



فصلنامه علوم محیطی، دوره نوزدهم، شماره ۴، زمستان ۱۴۰۰

۲۲۵-۲۴۸

مقاله پژوهشی

بررسی تأثیر سد گتوند بر تغییرات شوری خاک و پوشش گیاهی زمین های پایین دست سد با استفاده از تصاویر ماهواره ای و سنجه های طیفی

مرتضی شریف و سعید حمزه *

گروه سنجش از دور و GIS، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۱/۱۴ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۴/۲۵

شریف، م. و س. حمزه. ۱۴۰۰. بررسی تأثیر سد گتوند بر تغییرات شوری خاک و پوشش گیاهی زمین های پایین دست سد با استفاده از تصاویر ماهواره ای و سنجه های طیفی. فصلنامه علوم محیطی. ۱۹(۴): ۲۲۵-۲۴۸.

سابقه و هدف: یکی از مهمترین عامل هایی که نقش عمده ای در کاهش حاصلخیزی خاک و تخریب زمین های کشاورزی دارد، عامل شور شدن خاک است. در بسیاری از موارد فعالیت های انسانی و آبیاری زمین های کشاورزی با آب شور عامل شوری زایی می باشد. این مشکل در منطقه های مختلف کشور ایران و بویژه استان خوزستان به چشم می خورد. یکی از چالش های بحث برانگیز سال های اخیر در این استان احداث سد گتوند بر روی بستر نمکی و تأثیر آن بر شور شدن زمین های کشاورزی پایین دست می باشد. از این رو تحقیق حاضر با هدف پایش تغییرات شوری خاک و وضعیت پوشش گیاهی منطقه پایین دست سد گتوند در قبل و بعد از آبیاری این سد با استفاده از تصاویر ماهواره ای و سنجه های طیفی و گیاهی صورت گرفته است.

مواد و روش ها: جهت انجام این تحقیق از سری زمانی تصاویر ماهواره ای دو سنجنده ETM+, OLI از سال ۲۰۱۹ - ۱۹۹۹ استفاده گردید. پس از دریافت تصاویر و انجام پیش پردازش های لازم با استفاده از سنجه های گیاهی (NDVI, SAVI)، سنجه بیوفیزیکی پوشش سطح برگ (LAI) و سنجه های شوری خاک، به روش طبقه بندی تصمیم گیری درختی تغییرات گیاهان شوری پسند و گیاهان شوری ناپسند با توجه به آستانه به دست آمده در هر سال طبقه بندی و تفکیک گردیدند. سپس نتایج نهایی با توجه به روند تغییرات به دست آمده از سنجه های مورد استفاده و روابط همبستگی آن ها با تغییرات اکوسیستم گیاهی منطقه مورد ارزیابی قرار گرفت.

نتایج و بحث: تغییرات پوشش گیاهی در چهار سال ۲۰۱۸، ۲۰۱۳، ۲۰۰۲، ۱۹۹۹ که نسبت به سال های دیگر بیشتر بود با روش طبقه بندی نظارت شده مورد مطالعه و بررسی دقیق قرار گرفت و مساحت منطقه های تحت پوشش گیاهان معمول و گیاهان شورپسند تهیه گردید. براساس نتایج به دست آمده سال ۱۹۹۹ مساحت کل پوشش گیاهی بیشه زارها حدود ۱۱۱۷ هکتار بود که از این مقدار حدود ۱۳۴ هکتار آن مربوط به پوشش گیاهان شوری پسند برآورد گردید. اما این مقادیر در سال ۲۰۱۸ حدود ۹۲۱ هکتار برآورد گردید که منطقه های تحت پوشش گیاهان شورپسند به ۴۴۵ هکتار و گیاهان شوری ناپسند به ۴۷۶ هکتار تغییر یافته است.

نتیجه گیری: نتایج تحقیق، بیانگر شروع بیشترین تنش ها در اکوسیستم گیاهی منطقه و همزمانی افت میزان پوشش سطح برگ و NDVI با

* Corresponding Author: Email Address. saeid.hamzeh@ut.ac.ir

<http://dx.doi.org/10.52547/envs.2021.1014>

<http://dorl.net/dor/20.1001.1.17351324.1400.19.4.7.5>

آبگیری سد گتوند از سال ۲۰۱۱ است. این همزمانی که ناشی از شوری آب دریاچه سد گتوند و در نتیجه رودخانه کارون است، روی افزایش شوری و تغییرات کیفیت خاک منطقه و به تبع آن افزایش گیاهان شورپسند و همچنین تخریب بالای پوشش گیاهی منطقه تأثیر چشمگیری نشان می‌دهد. شرایط موجود می‌تواند در طولانی مدت چالش‌های جدی‌تری برای اکوسیستم گیاهی منطقه ایجاد کند که تغییر اکوسیستم گیاهی به سمت گیاهان شورپسند از مهمترین خطرهای جدی آن به‌شمار می‌رود.

واژه‌های کلیدی: سنجش از دور، لندست، گیاهان شورپسند، LAI, SAVI.

مقدمه

حدود ۱۱/۷۳ میلیون کیلومتر مربع از زمین‌های تحت تأثیر نمک قرار گرفته که حدود ۰/۱۶ میلیون کیلومتر مربع این منطقه‌ها از زمین‌های کشاورزی است. تخمین زده می‌شود، شوری آب تولید محصول‌های کشاورزی جهانی را ۱۲۴ تریلیون کیلو کالری در سال کاهش می‌دهد که معادل غذایی سالانه ۱۷۰ میلیون نفر است (Russ et al., 2020). این نتایج گویای آن است که زمین‌های کشاورزی تحت تأثیر آب‌های شور یک نگرانی جهانی برای امنیت غذایی است.

