مقایسه آبشویی خاک‌های شور و سدیمی به دو روش غرقابی دایم و متناوب در اراضی جنوب استان خوزستان

علی اکبر جلالی[*1] و حسین سخایی راد[2]

1) کارشناس ارشد، گروه آبیاری و زهکشی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات خوزستان.

2) کارشناس ارشد، گروه سازه‌های آبی.

*** نویسنده مسئول مکاتبات : ajalali85@yahoo.ocm**

تاریخ دریافت:90/06/20 **تاریخ پذیرش:**90/08/23

چکیده

در این پژوهش، آزمایش‌های آبشویی به دو روش غرقابی دایم و متناوب، در کرت‌های آزمایشی در اراضی جنوب استان خوزستان اجرا شد. به ازای کاربرد روش متناوب، مقادیر یکسان آب آبشویی، نتایج بسیار بهتری در روند شوری‌زدایی و سدیم‌زدایی نسبت به روش دایم نشان داد. در روش متناوب، به‌کارگیری دوره‌های تناوب 5 و 8 روزه، جهت آبشویی اراضی منطقه، در عمق یک متری خاک، تفاوت چندانی با هم نداشتند. اگر چه روند تغییرات شوری‌زدایی و سدیم‌زدایی در طی مراحل آبشویی و به خصوص در مراحل اولیه آن تفاوت کمی نشان داد، ولی در نهایت، اثر هر دو تناوب مشابه بود. مقایسه نتایج شوری‌زدایی آزمون‌های مزرعه‌ای و مدل‌های ارائه شده توسط سایر محققین نشان داد در بین مدل‌های مورد بحث، تنها مدل دیلمان که یک رابطه نمایی و مبتنی بر روابط تجربی - نظری است، قادر بوده با دقت بهتری نسبت به سایر مدل‌ها، نتایج حاصل از داده‌های مزرعه‌ای به هر دو روش آبشویی غرقابی دایم و متناوب را برآورد کند. این برآورد در روش متناوب، هم خوانی بیشتری با نتایج آزمون‌های مزرعه‌ای داشته است. هم چنین بررسی نتایج حاصل از ارقام سدیم-زدایی خاک‌ها نشان داد، به دلیل وجود منابع کافی کلسیم موجود در خاک، بعد از شسته شدن خاک‌های شور و سدیمی، با مشکل سدیمی شدن خاک‌ها مواجه نبوده و نیازی به استفاده از مواد اصلاحی در خاک‌های مورد آزمون نمی‌باشد.

واژه‌های کلیدی: آبشویی، خاک‌های شور و سدیمی، غرقابی دایم، غرقابی متناوب.

مقدمه

در قاره آسیا، پس از کشورهای شوروی سابق، چین، هندوستان و پاکستان، ایران دارای بیشترین اراضی شور و سدیمی است (FAO, 1988). در حال حاضر حدود 15 درصد از اراضی کل کشور را خاک‌های شور و قلیایی تشکیل می‌دهد. در سایر نواحی نیز عدم مدیریت در زمین‌های تحت کشت، به دلیل استفاده از آب‌های دارای کیفیت پایین، استفاده از روش‌های نامناسب آبیاری، بدون در نظر گرفتن شرایط ویژه تبخیر و نفوذ آب و از همه مهمتر، عدم توجه به زهکشی اراضی و در نتیجه کاهش فاصله سطح سفره آب زیرزمینی حاوی نمک تا سطح زمین، خاک‌ها را به شوری ثانوی[3] مبتلا و بر وسعت اراضی شور اضافه کرده است (الیاس آذر، 1381). بنابراین مسئله اصلاح و آبشویی خاک‌های شور و سدیمی، جهت افزایش سطح زیر کشت و یا بالا بردن عملکرد محصول در واحد سطح، مورد توجه قرار گرفته است.

از مجموع 2/8 میلیون هکتار اراضی که تحت عنوان دشت‌های آبخور رودخانه‌های استان خوزستان نام برده می‌شوند، حدود 1/8 میلیون هکتار به صورت اراضی بایر و بدون استفاده می‌باشند که دارای محدودیت شوری و قلیائیت می‌باشند. با توجه به آنچه بیان شد بسیاری از اراضی استان خوزستان دارای محدودیت شوری و قلیائیت می‌باشند که با توجه به عملیات آبشویی و بهسازی که تاکنون در این اراضی انجام گرفته است، غالب این خاک‌ها اصلاح‌پذیر می‌باشند (طاهرزاده، 1380).

در مطالعات گذشته، آبشویی خاک‌های شور و سدیمی به دو روش غرقابی دایم و متناوب مورد بررسی قرار گرفته است. اما با توجه به اینکه آزمایش‌های انجام گرفته بر اساس خصوصیات منطقه مورد آزمون می‌باشند، نتایج به دست آمده از آنها به طور مستقیم قابل استفاده برای مناطق دیگر نیست و قبل از استفاده از آنها باید با انجام آزمون‌های مزرعه‌ای، صحت کارکرد آنها را در منطقه مورد نظر بررسی کرد. هم چنین جهت کاهش مشکلات و دستیابی سریع به نتایج، بیشتر تحقیقات و مطالعات آبشویی انجام شده، با استفاده از استوانه‌های مضاعف (دوگانه) و یا در کرت‌هایی با ابعاد بسیار کوچک انجام شده است که در روش‌های مذکور، کم بودن سطح آبشویی شده و یا در نظر نگرفتن تأثیر نفوذ جانبی از اطراف کرت‌ها، از دقت کار کاسته است، لذا استفاده از روش‌های دقیق‌تر ضروری می‌باشد.

Reeve در سال 1957 بر اساس مطالعات مزرعه‌ای در ایالت کالیفرنیای آمریکا که در آن آبشویی به روش غرقاب دایم انجام گرفت، منحنی آبشویی نمک‌ها از نیمرخ خاک را با یک رابطه هذلولی شکل ارائه نمود. Dieleman در سال 1963 فرآیند آبشویی نمک‌ها از نیمرخ خاک را با استفاده از مبانی فیزیکی و ریاضی مورد بررسی قرار داد و رابطه‌ای تجربی- نظری برای آبشویی نمک‌ها به دست آورد. (Talsma,1967) آبشویی به دو روش غرقابی دایم و متناوب را مورد مقایسه قرار داد. نتایج به دست آمده نشان داد، آبشویی به روش متناوب در اراضی با زهکش عمقی، باعث افزایش بازده آبشویی به میزان قابل ملاحظه‌ای نسبت به روش غرقاب دایم شد.

