

## مدل سازی تغییرات شوری خاک به منظور پیش بینی تغییرات تناسب اراضی در برخی مزارع گندم و جو در منطقه نی ریز استان فارس

آناهید سلمان پور<sup>۱</sup>، محمد حسن صالحی<sup>۲\*</sup>، جهانگرد محمدی<sup>۲</sup>، عبدالمحمد محنت کش<sup>۳</sup> و سید حسن طباطبائی<sup>۴</sup>

۱- دانشجوی دکتری گروه خاک شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران

۲- استاد گروه خاک شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران

۳- استادیار مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان چهارمحال بختیاری، ایران

۴- دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران

### تاریخچه مقاله

دریافت: ۱۳۹۵/۱۱/۱۹

پذیرش نهایی: ۱۳۹۶/۱۰/۲۵

### کلمات کلیدی:

ارزیابی تناسب سرزمین،

مدل سازی حرکت، املاح،

شوری،

هایدروس

### چکیده

یکی از اهداف ارزیابی تناسب اراضی، تعیین درجه و کلاس تناسب اراضی برای استفاده مورد نظر در شرایط آبی است. مهم ترین محصولات زراعی شهرستان نی ریز گندم و جو است. اما طی دو دهه اخیر مدیریت های نادرست در بخش کشاورزی در منطقه، باعث کاهش و شور شدن آب شده است. مطالعه حاضر با هدف بررسی امکان تغییر کلاس یا درجه تناسب اراضی در صورت تغییر میزان هدایت الکتریکی خاک در اثر ادامه آبیاری با آب شور در منطقه نی ریز برای ۱۰ سال آینده انجام شد. به این منظور، در ۳ واحد نقشه خاک، مزارع گندم و جو انتخاب و پروفیل هایی حفر و رده بندی شدند. نمونه های خاک تهیه و عملکرد و مقدار آبیاری برای هر مزرعه محاسبه گردید. مدل سازی شوری با نرم افزار هایدروس انجام گرفت. ارزیابی کیفی و کمی تناسب اراضی برای محصولات انجام و برای آینده مجدداً محاسبه گردید و درستی نتایج مدل هایدروس، با مقایسه با نقشه شوری منطقه بررسی شد. بر اساس نتایج، کلاس تناسب اقلیم در منطقه نی ریز برای گندم S1 و برای جو S2 (محدودیت در میانگین حداکثر دمای سردترین ماه سال)، تعیین گردید. همچنین کلاس تناسب خاک و زمین، برای محصولات گندم و جو، در هر سه منطقه S1 بود. نتایج نشان داد که با فرض عدم تغییر شرایط بارندگی و آبیاری در ۱۰ سال، کلاس تناسب اراضی ثابت می ماند ولی درجه آن در طول زمان کاهش خواهد یافت. مقایسه نتایج مدل سازی و نقشه های شوری نیز، این روند را تایید کرد؛ بنابراین، جلوگیری از گسترش و افزایش شوری و از بین رفتن مزارع، توجه مبرم مسؤولان را می طلبد.

\* عهده دار مکاتبات

Email:  
mehsalehi@yahoo.com

## مقدمه

یکی از راه کارهای مرسوم در مطالعات ارزیابی برای تعیین تیپ های بهره وری از اراضی، ارزیابی تناسب اراضی است که ویژگی های خاک را برای نوع کاربری مورد نظر بررسی و محدودیت های آن را مشخص می نماید و در واقع به نحوی کیفیت خاک را برای محصول مورد نظر ارزیابی می کند. تحقیقات زیادی برای بررسی کلاس های تناسب اراضی با روش های متفاوت در مناطق مختلف ایران و برای محصولات مختلف انجام گردیده است (۶، ۷، ۱۸، ۱۹، ۲۳، ۲۶، ۳۱، ۳۷).

ارزیابی اراضی در شرایط فعلی و آتی هر منطقه، می تواند مد نظر باشد. یکی از اهداف ارزیابی تناسب اراضی نیز تعیین درجه تناسب اراضی برای استفاده مورد نظر در شرایط آتی است. به این مفهوم که در صورت انجام هرگونه عملیات عمرانی در جهت رفع یک محدودیت قابل اصلاح، مانند اصلاح شیب یا ایجاد یک محدودیت، مانند شور شدن خاک در اثر مدیریت نادرست آبیاری، تغییرات کلاس تناسب اراضی قابل محاسبه خواهد بود؛ بنابراین، اگر بتوان تغییرات شوری خاک را به نحوی پیش بینی نمود، می توان تغییر درجه تناسب اراضی را بر اساس تغییرات شوری خاک در طول زمان مورد بررسی قرار داد. مطالعات بسیاری در زمینه تعیین کلاس تناسب اراضی برای محصولات مختلف در ایران انجام شده است. با توجه به مطالعات انجام شده در ایران، هدایت الکتریکی در بیش تر مناطق جزء عوامل محدود کننده برای بیش تر محصولات بوده است.

مطالعات باقرزاده و دانش ور (۷) تناسب اراضی در ۳۹ دشت در استان خراسان رضوی برای گندم و جو نشان داد حدود ۶۵ درصد از اراضی برای گندم و جو کلاس تناسب S3 داشتند و عوامل محدود کننده برای کشت گندم و جو در این ۳۹ دشت، توپوگرافی (t)، ویژگی های فیزیکی خاک (s) و شوری و قلیائیت (n) بود.

نتایج مطالعات ضیاعی جاوید و گویچایی (۳۹) با استفاده از روش پارامتریک در دشت تبریز برای گندم، جو، سیب زمینی، پیاز و چغندر قند نیز، نشان داد شوری و قلیائیت خاک مهم ترین عوامل محدود کننده رشد گیاهان در این منطقه است.

طاعتی و سرمیدان (۳۷) گزارش کردند مهم ترین عوامل محدود کننده رشد ذرت که باعث گردید تا کلاس تناسب اراضی در منطقه آبیگ در استان قزوین در کلاس S2 تا N قرار بگیرد، عمق خاک، درصد سنگ و سنگریزه، پایین بودن ماده آلی، شوری، قلیائیت و گچ هستند. مطالعات موسوی و همکاران (۲۵) نیز در همان دشت نشان داد فقط ۲۴ درصد از مساحت این دشت در کلاس S1 قرار گرفت و باقی مانده اراضی در کلاس S2 تا N قرار می گیرند. عوامل محدود کننده برای کشت گندم آبی در این دشت، هدایت الکتریکی، گچ، عمق خاک، کربن آلی، بافت خاک و کربنات کلسیم معادل بود.

