

Evaluation and validation of salinity monitoring indices in the Qazvin plain

Mohadese Sadat Fakhar¹, Bijan Nazari²

¹M.Sc. Student, Department of Water Engineering, Faculty of Agricultural and Natural Resources, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran

²Associate Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agricultural and Natural Resources, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran

Abstract

Introduction

Soil salinity is the predominant soil degradation process in arid and semi-arid regions. There are several methods for monitoring salinity, which are mainly measured as points, which will be difficult to generalize to the whole region. In recent years, remote sensing-based methods for measuring salinity have been widely considered. Soil salinity has led to the limitation of agricultural land use patterns. This is a serious environmental hazard that affects the growth of many crops.

Materials and Methods

After selecting the study area on satellite images and ground visits, a cluster-cinematic sampling network was designed and implemented for surface soil sampling. In this study, pH, EC, SAR and TDS were measured. In this study, in order to use the remote sensing technique to study the temporal and spatial changes of vegetation density in the region, ground data and ETM+ images of Landsat 7 satellite and MODIS images have been used. Pre-processing operations including geometric, radiometric and co-ordination corrections were performed on each of the satellite images. In the next step, the desired vegetation indices, after calculation, are applied to the satellite images and thus the vegetation density pattern map is obtained based on each of these indices. Then 8 different salinity and vegetation indices were studied during the years 2005 to 2021.

Results and Discussion

The results of this study showed that LANDSAT-7-ETM + sensor has been able to produce better results due to better spatial resolution than MODIS sensor. Also, among the salinity indices studied, SI3 index in both ETM + and MODIS sensors with RMSE (1.01 and 1.1) and correlation coefficient R (0.98 and 0.86) was able to have the best performance in Have an area. In the study between EC and SAR, both sensors had a high correlation between red and infrared bands.

Conclusion

In a general summary, by examining the information of the synoptic station of the plain, parameters such as temperature and amount of precipitation in the studied period show that by increasing the average temperature and decreasing the amount of precipitation in the region, the surface temperature increases during the year. Recent causes of drought and significant effects of climate change on the prevailing environmental conditions, which in turn will increase the breadth of salinity in the verse.

Keywords: Soil salinity, electrical conductivity, sodium absorption ratio, remote sensing, MODIS and LANDSAT ETM +

Article Type: Research Article

*Corresponding Author, E-mail: fakhar.mohadese95@gmail.com

Citation: Fakher, M.S., & Nazari, B. (2022). Evaluation and validation of salinity monitoring indices in the Qazvin plain. *Water and Soil Management and Modeling*, 2(3), 40-51.

DOI: 10.22098/mmws.2022.10142.1077

DOR: 20.1001.1.27832546.1401.2.3.4.3

Received: 14 January 2022, Received in revised form: 06 February 2022, Accepted: 13 February 2022, Published online: 28 May 2022

Water and Soil Management and Modeling, Year 2022, Vol.2, No. 3, pp. 40-51

Publisher: University of Mohaghegh Ardabili

© Author(s)





ارزیابی و صحت‌سنجی شاخص‌های پایش شوری در دشت قزوین

محدثه السادات فخار^۱، بیژن نظری^۲

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران
^۲ دانشیار، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران

چکیده

شور شدن خاک فرآیند غالب تخریب خاک در مناطق خشک و نیمه‌خشک است. روش‌های مختلفی به‌منظور پایش شوری وجود دارد که در اکثر این روش‌ها مقدار شوری عمدتاً به‌صورت نقطه‌ای اندازه‌گیری می‌شود؛ بنابراین، تعمیم آن برای یک منطقه با وسعت زیاد دشوار خواهد بود. سال‌های اخیر روش‌های مبتنی بر سنجش از دور به‌منظور تهیه نقشه شوری در محدوده وسیع مورد توجه قرار گرفته است. سنجش از دور با قابلیت پوشش وسیع و متناوب به‌عنوان ابزاری دقیق در پایش زمین و تغییرات محیطی است. در این پژوهش با استفاده از قابلیت داده‌های سنجنده MODIS و LANDSAT-ETM+ به بررسی ۸ شاخص مختلف شوری و گیاهی طی سال‌های ۱۳۸۴ تا ۱۴۰۰ در دشت قزوین و به‌خصوص منطقه شوره‌زار پرداخته شد. نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد سنجنده LANDSAT-7-ETM+ به دلیل قدرت تفکیک مکانی بهتر نسبت به سنجنده MODIS توانسته است نتایج بهتری را ایجاد کند. همچنین از بین شاخص‌های شوری بررسی‌شده شاخص SI_3 در هر دو سنجنده ETM+ و MODIS با مقدار $RMSE (0.1)$ و $R (0.98)$ و $R (0.86)$ توانسته است نتایج بهتری همراه با دقت بیشتری را در منطقه مورد مطالعه ایجاد نماید. همچنین در بررسی بین میزان EC و SAR هر دو سنجنده همبستگی بالایی بین باندهای قرمز و مادون قرمز داشته است. در یک جمع‌بندی کلی با بررسی اطلاعات ایستگاه سینوپتیک منطقه پارامترهایی همچون دما و مقدار بارش در بازه زمانی مورد مطالعه نشان از این دارد که با افزایش میانگین دما و کاهش مقدار بارش در منطقه سبب افزایش دمای سطح زمین در طی سال‌های اخیر شده که این عامل می‌تواند هشدار برای بروز خشک‌سالی باشد و علاوه بر اثرات اقلیمی، برداشت بی‌رویه منابع آب سطحی و زیرزمینی نیز به تشدید خشکی و نهایتاً تشدید شوری در منطقه منجر خواهد شد.

واژه‌های کلیدی: شوری خاک، هدایت الکتریکی، نسبت جذب سدیم، سنجش از دور، MODIS و LANDSAT ETM+

نوع مقاله: پژوهشی

*مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: fakhar.mohadese95@gmail.com

استناد: فخار، م.س.، و نظری، ب. (۱۴۰۱). ارزیابی و صحت‌سنجی شاخص‌های پایش شوری در دشت قزوین. مدل‌سازی و مدیریت آب و خاک، ۲(۳)، ۵۱-۴۰.

DOI: 10.22098/mmws.2022.10142.1077
DOR: 20.1001.1.27832546.1401.2.3.4.3

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۰/۲۴، تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۱۱/۱۷، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۱/۲۴، تاریخ انتشار: ۱۴۰۱/۰۳/۰۷