مطالعاتی که توسط Leffelaar and Sharmaدر سال 1977 در هندوستان انجام گرفت نشان داد که مدل ریو، عمق آبشویی را برای خاک‌های با بافت سبک (شنی لومی تا سیلتی لومی)، بیش از میزان مورد نیاز برآورد می‌کند. در آزمایش مذکور آبشویی به دو روش غرقابی دایم و متناوب انجام شد و رابطه تجربی هذلولی شکل، به دست آمد که از آن، جهت اصلاح خاک‌های مناطق عراق، تونس و شمال هند استفاده شد. همچنین مقایسه آبشویی به روش غرقاب دایم و متناوب نشان داد که نتایج این دو روش در خاک‌های با بافت سبک،

3-Secondary salinization

تفاوت چندانی با هم نداشتند. Haffman در سال 1980 نتایج تجزیه و تحلیل مقادیر قابل ملاحظه‌ای آمار و اطلاعات حاصل از اجرای آزمایش‌های مزرعه‌ای آبشویی در کشور ایالات متحده امریکا و دیگر نقاط جهان را با یک رابطه تجربی هذلولی شکل ارائه کرد. Pazira, Kawachi در سال 1981 بر اساس مطالعات در بخش مرکزی استان خوزستان و پس از گردآوری و تجزیه و تحلیل تعداد قابل توجهی آمار مشاهده‌ای (مزرعه‌ای)، یک رابطه تجربی هذلولی شکل ارائه نمودند.

بذرافکن (1375) منحنی‌های آبشویی را در اراضی کشت و صنعت نیشکر هفت تپه رسم کرد و معادله مناسبی جهت آبشویی اراضی منطقه به دست آورد. نتایج به دست آمده، تفاوت چندانی بین دو روش آبشویی غرقابی دایم و متناوب نشان نداد. پذیرا و کشاورز (1378) مطالعاتی در خاک‌های شور و سدیمی جنوب شرقی استان خوزستان (دشت هندیجان) از طریق آزمون‌های مزرعه‌ای انجام دادند. در نتیجه این آزمون‌ها، معلوم گردید کاربرد روابط تجربی ارائه شده توسط ریو، لفلار و شارما و پذیرا و کاواچی با نتایج حاصل از آزمون‌های میدانی انجام شده در دشت هندیجان تطابق مناسبی ندارد. به همین دلیل، رابطه جدیدی به صورت تابع توانی، بر نتایج به دست آمده برازش داده شد.

بهزاد و آخوند علی (1381) معادلات آبشویی در منطقه ملاثانی را در شرایط مزرعه‌ای به دست آوردند و نتایج حاصل را با معادله شوری زدایی سری خاک ملاثانی و معادله ترکیبی شوری زدایی حاصل از تلفیق ده سری خاک منطقه شمال اهواز (به دست آمده از استوانه‌های نفوذسنج) را مورد مقایسه قرار دادند. نتایج به دست آمده نشان داد، مقدار خالص آب مصرفی در شرایط مزرعه‌ای، بیش از مقدار آب محاسبه شده از معادله‌های استخراجی از نتایج شستشوی املاح در استوانه‌های نفوذسنج بود.

بر طبق نتایج Elbarody, Morsyدر سال 2004 در آبشویی خاک‌های شور و سدیمی، بهترین فاصله بین زهکش‌ها 10 متر، عمق نصب زهکش‌ها 1/5 متر و میزان آب مورد نیاز در آبشویی به روش متناوب، 30 درصد کمتر از روش دایم به دست آمد. خاکساری و همکاران (1385) منحنی‌های آبشویی به روش غرقاب متناوب را در منطقه چاه افضل استان یزد رسم کردند و نتیجه گرفتند که عامل فاصله زمانی، در روش متناوب باید در معادلات مربوط به منحنی‌های آبشویی در نظر گرفته شود. Diamantis, Voudrias در سال 2007 دینامیک حذف نمک را با تجزیه و تحلیل آب زهکشی شده از کف ستون‌های آزمایشگاهی به طول 25 سانتی متر و قطر 10 سانتی متر مطالعه و اعلام کردند هنگامی که از آب به تنهایی برای آبشویی استفاده شد، سدیم موجود در خاک، سرعت حذف نمک را کاهش داد و نفوذپذیری خاک، کاهش یافت. اما استفاده از گچ، همراه با آب آبشویی، به روند سدیم زدایی خاک، سرعت بخشید و سرعت حذف نمک را افزایش داد.

هدف این پژوهش، اجرای آزمون مزرعه‌ای آبشویی از طریق کرت‌های مدل، به دو روش غرقابی دایم و متناوب در اراضی جنوب استان خوزستان، مقایسه نتایج به دست آمده با چند مدل تجربی، جهت بررسی صحت عملکرد این مدل‌ها در منطقه و دسترسی به مدل مناسب برای آبشویی اراضی منطقه بوده است.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در اراضی کشت و صنعت شمال خرمشهر انجام گردید. اراضی طرح، در فاصله 120 کیلومتری از شهرستان اهواز و 5 کیلومتری شمال شهرستان خرمشهر در جنوب استان خوزستان قرار گرفته است. با توجه به شور و سدیمی بودن اراضی منطقه، بافت خاک سنگین و سطح آب زیرزمینی بالا، طرح احداث شبکه زهکش زیرزمینی جهت بهره‌برداری از اراضی، به اجرا در آمده است. با توجه به نتایج مطالعات هواشناسی، منطقه طرح، از نظر اقلیمی، در زمره مناطق خشک بوده و تابستان‌های گرم و زمستان‌های نسبتاً معتدل، از ویژگی‌های بارز منطقه به حساب می‌آید. اجرای عملیات آبشویی، از اوایل مهر ماه تا اواسط آذر ماه سال 1387 به طول انجامید. قبل از شروع عملیات آبشویی از خاک مزرعه مورد نظر جهت انجام آزمایش‌ها، برای شناسایی خصوصیات خاک، نمونه برداری اولیه انجام شد. همچنین جهت تهیه نمونه‌های دست نخورده، یک پروفیل، در مزرعه آزمایشی مورد نظر، حفر شد. عمق مورد نظر آبشویی املاح از خاک، یک متر در نظر گرفته شد. بر این اساس، نمونه‌های اولیه و نیز نمونه‌های تهیه شده در هنگام اجرای آزمایش‌ها تا عمق یک متری خاک و در سه عمق 30-60،۰-30 و 60-100 سانتی متری برداشته شد. از آب مورد استفاده در آبشویی نیز جهت تعیین کیفیت آن، نمونه‌برداری شده و طبقه‌بندی کیفی آب، بر اساس نمودار ویل‌کاکس انجام گرفت.