از آن جا که توزیع نمک در خاک از الگوی جریان آب در خاک پیروی می کند و آزمون های مزرعه ای مرتبط با شوری به دلیل محدودیت های اجرایی، زمان بر و نیاز به نیروی انسانی و هزینه زیاد هستند، مطالعات زیادی در زمینه تعیین الگوی حرکت املاح در خاک با استفاده از مدل های رایانه ای انجام گرفته است (۱۴، ۲۱، ۲۲، ۲۸، ۲۹، ۳۸) که به کمک آن ها می توان در کوتاه ترین زمان، تغییرات حرکت املاح در خاک را تحت شرایط مختلف بررسی کرد.

شهرستان نی ریز در جنوب شرقی تالاب بختگان قرار دارد و مهم ترین محصولات زراعی آن گندم و جو است. مدیریت های نادرست در دو دهه اخیر در بخش کشاورزی، منجر به افت بیش از حد سطح سفره آب زیر زمینی، شور شدن آب، کاهش آب آبیاری و تغییر کاربری اراضی این منطقه به سمت کاشت گیاهان مقاوم به شوری شده است. با توجه به شرایط به وجود آمده در این منطقه و با توجه به این که مطالعات تناسب اراضی

طول‌های جغرافیایی ۵۴° تا ۵۴° ۲۲' و عرض‌های جغرافیایی ۲۹° ۱۰' تا ۲۹° ۲۲' قرار دارد. مهم‌ترین محصولات زراعی نی‌ریز، گندم و جو است که به صورت آبی کشت می‌شوند. طبق آمار سالنامه آماري استان فارس، سطح زیر کشت این دو محصول در سال ۱۳۸۶ حدود ۱۳۰۰۰ هکتار و در سال ۱۳۹۳ حدود ۲۴۰۰ هکتار بوده است (۳ و ۴).

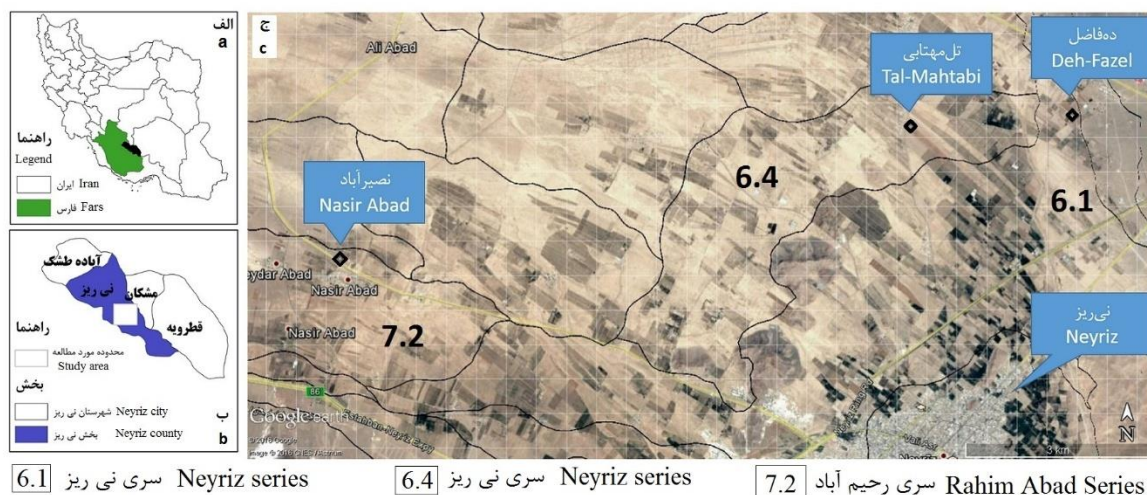
برای تحقیق حاضر بر اساس نقشه خاک‌شناسی اجمالی موجود از دشت نی‌ریز (۱۷)، در ۳ واحد نقشه خاک (تا سطح فاز سری) شامل واحدهای ۶,۴، ۶,۱ و ۷,۲ (شکل ۱)، سه منطقه، شامل ده‌فاضل، تل‌مهتابی و نصیرآباد مشخص و در هر منطقه، یک مزرعه گندم و یک مزرعه جو انتخاب گردید. در هر مزرعه پروفیل-هایی حفر و نمونه‌برداری جهت آنالیزهای آزمایشگاهی انجام شد. پروفیل‌ها براساس روش استاندارد (۳۳) تشریح و بر طبق سامانه طبقه‌بندی آمریکایی (۳۶) رده‌بندی شدند.

انجام شده تاکنون بر تعیین کلاس تناسب اراضی در شرایط کنونی تاکید دارند و به تغییر تناسب اراضی در صورت ایجاد تغییر در هر یک از ویژگی‌های خاک و زمین یا اقلیم در شرایط آبی نپرداخته است، مطالعه حاضر با هدف بررسی امکان تغییر کلاس یا درجه تناسب اراضی در صورت تغییر میزان هدایت الکتریکی خاک در اثر ادامه مدیریت نادرست آبیاری و خشکسالی در منطقه نی‌ریز برای سال‌های آبی در یک بازه ۱۰ ساله انجام گردید.

### مواد و روش‌ها

#### منطقه مورد مطالعه

شهر نی‌ریز حدود ۲۰ کیلومتری جنوب شرقی دریاچه بختگان و ۲۲۰ کیلومتری جنوب شرقی شیراز واقع است (شکل ۱). ارتفاع این شهر از سطح دریا ۱۶۳۲ متر، میانگین سالانه بارندگی و تبخیر سالانه آن به ترتیب ۱۹۰ و ۹۳ میلی‌متر و میانگین دمای آن ۱۹/۴°C است (۴). دشت نی‌ریز در قسمت جنوب و جنوب شرقی دریاچه بختگان با وسعت حدود ۲۵۰ کیلومتر مربع، بین



شکل (۱) موقعیت منطقه مورد مطالعه در ایران (الف)، شهرستان نی‌ریز (ب) و مناطق انتخاب شده (ج)  
Figure1- Location of the studied area in Iran (a), Neyriz region and (b) studied regions (c)

شد. منحنی رطوبتی تمام لایه های خاک برای پروفیل های انتخاب شده نیز، در آزمایشگاه برای مکش های ۰، ۰/۱، ۰/۳، ۱، ۵ و ۱۵ بار با استفاده از دستگاه جعبه شنی و صفحات فشاری به دست آمد. سپس با استفاده از نرم افزار RETC 6.02 پارامترهای معادله ون گنوختن (شامل  $\Theta_r$ ،  $\alpha$  و  $n$ ) محاسبه شد (۲۴).

