

## مدل‌سازی شوری خاک شبکه آبیاری و زهکشی گتوند-عقیلی با استفاده از تصویر ماهواره

### لندست ۸ و رگرسیون‌های OLS و Ridge

حسین رحمتی<sup>۱</sup>، سعید پرومندنسب<sup>۲\*</sup>، زهرا ایزدپناه<sup>۳</sup>، محمد الباجی<sup>۴</sup>

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۸/۹ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۱۰/۱

#### چکیده

شور شدن خاک یکی از اساسی‌ترین مشکلات بخش کشاورزی و یکی از اصلی‌ترین دلایل کاهش عملکرد محصولات کشاورزی محسوب می‌شود. در این مطالعه با استفاده از تصویر ماهواره لندست ۸ و اطلاعات ۱۲۱ نمونه خاک برداشت شده از سطح شبکه و همچنین به‌کارگیری شاخص‌های شوری و رگرسیون‌های خطی چندگانه (با تخمین گر OLS) و ريج، شوری خاک سطحی شبکه آبیاری و زهکشی گتوند-عقیلی مدل‌سازی و نقشه شوری خاک رسم شد. نتایج نشان داد بین باندهای سنسور OLI ماهواره لندست ۸ و هدایت الکتریکی نمونه‌های خاک همبستگی معنی‌دار وجود دارد و بالاترین همبستگی مربوط به باند قرمز است. همچنین بین شاخص‌های شوری و هدایت الکتریکی نمونه‌ها نیز همبستگی معنی‌دار شناسایی شد. نتایج به‌دست آمده از مدل رگرسیونی OLS حاکی از توانایی این مدل در آشکارسازی ۴۸٪ از تغییرات شوری خاک شبکه است، اما با توجه به شاخص عامل تورم واریانس مشخص شد که متغیرهای مستقل مدل OLS دارای هم‌خطی هستند. در مقابل نتایج رگرسیون ريج نشان داد که این روش توانایی بالایی در حذف هم‌خطی متغیرهای مستقل دارد. با رسم نقشه‌های دو مدل رگرسیونی OLS و ريج میانگین شوری خاک شبکه به ترتیب ۵/۸ و ۴/۵ دسی‌زیمنس بر متر برآورد گردید. همچنین براساس مدل رگرسیونی ريج به ترتیب ۳۳٪ و ۱۵٪ از مساحت شبکه در کلاس‌های تقریباً شور و شور قرار گرفتند. علاوه بر این طبق نقشه شوری مدل رگرسیونی OLS، ۶٪ از مساحت شبکه در کلاس کاملاً شور قرار گرفت.

**واژه‌های کلیدی:** شاخص شوری، عامل تورم واریانس، کلاس‌های شوری خاک، هم‌خطی

#### مقدمه

دو طریق گسترش سطح زیر کشت و افزایش تولید در هر هکتار به‌دست آید (Singh, 2012). منابع آب شیرین موجود به طور چشم‌گیری در چند دهه گذشته با کاهش کمیت و کیفیت همراه بوده است (Silber et al., 2014). استفاده از آب شور برای آبیاری مزارع ممکن است از طریق افزایش فشار اسمزی محلول خاک باعث کاهش تعرق و در نهایت کاهش عملکرد گیاهان شود (Silber et al., 2014). افزایش شوری خاک علاوه بر کاهش عملکرد گیاهان زراعی تهدیدی برای محیط زیست، اقتصاد و امنیت غذایی محسوب می‌شود (SONG et al., 2016). حفظ حاصلخیزی اراضی کشاورزی فاریاب در مناطق خشک و نیمه‌خشک نیازمند شیوه‌هایی مدیریتی نوینی است که بتواند از تجمع املاح مضر و شور شدن خاک جلوگیری نماید (Skaggs et al., 2014). برای جلوگیری از شور شدن خاک و همچنین مدیریت مناسب خاک‌های شور، اطلاع از میزان شوری خاک، توزیع مکانی آن و همچنین تهیه نقشه‌های توزیعی مکانی شوری خاک فرآیندی ضروری و مهم است. (SONG et al., 2016). اطلاعات ماهواره‌ای ابزار مناسبی برای پایش شوری خاک در ابعاد

توسعه کشاورزی فاریاب به‌منظور تأمین غذای جمعیت رو به رشد جهان امری ضروری است. تخمین زده می‌شود که در سال ۲۰۵۰، جمعیت جهان تقریباً ۹ الی ۱۰ میلیارد نفر شود (Singh, 2018). براساس پیش‌بینی‌های صورت گرفته کشور ایران در سال ۲۰۵۰ به ۱۲۰ میلیون تن محصولات کشاورزی نیاز خواهد داشت (سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ۱۳۹۴). این افزایش می‌تواند از

- ۱ - دانشجو دکتری آبیاری و زهکشی، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز
  - ۲ - استاد گروه آبیاری و زهکشی، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز
  - ۳ - استادیار گروه آبیاری و زهکشی، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز
  - ۴ - استادیار گروه آبیاری و زهکشی، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز
- (\*) - نویسنده مسئول: (Email: boroomandsaeed@yahoo.com)

دارای دقت کافی نبوده ولی روش رگرسیون خطی چندگانه توانسته بود حدوداً ۷۹٪ از تغییرات شوری خاک منطقه را تبیین نماید (Azabdaftari and Sunar, 2016). آید و همکاران با به‌کارگیری اطلاعات تصویر ماهواره IKONOS و شاخص شوری و روش رگرسیون خطی چندگانه، شوری خاک سطحی منطقه‌ای در عربستان را شبیه‌سازی کردند. آن‌ها در مطالعه خود ۱۰ مدل رگرسیونی توسعه دادند و بهترین مدل دارای ضریب تعیین ۰/۶۵ شناسایی شد (Allbed et al., 2014).

در مطالعات انجام شده تا به امروز روش‌های متفاوتی برای بررسی ارتباط بین اطلاعات ماهواره، شاخص‌های طیفی و هدایت الکتریکی خاک به کار رفته است. فن و همکاران از روش PLSR<sup>۲</sup>، عذابفتاری و سونار از روش‌های رگرسیون خطی ساده و رگرسیون خطی چندگانه، گرجی و همکاران از رگرسیون نمایی و ورمئولن و ون نیکرک از روابطی همچون خطی، لگاریتمی، اسپیلاین درجه دوم، اسپیلاین درجه سوم و نمایی، محمودیان و همکاران از سه روش رگرسیون خطی چندگانه، شبکه عصبی مصنوعی و برنامه‌ریزی بیان ژن استفاده کردند (Azabdaftari and Sunar, 2016; Fan et al., 2015; Gorji et al., 2017; Mahmoudabadi et al., 2017; Vermeulen and van Niekerk, 2016).

همان‌طور که اشاره شده یکی از روش‌هایی که به‌صورت عمده در مدل‌سازی شوری خاک استفاده شده است؛ روش رگرسیون خطی چندگانه است. از جمله روش‌های متداول تخمین پارامترهای مدل رگرسیونی، روش حداقل مربعات معمولی (OLS) است که با توجه به تمامی کاربردها و توانایی‌ها با محدودیت‌ها و مشکلاتی نیز مواجه است (جعفری و همکاران، ۱۳۹۴). بعضی از محدودیت‌های روش رگرسیون خطی با تخمین گر OLS عبارتند از وجود داده‌های پرت، نرمال نبودن باقی‌مانده‌ها و هم‌خطی متغیرهای مستقل است. اما در بین محدودیت‌های نام برده، مشکلی که در حد بسیار گسترده مدل رگرسیونی را با محدودیت مواجه می‌کند، وجود هم‌خطی<sup>۳</sup> بین متغیرهای مستقل رگرسیون است. این خطا زمانی رخ می‌دهد که بین چند متغیر مستقل، همبستگی خطی قوی وجود دارد و باعث از دست رفتن پایداری و اثربخشی رگرسیون خطی چندگانه می‌شود (Kutner et al., 2005). برای حل این مشکل شاید تصور شود که حذف و یا اضافه کردن یک متغیر مستقل می‌تواند مفید واقع شود ولی در واقع کار بسیار مشکلی است که یک پارامتر مستقل حاوی اطلاعات مفید را از رگرسیون خطی چندگانه حذف کرد (Li et al., 2010). وجود هم‌خطی توأم، توانایی برآورد دقیق ضرایب رگرسیون را با مشکل مواجه می‌کند. در شرایط وجود هم‌خطی توأم تفسیر ضرایب رگرسیون دارای صحت نخواهند بود. یکی از بزرگ‌ترین مشکلاتی که هم‌خطی