تنها پایگاه داده‌ای که در حال حاضر داده‌های مربوط به شوری خاک را با پوشش جهانی فراهم می‌کند، پایگاه داده جهانی خاک هارمونیزه است. این پایگاه داده منبع مهمی از داده‌های خاک برای مطالعات جهانی به‌شمار می‌رود (Ivushkin et al., 2019). برای جمع‌آوری داده‌ها در سطح وسیع جهان به‌صورت منطقه‌ای و محلی، استفاده از فناوری دورسنجی و بهره‌گیری از تصویرهای ماهواره‌ای از جمله ابزارهای مؤثر و با اهمیت به‌شمار می‌رود (Corwin, 2021). برای پایش شوری خاک با استفاده از تکنیک‌های سنجش از دور، سطح‌های شور در سطح خاک در فاصله‌های زمانی معین شناسایی شده و سپس تغییرات مکانی و زمانی این پدیده از طریق تصویرهای ماهواره‌ای مشخص می‌گردد. مطالعات انجام گرفته، نشان می‌دهد در منطقه‌های خشک و نیمه خشک، زمین‌های آبیاری شده با آب‌های زیرزمینی غالباً شورتر از زمین‌های آبیاری شده با آب‌های سطحی است (Corwin, 2021). شوری خاک با توجه به بافت خاک پس از آبیاری یا وقوع بارندگی تغییر می‌کند. از طرف دیگر، خشکسالی در طی چند هفته ممکن است شوری را افزایش دهد (Allbed and Sinha, 2014; Taghadosi et al., 2019). در روش‌های سنتی،

شوری خاک یکی از عامل‌های مهم در کاهش رشد و بهره‌وری گیاهان در سراسر جهان است (Chang et al., 2019; Ivushkin et al., 2019). کمابیش یک پنجم زمین‌های کشاورزی در جهان تحت تأثیر شوری خاک قرار دارد. بویژه در منطقه‌های خشک و نیمه خشک که تبخیر شدید است و بارندگی کافی برای شستشوی خاک وجود ندارد (Chang et al., 2019; Dai et al., 2011). از جمله این منطقه‌های کشور ایران با شرایط اقلیمی شکننده است که براساس قدیمی‌ترین گزارش‌ها مساحت خاک‌های شور و قلیایی ایران حدود ۱۲/۵٪ از کل مساحت کشور را تشکیل می‌داد (Dewan and Famuri, 1964). این مساحت در مطالعه Sayyari and Mahmoodi (2002) ۱۵-۱۷٪ از کل مساحت کشور تخمین زده شده است. این آمار نشان می‌دهد، خاک‌های شور سطح وسیعی از کشور را فرا گرفته و در مساحت‌های کوچک در نقطه‌های مختلف کشور پراکنده بوده و زمین‌های مجاور خود را نیز مورد تهدید قرار می‌دهند. شوری خاک، به‌دلیل ضعف مدیریت منابع آب و خاک، دخالت‌های انسانی در اجرای پروژه‌ها و بهره‌برداری ناصحیح از منابع طبیعی، طرح‌های کارشناسی نشده زمین شناسی و توسعه ناپایدار کشاورزی رخ می‌دهد که سبب کاهش بازدهی محصول‌های کشاورزی می‌شود. افزایش شوری خاک طی دهه‌های اخیر از جمله تهدیدهای جدی و جهانی برای تولید محصول‌های کشاورزی است (Fan et al., 2016; Ivushkin et al., 2019). این مسئله به بیش از ۱ میلیارد هکتار در ۱۰۰ کشور از سراسر جهان خسارت وارد کرده و این میزان پیوسته در حال افزایش است (Squires and Glenn, 2011; Abbas et al., 2013; Rome, 2015). (Hassani et al., 2020). تحقیق خود گزارش داده‌اند که بین سال‌های ۱۹۹۸ تا ۲۰۱۸

(Hamzeh et al., 2012). (Rekha et al., 2011) در جنوب منطقه ناگاپاتینام کشور هند، با استفاده از باندهای سنجنده TM نشان دادند که طبقه‌بندی تصویرهای ماهواره‌ای با داده‌های زمینی برای شناسایی زمین‌های شور ابزار قدرتمندی بوده و بیشتر نواحی شور که با استفاده از داده‌های دورسنجی مشخص شدند با مشاهده‌های زمینی همخوانی بسیار بالایی داشتند. در تحقیق دیگری (Scudiero et al., 2015) در کالیفرنیا آمریکا با استفاده از تصویرهای سری زمانی لندست از ۲۰۰۷ - ۲۰۱۳ نشان دادند از بین سنجه‌های شوری مورد مطالعه، سنجه شوری (CRSI) بهترین نتایج را برای منطقه (WSJV) کالیفرنیا به‌همراه داشت. نتایج این تحقیق نشان داد تلفیق سری زمانی تصویرهای L7 با اطلاعات مربوط به شرایط هواشناسی، اتمسفر منطقه، نوع محصول و بافت خاک، مدل مناسبی برای تعیین میزان شوری خاک است. در تحقیق دیگری (Nguyen et al., 2020) دریافتند که استفاده از تصاویر ماهواره لندست ۸ (L8) این امکان را دارد که مقدار شوری سطح خاک را با دقت قابل قبولی تخمین بزنند.