مدل‌سازی و مدیریت آب و خاک، سال ۱۴۰۱، دوره ۲، شماره ۳، صفحه ۴۰ تا ۵۱

© نویسندگان

ناشر: دانشگاه محقق اردبیلی



۱- مقدمه

دهه اخیر، برای مطالعه شوری خاک از تصاویر سنجش از دور استفاده می‌شود که علت آن، توانایی زیاد این تصاویر در کشف تغییرات است (Matinfar et al., 2013). استفاده از تصاویر راداری برای تشخیص خاک‌های در معرض شوری، حوزه نویدبخش جدیدی در سنجش از دور است که اصول بنیادی آن متکی بر رابطه بین مقدار نمک موجود در خاک، محتوای رطوبتی خاک و ویژگی‌های هدایت الکتریکی این ترکیب است (del Valle et al., 2009). تغییرات میزان رطوبت خاک به شدت داده‌های باند c را تحت تأثیر قرار می‌دهد، به‌ویژه برای مقادیر زیاد در مواردی که پوشش گیاهی تنک و کم‌پشت است (Notarnicola et al., 2006). همچنین باندهای با فرکانس کمتر (طول موج بیشتر) قابلیت نفوذ بیشتری دارد که در نتیجه می‌تواند هم شوری و هم رطوبت خاک را تشخیص دهد (Shao et al., 2003). تهیه نقشه شوری خاک با استفاده از سنجش از دور در بعضی استان‌های خشک و نیمه‌خشک کشور از جمله خراسان، بوشهر، کاشان، یزد و انجام گرفته شده است نتایج این مطالعات نشان می‌دهد که با استفاده از تکنیک سنجش از دور مقدار شوری، الگوی زمانی و مکانی و مقدار پهنه‌بندی صورت گرفته به‌طور کامل مشخص بوده است. با استفاده از حس‌گرهای با وضوح مکانی مختلف، مانند Landsat، MODIS یا Worldview، شوری خاک به ترتیب برای مقیاس جهانی، منطقه‌ای یا محلی مدل‌سازی و نقشه‌برداری می‌شود (Dadrasi et al., 2009). در پژوهشی (Tajgardan et al., 2006) نیز با استفاده از تصاویر لندست ETM⁺ نقشه شوری منطقه آق‌قلا را بر اساس مدل رگرسیونی تهیه نمودند (Valipour et al., 2009). روند توسعه شوری و تخریب اراضی کشاورزی در منطقه شمس‌آباد استان قم را با بهره‌گیری از عکس‌های هوایی و تصاویر ماهواره‌ای، بازدیدهای صحرایی و بررسی نمونه‌های پروفیل خاک مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج به‌دست آمده نشان داد که طی ۴۷ سال گذشته، وسعت اراضی کشاورزی در منطقه حدود ۹/۵ برابر افزایش یافته که افزایش برداشت آب از منابع زیرزمینی را به همراه داشته و موجب افت سطح آب این ناحیه و نهایتاً افزایش شوری شده است. در پژوهشی دیگر (Scudiero et al., 2015) برای ارزیابی شوری خاک در مقیاس منطقه‌ای در کالیفرنیا، از سنجنده Landsat ETM⁺ استفاده کرد نتایج نشان داد به‌طور کلی استفاده از سنجش از دور می‌تواند نتایج منطقی را ایجاد نماید. در تحقیقی (Asfaw et al., 2018) با استفاده از مدل‌سازی و نمونه‌برداری از شوری خاک در مزرعه کشت نیشکر اتیوپی واقع در کشور آفریقا مقدار شوری خاک را مورد بررسی قرار دادند، آن‌ها نتایج حاصل از مقدار شوری اندازه‌گیری شده در مزرعه را با نتایج به‌دست‌آمده از تصاویر Landsat مورد ارزیابی

منابع خاک برای زندگی روی زمین اساسی بوده و در توسعه پایدار بسیار مهم هستند. خاک با مسائل جهانی مانند امنیت غذایی و آب، حفاظت از تنوع زیستی، خدمات اکوسیستم زمینی، تنظیم آب‌وهوا و بهداشت انسان ارتباط حیاتی دارد (McBratney et al., 2014). متأسفانه، شوری خاک این جنبه‌ها را به‌طور جدی تهدید کرده است (Daliakopoulos et al., 2016). شوری به دلیل زیاد بودن تبخیر از سطح خاک، بارندگی کم، پستی و بلندی‌های سطح زمین باعث به وجود آمدن شوره‌زارهای زیادی شده است (Mandal and Neenu, 2012). شور شدن خاک می‌تواند نتیجه ترکیبی از عواملی همچون: رشد جمعیت، فشار اقتصادی برای تولید بیشتر مواد غذایی و تأثیر تغییرات آب و هوایی باشد (Dagar et al., 2016). بنابراین، می‌تواند به عوامل مختلفی همچون مدیریت کشاورزی به‌ویژه کیفیت آب آبیاری، نوع محصول، کیفیت خاک و شرایط نفوذپذیری، میزان کود دهی، عمق سطح آب، کیفیت آب زیرزمینی مرتبط باشد (Korolyuk, 2015; Meimei and Ping, 2011). تغییرات آب و هوایی یکی دیگر از پدیده‌های مهم و شدید شور شدن خاک در طی این نیم‌قرن اخیر است (Gorji et al., 2019; Mandal and Neenu, 2012). نفوذ شوری بر فعالیت‌های کشاورزی در بسیاری از نقاط جهان تأثیر می‌گذارد (Shammi et al., 2019; Suarez, 1989) از لحاظ تاریخی، پدیده شوری خاک در سطح زمین، از زمان سومری در دشت‌های بین‌النهرین (عراق واقعی) از ۵۰۰۰ سال پیش مشاهده شده است (Bannari and Al-Ali, 2018; Shahid et al., 2020). تاریخچه شور شدن زمین‌های کشاورزی بین‌النهرین باستان، حدود ۳۵۰۰ سال قبل از میلاد، توسط Adams و Jacobson به‌خوبی برجسته شده است (Jacobsen and Adams, 1958). این پدیده در سطح جهان در مناطق مختلف با آب‌وهوای متفاوت متغیر است (Jacobsen and Adams, 1958). شوری خاک منجر به محدود کردن الگوی استفاده از زمین‌های کشاورزی شده است. این یک خطر جدی زیست‌محیطی است که بر رشد بسیاری از محصولات تأثیر می‌گذارد. مناطق تحت تأثیر شوری به‌طور متوسط ۲۰٪ از زمین‌های آبیاری شده جهان را نشان می‌دهد، در حالی که این رقم در کشورهای خشک و نیمه‌خشک به بیش از ۳۰٪ افزایش می‌یابد (Nwer et al., 2013). به‌طور کلی، استفاده از روش‌های آزمایشگاهی برای اندازه‌گیری شوری، زمان بر و پرهزینه است (Akramkhanov et al., 2011). همچنین به علت زیاد بودن تغییرات مکانی شوری خاک بهتر است برای تعیین و پایش خاک‌های شور از روش‌های زمین‌آماری و داده‌های سنجش از دور استفاده کرد (Nawar et al., 2015). در چند

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه دشت قزوین است که در محدوده عرض جغرافیایی $35^{\circ}43'6.0''N$ تا $36^{\circ}23'46.8''N$ و طول جغرافیایی $49^{\circ}25'10.0''E$ تا $50^{\circ}38'11.4''E$ و در دامنه جنوبی رشته‌کوه‌های البرز واقع شده است. این دشت با مساحت 506218 هکتار محدوده‌ی مرکزی و شرق استان را تشکیل می‌دهد که شیب آن از شمال غرب به جنوب شرق امتداد دارد. مطابق با نقشه DEM (STRM) پایین‌ترین و بالاترین نقاط ارتفاعی استان به ترتیب برابر با 245 و 2750 متر است که میانگین ارتفاع از سطح دریا برابر با 1290 متر در نظر گرفته می‌شود. از نظر آب و هوایی منطقه مورد مطالعه در اقلیم سرد و نیمه‌خشک قرار می‌گیرد که متوسط بارش سالیانه در منطقه تقریباً 310 میلی‌متر است (Hedayati and Kakavand, 2012). دشت قزوین یکی از مهم‌ترین دشت‌های کشاورزی در کشور محسوب می‌شود، به همین دلیل برای هدف این پژوهش انتخاب شده است.