برای مدل سازی حرکت املاح در خاک از مدل هایدروس استفاده گردید. مدل هایدروس، یکی از مدل های پیشرفته در ارتباط با حرکت آب، املاح و گرما در خاک است. این مدل قادر به شبیه سازی در شرایط اشباع و غیراشباع بوده و توانایی تخمین خصوصیات خاک را نیز دارد. به دلیل این که در افق سطحی خاک های مورد مطالعه ساختمان ضعیف بود و در افق های پایین تر نیز ساختمان تشکیل نشده بود، از مدل جابه جایی-انتشار نمک ها یا CDE<sup>۱</sup> استفاده گردید. این معادله برای بررسی حرکت نمک ها در محیط های همگن مناسب بوده و برای جریان نسبتاً یکنواخت صادق است (۱).

### تعریف شرایط مرزی

معادله انتقال املاح، یک معادله مشتق جزئی غیرخطی است که دارای دو متغیر زمان ( $t$ ) و مکان ( $X$ ) و یک متغیر وابسته به غلظت ( $C$ ) است. این نوع معادلات دارای جواب های زیادی هستند. برای این که جواب واحدی از آن ها به دست آید باید شرایط اولیه و شرایط مرزی مستقیم تعریف شود. جهت تعریف شرایط مرزی، برای شرایط مرزی بالایی جریان گزینه شرایط مرزی اتمسفری در سطح لایه<sup>۲</sup> و برای شرایط مرزی پایینی زهکشی آزاد<sup>۳</sup> انتخاب گردید. برای حرکت املاح شرایط مرزی بالایی و پایینی، غلظت شرایط مرزی انتخاب شد.

در نهایت، ارزیابی کیفی تناسب اراضی برای محصولات زراعی گندم و جو با استفاده از روش ارائه شده در نشریه ۱۰۱۵ مؤسسه تحقیقات خاک و آب (۱۶) و ارزیابی کمی برای این محصولات با استفاده از مدل فائو انجام شد (۱۵ و ۵). برای این منظور و محاسبه تناسب کمی اراضی در زمان حال و آینده، در هر یک از مزرعه های گندم و جو، سه نقطه به صورت تصادفی انتخاب و میزان عملکرد محصولات در زمان محصول دهی در یک متر مربع اندازه گیری شد و عملکرد محصول برای یک هکتار محاسبه گردید.

همچنین به منظور مدل سازی حرکت املاح در خاک و شبیه سازی روند تغییرات نمک در خاک، در هر منطقه (ده فاضل، تل مهتابی و نصیرآباد)، یک پروفیل انتخاب و علاوه بر نمونه های خاک، نمونه های جداگانه برای پایش رطوبت و شوری، هدایت هیدرولیکی و جرم مخصوص ظاهری، تهیه شد. همچنین هدایت هیدرولیکی افق سطحی خاک با دستگاه پرماترگلف اندازه گیری گردید. به علاوه، در هر منطقه، نمونه آب آبیاری از چاه موجود، تهیه و مقدار آب آبیاری براساس دبی خروجی پمپ آب در زمان آخرین آبیاری، مقدار ساعت آبیاری در هر دور آبیاری برای یک هکتار و بر حسب سانتی متر ارتفاع آب محاسبه گردید. دبی خروجی با استفاده از دو خط کش عمود برهم و معادله ۱ محاسبه شد (۲):

$$Q = 0.071 \times F \times \frac{X}{\sqrt{Y}} D^2 \quad (1)$$

در این معادله  $X$  فاصله افقی (cm) و  $Y$  فاصله عمودی خط کش (cm) و  $D$  قطر لوله (cm) است.  $F$  ضریبی است که با توجه به نسبت قطر لوله به قسمت خالی لوله ( $D/E$ ) از جدول مربوط به دست می آید. هنگامی که لوله کاملاً پر باشد،  $F$  برابر یک خواهد بود.

هدایت الکتریکی نمونه های تهیه شده آب آبیاری نیز، با استفاده از دستگاه EC متر در آزمایشگاه اندازه گیری

1- Convection-dispersion equation  
2- Atmospheric BC with surface layer  
3- Free Drainage

تا یک برای بهترین حالت تغییر کرده و کفایت و کارایی معادله را نشان می‌دهد (۲۰).

### تعریف سناریو برای پیش‌بینی شوری

برای بررسی تغییرات احتمالی شوری در سال‌های آتی در تحقیق حاضر، دوره زمانی آب و هوایی سال زراعی ۹۳-۱۳۹۲ برای ۱۰ دوره (۱۰ سال) تکرار گردید (۱۲). پس از آن، کلاس و تحت کلاس تناسب اراضی با استفاده از اطلاعات به‌دست آمده از نرم‌افزار هایدروس و مدل-سازی تغییرات شوری خاک در آینده مجدداً محاسبه شد.

### نتایج و بحث

#### ویژگی خاک‌های مطالعه شده

نتایج مشاهده‌های صحرایی خاک‌های مورد مطالعه در جدول ۱ آورده شده است. بر اساس نتایج، خاک‌های منطقه نصیرآباد با بافت سیلتی لوم تا لوم و بدون ساختمان متغیر بوده و شوری آن کم‌تر از ۴/۵ دسی‌زیمنس بر متر است. در خاک‌های تل‌مهتابی و ده‌فاضل ساختمان مکعبی و نشانه‌های تجمع آهک پودری از عمق ۲۵ تا ۱۰۰ سانتی‌متر در خاک دیده شد. بافت خاک در منطقه تل-مهتابی سیلتی لوم و خاک‌های ده‌فاضل لومی رسی است و شوری خاک‌های تل‌مهتابی بیش‌تر از خاک‌های ده‌فاضل است.

بر اساس معیارهای طبقه‌بندی خاک آمریکایی (۳۵)، خاک‌های منطقه نصیرآباد تا سطح فامیل خاک

Fine mixed, superactive, thermic, Typic Haplocambids

و در منطقه تل-مهتابی و ده‌فاضل

Fine loamy, mixed, superactive, thermic, Typic Haplocalcids

طبقه‌بندی گردیدند.

