

تعیین رابطه هدایت هیدرولیکی اشباع و تخلخل مؤثر تحت شرایط مدیریت سطح ایستابی شور کم عمق

پروانه تیشه‌زن^{۱*}، عبدعلی ناصری^۲، زهرا ایزدپناه^۲، حسین عزیزنسب^۴

۱. استادیار دانشکده مهندسی و علوم آب - دانشگاه شهید چمران اهواز

۲. استاد دانشکده مهندسی علوم آب - دانشگاه شهید چمران اهواز

۳. استادیار دانشکده مهندسی علوم آب - دانشگاه شهید چمران اهواز

۴. دانش‌آموخته کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی دانشکده مهندسی علوم آب - دانشگاه شهید چمران اهواز

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۳/۱۲ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۴/۷/۱۸)

چکیده

یکی از راه‌های مقابله با بحران کم‌آبی، استفاده از آب‌های نامتعارف (مانند آب‌های شور زیرزمینی) با مدیریت زراعی مناسب برای جلوگیری از اثرات منفی است. استفاده از این آب‌ها، می‌تواند بر هدایت هیدرولیکی اشباع تأثیر بگذارد. اما برای اندازه‌گیری مستقیم هدایت هیدرولیکی اشباع، هزینه و وقت زیادی صرف می‌شود. لذا به منظور بررسی اثر شوری و عمق سطح ایستابی با مدیریت خاکپوش بر هدایت هیدرولیکی اشباع و تخلخل مؤثر و نیز یافتن رابطه‌ای بین آن‌ها برای این شرایط، آزمایش لایسیمتری در قالب کرت‌های دو بار خردشده بر پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه سطح شوری آب زیرزمینی ($S_1=4$ ، $S_2=8$ و $S_3=12$ دسی‌زیمنس بر متر)، دو سطح عمق سطح ایستابی ($D_1=60$ و $D_2=90$ سانتی‌متر) و دو سطح پوشش خاک (M_1 بدون مالچ و M_2 برگ خرد شده خرما) در سه تکرار انجام شد. هدایت هیدرولیکی اشباع و تخلخل مؤثر، قبل از شروع آزمایش و ۱۵ ماه بعد از اعمال تیمارها اندازه‌گیری شد. اثر تیمارهای اشاره شده بر این دو پارامتر در سطح پنج درصد معنی‌دار نبود. البته تیمار دارای مالچ در مقایسه با تیمارهای بدون مالچ، باعث کاهش غلظت املاح در عمق ریشه، رشد بیشتر نهال و ریشه و به تبع آن افزایش هدایت هیدرولیکی اشباع شد. برای برآورد غیر مستقیم هدایت هیدرولیکی اشباع، بین این پارامتر و تخلخل مؤثر روابط مختلفی برآزش شد که بهترین رابطه بین $\ln(K_s)$ و تخلخل مؤثر، یک معادله سیگموئیدی با ضریب تبیین 0.73 به دست آمد.

واژه‌های کلیدی: خصوصیات خاک، خرما، سطح ایستابی، مدیریت زراعی.

مقدمه

خوزستان از سال‌ها پیش با مشکل سطح ایستابی کم عمق شور مواجه است. اما، با توجه به بحران آب، نیاز غذایی جمعیت فزاینده و حجم قابل توجه زه‌آب‌های تولیدی، امروزه کاربرد مناسب منابع آب و خاک شور برای کشاورزی امری اجتناب ناپذیر است. بنابراین، مطالعه رفتار خاک در هنگام کاربرد منابعی نظیر آب کم عمق شور در روش‌های مختلف زراعی به منظور استفاده صحیح از این منابع جدید آبی ضروری است.

بررسی اثرات شوری آب آبیاری در سه سطح $(0.5, 1, 4)$ و 10 دسی‌زیمنس بر متر) و سدیمی بودن آب در چهار سطح (SAR^1) برابر با $1, 5, 15$ و 25 بر شاخص‌های کیفیت فیزیکی خاک، نشان داد که اثر تیمارهای شوری و سدیمی بودن بر هدایت هیدرولیکی خاک در سطح یک درصد معنی‌دار است. با افزایش شوری آب آبیاری، هدایت هیدرولیکی خاک افزایش و با افزایش SAR آب آبیاری، هدایت هیدرولیکی خاک کاهش می‌یابد (Ghafari and Neishaburi, 2012).

بحران کم‌آبی در بسیاری از کشورهای دنیا، دانشمندان را به استفاده از آب‌های نامتعارف در تأمین تمام یا بخشی از نیاز آبی گیاهان سوق داده است. آب‌های زیرسطحی کم عمق یکی از این دسته آب‌ها هستند که اغلب به دلیل هدایت الکتریکی بالا سبب شوری ثانویه خاک‌ها می‌شوند. شوری خاک یکی از مهمترین مسائلی است که امروزه بخش‌های مختلفی از جهان، به ویژه کشورهای خشک و نیمه‌خشک با آن مواجهند. طبق برآورد فائو، بیش از 34 میلیون هکتار از اراضی ایران دارای شوری بالا هستند که $4/1$ میلیون هکتار از آنها جزء اراضی تحت آبیاری می‌باشند. در حال حاضر سالانه نیم میلیون هکتار از خاک کشور به دلیل شوری و یا غرقاب شدن از بین می‌رود و ضرر ناشی از شوری و تخریب خاک در ایران سالانه حدود یک میلیارد دلار تخمین زده شده است (Unknown, 2015). بسیاری از مناطق

هدایت هیدرولیکی اشباع استفاده شده، تخلخل مؤثر است. *Ahuja et al.* (1984) نیز رابطه زیر را ارائه داده و کارایی مدل یاد شده را برای محدوده‌ای وسیع از داده‌های جمع آوری شده در منطقه جنوبی ایالات متحده، هاوایی و آریزونا به اثبات رساندند.

