

## بررسی بلندمدت تغییرات مکانی و زمانی شوری خاک در شبکه آبیاری و زهکشی گرمسار

حمیده نوری<sup>۱\*</sup>، مونا دیهول<sup>۲</sup>، مجید وظیفه دوست<sup>۲</sup>، علی اکبر نوروزی<sup>۴</sup>

۱. استادیار پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

۲. دانشجوی کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

۳. استادیار گروه مهندسی آب دانشگاه گیلان

۴. دانش‌آموخته دکتری گروه خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۹/۸ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۴/۱۰/۲۲)

### چکیده

شوری خاک منجر به کاهش جذب آب توسط گیاه و کاهش پوشش گیاهی می‌گردد و کنترل این پدیده مستلزم مدیریتی مناسب همراه با نظارت بر تغییرات مکانی و زمانی شوری از گذشته تا به امروز است. در این پژوهش، تغییرات زمانی و مکانی شوری خاک در شبکه آبیاری و زهکشی گرمسار از سال ۱۹۸۶ تا ۲۰۱۳ با استفاده از پنج شاخص ماهواره‌ای و داده‌برداری زمینی بررسی شد. تغییرات زمانی نسبت مساحت اراضی در سه طبقه شوری کم، متوسط و زیاد در طی این سال‌ها در انتهای دو دوره کشت پاییزه و بهاره مورد بررسی قرار گرفت و با استفاده از آزمون آماری من‌کنندال نوع روند تغییرات تعیین شد. همچنین، روند تغییرات مقدار شاخص‌های شوری خاک در هر پیکسل تعیین و پهنه‌بندی تغییرات شوری استخراج شد. نتایج به‌دست‌آمده نشان داد در انتهای دوره کشت پاییزه با احتمال ۹۵ درصد، روند تغییرات نسبت مساحت اراضی با شوری کم، متوسط و زیاد به ترتیب کاهش، افزایش و افزایشی و در انتهای دوره کشت بهاره، روند تغییرات نسبت مساحت اراضی با شوری کم‌وزیاد به‌مانند دوره کشت پاییزه به ترتیب کاهش و افزایشی و برای اراضی با طبقه شوری متوسط روند مشخصی به دست نیامد. نقشه پهنه‌بندی شوری خاک تولید شده نشان داد مناطق شمالی، غربی و جنوبی دشت گرمسار در معرض خطر افزایش شوری و قسمت‌هایی از شمال شرق و مرکز که دارای شبکه آبیاری فرعی بوده، در طی این سال‌ها شوری روند کاهش داشته است. مساحت کل اراضی مورد بررسی در این پژوهش برابر با ۱۶ هزار هکتار است که در طی این سال‌ها مساحت اراضی در طبقه شوری کم حدود ۶/۵ هزار هکتار کاهش و در طبقه شوری متوسط و شوری زیاد به ترتیب حدود ۴/۵ هزار هکتار و دو هزار هکتار افزایش یافته است.

**واژه‌های کلیدی:** آزمون من‌کنندال، تصاویر ماهواره‌ای، شاخص‌های شوری

### مقدمه

است. یکی از روش‌های پایش شوری، داده‌برداری زمینی است که به‌وقت و هزینه زیادی نیاز دارد، به‌خصوص اگر نظارت در سطح گسترده و همچنین در چندین زمان صورت گیرد. علاوه بر این مشکل، معمولاً داده‌های اندازه‌گیری زمینی در گذشته قابل‌دسترس نبوده که در این صورت بررسی روند تغییرات خصوصیات خاک در طی زمان‌های گذشته غیرممکن می‌شود. در سال‌های اخیر، استفاده از روش سنجنش از راه دور برای برطرف کردن این مشکلات توسعه‌یافته است. با استفاده از این روش و داده‌های زمینی و آزمایشگاهی می‌توان تغییرات شوری خاک با زمان را بررسی و پایش نمود (Metternicht, 2003).

سنجنش‌از‌دور علم شناسایی، جمع‌آوری و تفسیر داده‌ها از راه دور به‌وسیله سنجنده ماهواره است. این علم بر این حقیقت استوار است که پاسخ طیفی سطح زمین بسته به شرایط متفاوت پوشش زمین، مواد معدنی سطح آن و ویژگی‌های اتمسفری

شوری خاک یکی از عوامل محدودکننده رشد گیاهان است. در خاک‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک همانند ایران شوری بر اثر تجمع املاح افزایش‌یافته و چون در این مناطق بارندگی کم و تبخیر-تعرق زیاد است، نمک‌ها به مقدار کافی آبشویی نشده و مسائل مربوط به شوری آسیب بیشتری برای گیاهان این مناطق به‌جا می‌گذارد. مهم‌ترین علل تجمع شوری در مناطق کشاورزی شوری آب آبیاری، شوری سازنده‌های خاک و یا شوری دو منبع آب‌و‌خاک است

برای ارزیابی مدیریت شوری در طی دهه‌های گذشته و بهبود آن در سال‌های آینده نیاز به مدیریتی مناسب همراه با نظارت بر تغییرات مکانی و زمانی شوری از گذشته تا به امروز