در این تحقیق، آبشویی خاک‌های شور و سدیمی به دو روش غرقابی دایم و متناوب با ارتفاع آب کاربردی مورد نظر برای آبشویی، به میزان 120 سانتی متر انجام شد. چهار عمق مختلف 90،60،30 و 120 سانتی متر آب کاربردی در آبشویی به روش دایم و دو دوره تناوب 5 و 8 روزه و120 سانتی متر آب آبشویی در 8 تناوب 15 سانتی متری در روش متناوب و هر کدام با سه تکرار در نظر گرفته شد. دوره تناوب 5 روزه، در روش متناوب، برابر زمان لازم برای رسیدن رطوبت خاک از حالت اشباع به حالت ظرفیت مزرعه است که به صورت تجربی در خاک مورد آزمون، تعیین شد و دوره تناوب بعدی، 3 روز بیشتر و برابر 8 روز در نظر گرفته شد تا اثر تغییرات دوره تناوب، بررسی شود.

برای به حداقل رساندن تأثیر زهکشی بر نتایج آبشویی، کرت‌ها در حد فاصل دو لترال زهکشی احداث شدند. با توجه به تکرارهای در نظر گرفته شده، جمعاً 18 کرت، احداث شد. ابعاد کرت‌ها نیز، 4 متر مربع ($2m \times 2m$) در نظر گرفته شد. هر کرت به فاصله 2 متر، از کرت بعدی قرار گرفت تا کرت‌ها بر روی هم اثری نگذارند. برای جلوگیری از نفوذ جانبی آب و عدم تأثیر آن بر نتایج آزمایش‌ها، اطراف هر کرت احداثی، توسط کرت محافظی، پوشش داده شد. طی دوره آبشویی به کرت‌های محافظ، به مقدار لازم آب اضافه و سعی شد سطح آب، در کرت‌های مدل و محافظ، یکسان باشد. هم چنین جهت جلوگیری از تبخیر آب، سطح کرت‌ها با ورقه نایلونی پوشانده شد. آب مورد نیاز جهت اجرای آزمایش‌ها، از محل آبگیر مزرعه و توسط یک هیدروفلوم به محل احداث کرت‌ها هدایت شد. آب مورد نیاز هر کرت، در هر نوبت آبشویی، با توجه به ابعاد کرت‌ها ($2m \times 2m \times 15cm$) 600 لیتر بود.

در اجرای آبشویی به روش غرقابی دایم، به کرت‌های هر آزمون، به اندازه عمق تعیین شده، آب در چند نوبت و در هر نوبت 15 سانتی متر، به صورت پیوسته به زمین وارد شد به نحوی که بعد از هر نوبت آب دادن و نفوذ آن در خاک و قبل از خشک شدن سطح زمین و در شرایطی که در سطح زمین حداقل 3 تا 5 سانتی متر آب موجود باشد، نوبت بعدی آب اضافه گردید. بعد از این که کرت‌های هر آزمون آبگیری شدند، اجازه داده شد رطوبت در خاک توزیع و به حد رطوبت ظرفیت مزرعه برسد، سپس نمونه برداری انجام گرفت.

در اجرای آبشویی به روش غرقابی متناوب، در هر تناوب، به کرت‌های هر آزمون، به اندازه عمق تعیین شده (15 سانتی متر) آب وارد شد و در پایان آن تناوب از سطح هر کرت، در سه عمق مورد نظر، نمونه‌برداری انجام گرفت. بعد از هر مرحله نمونه‌برداری، محل آن با استفاده از خاک اطراف پر و توسط میله‌ای استوانه‌ای، فشرده شد تا در صورت امکان از وقوع جریان ترجیحی آب جلوگیری شود. هم چنین سعی شد نمونه‌های بعدی تا حد ممکن، دور از این محل برداشت شوند تا خطای ناشی از تأثیر خاک پر شده در محل نمونه‌برداری قبلی، به حداقل برسد.

برای مقایسه نتایج بین داده‌های مزرعه‌ای و برآورد شده از مدل‌های ریو، دیلمان، لفلار و شارما،هافمن، پذیرا و کاواچی و پذیرا و کشاورز با استفاده از نرم افزار اکسل[4]، بین داده‌های مزرعه‌ای و داده‌های برآورد شده بر اساس هر کدام از مدل‌ها، رگرسیون خطی با عرض از مبدأ صفر، برازش داده شد. سپس با استفاده از ضریب تشخیص (R^2) و ضریب رگرسیون خطی (a) حاصل از برازش و محاسبه شاخص‌های آماری، ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE[5]) و درصد خطا (%E[6]) نتایج به دست آمده مورد بررسی قرار گرفت. ریشه میانگین مربعات خطا و درصد خطا به صورت زیر تعریف می‌شوند:

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

$$\%E = \frac{\sum_{i=1}^{N} |P_i - O_i|}{\sum_{i=1}^{N} O_i} \times 100 \quad (2)$$

که در آنها P_i مقادیر پیش بینی شده توسط مدل، O_i مقادیر میدانی (مزرعه‌ای) و N تعداد داده‌ها می‌باشند.

هر معادله ای که ضرایب a و R^2 در آن به عدد یک نزدیک‌تر باشند و ضرایب $RMSE$ و $\%E$ کوچکتری داشته باشد، از دقت بالاتری در برآورد داده‌ها برخوردار است. به منظور برازش معادلات ریاضی و رسم منحنی‌های شوری‌زدایی و سدیم‌زدایی خاک از نرم افزار کرو اکسپرت[7] استفاده شد. در برازش منحنی‌ها، (Dl_W/D_S) به عنوان x (متغیر مستقل) و ($\frac{EC_f - EC_{eq}}{EC_i - EC_{eq}}$) یا ($\frac{ESP_f - ESP_{eq}}{ESP_i - ESP_{eq}}$) به عنوان Y (متغیر وابسته) در نظر گرفته شد. برای انتخاب بهترین معادله از بین معادلات برازش داده شده همانند روش به کار رفته در مقایسه نتایج بین آزمون‌های مزرعه‌ای و مدل‌های تجربی عمل شد.

