



Monitoring Soil Salinity and Vegetation Using Multispectral Remote Sensing Data in Interceptor Drain of Salt Marsh in Qazvin Plain

Afshin Uossef Gomrokchi^{1*}, Mehdi Akbari², Alireza Hassanoghli³, Mahdi Younesi⁴

¹ Agricultural Engineering Research Department, Qazvin Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Qazvin, Iran.

² Department of Agricultural Engineering Research Institute (AERI), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran

³ Department of Irrigation and Drainage, Agricultural Engineering Research Institute; Agricultural Research, Education and Extension Organization, Karaj, Iran

⁴ Department of Irrigation and Drainage Engineering, College of Aburaihan, University of Tehran, Tehran, Iran

ARTICLE INFO

Article Type: Research article

Article history:

Received 14 October 2019

Accepted 27 February 2020

Available online 18 March 2020

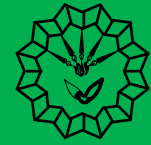
Keywords:

Qazvin Plain, Remote Sensing, Salinity Index, Soil Salinity, Vegetation Index.

Citation: 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. doi: [10.22126/GES.2020.4434.2103](https://doi.org/10.22126/GES.2020.4434.2103)

ABSTRACT

Soil salinity and soil salinization as one of the problems facing agriculture and natural resources are of great importance which needs to be prevented with proper knowledge. In this regard, it is important to obtain information about soil salinity and vegetation, such as their amount and distribution. The use of satellite data enables extensive study of soil salinity and vegetation. Since vegetation in most arid and semi-arid regions is strongly influenced by soil properties such as salinity, therefore, this study investigated the effects of Interceptor Drain on soil salinity and vegetation changes using remote sensing capabilities in a 15-year interval. Results showed that construction Interceptor Drain in Salt Marsh Qazvin plain had no effect on soil salinity changes and vegetation cover. According to the results of correlation test between measured soil elements and satellite image bands, bands 5 and 7 were highly correlated with soil SAR (Sodium Adsorption Ratio) index prior to drainage construction and thus, the two bands after drainage construction had a significant correlation with soil EC (Electrical Conductivity) index. In fact, indices including red and infrared bands showed a significant relationship with soil salinity parameters. Also the results of correlation test of remote sensing indices and ground data in the salinity area showed that SI (Salinity Index) index had a highly significant correlation with soil salinity data.



پایش شوری خاک و پوشش گیاهی با استفاده از داده‌های سنجنش از دور چندطیفی در محدوده زهکش حائل شوره‌زار دشت قزوین

افشین یوسف گمرکچی^{۱*}، مهدی اکبری^۲، علیرضا حسن‌اقلی^۳، مهدی یونسی^۴

^۱ بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان قزوین، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، قزوین، ایران

^۲ مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران

^۳ بخش تحقیقات آبیاری و زهکشی، مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران

^۴ گروه مهندسی آبیاری و زهکشی، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران، تهران، ایران

چکیده

مشخصات مقاله

شوری خاک و شورشدن زمین‌ها، به‌مثابه یکی از مشکلات فراروی کشاورزی و منابع طبیعی، بسیار مهم است و باید با شناخت صحیح از پیشروی آن جلوگیری کرد. در این راستا کسب اطلاعات درباره وضعیت شوری خاک و پوشش گیاهی همچون میزان و پراکنش آن‌ها از اهمیت بسیاری دارد. استفاده از داده‌های ماهواره‌ای امکان مطالعه گسترده شوری خاک و پوشش گیاهی را فراهم می‌سازد. با توجه به اینکه پوشش گیاهی در بیشتر مناطق خشک و نیمه‌خشک به‌شدت تحت تأثیر خصوصیات خاک از جمله شوری است؛ از این‌رو در پژوهش حاضر اثرات احداث زهکش حائل بر روند تغییرات شوری خاک و پوشش گیاهی با استفاده از قابلیت‌های سنجنش از دور در بازه زمانی پانزده‌ساله بررسی شده است. نتایج نشان داد احداث زهکش حائل در شوره‌زار مرکزی دشت قزوین تأثیری در روند تغییرات شوری خاک و پوشش گیاهی منطقه نداشته است؛ به‌گونه‌ای که هیچ‌یک از یازده شاخص استخراج‌شده از تصاویر ماهواره‌ای، تغییرات معنی‌داری در دوره پیش و پس از احداث زهکش حائل از خود نشان نداده است. براساس نتایج آزمون همبستگی بین عناصر اندازه‌گیری‌شده در خاک و باندهای تصاویر ماهواره‌ای، باندهای ۵ و ۷ با شاخص نسبت جذب سدیم خاک پیش از احداث زهکش همبستگی بسیار معنی‌داری داشته و به همین ترتیب، دو باند یادشده پس از احداث زهکش، با شاخص هدایت الکتریکی خاک همبستگی داشته است. در واقع شاخص‌هایی که شامل باندهای قرمز و مادون قرمز باشند، ارتباط معنی‌داری با پارامترهای شوری خاک از خود نشان داده‌اند؛ همچنین نتایج آزمون همبستگی شاخص‌های سنجنش از دور و داده‌های زمینی در محدوده شوره‌زار نشان داد که شاخص شوری خاک، ضریب همبستگی بسیار معنی‌داری با داده‌های شوری خاک داشته است.

نوع مقاله: پژوهشی

تاریخچه مقاله:

دریافت ۲۲ مهر ۱۳۹۸

پذیرش ۸ اسفند ۱۳۹۸

دسترسی آنلاین ۲۸ اسفند ۱۳۹۸

کلیدواژه‌ها:

دشت قزوین، سنجنش از دور، شاخص پوشش گیاهی، شاخص شوری، شوری خاک.

استناد: یوسف گمرکچی، افشین؛ اکبری، مهدی؛ حسن‌اقلی، علیرضا؛ یونسی، مهدی (۱۳۹۹). پایش شوری خاک و پوشش گیاهی با استفاده از داده‌های سنجنش از دور چندطیفی در محدوده زهکش حائل شوره‌زار دشت قزوین. *جغرافیا و پایداری محیط*، ۱۰ (۱)، ۳۷-۵۲.

doi: [10.22126/GES.2020.4434.2103](https://doi.org/10.22126/GES.2020.4434.2103)

مقدمه

یکی از روش‌های پایش شوری، داده‌برداری زمینی است که به وقت و هزینه زیادی نیاز دارد، به‌ویژه اگر نظارت در سطح گسترده و در چندین بازه زمانی صورت گیرد؛ افزون بر این مشکل، به‌طور معمول داده‌های اندازه‌گیری زمینی در گذشته قابل دسترس نبوده که در این صورت، بررسی روند تغییرات خصوصیات خاک در طی زمان‌های گذشته غیر ممکن خواهد شد. روش سنجش از دور، راه جایگزینی برای برطرف کردن این مشکلات ارائه کرده است. با استفاده از این روش و داده‌های زمینی و آزمایشگاهی می‌توان تغییرات شوری خاک با زمان را بررسی و پایش کرد (مترینخت و زینک^۱، ۲۰۰۳). بازتاب طیفی انواع نمک‌ها در سطح خاک در مطالعات متعددی بررسی شده و به‌مثابه شاخص مستقیمی در سنجش از دور استفاده شده است (هیوت^۲ و همکاران، ۲۰۰۲؛ خان^۳ و همکاران، ۲۰۰۵؛ الحمیدی و گلن^۴، ۲۰۰۸)؛ با این حال، وقتی رطوبت خاک بالا بوده یا لایه نمکی در سطح خاک قابل مشاهده نباشد، یا نمک با سایر اجزای خاک مخلوط شده باشد، رویکرد تشخیص مستقیم شوری پیچیده‌تر خواهد شد (الحق^۵، ۲۰۱۶)؛ اما پوشش گیاهی و گیاهان شورپسند می‌توانند به‌منزله نشانه‌ای از شوری خاک، برای تشخیص غیر مستقیم و شناسایی مناطق شور براساس بازتاب طیفی گیاهان باشند (مومی‌پور، ۱۳۹۷).

بیشتر پژوهش‌های انجام‌شده در دهه‌های گذشته به‌منظور ارزیابی شوری خاک براساس مطالعات مستقیم، در مقیاس کوچک و در دوره‌های زمانی کوتاه انجام گرفته است. این درحالی است که مشخص کردن تغییرات زمانی و مکانی شوری خاک در محدوده‌های وسیع اهمیت بسیاری در شناسایی و رفع مشکلات کشاورزی، زیست‌محیطی و برنامه‌های توسعه پایدار دارد. از این‌رو به‌منظور شناسایی تغییرات مکانی مقدار شوری خاک و رابطه آن با ساختارهای چشم‌انداز در مناطق وسیع‌تر باید به فناوری‌هایی با مقیاس زمانی و مکانی مناسب مجهز شد. فناوری سنجش از دور با قابلیت بالا در تولید به‌روز تصاویر ماهواره‌ای چندطیفی، با پوشش وسیع و دامنه متنوع قدرت تفکیک مکانی، طیفی و زمانی، پتانسیل ویژه‌ای در تهیه نقشه‌های کاربردی براساس خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک دارد. بر همین اساس نقشه شوری خاک با استفاده از فناوری سنجش از دور در بعضی استان‌های خشک و نیمه‌خشک کشور از جمله یزد، قزوین، البرز، خراسان، فارس، سمنان، آذربایجان شرقی، خوزستان و غیره انجام گرفته است (دشتکیان و همکاران، ۱۳۸۷؛ خدادادی و همکاران، ۱۳۸۸؛ شیرازی و همکاران، ۱۳۸۹؛ دائم‌پناه و همکاران، ۱۳۹۰؛ نوحه‌گر و زارع، ۱۳۹۱؛ نوروزی و همکاران، ۱۳۹۲؛ احمدی و همکاران، ۱۳۹۶؛ مومی‌پور، ۱۳۹۷). نتایج این بررسی‌ها نشان داد که استفاده از داده‌های دورسنجی همراه با داده‌های زمینی برای شناسایی نواحی شور، ابزار قدرتمندی هستند و بیشتر نواحی شور که با استفاده از داده‌های دورسنجی مشخص شده، با همان مواردی متناسب هستند که براساس مشاهدات زمینی تعیین شده‌اند؛ همچنین الگوهای مکانی و زمانی شوری خاک نیز با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای قابل پهنه‌بندی هستند (کرم و همکاران، ۱۳۹۸).