وسیع و در مقیاس‌های زمانی متفاوت فراهم کرده است (Zhang et al., 2015). در سال‌های اخیر مطالعاتی زیادی در زمینه تخمین شوری خاک با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای در ایران و خارج از کشور انجام شده است؛ که در ادامه به برخی از این مطالعات اشاره می‌گردد. نوری و همکاران (۱۳۹۵) به بررسی تغییرات مکانی و زمانی شوری خاک سطحی شبکه آبیاری و زهکشی گرمسار در بازه زمانی ۱۹۸۶ تا ۲۰۱۳ پرداختند. آن‌ها در مطالعه خود از ۵ شاخص شوری استفاده کرده و با استفاده از آزمون ناپارامتریک من-کندال تغییرات زمانی شوری، نسبت مساحت اراضی سه طبقه با شوری کم، متوسط و زیاد در انتهای کشت پاییزه و بهار را مورد بررسی قرار دادند. نتایج مطالعه آن‌ها نشان داد که در انتهای کشت پاییزه مساحت اراضی با شوری کم، متوسط و زیاد به ترتیب دارای روند کاهشی، افزایشی و صعودی بوده است. محمودی و همکاران (۱۳۹۴) به ارزیابی قابلیت داده‌های ماهواره لندست در برآورد شوری خاک سطحی منطقه ورزنه واقع در جنوب شرقی اصفهان پرداختند. آن‌ها در مطالعه خود ۵۳ نمونه خاک تهیه کرده و از شاخص‌های طیفی از قبیل باندهای ماهواره، شاخص‌های شوری و همچنین مؤلفه‌های اصلی نیز استفاده کردند. در این مطالعه از روش‌های رگرسیون خطی چندگانه و طبقه‌بندی نظارت شده برای مدل‌سازی شوری خاک استفاده شد. نتایج مطالعه آن‌ها نشان داد که باند چهارم ماهواره TM با ضریب تعیین ۰/۴۸ دارای بیشترین همبستگی با شوری خاک بوده است. نوروزی و همکاران برای برآورد شوری خاک شبکه آبیاری و زهکشی گرمسار از ۲۷ متغیر به‌دست آمده از ماهواره لندست ۷ استفاده کردند. در این مطالعه با استفاده از روش تحلیل عاملی و شاخص شباهت، متغیرها به سه دسته تقسیم شدند و سپس با توجه به ضریب همبستگی دو مدل برای پیش‌بینی شوری و تهیه نقشه هدایت الکتریکی خاک سطحی شبکه تولید شد (Noroozi et al., 2012). سونگ و همکاران با استفاده از تصاویر ماهواره TM و روش GAM<sup>۴</sup> و همچنین نقشه رقوم ارتفاعی، شوری خاک منطقه رود زرد چین را تخمین زده و به بررسی تأثیر پوشش گیاهی بر تخمین شوری خاک پرداختند (SONG et al., 2016). ال‌حارثی و همکاران برای بررسی تغییرات شوری خاک دشت تادلا در مرکز مراکش از تصاویر ماهواره‌های لندست ۷ و ۸ استفاده کردند. آن‌ها همچنین یک شاخص شوری جدید متناسب با منطقه خود ارائه دادند. ضریب تعیین مدل‌های رگرسیونی توسعه یافته بین ۰/۵۵ تا ۰/۷۷ گزارش گردید (El Harti et al., 2016). اذابفتاری و سونار برای مدل‌سازی شوری خاک دشت سیهان در ترکیه از اطلاعات ماهواره لندست ۷، نمونه‌های برداشت شده در دو سال ۲۰۰۹ و ۲۰۱۰ و همچنین دو روش رگرسیون ساده و خطی چندگانه استفاده کردند. نتایج این مطالعه نشان داد که روش رگرسیون ساده

2 - Partial Least Square Regression  
3 - Multi-Collinearity

1 - Generalized Additive Model

## مواد و روش‌ها

### منطقه مورد مطالعه

شبکه آبیاری و زهکشی گتوند-عقیلی در شمال شهرستان شوشتر واقع شده است و از شمال به ارتفاعات گتوند، از جنوب به دشت شعیبیه و از مشرق به تپه ماهورهای عقیلی محدود می‌گردد. این شبکه مساحتی حدود ۱۴۷۸۰ هکتار دارد که در سال ۱۳۵۳ بهره‌برداری شده است. این شبکه از دو شبکه گتوند (در غرب رودخانه کارون) و عقیلی (در شرق رودخانه کارون) تشکیل شده است که هر کدام از این دو شبکه به ترتیب دارای ۶۰ و ۶۶ واحد آبیاری هستند (شکل ۱).

### نمونه‌برداری خاک و تصویر ماهواره

برای تعیین نقاط نمونه‌برداری ابتدا شبکه‌ای با ابعاد ۱۰۰۰ در ۱۰۰۰ متر تهیه شد و سپس تعداد ۱۲۱ نمونه خاک به صورت تصادفی از خاک سطحی شبکه در تابستان سال ۱۳۹۵ تهیه شد. در مرحله بعد نمونه‌ها هوا خشک و پس از کوبیدن کلوخه‌ها، الک شدند. برای تعیین هدایت الکتریکی نمونه‌ها، گل اشباع تهیه و پس از ۲۴ ساعت، با استفاده از دستگاه پمپ مکش، عصاره گل اشباع استخراج و در نهایت با استفاده از دستگاه شوری‌سنج، مقدار هدایت الکتریکی تعیین شد. در این پژوهش از تصویر ماهواره لندست ۸ با شماره ردیف ۳۸ و مسیر ۱۶۵ در تاریخ ۲۰۱۶/۱۳/۰۷ استفاده شد. ماهواره لندست شامل دو سنسور OLI و TIRS است. این دو سنسور به ترتیب شامل ۹ و ۲ باند طیفی هستند (Barsi et al., 2014). در مطالعات مربوط به شوری خاک معمولاً از اطلاعات سنسور OLI استفاده شده است. در این پژوهش از باندهای ۲ الی ۷ تصویر ماهواره لندست ۸ استفاده شد. لازم به ذکر است که تصحیحات رادیومتریک و اتمسفریک بر روی تصویر اعمال گردید.

### شاخص‌های شوری

شاخص‌ها معمولاً با ترکیب دو یا چند باند طیفی طراحی می‌شوند و ابزاری قدرتمند در شناسایی ویژگی‌های مورد نظر محسوب می‌شوند. شاخص‌های زیادی با کاربردهای مختلف برای ارزیابی پوشش‌های گیاهی، خاک و همچنین شناسایی تغییرات کاربری اراضی توسعه یافته‌اند (Khan et al., 2005). شاخص‌های شوری استفاده شده در این پژوهش در جدول ۱ معرفی شده است.

### رگرسیون خطی چندگانه با تخمین گر OLS<sup>۲</sup>

به صورت کلی یک رگرسیون خطی چندگانه فرمی به صورت رابطه ۱ دارد (Li et al., 2010):

متغیرهای مستقل برای رگرسیون خطی با تخمین گر OLS ایجاد می‌کند، تولید ضریب تعیین بالا ولی کاذب برای مدل است (Chokmani et al., 2008).

باند‌های تصاویر ماهواره معمولاً با یکدیگر دارای همبستگی بالایی هستند و در مطالعات گذشته گزارش شده است (Yu et al., 2018). شاخص‌های طیفی نیز براساس باندها محاسبه می‌شوند و در نهایت بین باند‌های تصاویر و همچنین شاخص‌های طیفی، همبستگی خطی بالایی وجود دارد که اگر به عنوان متغیرهای مستقل یک مدل رگرسیونی خطی استفاده شوند، احتمال رخ دادن مشکل هم‌خطی بسیار بالا خواهد بود. در برخی از مطالعات مربوط به مدل‌سازی شوری خاک با استفاده از تصاویر ماهواره برای غلبه بر مشکل هم‌خطی متغیرهای مستقل از روش PLSR استفاده شده است (Yu et al., 2018).