$$\phi_e = \theta_s - \theta_{FC} \quad K_s = B\phi_e^n$$

Franzmeier (1991) برای محدوده وسیعی از خاک‌های ایالت Indiana ضرایب B و n (ضریب و نمای تخلخل مؤثر در رابطه بالا) را به ترتیب ۰/۰۰۵ متر برثانیه و ۳/۲۵ پیشنهاد کرد. همچنین برای ۱۵ کلاس شکل شناسی سنگ، پارامترهای B و n به ترتیب ۰/۰۰۱۹۵ متر برثانیه و ۲/۶۷ با ضریب تبیین ($R^2=0/66$) به دست آمد. در مطالعه‌ای در اراضی مزارع پست شالیزاری رابطه بین تخلخل مؤثر و هدایت هیدرولیکی اشباع خاک با استفاده از ۴۰۸ نمونه خاک در سه عمق به دست آمد. معادله به دست آمده دارای ضریب تبیین ($R^2=0/5$) و ضرایب B و n به ترتیب ۰/۰۲۷۷ متر بر روز و ۱/۳ بود (Aimran et al., 2004). مقایسه مدل‌های ون گنوختن-معلم، مدل بر پایه تخلخل مؤثر و مدل بر پایه تخلخل مؤثر نسبی برای برآورد هدایت هیدرولیکی اشباع، نشان داد که برآورد هدایت هیدرولیکی اشباع بر اساس تخلخل مؤثر نسبی، کمترین ریشه دوم خطای میانگین مربعات ($RMSE=0/721$) را دارد. آزمون فرضیه‌ها نیز نشان داد که این مدل در سطح پنج درصد، بهترین گزینه برای تخمین هدایت هیدرولیکی اشباع می‌باشد (Pandey et al., 2007). رابطه هدایت هیدرولیکی اشباع با پارامترهای اندازه‌گیری شده با روش پرتونگاری اشعه ایکس (مانند تعداد حفرات خاک، شکل حفرات و ...) توسط پژوهشگران بررسی شد و بهترین نتیجه مدل رگرسیون بین لگاریتم هدایت هیدرولیکی اشباع و لگاریتم تعداد حفرات با ضریب تبیین برابر ۰/۶۹ گزارش شد (Anderson et al., 2010).

روابط تجربی برآورد هدایت هیدرولیکی اشباع برای هر مدیریت زراعی و هر منطقه نتایج متفاوتی دارند. چند رابطه تجربی تعیین هدایت هیدرولیکی برای ناحیه Jineta-yola بررسی شد. نتایج نشان داد که برای شرایط این منطقه رابطه ترزاقی (Terzaghi) نتیجه بهتری نسبت به سایر روابط مورد بررسی ارائه می‌دهد. پس از آن به ترتیب روابط کوزنی-کارمن (Kozney-Carman)، هیزن (Hazen)، بریر (Breyer) و اسلیتچر (Slitcher) پاسخ مناسبی داشتند (Ishaku et al., 2011).

بسیاری از مطالعات انجام شده بر تغییرات هدایت هیدرولیکی خاک در اثر آبیاری با آبهای نامتعارف در درازمدت

اثر نسبی یون‌های Na^+ و K^+ بر هدایت هیدرولیکی ستون خاکی با رس غالب اسمکتیت (۵۶-۵۱ درصد) و مقدار جزئی ایلیت (۸-۵ درصد) و رس کائولینت (۱۰ درصد) بررسی شد. در این پژوهش از محلول‌هایی با نسبت جذب سدیم (SAR) و نسبت جذب پتاسیم (PAR^1) در دامنه ۴۰-۵ برای شستشوی ستون خاک در غلظت‌های الکتروولت ۴۰-۵ میلی‌اکی‌والان بر لیتر استفاده شد. نتایج نشان داد که در سطح و زیر خاک، کاربرد محلول‌های با SAR یا PAR برابر ۲۰ و ۴۰ (شامل همه کاتیون‌ها)، سبب کاهش هدایت هیدرولیکی با کاهش غلظت الکتروولت‌ها می‌شود. کاهش در هدایت هیدرولیکی با کاربرد محلول‌های دارای PAR مشخص به صورت معنی‌داری کمتر از مقدار آن هنگام کاربرد محلول‌های دارای SAR متناظر بود (Arienzo et al., 2012).

مطالعه آزمایشگاهی رفتار هیدرولیکی خاک تحت آبیاری با سطوح مختلف زه‌آب و آب رودخانه کارون نشان داد که با افزایش شوری آب، هدایت هیدرولیکی و تخلخل مؤثر خاک افزایش معنی‌داری (در سطح یک درصد) می‌یابد (Tarzi et al., 2012). همچنین بررسی هدایت هیدرولیکی قبل و بعد از آبیاری در خاک‌های شور شادگان بیانگر افزایش هدایت هیدرولیکی بعد از آبیاری بود (Zare, 2009).

در پژوهشی لایسیمتری، افزایش هدایت هیدرولیکی اشباع خاک در نتیجه اجرای عملیات آبیاری با فاضلاب خانگی و پساب تصفیه‌شده مورد بررسی قرار گرفت. میزان EC و SAR کلیه آب‌های آبیاری در حد استاندارد بود، اما رشد ریشه و اثر آن بر ساختمان خاک سبب تغییر هدایت هیدرولیکی خاک شد. (HassanOghli et al., 2005).

از سوی دیگر، به دلیل دشواری‌های مربوط به اندازه‌گیری‌های مستقیم هدایت هیدرولیکی اشباع، تلاش‌های زیادی انجام شد تا بتوان این ویژگی را از راه‌های غیرمستقیم نظیر استفاده از خصوصیت تخلخل یا تخلخل مؤثر برآورد نمود.

در این رابطه، هدایت هیدرولیکی اشباع خاک با استفاده از پارامترهای زودیافت (نظیر تخلخل کل، تخلخل مؤثر، درصد رطوبت، جرم ویژه ظاهری و ...) به کمک شبکه عصبی مصنوعی برآورد شد. در این مطالعه بهترین مدل از نظر دقت و سرعت تخمین هدایت هیدرولیکی اشباع مدلی بود که از پارامترهای ورودی لگاریتم میانگین هندسی قطر ذرات، تخلخل کل و درصد شن و رس استفاده می‌کرد (NosratiKarizak et al., 2012). یکی از پارامترهای خاک که در بسیاری از مناطق برای برآورد

ایستگاه هواشناسی برای هر آبیاری محاسبه شد (Vaziriet al., 2009). دور آبیاری براساس دستورالعمل فنی برنامه آبیاری نهال‌های تازه احداث خرما (Alihoury, 2009) تعیین شد. ۱۵ ماه پس از اعمال تیمارها (پایان دوره گبرایی نهال خرما)، آزمایش‌های تعیین هدایت هیدرولیکی اشباع انجام شد.