نکته مهم آن است که ترکیبی از سنجش از دور و اندازه‌گیری زمینی شوری خاک، روش مناسبی برای پایش بینی شوری خاک است (اناج^۶ و همکاران، ۲۰۱۸). هرچند تحلیل شوری خاک عمقی، یکی از عوامل محدودکننده کاربرد سنجش از دور در برآورد شوری خاک عنوان شده است (سینگ^۷ و همکاران، ۲۰۱۰).

- 1- Metternicht & Zinck
- 2- Huete
- 3- Khan
- 4- Alhammadi & Glenn
- 5- Elhag
- 6- Ennajia
- 7- Singh

مهم‌ترین مشکلات تهیه نقشه شوری خاک با استفاده از سنجش از دور را می‌توان رفتار طیفی نمک‌های مختلف، تغییرات زیاد شوری در سطح، تغییر شوری بر اثر گذشت زمان، تداخل با پوشش گیاهی و اختلاط با دیگر عوامل سطحی نام برد (مترنیخت و زینک، ۲۰۰۳). به دلیل پیچیدگی‌های زیاد فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک، انتظار پیچیدگی‌های طیفی خاک نیز منطقی است و همین مسئله موجب می‌شود بازتاب‌های طیفی مختلفی از شوره‌زارها حاصل شود (علوی‌پناه، ۱۳۸۵: ۲۳). به همین دلیل روش یا رابطه ریاضی مشخصی برای تهیه نقشه شوری خاک با استفاده از اطلاعات سنجش از دور وجود ندارد (مرادیان و همکاران، ۱۳۹۶)؛ اما به‌طور معمول خاک‌های شور مناطق خشک به‌ویژه زمانی که پوسته نمکی در سطح خاک تشکیل می‌شود، بازتاب طیفی بالایی را نشان می‌دهد؛ از سوی دیگر، به‌وسیله شاخص‌های پوشش گیاهی نیز می‌توان به‌طور غیر مستقیم مناطق شور را مشخص کرد؛ زیرا در مناطقی که پوشش گیاهی ندارند، احتمال شوری خاک زیاد است. به‌طوری‌که روابط منفی معنی‌دار بین تصاویر شاخص پوشش گیاهی و شاخص شوری خاک^۱ می‌تواند تأثیر ارتباط طولانی‌مدت بین تغییرات شوری خاک و پوشش گیاهی را نشان دهد (البد^۲ و همکاران، ۲۰۱۸)؛ بنابراین اطلاعات پوشش گیاهی، میزان رطوبت خاک و کانی‌شناسی عناصر خاک می‌تواند دقت نقشه‌های نهایی شوری خاک را به‌مراتب افزایش دهند (انگدروک اسفاو^۳ و همکاران، ۲۰۱۸).

با توجه به موقعیت شوره‌زار مرکزی دشت قزوین و اثرگذاری این محدوده بر زمین‌های کشاورزی حاشیه‌ای دشت قزوین از یک‌سو و از دیگر سو به‌دلیل مرز تداخل جبهه آب شور و شیرین در محدوده شوره‌زار مرکزی، پژوهش‌های متعددی در آن انجام گرفته است. این مسئله پس از احداث زهکش حائل در منطقه شوره‌زار، بیش از پیش مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته است (اسکندری و همکاران، ۱۳۹۲؛ افلاطونی و همکاران، ۱۳۹۳؛ ستوده‌نیا و همکاران، ۱۳۹۳؛ ستوده‌نیا و جعفری، ۱۳۹۵؛ واعظی، ۱۳۹۵). نکته مهم آن است که در طی چند سال اخیر به‌دلیل بروز مشکلات زیست‌محیطی و ایجاد کانون‌های غبار در منطقه شوره‌زار مرکزی دشت قزوین، مباحث مرتبط با بررسی پوشش گیاهی و مسائل زیست‌محیطی نیز مورد توجه قرار گرفته، ولی در پژوهش‌های انجام‌شده به‌طور عمده اثربخشی احداث زهکش حائل، از منظر هیدرولیکی بررسی شده یا روند تغییرات شوری خاک با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای مد نظر بوده است؛ اما هدف نوشتا پیش رو بررسی روند تغییرات شوری خاک و پوشش گیاهی با استفاده از قابلیت‌های سنجش از دور در دو بازه زمانی پیش از احداث زهکش حائل و پس از احداث آن است. به‌گونه‌ای که روند تغییرات شوری خاک و پوشش گیاهی در یک بازه زمانی پانزده‌ساله بررسی شده است.

معرفی منطقه مورد بررسی

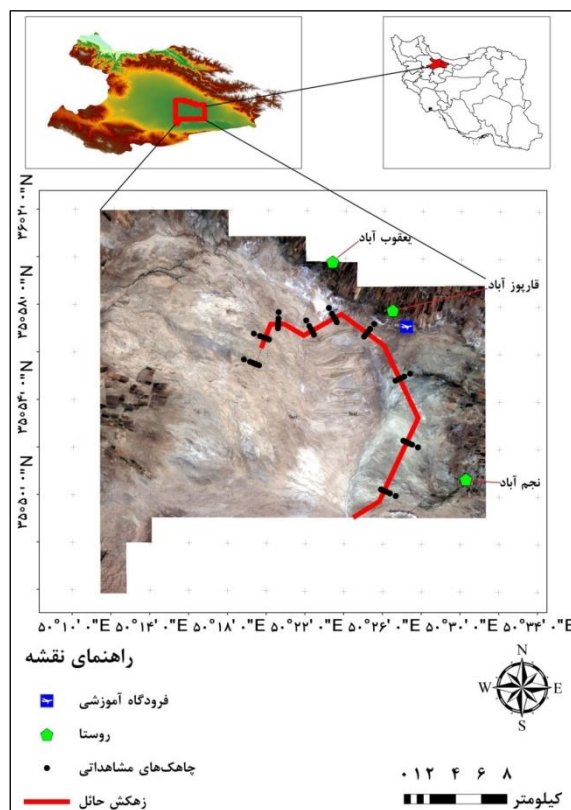
منطقه مورد مطالعه از نظر تقسیمات کشوری در بخشی از استان قزوین و در ۱۵۰ کیلومتری شمال غرب تهران قرار دارد که شامل حاشیه شوره‌زار قزوین با محدوده جغرافیایی ۱۰° ۵۰' تا ۳۴° ۵۰' طول شرقی و ۴۶° ۳۵' تا ۲۴° ۳۶' عرض شمالی و ارتفاع بین ۱۱۳۵ تا ۱۱۴۵ متر از سطح دریا است (شکل ۱). شهرهای مهم مجاور منطقه در شمال غربی قزوین، تاکستان در غرب، آبیک در شمال شرقی و دانسفهان در جنوب غربی است. شوره‌زار مرکزی دشت قزوین حدود ۶۰۰۰۰ هکتار وسعت دارد که وسعت هسته مرکزی آن حدود ۲۰۰۰۰ هکتار است. حدود ۹۵٪ از زمین‌های این محدوده هدایت الکتریکی^۴ بیش از ۲۰ دسی زیمنس بر متر و ۶۵٪ از زمین‌ها، هدایت الکتریکی بیش از ۱۰۰ دسی زیمنس بر متر دارند (مهندسین مشاور سامان آبراه، ۱۳۸۹: ۱۶).

1- Salinity Index (SI)

2- Allbed

3- Engdawork Asfaw

4- Electrical Conductivity (EC)



شکل ۱. تصویر ماهواره‌ای از محدوده شورزار دشت قزوین

شور شدن زمین‌ها در شرایط حاکم بر شورزار دشت قزوین و توسعه آن با پایین رفتن سطح ایستابی در منطقه، مشابه شرایط تداخل آبخوان‌های آب شور و شیرین در سواحل دریاهاست (ستوده‌نیا و همکاران، ۱۳۹۳). در این مناطق با پایین رفتن سطح ایستابی در دشت، شوری به سمت بالادست (آبخوان شیرین) توسعه می‌یابد. به‌طور خلاصه می‌توان گفت در محدوده باتلاق و شورزار مرکزی دشت قزوین، آبخوان قابل ملاحظه‌ای وجود ندارد و به‌دلیل شرایط زمین‌شناسی سنگ کف و انباشته شدن رسوبات و تخلیه آب‌های زیرزمینی از دشت قزوین و دشت هشترگرد، باتلاق شکل گرفته که در اثر سالیان متمادی و تبخیر شدید، به شورزار تبدیل شده است. بر این اساس، به‌منظور کنترل پیشروی جبهه آب شور به سمت زمین‌های کشاورزی دشت قزوین، زهکش حائل شورزار مرکزی قزوین به طول ۴۵ کیلومتر ساخته شده که در حال حاضر شورابه موجود از زهکش احداثی تخلیه می‌شود (ستوده‌نیا و جعفری، ۱۳۹۵).