یکی از چالش‌های اساسی پیش رو در پوشش‌های گیاهی احداث سدها است که اکوسیستم‌های پایین دست را با بحران‌های جدی و زیادی روبرو کرده است. گرچه احداث سدها می‌تواند مزیت‌های اقتصادی و محیط زیستی برای منطقه‌های هدف نیز در پی داشته باشند. تاکنون، مطالعات زیادی به بررسی تأثیر ساخت سدها روی کیفیت آب‌های زیرزمینی بویژه در کاهش شوری خاک و همچنین جلوگیری از نفوذ افزایش شوری آب دریاها به سفره‌های زیر زمینی در منطقه-های خشکی پرداخته‌اند. از جمله آن می‌توان به تأثیر سد کرخه روی آب‌های زیرزمینی (Sakizadeh and Chua, 2020)، تأثیر سد گلورد بر آبخوان ساری - نکا (Nasiri and Kardan, 2020)، تأثیر بزرگترین سد آفریقای جنوبی در اتیوپی بر اکوسیستم منطقه (Elagib and Basheer, 2021) اشاره کرد. بعضی از این مطالعات نشان داده احداث سدها می‌تواند آب سفره‌های زیرزمینی بویژه در نزدیک سواحل دریاها را برای منطقه‌های پایین دست افزایش دهد و از ورود

پایش تغییرات شوری در خاک نیاز به نمونه‌برداری به صورت مکرر در زمان دارد که این امر بسیار هزینه‌بر است. به همین دلیل امروزه از تکنیک‌های سنجش از دور برای کنترل و نقشه برداری شوری خاک استفاده می‌شود. روش‌های استفاده از داده‌های چندگانه به‌دلیل هزینه بالای آن‌ها قابلیت استفاده محدود دارند، در حالیکه روش سنجش از دور سریع و مقرون به صرفه است (Hamzeh et al., 2012; Kasim et al., 2018). بایگانی بیش از ۵۰ سال تصویرهای سنجش از دور سنجنده‌های سری ماهواره‌های لندست، این ماهواره را به یکی از مهمترین تکنولوژی‌های سنجش از دور در بررسی تغییرات عوارض سطح زمین تبدیل کرده است (Belward & Skøien, 2015; Wang et al., 2020). از جمله توانایی باندهای مختلف سری تصویرهای سنجش از دوری سنجنده‌های لندست، بررسی شوری خاک است که طی مطالعات گذشته همچون (Zhang et al., 2011; Hamzeh et al., 2013; Masoud, 2014; Nguyen et al., 2020; Tran et al., 2019; Wang et al., 2020; Wulder et al., 2019) نتایج قابل قبولی را ارائه داده است.

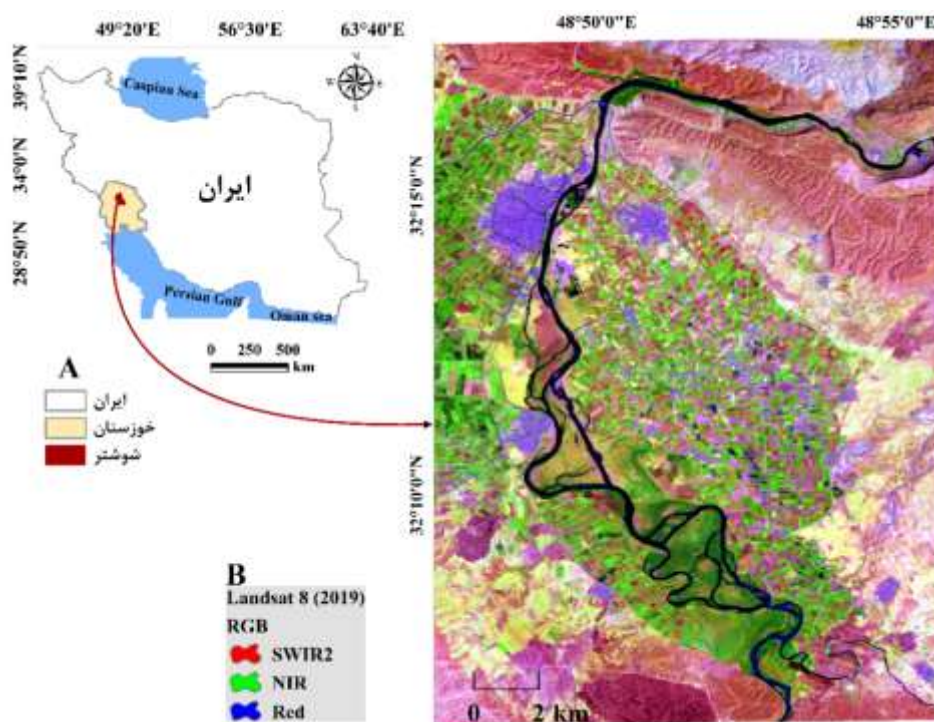
از طرف دیگر، اختلاف سنسورها یک مسئله مهم بویژه در پایش شوری خاک است (Neuenschwander et al., 2005; Fan et al., 2015; Fan et al., 2016). انتظار می‌رود سنسورهای سری تصویرهای ماهواره‌های لندست برای به‌دست آوردن داده‌های طیفی خاک از نظر زمانی سازگارتر باشند که اگر یکسان کالیبره شوند، نتایج قابل قبولی در تهیه نقشه شوری خاک با یک مدل واحد ارائه می‌دهند (Fan et al., 2016). داده‌های چند طیفی، مانند تصویرهای ماهواره‌های سری لندست به‌دلیل در دسترس بودن بهتر، امکانات مناسبی را در مدیریت بهتر زمین‌های کشاورزی و جلوگیری از آفت محصول به‌دلیل افزایش شوری خاک ارائه می‌دهند. سری زمانی تصاویر لندست به‌دلیل دقت زیاد و قابل اعتماد این تصویرها افزون بر رایگان بودن، پوشش طولانی مدت و منظم بودن آن‌ها (هر ۱۶ روز یکبار) بهترین انتخاب برای نقشه برداری و نظارت بر تنش شوری در زمین‌های کشاورزی است