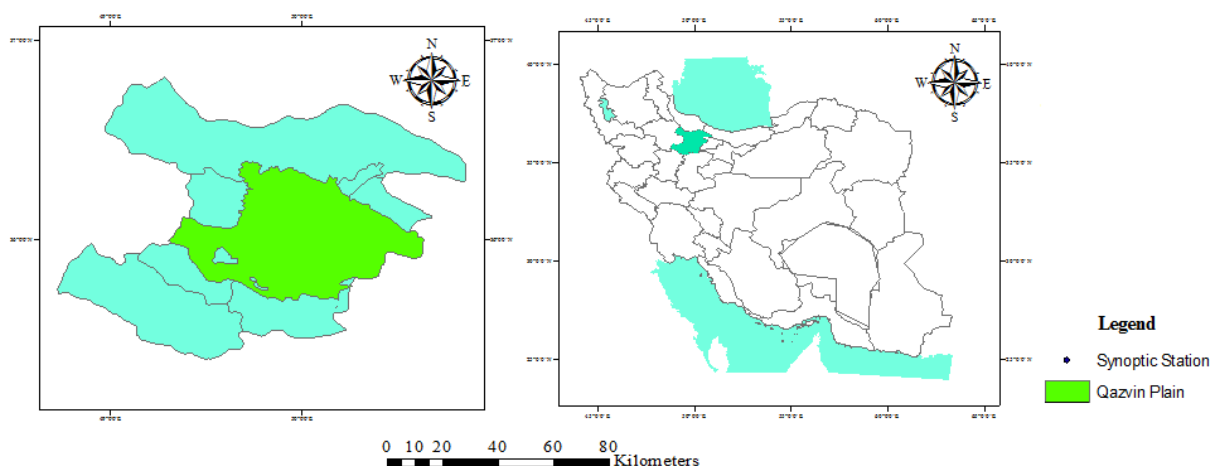
حوضه آبریز شور (واقع در حوضه بزرگ دریاچه نمک) حدود 73% از دشت قزوین را شامل می‌شود و بخش قابل توجهی از آن را مارن‌های میوسن (با بین لایه‌های تخییری) دربر گرفته است. مهم‌ترین رودخانه این حوضه رودخانه خررود است که کیفیت آب آن در برخی بازه‌ها مطلوب نیست به نحوی که از نظر میزان شوری، آب‌های این حوضه از نوع کم شور تا بسیار شور هستند. برطرف کردن اثر موادی که افت کیفی آب را موجب می‌شود اغلب بسیار هزینه‌بر است و برای مقابله با آن راهکارهایی باید اندیشیده شود (Samanabrah, 2010). شوری این اراضی بسیار زیاد بوده و حداکثر مقدار آن نیز 280 دسی‌زیمنس بر متر (۷-۸ برابر شوری آب خلیج فارس) است. مقدار زیاد شوری در منطقه بیانگر لزوم ارائه راهکارهای مناسب برای جلوگیری از پیشروی شوره‌زار است. یکی از این راهکارهای ارائه‌شده، ایجاد تعادل بین تغذیه و تخلیه از منابع آبی دشت بود. به عبارتی، ابتدا باید تغذیه افزایش و تخلیه کاهش یابد تا تعادل ایجاد شود و پس‌از آن راهی برای پایداری این تعادل انتخاب کرد. به همین منظور زهکش حائل در منطقه احداث گردید.

۲-۲- داده‌های زمینی و ارزیابی شاخص‌های مختلف

پس از انتخاب منطقه مورد مطالعه بر روی تصاویر ماهواره‌ای و بازدید زمینی، برای نمونه‌گیری از خاک سطحی یک شبکه نمونه‌برداری خوشه‌ای سینماتیک طراحی و پیاده‌سازی شد. در این پژوهش از 16 نمونه با مختصات جغرافیایی مشخص استفاده شد سپس مقدار pH، EC، SAR و TDS با استفاده از ابزار موجود در آزمایشگاه همچون EC سنج و PH متر و غیره برای

قراردادند که نتایج به‌دست آمده از مقایسه آن‌ها نشان از همبستگی بالای 78 درصد را بیان می‌کند. در پژوهشی دیگر (Khan et al., 2005) در منطقه‌ای در پاکستان از شاخص NSDI برای سنجش شوری خاک‌ها استفاده کردند آن‌ها با استفاده از منابع مختلف که روی گیاهان و نمک‌های معدنی کار شده بود چندین شاخص که بیشترین کارایی را در تشخیص شوری داشتند انتخاب و مورد ارزیابی قرار داده شد که نتایج به‌دست آمده نشان از دقت بالای استفاده از این شاخص‌ها در برآورد مقدار شوری منطقه بوده است. در پژوهشی (Afsharinia and Panahi, 2021) در طی بازه زمانی شش سال با استفاده از شاخص شوری خاک (SI) و تصاویر ETM^+ به بررسی نقش خشک‌سالی در تشدید شوری پرداختند. در پژوهشی دیگر که (Uossef Gomrokchi et al., 2020) در محدوده زهکش حائل شوره‌زار قزوین با استفاده از داده‌های سنجش از دور چند طیفی انجام دادند مشخص گردید، که احداث این زهکش در شوره‌زار مرکزی تأثیری در روند تغییرات شوری خاک و پوشش گیاهی منطقه نداشته است؛ به‌گونه‌ای که هیچ‌یک از یازده شاخص استخراج‌شده از تصاویر ماهواره‌ای، تغییرات معناداری در دوره پیش و پس از احداث زهکش حائل از خود نشان نداد، به عبارتی شوری خاک و درصد پوشش گیاهی در محدوده شوره‌زار مرکزی دشت قزوین در طی یک دوره 15 ساله تغییرات محسوسی نداشته و این بدان معنی است که احداث زهکش به دلیل وسعت زیاد شوره‌زار، تأثیر محسوسی در محدوده شوره‌زار مرکزی دشت قزوین نداشته است؛ اما با توجه به خشک بودن منطقه و کمبود بارندگی و همچنین بروز خشک‌سالی فراگیر در آن، میزان آب شیرین برای آبشویی طبیعی زمین‌های اطراف زهکش محدود بوده و زهکش حائل، با ایجاد شیب هیدرولیکی، شدت جریان آب زیرزمینی را افزایش داده و باعث کاهش شوری خاک و تقویت پوشش گیاهی در محدوده تحت تأثیر زهکش حائل شده است.

در این پژوهش با به‌کارگیری تکنیک سنجش از دور با هدف دستیابی به داده‌های ارزشمندی از مقدار شوری سعی در بررسی روند تغییرات در سطح دشت قزوین در طی بازه زمانی مشخص با کمترین مقدار هزینه و زمان شد. با توجه به اینکه قسمتی از دشت قزوین را شوره‌زار تشکیل می‌دهد هدف اصلی از انجام این پژوهش بررسی شاخص‌های مختلف شوری و گیاهی به‌منظور یافتن روشی مناسب برای تعیین و بررسی شاخص شوری خاک در دشت قزوین است که بتواند گام بزرگی در راستای پایش اراضی منطقه و آگاه‌سازی از تغییرات اقلیمی و بروز خشک‌سالی برداشته شود.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی دشت قزوین و محدوده مورد مطالعه

Figure 1-Geographical location of Qazvin plain and the studied area

جدول ۱- فهرست تصاویر بدون ابر و برف مورد بررسی در

هر سنجنده

Table 1- List of cloudless and snowless images examined on each sensor

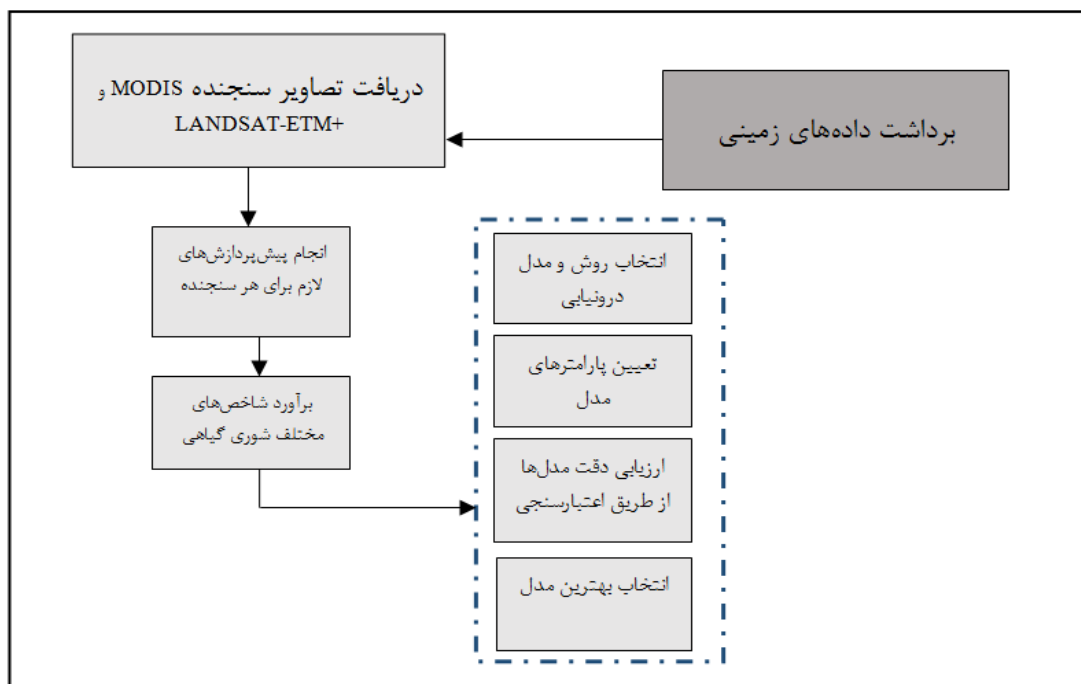
MODIS	Landsat-7-ETM+
2005/06/12	2005/06/05
2006/06/19	2006/06/08
2007/06/20	2007/06/11
2008/06/11	2008/06/29
2009/06/18	2009/06/16
2010/06/10	2010/06/19
2011/06/11	2011/05/21
2012/06/12	2012/06/24
2013/06/20	2013/05/26
2014/06/09	2014/06/24
2015/06/21	2015/06/17
2016/06/16	2016/06/03
2017/06/17	2017/06/06
2018/05/24	2018/06/09
2019/06/20	2019/05/27
2020/06/17	2020/06/14
2021/06/09	2021/06/17