در محدوده شورزار بیشتر گونه‌های مقاوم به شوری رشد کمی داشته و تنها در ماه‌هایی که میزان بارندگی افزایش می‌یابد و باران تاحدودی شوری خاک را می‌شوید، زمان کوتاهی در اختیار گیاهانی با مقاومت به شوری متوسط تا کم و با دوره رویشی اندک قرار می‌گیرد؛ سپس با افزایش شوری خاک به بذر نشسته و خشک می‌شوند و تنها گیاهان مقاوم به شوری در این محدوده طی ماه‌های باقی‌مانده سال ماندگار می‌شوند. گیاهان این منطقه جزو گیاهان شورپسند و به‌طور کلی شامل گیاه چندساله علفی هالوکنمون^۱ و گیاه یک‌ساله علفی سالسولا^۲ و گیاه گرامینه یک‌ساله هستند؛ همچنین گراس چندساله آلورپس^۳ و گراس‌های یک‌ساله مانند بورمس^۴ و هوردم^۵ و

- 1- Halocnemum
- 2- Salsola
- 3- Aeluropus
- 4- Bromus
- 5- Hordeum

به‌طور پراکنده در منطقه قابل مشاهده هستند (واعظی، ۱۳۹۵: ۵۸).

مواد و روش‌ها

در پژوهش حاضر به‌منظور استفاده از فنّ سنجنش از دور در بررسی تغییرات زمانی و مکانی شوری خاک و پوشش گیاهی منطقه، از داده‌های زمینی و تصاویر سنجنده نقشه‌بردار موضوعی بهبودیافته^۱ لندست ۷ استفاده شده است. در میان ماهواره‌های محیطی، تصاویر ماهواره لندست با دراختیار داشتن اسکنرهای چندطیفی و ارائه تصاویر ماهواره‌ای با قدرت تفکیک مکانی کمتر از ۳۰ متر به‌طور گسترده به‌منظور تعیین پارامترهای بیوفیزیکی پوشش گیاهی و تحلیل شوری خاک به‌کار گرفته شده‌اند (نورسا^۲ و همکاران، ۲۰۱۲)؛ همچنین تصاویر این سنجنده به‌دلیل دوره بازدید شانزده‌روزه، در بررسی وضعیت پوشش گیاهی (سیال^۳ و همکاران، ۲۰۱۵) و پایش رشد و نمو گیاهی (چنگ و وو^۴، ۲۰۱۱) مناسب هستند. عملیات پیش‌پردازش شامل انواع تصحیحات هندسی، رادیومتریک و هم‌مختصات‌سازی روی هریک از تصاویر ماهواره‌ای انجام شد. داده‌های سنجنده لندست پس از سال ۲۰۰۳ به‌دلیل از کارافتادن سیستم SLC^۵، نوارهای بدون اطلاعات دارند (علی و محمد^۶، ۲۰۱۳). که بخشی از منطقه مورد مطالعه در این محدوده واقع شده است. برای پرکردن نوارها، ابزار Gap-fill به نرم‌افزار انوی^۷ افزوده شد و تصحیح تصاویر انجام گرفت. در مرحله بعد، شاخص‌های شوری و پوشش گیاهی مورد نظر پس از محاسبه، روی تصاویر ماهواره‌ای اعمال شده و به این ترتیب نقشه الگوی تراکم پوشش گیاهی و شوری خاک براساس هریک از این شاخص‌ها تهیه شده است. در نوشتار پیش رو تصاویر ماهواره لندست در محدوده شوره‌زار مرکزی دشت قزوین در طی سال‌های ۲۰۰۴ تا ۲۰۱۸ میلادی (۱۳۸۲ تا ۱۳۹۷ شمسی) استفاده شده است (جدول ۱).

جدول ۱. تاریخ زمانی تصاویر ماهواره‌ای مورد استفاده براساس سال شمسی

ردیف	بهار	تابستان	پائیز	زمستان
۱	-	-	-	۱۳۸۲/۱۲/۸
۲	۱۳۸۳/۰۱/۲۷	۱۳۸۳/۰۵/۱۵	۱۳۸۳/۰۹/۵	۱۳۸۳/۱۱/۹
۳	۱۳۸۴/۰۲/۳۰	۱۳۸۴/۰۶/۲	۱۳۸۴/۰۹/۷	۱۳۸۴/۱۱/۲۷
۴	-	۱۳۸۵/۰۴/۳ و ۱۳۸۵/۰۵/۲۰	۱۳۸۵/۰۹/۱۰	۱۳۸۵/۱۰/۲۸
۵	۱۳۸۶/۰۳/۲۱	۱۳۸۶/۰۵/۲۳	۱۳۸۶/۰۸/۱۱	۱۳۸۶/۱۲/۰۳
۶	۱۳۸۷/۰۲/۲۳	۱۳۸۷/۰۵/۲۶	۱۳۸۷/۰۷/۲۸	۱۳۸۷/۱۰/۱۸
۷	۱۳۸۸/۰۲/۲۵	۱۳۸۸/۰۵/۱۲	۱۳۸۸/۰۸/۱۶	۱۳۸۸/۱۱/۲۲
۸	۱۳۸۹/۰۲/۲۸	۱۳۸۹/۰۴/۳۰	۱۳۸۹/۰۸/۱۹	۱۳۸۹/۱۲/۲۷
۹	۱۳۹۰/۰۲/۱۵	۱۳۹۰/۰۶/۱۹	۱۳۹۰/۰۷/۲۰	۱۳۹۰/۱۰/۲۶
۱۰	۱۳۹۱/۰۲/۲	۱۳۹۱/۰۶/۶	۱۳۹۱/۰۸/۲۵	۱۳۹۱/۱۲/۱
۱۱	۱۳۹۲/۰۳/۵	۱۳۹۲/۰۶/۲۴ و ۱۳۹۲/۰۵/۱۵	۱۳۹۲/۰۷/۲۵	۱۳۹۲/۱۲/۳
۱۲	۱۳۹۳/۰۳/۲۴	۱۳۹۳/۰۵/۱۰ و ۱۳۹۳/۰۵/۱۸	۱۳۹۳/۰۸/۳۰	۱۳۹۳/۱۱/۴
۱۳	۱۳۹۴/۰۲/۱۰	۱۳۹۴/۰۵/۲۹ و ۱۳۹۴/۰۵/۲۱	۱۳۹۴/۰۹/۳	۱۳۹۴/۱۰/۲۱
۱۴	۱۳۹۵/۰۳/۱۴	۱۳۹۵/۰۶/۱	۱۳۹۵/۰۸/۲۰	-
۱۵	۱۳۹۶/۰۳/۱۶	۱۳۹۶/۰۵/۱۸	۱۳۹۶/۰۸/۲۲	۱۳۹۶/۱۰/۲۶
۱۶	۱۳۹۷/۰۳/۱۹	۱۳۹۷/۰۶/۶	۱۳۹۷/۰۸/۹	-

1- Enhanced Thematic Mapper (ETM+)

2- Nuarsa

3- Siyal

4- Cheng & Wu

5- Scan Line Corrector (SLC)

6- Ali & Mohammed

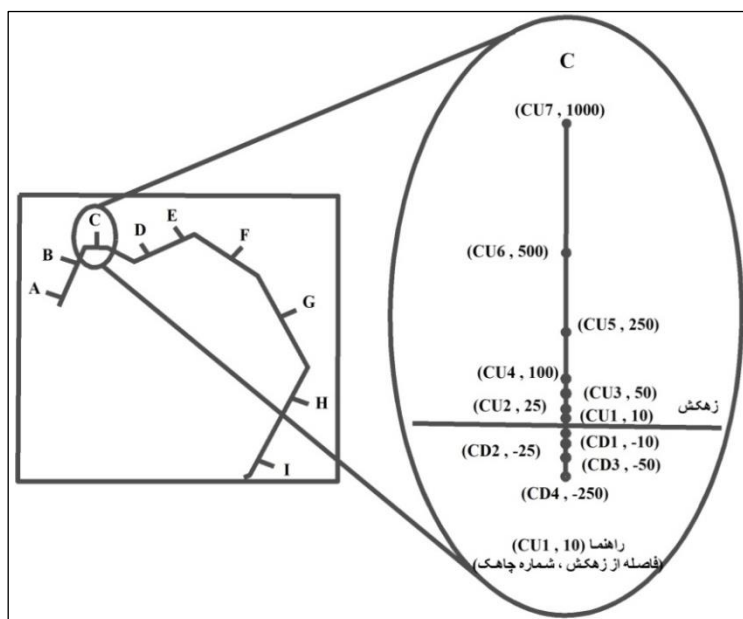
7- ENVI

پس از تحلیل شاخص‌های سنجش از دور در محدوده مطالعاتی، اطلاعات حاصل از تصاویر ماهواره‌ای و داده‌های زمینی مقایسه شده است. داده‌های زمینی مورد استفاده در پژوهش حاضر با اطلاعات ۹۹ چاهک مشاهداتی حفر شده در حاشیه زهکش حائل شوره‌زار مرتبط بوده که در طی سال‌های ۱۳۸۹ و ۱۳۹۱ در این محدوده ثبت شده است. این چاهک‌ها در نُه راستای عمود بر زهکش (A تا I) و ۱۱ چاهک در هر راستا قرار دارند. در بالادست هر مقطع هفت چاهک به فاصله ۱۰، ۲۵، ۵۰، ۱۰۰، ۲۵۰، ۵۰۰ و ۱۰۰۰ متر و در پایین دست چهار چاهک به فاصله ۱۰، ۲۵، ۵۰ و ۲۵۰ متری از خط زهکش حفر شده است (شکل ۲).