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

در این تحقیق پوشش‌های گیاهی پیرامون رودخانه کارون واقع در پایین دست سد گتوند مورد بررسی قرار گرفت. مختصات جغرافیایی این منطقه بین عرض ۳۲ درجه و ۱۴ دقیقه عرض شمالی و ۴۸ درجه و ۵۴ دقیقه طول شرقی بوده و با میانگین ارتفاع ۵۷ متر از سطح دریا قرار دارد (شکل ۱). براساس ویژگی‌های اقلیمی، منطقه مورد مطالعه جزء منطقه‌های با آب و هوای خشک و گرم به حساب می‌آید که در مجاورت رودخانه بزرگ کارون قرار دارد. متوسط بارندگی سالانه ۱۷۰ میلی‌متر و متوسط دمای سالیانه ۲۵ تا ۲۹ درجه سانتی‌گراد با میزان تبخیر سالانه حدود ۲۰۰۰ میلی‌متر طی دهه اخیر ثبت گردیده است. عمده پوشش گیاهی طبیعی در این منطقه بیشه‌زارهای پیرامون رودخانه کارون هستند که سطحی در حدود ۱۳۹۵ هکتار در سال ۲۰۰۰ و ۹۲۱ هکتار در سال ۲۰۱۸ دارند. شکل ۱-B زمین‌های کشاورزی و پوشش گیاهی بیشه‌زارهای پیرامون رودخانه کارون در منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

آب شور دریا در مواقع خشکسالی و کاهش آب این سفره‌ها تا حدودی جلوگیری کند (Nasiri and Kardan, 2020). با این حال، نتایج بیان شده برای همه منطقه‌ها و در همه شرایط اقلیمی بویژه در شرایط تغییرات کاهشی بارندگی نمی‌تواند یکسان عمل کند. بنابراین این تحقیق، با هدف ارزیابی وضعیت شوری سطحی خاک پس از آبیگری سد گتوند و تأثیر آن روی پوشش‌های گیاهی اطراف رودخانه کارون در شهرستان گتوند که اولین اکوسیستم گیاهی زیر حوضه سد گتوند هستند صورت گرفت. در منطقه مورد مطالعه (شکل ۱)، بعد از آبیگری سد گتوند تاکنون مطالعه‌ای در ارتباط تأثیر شوری آب سد بر پوشش گیاهی پیرامون این بخش از رودخانه کارون و همچنین زمین‌های کشاورزی زیرحوضه آن صورت نگرفته است. در تحقیق حاضر با استفاده از سه سنجه گیاهی (NDVI, SAVI, LAI) و سنجه‌های شوری (SI, SI2, SI3) مشتق شده از تصویرهای سری زمانی سنجنده‌های (ETM+, OLI) ماهواره لندست و با روش طبقه‌بندی تصمیم‌گیری درختی (Decision Tree) از سال ۱۹۹۹ تا ۲۰۱۹ اکوسیستم گیاهی منطقه مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفته است.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه
Fig. 1- Geographical location of the study area

داده‌های تحقیق

شد. از این رو برای اصلاح این خطا از روش‌های gap-filled در برطرف کردن خلأهای تصویرها استفاده شد. در این تحقیق از پیکسل مشابه همسایه (NSPI) که توسط (Chen *et al.*, 2011) ارائه گردید، استفاده شده است. این روش فرض می‌کند، پیکسل‌های هم کلاس همسایه در اطراف پیکسل‌های دارای خطا ویژگی‌های طیفی مشابه دارند که ارزش پیکسل‌ها را در خطوط جا افتاده درون‌یابی می‌کند (Chen *et al.*, 2011; Hamzeh *et al.*, 2016). تصویرهای مربوط به بعد از آبیگری سد نیز از سنجنده OLI ماهواره L8 تهیه شد. این تصویرها نیاز به تصحیح اتمسفری برای کاهش اعوجاجات جوی دارند که در این تحقیق برای هر دو نوع سنجنده از روش QUAC Atmospheric استفاده گردید.

در این تحقیق از سری تصویرهای دو سنجنده $ETM+$ و OLI تهیه شده از سازمان زمین شناسی آمریکا USGS برای پایش و ارزیابی تغییرات پوشش گیاهی و شوری خاک در دوره زمانی ۱۹۹۹ تا ۲۰۱۹ گردآوری و مورد استفاده قرار گرفت. جزئیات این تصویرها در جدول ۱ آورده شده است.