تعیین هدایت هیدرولیکی اشباع و تخلخل مؤثر

اندازه‌گیری هدایت هیدرولیکی اشباع در لایسیمترهای مختلف به روش بار ثابت با استفاده از آبی با همان شوری آب زیرزمینی تعیین شد. بدین منظور دو پیژومتر از جنس PVC به قطر اسمی ۱/۵ اینچ و قطر واقعی در حدود ۱/۸ اینچ (۴/۵ سانتی‌متر) و طول ۶۱ و ۹۱ سانتی‌متر استفاده شد. پیژومترها در عمق‌های ۴۵ و ۷۵ سانتی‌متری خاک نصب شد، به طوری که هر دو پیژومتر به اندازه مساوی ۱۶ سانتی‌متر از خاک بیرون بود. برای اندازه‌گیری هدایت هیدرولیکی اشباع، ابتدا هر لایسیمتر از پایین با آب دارای همان شوری آب زیرزمینی کاملاً اشباع شده و به مدت ۲۴ ساعت در حالت اشباع نگه داشته شد. سپس با تعویض جهت جریان، ارتفاع آب ثابت بالای سطح خاک به وسیله قطره-چکان تنظیمی که به مخزن با شوری مورد نظر متصل بود، برقرار شد. جریان خروجی از لایسیمتر نیز بعد از ۲۴ ساعت (زمان لازم برای ثابت شدن ارتفاع آب درون پیژومتر) تداوم جریان اندازه‌گیری شد. اختلاف فشار نیز با قرائت ارتفاع فشاری در داخل دو پیژومتر به دست آمد. شکل (۱) نمای از چگونگی اندازه‌گیری هدایت هیدرولیکی در لایسیمتر را نشان می‌دهد. سپس مقدار هدایت هیدرولیکی اشباع (K_s) از رابطه دارسی (رابطه ۱) محاسبه شد (Alizadeh, 2005):

$$K = \frac{VL}{T\Delta H} \quad (\text{رابطه ۱})$$

که در آن K : هدایت هیدرولیکی اشباع (متر برروز)، V : حجم آب عبوری در زمان T (مترمکعب)، L : طول نمونه (متر)، T : زمان عبور حجم آب (روز)، A : سطح مقطع لایسیمتر (مترمربع) و ΔH : اختلاف ارتفاع آب در دو پیژومتر (متر) است. تخلخل مؤثر هر لایسیمتر با جمع‌آوری آب خروجی از آن، پس از اشباع نمودن محاسبه شد (جمع‌آوری زهاب تا زمان قطع زهاب ادامه یافت). با توجه به این‌که میزان تبخیر و تعرق و بارندگی روی آب خارج شده و اضافه شده خلل‌وفرج درشت (تخلخل مؤثر) تأثیرگذارند، لذا تبخیر و تعرق و بارندگی به نسبت تخلخل مؤثر به تخلخل کل محاسبه و به ترتیب به حجم کل آب خروجی اضافه و کم شدند. حجم کل تخلخل مؤثر با توجه به بیلان آب از رابطه (۲) و تخلخل مؤثر با استفاده از رابطه (۳) محاسبه شد.

متمرکز شده است. اما هنوز برای استفاده از آب‌های زیرزمینی کم‌عمق خصوصاً در دوره‌های کوتاه‌مدت، نیاز به مطالعه بیشتری بر روی رفتار خاک است. لذا در این بررسی سعی شد تا اثر مدیریت آب زیرزمینی کم‌عمق شور برای تأمین بخشی از نیاز آبی خرما در ابتدای کاشت، بر خصوصیات مهم فیزیکی خاک (تخلخل مؤثر و هدایت هیدرولیکی اشباع) بررسی شود و رابطه بین تخلخل مؤثر و هدایت هیدرولیکی اشباع برای استفاده در پژوهش‌های بعدی در این زمینه برای منطقه جنوب خوزستان، مشخص گردد.

مواد و روش‌ها

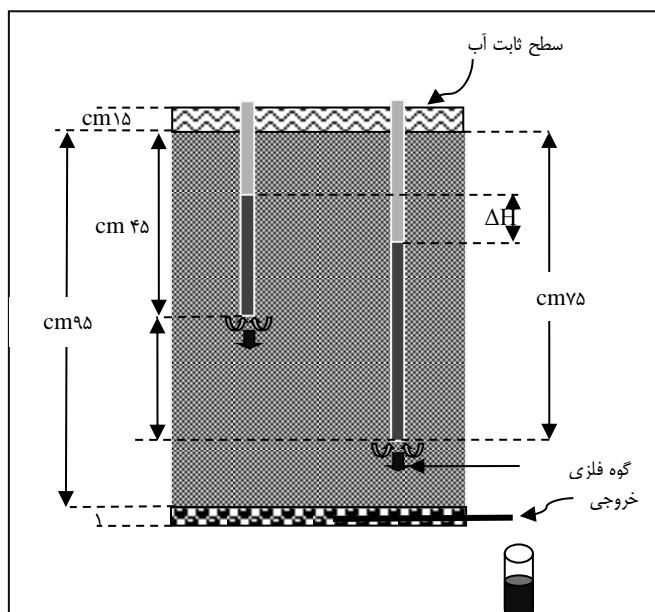
به منظور بررسی اثر شوری و عمق آب زیرزمینی و نیز پوشش خاک بر هدایت هیدرولیکی اشباع و تخلخل مؤثر در طی دوره گبرایی نهال خرما، آزمایشی لایسیمتری در قالب کرت‌های دوبارخردشده در محل مؤسسه تحقیقات خرما و میوه‌های گرمسیری کشور واقع در ۱۰ کیلومتری جنوب اهواز (روستای ام‌التیمیر) به طول جغرافیایی ۱۵، ۳۱° و عرض جغرافیایی ۳۰، ۴۸° و ارتفاع ۱۸ متر از سطح دریا انجام شد. آزمایش‌ها در فاصله آبان تا اسفند ۱۳۹۱ انجام شد. میزان بارش به صورت روزانه از ایستگاه هواشناسی موجود در منطقه ام‌التیمیر (رادار اهواز) دریافت شد. میزان بارش در ماه‌های آبان و آذر صفر بود. در دی ماه اندازه‌گیری بارش انجام نشد و میزان بارش در ماه‌های بهمن و اسفند به ترتیب ۲۸/۴ و ۱۹/۱ میلی‌متر بود. در این آزمایش از ۳۶ لایسیمتر استوانه‌ای زهکش‌دار از جنس پلی‌اتیلن (به عمق ۱/۲ و قطر داخلی ۰/۸ متر) استفاده شد. گیاه کشت شده درون این لایسیمترها نهال خرما (رقم کشت بافتی برچی) بود که به مدت ۱۵ ماه (دوره گبرایی نهال خرما) تحت عوامل شوری آب زیرزمینی به‌عنوان عامل اصلی (در سه سطح $S_1 < 4$ ، $S_2 = 8$ و $S_3 = 12$ دسی‌زیمنس بر متر)، عمق آب زیرزمینی به‌عنوان عامل فرعی (۶۰ و ۹۰ سانتی‌متر) و پوشش خاک به‌عنوان عامل فرعی (بدون پوشش، پوشش برگ خرد شده به اندازه ۵/۵ کیلوگرم بر مترمربع) قرار داشتند (TishehZan, 2011). عمق ریشه نهال در ابتدای کاشت حدود ۳۰-۲۵ سانتی‌متر و پس از ۱۵ ماه (اتمام دوره گبرایی) کشت، حدود ۵۰ سانتی‌متر بود. آبیاری نهال‌های خرما به روش سطحی و با استفاده از آب رودخانه کارون صورت پذیرفت. میزان آب مورد نیاز آبیاری با توجه به داده‌های هواشناسی به‌دست آمده از ایستگاه هواشناسی ام‌التیمیر در مجاورت طرح با روش تشتک تبخیر برای هر آبیاری برآورد و به کمک کنتور با دقت اندازه‌گیری شد. ضریب تشتک در توجه به داده‌های هواشناسی و نوع قرارگیری تشتک در