خاک‌های خیلی شور و شوره‌زارها تنوع ریخت‌شناختی و شیمیایی زیادی دارند؛ بنابراین به دلیل پیچیدگی‌های زیاد فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک، انتظار پیچیدگی‌های طیفی خاک نیز منطقی است. همین مسئله موجب شده بازتاب‌های طیفی مختلفی از شوره‌زارها حاصل شود. به همین دلیل روش یا رابطه ریاضی مشخصی برای تهیه نقشه شوری خاک با استفاده از اطلاعات سنجش از دور وجود ندارد. بر این اساس، در نوشتار پیش رو از شاخص‌های مختلفی به منظور پایش شوری خاک در محدوده شوره‌زار استفاده شده است؛ از سوی دیگر، به دلیل اینکه بازتاب طیفی و تراکم پوشش گیاهی در محدوده مورد مطالعه با پوشش گیاهی زمین‌های کشاورزی و باغی بسیار متفاوت است، از چند شاخص پوشش گیاهی به منظور پایش استفاده شده است (جدول ۲).

نتایج

به منظور تحلیل وضعیت شوری و پوشش گیاهی ابتدا همبستگی بین عناصر اندازه‌گیری شده خاک و باندهای تصاویر ماهواره‌ای بررسی شد (جدول ۳). براساس نتایج آزمون همبستگی بین عناصر اندازه‌گیری شده در خاک و باندهای تصاویر ماهواره‌ای، باندهای ۵ و ۷ با شاخص نسبت جذب سدیم^۱ خاک قبل از احداث زهکش همبستگی بسیار معنی‌داری داشته و به همین ترتیب دو باند مذکور بعد از احداث زهکش، با شاخص هدایت الکتریکی خاک همبستگی داشته است. در واقع شاخص‌هایی که شامل باندهای قرمز و مادون قرمز باشند، ارتباط معنی‌داری با پارامترهای شوری خاک از خود نشان داده‌اند.



شکل ۲. موقعیت نقاط مربوط به مشاهده زمینی در محدوده زهکش حائل شوره‌زار

جدول ۲. شاخص‌های شوری خاک و پوشش گیاهی مورد استفاده در پژوهش

منبع	تعریف شاخص	شاخص
خان و همکاران (۲۰۰۵)	$NDSI = (B3 - B4) / (B3 + B4)$	شوری خاک
خان و همکاران (۲۰۰۵)	$BI = \sqrt{B_3^2 + B_4^2}$	
دهنی و لونیس ^۱ (۲۰۱۲)	$SI = \sqrt{B_1 \times B_3}$	
دهنی و لونیس (۲۰۱۲)	$SI_1 = \sqrt{B_2 \times B_3}$	
دهنی و لونیس (۲۰۱۲)	$SI_2 = \sqrt{B_2^2 + B_3^2 + B_4^2}$	
دهنی و لونیس (۲۰۱۲)	$SI_3 = \sqrt{B_2^2 + B_3^2}$	
رز ^۲ و همکاران (۱۹۷۴)	$NDVI = (B4 - B3) / (B4 + B3)$	پوشش گیاهی
خان و همکاران (۲۰۰۵)	$LAI = -\frac{1}{0.91} \ln \frac{0.69 - SAVI}{0.59}$	
هیوت و همکاران (۲۰۰۲)	$EVI = ((2.5) \times ((B5 - B4) / (B5 + 6 \times B4 - 7.5 + B2 + 1)))$	
هیوت (۱۹۸۸)	$SAVI = (1 + L) \frac{\alpha_2 - \alpha_1}{L + \alpha_1 + \alpha_2}$	
کرودن ^۳ و همکاران (۲۰۱۲)	$GVI = -0.1603B_1 - 0.2819B_2 - 0.4934B_3 - 0.7940B_4 - 0.0002B_5 - 0.1446B_7$	

جدول ۳. نتایج آزمون همبستگی بین عناصر اندازه‌گیری شده خاک و باندهای تصاویر ماهواره‌ای

باندهای تصویر ماهواره						عنصر / شاخص	سال	دوره زمانی
b7	b5	b4	b3	b2	b1			
-۰/۰۸	-۰/۱۵	۰/۰۹	-۰/۰۱	-۰/۲۰	-۰/۱۴	سدیم	۱۳۸۹	پیش از احداث زهکش
-۰/۲۳	-۰/۲۷	۰/۱۰	۰/۰۱	-۰/۲۴	-۰/۲۰	کلر		
۰/۳۷**	۰/۳۵**	۰/۱۷	۰/۲۳*	۰/۲۴*	۰/۱۹	SAR		
۰/۲۲	-۰/۱۳	۰/۱۲	۰/۰۷	۰/۰۱	۰/۰۶	EC		
-۰/۴۰	-۰/۳۵	-۰/۳۷	-۰/۲۶	-۰/۳۹	-۰/۳۱	سدیم	۱۳۹۱	پس از احداث زهکش
-۰/۴۷	-۰/۴۴	-۰/۳۹	-۰/۳۷	-۰/۴۸	-۰/۴۱	کلر		
-۰/۰۱	۰/۰۶	۰/۱۱	۰/۱۶	۰/۰۳	۰/۰۷	SAR		
-۰/۶۸*	-۰/۶۴*	-۰/۵۴	-۰/۴۹	-۰/۶۳*	-۰/۵۴	EC		

** و * به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪ و ۵٪

در گام بعد شاخص‌های شوری و پوشش گیاهی SI_2 , SI_1 , SI , $SAVI$, $NDVI$, $NDSI$, LAI , GVI , EVI , BI بررسی شد. به منظور بررسی روند تغییرات شوری خاک و پوشش گیاهی و SI_3 در طی سال‌های ۱۳۸۲ تا ۱۳۹۷ بررسی شد. به منظور بررسی روند تغییرات شوری خاک و پوشش گیاهی در محدوده شوره‌زار مرکزی دشت قزوین، مقادیر عددی شاخص‌های مورد بررسی از تصاویر ماهواره‌ای استخراج شده و تغییرات شاخص‌ها در دو بازه زمانی پیش از احداث زهکش و پس از احداث آن، براساس آزمون آماری مقایسه میانگین بررسی شد (جدول ۴).

نتایج آزمون مقایسه میانگین شاخص‌های سنجش از دور، پیش و پس از احداث زهکش حائل نشان داد که احداث زهکش حائل در منطقه شوره‌زار مرکزی دشت قزوین تأثیر معنی‌داری بر روند تغییرات شوری و پوشش گیاهی منطقه نداشته به گونه‌ای که هیچ‌یک از یازده شاخص مستخرج از تصاویر ماهواره‌ای، تغییرات معنی‌داری در دوره پیش و پس از احداث زهکش حائل از خود نشان نداده است. مهم‌ترین دلیل این امر را می‌توان عدم اجرای

1- Dehni & Lounis

2- Rouse

3- Cruden

کامل طرح زهکش حائل در محدوده شوره‌زار مرکزی و محدوده تأثیر محدود زهکش احداث شده در منطقه، عنوان کرد.

نتایج آزمون آماری مقایسه میانگین درمقیاس تغییرات فصلی نشان داد که شاخص‌های سنجش از دور مرتبط با پایش وضعیت شوری خاک شامل شاخص‌های BI، SI، SI1، SI2 و SI3 در سطح معنی‌داری به تغییرات فصلی وضعیت خاک سطحی، عکس‌العمل نشان داده‌اند. ازسوی دیگر، شاخص‌های مرتبط با پایش وضعیت پوشش گیاهی، در تغییر وضعیت پوشش گیاهی از فصل بهار به تابستان، اختلاف معنی‌داری از خود نشان داده‌اند (جدول ۵).

با توجه به اطلاعات زمین‌مرجع ثبت‌شده در محدوده شوره‌زار، آزمون همبستگی بین شاخص‌های سنجش از دور و داده‌های زمینی انجام گرفت. نتایج آزمون همبستگی شاخص‌های سنجش از دور و داده‌های زمینی نشان داد در محدوده شوره‌زار شاخص SI ضریب همبستگی بسیار معنی‌داری با داده‌های شوری خاک داشته است (جدول ۶).

نتایج همبستگی میانگین نشان داد که شاخص GVI همبستگی منفی بالایی با همه شاخص‌های شوری دارد؛ ولی بین شاخص‌های شوری و پوشش گیاهی دیگر همبستگی کمتری وجود داشته است (جدول ۷). بر این اساس، نقشه تغییرات مکانی دو شاخص SI و GVI در محدوده شوره‌زار مرکزی دشت قزوین تهیه شده است (شکل ۳ و ۴).