قبل از استفاده از تصویرها، دو مرحله اصلی پیش‌پردازش انجام می‌شود. از جمله تصحیح اتمسفری و بازیابی مقادیر پیکسل‌های از دست رفته برای تصاویر سنجنده $ETM+$ که از سال ۲۰۰۳ تا سال ۲۰۱۲ به دلیل مشکل‌های فنی که برای این سنجنده پیش آمد دچار خطای راه راه شدگی

جدول ۱- داده‌های مورد استفاده تحقیق

Table 1. Data used in the research

| ماهواره Satellite | تاریخ دریافت تصاویر Receiving images | ساعت تصویر برداری (GMT) Imaging hours | سنجنده Sensors |
|----------------------|---|--|-------------------|
| لندست Landsat | 1999/07/07 | 07:08:01 | ETM_L1TP |
| | 2000/08/26 | 07:06:13 | |
| | 2001/08/29 | 07:03:58 | |
| | 2002/08/16 | 07:03:25 | |
| | 2003/08/19 | 07:03:39 | |
| | 2004/07/20 | 07:04:11 | |
| | 2005/08/24 | 07:04:31 | |
| | 2006/08/27 | 07:04:53 | |
| | 2007/08/30 | 07:05:11 | |
| | 2008/08/16 | 07:04:37 | |
| | 2009/08/19 | 07:05:39 | |
| | 2010/08/06 | 07:07:41 | |
| | 2011/08/09 | 07:08:53 | |
| | 2012/08/11 | 07:10:34 | |
| | 2013/08/22 | 07:17:15 | |
| | 2014/08/09 | 07:15:15 | |
| | 2015/08/28 | 07:15:00 | |
| | 2016/08/14 | 07:15:16 | OLI_TIRS_L1TP |
| | 2017/08/01 | 07:15:10 | |
| 2018/08/20 | 07:14:41 | | |
| | 2019/08/03 | 07:14:55 | |

های سبز، قرمز و مادون قرمز نزدیک محاسبه گردید. در این تحقیق، سنجه‌های گیاهی مورد استفاده شامل سنجه تفاضلی نرمال شده گیاهی (NDVI، معادله (۷) (Huete *et al.*, 2002)، سنجه گیاهی تعدیل کننده اثر خاک (SAVI، رابطه (۸) (Chi, Huete, Justice, & Liu, 1994; Chi *et al.*, 2019)، سنجه پوشش سطح برگ که یک سنجه بیوفیزیکی جهت برآورد درصد پوشش سطح برگ است (LAI، رابطه (۹) بود. سنجه NDVI مربوط به ناحیه‌ای با نوع خاک یکسان است، بنابراین اگر این فرض صادق نباشد، ناهمسانی انواع خاک روی نتایج حاصل از NDVI تأثیر منفی خواهد گذاشت. مقادیر مختلف NDVI می‌تواند

بیانگر پوشش‌های گیاهی متفاوت باشد.

$$NDVI = \frac{(\rho_{NIR} - \rho_{Red})}{\rho_{NIR} + \rho_{Red}} \quad (7)$$

$$SAVI = \frac{(1 + L) * (\rho_{NIR} - \rho_{Red})}{\rho_{NIR} + \rho_{Red} + L} \quad (8)$$

$$LAI = \exp(2.33 \times NDVI \times 0.57) \quad (9)$$

در رابطه (۷ و ۸) $\rho_{NIR} - \rho_{Red}$ به ترتیب بازتاب زمینی باندهای مادون قرمز نزدیک و قرمز می‌باشند. در رابطه (۸) پارامتر (L) در رابطه (۸) برای کاهش تأثیر پس زمینه خاک استفاده گردید (Huete *et al.*, 2002) که مقدار آن با توجه به میزان تراکم تاج پوشش گیاهی منطقه ۰.۵ در نظر گرفته شده است. همچنین سنجه بیوفیزیکی درصد پوشش سطح برگ که از طریق سنجه‌های گیاهی و به صورت غیر مستقیم از باندهای طیفی محاسبه می‌شود که در این تحقیق با استفاده از سنجه NDVI محاسبه گردید (رابطه ۹).

روش کلی تحقیق در شکل ۲ ترسیم شده است؛ بدین صورت که پس از بررسی و پیش پردازش‌های مورد نیاز روی داده‌های جمع‌آوری شده با استفاده از سنجه‌های شوری خاک، سنجه‌های گیاهی و رفتار طیفی گیاهان در سری زمانی ۱۹۹۹ تا ۲۰۱۹، نتایج به دست آمده به منظور مشاهده تغییرات شوری خاک زمین‌های کشاورزی و پوشش‌های گیاهی منطقه مورد ارزیابی قرار گرفت. در

با توجه به اینکه در فصل زمستان به دلیل رطوبت هوا و زمین‌های کشاورزی رنگ‌های خاک در تصویرهای ماهواره‌ای تیره تر هستند، که به طور قابل ملاحظه‌ای دقت تشخیص خاک‌های شور را کاهش می‌دهد (Skaggs *et al.*, 2014). از این رو تمام تصویرهای تهیه شده در فصل تابستان و با کمترین اختلاف زمانی در ماه‌های تیر و مرداد (جولای و آگوست) مورد ارزیابی قرار گرفته است.