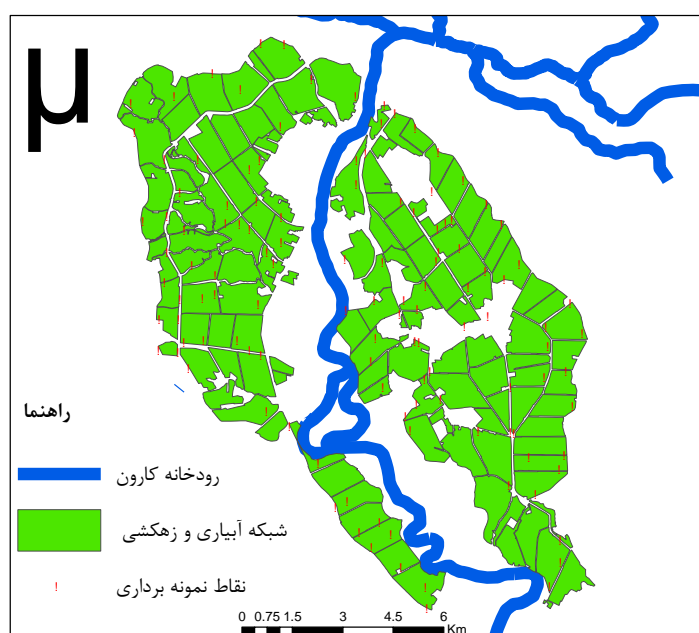
اما یکی از روش‌هایی که کمتر در مدل‌سازی شوری خاک استفاده شده است و دارای قابلیت بالایی در حذف هم‌خطی متغیرهای مستقل است، رگرسیون ریح<sup>۱</sup> نام دارد. تکنیک رگرسیون ریح جایگزینی مناسب برای غلبه به هم‌خطی پارامترهای مستقل یک رگرسیون خطی چندگانه فراهم می‌آورد؛ بدون آنکه از تعداد متغیر مستقل کم یا زیاد شود (Hoerl and Kennard, 1970). روش رگرسیون ریح با موفقیت در تحقیقاتی پیرامون مسائل بیولوژی (Goeman, 2008)، علوم زیست‌محیطی (Hessami et al., 2008) و هیدرولوژی (Chokmani et al., 2008) استفاده شده است. لی و همکاران سیستمی با دو سری داده متفاوت برای مقایسه دو روش رگرسیون خطی ساده و رگرسیون خطی ریح ارائه دادند. نتایج مطالعه آن‌ها نشان داد که در داده‌های دارای هم‌خطی توأم، نتایج رگرسیون ریح نسبت به رگرسیون با تخمین گر OLS دارای دقت و اطمینان بالاتری است (Li et al., 2010). جعفری و همکاران با استفاده از رگرسیون ریح و اطلاعات پایه، میزان تبخیر از تشت را شبیه‌سازی کردند (جعفری و همکاران، ۱۳۹۴).

با توجه به موارد ذکر شده مشاهده می‌شود که در مدل‌سازی شوری خاک با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای کمتر به بحث هم‌خطی متغیرها در مدل‌های رگرسیونی توجه شده است. همچنین با در نظر گرفتن اهمیت برآورد شوری خاک در شبکه آبیاری و زهکشی گتوند-عقیلی که حدود چهار دهه از بهره‌برداری آن می‌گذرد و در سال‌های اخیر آب ورودی به شبکه متأثر از سد گتوند-علیا بوده است؛ از این رو هدف مطالعه حاضر مدل‌سازی و تهیه نقشه شوری خاک سطحی شبکه آبیاری و زهکشی گتوند-عقیلی با استفاده از رگرسیون‌های OLS و ریح و رفع مشکل هم‌خطی پارامترهای مستقل مدل رگرسیونی است.

رگرسیون،  $\beta_0$ : عرض از مبدأ و  $e$ : جزء خطا است که از توزیع نرمال تبعیت می‌کند (Li et al., 2010).

$$Y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_p x_p + e \quad (1)$$

که در رابطه ۱  $Y$ : متغیر وابسته،  $\beta_i = 1, 2, \dots, p$  ضرایب



شکل ۱- نقشه شبکه آبیاری و زهکشی گتوند-عقیلی و موقعیت نقاط نمونه برداری

جدول ۱- مشخصات شاخص‌های شوری به کار رفته در این پژوهش

مرجع	فرمول	شاخص شوری
(Douaoui et al., 2006)	$\sqrt{B3 \times B4}$	SI1
(Douaoui et al., 2006)	$\sqrt{(B3)^2 + (B4)^2 + (B5)^2}$	SI2
(Douaoui et al., 2006)	$\sqrt{(B3)^2 + (B4)^2}$	SI3
(Dehni and Lounis, 2012)	$\sqrt{(B4)^2 + (B5)^2}$	BI
(Khan and Abbas, 2007)	$\frac{B2}{B4}$	S1
(Khan and Abbas, 2007)	$\frac{B3 \times B4}{B2}$	S3

B2, B3, B4 و B5 به ترتیب بیانگر باند آبی، سبز، قرمز و NIR ماهواره لندست ۸ هستند.

می‌شوند.

$$\beta(k) = (X'X + kI_n)^{-1} X'y, \quad k > 0 \quad (5)$$

در رابطه ۵  $I_n$ : ماتریس واحد با ابعاد  $P \times P$ ،  $\hat{\beta}(k)$ : برآوردکننده تیغه‌ای یا همان ضرایب رگرسیون ریب و  $k$ : مقادیر بهینه ضرایب رگرسیون ریب هستند (جعفری و همکاران، ۱۳۹۴). همان‌طور که بیان شد، هم‌خطی منجر به تولید واریانس‌های بزرگ، از تخمین‌های OLS می‌شود. در رگرسیون ریب پارامتر  $k$  باعث کاهش واریانس ضرایب می‌شود (Li et al., 2010). به‌طور کلی برای هر مسئله یک  $k$  بهینه وجود دارد، که ساده‌ترین روش برای یافتن آن حل رابطه ۵ به ازای چند مقدار  $k$  واقع در فاصله ۰ تا ۱ است. این نمودار، مسیر تیغه‌ای نام دارد و براساس این نمودار، مقدار  $k$  به گونه‌ای انتخاب می‌شود که پارامتر  $\hat{\beta}(k)$  به پایداری رسیده باشد. به‌عبارت دیگر، مقدار ضرایب با افزایش  $k$ ، تغییری نکنند (جعفری و همکاران، ۱۳۹۴).  $\hat{\beta}(k)$ : در رابطه ۵ از حداقل‌سازی ترکیب نر بردار  $\beta$  و مجموع مربعات خطا به‌دست می‌آید (Li et al., 2010).

$$\min (y - X\beta)'(y - X\beta) + k\beta'\beta \quad (6)$$

نرم  $\hat{\beta}$  عبارت است از طول بردار  $\beta$  در فضای برداری. هدف از اضافه کردن جزء نرم به مجموع مربعات خطا محدود کردن  $\beta$  به یک مرز مشخص است (Li et al., 2010). فرم ریاضی واریانس ضرایب رگرسیون ریب به‌صورت رابطه (۷) نوشته می‌شود (Li et al., 2010):

$$\text{Var}(\hat{\beta}) = \text{Trace} \left[ \sigma^2 (X'X + kI_p)^{-1} (X'X) (X'X + kI_p)^{-1} \right] \\ = \sigma^2 \sum_{i=1}^p \frac{\lambda_i}{(\lambda_i + k)^2} \quad (7)$$

رابطه ۷ نشان می‌دهد که با افزایش مقدار  $k$  واریانس کاهش می‌یابد. از طرف دیگر همان‌طور که در رابطه ۸ نشان داده می‌شود، مقدار بزرگ‌تر برای  $k$  باعث بایاس بیشتر ضرایب می‌شود (Li et al., 2010).

رابطه ۸ بیان می‌کند که میانگین مربعات خطا ضرایب رگرسیون ریب توسط بایاس‌ها و واریانس برآورد می‌شود:

$$\text{MSE}[\hat{\beta}(k)]_{\text{RR}} = \text{Bias}[\hat{\beta}(k)]^2 + \text{Var}[\hat{\beta}(k)] = \\ k^2 \beta' (X'X + kI_p)^{-2} \beta + \sigma^2 \sum_{i=1}^p \frac{\lambda_i}{(\lambda_i + k)^2} \quad (8)$$

مشابه با میانگین مربعات خطا ضرایب رگرسیون ریب که در رابطه ۸ محاسبه می‌شود، میانگین مربعات خطا OLS نیز از طریق رابطه ۹ به‌دست می‌آید (Li et al., 2010):

تخمین حداقل مربعات  $\beta$  با استفاده از رابطه ۲ انجام می‌شود:

$$\beta = (X'X)^{-1} (X'Y) \quad (2)$$

که در رابطه ۲  $X'$  ترانهاده  $X$  است. برای محاسبه معکوس ماتریس  $(X'X)$  لازم است که دترمینان عبارت فوق صفر نگردد (جعفری و همکاران، ۱۳۹۴).