با توجه به این که در این آزمایش، مقدار جمله دوم و سوم در معادله (۲) ناچیز بود، برای راحتی در محاسبات، تبخیر و تعرق به صورت تقریبی برابر با تبخیر از تشت تبخیر و تخلخل کل برابر درصد رطوبت اشباع (SP) قبل از اعمال تیمارها در نظر گرفته شد. البته این رابطه زمانی صادق است که حجم بارندگی از حداکثر ظرفیت خاک برای رطوبت (میزان تخلخل کل) تجاوز نکند که در این مطالعه با توجه به میزان کم بارندگی‌ها تجاوز نکرده است.

$$V_e = V_w + ET \cdot \left(\frac{V_w/V_t}{\phi} \right) - P \cdot \left(\frac{V_w/V_t}{\phi} \right) \quad (\text{رابطه ۲})$$

$$\phi_e = \frac{V_e}{V_t} \quad (\text{رابطه ۳})$$

که در آن‌ها؛ ϕ_e : (بی بعد)، تخلخل مؤثر، V_e : حجم کل تخلخل مؤثر (مترمکعب)، V_t : حجم کل خاک درون لایسیمتر (مترمربع)، V_w : حجم کل آب خارج شده از لایسیمتر (مترمکعب)، ET: تبخیر و تعرق (مترمکعب)، P: بارندگی (مترمکعب) و ϕ : تخلخل کل است.



شکل ۱- شماتیک روش اندازه‌گیری هدایت هیدرولیکی اشباع.

هیدرولیکی اشباع و تخلخل مؤثر نیز از نرم‌افزارهای SPSS 19 استفاده و رگرسیون‌های خطی و غیرخطی برازش داده شد و بهترین برازش از لحاظ آماری انتخاب شد.

نتایج و بحث

بررسی نرمال بودن توزیع داده‌ها

برای تجزیه واریانس داده‌های اندازه‌گیری و محاسبه شده، آن‌ها باید از توزیع نرمال برخوردار باشند. بنابراین، ابتدا متغیرهای مورد نظر (هدایت هیدرولیکی اشباع، تخلخل مؤثر، شوری و SAR) به کمک آزمون کلمونوگراف-اسمیرنوف و با استفاده از SPSS 19 از نظر دارا بودن توزیع نرمال مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که داده‌های تخلخل مؤثر، شوری و همچنین SAR دارای توزیع نرمال است ولی داده‌های هدایت هیدرولیکی اشباع از توزیع نرمال برخوردار نیستند. برای نرمال کردن هدایت هیدرولیکی اشباع از تبدیل لگاریتمی پایه طبیعی استفاده

اندازه‌گیری خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک

نمونه‌های خاک از هر لایسیمتر در عمق ۴۵-۷۵ سانتی‌متری (۱۵ سانتی‌متر بالای سطح ایستابی) برداشته شد. پس از هواخشک شدن، کوبیدن و عبور از الک ۱۰ میلی‌متری، عصاره اشباع نمونه تهیه و در آن، هدایت الکتریکی (EC) با استفاده از دستگاه شوری سنج، کلسیم و منیزیم با روش تیتراسیون و سدیم با روش فلیم‌فتمتری اندازه‌گیری شد. سپس نسبت جذبی سدیم بر اساس رابطه (۴) به دست آمد.

$$SAR = \frac{Na}{\sqrt{(Ca + Mg)/2}} \quad (\text{رابطه ۴})$$

که در آن؛ SAR: نسبت جذبی سدیم، Na: غلظت سدیم (میلی‌اکی‌والان بر لیتر)، Ca: غلظت کلسیم (میلی‌اکی‌والان بر لیتر) و Mg: غلظت منیزیم (میلی‌اکی‌والان بر لیتر) است. بافت خاک نیز به روش هیدرومتری، لوم تعیین شد. داده‌های اندازه‌گیری شده به کمک نرم‌افزار آماری SPSS 19 و SAS تجزیه و تحلیل شد. به منظور تعیین رابطه مناسب بین هدایت

دیگر نیز به اثبات رسیده است (TishehZan, 2011).

نسبت جذبی سدیم (SAR)

تجزیه واریانس داده‌های SAR (جدول ۱) نشان می‌دهد که اثر تیمارها و اثر متقابل آن‌ها بر روی SAR معنی‌دار نیست. عدم معنی‌داری تیمارهای مختلف شوری و سطح ایستابی بر نسبت جذبی سدیم و شوری می‌تواند دلیلی بر عدم خطر شور و سدیمی شدن در این نوع مدیریت زهکشی و در این مدت باشد. در پژوهشی در پاکستان با مقایسه کاربرد مالچ آلی (کلش برنج) و پلی‌اتیلن در هنگام کاشت نهال اکالیپتوس دریافتند که مالچ آلی EC عصاره خاک سطحی (۰-۱۵ سانتی‌متری) را ۵۳ درصد و SAR آن را ۴۵ درصد کاهش داد (Beltr'an and Manzur, 2005).

شد. Navabian (2007) و Rezai Arshad و همکاران (2012) نیز برای نرمال کردن داده‌های هدایت هیدرولیکی اشباع از لگاریتم طبیعی استفاده کردند. پس از اطمینان از نرمال بودن داده‌ها، تجزیه واریانس آن‌ها به کمک نرم افزار SAS انجام شد.