نتایج و بحث

نتایج حاصل از اندازه‌گیری خصوصیات شیمیایی در جدول (1) و مشخصات فیزیکی خاک مورد آزمون و عمق آب مورد نیاز برای تأمین کسر رطوبت در هر لایه تا عمق یک متری خاک در جدول (2) ارائه شده است. بر اساس طبقه‌بندی آزمایشگاه شوری خاک ایالات متحده آمریکا، خاک مورد آزمون جز، خاک‌های شور و سدیمی دسته‌بندی شد. هم چنین بر اساس طبقه‌بندی خاک‌های شور و سدیمی در ایران،

1-Excel
5-Root Mean Square Error
6-%Error
7-Curve Expert

خاک مورد آزمون، از نظر شوری در کلاس S_4 (مشکل شوری بسیار زیاد) و از نظر سدیمی در کلاس A_4 (مشکل سدیمی بسیار زیاد) قرار گرفت.

بر اساس ارقام ارائه شده در جدول (2)، ملاحظه شد کسری رطوبت لایه‌های خاک (تا حد ظرفیت مزرعه) برای لایه‌های متفاوت تا عمق یک متر، در مجموع به 8/6 سانتی متر بالغ می‌گردد. بدین ترتیب از 15 سانتی متر آب کاربردی در اولین نوبت یا تناوب آبشویی، فقط 6/4 سانتی متر توانسته است به حالت نفوذ عمقی (آب ثقلی) از انتهای نیمرخ خاک تا عمق یک متری خارج شود. این مقدار برابر عمق خالص آب آبشویی یا مقدار آب زهکشی شده از عمق یک متر خاک، در اولین نوبت آبشویی است. نوبت‌های بعدی آب آبشویی، کلاً صرف شستشوی املاح خواهد شد زیرا ستون خاک، تا عمق مورد نظر، قبلاً در حد رطوبت ظرفیت مزرعه و یا زیادتر از آن بوده است. بنابراین در شرایط فوق، از جمع 120 سانتی متر آب کاربردی، تنها 111/4 سانتی متر توانسته است به صورت نفوذ عمقی و ثقلی، از نیمرخ یک متری خاک، خارج و موجب آبشویی املاح لایه‌های مربوط گردد.

جدول 1: خصوصیات شیمیایی نمونه‌های خاک مورد آزمون

عمق خاک (cm)	pH	EC_e (dS/m)	Na^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	جمع کاتیون‌ها	$So4^{2-}$	Cl^-	Hco_3^-	جمع آنیون‌ها	SAR	%ESP
					(meq/lit)							
0-30	7/45	82/55	1106/3	73	77/5	1256/8	58/45	1100/5	4/75	1163/7	127/56	65/14
30-60	7/55	84/9	1143/95	65	86	1294/95	51/8	1133/75	5/5	1191/05	131/64	65/85
60-100	7/5	86/65	1174/15	40/5	101	1315/65	51/7	1159/25	6/25	1217/2	139/71	67/18

جدول 2: مشخصات فیزیکی نمونه‌های خاک مورد آزمون و عمق آب مورد نیاز برای تأمین کسر رطوبت هر لایه

عمق خاک (cm)	تجزیه مکانیکی خاک				ضخامت لایه (cm)	درصد وزنی رطوبت اولیه خاک	چگالی ظاهری خاک (gr/cm^3)	درصد حجمی رطوبت اولیه خاک	درصد حجمی رطوبت خاک در حالت ظرفیت مزرعه	کمبود رطوبت خاک تا حد ظرفیت مزرعه (cm)
	بافت خاک	درصد								
		شن	سیلت	رس						
0-30	رسی	10	36	54	30	20/75	1/24	25/73	44	5/47
30-60	رسی سیلتی	4	41	55	30	20/46	1/57	32/12	41	2/66
60-100	رسی سیلتی	6	47	47	40	22/31	1/74	38/82	40	0/46

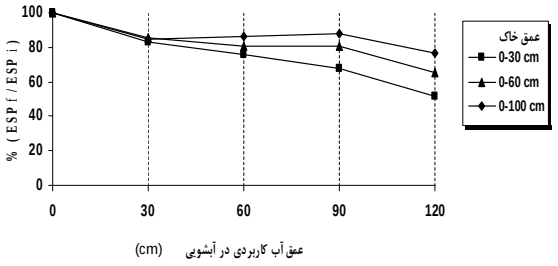
نتایج تجزیه شیمیایی آب کاربردی در آبشویی در جدول (3) ارائه شده است. با توجه به طبقه‌بندی انجام گرفته، کاربرد چنین آبی در کشاورزی (آبیاری)، دارای خطر شوری زیاد و خطر سدیم کم می‌باشد. با در نظر گرفتن مقادیر شوری اولیه بالا در اراضی منطقه مورد نظر، کاربرد چنین آبی در آبشویی مشکلی ایجاد نمی‌کند. علت زیاد بودن شوری آب، کاهش منابع آب در اثر خشک سالی‌های اخیر، به ویژه

در زمان انجام آزمایش‌ها و نیز قرار گرفتن منطقه مورد مطالعه در پایین دست رودخانه کارون و عدم توجه به مسائل کیفیت آب در مناطق بالا دست رودخانه می‌باشد.

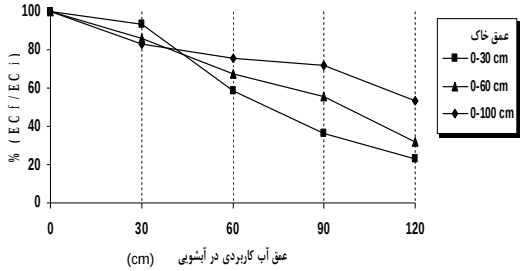
جدول 3: نتایج تجزیه شیمیایی آب کاربردی در آبشویی

طبقه‌بندی بر اساس نمودار ویل‌کاکس	SAR	جمع آنیون‌ها	Hco_3^-	Cl^-	$So4^{2-}$	جمع کاتیون‌ها	Mg^{2+}	Ca^{2+}	Na^+	T.D.S (mg/lit)	EC_e (dS/m)	pH
		(meq/lit)										
C_4-S_1	6/2	46/5	3	32/5	11	50/5	20	7/5	23	1953	4/79	7

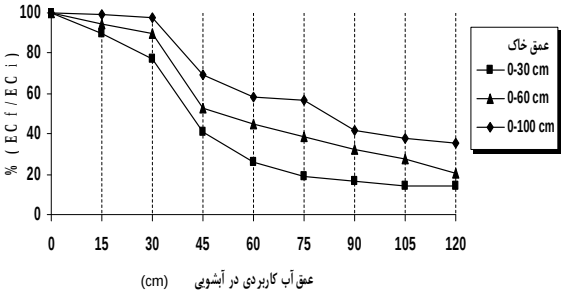
تغییرات نسبت شوری باقیمانده به شوری اولیه (EC_f / EC_i) و درصد سدیم تبادلی باقیمانده نسبت به اولیه (ESP_f / ESP_i) در لایه‌های مختلف نیمرخ خاک و به ازای مقادیر مختلف آب کاربردی در شکل‌های (1) تا (6) نشان داده شده است.