### هم‌خطی

هم‌خطی یک پدیده آماری است که در آن، دو یا چند متغیر مستقل یک رگرسیون چندگانه دارای همبستگی خطی بسیار قوی هستند. هنگامی که متغیرهای مستقل دارای همبستگی شدید هستند روش OLS ناپایدار یا حتی با خطاهایی همراه است. دلیل به‌وجود آمدن خطا این است که روش OLS شامل معکوس ماتریس  $XX$  است (Li et al., 2010). برای بررسی و تعیین شدت هم‌خطی، چندین شاخص پیشنهاد شده است. این شاخص‌ها به دو گروه تقسیم می‌شوند. شاخص‌هایی که تنها براساس متغیرهای مستقل عمل می‌کنند (مانند عامل تورم واریانس یا VIF) و شاخص‌هایی که براساس متغیرهای مستقل و وابسته هستند (مانند فواصل اطمینان) (Li et al., 2010). از آنجایی که شاخص VIF براساس خطای پیش‌بینی محاسبه می‌شود؛ به همین دلیل استفاده از این شاخص در بین پژوهشگران محبوب است. از طرف دیگر این شاخص برای انتخاب پارامترهای رگرسیون ریب مناسب است (Li et al., 2010).

$$\text{VIF}(b_j) = \frac{1}{(1 - R_j^2)} \quad (3)$$

$$R_j^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (\hat{x}_{ij} - \bar{x}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (x_{ij} - \bar{x}_i)^2} \quad (4)$$

شاخص عامل تورم واریانس نشان می‌دهد که به دلیل وجود هم‌خطی، واریانس ضریب رگرسیون افزایش می‌یابد.

در روابط ۳ و ۴  $R_j^2$ : ضریب تعیین رگرسیون خطی چندگانه با در نظر گرفتن  $x$  به‌عنوان متغیر وابسته و  $p-1$  متغیر دیگر به‌عنوان متغیرهای مستقل. به تعداد متغیرهای مستقل، ضریب VIF محاسبه می‌شود و در حقیقت ضرایب توام واریانس‌ها، عناصر قطر اصلی معکوس ماتریس همبستگی هستند. اگر ضریب تورم واریانس متغیری بیشتر از ۱۰ شود، آن متغیر باعث هم‌خطی توام خواهد شد (جعفری و همکاران، ۱۳۹۴).

### رگرسیون ریب

پارامترهای رگرسیون ریب با استفاده از رابطه ۵ تخمین زده

دارای بازتاب بیشتری است و این قابلیت برای شناسایی خاک‌های شور مفید است (Khan and Abbas, 2007). مدرنیچ و زینک نشان دادند که نمک در محدوده طیف مرئی به ویژه محدوده آبی دارای بازتاب بالایی است (Metternicht and Zinck, 1997). دووایی و همکاران در پژوهش خود بیان داشتند که محدوده طیف مرئی تصاویر ماهواره همبستگی مناسبی با هدایت الکتریکی خاک از خود نشان داده است (Douaoui et al., 2006). ثنایی‌نژاد و همکاران (۱۳۹۰) بین هدایت الکتریکی خاک در منطقه نیشابور و باندهای ماهواره لندست ۷، همبستگی بین ۰/۳۹ تا ۰/۵۰ گزارش کردند و نشان دادند که بالاترین ضریب همبستگی مربوط به باند ۴ ماهواره لندست ۷ بوده است. در مطالعه محمودی و همکاران (۱۳۹۴) مقدار ضریب همبستگی بین باندهای ماهواره و هدایت الکتریکی نمونه‌ها از ۰/۲۳ تا ۰/۴۸ متغیر بود. براساس نتایج ارائه شده در جدول ۲ و همچنین بررسی مطالعات گذشته می‌توان نتیجه گرفت که محدوده مرئی تصویر ماهواره لندست نتایج قابل قبولی در شناسایی شوری خاک از خود نشان داده است. اما به‌طور کلی ویژگی‌های طیفی خاک تحت تأثیر عواملی همچون رطوبت، درصد مواد آلی، بافت خاک، املاح خاک، کانی‌های خاک، ساختمان خاک، رنگ، زبری سطح و میزان مواد آلی است؛ لذا تغییرپذیری این موارد در نمونه‌های خاک باعث عدم دستیابی به همبستگی بالا بین بازتاب طیفی و میزان هدایت الکتریکی نمونه‌ها می‌شود (علوی‌پناه، ۱۳۸۲).

در جدول ۲ میزان همبستگی بین شاخص‌های شوری و هدایت الکتریکی نمونه‌های خاک برداشت شده از شبکه نیز ارائه شده است. نتایج ارائه شده نشان می‌دهد که تمامی شاخص‌ها در سطح ۰/۰۱ با هدایت الکتریکی همبستگی معنی‌دار دارند. شاخص‌های شوری S3 و S1 به ترتیب بیشترین و کمترین میزان همبستگی را داشته‌اند. محققان بسیار زیادی در داخل و خارج از کشور در پژوهش‌های خود از شاخص‌های شوری برای شناسایی شوری و مدل‌سازی شوری خاک استفاده کرده‌اند. نتایج شاخص‌های BI، SII، در شناسایی تغییرات هدایت الکتریکی خاک در این پژوهش با نتایج مطالعات ال‌حارتی و همکاران و دینگ و یو مشابه است. ال‌حارتی و همکاران از شاخص SII در شناسایی شوری خاک در کشور مراکش استفاده کرده و نشان دادند که این شاخص قادر به شناسایی ۴۸ تا ۶۲ درصد از تغییرات شوری خاک است (El Harti et al., 2016). دینگ و یو شاخص‌های شوری BI، SII و NDSI را برای مدل‌سازی شوری خاک به کار برده و توسط این شاخص‌های حدود ۳۰ الی ۴۰ درصد از تغییرات شوری تخمین زده شد (Ding and Yu, 2014). نتایج مطالعات گذشته نشان می‌دهد که شاخص‌ها از توانایی بسیار مناسبی در شناسایی شوری خاک برخوردار بوده و همان‌طور که عذابفتاری و سونار در مطالعه خود اشاره کردند، استفاده از شاخص‌های شوری نسبت به باندها دارای ارجحیت است (Azabdaftari and Sunar, 2016).

$$\text{MSE}[\beta]_{\text{OLS}} = \text{Bias}[\beta]^2 + \text{Var}[\beta] = \sigma^2 \sum_{i=1}^p \frac{1}{\lambda_i} \quad (9)$$

هورل و کینارد نشان دادند که همیشه مقادیری از  $k$  وجود دارد که میانگین خطا ضرایب رگرسیون ریبج کمتر از میانگین خطای ضرایب رگرسیون OLS است (Hoerl and Kennard, 1970).

### معیارهای ارزیابی عملکرد مدل‌های رگرسیونی

برای ارزیابی نتایج مدل‌های رگرسیونی از سه معیار ضریب تعیین اصلاح شده، مجذور میانگین مربعات خطاها<sup>۱</sup> و میانگین خطا نسبی<sup>۲</sup> استفاده شد. در مدل‌های رگرسیونی چندگانه، که چندین متغیر مستقل در مدل وجود دارد، باید از فرم اصلاح شده ضریب تعیین استفاده کرد. چراکه این فرم اصلاح شده، بیانگر تأثیر واقعی متغیرهای مستقل بر متغیر وابسته است.

$$\text{RMSE} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Y_i - X_i)^2} \quad (10)$$

$$\text{MAE} = \frac{\sum_{i=1}^n |Y_i - X_i|}{n} \quad (11)$$

$$\text{Adjusted } R^2 = 1 - \frac{(1 - R^2)(n - 1)}{n - p - 1} \quad (12)$$

در روابط ۱۰ تا ۱۲،  $n$ : تعداد داده‌ها،  $X$ : مقادیر مشاهده شده،  $Y$ : مقادیر شبیه‌سازی شده،  $p$ : تعداد متغیرهای مستقل است.

### بحث و نتایج

جدول ۲ نشان دهنده ضرایب تعیین و همبستگی بین باندهای تصویر ماهواره لندست ۸، شاخص‌های شوری و هدایت الکتریکی نمونه‌های خاک است.