سنجه‌های مورد استفاده تحقیق

در این تحقیق، از سه سنجه گیاهی و سه سنجه شوری استفاده شد. تصویرهای خروجی پس از محاسبات آماری به صورت میانگین نمونه‌های آموزشی از پوشش گیاهی، خاک و آب در هر کدام از سنجه‌ها ارزیابی شد. سنجه‌های شوری مختلفی وجود دارد که از طریق ترکیب باندهای مختلف محاسبه می‌شوند. سه سنجه شوری که به طور مکرر در مطالعات شوری مورد استفاده قرار گرفته و در نقشه‌برداری از شوری خاک مؤثر هستند، در این تحقیق استفاده گردید. سنجه‌های شوری خاک (SI)، رابطه (۴)، سنجه شوری دیگر SI-2 (Khan *et al.*, 2005)، رابطه (۵) و سنجه شوری SI-3 (Allbed *et al.*, 2013; Gorji *et al.*, 2017) رابطه (۶) هر کدام به عنوان یک تصویر استخراج گردیده است.

$$SI = \frac{\rho_{NIR} \times \rho_{Red}}{\rho_{Green}} \quad (4)$$

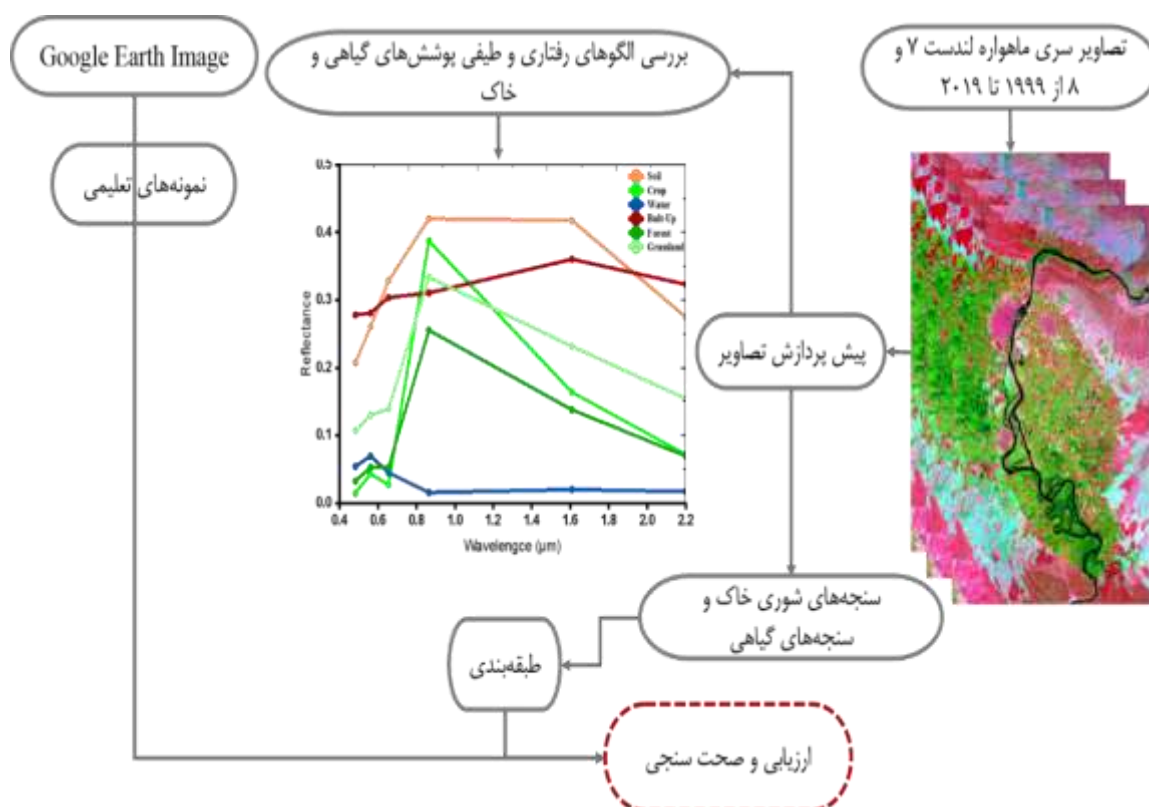
$$SI_2 = \sqrt{(\rho_{Green}^2 + \rho_{Red}^2)^{0.5}} \quad (5)$$

$$SI_3 = \sqrt{(\rho_{Green}^2 + \rho_{Red}^2 + \rho_{NIR}^2)} \quad (6)$$

در رابطه (۴) ρ_{NIR} ، ρ_{Red} ، ρ_{Green} تصویرهای بازتاب زمینی این باندها که در محدوده‌های طیفی (۰/۶۰-۰/۵۲، ۰/۶۳/۶۹-۰/۰-۰/۷۶/۹۰، μm ETM±) و (۰/۵۳-۰/۶۴/۶۷، ۰/۰-۰/۸۵/۸۸، μm OLI) هستند، استفاده شده است. رابطه (۵) از طریق ریشه مربعات بازتاب زمینی باندهای سبز و قرمز و رابطه (۶) نیز از طریق ریشه مربعات بازتاب زمینی باندهای طیفی در محدوده

تصویرهای آرشویی GE و همچنین مطالعات میدانی انتخاب گردید. در مجموع ۵۵۰ نمونه آموزشی از دو نوع پوشش عمده درختی بید (به‌عنوان گیاهان شورناپسند) و درختچه‌های شورناپسند (درختچه‌های گز) از بیشه‌زارهای پیرامون رودخانه کارون مد نظر قرار گرفت.