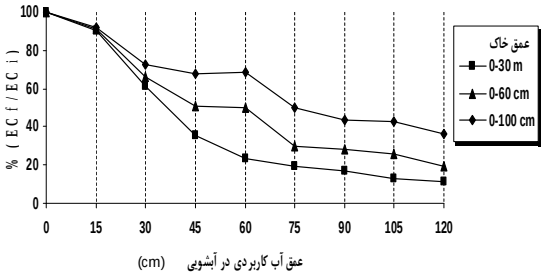
شکل 1: تغییرات نسبت شوری باقیمانده به شوری اولیه در لایه‌های مختلف نیمرخ خاک به ازای مقادیر مختلف آب کاربردی در روش غرقابی دایم



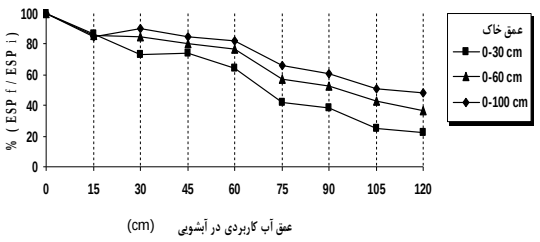
شکل 2: تغییرات درصد سدیم تبادلی باقیمانده نسبت به اولیه در لایه-های مختلف نیمرخ خاک به ازای مقادیر مختلف آب کاربردی در روش غرقابی دایم



شکل 3: تغییرات نسبت شوری باقیمانده به شوری اولیه در لایه‌های مختلف نیمرخ خاک به ازای مقادیر مختلف آب کاربردی در روش غرقابی متناوب با دوره تناوب 5 روز



شکل 4: تغییرات نسبت شوری باقیمانده به شوری اولیه در لایه‌های مختلف نیمرخ خاک به ازای مقادیر مختلف آب کاربردی در روش غرقابی متناوب با دوره تناوب 8 روز



شکل 5: تغییرات درصد سدیم تبادلی باقیمانده نسبت به اولیه در لایه‌های مختلف نیمرخ خاک به ازای مقادیر مختلف آب کاربردی در روش غرقابی متناوب با دوره تناوب 5 روز

شکل 6: تغییرات درصد سدیم تبادلی باقیمانده نسبت به اولیه در لایه‌های مختلف نیمرخ خاک به ازای مقادیر مختلف آب کاربردی در روش غرقابی متناوب با دوره تناوب 8 روز

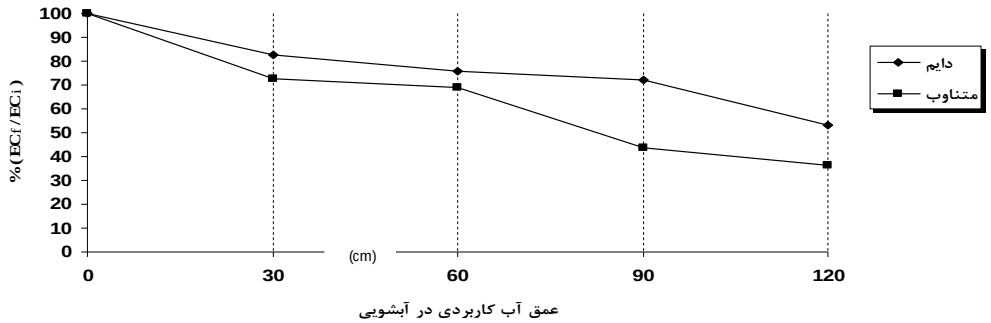
مقایسه مقادیر EC و ESP به عنوان شاخص‌های اصلی شوری و سدیمی بودن خاک، در نمونه‌های پیش از آزمون با مقادیر متناظر آن پس از کاربرد مقادیر مختلف آب آبشویی، نشان دهنده شستشوی املاح و در نتیجه کاهش دو پارامتر مذکور می‌باشد. بررسی روند تغییرات در شکل‌های فوق، نشان می‌دهد که بیشترین تأثیر آبشویی در لایه 30-0 سانتی متری عمق خاک، صورت گرفته و شستشوی املاح از لایه فوقانی، با تجمع املاح در لایه‌های تحتانی همراه است.

مطابق شکل‌های (1) و (2)، در روش غرقابی دایم با کاربرد مقادیر مختلف آب مصرفی، EC حدود 80 درصد در 30 سانتی متر فوقانی خاک، به میزان70 درصد در عمق 60 سانتی متری خاک و حدود 50 درصد در عمق 100 سانتی متری خاک، کاهش یافته است. هم چنین ESP خاک حدود 50 درصد در 30 سانتی متر فوقانی خاک، به میزان 35 درصد در عمق 60 سانتی متری خاک و حدود 25 درصد در عمق 100 سانتی متری خاک کاهش یافته است. مطابق شکل‌های (3) تا (6) در روش غرقابی متناوب با کاربرد تناوب‌های مختلف آب مصرفی، EC در تناوب 5، روزه حدود 90 درصد و در تناوب 8 روزه، حدود 85 درصد در 30 سانتی متر فوقانی خاک، در هر دو تناوب اعمال شده به میزان 80 درصد در عمق 60 سانتی متری خاک و حدود 65 درصد در عمق 100 سانتی متری خاک، کاهش یافته است. هم چنین ESP خاک، در هر دو تناوب، حدود 80 درصد در 30 سانتی متر فوقانی خاک، به میزان 60 درصد و در دوره تناوب 5 روزه ، 65 درصد در دوره تناوب 8 روزه در عمق 60 سانتی متری خاک و در هر دو تناوب اعمال شده، حدود 50 درصد در عمق 100 سانتی متری خاک، کاهش یافته است.