دور برای محاسبه شوری (EC) قابل قبول است (Yu et al., 2010).  
 'al., 2011) Hong-wei et al. طی پژوهشی، Yu et al. (2010) با استفاده از سه تصویر ماهواره‌ای لندست از سال ۱۹۹۱ تا ۲۰۰۵ به همراه داده‌های زمینی به بررسی روند شوری منطقه جیفانگزا در چین پرداختند. نتایج این پژوهش نشان داد به‌طور متوسط در هر سال ۳/۹ کیلومتر مربع کاهش سطح شوری زیاد، ۲/۵ کیلومتر مربع کاهش شوری متوسط و ۸/۲ کیلومتر مربع کاهش شوری کم در منطقه وجود داشته است. Hong-wei et al. (2011) با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای سه سال ۱۹۸۹، ۲۰۰۱ و ۲۰۰۷ نقشه شوری منطقه‌ای در چین را استخراج کردند و سطح آب زیرزمینی بالا، تبخیر آب‌های کم‌عمق و روش‌های آبیاری به‌عنوان مهم‌ترین عوامل در افزایش شوری منطقه معرفی شد. Shayan et al. (2011) در مطالعه‌ای با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای تغییرات شوری در دو سال ۱۹۹۰ و ۲۰۰۱ در منطقه گرمسار را بررسی کردند که نتایج افزایش سطح شوری زیاد در منطقه را نشان داده است. Noroozi et al. (2012) به‌منظور شناسایی شوری خاک، پژوهشی با تلفیق تصاویر ماهواره‌ای لندست TM و مدل‌های آماری مکانی به همراه داده‌برداری زمینی در دشت گرمسار و ایوانکی برای بررسی ارتباط بین هدایت الکتریکی و بازتاب‌های طیفی ماهواره انجام دادند. دو رابطه رگرسیونی با سنجنده‌هایی که بیشترین همبستگی را دارا بودند، به دست آوردند و نشان دادند که دو باند مرئیو باند مادون‌قرمز میانی در برآورد شوری خاک حساس‌اند. در مجموع تحقیقات انجام‌شده نشان می‌دهد که استفاده از داده‌های ماهواره‌ای در کنار داده‌برداری زمینی برای مشخص کردن پایش و مدیریت شوری خاک مؤثر است و می‌توان تغییرات شوری خاک در زمان‌های مختلف و مکان‌های وسیع را با هزینه و مدت‌زمان کمتر بررسی نمود. مهم‌ترین مزیت استفاده از داده‌های ماهواره‌ای امکان تهیه نقشه شوری خاک سطحی در تاریخ‌های مختلف بدون در اختیار داشتن داده‌های میدانی است. با توجه به اهمیت دشت گرمسار، مدیریت‌های شوری متعددی در طی سال‌های گذشته در این منطقه انجام و پیشنهاد شده است. برای مطالعه، طراحی و اجرای دقیق این مدیریت‌ها لازم است روند تغییرات شوری در طی سال‌های گذشته بررسی شود و بخش‌هایی از منطقه که در معرض خطر شوری بیشتری هستند، مشخص شود. لذا، هدف این پژوهش، بررسی روند تغییرات زمانی و مکانی شوری خاک در شبکه آبیاری و زهکشی دشت گرمسار با استفاده از شاخص‌های ماهواره‌ای و داده‌برداری زمینی است.

متفاوت است. در این صورت، هر جسمی واقع در سطح زمین، در طول موجی مشخص میزان معینی از امواج را جذب و بازتاب می‌کند که بر اساس امواج بازتاب شده‌ای که به سنجنده می‌رسد، شناسایی پدیده‌ها بر روی زمین صورت می‌گیرد. خاک بسته به شرایط فیزیکی و شیمیایی مختلف رفتار طیفی گوناگونی دارد، به‌طوری‌که مشخصات طیفی خاک شور به نوع، رنگ، زبری و میزان نمک و همچنین به رطوبت خاک بستگی دارد. از سویی، هر چه زبری سطح خاک بیشتر و رنگ خاک تیره‌تر باشد، جذب طیفی بیشتر و انعکاس کمتر می‌شود. انواع نمک‌ها زبری و رنگ متفاوتی دارند، مثلاً سولفات سدیم زبری بیشتری نسبت به سولفات کلر دارد (Metternicht, 2003). بنابراین، بسته به نوع نمک، رفتار طیفی تغییر می‌کند. به‌طور کلی، می‌توان مطرح نمود که نمک‌ها به دلیل روشن کردن رنگ خاک (Driessen, 1973) و صاف کردن سطح خاک انعکاس سطح زمین را بیشتر می‌کنند و هرچه میزان نمک افزایش یابد، انعکاس هم به پیروی از آن بیشتر خواهد شد (Masoudi, 2001).

برای شناسایی و پایش شوری به‌وسیله سنجش‌ازدور، رابطه ریاضی مشخصی تهیه نشده است و پژوهشگران هرکدام با توجه به منطقه مورد مطالعه و داده‌برداری زمینی شاخصی را برای استخراج شوری خاک با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای معرفی کرده‌اند. به‌طور کلی، روش‌های استخراج شوری با تصاویر ماهواره‌ای به دودسته روش مستقیم بر روی خاک لخت و بدون پوشش گیاهی و روش غیرمستقیم از طریق ارتباط با نوع پوشش گیاهی و عملکرد آن‌ها تقسیم می‌شود (Jian-li, 2011; Dehniand, 2012)؛ بنابراین، علاوه بر شاخص‌های شوری، از شاخص‌های گیاهی و شاخص سطح برگ هم با توجه به تأثیری که شوری بر سبزیگی گیاه دارد، در استخراج شوری خاک استفاده می‌شود. برای این‌که از شاخص‌های گیاهی برای استخراج شوری استفاده شود، به مقاومت گیاه در برابر خشکی و شوری نیاز است. از سوی دیگر، برای لحاظ کردن دقیق اثرات شوری خاک بر گیاه، مسائل مدیریتی و آبیاری دقیق و یکنواخت در کل منطقه را نیز باید کنترل کرد. برای استفاده از این نوع شاخص‌ها برای سال‌های مختلف، نیاز به داده‌های بیشتری است تا روند تغییرات شوری استخراج شود. پیچیدگی این موضوع سبب شده که بسیاری از مطالعات بر روی پایش شوری خاک در مناطق غیر کشاورزی و یا در مناطق کشاورزی در زمان‌هایی که پوشش گیاهی ندارند (انتهای فصل زراعی یا بین دو فصل زراعی) متمرکز شود که در این شرایط توانایی سنجش از راه

از آبیاری به نفوذ عمقی می‌انجامد و بهره‌وری آبیاری کم است. در این قسمت، آبخوان عمیق است به طوری که تلفات آبیاری به سمت پایین شیب منتقل می‌شود. در قسمت میانی آبرفت، شیب کمتر می‌شود. در انتهای آبرفت، شیب کاهش یافته، خاک عمدتاً رسی و سیلتی است، آبخوان کم‌عمق‌تر، نفوذپذیری خاک کمتر و دسترسی به آب مناسب آبیاری کمتر است.

در شکل (۱) پراکندگی کانال‌های آبیاری شبکه گرمسار (جنس آن‌ها بتنی است) مشخص شده است. در قسمت‌های مرکزی و شمال شرقی مخروطه‌افکن تراکم کانال‌ها زیاد است و در جنوب آن کانال‌های بتنی وجود ندارد. در قسمت‌هایی که تراکم کانال بتنی کم است، آبیاری از طریق نهرهای خاکی و یا آب زهکش مزارع بالادست صورت می‌گیرد که این موضوع سبب می‌شود کیفیت آب آبیاری در این مناطق پایین‌تر باشد.