شوری خاک

نتایج تجزیه واریانس داده‌های شوری (جدول ۱) نشان داد که اثر مالچ بر روی شوری خاک در سطح پنج درصد معنی‌دار است ولی اثر سایر تیمارها و اثر متقابل آن‌ها بر شوری معنی‌دار نبوده است. این اختلاف می‌تواند به دلیل تبخیر و تعرق بیشتر از سطح لایسیمتر بدون پوشش نسبت به لایسیمتر با پوشش و در نتیجه صعود بیشتر آب زیرزمینی به محیط ریشه و برجا ماندن نمک محلول درون خاک در عمق ریشه باشد. این مسئله در مطالعات

جدول ۱. میانگین مربعات اثر تیمارها بر پارامترهای EC و SAR

منابع تغییرات	SAR		EC(dS/m)	
	احتمال	میانگین مربعات	احتمال	میانگین مربعات
تکرار	۰/۳۳۳ns	۱۳/۶۸	۰/۰۵۴ ns	۱۷/۷۹
شوری آب زیرزمینی	۰/۱۶۲ns	۲۴/۱۸	۰/۱۳۳ ns	۱۱/۲۶
خطا		۳/۱۱		۶۸/۰۴
عمق آب زیرزمینی	۰/۲۸۸ns	۱۳/۹۸	۰/۸ ns	۰/۳۱۱
شوری×عمق آب زیرزمینی	۰/۴۵۶ns	۹/۴۷	۰/۱۶۶ ns	۹/۸۱
خطا		۱۱/۷۰		۲۱/۹۳
پوشش خاک	۰/۳۸۷ ns	۹/۰۹	۰/۰۴۷۵*	۲۳/۰۶
شوری آب زیرزمینی× پوشش خاک	۰/۴۴۸ ns	۹/۶۹	۰/۳۹۵ ns	۴/۶۸
عمق آب زیرزمینی× پوشش خاک	۰/۷۲۳ ns	۱/۴۸	۰/۲۲۲ ns	۷/۷۴
شوری× عمق آب زیرزمینی× پوشش خاک	۰/۸۶۱ ns	۱/۷۰	۰/۹۶۱ ns	۰/۱۸
خطا		۱۱/۲۴		۴/۶۴

* : معنی داری در سطح ۵٪، ** : معنی داری در سطح ۱٪، ns : معنی دار نیست

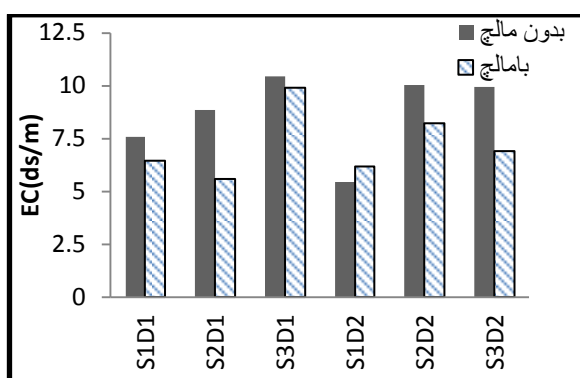
می‌کند و با کاهش عمق سطح ایستابی و افزایش شوری آب زیرزمینی، میزان این دو پارامتر افزایش می‌یابد. همچنین با توجه به جدول تجزیه واریانس داده‌های SAR (جدول ۱) و نمودار میله‌ای داده‌های SAR (شکل ۴)، بین تیمارهای شوری×عمق آب زیرزمینی اختلافی محسوس مشاهده نمی‌شود. مطالعات TishehZan (2011) نشان داد که اثر متقابل شوری و عمق سطح ایستابی آب زیرزمینی روی خصوصیات رویشی معنی‌دار نیست و همچنین تقریباً در همه خصوصیات رویشی بین تیمارهای مرکب شوری×عمق آب زیرزمینی اختلاف محسوس، هر چند غیرمعنی‌دار مشاهده نمی‌شود. بنابراین، انتظار نمی‌رود اختلافی در رشد ریشه این تیمارها نیز وجود داشته

هدایت هیدرولیکی اشباع و تخلخل مؤثر

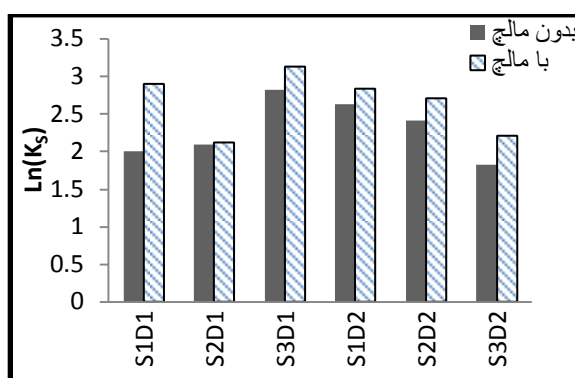
نتایج تجزیه واریانس داده‌های لگاریتم طبیعی هدایت هیدرولیکی اشباع و تخلخل مؤثر (جدول ۲) نشان داد که اثر هیچ‌کدام از عوامل روی این دو پارامتر در سطح پنج و یک درصد معنی‌دار نیست. اما اثر متقابل شوری و عمق آب زیرزمینی در سطح ۱۱ درصد روی لگاریتم طبیعی هدایت هیدرولیکی معنی‌دار است. با توجه به نمودار میله‌ای $\ln(K_s)$ و EC (شکل‌های ۲ و ۳)، روند تغییرات در هدایت هیدرولیکی و شوری خاک در تیمارهای شوری×عمق آب زیرزمینی تقریباً به یک صورت است، به گونه‌ای که با افزایش عمق سطح ایستابی و کاهش شوری آب زیرزمینی، میزان هر دو پارامتر افزایش پیدا

توجه به جدول تجزیه واریانس داده‌های شوری (جدول ۱) و نمودار میله‌ای شوری (شکل ۳)، بالاتر بودن شوری خاک در تیمارهای بدون مالچ نسبت به تیمارهای بامالچ به صورت معنی‌دار مشهود است. همچنین با توجه به جدول تجزیه واریانس داده‌های SAR (جدول ۱) و نمودار میله‌ای آن‌ها (شکل ۴) اختلاف معنی‌داری بین تیمارها وجود ندارد. بنابراین انتظار می‌رود تیمارهای بدون مالچ هدایت هیدرولیکی بیشتری نسبت به تیمارهای بامالچ داشته باشند.