به منظور پردازش و پیش‌پردازش تصاویر ماهواره‌ای و استخراج شاخص‌های مورد نظر از نرم‌افزار ENVI 5.3 استفاده شد. در این گام با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS نسخه ۸-۱۰ و روش تجزیه و تحلیل مؤلفه‌های اصلی و نسبت‌گیری، اقدام به ساخت تصاویر جدید از ۸ باند Landsat-7 و MODIS مربوط به سال‌های ۲۰۰۵ تا ۲۰۲۱ تحت عنوان شاخص‌های $SI_1, SI_2, SI_3, BI, NDSI, NDVI$ و SAVI شد که روابط مربوط به شاخص‌ها در جدول ۲ نشان داده شده است. در این پژوهش سعی شد از شاخص‌های مختلف شوری به منظور بررسی دقیق‌تر میزان شوری و همچنین ارتباط میزان شوری با پوشش گیاهی مورد بررسی قرار گیرد. با توجه به جدول (۲) در این پژوهش از پنج شاخص شوری، دو شاخص مرتبط با پوشش گیاهی و شاخص روشنایی استفاده شد.

هر نمونه به صورت کاملاً دقیق اندازه‌گیری شد.

پس از بررسی مقادیر اندازه‌گیری شده، روزهای بدون ابر و برف در بازه زمانی ۱۶ سال مشخص گردید در این مطالعه به منظور استفاده از فن‌سنجش از دور در بررسی تغییرات زمانی و مکانی تراکم پوشش گیاهی و شوری خاک منطقه، از داده‌های زمینی ۱۶ نقطه و تصاویر ETM+ سنجنده Landsat و تصاویر MODIS استفاده شده است. با توجه به اینکه ساعت برداشت تصاویر در هر سنجنده متفاوت است سعی شد از داده‌های هواشناسی همخوان با تصاویر استفاده گردد و همچنین تصاویری که کمترین اختلاف زمانی با داده‌های زمینی دارد استفاده شود. به همین منظور از تصاویری بدون ابر در این پژوهش استفاده شد.

در ابتدا عملیات‌های پیش‌پردازش شامل تصحیحات هندسی، رادیومتریک و هم‌مختصات‌سازی بر روی هر یک از تصاویر ماهواره‌ای انجام شد. در مرحله بعد شاخص‌های پوشش گیاهی مورد نظر پس از محاسبه، بر روی تصاویر ماهواره‌ای اعمال شده و به این ترتیب نقشه الگوی تراکم پوشش گیاهی بر اساس هر یک از این شاخص‌ها به دست می‌آید. در ادامه به منظور بررسی وضعیت شوری منطقه و نحوه تأثیرگذاری آن بر روند تغییرات پوشش گیاهی، از شاخص شوری خاک مبتنی بر تحلیل اطلاعات ماهواره‌ای استفاده شده است. همچنین، با توجه به پایش منابع آب‌و خاک شورزار مرکزی دشت قزوین، از اطلاعات مکانی پایش شده نیز به منظور مقایسه با نتایج حاصل از تصاویر ماهواره‌ای بهره گرفته شده است. در این پژوهش، از تصاویر ماهواره‌ای و مادیس در محدوده دشت قزوین در طی سال ۲۰۰۵ تا ۲۰۲۱ استفاده شد. در شکل (۲) نمایی از روند جریانی مراحل درونیابی شوری خاک نشان داده شده است.



شکل ۲- نمودار جریان‌ی مراحل تعیین بهترین مدل درونیایی شده شوری خاک

Figure 2 - Flowchart of steps to determine the best interpolated model of soil salinity

بالتر آن نشانگر پوشش گیاهی متراکم‌تر و شاداب‌تر است (Rafii et al., 2012)

۲-۳-۲- شاخص SAVI

در مناطق با پوشش گیاهی نامتراکم بازتابش نور در طیف قرمز و مادون قرمز نزدیک از سطح خاک، می‌تواند مقدار شاخص NDVI را تحت تأثیر قرار دهد SAVI یا شاخص تعدیل خاک پوشش گیاهی به‌عنوان اصلاح‌کننده شاخص NDVI در مناطق با پوشش گیاهی تنک توسعه داده شده است. از اهداف این شاخص می‌توان به حداقل رساندن اثرات خاک در پس‌زمینه بر روی سیگنال‌های گیاهی به‌وسیله ترکیب کردن فاکتور تنظیم‌کننده خاک (L) با مخرج معادله NDVI است (Alavi Panah, 2011). از دیگر دلایل استفاده از این شاخص این است که خطوط همپوشش گیاهی موازی نیستند و این‌که به‌طور کامل یک نقطه را پوشش نمی‌دهند شاخص پوشش گیاهی با انعکاس خاک، یک شاخص عالی برای محیط‌های با پوشش کم است.

۲-۴- شاخص‌های آماری

با هدف مقایسه بین اطلاعات استخراجی از باندهای اصلی و شاخص‌ها به همراه اطلاعات مربوط به شوری نمونه‌ها، تجزیه و تحلیل آماری انجام شد. از جمله ارزیابی میزان دقت، شامل ریشه دوم میانگین مربعات خطا (RMSE)، میانگین مطلق خطا (MAE)، میانگین اریب خطا (MBE) صورت گرفت و در نهایت

جدول ۲- شاخص‌های مورد استفاده در این پژوهش

Table 2 - Indicators used in this research

شماره	شاخص	معادله
1	SI ¹	$\sqrt{R \times NIR}$
2	SI ₁	$\sqrt{G \times R}$
3	SI ₂	$\sqrt{\frac{G^2 + R^2}{(NIR)^2}}$
4	SI ₃	$\sqrt{G^2 + R^2}$
5	NDSI ²	$\frac{R - NIR}{R + NIR}$
6	BI ³	$\sqrt{\frac{(R)^2 + (NIR)^2}{2}}$
7	NDVI ⁴	$\frac{NIR - R}{NIR + R}$
8	SAVI ⁵	$\frac{(NIR - R) / (NIR + R) + L}{1 + L}$

۲-۳-۲- شاخص‌های مشترک در بررسی دقیق‌تر شوری خاک

۲-۳-۱- شاخص NDVI

یکی از پرکاربردترین شاخص‌ها به‌منظور پایش تغییرات پوشش گیاهی است (Abdolalizadeh et al., 2020) که از طریق نوبت‌گیری باندهای قرمز و مادون قرمز نزدیک به‌دست می‌آید. واکنش به اعمال فتوسنتزی را به‌خوبی نمایش می‌دهد که ارزش

¹Salinity Index

²Normalized Different Salinity Index

³Brightness Index

⁴Normalized Different Vegetation Index

⁵SoilAdjusted Vegetation Index

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (z^* \times (x_i) - z(x_i))^2}{n}} \quad (1)$$

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |z^*(X_i) - z(X_i)| \quad (2)$$

$$MBE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (z^*(X_i) - z(X_i)) \quad (3)$$

$$r = \frac{[\sum (z - \bar{z})(z^* - \bar{z}^*)]^2}{\sqrt{\sum (z - \bar{z})^2 \sum (z^* - \bar{z}^*)^2}} \quad (4)$$

۳- نتایج و بحث

پس از اعمال شاخص‌های شوری به بررسی نتایج حاصل از این شاخص‌ها پرداخته می‌شود با توجه به اینکه در این پژوهش از دو سنجنده استفاده شده است، لذا در ابتدا به بررسی و ارتباط بین باندها و میزان همبستگی هر یک از آن‌ها با مقادیر EC، SAR پرداخته می‌شود.