بررسی روند تغییرات EC و ESP در هر دو تناوب اجرا شده به روش متناوب نشان می‌دهد، که نتایج به دست آمده در دو تناوب، تفاوت چندانی با هم ندارند. به عبارتی دیگر به‌کارگیری دوره تناوب‌های 5 و یا 8 روزه جهت آبشویی اراضی در منطقه مورد نظر، تفاوت چندانی بر نتایج آبشویی خاکی به عمق یک متر نداشته‌اند. اگر چه روند تغییرات شوری‌زدایی و سدیم‌زدایی در طی مراحل آبشویی و به خصوص در مراحل اولیه آن، کمی تفاوت دارد ولی در نهایت، هر دو تناوب، اثر مشابهی داشته‌اند. این امر بدین علت می‌تواند باشد که تناوب‌های اعمال شده 5 و 8 روزه در بازه زمانی مناسب (زمان رسیدن رطوبت خاک به حد ظرفیت زراعی) انتخاب شده‌اند. زیرا با افزایش فاصله زمانی بین آبشویی‌ها، تا این حد معین، راندمان آبشویی نیز افزایش خواهد یافت ولی با افزایش بیش از حد فاصله زمانی بین

آبشویی‌ها، توزیع مجدد رطوبت در خاک و حرکت روبه بالای املاح، به دلیل تبخیر، باعث می‌شود که افزایش دوره تناوب، اثر منفی داشته و راندمان آبشویی به روش متناوب را کاهش دهد.

تغییرات نسبت شوری باقیمانده به شوری اولیه، در عمق یک متری نیمرخ خاک، به ازای مقادیر مختلف آب کاربردی در دو روش غرقابی دایم و متناوب، در شکل (7) نشان داده شده‌است. مقایسه روند شوری‌زدایی در دو روش غرقابی دایم و متناوب در عمق یک متری خاک، در شکل (7) نشان می‌دهد که به ازای کاربرد مقادیر مختلف آب آبشویی 30، 60، 90 و120 سانتی متر، روش متناوب، نتایج بسیار بهتری نسبت به روش غرقاب دایم به دست می‌دهد. هم چنین با افزایش مقادیر آب کاربردی، برتری روش متناوب نسبت به روش دایم، بیشتر آشکار گردیده است. مقایسه روند سدیم‌زدایی خاک در دو روش نیز نشان می‌دهد آبشویی به روش متناوب، در سدیم‌زدایی خاک، مؤثرتر بوده است.



شکل 7: تغییرات نسبت شوری باقیمانده به شوری اولیه در عمق یک متری خاک به ازای مقادیر مختلف آب کاربردی در دو روش غرقابی دایم و متناوب

بیشتر بودن بازده آبشویی در روش متناوب، نسبت به روش غرقاب دایم، بدین علت است که در هنگام غرقاب کردن زمین، حرکت آب، بیشتر از منافذ درشت صورت می‌گیرد. در حالی که نمک‌ها، در منافذ ریز خاک و در سطح ذرات خاک می‌باشند. در صورتی که آب، در چند تناوب، به زمین داده شود جریان آب در خاک، غیر اشباع بوده و این جریان از منافذ ریز عبور می‌کند که نمک بیشتری در آنجا متمرکز بوده و در طی این جریان، شسته شده و از خاک خارج می‌شود. بنابراین آبشویی در وضعیت غیر اشباع، کارایی بیشتری داشته و با حجم معینی از آب در وضعیت غیر اشباع، نمک بیشتری از خاک شسته می‌شود

مقایسه نتایج شوری زدایی خاک در آزمون‌های مزرعه‌ای و معادلات تجربی بیان شده در شش مدل مورد بحث با استفاده از شاخص‌های آماری در جدول (4) ارائه شده است.

جدول 4: مقایسه نتایج آزمون‌های مزرعه‌ای و مدل‌های تجربی با استفاده از شاخص‌های آماری

آزمون مزرعه ای مورد نظر	مدل موردنظر	a	R^2	RMSE	%E
روش غرقابی دایم	ریو	0/59	0/39	0/32	53/71
	دیلمان	0/71	0/73	0/2	31/12
	لفلار و شارما	0/22	0/43	0/46	77/09
	هافمن	0/81	0/43	0/3	42/81
	پذیرا و کاواچی	0/23	0/46	0/45	76/14
	پذیرا و کشاورز	0/18	0/5	0/48	81/83
روش غرقابی متناوب	ریو	2/03	0/33	1/22	99/07
	دیلمان	0/99	0/94	0/06	11/74
	لفلار و شارما	0/47	0/51	0/3	60/04
	هافمن	0/67	0/47	0/3	58/7
	پذیرا و کاواچی	0/54	0/49	0/29	59/62
	پذیرا و کشاورز	0/39	0/54	0/32	64/67

با توجه به نتایج جدول (4) ملاحظه می‌گردد در بین مدل‌های مورد بحث، تنها رابطه ساده شده مدل دیلمان که یک رابطه نمایی و مبتنی بر روابط تجربی- نظری است قادر بوده با دقت بهتری، نسبت به سایر مدل‌ها، نتایج حاصل از داده‌های مزرعه‌ای به هر دو روش آبشویی غرقابی دایم و متناوب را برآورد کند. این برآورد در روش متناوب هم‌خوانی بیشتری با نتایج آزمون‌های مزرعه‌ای داشته است. به‌کارگیری مدل‌های مورد بحث، جهت برازش بر داده‌های مزرعه‌ای، در شرایط خاک‌های منطقه مورد آزمون نتایج مطلوبی را نشان نمی‌دهند. دلایل آن می‌تواند شامل مقادیر شوری اولیه متفاوت در خاک‌های مورد آزمون و تفاوت در بافت خاک مناطق مورد آزمون باشد. بنابراین نیاز به برازش نوعی رابطه جدید بین داده‌ها منطبق با شرایط منطقه مورد آزمون می‌باشد.

از بررسی معادلات تجربی بیان شده در زمینه آبشویی نمک‌های محلول از نیمرخ خاک، نتیجه می‌شود که مهمترین معادلات ریاضی مرسوم برای بیان مدل‌های تجربی آبشویی، شامل معادلات تابع معکوس (هذلولی)، تابع توانی و تابع نمایی می‌باشند. چنانچه مشاهده گردید، که نتایج حاصل از آزمون‌های مزرعه‌ای با یک معادله نمایی، تا حدودی بهتر از سایر معادلات برآورد شد. بنابراین احتمالاً برازش یک رابطه نمایی، هدف مورد نظر را تأمین می‌کند. ولی جهت مقایسه بهتر، علاوه بر تابع نمایی، دو تابع معکوس و توانی نیز برازش داده شد و بین سه نوع معادله مقایسه انجام گرفت. معادلات برازش داده شده، بر ارقام شوری‌زدایی خاک در جدول (5) و مقایسه نتایج آزمون-های مزرعه‌ای و معادلات برازش داده شده با استفاده از شاخص‌های آماری در جدول (6) ارائه شده اند.

