانی که انرژی بیولوژی گیاه جهت جذب بیش از انرژی آب خاک است جذب جبرانی وجود دارد و کاهش اختلاف این دو انرژی سبب کاهش جذب جبرانی و در نهایت به صفر رسیدن آن می شود. به علت افزایش تنش ناشی از شوری (در مقایسه با تنش رطوبتی) در هر لایه، کاهش جذب بیشتری نیز مشاهده شد. در بعضی تیمارها هر چند جذب جبرانی نشد ولی افزایش تنش در یک ناحیه از ریشه باعث افزایش جذب در ناحیه دیگر شد که به نوعی در بر گیرنده جذب جبرانی است. به نظر می رسد گیاه با سازگاری بیشتر با شرایط تنش جدید، همواره بیشترین جذب را از نقاطی از نیم رخ ریشه دارد که کمترین تنش را داشته باشند و بنابراین نقطه اوج جذب بوسیله ریشه در فاصله بین دو آبیاری همواره در حال تغییر است. این تحقیق نشان داد که جذب جبرانی زمانی اتفاق می افتد که یکی از لایه ها تحت هیچ تنشی قرار نداشته باشند.

### منابع

- ۱- ذاکری نیا م. سهرابی ت. شهابی فر م. عباسی ف و نیشابوری م. ر. ۱۳۸۷. اثر تنش آبی بر فرآیند جذب

18-Williams J.R. 1995. The EPIC model. In: Singh V.P. (Ed.). Computer models of watershed hydrology. Water Resources Publications, Littleton. Co. USA. 909-1000.

17-Skaggs H.T. Van Genuchten M.T. Shous P.J. and Poss J.A. 2006. Macroscopic approaches to root water uptake as a function of water and salinity stress. Agri. Water Manage. 86. 140-149.