ارزش پیکسلی داده در هر نقطه به تمام سطح منطقه مورد مطالعه تعمیم داده شد و نتایج ارزش پیکسل هر شاخص به صورت خروجی تصویر مشخص شد؛ که در این رابطه‌ها n تعداد نقاط، $z^*(X_i)$ مقدار برآورد شده شوری خاک، $z(x_i)$ مقدار اندازه‌گیری شده شوری خاک در نقطه معلوم است. صحت مدل با مقدار MAE تعیین می‌شود که مقدار صفر آن نشان‌دهنده صحت صد درصد است و هر قدر مقدار آن از صفر فاصله داشته باشد، حاکی از کم شدن صحت مدل است. معیار ارزیابی MBE بیانگر میانگین انحراف است. این معیار علاوه بر دارا بودن علامت مثبت (بیش برآوردی مدل) و یا منفی (کم برآوردی مدل) مقدار انحراف از مقادیر مشاهده شده را نشان می‌دهد. MBE برابر با صفر نشان می‌دهد که برآورد مدل خوب خواهد بود و هیچ‌گونه انحرافی وجود ندارد.

جدول ۳- نتایج آزمون همبستگی EC و SAR اندازه‌گیری شده با باند تصاویر سنجنده‌های MODIS و ETM+

Table 3 - Results of EC and SAR correlation test measured with MODIS and ETM + sensor image band

	BAND	B1	B2	B3	B4	B5	B7
LANDSAT-ETM+	EC	0.449	0.571	0.572	0.623	0.673	0.671
	SAR	0.426	0.424	0.502	0.656	0.660	0.677
	BAND	B1	B2	B3	B4	B31	-
MODIS	EC	0.661	0.709	0.241	0.580	0.591	-
	SAR	0.664	0.756	0.321	0.405	0.635	-

مناطق دیگر گزارش شده باشد. بنابراین، می‌توان به این نتیجه رسید که در مناطق مختلف، با درجات مختلف شوری و نسبت‌های متنوع از نمک‌ها، شرایط اقلیمی مختلف جغرافیایی و زمین‌شناسی، باندهای مختلفی می‌تواند تغییرات شوری خاک‌های آن منطقه را توصیف کند.

ارزیابی شاخص‌ها در هر دو سنجنده نشان داد که RMSE سه شاخص SI_1 ، SI_2 و SI_3 نسبت به بقیه شاخص‌ها دقت بالاتری را نشان داده‌اند؛ به طوری که مقدار ضریب همبستگی در این سه شاخص از مقدار بیشتری برخوردار است؛ و از این بین شاخص SI_3 با توجه به RMSE کمتر در هر دو سنجنده ETM+ LANDSAT و MODIS به ترتیب با مقدار (۰/۱) و (۰/۹۸) نسبت به شاخص‌های دیگر مناسب‌تر بود. همچنین میانگین اریب خطا نشان می‌دهد در شاخص‌های SI_1 ، SI_2 و SI_3 در هر دو سنجنده مورد بررسی میزان برآورد کمتر از مقدار واقعی و برای شاخص‌های NDSI، SI_3 ، BI و SAVI میزان برآورد بیشتر از مقدار واقعی است. به‌طور کلی سنجنده ETM+ توانسته است برآورد نزدیک‌تر و دقیق‌تری را نسبت به سنجنده MODIS داشته باشد که یکی از دلایل این امر می‌تواند تفکیک مکانی بالا

همان‌طور که در جدول (۳) نیز قابل ملاحظه است به بررسی و میزان همبستگی هر یک از باندهای سنجنده‌ها پرداخته شد با توجه به اینکه هر سنجنده از باندهای مختلفی تشکیل شده است به همین منظور به مقایسه هر یک از این موارد پرداخته می‌شود سنجنده MODIS شامل ۳۱ باند است، اما در این پژوهش به بررسی تنها باندهایی که از آن برای هر شاخص استفاده شده بود پرداخته شد. باندهای ۴ و ۵ سنجنده ETM+ و باندهای ۱ و ۲ در سنجنده MODIS را به ترتیب باند قرمز و مادون قرمز تشکیل می‌دهد طبق بررسی‌های انجام شده هدایت الکتریکی خاک و نسبت جذب سدیم با باندهای قرمز و مادون قرمز ارتباط و همبستگی بالایی را دارد که این همبستگی در جدول (۲) نیز قابل ملاحظه است. میزان همبستگی هر باند با شاخص‌های شوری در سنجنده‌های مختلف متفاوت است. به طوری که در پژوهشی (Wu et al., 2014) باندها و مدل‌های مختلفی را برای ارزیابی شوری خاک مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج پژوهش نشان داد نقشه‌های شوری حاصل از سنجنش از دور می‌تواند تا دقت ۸۰ درصد در برآورد مقدار شوری قابل اعتماد باشد. البته ممکن است یک باند در منطقه‌ای اهمیت نداشته باشد، اما مناسب بودن آن در

پژوهش‌هایی که در این زمینه انجام شده ماهواره لندست را یکی از مناسب‌ترین ماهواره‌ها برای بررسی ویژگی‌های خاک، از جمله شوری و تعیین رطوبت خاک معرفی کردند، از جمله دلایل آن داشتن نوارهای زیاد محدوده طیفی وسیع از محدوده مرئی تا مادون قرمز تا مادون قرمز حرارتی است.

در این سنجنده باشد، درحالی‌که سنجنده MODIS برخلاف سنجنده ETM+ تفکیک مکانی کمتری را شامل می‌شود. از موارد دیگری که قابل ذکر است می‌توان به میزان همبستگی بالا در تصاویر MODIS اشاره کرد که یکی از دلایل این همبستگی بالا می‌تواند ناشی از تفکیک زمانی روزانه این سنجنده باشد. در

جدول ۴- نتایج حاصل از ارزیابی شاخص‌های مختلف توسط دو سنجنده ETM+ و MODIS

Table 4- Results of evaluation of different indicators by two sensors ETM + and MODIS