#### ارزیابی کیفی تناسب اراضی

نتایج ارزیابی کیفی تناسب اراضی در جدول ۲ آمده است. بر اساس نتایج، کلاس تناسب اقلیم در منطقه نی‌ریز با استفاده از روش محدودیت ساده برای گندم بسیار مناسب (S1) و برای جو در کلاس نسبتاً مناسب (S2)، به دلیل محدودیت در میانگین دمای حداکثر سردترین ماه سال،

### تعریف پارامترهای اتمسفری و گیاه

با استفاده از نرم‌افزار CropWat 8.0 تعرق پتانسیل محاسبه (۲۸) و برای به‌دست آوردن روند تغییرات تعرق پتانسیل گیاه برای یک فصل رشد، مقادیر آن در مقدار KC ضرب گردید. هم‌چنین میزان بارندگی روزانه و تبخیر روزانه برای سال زراعی ۹۳-۱۳۹۲ وارد شد. پارامترهای معادله ف德斯 برای جذب ریشه، برای گندم از پیش‌فرض نرم‌افزار و برای جواز مطالعات دیامانتوپولوس<sup>۱</sup> و همکاران (۱۱) استخراج گردید.

### اعتبار سنجی مدل

برای اعتبار سنجی مدل از ۴ پارامتر آماری شامل ضریب تبیین<sup>۲</sup> ( $R^2$ )، جذر میانگین مربعات خطا<sup>۳</sup> (RMSE)، کارایی مدل<sup>۴</sup> (EF) و ضریب جرم باقی‌مانده<sup>۵</sup> (CRM)، به‌ترتیب از معادلات ۲ تا ۵ محاسبه گردید.

$$CD = \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2}{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2} \quad (2)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (O_i - P_i)^2}{n}} \quad (3)$$

$$CRM = \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - P_i)}{\sum_{i=1}^n O_i} \quad (4)$$

$$EF = \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O}) - \sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \quad (5)$$

در این معادلات،  $O_i$  داده مشاهده‌ای،  $P_i$  داده برآورد شده،  $n$  تعداد داده‌ها و  $\bar{O}$  میانگین مقادیر مشاهده شده است. چنانچه مقدار CRM برابر صفر شود، کارایی معادله حداکثر بوده و اگر مثبت یا منفی شود، نشان دهنده بیش‌برآوردی و یا کم برآوردی معادله خواهد بود. هم‌چنین مقدار EF از منفی بی‌نهایت برای بدترین حالت

1- Diamantopoulos *et al.*

2- Coefficient of determination

3- Root Mean Square Error

4- Modeling Efficiency

5- Coefficient of residual mass

سلمان پور و همکاران: مدل سازی تغییرات شوری خاک به منظور...

قرار گرفت. هم چنین کلاس تناسب سرزمین (جدول ۲) بر اساس روش محدودیت ساده، برای هر دو محصول گندم و جو، در هر سه منطقه S1 می باشد. مطابق جدول مشاهده می شود که عامل محدود کننده رشد برای گندم وجود ندارد؛ اما برای جو، اقلیم (متوسط درجه حرارت روزانه)، عامل محدود کننده است. شاخص

اراضی برای منطقه تل مهتابی، ۸۱/۵۳ و ۶۷/۳۶ (به ترتیب برای گندم و جو)، برای منطقه ده فاضل ۸۳/۰۴ و ۶۷/۴۳ (به ترتیب برای گندم و جو) و برای نصیر آباد، به ترتیب برای گندم و جو ۷۸/۳۹ و ۶۶/۷۸ به دست آمد.

جدول (۱) ویژگی های فیزیکی و شیمیایی و طبقه بندی پروفیل های حفر شده

Table (1) Physical and chemical characteristics and classification of the excavated pedons

منطقه location	طبقه بندی Soil Taxonomy classification	Horizon	Depth	Texture	Structure	Clay%	Silt%	Sand%	EC(dSm <sup>-1</sup> )	OC %
نصیر آباد Nasir abad	Fine, mixed, superactive, thermic, Typic Haplocambids	Ap	0-25	Sil	sbk	12.6	61.6	25.8	4.54	1.21
		Bw	25-125	Sicl	m	43	44	13	3.83	0.46
		C	+125	L	m	19.2	39.8	41	2.54	0.22
تل مهتابی Tal- Mahtabi	Fine loamy, mixed, superactive, thermic, Typic Haplocalcids	Ap	0-25	Sil	MH	20.3	56.1	23.6	4.54	0.59
		Bk1	25-55	Sicl	HA	31.3	49.5	19.2	6.43	0.26
		Bk2	55-100	Sil	S	12.1	80.1	7.8	4.69	0.12
		Bw	+100	Sil	m	24.2	63.8	12	6.75	0.18
ده فاضل Deh- Fazel	Fine loamy, mixed, superactive, thermic, Typic Haplocalcids	Ap	0-25	Cl	MH	27.7	38.1	34.2	0.89	0.3
		Bk1	25-40	Cl	HA	28.6	48.8	22.6	2.99	0.16
		Bk2	40-105	L	S	16.2	43.8	40	1.31	0.08
		C	+105	Sil	m	10.2	54.2	35.6	1.76	0.06

جدول (۲) نتایج ارزیابی کیفی تناسب اراضی خاک برای دو محصول گندم و جو

Table (2) The results of qualitative evaluation of land suitability for wheat and barley

کلاس و شاخص اراضی Land Index and land evaluation n class	کلاس و شاخص اقلیم Climate index and class	روش Method	محصول (Crop)	کلاس و شاخص اراضی Land Index and land evaluation class	کلاس و شاخص اقلیم Climate index and class	روش Method	محصول (Crop)	منطقه (Location)
S1	S2	محدودیت ساده simple limitation	جو (Barley)	S1	S1	محدودیت ساده simple limitation	گندم (Wheat)	تل مهتابی Tal-mahtabi
68.18	74.46	روش پارامتریک parametric method		82.09	93.93	روش پارامتریک parametric method		
S1	S2	محدودیت ساده simple limitation	جو (Barley)	S1	S1	محدودیت ساده simple limitation	گندم (Wheat)	ده فاضل Deh-fazel
68.72	74.46	روش پارامتریک parametric method		81.05	93.47	روش پارامتریک parametric method		
S1	S2	محدودیت ساده simple limitation	جو (Barley)	S1	S1	محدودیت ساده simple limitation	گندم (Wheat)	نصیر آباد Nasir abad
66.86	74.46	روش پارامتریک parametric method		77.84	93.47	روش پارامتریک parametric method		