جدول ۴. نتایج آزمون مقایسه میانگین شاخص‌های سنجش از دور، پیش و پس از احداث زهکش حائل

شاخص	درجه آزادی	میانگین		انحراف معیار		مقدار t	سطح معنی‌داری P
		پیش از احداث زهکش	پس از احداث زهکش	پیش از احداث زهکش	پس از احداث زهکش		
BI	۵۷	۰/۳۷	۰/۳۹	۰/۰۶۰۰	۰/۰۵۹۹	-۱/۳۳	۰/۱۹
EVI	۵۷	۰/۰۷	۰/۶۸	۰/۰۱۳۵	۰/۰۰۹۵	۰/۸۷۹	۰/۳۸
GVI	۵۷	-۰/۴۳	-۰/۴۷	۰/۰۰۷۹	۰/۰۰۸۲	۱/۶۲۸	۰/۱۰
LAI	۵۷	۰/۱۴	۰/۱۲	۰/۰۴۷۹	۰/۰۳۳۲	۱/۰۳۹	۰/۳۰
NDSI	۵۷	-۰/۰۷	-۰/۰۷	۰/۰۱۳۴	۰/۰۰۸۷	-۱/۳۸۵	۰/۱۷
NDVI	۵۷	۰/۰۷	۰/۰۷	۰/۰۱۳۴	۰/۰۰۸۷	۱/۳۸۵	۰/۱۷
SAVI	۵۷	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۱۰۸	۰/۰۰۶۸	۰/۶۰۷	۰/۵۴
SI	۵۷	۰/۲۰	۰/۲۱	۰/۰۲۸۰	۰/۰۲۷۹	-۱/۳۲۹	۰/۱۸
SI1	۵۷	۰/۲۱	۰/۲۲	۰/۰۳۴۴	۰/۰۳۴۸	-۱/۳۸۵	۰/۱۷
SI2	۵۷	۰/۴۱	۰/۴۴	۰/۰۶۷۰	۰/۰۶۶۹	-۱/۳۵۱	۰/۱۸
SI3	۵۷	۰/۳۰	۰/۳۲	۰/۰۴۹۶	۰/۰۵۰۲	-۱/۴۲۱	۰/۱۶

جدول ۵. نتایج آزمون مقایسه میانگین شاخص‌های سنجش از دور در مقیاس تغییرات فصلی

شاخص	تفاوت میانگین			
	زمستان به بهار	بهار به تابستان	تابستان به پاییز	پاییز به زمستان
BI	-۰/۰۹۳**	-۰/۰۲۶*	۰/۰۷۷**	۰/۰۴۲*
EVI	-۰/۰۱۱*	۰/۰۱۱*	۰/۰۰۳ ^{ns}	-۰/۰۰۳ ^{ns}
GVI	۰/۰۰۶ ^{ns}	۰/۰۱۵*	-۰/۰۰۶*	-۰/۰۰۴ ^{ns}
LAI	-۰/۰۰۴ ^{ns}	۰/۰۴۳*	۰/۰۰۷ ^{ns}	-۰/۰۰۹ ^{ns}
NDSI	۰/۰۰۵ ^{ns}	-۰/۰۱۲*	۰/۰۰۳ ^{ns}	۰/۰۰۵ ^{ns}
NDVI	-۰/۰۰۵ ^{ns}	۰/۰۱۲*	-۰/۰۰۳ ^{ns}	-۰/۰۰۵ ^{ns}
SAVI	-۰/۰۱۱*	۰/۰۰۷ ^{ns}	۰/۰۰۳ ^{ns}	-۰/۰۰۱ ^{ns}
SI	-۰/۰۴۱**	-۰/۰۱۲*	۰/۰۳۳**	۰/۰۱۹*
SI1	-۰/۰۵۴**	-۰/۰۱۶*	۰/۰۴۴**	۰/۰۲۵*
SI2	-۰/۰۱۰۶**	-۰/۰۲۸*	۰/۰۸۶**	۰/۰۴۸*
SI3	-۰/۰۷۷**	-۰/۰۲۳*	۰/۰۶۴**	۰/۰۳۶*

جدول ۶. نتایج آزمون همبستگی شاخص‌های سنجش از دور و داده‌های زمینی

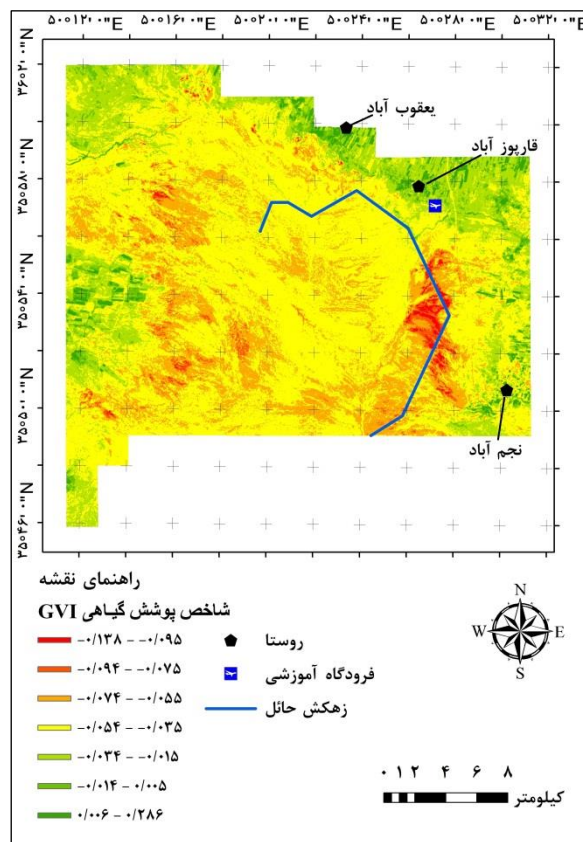
دوره زمانی	شاخص	BI	EVI	GVI	LAI	NDSI	NDVI	SAVI	SI	SI1	SI2	SI3
پیش از احداث زهکش	EC	-۰/۲۰	-۰/۲۶*	۰/۱۵*	-۰/۲۱*	۰/۱۷	-۰/۱۷	-۰/۲۴*	-۰/۲۰**	-۰/۲۱	-۰/۲۰	-۰/۲۰
پس از احداث زهکش	EC	-۰/۲۶	-۰/۳۹	۰/۲۴*	-۰/۴۲	۰/۳۳	-۰/۳۳	-۰/۲۷	-۰/۲۸*	-۰/۱۸	-۰/۳۳	-۰/۲۵
	SAR	-۰/۰۶	-۰/۳۱	-۰/۱۲	-۰/۲۰*	۰/۳۱*	-۰/۳۱*	۰/۳۰*	-۰/۰۱	-۰/۰۱	-۰/۰۴	-۰/۰۲
	SAR	۰/۳۵	-۰/۴۱	-۰/۰۸	-۰/۳۸	۰/۳۷	-۰/۳۷	-۰/۲۸	۰/۱۳	۰/۳۵	۰/۳۰	۰/۳۱

جدول ۷. همبستگی بین میانگین شاخص پوشش گیاهی و شوری خاک در فصل‌های مختلف سال

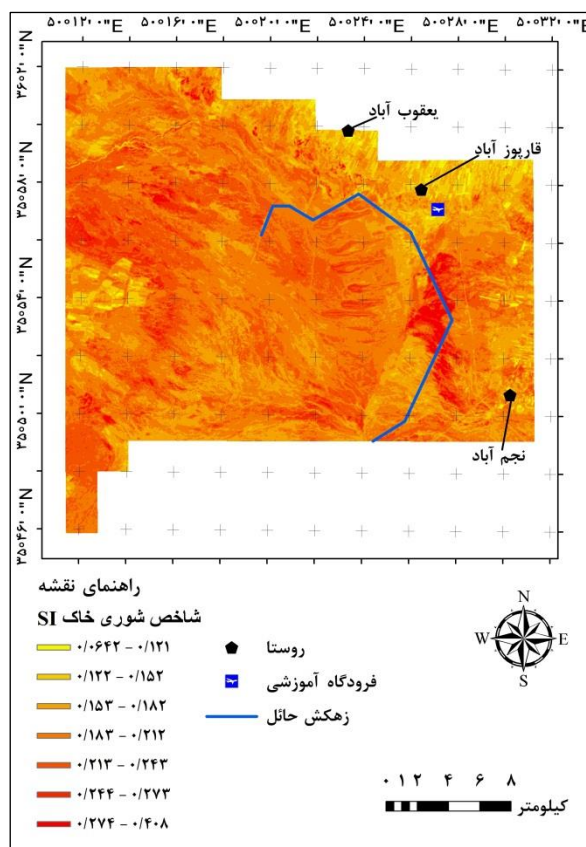
فصل	شاخص	BI	SI	SI1	SI2	SI3
زمستان	EVI	۰/۷۳	۰/۷۳	۰/۷۲	۰/۷۴	۰/۷۲
	GVI	-۰/۸۴	-۰/۹۰	-۰/۸۸	-۰/۸۶	-۰/۸۸
	LAI	۰/۶۹	۰/۶۹	۰/۶۹	۰/۷۰	۰/۶۸
	NDSI	-۰/۱۱	-۰/۰۶	-۰/۰۷	-۰/۱۰	-۰/۰۷
	NDVI	۰/۱۱	۰/۰۶	۰/۰۷	۰/۱۰	۰/۰۷
	SAVI	۰/۷۸	۰/۷۴	۰/۷۶	۰/۷۸	۰/۷۶
بهار	EVI	-۰/۲۷	-۰/۳۷	-۰/۴۰	-۰/۲۸	-۰/۴۱
	GVI	-۰/۶۴	-۰/۷۹	-۰/۷۸	-۰/۶۷	-۰/۷۸
	LAI	-۰/۲۹	-۰/۳۹	-۰/۴۲	-۰/۳۰	-۰/۴۳
	NDSI	۰/۳۷	۰/۵۱	۰/۵۲	۰/۳۹	۰/۵۳
	NDVI	-۰/۳۷	-۰/۵۱	-۰/۵۲	-۰/۳۹	-۰/۵۳
	SAVI	-۰/۲۲	-۰/۳۸	-۰/۳۸	-۰/۲۵	-۰/۳۹
تابستان	EVI	۰/۲۱	۰/۱۶	۰/۱۶	۰/۲۱	۰/۱۵
	GVI	-۰/۷۵	-۰/۸۳	-۰/۸۰	-۰/۷۶	-۰/۸۰
	LAI	۰/۱۸	۰/۱۲	۰/۱۲	۰/۱۷	۰/۱۲
	NDSI	۰/۱۵	۰/۲۳	۰/۲۲	۰/۱۶	۰/۲۲
	NDVI	-۰/۱۵	-۰/۲۳	-۰/۲۲	-۰/۱۶	-۰/۲۲
	SAVI	۰/۳۳	۰/۲۵	۰/۲۷	۰/۳۲	۰/۲۶
پاییز	EVI	۰/۳۳	۰/۲۵	۰/۲۷	۰/۳۲	۰/۲۷
	GVI	-۰/۸۲	-۰/۹۲	-۰/۸۷	-۰/۸۴	-۰/۸۷
	LAI	۰/۲۸	۰/۲۱	۰/۲۲	۰/۲۶	۰/۲۲
	NDSI	۰/۳۲	۰/۴۶	۰/۴۱	۰/۳۵	۰/۴۰
	NDVI	-۰/۳۲	-۰/۴۶	-۰/۴۱	-۰/۳۵	-۰/۴۰
	SAVI	۰/۳۶	۰/۲۰	۰/۲۷	۰/۳۳	۰/۲۷