نهایت از طریق طبقه‌بندی تصمیم‌گیری درختی نقشه تغییرات گیاهان شورناپسند و گیاهان شورناپسند تهیه گردیده است. برای طبقه‌بندی و اعتبارسنجی ارزیابی صحت کلی نقشه‌های نهایی از داده‌های آموزشی استفاده شده است. نقاط آموزشی تهیه شده با استفاده از



شکل ۲- فلوجارت روش تحقیق
Fig. 2- Methodological framework of the study

نتایج و بحث

تغییرات رفتار طیفی پدیده‌های گیاه، خاک و آب

منطقه مورد مطالعه

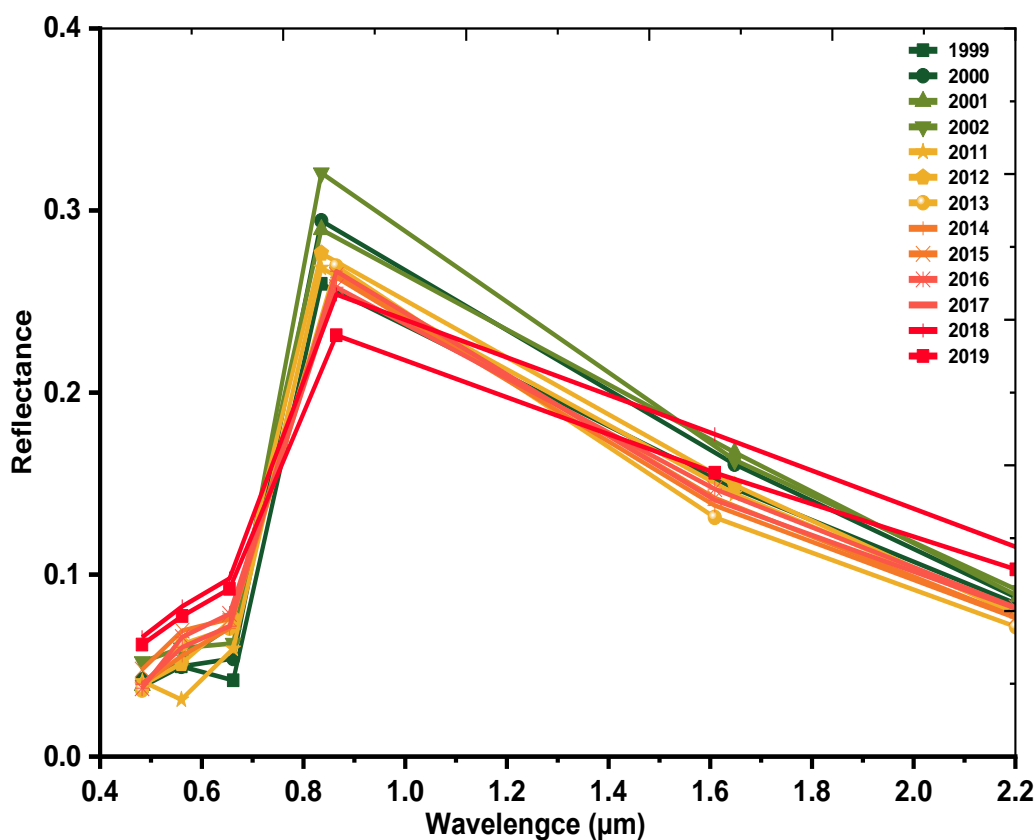
با استفاده از نمونه‌های آموزشی تغییرات بازتاب طیفی پوشش گیاهی بیشه‌زار پیرامون رودخانه کارون در طی سال‌های مورد مطالعه با استفاده از تصویرهای سنجنده‌های OLI, ETM+ بررسی گردید. نمودار رفتار طیفی این نوع پوشش گیاهی که از مهمترین اکوسیستم گیاهی در پیرامون رودخانه کارون است، بین سال‌های ۱۹۹۹ تا ۲۰۱۹ در شکل ۳ نشان داده شده است. تغییرات طیفی گیاهان در این شکل نشان می‌دهد، بازتاب طیفی تاج پوشش گیاهی بیشه‌زار در

محاسبات آماری

در این تحقیق، محاسبات آماری، ترسیم نمودارها، تحلیل همبستگی پیرسون و رگرسیون خطی با استفاده از نرم افزار OriginLab Corp., Northhampton, MA, USA لایسنس شده توسط دانشگاه تهران صورت گرفت. نخست ضرایب همبستگی سنجه‌های گیاهی و شوری خاک بررسی گردید. سپس، نتایج از طریق آزمایش عملکرد مدل‌های تولید شده در مقایسه با نمونه‌های آموزشی (نمونه‌های واقعیت زمینی) اعتبارسنجی گردید. برای محاسبه میزان خطا و همبستگی نتایج از خطای میانگین ریشه مربعات و همبستگی پیرسون استفاده گردید.

محدوده طیفی NIR و Red تغییرات قابل توجهی داشته‌اند. در محدوده NIR با افزایش مقدار شوری خاک مقدار بازتابندگی کاهش می‌دهد. نتایج همسو در تحقیق (Hamzeh et al., 2012) روی زمین‌های نیشکر هفت تپه در این منطقه مشاهده شده است. همچنین Nguyen et al., (2020) در مطالعه‌ای روی زمین‌های کشاورزی دلتای مکونگ کشور ویتنام نشان دادند، محدوده طیفی NIR لندست ۸ برای برآورد نمک نتایج قابل قبولی ارائه می‌دهند، چرا که این محدوده طیفی در منطقه‌های با شوری کم میزان بازتابندگی قوی از گیاهان نشان می‌دهد. این اثرها با کاهش محتوای کلروفیل و افزایش شوری خاک، منعکس شده در محدوده طیف مرئی (جذب کم کلروفیل)، کاهش زیست توده (LAI) منعکس شده در محدوده NIR و کاهش محتوای آب در محدوده SWIR همراه است.