### ارزیابی کمی تناسب اراضی

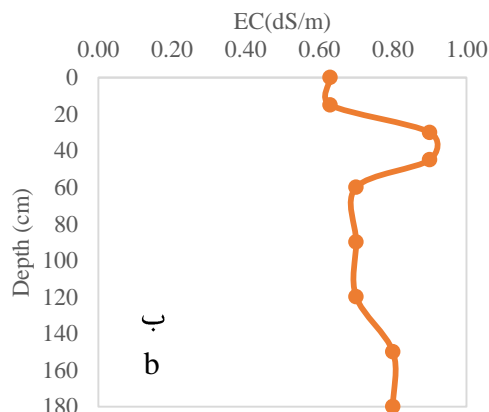
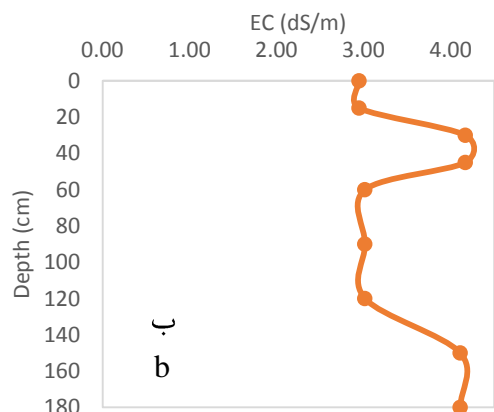
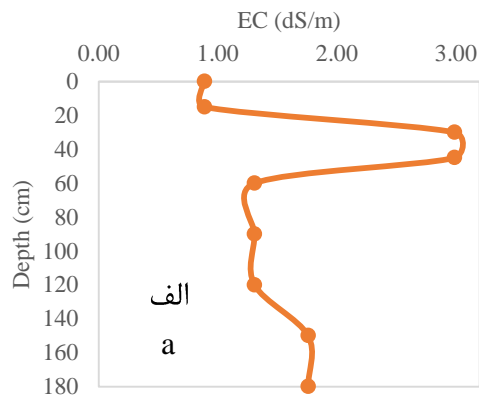
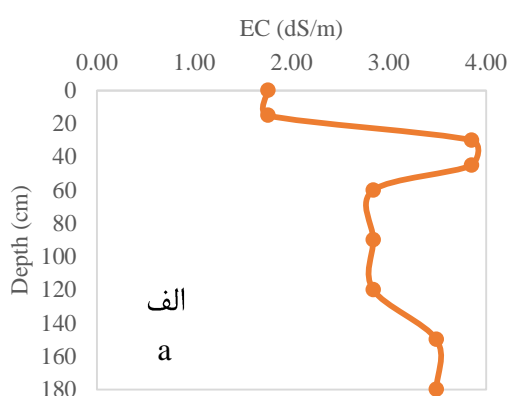
مقدار تولید پتانسیل با استفاده از معادلات فائو، برای گندم و جو، به ترتیب ۱۰۷۲۳ و ۸۶۷۷/۵ کیلوگرم دانه در هکتار به دست آمد. همچنین با توجه به مجموع هزینه‌ها و قیمت محصول تولید بحرانی به ترتیب برای گندم و جو ۱۱۶۷ و ۱۲۹۷/۶ کیلوگرم در هکتار محاسبه شد (۱۵، ۵). بنابراین طبق نتایج، مزرعه گندم تل مهتابی در کلاس S2، مزرعه جو در کلاس S1 و مزارع گندم و جو ده‌فاضل و نصیرآباد در کلاس S2 قرار گرفتند.

### تغییرات نمک در نیمرخ طولی خاک

روند تغییرات مقدار هدایت الکتریکی در نیمرخ خاک‌های مورد مطالعه در شکل‌های ۲ تا ۴ آورده شده است. با مقایسه شکل‌ها مشخص می‌گردد شوری خاک در منطقه ده‌فاضل از دو منطقه دیگر کم‌تر است و مقدار

هدایت الکتریکی خاک در هیچ یک از افق‌های خاک از ۳ دسی‌زیمنس بر متر تجاوز نکرده است (شکل ۲). در این خاک‌ها بیش‌ترین مقدار هدایت الکتریکی در عمق ۳۰ تا ۶۰ سانتی متری خاک مشاهده می‌شود که آن می‌تواند به دلیل وجود یک سخت‌لایه شخم در این عمق و کاهش هدایت هیدرولیکی خاک نسبت به افق‌های بالایی و پایینی خاک باشد.

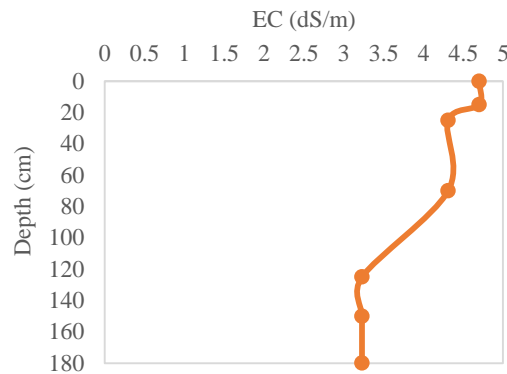
روند تغییرات نمک در نیمرخ طولی خاک در منطقه تل مهتابی (شکل ۳)، نشان می‌دهد شوری خاک در این منطقه از ده‌فاضل شورتر است. هدایت الکتریکی خاک بین ۳ تا ۷ دسی‌زیمنس بر متر متغیر در افق‌های مختلف خاک متغیر است. بیش‌ترین مقدار شوری خاک در این خاک‌ها نیز در عمق ۳۰ تا ۶۰ سانتی متری و همچنین در عمق بیش از ۱۵۰ سانتی متری خاک مشاهده می‌گردد.



شکل (۳) تغییرات شوری خاک در نیمرخ خاک در منطقه تل مهتابی در (الف) مزرعه گندم و (ب) جو  
**Figure (3) The variability of soil salinity along soil profile of Tal Mahtabi for a)wheat and b)barley**

شکل (۲) تغییرات شوری خاک در نیمرخ خاک در منطقه ده‌فاضل در (الف) مزرعه گندم و (ب) جو  
**Figure (2) The variability of soil salinity along soil profile of Deh-Fazel for a)wheat and b)barley**

سلمان پور و همکاران: مدل سازی تغییرات شوری خاک به منظور...



شکل (۴) تغییرات شوری خاک در نیمرخ طولی خاک در منطقه نصیرآباد

Figure (4) The variability of soil salinity along soil profile of Nasir abad

بالا بوده، اما حجم آب از منطقه ده فاضل بیش تر و تعداد دفعات آبیاری نیز رعایت شده است.