جدول 5: معادلات برازش داده شده بر ارقام شوری‌زدایی خاک در دو روش آبشویی

رگرسیون برازش داده شده	معادله مربوطه	ضرایب معادلات در روش غرقابی دایم		ضرایب معادلات در روش غرقابی متناوب	
		a	b_1	a	b_1
معکوس	$Y = a + \frac{b_1}{x}$	0/333	0/141	0/267	0/059
توانی	$Y = ax^{b_1}$	0/508	-0/414	0/341	-0/442
نمایی	$Y = ae^{b_1 x}$	0/993	-0/555	1/047	-1/126

جدول 6: مقایسه نتایج آزمون‌های مزرعه‌ای و معادلات برازش داده شده بر ارقام شوری‌زدایی خاک با استفاده از شاخص‌های آماری

آزمون مزرعه ای مورد نظر	رگرسیون برازش داده شده	a	R^2	RMSE	%E
روش غرقابی دایم	معکوس	0/97	0/2	0/19	30/33
	توانی	0/92	0/3	0/16	24/01
	نمایی	0/96	0/74	0/11	15/79
روش غرقابی متناوب	معکوس	0/83	0/22	0/2	42/73
	توانی	0/91	0/63	0/14	29/24
	نمایی	0/98	0/95	0/05	10/4

با توجه به نتایج جدول (6)، از بین سه نوع تابع ریاضی برازش داده شده، تابع نمایی، بهترین برازش را بر ارقام شوری زدایی حاصل از داده‌های مزرعه‌ای به هر دو روش آبشویی غرقابی دایم و متناوب نشان داد. نکته دیگری که باید به آن توجه داشت این است که در تحقیقات علمی، تنها تحلیل آماری و رگرسیونی برای نشان دادن برتری یک رابطه ریاضی بر روابط دیگر کافی نیست. بلکه این رگرسیون باید از نظر فیزیکی و عملی نیز قابل توجیه باشد. با در نظر گرفتن این نکته باید به بررسی صحت رابطه نمایی در مورد به‌کارگیری آن در روابط آبشویی املاح از خاک پرداخت.

با توجه به فرآیند شستشوی املاح در خاک، وقتی X به سمت بی نهایت میل می‌کند (Dl_W نسبت به D_S زیاد شود) مقدار Y به سمت صفر میل خواهد کرد (EC_f به EC_{eq} نزدیک می‌شود) و به همین ترتیب اگر X به سمت صفر میل کند (Dl_W نسبت به D_S کم شود) مقدار Y به سمت یک میل خواهد کرد (EC_f به EC_i نزدیک می‌شود). این فرآیند با معادله نمایی ($Y=e^{-\beta x}$) به خوبی قابل بیان است.

در حالی که معادله‌های توانی و معکوس نمی‌توانند چنین فرآیندی را نشان دهند. بنابراین از نظر فیزیکی نیز معادله نمایی بر معادله‌های دیگر برای بیان فرآیند آبشویی املاح در خاک برتری دارد. معادلات شوری‌زدایی با توجه به جدول (5) و جایگزینی متغیرهای مربوط به X و Y به شکل زیر به دست آمد:

1- روش غرقابی دایم:

$$\left(\frac{EC_f - EC_{eq}}{EC_i - EC_{eq}}\right) = 0.993e^{-0.555\left(\frac{DL_w}{D_S}\right)}$$

2- روش غرقابی متناوب:

$$\left(\frac{EC_f - EC_{eq}}{EC_i - EC_{eq}}\right) = 1.047\ e^{-1.126\left(\frac{DL_w}{D_S}\right)}$$

بر ارقام سدیم زدایی نیز سه معادله نمایی، معکوس و توانی برازش داده شد و از بین آنها، تابع نمایی، بهترین برازش را بر ارقام سدیم‌زدایی حاصل از داده‌های مزرعه‌ای به هر دو روش آبشویی غرقابی دایم و متناوب نشان داد. همان طور که قبلاً بیان شد در اینجا نیز از نظر فیزیکی، معادله نمایی بر معادله‌های دیگر برای بیان فرآیند سدیم‌زدایی املاح در خاک برتری دارد. بنابراین معادلات سدیم‌زدایی با توجه به جایگزینی متغیرهای مربوط به X و Y به شکل زیر به دست آمد:

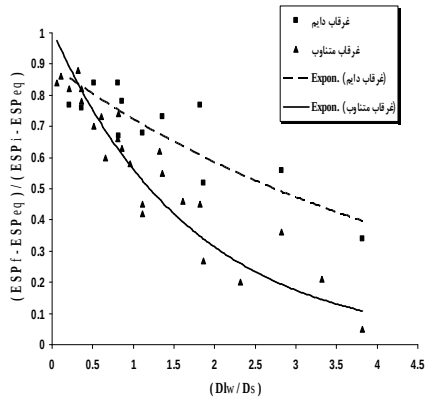
1- روش غرقابی دایم

$$\left(\frac{ESP_f - ESP_{eq}}{ESP_i - ESP_{eq}}\right) = 0.868e^{-0.181\left(\frac{DL_w}{D_S}\right)}$$

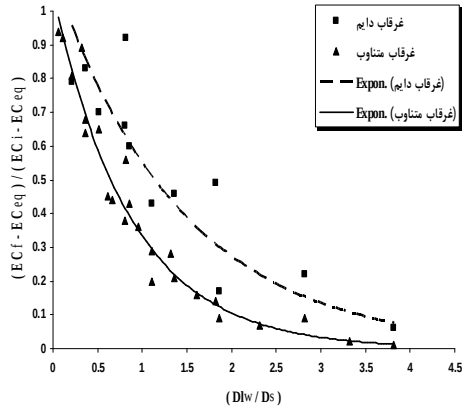
2- روش غرقابی متناوب

$$\left(\frac{ESP_f - ESP_{eq}}{ESP_i - ESP_{eq}}\right) = 0.927e^{-0.476\left(\frac{DL_w}{D_S}\right)}$$

شکل‌های (8) و (9) به ترتیب منحنی‌های شوری‌زدایی و سدیم‌زدایی به دو روش غرقابی دایم و متناوب را بر اساس برازش رابطه نمایی، بر داده‌های مزرعه‌ای حاصل از دو روش را نشان می‌دهند.