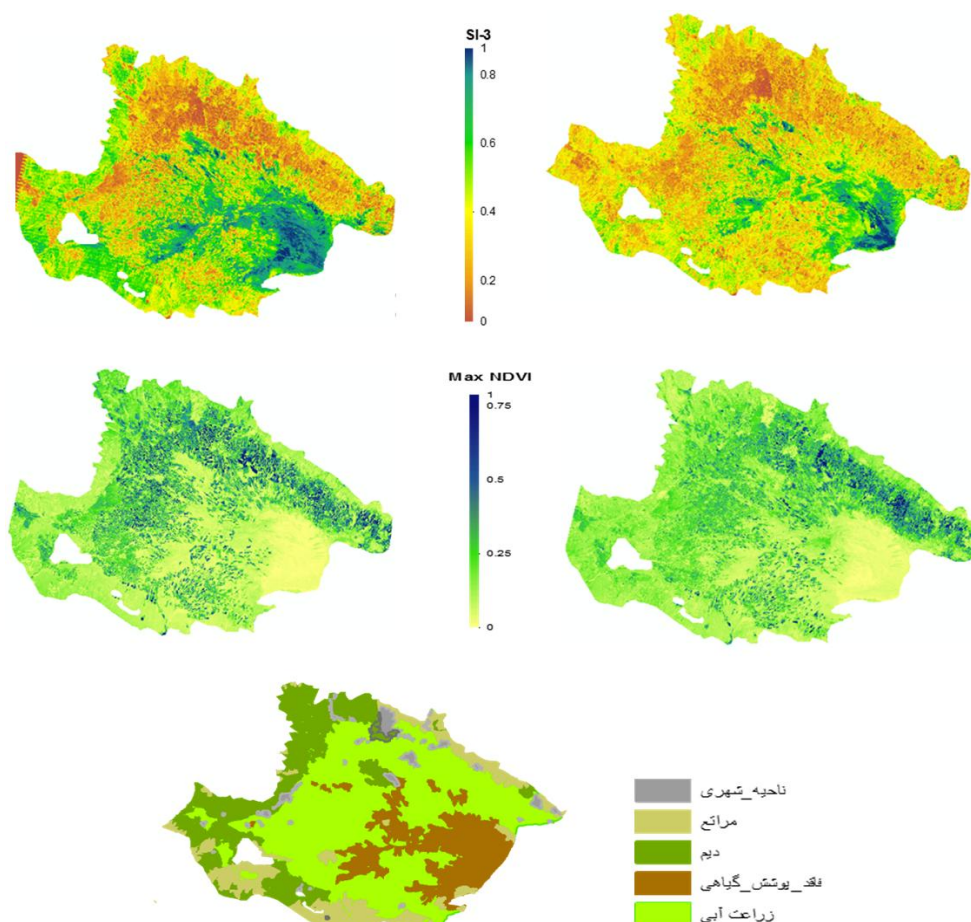
سنجنده	شاخص آماری	SI	SI ₁	SI ₂	SI ₃	NDSI	BI	SAVI
LANDSAT ETM+	RMSE	1.37	1.19	1.14	1.01	1.56	1.46	1.13
	R	0.62	0.73	0.56	0.98	0.31	0.43	0.60
	MBE	0.10	-0.20	-0.14	-0.07	0.21	0.10	0.18
	MAE	0.25	0.13	0.17	-0.06	0.25	-0.21	0.07
MODIS	RMSE	1.3	1.23	1.18	1.1	1.48	1.64	1.31
	R	0.61	0.87	0.79	0.86	0.64	0.52	0.64
	MBE	-0.76	-0.13	-0.24	0.10	-0.38	0.61	0.78
	MAE	0.39	1.2	2.16	1.18	0.24	0.41	0.66

پرداخته شد. طبق بررسی خروجی و نقشه‌های حاصل از میزان رطوبت خاک و همچنین دمای سطح زمینی توان به این نتیجه رسید که دمای سطح زمین همبستگی بالایی با مقدار رطوبت سطحی خاک داشته است به طوری که با افزایش دمای سطح زمین میزان رطوبت به شدت کاهش پیدا خواهد کرد.

در شکل (۴) به بررسی بین دو پارامتر دمای سطح زمین و رطوبت سطح خاک در طول دوره مطالعه ۱۶ ساله پرداخته شد. نتایج حاصل از آن نشان از همبستگی نزدیک به ۸۴ درصد داشته؛ به طوری که در مناطق دارای شوری بیشتر (شوره‌زار) دمای سطحی بسیار بیشتر و در راستای آن رطوبت سطحی خاک نیز در حداقل ممکن قرار خواهد داشت. بررسی خروجی دما در طول دوره مورد مطالعه نشان از افزایش میانگین ۵/۶ درجه سانتی‌گراد در ماه خردادماه داشته که نشان از تغییرات اقلیم در منطقه و امکان بروز خشک‌سالی را داشته که این عامل در مناطق پست امکان وقوع بیشتری خواهد داشت و ممکن است سفره‌های آب زیرزمینی و اراضی کشاورزی در معرض آسیب بیشتری از این شوری قرار بگیرند. همچنین مقدار بارش نیز با شیب زیادی کاهش یافته است. پژوهش‌های مختلف انجام شده در سطح جهان نشان می‌دهد که وسعت اراضی خشک و شور از سال ۱۹۷۰ میلادی بیش از دو برابر شده است (Stottleyer and Toczydlowski, 2006) که این تغییرات اقلیمی می‌تواند موجب آسیب بیشتر به اکوسیستم‌های طبیعی و همچنین سلامت و رفاه انسان شود و زنگ خطری برای بروز خشک‌سالی در سال‌های آتی باشد.

در پژوهشی (Alavi Panah, 2011) به اهمیت و تأثیر زیاد نوار حرارتی لندست در تشخیص خاک شور اشاره کردند به گونه‌ای که با حذف این نوار، صحت طبقه‌بندی خاک‌های شور به میزان قابل توجهی کاهش می‌یابد. روند تغییرات شوری بر اساس بهترین شاخص مورد ارزیابی در منطقه توسط دو سنجنده ETM+ و MODIS مورد مقایسه قرار گرفت. یکی از دلایل این‌که سنجنده ETM+ توانسته است نتایج بهتری را ایجاد کند، برآورد دقیق‌تر در مقدار شاخص پوشش گیاهی NDVI است به طوری که سنجنده MODIS بر اساس نقشه کاربری اراضی ایجاد شده، سطح کل مساحتی که تحت پوشش گیاهی در نظر گرفته شده ۱۱/۳ درصد بیشتر از سنجنده ETM+ بود که این موضوع با توجه به نقشه کاربری اراضی منطقه قابل ملاحظه است از جمله دلایل تفاوت در مقدار مساحت پوشش گیاهی در سنجنده MODIS به دلیل در نظر گرفتن مناطق فاقد پوشش گیاهی و مراتع را به عنوان اراضی با پوشش گیاهی نسبتاً مناسب مشخص شده بود.

همان‌طور که در شکل (۳) نیز قابل ملاحظه است، روند تغییرات شوری در طی سال‌های ۱۳۸۴ تا ۱۴۰۰ در بازه زمانی خرداد ماه مورد ارزیابی قرار گرفت. نقشه‌های شوری بر اساس شاخص SI₃ نشان از افزایش سطح شوری در کل منطقه را شامل شده؛ به طوری که این افزایش در نواحی شوره‌زار و مناطقی که فاقد پوشش گیاهی است بیشتر بوده؛ به طوری که در اراضی با سطح شوری نسبتاً بالا در طول ۱۶ سال مورد بررسی به میزان ۳۴ درصد افزایش داشته است. یکی از عوامل مؤثر و تأثیرگذار بر میزان شوری مقدار رطوبت و دمای سطح خاک است که می‌تواند تأثیر بسزایی در افزایش روند شوری داشته باشد، به همین منظور به بررسی این دو عامل و میزان ارتباط و همبستگی بین آن‌ها