### اعتبارسنجی مدل

مقادیر پارامترهای آماری محاسبه شده در جدول ۵ آمده است. بر اساس مقدار  $RMSE$ ، مشاهده می شود تخمین مدل بسیار به مقادیر واقعی نزدیک بوده و مدل جابه جایی-انتشار توانایی خوبی در تخمین مقدار شوری در خاک های مورد مطالعه دارد. مقادیر  $EF$  در تمام مناطق نزدیک به یک است و نشان می دهد میانگین و واریانس مقادیر مشاهده شده و تخمین زده شده بسیار نزدیک به یکدیگرند. مقادیر  $CRM$  نیز نشان می دهد این مدل برای مزرعه جو در تل-مهتابی کم برآورد و برای بقیه مزارع بیش برآورد دارد.

### تناسب اراضی در شرایط آبی

مقادیر پیش بینی شده شوری به همراه تغییر شاخص زمین و کلاس تناسب زمین برای ۱۰ سال آینده در جدول ۶ آمده است. بر اساس مدل سازی مدل هایدروس، با فرض ثابت ماندن مقدار و شوری آب آبیاری و مقدار بارندگی در طول ۱۰ سال، مشاهده می شود تغییرات شوری خاک بسیار کند و بطئی است. روند شوری خاک ها با مطالعات سنجش از دور منطقه از سال ۱۳۷۴ تا ۱۳۹۳ نیز، مطابقت دارد (۳۰). بنابراین بر اساس نتایج به دست آمده از مدل سازی، کلاس تناسب اراضی ثابت مانده، ولی درجه تناسب آن در طول زمان تا حدی کاهش یافته است (جدول ۶) که این موضوع باعث می گردد کیفیت خاک در طول زمان، کاهش یابد.

هدایت الکتریکی آب آبیاری در این منطقه، حدود ۸ دسی زیمنس بر متر است. یکی از دلایل بالا بودن میزان هدایت الکتریکی آب و خاک در این منطقه احتمالاً به دلیل قرار داشتن این خاک ها در سری ۶،۴ که یک سری شور است (۱۷). در منطقه نصیرآباد (شکل ۴) برخلاف این که این خاک در یک سری غیر شور قرار دارد، هدایت الکتریکی آب آبیاری ۱۳/۱۶ دسی زیمنس بر متر بود.

روند تغییرات نمک در نیمرخ طولی خاک نشان می - دهد مقدار شوری خاک در سطح خاک از ۴/۵ دسی زیمنس بر متر به ۲/۵ دسی زیمنس بر متر در افق سوم کاهش پیدا کرده است. از این روند کاهشی مقدار نمک در خاک، می توان نتیجه گرفت که خاک در اثر آبیاری با آب شور، شور شده است.

### مدل سازی

پارامترهای معادله وانگنوختن و هم چنین ویژگی های شیمیایی آب آبیاری و مقدار آب، به ترتیب در جدول های ۳ و ۴ آمده است. این اطلاعات برای مدل سازی حرکت املاح در نرم افزار هایدروس استفاده گردید. بالاترین مقدار شوری آب آبیاری و هم چنین حجم آب در هر نوبت آبیاری مربوط به منطقه نصیرآباد است هر چند در این منطقه فقط ۴ نوبت آبیاری انجام گردیده است. در منطقه ده فاضل شوری آب و حجم آب آبیاری در هر نوبت کم ترین مقدار است؛ ولی تعداد دفعات آبیاری برای محصولات رعایت شده است. در منطقه تل مهتابی با وجود آن که شوری آب



جدول (۳) خصوصیات هیدرولیکی استفاده شده برای پروفیل‌های انتخابی برای نرم‌افزار RETC  
 Table (3) Hydraulic characteristics used for selected pedons in RETC software

منطقه location	Depth	EC	$\theta_r$	$\theta_s$	n	$\alpha$	Hydraulic Conductivity ( $\text{cm day}^{-1}$ )	%FC	%PWP
نصیرآباد Nasir abad	0-25	3.44	0.0001	0.373	1.375	0.021	32.64	20	7.3
	25-125	2.96	0.0001	0.355	1.395	0.012	30.2	28.7	12.1
	+125	2.26	0.0001	0.321	1.361	0.019	11.2	23.7	10.7
ده‌فاضل، تل‌مهتابی DehFazel, TalMahtabi	0-25	1.86	0.0001	0.285	1.5	0.03	37.02	20.2	9.9
	25-55	2.39	0.0001	0.246	1.5	0.03	41.22	17.9	8.8
	55-100	3.67	0.0001	0.268	1.5	0.03	71.22	19.1	10.3
	+100	3.12	0.0001	0.281	1.5	0.03	40.18	18.3	9.1

جدول (۴) ویژگی‌های آب آبیاری استفاده شده در مزارع مورد مطالعه

Table (4) The characteristics of applied irrigation water in the studied farms

مقدار نمک وارد شده توسط آب آبیاری Amount of salt entered with irrigation water ( $\text{kg m}^{-3}$ )	تعداد دفعات آبیاری Irrigation Frequency	حجم آب آبیاری در هر نوبت Water volume in each irrigation ( $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$ )	شوری آب آبیاری Irrigation water EC ( $\text{dSm}^{-1}$ )	مزرعه farm	منطقه location
0.13	7	352	8.1	گندم Wheat	تل‌مهتابی Tal Mahtabi
0.14	6	352	8.1	جو Barley	
0.04	7	300	2.2	گندم Wheat	ده‌فاضل DehFazel
0.04	6	300	2.2	جو Barley	
0.25	4	382	13.2	گندم و جو	نصیرآباد Nasir abad

۲۰۰۱ به مقدار ناچیزی افزایش نشان داد. ستین و همکاران (۸) گزارش کردند پس از دو فصل آبیاری با زه‌آب با شوری ۵ دسی‌زیمنس بر متر، شوری خاک‌های منطقه مدیترانه‌ای ترکیه کاهش یافته و مساحت خاک‌های با شوری کم‌تر از ۴ نیز، ۳۰ درصد کم شده بود؛ هرچند آیش باعث شد شوری به میزان ناچیزی افزایش یابد. آبیاری با زه‌آب ۳-۵ دسی‌زیمنس بر متر، میانگین شوری خاک‌های منطقه کینگز در غرب کالیفرنیا را نیز از ۱۳ دسی‌زیمنس بر متر به ۱۱/۴۳ دسی‌زیمنس بر متر کاهش داد (۱۰).