با توجه به نتایج جدول ۲ مشاهده می‌شود که در شبکه آبیاری و زهکشی گنوند-عقیلی تمامی باندها در سطح ۰/۰۱ با هدایت الکتریکی خاک همبستگی معنی‌دار داشته؛ و بالاترین همبستگی مربوط به دو باند قرمز و سبز است. علاوه بر این سه باند SWIR2، آبی و NIR با هدایت الکتریکی نمونه‌ها همبستگی کمتر از ۰/۴ داشتند. همچنین در جدول ۲، ضرایب تعیین رگرسیون خطی ساده بین باندها و هدایت الکتریکی نیز ارائه شده است. که با توجه به این جدول مشاهده می‌شود که، بالاترین ضریب متعلق به باند قرمز است. خان و عباس در پژوهش خود به این نتیجه رسیدند که پاسخ طیفی خاک‌های متأثر از نمک نسبت به خاک‌های نرمال، بیشتر است. همچنین آن‌ها گزارش کردند که خاک‌های شور در محدوده مرئی

1 - Root mean square error

2 - Mean absolute error

جدول ۲- ضرایب همبستگی و تعیین بین باندهای تصویر ماهواره لندست، شاخص‌های شوری و هدایت الکتریکی نمونه‌های خاک سطحی شبکه آبیاری و زهکشی گتوند-عقیلی

شماره باند	نام باند	ضریب همبستگی	ضریب تعیین (خطی)	شاخص	ضریب همبستگی	ضریب تعیین (خطی)
۲	Blue	۰/۳۴۶**	۰/۱۲	SI1	۰/۴۷۶**	۰/۲۳
۳	Green	۰/۴۴۹**	۰/۱۸	SI2	۰/۴۶۸**	۰/۲۲
۴	Red	۰/۴۹۴**	۰/۲۴	SI3	۰/۴۸۲**	۰/۲۳
۵	NIR	۰/۳۸۷**	۰/۱۵	BI	۰/۴۵۸**	۰/۲۱
۶	SWIR1	۰/۴۴۷**	۰/۲۰	S1	-۰/۳۸۶**	۰/۱۵
۷	SWIR2	۰/۳۲۶**	۰/۱۱	S3	۰/۵۵۰**	۰/۳۰

### نتایج رگرسیون‌های OLS و ریج

در مرحله توسعه مدل‌های رگرسیونی از ۷۰٪ و از ۳۰٪ مابقی اطلاعات برای ارزیابی مدل‌ها استفاده شد. با توجه به تعداد زیاد متغیرهای مستقل موجود در این پژوهش برای مدل‌سازی هدایت الکتریکی، در رگرسیون خطی چندگانه از تکنیک پس‌روند استفاده شد. در این روش تمامی متغیرهای مستقل به مدل معرفی شده و سپس و گام به گام متغیرهایی با اثر کمتر از مدل حذف می‌شود تا در نهایت مدل نهایی با متغیرهای تأثیرگذار تولید شود (Chokmani et al., 2008).

در جدول ۳ مشخصات آماری و ضرایب ارزیابی رگرسیون خطی چندگانه OLS جهت تخمین هدایت الکتریکی خاک شبکه آبیاری و زهکشی گتوند-عقیلی ارائه شده است. همان‌طور که در جدول ۳ مشخص است ضریب تعیین، ضریب تعیین اصلاح شده، آماره F و آماره دوربین-واتسون مدل رگرسیونی ارائه شده است. یکی از فرضیاتی که در رگرسیون خطی مورد توجه است، استقلال خطاها از یکدیگر است. در صورت عدم اثبات این فرضیه، امکان استفاده از رگرسیون خطی وجود ندارد. برای بررسی این فرضیه، از آماره دوربین-واتسون استفاده می‌شود که مقدار این آماره بین ۰ تا ۴ است و اگر بین باقی‌مانده‌ها همبستگی وجود نداشته باشد، مقدار این آماره باید به ۲ نزدیک باشد. اما به صورت کلی اگر این آماره بین ۱/۵ تا ۲/۵ قرار گیرد، به معنای عدم وجود همبستگی بین باقی‌مانده‌ها است (Field, 2009). با توجه به نتایج به‌دست آمده مشاهده می‌شود که مقدار آماره دوربین-واتسون مدل رگرسیونی برابر با ۱/۹۶ بوده و بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که خطاها در مدل رگرسیونی مستقل از یکدیگر هستند. همچنین یکی دیگر از مواردی که در تحلیل نتایج رگرسیون خطی چندگانه باید به آن توجه شود، بحث نرمال بودن خطاها است که در این مدل رگرسیونی، خطاها دارای میانگین صفر و انحراف معیار یک بودند و این مقادیر نشان دهنده نرمال بودن توزیع

خطاهای مدل رگرسیونی است. همچنین ضریب تعیین اصلاح شده ارائه شده در جدول ۳ برای مدل رگرسیونی نشان داد که این مدل قادر به تبیین تقریباً ۴۸٪ از تغییرات هدایت الکتریکی خاک سطحی شبکه آبیاری و زهکشی گتوند-عقیلی است.

در جدول ۴ ضرایب پارامترهای مدل رگرسیونی OLS، سطح معنی‌داری هر پارامتر و همچنین آماره‌های مربوط به تحلیل هم‌خطی پارامترهای مستقل مدل رگرسیونی ارائه شده است. با توجه به این جدول مشاهده می‌شود که ضریب ثابت و همچنین ضرایب متغیرهای مستقل در سطح ۰/۰۵ معنی‌دار هستند. همان‌طور که اشاره شد یکی از مواردی که باید در مدل‌های رگرسیون خطی چندگانه به آن توجه شود بحث هم‌خطی متغیرهای مستقل است که با آماره‌هایی همچون VIF و Tolerance بررسی می‌شود. در جدول ۴ مقادیر VIF و Tolerance متغیرهای مستقل مدل رگرسیونی ارائه شده است. نشان می‌دهند که هر سه پارامتر دارای VIF بزرگتر از ۱۰ و Tolerance کمتر از ۰/۱ بوده و این سه متغیر دارای هم‌خطی هستند. وجود متغیرهای مستقل دارای هم‌خطی باعث می‌شود که مدل رگرسیونی قابل اطمینان نباشد و حتی به صورت کاذب مقدار ضریب تعیین را بزرگ نشان دهد. لذا در ادامه جهت بررسی اثر هم‌خطی متغیرهای مستقل مدل رگرسیونی، نتایج رگرسیون ریج ارائه می‌شود. در جدول ۵ نتایج تحلیل واریانس مدل رگرسیونی ریج ارائه شده است. با توجه به این جدول مشاهده می‌شود که ضریب تعیین اصلاح شده مدل رگرسیونی ۰/۳۵ برآورد شده است. با مقایسه نتایج جداول ۳ و ۵ مشخص می‌شود که ضریب تعیین مدل رگرسیونی OLS نسبت به رگرسیون ریج بیشتر برآورد شده است. همان‌طور که اشاره شد در مدل‌های رگرسیونی خطی چندگانه که متغیرهای مستقل دارای هم‌خطی هستند، مقدار ضریب تعیین به صورت کاذب بزرگتر از مقدار واقعی محاسبه می‌شود.

جدول ۳- تحلیل واریانس مدل رگرسیونی OLS

ضریب همبستگی	ضریب تعیین	ضریب تعیین تعدیل شده	آماره F	Sig آماره F	ضریب دوربین واتسون
۰/۷۰	۰/۵۰	۰/۴۸	۲۶/۵۸	۰/۰۰۰	۱/۹۶

جدول ۴ - مشخصات مدل رگرسیونی OLS

مدل	ضرایب	Sig	VIF	Tolerance
ضریب ثابت	-۱۸۷/۹۴	۰/۰۰۰	-	-
B3	-۱۰۴۵/۴۷	۰/۰۰۰	۱۶۷/۳۵	۰/۰۰۵
S1	۳۳۱/۴۸	۰/۰۰۰	۳۶/۰۳	۰/۰۲۸
S3	۶۰۲/۰۷	۰/۰۰۰	۲۳۷/۱۳	۰/۰۰۴

جدول ۶ - مشخصات مدل رگرسیونی ریح

متغیر	ضرایب	Sig	VIF	Tolerance
ضریب ثابت	-۱۹/۳۰	۰/۰۰۰	-	-
B3	-۱۷۵/۵۵	۰/۰۰۰	۶/۲۳	۰/۱۵۰
S1	۲۴/۰۹	۰/۲۲۰	۲/۱۹	۰/۴۰۶
S3	۱۲۷/۳۸	۰/۰۰۰	۸/۳۸	۰/۱۰۷

نتیجه به دست آمده در مورد کاهش ضریب تعیین در حالت استفاده از رگرسیون ریح با نتایج مطالعه چوکمانی و همکاران مطابقت دارد. آن‌ها نشان دادند که در رگرسیون OLS ضرایب تعیین مدل‌های مختلف بین ۰/۵۴ تا ۰/۷۵ متغیر بود در حالی که در مدل ریح دامنه تغییرات این ضرایب به ۰/۲۱ تا ۰/۵۶ کاهش یافت (Chokmani et al., 2008).