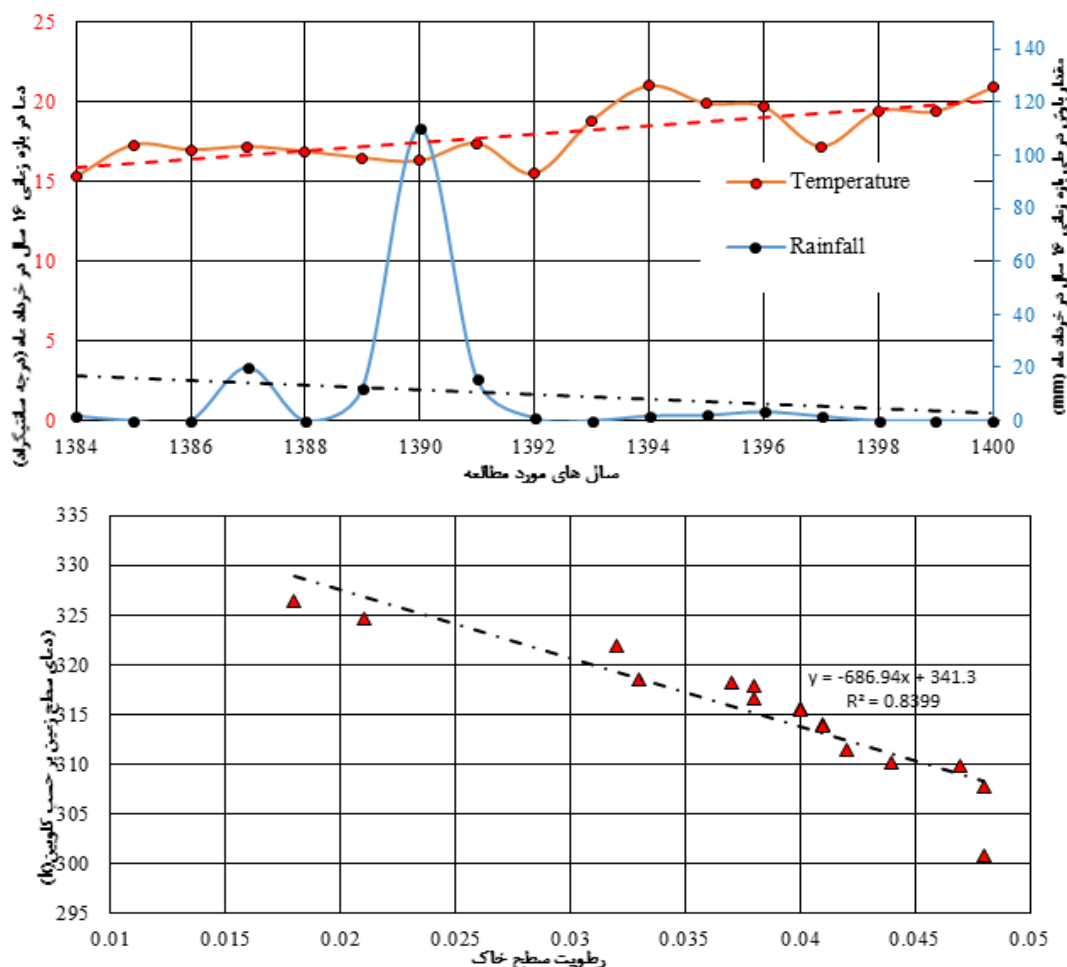


شکل ۳- روند تغییرات شوری خاک (SI3)، شاخص پوشش گیاهی (NDVI) در خردادماه ۱۳۸۴ و ۱۴۰۰ و نقشه کاربری اراضی در محدوده دشت قزوین
Figure 3- Trend of soil salinity changes (SI3), vegetation index (NDVI) in June 2005 and 1400 and land use map in Qazvin plain

۴- نتیجه‌گیری:

در تهیه طیفی از شوری در طول سال انجام شود. همچنین به منظور افزایش دقت در تهیه نقشه‌های شوری پیشنهاد می‌شود از تصاویر با تفکیک مکانی و زمانی کمتر استفاده شود و در نهایت با توجه به اهمیت و تشخیص شوری در اراضی کشاورزی به منظور کنترل سریع‌تر و پیشگیری از آسیب جدی به اراضی پیشنهاد می‌گردد با افزایش تعداد نمونه‌گیری از خاک و گیاه در سطح مزارع برای کم کردن خطای حاصله از نمونه‌گیری‌های نادرست اقدام شود. همچنین با توجه به اینکه یکی از موانع نمونه‌برداری گسترده شوری خاک هزینه‌های مرتبط است؛ بنابراین، پیشنهاد می‌شود در زمینه توسعه ابزارهای نوین اندازه‌گیری شوری خاک که کم هزینه و با دقت قابل قبول باشد نیز برنامه‌ریزی لازم صورت پذیرد.

با توجه به اینکه خاک شور از درجه و کلاس‌های مختلف شوری برخوردار است؛ بنابراین، انتظار پیچیدگی خاک نیز کاملاً امری منطقی است. همین عامل سبب بازتاب طیفی مختلف از خاک شور می‌شود. در همین راستا روش‌ها و روابط مختلفی به منظور محاسبه سطح شوری در مناطق مختلف ایجاد شده است. در این پژوهش از دو سنجنده ETM+ و MODIS و شاخص‌های مختلف شوری به منظور تخمین مقدار شوری در منطقه استفاده شد. نتایج به دست آمده نشان از دقت بالای سنجنده ETM+ در این پژوهش داشته است. در ادامه همچنین بررسی‌های حاصل از این پژوهش نشان داد که دشت قزوین در معرض خشک‌سالی قرار گرفته و علی‌رغم مشکلات موجود در منطقه از جمله افزایش دما، کمبود بارندگی باید حداکثر استفاده ممکن به منظور حفظ و احیا اراضی و مناطق مستعد کشاورزی صورت گیرد تا از بروز مشکلات و آسیب‌هایی جدی در آینده نه‌چندان دور از جمله افزایش سطح شورزار و از بین رفتن اراضی کشاورزی جلوگیری گردد. به همین منظور پیشنهاد می‌شود از تصاویر چندزمانه



شکل ۴- بررسی همبستگی دما و میزان رطوبت سطح خاک (الف) و بررسی تغییرات دما و بارش در طول دوره مطالعه (ب)

Figure 4- Investigation of temperature and soil surface moisture correlation (a) and investigation of temperature and precipitation changes during the study period (b)

علوی پناه، ک. (۱۳۹۰). اصول سنجش از دور مدرن و تفسیر تصاویر ماهواره‌ای و عکس‌های هوایی. انتشارات دانشگاه تهران، ۸۰۰ صفحه.

ولی‌پور، م.، اقبال، م.، ملکوتی، م.، و خوشگفتارمنش، ا. (۱۳۸۶). روند توسعه شوری و تخریب اراضی کشاورزی در منطقه شمس‌آباد استان قم. علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، ۱۲(۴۶)، ۶۸۳-۶۹۱.

هادیانی، ز.، و احدنژاد، م.، کاظمی‌زاد، ش.، و قنبری، ح. (۱۳۹۱). برنامه‌ریزی راهبردی توسعه گردشگری بر اساس تحلیل SWOT (مطالعه موردی: شهر شیراز). جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی (مجله پژوهشی علوم انسانی دانشگاه اصفهان)، ۲۳(۳)، ۱۱۱-۱۳۲.

هدایتی دزفولی، ا.، و کاکاوند، ر. (۱۳۹۱). پهنه‌بندی اقلیمی استان قزوین. نیوار، ۳۶(۷۶-۷۷)، ۵۹-۶۶.

یوسف گمرکچی، ا.، اکبری، م.، حسن اقلی، ع.، یونسی، م. (۱۳۹۹). پایش شوری خاک و پوشش گیاهی با استفاده از داده‌های سنجش از دور چند طیفی در محدوده زهکش حائل شوره‌زار دشت قزوین. جغرافیا و پایدار محیط، ۱۰(۳۷)، ۵۲-۱۰.

منابع

افشاری‌نیا، م.، و پناهی، ف. (۱۴۰۰). تأثیر خشکسالی اقلیمی بر شوری خاک سطحی در دشت کاشان. مدل‌سازی و مدیریت آب و خاک، ۱۱(۲)، ۳۶-۴۶.

تاج‌گردان، ت.، ایوبی، ش.، و خرمالی، ف. (۱۳۸۸). تهیه نقشه شوری سطحی خاک با استفاده از داده‌های دورسنجی (ETM+) مطالعه موردی: شمال آق‌قلا، استان گلستان. پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، ۱۶(۲)، ۱-۱۷.

دادرسی سبزواری، ا.، یمانی، م.، پاک‌پرور، م.، و داور زنی، ز. (۱۳۸۵). بررسی روند تغییرات شوری خاک با استفاده از داده‌های سنجش از دور و سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی در ناحیه گرم و خشک جنوب‌شرقی شهرستان سبزواری. جغرافیا و توسعه، ۴(۷)، ۱۷۳-۱۸۴.

سامان‌آبراه (۱۳۸۸). گزارش پایش چهارساله شوره‌زار دشت قزوین، تهران، ایران.