باید توجه داشت همیشه تغییر شوری خاک بر اثر آبیاری روند مشخصی ندارد و بسته به عواملی مانند شوری آب آبیاری و خاک، سایر ویژگی‌های خاک و زمین، مقدار آب آبیاری، زمان آبیاری و مقدار بارندگی می‌تواند روند افزایشی یا کاهشی داشته باشد؛ به عنوان نمونه دوایک<sup>۱</sup> و همکاران (۱۳) مشاهده کردند شوری در خاک‌های شرق مجارستان از سال ۱۹۹۴ تا ۲۰۰۱ در ماه‌های مختلف افزایش و یا کاهش داشت؛ اما میانگین شوری تا سال

1- Douaik et al.

سلمان پور و همکاران: مدل سازی تغییرات شوری خاک به منظور...

بررسی حرکت نمک در یک زمین ورزشی که برای بیش تر از ۴ سال با سیستم غرقابی با زه آب آبیاری می شد، مشاهده کردند در طول این مدت مقادیر شوری تغییرات زیادی نشان داد. ایشان این تغییرات را به اثرات بارندگی بر رطوبت خاک و حرکت املاح در ناحیه ریشه نسبت دادند.

چن و همکاران (۹) اظهار داشتند در مزارعی که با آب شوری متوسط (۳/۶۲ دسی زیمنس بر متر) و آب بسیار شور (۶/۷۱ دسی زیمنس بر متر) آبیاری شده بودند، مقدار شوری از سال ۲۰۰۴ تا ۲۰۰۶ به میزان ۳۳۸٪ و ۵۴۷٪، به ترتیب برای شوری های مختلف افزایش نشان داد. ایشان مشاهده کردند آبیاری غرقابی در پایان فصل رشد نسبت به افزایش مقدار آب در هر دور آبیاری بیشتر در کنترل شوری خاک تاثیر دارد. رحمان و همکاران (۲۷) با

جدول (۵) پارامترهای آماری برای مقادیر تخمین زده شده نسبت به مقادیر مشاهده شده شوری

Table (5) Statistical parameters for predicted vs. observed salinity				
CRM	EF	CD	RMSE	مزارع مورد مطالعه (Studied farmlands)
0.008	0.99	0.89	0.02	تل مهتابی - گندم (Tal Mahtabi-wheat)
-0.004	0.99	1.08	0.01	تل مهتابی - جو (Tal Mahtabi-Barley)
0.01	0.95	1.21	0.08	ده فاضل - گندم (DehFazel-Wheat)
0.001	0.99	0.99	0.02	ده فاضل - جو (DehFazel-Barley)
0.01	0.97	0.96	0.02	نصیر آباد (Nasir abad)



### نتیجه گیری

هایدروس نیز، نشان داد با فرض ثابت ماندن شرایط برای آب آبیاری و بارندگی در منطقه مورد مطالعه در مدت ۱۰ سال آینده، کلاس تناسب اراضی ثابت مانده ولی درجه تناسب آن در طول زمان به صورت کند و بطئی کاهش می یابد و کیفیت خاک رو به تخریب خواهد بود؛ بنابراین لزوم اعمال برنامه های مدیریتی در خصوص کنترل برداشت آب های زیرزمینی و نظارت بر مدیریت زراعی و کاربری اراضی و کنترل تغییرات شوری در خاک مشاهده می گردد.

نتایج تحقیق حاضر نشان داد کلاس تناسب اقلیم در منطقه نیریز با استفاده از روش محدودیت ساده برای گندم بسیار مناسب (S1) و برای جو در کلاس نسبتاً مناسب (S2)، به دلیل محدودیت در میانگین حداکثر دمای سردترین ماه سال، قرار گرفت. کلاس تناسب سرزمین با روش محدودیت ساده، برای هر دو محصول گندم و جو، در هر سه منطقه S1 بود. هم چنین با توجه به مقادیر تولید پتانسیل و بحرانی مزارع، کلاس تناسب کمی برای گندم و جو به ترتیب، S1 و S2 به دست آمد. مقادیر پیش بینی شده شوری با استفاده از نرم افزار

### منابع

1. Abbasi, F., and Tajik, F. 2007. Estimation of Soil Hydraulic and Solute Transport Parameters from Transient Field Experiments using Inverse Modeling. JWSS - Journal of Water and Soil Science (Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources), 11(1): 111-123.
2. Anonymous. 2001. Water measurement manual. United States Bureau of Reclamation. U.S. Government Printing Office, Washington, DC, 317 pages.
3. Anonymous. 2007. Fars statistical year book. Fars management and planning Organization. Office of the president management and planning organization. (In Persian).
4. Anonymous. 2014. Fars statistical year book. Fars management and planning Organization. Office of the president management and planning organization. (In Persian).
5. Ayoubi, sh., Jalalian A. 2006. Land evaluation (Agriculture and natural resources). Isfahan University of Technology publications. 394 pp.
6. Ayoubi, Sh. 1996. Quantitative and Qualitative land suitability evaluation of important crops of Barran district, Isfahan Province. MS. Thesis. Department of Soil Science. Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.
7. Bagherzadeh, A., and Daneshvar, M.R.M. 2014. Qualitative Land Suitability Evaluation for Wheat and Barley Crops in Khorasan-Razavi Province Northeast of Iran. Agricultural Research, 3: 155-164.
8. Cetin, M., and Kirda, C., 2003. Spatial and temporal changes of soil salinity in a cotton field irrigated with low-quality water. Journal of Hydrology, 272(1), pp.238-249.