#### محاسبه شاخص‌های شوری

منطقه مورد مطالعه دارای دو دوره کشت در یک سال زراعی است و به همین دلیل از یک تصویر لندست در انتهای هر یک از دوره‌های کشت پاییزه و بهاره که پوشش گیاهی کمتری نسبت به زمان‌های دیگر دارند، استفاده شد. تاریخ تصاویر در جدول (۱) مشخص شده است.

با توجه به این‌که رگبار و آبیاری، موجب تخریب ساختمان سطحی خاک و ریزتر شدن ذرات خاک می‌شوند و در نتیجه آن تغییر رنگ و تغییر انعکاس خاک را به دنبال خواهد داشت (Goldshleger *et al*, 2001)، مطالعه بر روی شوری خاک و گرفتن تصاویر ماهواره‌ای باید زمانی که خاک خشک است، صورت گیرد (Noroozi *et al*, 2012) و آبیاری و بارندگی وجود نداشته باشد. از سویی، تصاویر باید بدون پوشش ابر باشند. لذا با استفاده از آمار داده‌های بارندگی منطقه از عدم بارندگی در دو روز قبل از تاریخ گرفتن تصاویر اطمینان حاصل شد. به منظور جداسازی دشت گرمسار از تصویر لندست، ابتدا با استفاده از یک تصویر با فرمت برداری از مرز منطقه مورد مطالعه، نقشه با فرمت AOI تهیه شد. سپس، اعداد رقومی (DN) تصویر با مدل نویسی در محیط نرم‌افزار Erdasimagine به تشعشع و بازتابش تبدیل شد.

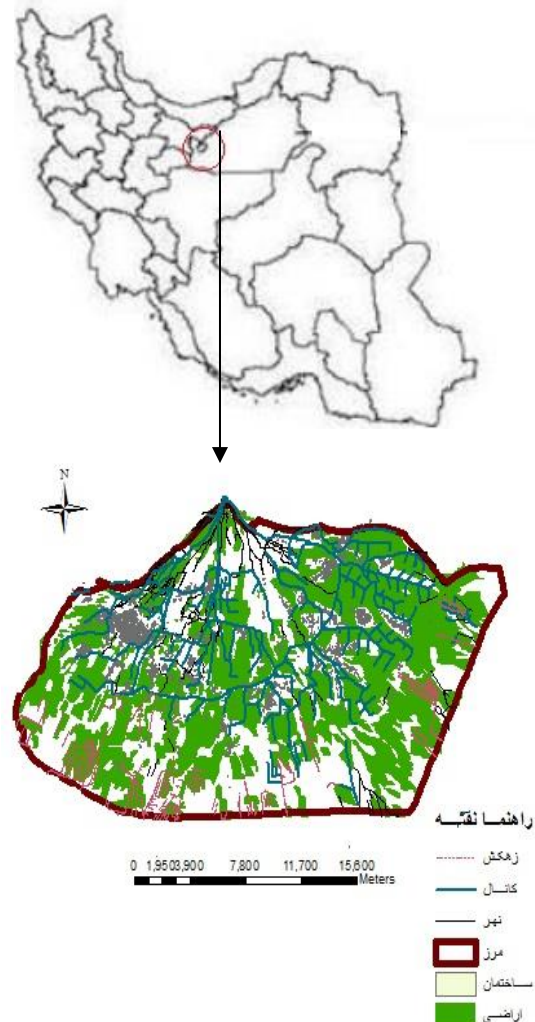
با بررسی مطالعات انجام شده توسط پژوهشگران (Douaoui *et al*, 2006؛ Jabbar and Zhou, 2011؛ Noroozi *et al*,

2012)، چند شاخص شوری خاک متداول در شرایط بدون پوشش گیاهی انتخاب و با مدل نویسی در محیط نرم‌افزار

## مواد و روش‌ها

### منطقه مورد مطالعه

در شبکه آبیاری و زهکشی گرمسار خاک از سازندهای بسیار شور تشکیل شده و منبع اصلی تأمین‌کننده آب آبیاری شبکه، رودخانه حبله‌رود است که از رشته‌کوه‌های البرز سرچشمه می‌گیرد. آب رودخانه با کیفیت مناسبی در محلی به نام بنکوه وارد دشت شده و در طی مسیر به دلیل عبور از روی گنبد نمکی و جریان یافتن زه‌آب‌های مجاور رودخانه و چشمه‌های شور حواشی آن کیفیت خود را از دست می‌دهد که این امر موجب تنزل کیفیت آب از بالادست به پایین‌دست شده است. بخش عمده اراضی این منطقه مالکیت دولتی دارد و در تقویم کشاورزی آن امکان دو کشت در یک سال وجود دارد (شکل ۱).



شکل ۱- شبکه آبیاری و زهکشی گرمسار

دشت گرمسار از نظر توپوگرافی به سه قسمت تقسیم می‌شود. در قسمت بالای آبرفت، شیب زمین قابل توجه و خاک زراعی عمیق، شنی و نفوذپذیر است. در این منطقه، حجم زیاد آب آبیاری با کیفیت خوب در دسترس است و مقدار قابل توجهی

انتخاب شد. مقدار این شاخص‌ها بزرگ‌تر از صفر است و هرچه مقدار آن‌ها بیشتر باشد، شوری بیشتری را معرفی می‌کنند.