جدول ۵- تحلیل واریانس مدل رگرسیونی ریح

ضریب همبستگی	ضریب تعیین	ضریب تعیین تعدیل شده	آماره F	Sig آماره F
۰/۶۱	۰/۳۷	۰/۳۵	۱۴/۱۷	۰/۰۰۰

مشخصات مدل رگرسیونی ریح از قبیل سطح معنی‌داری هر متغیر مستقل، VIF و همچنین Tolerance در جدول ۶ ارائه شده است. با توجه به نتایج ارائه شده در جدول ۶، متغیر S1 در سطح ۰/۰۵ معنی‌دار نبوده اما در مدل رگرسیونی OLS این متغیر معنی‌دار شناسایی شد. چوکمانی و همکاران در مطالعه خود اشاره کردند که با وجود هم‌خطی بین متغیرهای مستقل، شاید به ظاهر رابطه‌ای بین متغیرهای مستقل و وابسته ایجاد شود اما ممکن است از نظر آماری این رابطه معنی‌دار نباشد (Chokmani et al., 2008). با توجه به مقدار VIF پارامترهای مستقل مدل رگرسیونی ریح که در جدول ۶ ارائه شده است می‌توان نتیجه گرفت که هم‌خطی سه متغیر مستقل برطرف شده است. مقدار VIF سه متغیر B3، S1 و S3 در رگرسیون OLS به ترتیب ۱۶۷/۳۵، ۳۶/۰۳ و ۲۳۷/۱۳ برآورد گردید و در روش ریح این مقادیر به ترتیب به ۶/۲۳، ۲/۱۹ و ۸/۳۸ کاهش پیدا کرده و از مقدار بحرانی (عدد ۱۰) کمتر است لذا مشکلی از نظر هم‌خطی بین متغیرها وجود ندارد.

در جدول ۷ نتایج ارزیابی مدل‌های رگرسیونی در دو مرحله توسعه و ارزیابی ارائه شده است. همان‌طور که مشخص است در رگرسیون OLS، معیارهای ارزیابی مدل از جمله MAE و RMSE در مرحله توسعه به ترتیب ۲/۲۰، ۳/۱۸ دسی‌زیمنس بر متر برآورد شده و این مقادیر در مرحله صحت‌سنجی به ترتیب برابر با ۳/۳۳، ۵/۶۸ دسی‌زیمنس بر متر به دست آمد. در مدل رگرسیونی ریح معیار ارزیابی MAE در دو دوره توسعه و صحت‌سنجی برابر با ۲/۳۳ و ۳/۴۴ دسی‌زیمنس بر متر برآورد گردید. همچنین مقدار RMSE این مدل در مرحله توسعه و ارزیابی به ترتیب ۳/۵۶ و ۵/۵۹ شناسایی شد. نتایج ارزیابی‌ها نشان می‌دهد علی‌رغم اینکه بین ضرایب تعیین دو مدل تفاوت قابل توجهی وجود دارد اما نتایج دو معیار MAE و RMSE نیز تقریباً مشابه است. در واقع می‌توان چنین استنباط کرد که وجود هم‌خطی بین متغیرهای مستقل، موجب می‌شود که ضریب تعیین بزرگتر از مقدار واقعی محاسبه شده و در نتیجه تحلیل‌هایی که براساس این ضریب صورت می‌گیرد قابل اعتماد نخواهد بود. دانویی و همکاران در مطالعه خود از چهار روش مختلف برای مدل‌سازی هدایت الکتریکی استفاده کردند و دو معیار ارزیابی MAE و RMSE در مدل رگرسیونی آن مطالعه به ترتیب ۲/۸۹ و ۸/۸۳ دسی‌زیمنس بر متر به دست آمدند (Douaoui et al., 2006). در مطالعه نوروزی و همکاران کارایی دو مدل رگرسیونی با معیارهای MAE و RMSE ارزیابی شد که مقدار این دو معیار برای مدل شماره ۱، به ترتیب ۰/۵۸ و ۴/۴۳ دسی‌زیمنس بر متر و برای مدل شماره ۲، به ترتیب ۰/۴۹ و ۴/۱۰ دسی‌زیمنس بر متر برآورد گردید (Noroozi et al., 2012). با توجه به نتیجه مطالعات فوق مشاهده می‌شود که دقت مدل‌های رگرسیونی به کار رفته در این پژوهش مناسب بوده و می‌توان از آن‌ها برای مدل‌سازی شوری خاک استفاده کرد.

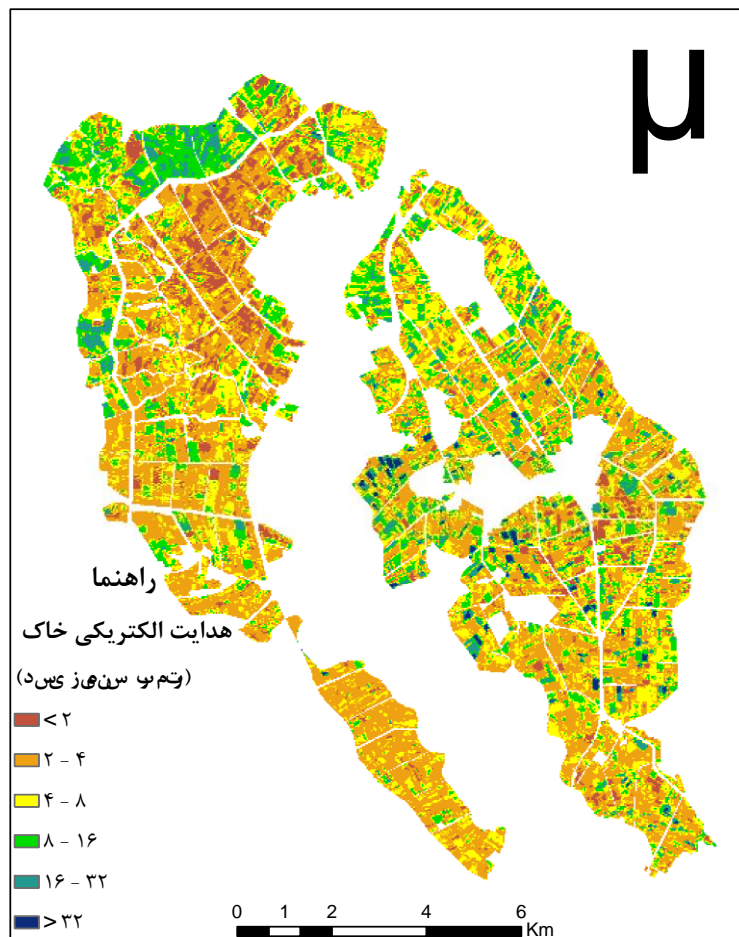


جدول ۷- معیارهای ارزیابی مدل های رگرسیونی ریدج و OLS در دو دوره توسعه و صحت سنجی

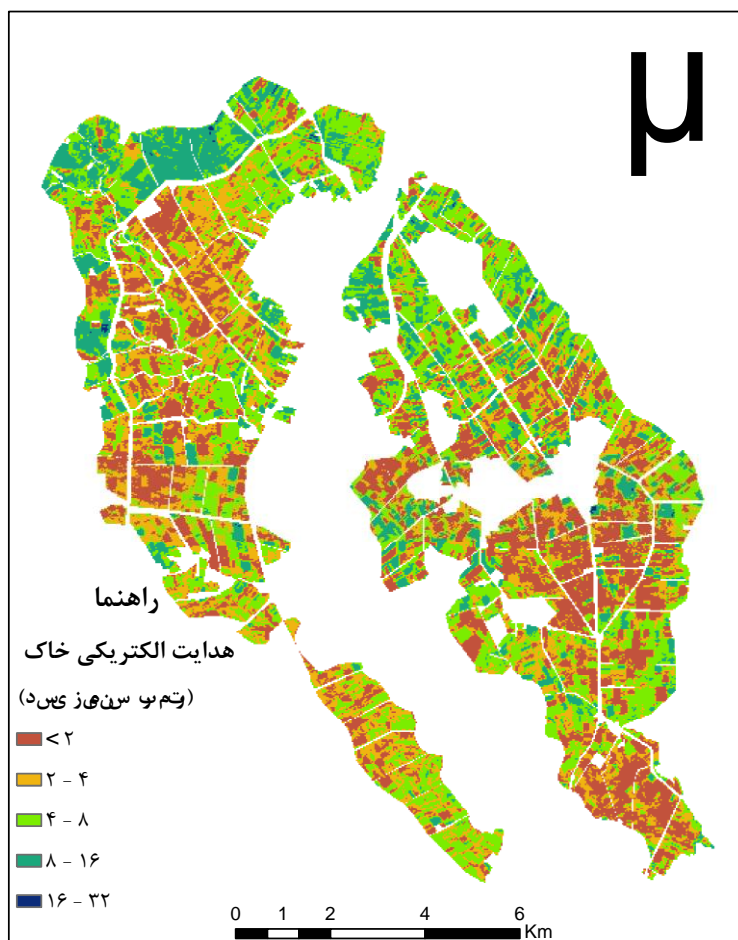
صحت سنجی مدل رگرسیونی			توسعه مدل رگرسیونی			رگرسیون
RMSE (ds/m)	MAE (ds/m)	R <sup>2</sup> <sub>Adj</sub>	RMSE (ds/m)	MAE (ds/m)	R <sup>2</sup> <sub>Adj</sub>	
۵/۶۸	۳/۳۳	۰/۴۸	۳/۱۸	۲/۲۰	۰/۴۸	OLS
۵/۵۹	۳/۴۰	۰/۳۳	۳/۵۶	۲/۳۸	۰/۳۵	Ridge