بحث

خاک‌های خیلی شور و شورزارها تنوع ریخت‌شناختی و شیمیایی زیادی دارند. به دلیل پیچیدگی‌های زیاد فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک، انتظار پیچیدگی‌های طیفی خاک نیز منطقی است و همین مسئله موجب می‌شود بازتاب‌های طیفی مختلفی از شورزارها حاصل شود. به همین دلیل، روش یا رابطه ریاضی مشخصی برای تهیه نقشه شوری خاک با استفاده از اطلاعات سنجش از دور وجود ندارد (مرادیان و همکاران، ۱۳۹۶). تفکیک پذیری خاک‌های شور به وسیله سنجش از دور، به ویژگی‌های بازتاب طیفی این خاک‌ها برمی‌گردد.



شکل ۳. تغییرات شاخص GVI در محدوده شورهزار مرکزی دشت قزوین در تاریخ ۱۳۹۷/۶/۶



شکل ۴. تغییرات شاخص SI در محدوده شورهزار مرکزی دشت قزوین در تاریخ ۱۳۹۷/۶/۶

مطالعات صحرائی و اندازه‌گیری‌های رادیومتری متعدد نشان‌دهنده آن است که در بیشتر موارد، خاک‌های شور نسبت به خاک‌های غیر شور، بازتاب طیفی بیشتری در ناحیه مرئی و مادون قرمز طیف دارند (مسعودی، ۱۳۸۰). فریفته^۱ و همکاران (۲۰۰۵) ماهواره لندست را یکی از مناسب‌ترین ماهواره‌ها برای بررسی ویژگی‌های خاک، پدیده‌های تخریب خاک (مثل شور شدن) و تعیین رطوبت خاک معرفی کردند. آن‌ها داشتن تعداد نوارهای زیاد، محدوده طیفی وسیع از محدوده مرئی تا مادون قرمز حرارتی را از دلایل این امر بیان کردند. علوی‌پناه^۲ و همکاران (۲۰۱۰) به نقش کلیدی نوار حرارتی لندست در تشخیص خاک‌های شور اشاره کردند. به‌گونه‌ای که با حذف این نوار، صحت طبقه‌بندی خاک‌های شور به‌طور قابل توجهی کاهش می‌یابد.

بازتاب طیفی در پوسته‌های غیر شور کمتر و اندکی شکل منحنی طیفی آن‌ها از پوسته‌های شور متفاوت است (صفدر^۳ و همکاران، ۲۰۱۹)؛ همچنین خاک‌های شور خشک نسبت به خاک‌های شور مرطوب بازتاب بیشتری داشته که این رفتار به‌علت اثر کاهندگی بازتاب‌ها به‌وسیله رطوبت است. به‌طور کلی ناحیه مادون قرمز حرارتی، بیشتر برای تعیین رطوبت و شوری خاک با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای به‌کار می‌رود. در پژوهش حاضر نیز شاخص‌هایی که شامل باندهای قرمز و مادون قرمز بودند، ارتباط معنی‌داری با پارامترهای شوری خاک از خود نشان داده‌اند؛ به‌عبارتی، رنگ روشن خاک به‌دلیل شور و سدیک بودن از یک‌سو و کمبود کربن آلی در خاک، از دیگر سو باعث همبستگی باندهای ۵ و ۷ تصاویر ماهواره‌ای با مقادیر اندازه‌گیری‌شده عناصر در خاک شده است. عبدی (۱۳۸۳) نیز وجود همبستگی بالای ارقام رقومی باند ۷ تصویر ماهواره لندست با مقادیر متناظر عددی شوری خاک را در محدوده شور زار دشت قزوین گزارش کرده بود؛ از سوی دیگر، پوشش گیاهی در بازتاب طیفی خاک‌های شور تأثیر زیادی می‌گذارد و بازتاب طیفی خاک‌ها، تحت تأثیر پوشش گیاهی سبز قرار می‌گیرد. هرچند بقایای گیاهی خشک بر این محدوده تأثیری ندارند؛ درحالی‌که در محدوده طیفی مادون قرمز موج کوتاه، بقایای پوشش گیاهی به‌علت وجود سلولز و آب اثرات معنی‌داری بر بازتاب دارند؛ افزون بر این مترنیخت و زینک (۲۰۰۳) دریافتند که گیاهان هالوفیت، شاخص خوبی برای جداکردن نواحی شور و قلیا از مناطقی غیر شور است؛ اما موجب اختلاط بازتاب طیفی طبقه‌های شور و قلیا می‌شود. باوجود تأثیر گیاهان در بازتاب شوری، آن‌ها می‌توانند به‌مثابه شاخص غیر مستقیم در سنجش از دور خاک استفاده شوند؛ بر همین اساس، در پژوهش حاضر، بین داده‌های شاخص پوشش گیاهی همانند NDVI و هدایت الکتریکی خاک، بیشترین همبستگی (منفی) وجود دارد که تفکیک خاک‌های شور و قلیا را از مناطق غیر شور ممکن می‌سازد؛ اما مشکل تفکیکی خاک‌های شور و قلیا از یکدیگر، همچنان باقی است.

بهترین زمان برای تهیه داده‌های سنجش از دور (مرئی و مادون قرمز)، برای تشخیص نمک خاک و شوری خاک سطحی، پایان فصل خشک است؛ زیرا نمک‌ها در فصل تر شسته می‌شوند (زینالی و همکاران، ۱۳۹۵)؛ بنابراین تصاویر ماهواره‌ای مورد استفاده در نوشتار پیش رو در ماه‌های خشک سال بیشترین میزان همبستگی با شوری خاک را از خود نشان داد و در ماه‌های همراه با بارندگی، از میزان همبستگی این دو عامل کاسته شده است. برآورد شوری خاک براساس شاخص SI در موارد متعددی بررسی شده و بررسی‌ها نشان‌دهنده دقت مناسب این شاخص در برآورد شوری خاک سطحی، در مناطق خشک و نیمه‌خشک بوده است (عبدی، ۱۳۸۳؛ اژیرابی و همکاران، ۱۳۹۴؛ احمدی و همکاران، ۱۳۹۶). در پژوهش حاضر، نتایج آزمون همبستگی شاخص‌های سنجش از دور و

1- Farifteh

2- Alavi Panah

3- Safdar

داده‌های زمینی نشان داد در محدوده شورزار، شاخص SI ضریب همبستگی بسیار معنی‌داری با داده‌های شوری خاک داشته است. لازم به ذکر است با توجه به دینامیک بودن پدیده شوری، می‌توان انتظار داشت رفتار بازتاب طیفی زمین‌های شور در طی سال‌های مختلف روند ثابتی را از خود نشان ندهد. به همین دلیل نتایج حاصل از این‌گونه پژوهش‌ها، برای همان منطقه و همان شرایط مطالعه قابل استناد است (مومی‌پور، ۱۳۹۷).

نتیجه‌گیری

پژوهش حاضر نشان داد که احداث زهکش حائل در شورزار مرکزی دشت قزوین تأثیری در روند تغییرات شوری خاک و پوشش گیاهی منطقه نداشته است؛ به‌گونه‌ای که هیچ‌یک از یازده شاخص استخراج‌شده از تصاویر ماهواره‌ای، تغییرات معنی‌داری در دوره پیش و پس از احداث زهکش حائل از خود نشان نداد؛ به‌عبارتی شوری خاک و درصد پوشش گیاهی در محدوده شورزار مرکزی دشت قزوین در طی یک دوره پانزده‌ساله تغییرات محسوسی نداشته و این امر بدان معنی است که احداث زهکش به دلیل وسعت زیاد شورزار، تأثیر محسوسی در محدوده شورزار مرکزی دشت قزوین نداشته است؛ اما با توجه به خشک‌بودن 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.