Reference

- Abdolzadeh, Z., Ghorbani, A., Mostafazadeh, R., & Moameri, M. (2020). Rangeland canopy cover estimation using Landsat OLI data and vegetation indices in Sabalan rangelands, Iran. *Arabian Journal of Geosciences*, 13(6), 1–13.
- Afsharina, M., & Panahi, F. (2021). Effect of climatic drought on surface soil salinity in Kashan Plain. *Water and Soil Management and Modeling*, 1(2), 36–46.
- Akrankhanov, A., Martius, C., Park, S.J., & Hendrickx, J.M.H. (2011). Environmental factors of spatial distribution of soil salinity on flat irrigated terrain. *Geoderma*, 163(1–2), 55–62.
- Alavi Panah, K. (2011). *Principles of modern remote sensing and interpretation of stellite imageries and aerial photoes*. Tehran University Press (In persian).
- Asfaw, E., Suryabagavan, K. V., & Argaw, M. (2018). Soil salinity modeling and mapping using remote sensing and GIS: The case of Wonji sugar cane irrigation farm, Ethiopia. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 17(3), 250–258.
- Bannari, A., & Al-Ali, Z.M. (2020). Assessing climate change impact on soil salinity dynamics between 1987–2017 in arid landscape using Landsat TM, ETM+ and OLI data. *Remote Sensing*, 12(17), 2794.
- Dagar, J. C., Sharma, P. C., Chaudhari, S. K., Jat, H. S., & Ahamad, S. (2016). Climate change vis-a-vis saline agriculture: impact and adaptation strategies. Pp. 5–53. In: Dagar, J., Sharma, P., Sharma, D., Singh, A. (eds), *Innovative Saline Agriculture*, Springer.
- Daliakopoulos, I.N., Tsanis, I.K., Koutroulis, A., Kourgialas, N.N., Varouchakis, A.E., Karatzas, G.P., & Ritsema, C.J. (2016). The threat of soil salinity: A European scale review. *Science of the Total Environment*, 573, 727–739.
- Dadrasi, A., Yamani, M., Pak Parvar, M., & Davarzani, Z. (2009). Investigation of the trend of soil salinity changes using remote sensing data and geographic information systems in the hot and dry area of southeastern Sabzevar. *Geography and Development*, 7, 173–184.
- Dehni, A., & Lounis, M. (2012). Remote sensing techniques for salt affected soil mapping: application to the Oran region of Algeria. *Procedia Engineering*, 33, 188–198.
- Del Valle, H. F., Blanco, P., Sione, W., Rostagno, C. M., & Elissalde, N.O. (2009). Assessment of salt-affected soils using multisensor radar data: A case study from northeastern Patagonia (Argentina). Pp. 155–173, In: *Remote Sensing of Soil Salinization: Impact on Land Management*, CRC Press, Boca Raton, FL.
- Gao, J.A. (1996). Modified soil adjusted vegetation index. *Remote Sensing of Environment*, 82, 303–310.
- Gorji, T., Yildirim, A., Sertel, E., & Tanik, A. (2019). Remote sensing approaches and mapping methods for monitoring soil salinity under different climate regimes. *International Journal of Environment and Geoinformatics*, 6(1), 33–49.
- Hedayati, A., & Kakavand, R. (2012). Climatic zoning of Qazvin Province. *Nivar*, 36 (77–76), 59–66 (In persian).
- Huete, A.R. (1988). A soil-adjusted vegetation index (SAVI). *Journal of Remote Sensing of Environment*, 25, 295–309.
- Jacobsen, T., & Adams, R.M. (1958). Salt and silt in ancient Mesopotamian agriculture. *Science*, 128(3334), 1251–1258.
- Khan, N.M., Rastokuev, V.V., Sato, Y., Shiozawa, S. (2005). Assessment of hydrosaline land degradation by using a simple approach of remote sensing indicators. *Agricultural Water Management*, 77(1), 96–109.
- Korolyuk, T.V. (2015). Soil forming factors: Their role in the formation of saline soils on the plains of Western and Central Ciscaucasia. *Eurasian Soil Science*, 48(7), 689–700.
- Mandal, A., & Neenu, S. (2012). Impact of climate change on soil biodiversity-a review. *Agricultural Reviews*, 33(4), 283–292.
- Matinfar, H.R., Panah, S.K. A., Zand, F., & Khodaei, K. (2013). Detection of soil salinity changes and mapping land cover types based upon remotely sensed data. *Arabian Journal of Geosciences*, 6(3), 913–919.
- McBratney, A., Field, D.J., & Koch, A. (2014). The dimensions of soil security. *Geoderma*, 213, 203–213.
- Meimei, Z., & Ping, W. (2011). Using HJ-1 satellite remote sensing data to surveying the Saline soil distribution in Yinchuan Plain of China. *African Journal of Agricultural Research*, 6(32), 6592–6597.
- Markham, S.L., & Barker, M.L. (1985). Temporal and spatial relationships between within-field yield variability in cotton and high spatial hyper spectral remote sensing imagery. *Agronomy Journal*, 655–659.
- Nawar, S., Buddenbaum, H., & Hill, J. (2015). Estimation of soil salinity using three quantitative methods based on visible and near-infrared reflectance spectroscopy: a case study from Egypt. *Arabian Journal of Geosciences*, 8(7), 5127–5140.
- Notarnicola, C., Angiulli, M., & Posa, F. (2006). Use of radar and optical remotely sensed data for soil moisture retrieval over vegetated areas. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote*

- Sensing*, 44(4), 925–935.
- Nwer, B., Ali, A., & Zurqani, H. (2013). Soil salinity mapping model developed using RS and GIS in Libya. Proceedings of the Annual International Conference 7th Edition of Geotunis, Southern Hammamet, Tunis, Pp. 4–12.
- Rafii, Y., & Alavipanah, S., & Malekmohammadi, B., & Ramazani Mehrian, M., & Nasiri, H. (2012). Producing land cover maps using remote sensing and decision tree algorithm (case study: bakhtegan national park and wildlife refuge). *Geography and Environmental Planning* (University of Isfahan), 23(3 (47)), 111-132 (in Persian).
- Rouse, A., Danilo, M., Hans-Jurgen, S., & Dmitry, A. (1974). Areas of rapid forest-cover change in boreal Eurasia. *Forest Ecology and Management*, 322–334.
- Samanabrah*, (2010). Four-year monitoring report of Qazvin plain salt marshes. Tehran, Iran (in Persian).
- Scudiero, E., Skaggs, T. H., & Corwin, D. L. (2015). Regional-scale soil salinity assessment using Landsat ETM+ canopy reflectance. *Remote Sensing of Environment*, 169, 335–343.
- Shahid, S.A., Zaman, M., & Heng, L. (2018). Soil salinity: historical perspectives and a world overview of the problem. Pp. 43–53, In: *Guideline for salinity assessment, mitigation and adaptation using nuclear and related techniques*, Springer.
- Shammi, M., Rahman, M., Bondad, S.E., & Bodrud-Doza, M. (2019). Impacts of salinity intrusion in community health: a review of experiences on drinking water sodium from coastal areas of Bangladesh. *Healthcare*, 7(1), 50.
- Shao, Y., Hu, Q., Guo, H., Lu, Y., Dong, Q., & Han, C. (2003). Effect of dielectric properties of moist salinized soils on backscattering coefficients extracted from RADARSAT image. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 41(8), 1879–1888.
- Stottlemyer, R., & Toczydlowski, D. (2006). Effect of reduced winter precipitation and increased temperature on watershed solute flux, 1988–2002, Northern Michigan. *Biogeochemistry*, 77(3), 409–440.
- Suarez, D. L. (1989). Impact of agricultural practices on groundwater salinity. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 26(3–4), 215–227.
- Tajgardan, T., Ayoubi, SH., & Khormani, f. (2009). Preparation of Soil Surface Salinity Map Using Remote Sensing Data (ETM+) Case Study: North Aqqala, Golestan Province. *Soil Conservation Research*, 16(2), 1-17 (In Persian).
- Uossef Gomrokchi, A., Akbari, M., Hassanoghli, A., & Younesi, M. (2020). Monitoring Soil Salinity and Vegetation Using Multispectral Remote Sensing Data in Interceptor Drain of Salt Marsh in Qazvin Plain. *Geography and Sustainability of Environment*, 10(1), 37–52 (In Persian).
- Valipour, M., Eghbal, M.K., Malakouti, M.J., & Goftamanesh, A.KH. (2009). Agricultural Land Degradation and Salinization in Shamsabad Region, Qom Province, Iran. *Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources*, 12(46), 683-691 (In Persian).
- Wu, W., Al-Shafie, W. M., Mhaimed, A. S., Ziadat, F., Nangia, V., & Payne, W.B. (2014). Soil salinity mapping by multiscale remote sensing in Mesopotamia, Iraq. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 7(11), 4442–4452.