باشد. لذا بروز چنین تغییراتی روی هدایت اشباع خاک می‌تواند به دلیل افزایش غلظت املاح و ثابت ماندن میزان سدیم (نسبت جذبی سدیم) باشد. همچنین اگر به نمودار میله‌ای $\ln(K_s)$ (شکل ۲) توجه شود ملاحظه می‌شود که در تمام تیمارها، $\ln(K_s)$ در تیمارهای دارای مالچ بیشتر از تیمارهای بدون مالچ است. با این‌که این اختلاف معنی‌دار نیست، ولی با توجه به روند ثابت اختلاف بین تیمارهای با مالچ و بدون مالچ، نمی‌توان آن را بدون دلیل دانست. از سویی در مورد مالچ، با



شکل ۳. تغییرات میزان میانگین شوری در تیمارهای مختلف (دسی-زیمنس بر متر)



شکل ۲. تغییرات میزان میانگین $\ln(K_s)$ در تیمارهای مختلف

جدول ۲. میانگین مربعات اثر تیمارها بر پارامترهای ϕ_e و $\ln(K_s)$

میانگین مربعات		میانگین مربعات		منابع تغییرات
احتمال	میانگین مربعات	احتمال	میانگین مربعات	
۰/۴۷۰ ns	۰/۲۱۱	۰/۴۴۱ ns	۰/۶۴۲	تکرار
۰/۴۸۱ ns	۰/۲۰۴	۰/۵۶۹ ns	۰/۴۳۱	شوری آب زیرزمینی
	۰/۱۸۱		۱/۱۴۴	خطا
۰/۳۷۱ ns	۰/۲۲۶	۰/۶۳۴ ns	۰/۱۷۴	عمق آب زیرزمینی
۰/۴۴۰ ns	۰/۲۳۱	۰/۱۰۲ ns	۲/۰۵۹	شوری × عمق آب زیرزمینی
	۰/۱۷۰		۰/۴۲۲	خطا
۰/۳۶۴ ns	۰/۲۳۳	۰/۱۸۵ ns	۱/۴۵۱	پوشش خاک
۰/۴۷۹ ns	۰/۲۰۵	۰/۸۱۷ ns	۰/۱۴۹	شوری آب زیرزمینی × پوشش خاک
۰/۳۷۴ ns	۰/۲۲۴	۰/۶۵۲ ns	۰/۱۵۵	عمق آب زیرزمینی × پوشش خاک
۰/۴۹۷ ns	۰/۱۹۴	۰/۴۵۱ ns	۰/۶۲۳	شوری × عمق آب زیرزمینی × پوشش خاک
	۰/۲۶۱		۰/۷۲۸	خطا

* : معنی داری در سطح ۵٪، ** : معنی داری در سطح ۱٪ و ns : معنی دار نیست

مالچ رشد بسیار بهتری نسبت به تیمارهای بدون مالچ داشته‌اند (TishehZan, 2011). بنابراین این اختلاف قطعاً در رشد

پژوهش‌های دیگر نیز نشان داد که اثر مالچ بر خصوصیات رویشی گیاه در سطح یک درصد معنی‌دار است و تیمارهای با

جدول پیداست هدایت هیدرولیکی بعضی از تیمارها نسبت به قبل افزایش یافته و تعدادی نیز کاهش یافته است. علت این تغییرات را می‌توان دقیقاً همان عواملی دانست که در زیر بخش قبل ارائه شد. این امر نشان می‌دهد که اگر چه رشد ریشه باعث بهبود هدایت هیدرولیکی خاک می‌شود ولی در بعضی از تیمارها نمی‌تواند اثرات مخرب شوری ثانویه به دلیل افزایش عناصر تک ظرفیتی مخصوصاً سدیم جذبی را جبران کند.

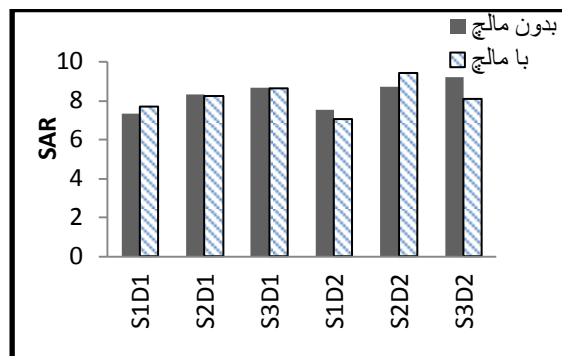
بررسی رابطه بین K_s و ϕ_e

به منظور تعیین رابطه بین تخلخل مؤثر و هدایت هیدرولیکی اشباع بین میانگین داده‌های لگاریتم طبیعی هدایت هیدرولیکی و تخلخل مؤثر تیمارها، رگرسیون‌های خطی و غیر خطی برازش داده شد (جدول ۴). همان طور که در جدول (۴) ملاحظه می‌شود، بهترین رگرسیون از نوع سیگموئید با ضریب تبیین (R^2) برابر ۰/۷۳ است.

$$\ln K_s = 4.66e^{-0.02/\phi_e} \quad (\text{رابطه ۵})$$

که در آن K_s : هدایت هیدرولیکی اشباع (سانتی‌متر بر روز) و ϕ_e : تخلخل مؤثر (مترمکعب بر مترمکعب) است. برای بررسی صحت رابطه به دست آمده، این معادله به کمک نرم‌افزار مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. نتایج نشان داد که ضریب تبیین به دست آمده ۰/۷۳ در سطح یک درصد معنی‌دار است (جدول ۵). برای اطمینان بیشتر از رابطه فوق، ضرایب به دست آمده از نظر معنی‌داری مورد بررسی قرار گرفت (جدول ۶). نتایج نشان داد که ضریب ثابت با احتمال ۹۹ درصد و ضریب $1/\phi_e$ با احتمال ۹۹ درصد صحیح می‌باشند. از سوی دیگر برای پذیرش یک مدل رگرسیونی، باید مقادیر باقیمانده استاندارد شده بین ۲ و ۲- باشند. همان‌گونه که در شکل (۵) مشخص است مقادیر باقیمانده استاندارد شده بین ۲ و ۲- واقع شده‌اند و پراکنش خوبی را اطراف خط باقیمانده صفر نشان می‌دهند که بیانگر صحت رابطه است.

ریشه نیز خواهد بود. لذا اختلاف در هدایت هیدرولیکی در تیمار مالچ احتمالاً به دلیل رشد بیشتر ریشه در تیمارهای با مالچ نسبت به تیمارهای بدون مالچ است، به طوری که بر تأثیر افزایش غلظت املاح روی هدایت هیدرولیکی غالب آمده و از آن پیشی گرفته است. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت در دوره حدود ۱۵ تا ۱۸ ماهه، این نوع مدیریت زهکشی اثر تخریبی روی خصوصیات مهم فیزیکی خاک (تخلخل مؤثر و هدایت هیدرولیکی) نشان نمی‌دهد. HassanOghli *et al.* (2005) محدوده هدایت هیدرولیکی به دست آمده در لایسیمتر با خاک لوم رسی قبل از کشت را ۱۲-۴/۶ سانتی‌متر در روز تعیین نمودند. این مقادیر پس از کشت به دلیل رشد ریشه‌ها و تغییر ساختمان خاک، به میزان زیادی افزایش یافت. البته وجود ریشه در خاک نیز باعث افزایش نفوذپذیری خاک می‌شود (Tabatabaai *et al.*, 2005).