با توجه به اینکه دشت قزوین یکی از قطب‌های کشاورزی کشور محسوب می‌شود؛ گسترش زمین‌های شور، یکی از بزرگ‌ترین معضلات تهدیدکننده کشاورزی منطقه به‌شمار می‌آید؛ بنابراین لازم است به‌منظور اصلاح و مدیریت زمین‌های شور در زمین‌های حاشیه شورزار، برنامه‌ریزی مناسبی در نظر گرفته شود. نکته مهم آن است که اصلاح و مدیریت مناطق شور نیاز به اطلاعات کمی، به‌هنگام و دقیق دارد که یکی از راه‌های دسترسی به این اطلاعات، استفاده از داده‌های ماهواره‌ای است که در مقایسه با روش تهیه نقشه‌های سنتی و معمول، توانایی تولید اطلاعات و نقشه‌های به‌هنگام و با هزینه کمتر را دارد؛ به‌عبارتی استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و استخراج شاخص‌های شوری خاک و پوشش گیاهی براساس آن، دید کلی از یک منطقه را ارائه می‌دهند؛ اما باید داده‌های ماهواره‌ای را در هر زمان ممکن با نمونه‌های میدانی، واسنجی کرد. از آنجاکه وضعیت شوری خاک عمقی یکی از عوامل مهم در استقرار پوشش گیاهی منطقه است؛ بنابراین انجام مطالعاتی با تلفیق روش سنجش از دور، داده‌های ژئوفیزیکی و مدل‌های شبیه‌سازی می‌تواند به شناخت هرچه بیشتر وضعیت منطقه منجر شود.

سپاسگزاری

نوشتار پیش رو برگرفته از نتایج طرح تحقیقاتی خاص مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، به‌شماره مصوب ۹۴۱۱۱-۱۴-۵۱-۴ از محل اعتبارات سازمان جهاد کشاورزی استان قزوین بوده است.

منابع

- احمدی، مجید؛ رضایی‌مقدم، محمدحسین؛ فیضی‌زاده، بختیار (۱۳۹۶). بررسی شاخص‌ها و تهیه نقشه شوری خاک با استفاده از داده‌های سنجش از دور (مطالعه موردی: دلتای آچی چای). *سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی*، ۱ (۱)، ۸۵-۹۶.
- اژرابی، رحیم؛ کامکار، بهنام؛ عبدی، امید (۱۳۹۴). مقایسه شاخص‌های مختلف استخراج‌شده از تصاویر ماهواره لندست برای پهنه‌بندی شوری خاک در مزرعه نمونه ارتش گرگان. *مدیریت خاک و تولید پایدار*، ۵ (۱)، ۱۷۳-۱۸۶.

- اسکندری، لیلیا؛ افلاطونی، محمد؛ فولادمند، حسین (۱۳۹۲). ارزیابی مدل PMWIN در پایین‌انداختن سطح ایستابی در حاشیه زهکش حائل شوره‌زار قزوین. *نشریه آبیاری و زهکشی ایران*، ۷ (۳)، ۴۲۲-۴۳۱.
- افلاطونی، محمد؛ اسکندری، لیلیا؛ دهقانی سانج، حسین (۱۳۹۳). واسنجی و تحلیل حساسیت رفتار هیدرولیکی آبخوان در شبیه‌سازی زهکش حائل دشت قزوین. *تحقیقات آب‌و‌خاک ایران*، ۴۵ (۳)، ۲۸۳-۲۹۱.
- خدادادی، مارال؛ عسکری، محمدصادق؛ سرمیدان، فریدون؛ رفاهی، حسینقلی؛ نوروزی، علی‌اکبر؛ حیدری، احمد؛ متین‌فر، حمیدرضا (۱۳۸۸). تهیه نقشه خاک‌های تحت تأثیر شوری با استفاده از داده‌های سنجنده ETM⁺ در بخشی از دشت قزوین. *مهندسی و مدیریت آبخیز*، ۱ (۲)، ۹۹-۱۱۰.
- دائم‌پناه، راضیه؛ حق‌نیا، غلامحسین؛ علیزاده، امین؛ کریمی کارویه، علیرضا (۱۳۹۰). تهیه نقشه شوری و سدیمی خاک سطحی با روش‌های دورسنجی و زمین‌آماری در جنوب شهرستان مهولات. *آب‌و‌خاک*، ۲۵ (۳)، ۴۹۸-۵۰۸.
- دشتکیان، کاظم؛ پاک‌پور، مجتبی؛ عبدالهی، جلال (۱۳۸۷). بررسی روش‌های تهیه نقشه شوری خاک با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای لندست در منطقه مروست. *تحقیقات مرتع و بیابان ایران*، ۱۵ (۲)، ۱۳۹-۱۵۷.
- زینالی، محمد؛ جعفرزاده، علی‌اصغر؛ شهبازی، فرزین؛ اوستان، شاهین؛ ولی‌زاده کامران، خلیل (۱۳۹۵). ارزیابی شوری خاک سطحی با روش پیکسل‌مبنا براساس داده‌های سنجنده TM. *اطلاعات جغرافیایی (سپهر)*، ۲۵ (۹۹)، ۱۲۷-۱۳۹.
- ستوده‌نیا، عباس؛ جعفری، محدثه؛ دانش کار آراسته، پیمان (۱۳۹۳). نقش زهکش حائل شوره‌زار مرکزی قزوین در کنترل شوری. *تحقیقات آب‌و‌خاک ایران*، ۴۵ (۴)، ۴۴۷-۴۵۲.
- ستوده‌نیا، عباس؛ جعفری، محدثه (۱۳۹۵). بررسی اثر زهکش حائل شوره‌زار قزوین بر سطح ایستابی منطقه با استفاده از مدل Seep/w. *تحقیقات آب‌و‌خاک ایران*، ۴۷ (۲)، ۲۳۷-۲۴۵.
- شیرازی، میترا؛ زهتابیان، غلامرضا؛ علوی‌پناه، سید کاظم (۱۳۸۹). امکان‌پذیری استفاده از تصاویر ماهواره‌ای IRS در بررسی وضعیت آب، خاک، پوشش گیاهی منطقه نجم‌آباد ساوجبلاغ. *محیط‌زیست طبیعی (منابع طبیعی ایران)*، ۶۳ (۱)، ۳۳-۵۰.
- عبدی، علی (۱۳۸۳). بررسی تهیه نقشه شوری خاک با استفاده از ایجاد همبستگی بین داده‌های ماهواره‌ای با مقادیر عددی شوری خاک در دشت قزوین. *پژوهش و سازندگی*، ۱۷ (۳)، ۳۳-۳۸.
- علوی‌پناه، سید کاظم (۱۳۸۵). کاربرد سنجش از دور در علوم زمین (علوم خاک). تهران: دانشگاه تهران.
- کرم، امیر؛ کیانی، طیبه؛ دادرسی سبزواری، ابوالقاسم؛ داورزنی، زهرا (۱۳۹۸). برآورد شوری خاک با استفاده از داده‌های دورسنجی و آمار مکانی در منطقه سبزواری. *پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی*، ۷ (۴)، ۳۱-۵۳.
- مرادیان، شیرین؛ نبی‌اللهی، کمال؛ تقی‌زاده مهرجردی، روح‌الله (۱۳۹۶). پیش‌بینی شوری خاک با استفاده از رگرسیون درختی و شبکه عصبی مصنوعی در منطقه قروه استان کردستان. *مجله مدیریت خاک و تولید پایدار*، ۷ (۴)، ۱۱۵-۱۲۹.
- مسعودی، مسعود (۱۳۸۰). بررسی قابلیت تصاویر ماهواره‌ای در طبقه‌بندی خاک‌های تحت تأثیر شوری و قلیائیت. *تحقیقات مرتع و بیابان ایران*، ۱ (۴)، ۱۰-۲۱.
- مومی‌پور، مهدی (۱۳۹۷). بررسی تغییرات زمانی و مکانی شوری خاک شهرستان آبادان در بازه ۲۴ ساله با تصاویر ماهواره‌ای. *جغرافیا و پایداری محیط*، ۱ (۲۷)، ۴۷-۵۸.
- مهندسین مشاور سامان آبراه (۱۳۸۹). *مطالعات زهکشی حاشیه شوره‌زار دشت قزوین (جلد ۶، مطالعات زهکشی)*. قزوین: سازمان جهاد کشاورزی استان قزوین.
- نوحه‌گر، احمد؛ زارع، غلامرضا (۱۳۹۱). استخراج پهنه‌های شوری خاک در مناطق خشک و نیمه‌خشک با استفاده از داده‌های سنجش از دور (مطالعه موردی: شهرستان داراب). *مجله جغرافیا و مخاطرات محیطی*، ۱ (۱)، ۴۹-۶۴.
- نوروزی، علی‌اکبر؛ همائی، مهدی؛ فرشاد، عباس (۱۳۹۲). برآورد شوری خاک سطحی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست:

مقایسه آمار کلاسیک با مدل‌های آمار مکانی. مرتع و آبخیزداری، ۶۶ (۴)، ۶۰۹-۶۲۰.
 واعظی، علیرضا (۱۳۹۵). مطالعه تأثیر زهکش حائل بر روی پویایی پوشش گیاهی در شورزار دشت مرکزی قزوین. تهران: مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی.