9. Chen, W., Hou, Z., Wu, L., Liang, Y., and Wei, C. 2010. Evaluating salinity distribution in soil irrigated with saline water in arid regions of northwest China. *Agricultural Water Management*, 97: 2001-2008.
10. Corwin, D., Lesch, S., Oster, J., and Kaffka, S. 2006. Monitoring management-induced spatio-temporal changes in soil quality through soil sampling directed by apparent electrical conductivity. *Geoderma*, 131:369-387.
11. Diamantopoulos, E., Dercas, N., Soulis, K., Jellali, S., and Stefopoulou, A. 2011. Application of phosphate water and slime in agriculture: investigation of the mobility of the pollutants using hydrologic modeling. *Global Nest Journal*, 13: 130-140.
12. Dos Santos, D.R., Cambier, P., Mallmann, F.J.K., Labanowski, J., Lamy, I., Tessier, D., and van Oort, F. 2013. Prospective modeling with Hydrus-2D of 50 years Zn and Pb movements in low and moderately metal-contaminated agricultural soils. *Journal of Contaminant Hydrology*, 145:54-66.
13. Douaik, A., Van Meirvenne, M., and Tóth, T. 2005. Soil salinity mapping using spatio-temporal kriging and Bayesian maximum entropy with interval soft data. *Geoderma*, 128:234-248.
14. Eloubaidy, A., Hussain, S., and Al-Taie, M. 1993. Field evaluation of desalinization models. *Agricultural Water Management*, 24:1-13.
15. FAO. 1976. A Framework for Land Evaluation. *Soil Bulletin No. 32* FAO Rome 72 pp.
16. Givi, J. 1997. Qualitative Evaluation of lands for agricultural and horticultural crops. Soil and Water Institute. Technical Publications, No. 1015.
17. Hassanshahi, H., and Dastoor, J. 1995. Reconnaissance soil survey of Neyriz basin (Fars Province). Soil and Water Research Institute. No. 1033 on technical issues. (In Persian)
18. Jafarzadeh, A. and Abbasi, G. 2006. Qualitative land suitability evaluation for the growth of onion potato maize and alfalfa on soils of the Khalatpushan research station. *Biologia*, 61:S349-S352.
19. Maghami Moghim F., Karimi, A., Haghnia, G., and Dourandish A. 2013. Evaluation of land use and suitability for rainfed crops in Roin, north Khorasan. *Agroecology*, 5(2):143-152.
20. Mayer, D.G., and Butler, D.G. 1993. Statistical validation. *Ecological Modelling*, 68: 21-32.
21. Mguidiche, A., Provenzano, G., Douh, B., Khila, S., Rallo, G., and Boujelben, A. 2015. Assessing Hydrus-2D to Simulate Soil Water Content (SWC) and Salt Accumulation Under an SDI System: Application to a Potato Crop in a Semi-Arid Area of Central Tunisia. *Irrigation and Drainage*, 64:263-274.
22. Mirzaei, A.A., and Nazemi A.H. 2011. The simulation of salts movement in soil using HYDRUS-2D model. *Iranian of Irrigation and Water Engineering*, 1(3):59-70.

23. Mohammadi, A., PashaeiAval, A., Moshavati, S.A., and Sadeghi S. 2008. Qualitative land suitability evaluation for the main agronomic crops in Gonbad-e-kavous, northern Iran. *Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources*, 14(5):99-111.
24. Moradi, A. 2003. Modeling transport of Cd and Br and hydraulic. MS. Thesis. Department of Soil Science. Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.
25. Mousavi, S.R., Sarmadian F., Alijani Z., Taati A. 2017. and suitability evaluation for irrigating wheat by Geopedological approach and Geographic Information System: A case study of Qazvin plain, Iran. *Eurasian Journal of Soil Science*, 6 (3): 275 - 284
26. PakpourRabati, A., Jafarzadeh, A., Shahbazi, F., and Ammari, P. 2013. Assessment of Susceptible Land for Some Agricultural Crops in Some Regions of West Azerbaijan Province using Geographical Information System. *Water and Soil Science*. 23(1):165-176
27. Rahman, M., Hagare, D., Maheshwari, B., and Dillon, P. 2013. Modelling Salt Accumulation in an Oval Irrigated with Recycled Water. 20th International Congress on Modelling and Simulation (MODSIM2013). Modelling and Simulation. Adelaide. South Australia. 1-6 December. pp. 2730-2736.
28. Roberts, T., Lazarovitch, N., Warrick, A., and Thompson, T. 2009. Modeling salt accumulation with subsurface drip irrigation using HYDRUS-2D. *Soil Science Society of America Journal*, 73: 233-240.
29. Saifadeen, A., and Gladnyeva, R. 2013. Modeling of solute transport in the unsaturated zone using HYDRUS-1D. <http://lup.lub.lu.se/luur/download?func=downloadFile&recordOid=3051081&fileOid=3051086>
30. Salmanpour, A., Salehi, M.H., Mohammadi, J., and Naderi, M. 2016. Monitoring Soil salinity around Bakhtegan lake, Fars province, Iran, using Landsat data. *Journal of Soil Management and Sustainable Production*, 6(1):177-190.
31. Sarkar, A., Ghosh, A., and Banik, P. 2014. Multi-criteria land evaluation for suitability analysis of wheat: a case study of a watershed in eastern plateau region India. *Geo-spatial Information Science*, 17:119-128.
32. Sarmadian, F., Moravvej, K., Mahmoodi, SH., and Ebrahimi-Khomami, S.M.R. 2003. An Investigation of Land Suitability Evaluation for Irrigated Crop, Using Remote Sensing and Geographical Information System Techniques in Parts of Varamin Plain. *Iranian Journal of Agricultural Sciences*, 34(4): 899-912.
33. Schoeneberger, P.J., Wysocki, D.A., Benham E.C. and Soil Survey Staff. 2012. Field book for describing and sampling soils. Version 3.0. Natural Resources Observation Service. National Soil Survey Center. Lincoln. NE. 300p.
34. Semiromi Taei, J., Ghanbari, A., Amiri, E., Ghaffari, A., Siahsar, B., and Ayoubi, Sh. 2013. Agroecological Zoning of Wheat in the Borujen Watershed: Rianfed and Irrigated Wheat Cropping System Evaluation. *Sustainable Agriculture and Production science*, 22(4): 1-12.

35. Servati, M., Jafarzadeh A., Ghorbani, M., Shahbazi, F., and Davatghar, N. 2014. Land Suitability Evaluation for Alfalfa in Khajeh Region Using the Parametric Square Root method and Fuzzy Set Theory. *Water and Soil Science*, 24(2):93-105
36. Soil Survey Staff. 2014. *Keys to Soil Taxonomy* (12th ed.). USDA. Washington D.C. 346p.
37. Taati A. and Sarmadian F. 2015. Qualitative Land Suitability Evaluation for Maize (*Zea mais L.*) in Abyek Iran Using FAO Method. *Global Journal of Research and Review*, 2: 37-44.
38. Taati, A., and Sarmadian, F. 2015. Qualitative Land Suitability Evaluation for Maize (*Zeamais L.*) in Abyek Iran Using FAO Method. *Global Journal of Research and Review*, 2:37-44.
39. Vaziri, Zh. 1995. Evaluation of soil desalinization models applying field experiments. MS. Department of Water engineering. MS. Thesis. Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.
40. Ziaei Javid A. and Goychaili S. 2014. Qualitative land suitability classification for major crop products in Tabriz Plain eastern Azerbaijan Province Iran. *International Journal of Agriculture and Crop Sciences*, 7: 620.