شکل ۴. تغییرات میزان میانگین SAR در تیمارهای مختلف

مقایسه تغییرات هدایت هیدرولیکی بعد از اعمال تیمارها با قبل

پس از پرکردن لایسیمترها و قبل از کاشت نهال‌های خرما، هدایت هیدرولیکی اشباع خاک به روش بار ثابت و به صورت مستقیم در لایسیمتر اندازه‌گیری شد که میزان آن حدود ۱۶- ۱۲ سانتی‌متر بر روز تعیین شد. این محدوده برای خاک لوم قابل قبول است (TishehZan, 2011). برای مقایسه میانگین هدایت هیدرولیکی هر یک از تیمارها با هدایت هیدرولیکی قبل از کاشت نهال‌ها جدول (۳) تهیه شده است. همانطور که از این

جدول ۳. میانگین هدایت هیدرولیکی (dS/m) بعد از اعمال هر یک از تیمارها

عمق ایستایی ۹۰ cm	عمق ایستایی ۶۰ cm		شوری آب زیرزمینی
	با مالچ	بدون مالچ	
کتر از ۴dS/m	۲۳/۵۱	۱۵/۰۹	۸/۸
حدود ۸dS/m	۱۵/۸۹	۱۱/۵۶	۱۰/۰۵
حدود ۱۲dS/m	۱۶/۰۹	۷/۲۴	۲۴/۹۳

جدول ۴. بررسی معادلات مختلف رابطه بین تخلخل مؤثر و هدایت هیدرولیکی اشباع

معادله	خلاصه مدل		برآورد پارامترها				df ₁	df ₂	Sig	ثابت	B ₁ *	B ₂	B ₃
	F	R ²											
خطی	۱۷/۵۱	۰/۶۳			۰/۰۰۲	۰/۹۰۳	۱۰	۱		۴۶/۲۲۷			
لگاریتمی	۲۰/۲۵	۰/۶۶			۰/۰۰۱	۷/۷۶۷	۱۰	۱		۱/۵۵۵			
معکوس	۲۲/۱۰	۰/۶۸			۰/۰۰۱	۴/۰۱۰	۱۰	۱		-۰/۰۵۰			
درجه ۲	۱۰/۵۹	۰/۷۰			۰/۰۰۴	-۱/۵۴۰	۹	۲		۱۹۶/۸۶۳	-۲۲۲۴/۲۵۲		
درجه ۳	۱۰/۵۹	۰/۷۰			۰/۰۰۴	-۱/۵۴۰	۹	۲		۱۹۶/۸۶۳	-۲۲۲۴/۲۵۲	۰/۰۰۰	
ترکیبی	۲۰/۷۵	۰/۶۷			۰/۰۰۱	۱/۲۵۳	۱۰	۱		۳/۳۰۴E+۸			
توانی	۲۴/۶۹	۰/۷۱			۰/۰۰۱	۲۳/۱۴۳	۱۰	۱		۰/۶۶۱			
سیگموئید	۲۷/۶۵	۰/۷۳			۰/۰۰۰	۱/۵۴۶	۱۰	۱		-۰/۲۱			
رشد	۲۰/۷۵	۰/۶۷			۰/۰۰۱	۰/۲۲۶	۱۰	۱		۱۹/۶۱۶			
نمایی	۲۰/۷۵	۰/۶۷			۰/۰۰۱	۱/۲۵۳	۱۰	۱		۱۹/۶۱۶			
لجستیک	۲۰/۷۵	۰/۶۷			۰/۰۰۱	۰/۷۹۸	۱۰	۱		۳/۰۲۶E-۹			

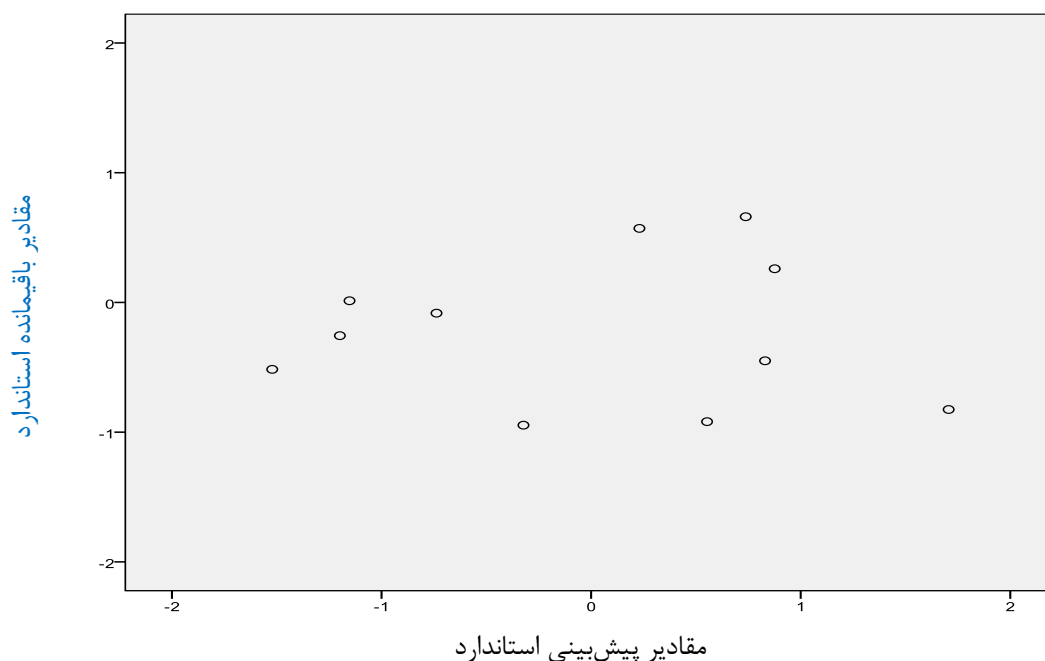
*B₁، B₂ و B₃ ضرایب رگرسیون جزئی هستند.

جدول ۵. تجزیه آماری مدل رگرسیون سیگموئید

مدل	درجه آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات	F	Sig.
رگرسیون	۱	۰/۲۴۱	۰/۲۴۱		
باقیمانده	۱۰	۰/۰۸۷	۰/۰۰۹	۲۷/۶۵۲	۰/۰۰۰
کل	۱۱	۰/۳۲۸			

جدول ۶. جدول بررسی معنی داری ضرایب به دست آمده معادله سیگموئید

ضرایب	مقدار ضریب	مقدار t	Sig.
1/φ _e	-۰/۰۲۱	-۵/۲۵۹	۰/۰۰۰
ثابت	۱/۵۴۶	۱۲/۱۶۲	۰/۰۰۰



شکل ۵. پراکنش مقادیر باقیمانده استاندارد در برابر مقادیر پیش‌بینی شده استاندارد.