Erdasimagine ساخته شد. چهار شاخص شوری ( $SI_1$ ) و یک شاخص روشنایی ( $BI$ ) برای شناسایی شوری با ماهواره لندست

1. Salinity Index
2. Brightness Index

جدول ۱- تصاویر لندست مورد استفاده

انتتهای دوره کشت بهاره			انتتهای دوره کشت پاییزه		
سال	شماره روز	لندست	سال	شماره روز	لندست
۱۹۸۷	۲۶۸	۵	۱۹۸۶	۱۵۳	۵
۱۹۹۰	۲۵۲	۴	۱۹۸۸	۱۵۱	۴
۱۹۹۲	۲۵۸	۴	۱۹۹۲	۱۷۸	۴
۱۹۹۸	۲۶۶	۵	۱۹۹۸	۱۳۸	۵
۱۹۹۹	۲۷۷	۵	۱۹۹۹	۱۸۱	۵
۲۰۰۰	۲۸۰	۵	۲۰۰۰	۱۳۶	۵
۲۰۰۱	۲۵۰	۵	۲۰۰۱	۱۳۸	۵
۲۰۰۲	۲۸۵	۷	۲۰۰۳	۱۴۴	۵
۲۰۰۴	۲۵۹-۲۷۵	۷	۲۰۰۴	۱۳۱-۱۴۷	۷
۲۰۰۶	۲۶۴-۲۸۰	۷	۲۰۰۶	۱۵۲-۱۶۸	۷
۲۰۰۹	۲۸۰	۵	۲۰۰۸	۱۴۲-۱۵۸	۷
۲۰۱۰	۲۷۵-۲۹۱	۷	۲۰۰۹	۱۵۲	۵
۲۰۱۲	۲۶۵-۲۸۱	۷	۲۰۱۰	۱۵۵	۵
۱۹۸۷	۲۶۸	۵	۲۰۱۲	۱۵۳-۱۶۹	۷
۱۹۹۰	۲۵۲	۴	۲۰۱۳	۱۵۵-۱۷۱	۷

شاخص روشنایی ( $BI$ ) از باندهای سه و چهار برای شناسایی شوری استفاده می‌کند:

$$BI = \sqrt{NIR^2 + R^2} \quad (\text{رابطه ۵})$$

محاسبه دقت شاخص‌های شوری و بررسی روند شوری

برای تعیین دقت هر یک از شاخص‌های شوری و همبستگی آن‌ها با مقدار شوری خاک از داده‌های زمینی استفاده شد (Noroozi et al., 2012) ۲۳۶ داده شوری در عمق ۱۵-۰ سانتی‌متری سطح زمین در قسمت جنوبی مخروطه‌افکن گرمسار با شبکه‌بندی ۱×۱ کیلومتر اندازه‌گیری شد (شکل ۲). زمان داده‌برداری زمینی ماه آگوست سال ۲۰۰۹ است. برای محاسبه ضریب همبستگی شاخص‌ها با مقدار شوری خاک یک تصویر لندست در این ماه (۲۹ آگوست) دریافت و این تصویر به‌مانند تصاویر دیگر در نرم‌افزار ErdasImagine پردازش و شاخص‌های شوری برای آن تولید شد.

در این بررسی، به دلیل این‌که از شاخص‌های شوری در زمین‌های بدون پوشش گیاهی استفاده شده، با استفاده از

شاخص شوری ۱ ( $SI_1$ ) از باندهای دو ( $G$ ) و سه ( $R$ ) ماهواره لندست برای شناسایی شوری استفاده می‌کند:

$$SI_1 = \sqrt{G \times R} \quad (\text{رابطه ۱})$$

شاخص شوری ۲ ( $SI_2$ ) از باندهای دو، سه و چهار ( $NIR$ ) ماهواره لندست برای شناسایی شوری استفاده می‌کند:

$$SI_2 = \sqrt{G^2 + R^2 + NIR^2} \quad (\text{رابطه ۲})$$

شاخص شوری ۳ ( $SI_3$ ) بر اساس مجذور مجموع مربع باندهای دو و سه ماهواره لندست محاسبه می‌شود:

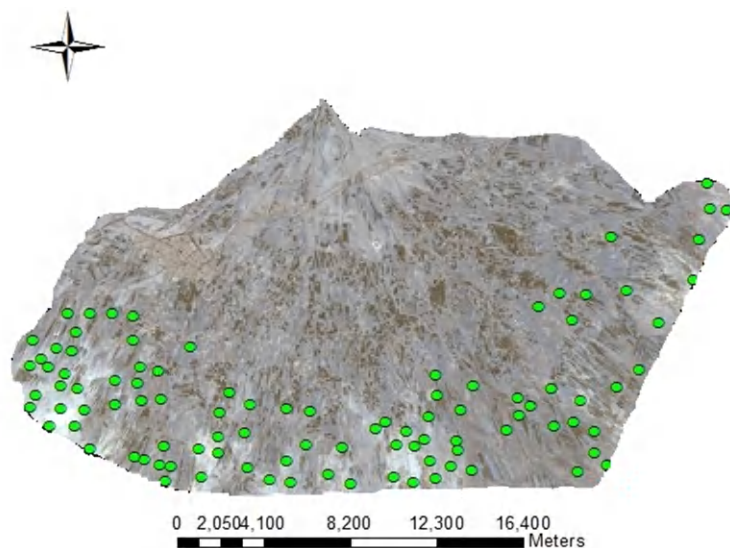
$$SI_3 = \sqrt{G^2 + R^2} \quad (\text{رابطه ۳})$$

شاخص شوری ۴ ( $SI_4$ ) به دلیل اینکه مناطق شور در باند آبی ( $B$ ) و قرمز انعکاس بیشتری نسبت به باندهای مرئی و مادون‌قرمز نزدیک دارند توسعه داده شد:

$$SI_4 = \sqrt{B \times R} \quad (\text{رابطه ۴})$$

- 3.Green
- 4.Red
- 5.Near Infrared
- 6.Blue

در منطقه برای مقایسه با شاخص‌های شوری مورد استفاده قرار گرفت (شکل ۲). روابط رگرسیونی مربوط به پنج شاخص شوری مورد استفاده و مقادیر شوری خاک اندازه‌گیری شده محاسبه شد.



راهنما نقشه

● نقاط اندازه‌گیری شده

شکل ۲- تصویر ماهواره‌ای به همراه موقعیت داده‌های زمینی اندازه‌گیری شده

لندست که  $30 \times 30$  مترمربع است، متوسط تغییرات مساحت در طبقه شوری‌های کم، متوسط و زیاد در طی این سال‌ها تخمین زده شد.

به دلیل این‌که شوری با تأخیری نسبت به بارندگی رخ می‌دهد، روند تغییرات نسبت مساحت طبقات شوری با روند میانگین بارندگی دو سال قبل از تاریخ تصویر، مورد مقایسه قرار گرفت و بدین منظور داده‌های بارندگی روزانه ایستگاه گرمسار از سال ۱۹۸۶ تا ۲۰۱۰ از سازمان هواشناسی کشور جمع‌آوری شد.