شکل 8: منحنی‌های شوری‌زدایی به دو روش غرقابی دایم و متناوب



شکل 9: منحنی‌های سدیم‌زدایی به دو روش غرقابی دایم و متناوب

نتیجه‌گیری

روند شوری زدایی و سدیم زدایی در آزمون‌های انجام شده نشان می‌دهد که کاربرد مقادیر مختلف آب آبشویی در خاک‌های منطقه مورد آزمون، موجب کاهش شوری و درصد سدیم تبادلی در عمق یک متری گردیده است. بنابراین همان طور که از قبل انتظار می‌رفت در صورت تأمین آب مورد نیاز آبشویی به میزان کافی و به شرط ایجاد سیستم زهکشی در خاک‌های منطقه، این خاک‌ها اصلاح پذیرند.

روش غرقاب متناوب، به ازای کاربرد مقادیر مختلف آب آبشویی، نتایج بسیار بهتری را در روند شوری زدایی و سدیم زدایی نسبت به روش غرقاب دایم نشان داده است. همچنین با افزایش مقادیر آب کاربردی، برتری روش متناوب نسبت به روش دایم بیشتر نمایان گردیده است.

در بین آزمون‌های اجرا شده با توجه به برتری روش متناوب، نسبت به روش غرقاب دایم و همچنین عدم مشاهده تفاوت قابل ملاحظه بین دو تناوب اعمال شده در روش متناوب، کاربرد روش متناوب با دوره تناوب 5 روز، جهت آبشویی اراضی در منطقه مورد مطالعه، به دلیل اینکه به زمان کمتری جهت اجرا نیازمند است، مناسب‌تر می‌باشد. همچنین بررسی نتایج حاصل از ارقام سدیم‌زدایی خاک‌ها نشان داد به دلیل وجود منابع کافی کلسیم موجود در خاک، بعد از شسته شدن خاک‌های شور و سدیمی با مشکل سدیمی شدن خاک‌ها مواجه نیستیم و نیازی به استفاده از مواد اصلاحی در خاک‌های مورد آزمون نیست.

مقایسه نتایج شوری‌زدایی آزمون‌های مزرعه‌ای و مدل‌های ارائه شده توسط سایر محققین نشان داد در بین مدل‌های مورد بحث، تنها مدل دیلمان که یک رابطه نمایی و مبتنی بر روابط تجربی- نظری است، قادر بوده با دقت بهتری نسبت به سایر مدل‌ها نتایج حاصل از داده‌های مزرعه‌ای به هر دو روش آبشویی غرقابی دایم و متناوب را برآورد کند. این برآورد در روش متناوب هم‌خوانی بیشتری با نتایج آزمون‌های مزرعه‌ای داشته است.

با وجود اینکه نتایج آزمون‌های مزرعه‌ای آبشویی به دلیل وجود روابط پیچیده بین آب و خاک، نسبت به نتایج به دست آمده از مدل‌های کامپیوتری و روش‌های آزمایشگاهی در منطقه مورد مطالعه معتبرترند، اما به دلیل زمان‌بر بودن و پرهزینه بودن آنها پیشنهاد می‌شود نسبت به بررسی و واسنجی مدل‌های کامپیوتری معتبر و روش‌های آزمایشگاهی با استفاده از نتایج آزمون‌های مزرعه‌ای انجام شده در هر منطقه اقدام گردد.

منابع

- **الیاس آذر، خ.** (1381). اصلاح خاک‌های شور و سدیمی (مدیریت خاک و آب). انتشارات جهاد دانشگاهی ارومیه. چاپ اول. 330 صفحه.
- **بذرافکن، ع.**(1375). بررسی میزان آبشویی اولیه لازم در اراضی کشت و صنعت هفت تپه. پایان‌نامه کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی، دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید چمران اهواز. 161 صفحه.
- **بهزاد، م. و آخوندعلی، ع. م.** (1381). بررسی و ارایه معادله‌های تجربی شوری و سدیم زدایی خاک‌های شور در منطقه ملاثانی استان خوزستان. مجله علمی کشاورزی. جلد 25 شماره 1، صفحات 125- 105.

- **پذیرا، ا. و کشاورز، ع.**(1378). بررسی و تعیین آب مورد نیاز اصلاح خاک‌های شور و سدیمی اراضی جنوب شرقی استان خوزستان. مجله تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی. جلد 4 شماره 16، صفحات 13-1.

- **خاکساری، و. چراغی، ع. م. موسوی، ع. ا. کامگارحقیقی، ع. ا. و زندپارسا، ش.** (1385). آبشویی خاک به منظور اصلاح خاک شور و قلیا در منطقه چاه افضل استان یزد. مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی. جلد 13 شماره 6.

- **طاهرزاده، م. ح.**(1380). مشخصات و طبقه‌بندی خاک‌های شور و سدیمی استان خوزستان پس از آبشویی. مجله علوم خاک و آب. ویژه نامه خاک‌شناسی و ارزیابی اراضی. صفحات 150- 139.

- **FAO. (1988).** Soil map of the world. World soil resources report. No. 60, Final draft. Rome. 119 p.

- **Diamantis, V. I and Voudrias, E. A. (2007).** Laboratory and pilot studies on reclamation of a salt-affected alluvial soil. Journal of Environmental Geology. 54 (3), pp. 643-651.

- **Dieleman, P. J. (1963).** Reclamation of salt-affected soils in Iraq. I.LR.I. Wageningen. The Netherlands.

- **Hoffman, G. J. (1980)**. Guidelines for reclamation of salt-affected soils. in Proceedings of international american salinity and water management, Technical conference. Juarez. Mexico. 49-64.

- **Leffelaar, P. A and Sharma, R. P. (1977).** Leaching of a highly saline-sodic soil. Journal of Hydrology. 32:pp. 203-218.

- **Morsy, M. A and El Barody, I. M**. **(2004).** Simulation for the leaching of heavy saline sodic clays at Tina plain in Sinai. Journal of Engineering and Applied Science. 51 (5),pp. 893-910.

- **Pazira, E and Kawachi, T. (1981).** Studies on appropriate depths of Leaching Water, Iran. A case Study. Journal of Integrated agricultural Water Use and Freshimg. 6, pp. 39-49.

- **Reeve, R. C. (1957).** The relation of salinity to irrigation and drainage requirement. 3th congress of international commision on irrigation and drainage. Trans. 5 (10), pp. 175-187.

- **Talsma, T. (1967).** Leaching of tile-drained saline soils. Australian Journal of Soil Research. 5(1),pp. 37– 46.