References

- Abdi, A. (2004). An investigation on preparing of the soil salinity map using correlation method between imagery and soil salinity data in the Qazvin plain. *Pajouhesh & Sazandegi*, 17 (3), 33-38. (In Persian)
- Aflatouni, M., Eskandari, L. & Dehghanisanich, H. (2014). Calibration and Sensitivity Analysis of Hydraulic Behavior in Qazvin Plain Aquifer. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 45 (3), 283-291. (In Persian)
- Ahmadi, M., Rezaei Moghadam, M. & Feizizadeh, B. (2017). Study indexes and mapping of soil salinity using remote sensing data (Case study: Aji Chay river delta). *Journal of RS and GIS for Natural Resources*, 8 (1), 85-96. (In Persian)
- Alavi Panah, S. K. (2006). *Application of Remote Sensing in the Earth Sciences (Soil)*. Tehran: University of Tehran Press. (In Persian)
- Alavi Panah, S. K., Goossens, R., Matinfar, H. R., Mohammadi, H., Ghadiri, M., Irannegad, H. & Alikhah Asl, M. (2010). The efficiency of Landsat Tm and Etm⁺ thermal data for extracting soil information in arid regions. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 10 (5), 439-460.
- Alhammadi, M. S. & Glenn, E. P. (2008). Detecting date palm trees health and vegetation greenness change on the eastern coast of the United Arab Emirates using SAVI. *International Journal of Remote Sensing*, 29 (6), 1745-1765.
- Ali, S. M. & Mohammed, M. J. (2013). Gap-filling restoration methods for ETM⁺ sensor image. *Iraqi Journal of Science*, 54 (1), 206-214.
- Allbed, A., Kumar, L. & Sinha, P. (2018). Soil salinity and vegetation cover change detection from multi-temporal remotely sensed imagery in Al Hassa Oasis in Saudi Arabia. *Geocarto International*, 33 (8), 830-846.
- Azhirabi, R., Kamkar, B. & Abdi, O. (2015). Comparison of different indices adopted from Landsat images to map soil salinity in the army field of Gorgan). *Journal of Soil Management and Sustainable Production*, 5 (1), 173-186. (In Persian)
- Cheng, Q. & Wu, X. (2011). Mapping paddy rice yield in Zhejiang Province using MODIS spectral index. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 35 (6), 579-589.
- Cruden, B. A., Prabhu, D. & Martinez, R. (2012). Absolute radiation measurement in Venus and mars entry conditions. *Journal of Spacecraft and Rockets*, 49 (6), 1069-1079.
- Daempanah, R., Haghnia, G., Alizadeh, A. & Karimi, A. (2011). Mapping Salinity and Sodcity of Surface Soil by Remote Sensing and Geostatistic Methods in South Side of Mah Valat County. *Journal of Water and Soil*, 25 (3), 498-508. (In Persian)
- Dashtekian, K., Pakparvar, M. & Abdollahi, J. (2008). Study of soil salinity preparing methods by using landsat images in Marvast. *Iranian journal of Rangeland and Desert Research*, 15(2), 139-157. (In Persian)
- 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.
- Elhag, M. (2016). Evaluation of Different Soil Salinity Mapping Using Remote Sensing Techniques in Arid Ecosystems, Saudi Arabia. *Sensors*, 3, 1-8.
- Engdawork Asfaw, K., Suryabhagavan, 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.
- Ennajia, W., Barakata, A., Karaouib, I., Baghdadia, M. E. & Ariouab, A. (2018). Remote sensing approach to assess salt-affected soils in the north-east part of Tadla plain, Morocco. *Geology, Ecology, and Landscapes*, 2 (1), 22-28.
- Eskandari, L., Aflatouni, M. & Fuladmand, H. (2014). Evaluation of PMWIN Model for Lowering

- Water Level in Qazvin Saline Drainage Margin. *Iranian Journal of Irrigation and Drainage*, 7 (3), 422-431. (In Persian)
- Farifteh, J., Farshad, A. & George, R. J. (2005). Assessing salt-affected soils using remote sensing, Solute Modeling and Geophysics. *Geoderma*, 130 (3-4), 191-206.
- Huete, A. (1988). A soil-adjusted vegetation index (SAVI). *Remote Sensing Environment*, 25 (3), 295-309.
- Huete, A., Didan, K., Miura, T., Rodriguez, E. P., Gao, X. & Ferreira, L.G. (2002). Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. *Remote Sensing of Environment*, 83 (1-2), 195-213.
- Karam, A., Kiani, T., Dadrasi sabzevar, A. & Davarzani, Z. (2019). Estimating soil salinity by using of remote sensing data and spatial statistic in sabzevar region. *Quantitative Geomorphological Research*, 7 (4), 31-53. (In Persian)
- Khan, N.M., Rastoskuev, V. V., Sato, Y. & Shiozawa, S. (2005). Assessment of hydro saline land degradation by using a simple approach of remote sensing indicators. *Agriculture Water Manage*, 77 (1-3), 96-109.
- Khodadadi, M., Askari, M., Sarmadian, F., Gholi Refahi, H., Norouzi, A., Heidari, A. & Matinfar, H. (2009). Saline soil mapping using ETM⁺ data in the Qazvin plain. *Watershed Engineering and Management*, 1 (2), 99-110. (In Persian)
- Masudi, M. (2001). Investigation of satellite imagery capability for classification of salt and sodium affected soils. *Iranian journal of Rangeland and Desert Research*, 8 (4), 10-21. (In Persian)
- Metternicht, G. I. & Zinck, J. A. (2003). Remote sensing of soil salinity: potentials and constraints. *Journal of Remote Sensing of Environment*, 85 (2), 1-20.
- Moradian, S., Nabiollahi, K. & Taghizadeh, R. (2018). Prediction of soil salinity using tree regression and artificial neural network in Ghorveh soils, Kurdistan Province. *Journal of Soil Management and Sustainable Production*, 7 (4), 115-129. (In Persian)
- Mumipour, M. (2018). Temporal and Spatial Variation of Soil Salinity Variations in a 24-year Period in Abadan District Using Satellite Images. *Geography and Sustainability of Environment*, 8 (27), 47-58. (In Persian)
- Nohegar, A. & Zare, G. (2012). Extraction of soil salinity zone in arid and semi-arid regional using of remote sensing data (case study: Darab Township). *Geography and Environmental Hazards*, 1 (1), 49-64. (In Persian)
- Noroozi, A., Homaei, M. & Farshad, A. (2014). Estimating Topsoil Salinity from LANDST Data: A Comparison between Classic and Spatial Statistics. *Journal of Range and Watershed Management*, 66 (4), 609-620. (In Persian)
- Nuarsa, I. W., Nishio, F. & Hongo, C. H. (2012). Rice yield estimation using Landsat ETM⁺ data and field observation. *Journal of Agricultural Science*, 4 (3), 45-56.
- Rouse, J. R.J., Haas, R. H., Schell, J. A. & Deering, D. W. (1974). *Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS*. USA: NASA special publication.
- Safdar, H., Amin, A., Shafiq, Y., Ali, A., Yasin, R. & Sarwar, M. I. (2019). A review: Impact of salinity on plant growth. *Nature and Science*, 17 (1), 34-40.
- Saman Abrah Consulting Engineers. (2010). *Drainage studies of the Qazvin plain saline margin (Vol. 6, Drainage studies)*. Qazvin: Qazvin Agricultural Jihad Organization. (In Persian)
- Shirazi, M., Zehtabian, G. & Alavipanah, S. (2010). Applicability of IRS Satellite Images for Surveying Water, Soil and Vegetation Cover Condition of Najm Abad Region, Savojbolagh. *Journal of Natural Environment*, 63(1), 33-51. (In Persian)
- Singh, G., Bundela, D. S., Sethi, M., Lal, K. & Kamra, S. K. (2010). Remote Sensing and Geographic Information System for Appraisal of Salt-Affected Soils in India. *Environmental Quality*, 39 (1), 5-15.
- Siyal, A.A., Dempewolf, J. & Becker-Reshef, I. (2015). Rice yield estimation using Landsat ETM⁺ Data. *Journal of Applied Remote Sensing*, 9, 1-16.
- Sotoodehnia, A., Jafari, M. & Daneshkar Arasteh, P. (2014). The Role of Qazvin Central Marsh Interceptor Drain in Controlling Shallow Groundwater Salinity. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 45 (4), 447-452. (In Persian)

- Sotoodehnia, A. & Jafarei, M. (2016). Investigation of Qazvin Marshland Interceptor Drain Effects on Water Table Using Seep/w Model. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 47 (2), 237-245. (In Persian)
- Vaezi, A. R. (2016). *Study of the effect of Interceptor Drain on vegetation dynamics in the central salinity of Qazvin plain*. Tehran: National Institute of Forests and Rangelands Research, Agricultural Research, Education and Promotion Organization. (In Persian)
- Zeinali, M., Jaafarzadeh, A., Shahbazi, F., Oustan, S. & Valizadeh Kamran, K. (2016). Evaluating Surface Soil Salinity by pixel-based method based on TM Sensor Data (Case study: Eastern Lands of Khoy). *Scientific- Research Quarterly of Geographical Data (SEPEHR)*, 25 (99), 127-139. (In Persian)