### نتایج و بحث

روابط رگرسیونی استخراج شده بین شاخص‌های شوری و هدایت الکتریکی خاک در جدول (۲) ارائه شده است. شاخص  $SI_4$  با مقدار ضریب همبستگی  $0.63$  نسبت به شاخص‌های دیگر بیشترین همبستگی و شاخص  $BI$  با مقدار ضریب همبستگی  $0.57$  کمترین همبستگی را با داده‌های زمینی دارد. Douaoui *et al.* (2006) ضریب همبستگی شوری خاک کمتر از هشت دسی‌زیمنس بر متر با شاخص‌های  $SI_1$ ،  $SI_2$ ،  $SI_3$  و شاخص روشنایی را به ترتیب  $0.5$ ،  $0.44$ ،  $0.49$  و  $0.31$  به دست آوردند و

شاخص  $NDVI$  مناطق که پوشش گیاهی دارند ( $NDVI > 0.15$ ) حذف شدند که تعدادی از نقاط اندازه‌گیری زمینی هم در این مناطق قرار گرفت. در مجموع، تعداد ۹۹ داده اندازه‌گیری شده

### 1. Normalized Difference Vegetation Index

میزان شوری خاک بر اساس طبقه‌بندی USDA به سه طبقه شوری کم ( $0-8$ )، شوری متوسط ( $8-16$ ) و شوری زیاد ( $16 <$ ) تقسیم شد. البته، در طبقه‌بندی USDA شوری دارای پنج طبقه است که در این پژوهش دو طبقه از آن تلفیق شد. با استفاده از معادلات رگرسیونی به دست آمده، برای هر مقدار شاخص شوری در هر پیکسل یک مقدار هدایت الکتریکی خاک محاسبه و بر اساس نسبت تعداد پیکسل‌هایی که در هر طبقه شوری قرار دارد، به تعداد کل پیکسل‌هایی که بدون پوشش گیاهی هستند، نسبت مساحت شوری در هر طبقه محاسبه شد.

بررسی روند شوری با استفاده از آزمون من کندال انجام شد. آزمون من کندال، آزمون نا پارامتری رتبه‌ای است که برای تعیین معنی‌دار بودن روند خطی و غیرخطی مناسب است. روند تغییر نسبت مساحت طبقه‌های شوری در دو دهه گذشته (سری زمانی شوری) و نقشه پهنه‌بندی تغییرات شوری در این دو دهه با استفاده از این آزمون با احتمال ۹۵ درصد به دست آمد. محاسبات مربوط به این آزمون بر روی شاخص‌های شوری در نرم‌افزار Matlab (Araghinejad, 2014) انجام شد. همچنین، بر اساس تغییرات تعداد پیکسل‌ها در این سال‌ها و اندازه تصاویر

تبيين استخراج‌شده برای شاخص‌های شوری و شوری اندازه‌گیری شده محدوده بالایی ندارند و ضریب تبیین به‌دست‌آمده در این پژوهش نیز مطابق با آن‌ها بوده است. روابط رگرسیونی استخراج‌شده در این پژوهش و پژوهش‌های پیشین برای بررسی روند تغییرات شوری مورد استفاده قرار گرفته و تعیین دقیق مقادیر شوری بر اساس آن‌ها انجام نشده است.

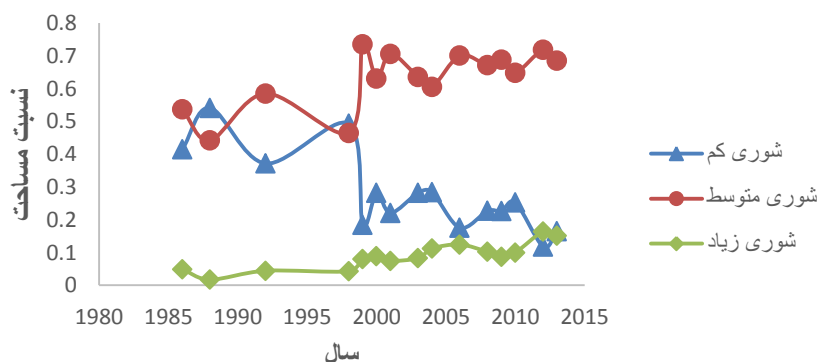
ضریب همبستگی بین شوری خاک بیشتر از هشت دسی‌زیمنس بر متر و شاخص‌های ارائه‌شده را به ترتیب ۰/۳۳، ۰/۳۵ و ۰/۲۸ گزارش نمودند. همچنین، ضریب همبستگی که نوروزی و همکاران در سال ۲۰۱۲ در مطالعه خود محاسبه کردند، به ترتیب ۰/۶، ۰/۶۴، ۰/۷۳ و ۰/۶ به دست آمد. به‌طورکلی، پژوهش‌های پیشین نشان می‌دهد، مقادیر ضریب

جدول ۲- معادلات رگرسیونی استخراج‌شده و ضریب همبستگی شاخص‌های شوری و داده‌های زمینی شوری خاک

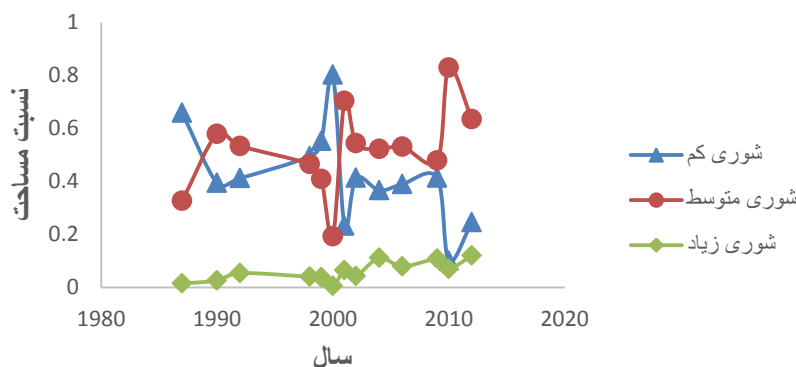
ضریب همبستگی	رابطه رگرسیونی	شاخص شوری
۰/۶۲	$EC = 121/91 \times SI_1 - 11/611$	SI1
۰/۵۹	$EC = 66/583 \times SI_2 - 20/43$	SI2
۰/۶۱	$EC = 83/775 \times SI_3 - 17/722$	SI3
۰/۶۳	$EC = 141/4 \times SI_4 - 20/758$	SI4
۰/۵۷	$EC = 76/611 \times BI - 20/1846$	BI

تعداد پیکسل در هر طبقه شوری نسبت به تعداد کل پیکسل‌ها، در طبقات شوری کم، شوری متوسط و شوری زیاد در انتهای هر دو کشت بهار و پاییزه در حدفاصل سال‌های مورد مطالعه با آزمون من کندانال تعیین که نتایج مربوط به آن‌ها در شکل‌های (۳) و (۴) ارائه شده است.