نتیجه‌گیری

افزایش عناصر تک ظرفیتی مخصوصاً سدیم را جبران کند. لذا استفاده طولانی‌مدت از آب زیرزمینی شور کم‌عمق نیازمند تدابیر حفاظت خاک می‌باشد. از سوی دیگر برای پیش‌بینی تغییرات هدایت هیدرولیکی در این شرایط، براساس تخلخل مؤثر رابطه سیگموییدی با ضریب تعیین 0.73 به دست آمد. صحت رابطه از نظر آماری نیز تأیید شد.

سپاسگزاری

نویسندگان بر خود لازم می‌دانند که از مؤسسه تحقیقات خرما و میوه‌های گرمسیری کشور به خاطر همکاری در انجام این پژوهش تشکر و قدردانی نمایند.

بررسی مدیریت سطح ایستابی شور کم‌عمق در خاک لومی نشان داد، خطر سدیمی شدن و شور شدن خاک‌ها در دوره گیرایی نهال خرما (۱۵ ماه) در این نوع مدیریت زهکشی وجود ندارد. همچنین نتایج نشان داد که مالچ به‌طور مشهودی باعث کاهش شوری خاک به دلیل جلوگیری از تبخیر و تعرق و بر جا ماندن نمک محلول در آب خاک می‌شود. این امر به نوبه خود باعث افزایش خصوصیات رویشی گیاه از جمله ریشه گیاه می‌شود که افزایش هدایت هیدرولیکی اشباع را به دنبال دارد. اگر چه رشد ریشه باعث بهبود هدایت هیدرولیکی خاک می‌شود ولی در بعضی از تیمارها نمی‌تواند اثرات مخرب شوری ثانویه به دلیل

REFERENCES

- Ahuja, L.R., Naney, J.W., Green, R.E., and Nielsen, D.R. (1984). Macroporosity to characterize spatial variability of hydraulic conductivity and effects of land management. *Soil Science Society of America Journal*, 48, 699-702.
- Aimran, W., Amin, M.S.M and Eltaib, S.M. (2004). Effective porosity of paddy soils as an estimation of its saturated hydraulic conductivity. *Geoderma*, 121, 197-203.
- Alihoury, M. (2009). Irrigation scheduling for new planted seedling of date palm. Technical Instruction. Date Palm and Tropical Fruit Research Institute of Iran (In Farsi).
- Alizadeh, A. (2005). Modern land drainage. 496pp. (in Farsi).
- Anderson, S.H., Udawatta, R.P., Kumar, S., Gantzar, C.J. and Rachman, A. (2010). CT-measured macropore parameters for estimating saturated hydraulic conductivity at four study sites. World congress of soil solutions for a changing world. 1-6 August (2010). Brisbane. Australia.
- Arienzo, M., Christen E.W., Jayawardane, N.S and W.C. (2012). Quayle. The relative effects of sodium and potassium on soil hydraulic conductivity and implication for winery wastewater management. *Geoderma* 173-174. 303-310.
- Beltr'an, J.M. and Manzur, C.L. (2005). Overview of salinity problems in the world and FAO strategies to address the problem. In Proceedings of the International salinity Forum, 25-27 April 2005, Riverside, pp. CA; 311-313.
- Franzmeier, D.P. (1991). Estimation of hydraulic conductivity from effective porosity data for some Indiana soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 55, 1801-1803.
- Ghafari, H. and Neyshabouri, M.R. (2012). Salinity and sodicity effects of irrigation water on soil physical quality criteria. *Journal of Water and soil*. 26(1):65-74 (In Farsi).
- HassanOghli, A.R., Liaghat, A. and MirabZadeh, M. (2005). Investigation of soil saturated hydraulic conductivity changes via irrigation by raw and treated domestic wastewaters. *Journal of agricultural sciences. Islamic Azad University* 11(4):99-108 (In Farsi).
- Ishaku, J.M., Gadzama, E.W. and Kaigama, U. (2011). Evaluation of empirical formulae for the determination of hydraulic conductivity based on grain size analysis. *Journal of geology and mining research*. Vol 3(4):105-113.
- Navabian, M. (2007). Compared transfer functions and regression neural network in estimating saturated hydraulic conductivity. 10th Congress Soil Science. 26-28 August, Karaj (In Farsi).
- Nosrati Kariza, F., Movahedi Naeni, S.A., Hezarjaribi, A., Roshani, Gh.A. and Dehghani, A.A. (2012). Using artificial neural networks to estimate saturated hydraulic conductivity from easily available soil properties. *Journal of Soil Management and Sustainable Production*. 2(1):95-110 (In Farsi).
- Pandey, N.G., Chakavorty, B., Kumar, S. and Mani, P. (2007). Comparison of estimated saturated hydraulic conductivity of alluvial soils. *Hydrology journal*. 28(3-4):59-72.
- RezaeArshad, R., Sayyad. GH., Mazloom, M., Shorafa, M. and Jafarnejady, A. (2012). Comparison of artificial neural networks and regression pedotransfer functions for predicting saturated hydraulic conductivity in soils of Khuzestan province. *Journal of science and technology, Agriculture and nature recourses, Water and soil science*. 16(60):107-118. (In Farsi).
- Tabatabaai, S.H., Fardad, H., Neyshabouri, M.R. and Liaghat, A. (2005). The impact of crop management on the soil infiltration in furrow irrigation. 11th Congress of Iranian national Committee of Irrigation and drainage. Tehran. (In Farsi).
- Tarzi, A., Moazed, H. and Farasati, M. (2012). Evaluation of hydraulic characteristics of

saturated soil by irrigation water with different quality. *Journal of Water and Soil Conservation*. 19(3):237-244 (In Farsi).

TishehZan, P. (2011). Root zone salinity change investigation under water table and mulch for establishment Date Palm. Ph. D. dissertation. ShahidChamran University. Ahwaz (in Farsi).

Unknown. (2015). <http://www.fao.org/iran/news/detail-events/en/c/287596/>

Vaziri, J., Salamat, A.R., Enresari, M.R., Meschi, M., Hidari, N. and DehghaniSanich, H. (2009). Crop evapotranspiration. Iranian national committee on irrigation and drainage. Pp: 389 (In Farsi).

Zare, A. (2009). Comparison of methods for measuring hydraulic conductivity of soils before and after leaching. M.S. dissertation. ShahidChamran University. Ahwaz (in Farsi).