(  $۱۶ < EC < ۸$  ) و بسیار شور (  $EC > ۱۶$  ) قرار دارند. با توجه به شکل ۲ مشاهده می شود که بحرانی ترین مناطق از نظر شوری در قسمت شمال غربی شبکه گتوند یعنی واحدهای GPT4، GPT10، GPT3، GPT7، GPT11، GPT12 و به ترتیب با شوری ۱۳/۳۵، ۱۳/۳۱، ۱۲/۲۲، ۹/۸۵، ۹/۷۹ و ۸/۲۹ دسی زیمنس بر متر قرار دارند. همچنین در شبکه عقیلی نیز دو واحد AWT10 و AW3 به ترتیب با شوری ۱۱/۴۷ و ۹/۹۶ به عنوان شورترین مناطق شبکه آبیاری عقیلی شناسایی شدند.

با استفاده از مدل های رگرسیونی OLS و ریدج، نقشه هدایت الکتریکی خاک سطحی شبکه آبیاری و زهکشی گتوند-عقیلی تولید شد (شکل های ۲ و ۳). با توجه به شکل ۲ که با استفاده از رگرسیون OLS تولید شده است میانگین شوری شبکه آبیاری و زهکشی گتوند-عقیلی معادل ۵/۸ دسی زیمنس بر متر محاسبه و به ترتیب ۸٪، ۴۴٪، ۲۷٪، ۱۵٪ و ۶٪ از مساحت شبکه آبیاری و زهکشی گتوند-عقیلی در کلاس های غیرشور ( $EC < ۲ ds.m^{-1}$ )، کمی شور ( $۲ < EC < ۸$ )، تقریباً شور ( $۸ < EC < ۴$ )، شور



شکل ۲- نقشه هدایت الکتریکی خاک سطحی شبکه آبیاری و زهکشی گتوند-عقیلی براساس روش OLS



شکل ۳- نقشه هدایت الکتریکی خاک سطحی شبکه آبیاری و زهکشی گتوند-عقیلی براساس روش Ridge

برآورد شوری خاک سطحی شبکه آبیاری و زهکشی گتوند-عقیلی و همچنین مدل سازی شوری خاک با استفاده از دو روش رگرسیون OLS و ریدج دنبال شد. همچنین می توان به بررسی تأثیر هم خطی توام متغیرهای مستقل رگرسیون خطی چندگانه در کارایی و صحت آن مدل و نحوه برطرف کردن این مشکل اشاره کرد. مهم ترین نتایج عبارتند از:

۱- تمامی باندهای سنسور OLI ماهواره لندست ۸ در سطح  $0/01$  با هدایت الکتریکی دارای همبستگی مثبت معنی دار شناسایی شدند. دو باند قرمز و سبز با به ترتیب با ضریب  $0/494$  و  $0/449$  بالاترین همبستگی را با هدایت الکتریکی داشتند.

۲- شاخص های شوری به کار رفته در این پژوهش با هدایت الکتریکی خاک دارای همبستگی معنی دار بوده و شاخص S3 با ضریب  $0/55$  دارای بالاترین همبستگی تعیین شد.

۳- در این تحقیق مشخص شد که مدل رگرسیون خطی چندگانه با تخمین گر OLS و با استفاده از سه متغیر باند سبز و شاخص های S1 و S3 قادر است  $48\%$  از تغییرات شوری خاک

شکل ۳ نشان دهنده نقشه هدایت الکتریکی شبکه آبیاری و زهکشی گتوند-عقیلی است که با استفاده از رگرسیون ریدج رسم شده است. این روش میانگین شوری خاک سطحی شبکه را  $4/5$  دسی زیمنس بر متر تخمین زد. این روش نشان داد که به ترتیب  $27\%$ ،  $25\%$ ،  $33\%$  و  $15\%$  از مساحت شبکه در کلاس های غیرشور، کمی شور، تقریباً شور، شور و بسیار شور قرار دارند. همان طور که در شکل ۳ مشخص است واحدهای واقع در قسمت شمال غربی شبکه گتوند از جمله واحدهای GPT4، GPT3، GPT10، GPT7 و GPT11 به ترتیب با شوری  $10/27$ ،  $9/74$ ،  $9/69$ ،  $8/54$  و  $8/32$  دارای بالاترین شوری در بین واحدهای آبیاری شبکه گتوند هستند. در شبکه عقیلی نیز دو واحد AWT1 و AWT3 به ترتیب با  $8/22$  و  $7/95$  دسی زیمنس بر متر به عنوان شورترین واحدهای شبکه عقیلی شناسایی شدند.