بر اساس شاخص شوری  $SI_4$  استخراج‌شده از تصاویر لندست در حدفاصل سال‌های ۱۹۸۶ تا ۲۰۱۳ و رابطه رگرسیونی مربوط به آن (جدول ۲) مقادیر شوری هر پیکسل محاسبه‌شده و مساحت هر طبقه شوری کم، متوسط و زیاد در هر سال در انتهای هر دو کشت بهار و پاییزه تعیین شد. سپس، تغییرات زمانی نسبت مساحت اراضی یا به عبارتی تغییرات



شکل ۳- تغییرات زمانی نسبت مساحت طبقات مختلف شوری در انتهای دوره کشت پاییزه



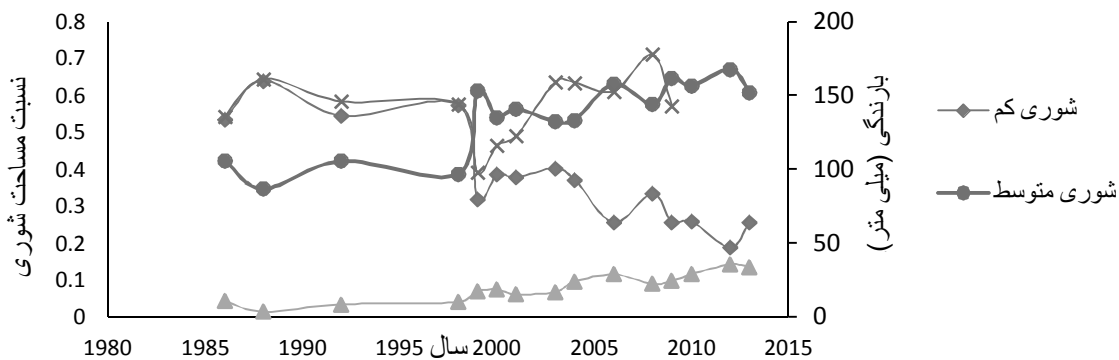
شکل ۴- تغییرات زمانی نسبت مساحت طبقات مختلف شوری در انتهای دوره کشت بهار

(مربوط به دو سال قبل از تاریخ هر تصویر) و تغییرات زمانی نسبت مساحت شوری در انتهای دوره کشت پاییزه و بهار در حدفاصل سال‌های ۱۹۸۶ تا ۲۰۱۳ مقایسه شده است. نتایج به‌دست‌آمده در شکل یادشده نشان می‌دهد که روند تغییرات شوری در انتهای دوره کشت پاییزه از روند تغییرات بارندگی دوساله قبل تبعیت می‌کند (شکل ۵-الف)، به‌طوری‌که با افزایش بارندگی، نسبت مساحت شوری کم روند افزایشی و با کاهش بارندگی نسبت مساحت شوری کم روند کاهش می‌دهد. روند کاهشی نسبت مساحت شوری کم، بیشتر از روند کاهشی بارندگی است که باعث شده طبقه شوری کم به‌طور کلی روند کاهشی داشته باشد. تغییرات شوری در انتهای دوره کشت بهار تا سال ۲۰۰۰ از بارندگی تبعیت کرده، ولی از آن سال به بعد با افزایش بارندگی، روند شوری در حال افزایش است. دلیل این امر می‌تواند کم بودن بارندگی و افزایش تأخیر در فصل بهار و تابستان باشد که منجر به استفاده از آب چاه باکیفیت پایین برای آبیاری می‌شود (شکل ۵-ب). در نتیجه در انتهای فصل کشت بهار نمک‌های حاصل از آب آبیاری در منطقه باقی‌مانده است.

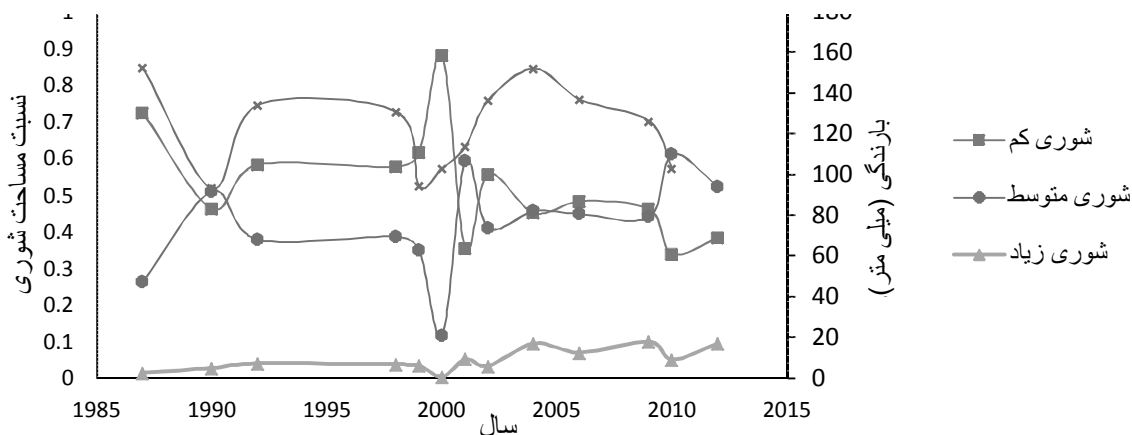
بر اساس آزمون من-کندال با احتمال ۹۵ درصد، روند تغییرات زمانی برای طبقه شوری کم در انتهای دوره کشت پاییزه به‌صورت کاهشی و برای طبقه شوری متوسط و شوری زیاد روند تغییرات شوری به‌صورت افزایشی به‌دست‌آمده است (شکل ۳). بررسی تغییرات زمانی شوری در انتهای دوره کشت بهار برای طبقه شوری کم روند کاهشی و برای طبقه شوری زیاد روند افزایشی را نشان داد و برای طبقه شوری متوسط روند مشخصی نشان نداد (احتمال ۹۵ درصد) (شکل ۴). نتایج به‌دست‌آمده نشان می‌دهد که تا سال ۱۹۹۹ بیشترین نسبت مساحت مربوط به طبقه شوری کم بوده و از سال ۲۰۰۰ به بعد بیشتر مناطقی که در طبقه شوری کم بوده‌اند، به طبقه شوری متوسط تبدیل شده‌اند که افزایش درجه شوری در طی این سال‌ها را نشان می‌دهد. از ۱۶ هزار هکتار مساحت اراضی مورد بررسی در این پژوهش، حدود ۶/۵ هزار هکتار از طبقه شوری کم کاهش یافته که در شکل ۶ این مناطق به رنگ مشکی هستند. حدود ۴/۵ هزار هکتار از طبقه شوری متوسط و دو هزار هکتار از طبقه شوری زیاد در طی این سال‌ها افزایش یافته است که در شکل ۶ این مناطق به رنگ سفید مشخص شده است.

در شکل (۵) تغییرات زمانی میانگین بارندگی دوساله

(الف)



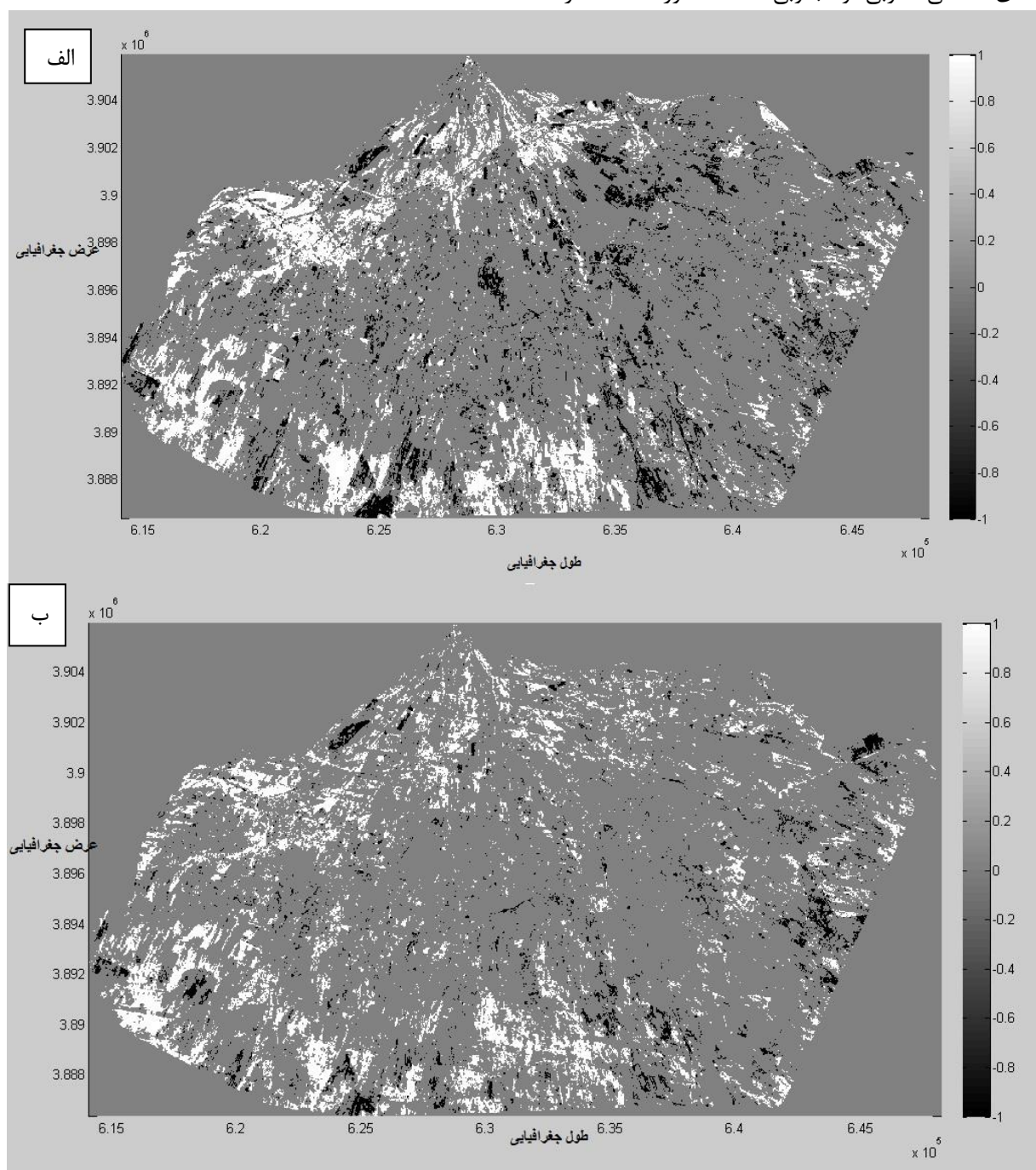
(ب)



شکل ۵- مقایسه تغییرات زمانی میانگین بارندگی دوساله و نسبت مساحت طبقات مختلف شوری انتهای کشت پاییزه (الف) و انتهای کشت بهار (ب)

معرض افزایش شوری و قسمت‌هایی از مرکز و شمال شرقی، در وضعیت کاهش روند شوری بوده‌اند تمام شاخص‌ها نتایج یکسانی برای روند تغییرات پیکسل‌ها داشتند و از آنجایی که شاخص  $SI_4$  دارای بیشترین همبستگی با مقدار شوری است، نقشه مربوط به آن شاخص ارائه شد. نتایج برای تصاویر بعد از کشت بهاره هم مانند بعد از کشت پاییزه است، با این تفاوت که برای مناطق کمتری روند مشخصی تعیین شد (شکل ۶). دلیل این امر تفاوت سطح کشت این فصل در سال‌های مختلف است.