## نتیجه گیری

در این مقاله اهدافی همچون بررسی کارایی ماهواره لندست ۸ در

- Azabtaftari, A., Sunar, F., 2016. SOIL SALINITY MAPPING USING MULTITEMPORAL LANDSAT DATA. ISPRS - Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci. XLI-B7, 3-9.
- Barsi, J.A., Lee, K., Kvaran, G., Markham, B.L., Pedelty, J.A., 2014. The spectral response of the Landsat-8 operational land imager. Remote Sens. 6, 10232-10251.
- Chokmani, K., Ouarda, T.B.M.J., Hamilton, S., Ghedira, M.H., Gingras, H., 2008. Comparison of ice-affected streamflow estimates computed using artificial neural networks and multiple regression techniques. J. Hydrol. 349, 383-396.
- Dehni, A., Lounis, M., 2012. Remote Sensing Techniques for Salt Affected Soil Mapping: Application to the Oran Region of Algeria. Procedia Eng. 33, 188-198.
- Ding, J., Yu, D., 2014. Monitoring and evaluating spatial variability of soil salinity in dry and wet seasons in the Werigan-Kuqa Oasis, China, using remote sensing and electromagnetic induction instruments. Geoderma 235-236, 316-322.
- Douaoui, A.E.K., Nicolas, H., Walter, C., 2006. Detecting salinity hazards within a semiarid context by means of combining soil and remote-sensing data. Geoderma 134, 217-230.
- El Harti, A., Lhissou, R., Chokmani, K., Ouzemou, J., Hassouna, M., Bachaoui, E.M., El Ghmari, A., 2016. Spatiotemporal monitoring of soil salinization in irrigated Tadla Plain (Morocco) using satellite spectral indices. Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinf. 50, 64-73.
- Fan, X., Liu, Y., Tao, J., Weng, Y., 2015. Soil salinity retrieval from advanced multi-spectral sensor with partial least square regression. Remote Sens. 7, 488-511.
- Field, A., 2009. DISCOVERING STATISTICS USING SPSS THIRD EDITION, Ovarian Cancer. Springer New York, New York, NY.
- Goeman, J.J., 2008. Autocorrelated logistic ridge regression for prediction based on proteomics spectra. Stat. Appl. Genet. Mol. Biol. 7.
- Gorji, T., Sertel, E., Tanik, A., 2017. Monitoring soil salinity via remote sensing technology under data scarce conditions: A case study from Turkey. Ecol. Indic. 74, 384-391.
- Hessami, M., Gachon, P., Ouarda, T.B.M.J., St-Hilaire, A., 2008. Automated regression-based statistical downscaling tool. Environ. Model. Softw. 23, 813-834.
- Hoerl, A.E., Kennard, R.W., 1970. Ridge Regression: Biased Estimation for Problems Nonorthogonal. Technometrics 12, 55-67.
- سطحی شبکه را تبیین کند. لازم به ذکر است که با توجه به مقادیر VIF مشخص شد که هر سه متغیر مستقل مدل OLS دارای هم‌خطی شناسایی شدند. دو معیار ارزیابی MAE و RMSE این مدل در دو مرحله آموزش و صحت‌سنجی به ترتیب ۲/۲۰، ۳/۱۸ و ۳/۳۳، ۵/۶۸ دسی‌زیمنس بر متر تعیین شد.
- ۴- نتایج مدل رگرسیونی ریح نشان که این روش قادر به حذف هم‌خطی متغیرهای مستقل مدل رگرسیونی خطی چندگانه است. همچنین ضریب تعیین مدل ریح نسبت به روش OLS کاهش معادل با ۰/۱۴ داشت؛ در صورتی که معیارهای ارزیابی دیگر تقریباً مشابه یکدیگر بودند و این به معنای افزایش کاذب ضریب تعیین توسط روش OLS است.
- ۵- میانگین شوری خاک سطحی شبکه با توجه به نقشه‌های شوری به دست آمده از دو روش رگرسیونی OLS و ریح به ترتیب ۵/۸ و ۴/۵ دسی‌زیمنس بر متر بود. همچنین مشخص شد که شورترین واحدهای آبیاری در قسمت شمال غرب شبکه گتوند واقع شده‌اند.
- ### منابع
- ثنایی‌نژاد، س. ح.، آستارایی، ع.، قائمی، م.، میرحسینی، پ. ۱۳۹۰. بررسی قابلیت تصاویر ماهواره لندست<sup>+</sup> ETM در مطالعات شوری خاک. پژوهش‌های زراعی ایران. ۹. ۳: ۳۴۸-۳۵۵.
- جعفری، م.، دین‌پژوه، ی.، اسدی، ا. ۱۳۹۴. آشنایی با رگرسیون خطی چندگانه و استفاده از آن در شبیه‌سازی مقادیر تخییر روزانه تشت. آب و توسعه پایدار. ۲. ۲: ۶۷-۷۶.
- سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ۱۳۹۴. ویژه‌نامه پژوهش و فناوری، ۵۲ صفحه.
- علوی پناه، س. ک. ۱۳۸۲. کاربرد سنجش از دور در علوم زمین (علوم خاک). دانشگاه تهران. ۴۹۶ صفحه.
- محمودی، ف.، جعفری، ر.، کریم‌زاده، ح.، رضانی، ن. ۱۳۹۴. پهنه‌بندی شوری خاک‌های منطقه جنوب شرق استان اصفهان با استفاده از داده‌های زمینی و سنجنده TM ماهواره‌ای. مجله علوم آب و خاک. ۱۹. ۷۱: ۳۱-۴۵.
- نوری، ح.، دیهول، م.، وظیفه‌دوست، م.، نوروزی، ع. ۱۳۹۵. بررسی بلندمدت تغییرات مکانی و زمانی شوری خاک در شبکه آبیاری و زهکشی گرمسار. تحقیقات آب و خاک ایران. ۴۷. ۳: ۴۴۹-۴۵۷.
- Allbed, A., Kumar, L., Sinha, P., 2014. Mapping and Modelling Spatial Variation in Soil Salinity in the Al Hassa Oasis Based on Remote Sensing Indicators and Regression Techniques. Remote Sens. 6, 1137-1157.

- Research. *Water Resour. Res.* 51, 341–358.
- Singh, A., 2018. Managing the salinization and drainage problems of irrigated areas through remote sensing and GIS techniques. *Ecol. Indic.* 89, 584–589.
- Singh, A., 2012. An overview of the optimization modelling applications. *J. Hydrol.* 466–467, 167–182.
- Skaggs, T.H., Anderson, R.G., Corwin, D.L., Suarez1, D.L., 2014. *Water Resources Research. Water Resour. Res.* 51, 1–44.
- SONG, C., REN, H., HUANG, C., 2016. Estimating Soil Salinity in the Yellow River Delta, Eastern China—An Integrated Approach Using Spectral and Terrain Indices with the Generalized Additive Model. *Pedosphere* 26, 626–635.
- Vermeulen, D., van Niekerk, A., 2016. Evaluation of a WorldView-2 image for soil salinity monitoring in a moderately affected irrigated area. *J. Appl. Remote Sens.* 10, 026025.
- Yu, H., Liu, M., Du, B., Wang, Z., Hu, L., Zhang, B., 2018. Mapping soil salinity/sodicity by using Landsat OLI imagery and PLSR algorithm over Semiarid West Jilin province, China. *Sensors (Switzerland)* 18, 1–17.
- Zhang, T.T., Qi, J.G., Gao, Y., Ouyang, Z.T., Zeng, S.L., Zhao, B., 2015. Detecting soil salinity with MODIS time series VI data. *Ecol. Indic.* 52, 480–489.
- Khan, N.M., Rastoskuev, V. V., Sato, Y., Shiozawa, S., 2005. Assessment of hydrosaline land degradation by using a simple approach of remote sensing indicators. *Agric. Water Manag.* 77, 96–109.
- Khan, S., Abbas, A., 2007. Using Remote Sensing Techniques for Appraisal of Irrigated Soil Salinity. *Int. Congr. Model. Simul. (MODSIM), Model. Simul. Soc. Aust. New Zealand, Bright.* 2632–2638.
- Kutner, M.H., Nachtsheim, C.J., Neter, J., Li, W., 2005. *Applied Linear Statistical Models.*
- Li, Y.F., Xie, M., Goh, T.N., 2010. Adaptive ridge regression system for software cost estimating on multi-collinear datasets. *J. Syst. Softw.* 83, 2332–2343.
- Mahmoudabadi, E., Karimi, A., Haghnia, G.H., Sepehr, A., 2017. Digital soil mapping using remote sensing indices, terrain attributes, and vegetation features in the rangelands of northeastern Iran. *Environ. Monit. Assess.* 189, 500.
- Metternicht, G., Zinck, J.A., 1997. Spatial discrimination of salt- and sodium-affected soil surfaces. *Int. J. Remote Sens.* 18, 2571–2586.
- Noroozi, A.A., Homae, M., Farshad, A., 2012. Integrated Application of Remote Sensing and Spatial Statistical Models to the Identification of Soil Salinity: A Case Study from Garmsar Plain, Iran. *Environ. Sci.* 9, 59–74.
- Silber, A., Israeli, Y., Elingold, I., Levi, M., Levkovitch, I., Russo, D., Assouline, S., 2014. *Water Resources*

## Modeling Gotvand-Aghili Irrigation and Drainage Network Soil Salinity by Using Landsat-8 Image and OLS and Ridge Regressions

H. Rahmati<sup>1</sup>, S. Boroomand-Nasab<sup>\*2</sup>, Z. Izadpanah<sup>3</sup>, M. Albaji<sup>4</sup>

Received: Oct.26, 2018

Accepted: Dec.22, 2018

### Abstract

Soil salinization is one of the main obstacles in the agriculture sector and one of the main factors of crop yield reduction. In this study, a Landsat-8 image and extracted data of 121 soil samples from network surface were utilized and soil salinity indices, multiple linear regression with ordinary least square and Ridge regression were applied so that Gotvand-Aghili irrigation and drainage network soil salinity was modeled and soil salinity map was finally prepared. The results indicated that there is a significant correlation between bands of Landsat-8 Operational Land Imager (OLI) sensor and electrical conductivity of soil samples and the red band had the highest correlation. Furthermore, the findings revealed a significant correlation between salinity indices and electrical conductivity of soil samples. The results of OLS regression model further disclosed that this model was able to represent 48% of the network soil salinity variation, however, according to the variance inflation factor, independent variables of OLS model enjoyed multicollinearity. Conversely, the results of Ridge regression illuminated that this approach has a high ability for removing multicollinearity of independent variables. By mapping OLS and Ridge regression models, the average soil salinity of the network assessed 5.8 and 4.5 dS/m, respectively. Moreover, according to Ridge regression model, 33% of the network area was classified as moderately saline while 15% of it would fall into a strongly saline class. Also, based on the salinity map of OLS regression model, 6% of the network area was categorized as very strongly saline class.

**Keywords:** Inflation factor variance, Multicollinearity, Salinity indices, Soil Salinity Classes

1 - Ph.D. Candidate of Irrigation and Drainage Engineering, Faculty of Water Science Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz (Hosein.Rahmati86@gmail.com)

2 - Professor, Department of Irrigation and Drainage Engineering, Faculty of Water Science Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz

3 - Assistant professor, Department of Irrigation and Drainage Engineering, Faculty of Water Science Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz

4 - Assistant professor, Department of Irrigation and Drainage Engineering, Faculty of Water Science Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz

(\* - Corresponding Author Email: Boroomandsaeed@yahoo.com )