پهنه‌بندی تغییرات شوری در طی زمان در شکل (۶) ارائه شده است. این پهنه‌بندی با تعیین روند تغییرات مقدار شاخص شوری برای هر پیکسل در طی سال‌های ۱۹۸۶ تا ۲۰۱۳ با آزمون من‌کنندال به دست آمده است. در این شکل مناطقی که در طی سال‌های مورد مطالعه در معرض افزایش شوری بودند به رنگ سفید، مناطقی که روند کاهشی داشتند به رنگ مشکی و مناطقی که روند مشخصی نداشتند به رنگ طوسی مشخص شده است. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که قسمت‌های شمالی، غربی و جنوبی منطقه مورد مطالعه در



شکل ۶- روند تغییرات مقدار شوری در هر پیکسل از تصویر لندست انتهای کشت پاییزه (الف) و انتهای کشت بهاره (ب)



معرف شوری خاک هستند، روند تغییرات شوری در حداقل سال‌های ۱۹۸۶ تا ۲۰۱۳ محاسبه شد. نتایج به‌دست‌آمده نشان داد مساحت مناطقی که در طبقه شوری کم قرار دارند، کاهش و آن‌هایی که در طبقه شوری متوسط و زیاد قرار دارند، افزایش یافته است. بر اساس تعداد و اندازه پیکسل‌ها به‌طور میانگین از ۱۶ هزار هکتار مساحت کل اراضی مورد بررسی، حدود ۶/۵ هزار هکتار اراضی واقع در طبقه شوری کم کاهش و ۴/۵ و دو هزار هکتار به ترتیب اراضی واقع در طبقه شوری متوسط و شوری زیاد در طی این سال‌ها در منطقه افزایش یافته است. نتایج نشان داد روند تغییرات شوری از روند تغییرات بارندگی دوساله قبل به‌ویژه در انتهای دوره کشت پاییزه تبعیت می‌کند و روند افزایشی شوری در طی سال‌های اخیر نسب به روند کاهش بارندگی بیشتر بوده است. پهنه‌بندی تغییرات زمانی شوری استخراج شده، مناطقی که در طی سال‌های مورد مطالعه در معرض افزایش شوری و کاهش شوری بوده‌اند را نشان داد.

### سپاسگزاری

بدین وسیله از شورای پژوهشی دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی دانشگاه تهران که از این طرح پژوهشی به شماره 322900/1/02

### REFERENCES

- Araghinejad, S. (2014). Data-Driven Modelong: Using MATLAB in Water Resources and Environmental Engineering, (PP.228-232), Springer, Netherland.
- Dehni, A. and Lounis, M. (2012). Remote sensing of salt-affected soils. *Journal of Remote Sensing Reviews*, 7(2), 241-259.
- Douaoui, A.E.K., Nicolas H. and Walter, C. (2006). Detecting salinity hazards within a semiarid context by means of combining soil and remote-sensing data. *Journal of Geoderma*, 134(2), 217-230.
- Driessen, P. M., and Schoorl, R. (1973). Mineralogy and morphology of saltefflorescences on saline soils in the Great Konya Basin, Turkey. *Journal of Soil Science*, 24, 436-442.
- Goldshleger, N., Bendor, E., Benyamini, Y., Agassi, M. and Blumberg, D. (2001). Characterization of soil's structural crust by spectral reflectance in the SWIR region. *Journal of Terra Nova*, 13(1), 12-17.
- Hong-wei, W., Yong-hong, F. and Tiyp, T. (2011). The research of soil salinization human impact based on remote sensing classification in oasis irrigation area, *Procedia Environmental Sciences*, 10(2), 2399-2405.
- Jabbar, M. and Zhou, J. (2012). Assessment of soil salinity risk on the agricultural area in Basrah Province, Iraq: Using remote sensing and GIS techniques. *Journal of Earth Science*, 6(2), 881-891.
- Jian-li, D. (2011). Study on soil salinization information in arid region using remote sensing technique. *Journal of Agricultural Sciences in China*, 10(3), 404-411.
- Masoudi, M. (2001). Investigate the potential of classified satellite imagery influenced by soil salinity and alkalinity, Grassland and desert of Iran, Research Institute of forests and rangelands (In Farsi).
- Metternicht, G.I. and Zinck, J.A. (2003). Remote sensing of soil salinity: potentials and constraints. *Journal of Remote Sensing of Environment*, 85(2), 1-20.
- Noroozi, A., Homae, M. and 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. *Journal of Environmental Science*, 9(1), 59-74.
- Shayan, S., Sharifikia, M. and Zare, G. (2011). Spatial analysis and assessment of geomorphic risk of salinity in Garmsar Fans. *Journal of Geographical Studies of Arid Zones*, 2(5), 47-58. (In Farsi)
- Yu, R., Liu, T., Xu, Y., Zhu, C., Zhang, Q., Qu, Z., Liu, X. and Li, C. (2010). Analysis of salinization dynamics by remote sensing in Hetao Irrigation District of North China. *Journal of Agricultural Water Management*, 97(2) 1952-1960.

عوامل مختلفی مانند عوامل اقلیمی، فیزیکی، فنی و مدیریتی بر افزایش شوری در این منطقه تأثیر داشته‌اند. با توجه به این که عوامل اقلیمی و فیزیکی قابل تغییر نیستند و جز خصوصیات منطقه به حساب می‌آیند، لازم است عوامل فنی و مدیریتی را بر اساس این خصوصیات بهبود داد. از مقایسه نقشه پهنه‌بندی تغییرات زمانی شوری دشت گرمسار (شکل ۶) با نقشه توزیع کانال‌های بتنی شبکه آبیاری گرمسار (شکل ۱) می‌توان استنتاج کرد مناطقی که تراکم کانال‌های آبیاری زیادی دارند، در شکل (۶) به رنگ مشکی هستند و روند شوری در آن‌ها کاهش یافته است. همچنین، مناطقی که تراکم کانال کمی دارند به رنگ سفید هستند و روند شوری در آن‌ها افزایش یافته است. بر اساس این مقایسه چنانچه کانال‌های بتنی در منطقه بیشتر شوند و آب آبیاری ورودی به شبکه با حفظ کیفیت اولیه خود توزیع شود، می‌توان کاهش روند شوری در سال‌های آینده را در نظر داشت. البته کیفیت آب ورودی به این منطقه بستگی به مدیریت بالادست منطقه خواهد داشت و مدیریت باید به‌گونه‌ای باشد تا آب ورودی کیفیت خود را در آینده از دست ندهد.

### نتیجه‌گیری

در این پژوهش، با استفاده از داده‌های زمینی شوری خاک و شاخص‌های شوری مستخرج از تصاویر ماهواره لندست که