رفتار طیفی پوشش گیاهی مورد مطالعه در محدوده طیفی NIR (۸۵۶ نانومتر) برای سال‌های قبل از آبیگری سد (۱۹۹۹ تا ۲۰۱۰) بین ۰/۲۷ تا ۰/۳۷ بوده است. در صورتیکه برای سال-های بعد از آبیگری سد (۲۰۱۱ تا ۲۰۱۹) به پایین‌تر از ۰/۳ رسیده است. تغییرات کاهش بازتابندگی در محدوده NIR پس از آبیگری سد در هیچ سالی بالاتر از ۰/۳ مشاهده نگردید (شکل ۳b). در سال ۲۰۰۲ بیشترین میزان بازتابندگی و سال ۲۰۱۹ کمترین میزان بازتابندگی در محدوده NIR مشاهده شد. با توجه به اینکه محدوده NIR ارتباط مستقیمی با سبزیگی، شادابی و تراکم پوشش گیاهی دارد (Knyazikhin et al., 2013; Slonecker, 2018)، نتایج مشاهده شده بیانگر تغییرات چشمگیر در سلامتی و شادابی گیاهان منطقه طی دوره زمانی ۱۹۹۹ تا ۲۰۱۹ است.

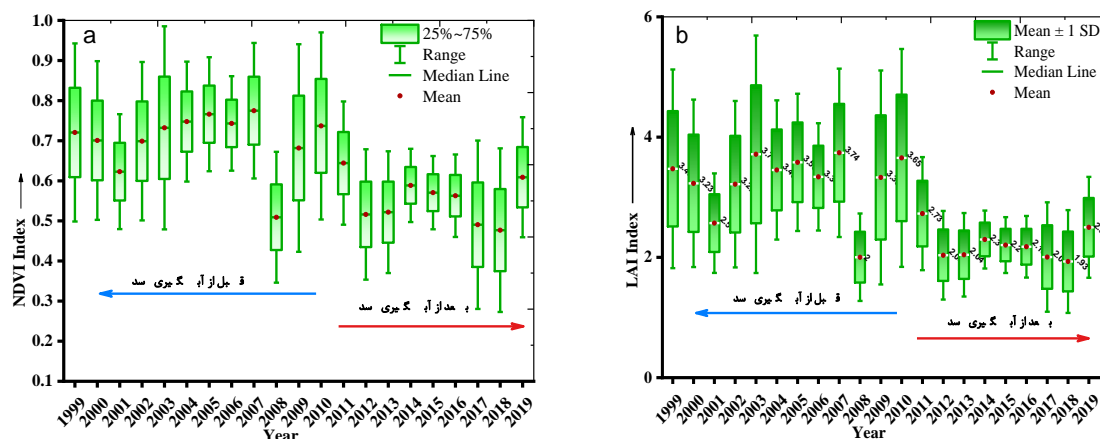


شکل ۳- رفتار طیفی نمونه‌های آموزشی برداشت شده گیاهان بین ساله‌های ۱۹۹۹ تا ۲۰۱۹
Fig. 3- Spectral behavior of educational samples of plants harvested between 1999 and 2019

روند تغییرات پوشش گیاهی

نشان داد که این تأثیر در میزان پوشش سطح برگ اکوسیستم گیاهی منطقه نیز دیده می‌شود (شکل ۴، a, b). این تغییرات می‌تواند ناشی از تنش‌های شوری آب و خاک منطقه، خشکسالی‌ها و مجموعه‌ای از عامل‌های دیگر مانند آفت‌های گیاهی یا افزایش ریزگردها طی چنده دهه اخیر نیز باشد. اما با توجه به سال آبیگری سد و افت شدید، میزان پوشش سطح برگ که از طریق هر سه سنجه گیاهی مشاهده شده است (شکل ۴ و ۵)، نشان داده زمان آبیگری سد با تغییرات صورت گرفته در پوشش گیاهی منطقه که نزدیک‌ترین و بیشترین ارتباط را با آب رودخانه کارون دارند، ارتباط مستقیمی داشته است.

براساس شکل ۴-ا متوسط NDVI از ۰/۷۲ (سال ۱۹۹۹) به ۰/۵۲ در اولین سال بعد از آبیگری سد (۲۰۱۲) رسیده است. طی نه سال بعد از آبیگری سد، میزان متوسط NDVI پوشش گیاهی منطقه همچنان در پایین‌ترین میزان خود قرار داشته که پایین‌ترین مقدار با ۰/۴۷ در سال ۲۰۱۶ مشاهده شد (شکل ۴، a). سنجه پوشش سطح برگ نیز کاهش شدید از سال ۲۰۱۲ را نشان داد که پایین‌ترین میزان به دست آمده مربوط به سال ۲۰۱۶ با متوسط ۰/۹۵ m^2/m^2 است (شکل ۴، b). به طور کلی میزان متوسط NDVI در قبل و بعد از آبیگری سد گتوند کاهش ۰/۳ را



شکل ۴- روند تغییرات پوشش گیاهی با استفاده از سنجه LAI و NDVI در قبل و بعد از آبیگری سد گتوند

Fig. 4- Trend of vegetation changes using LAI and NDVI index before and after Gotvand dam water intake

کلروفیل گیاه دارند (Zhang *et al.*, 2011) ارتباط معنی-داری با شوری خاک نشان می‌دهد که با افزایش شوری خاک مقادیر آن‌ها کاهش می‌یابد. این نتایج در تحقیق-های (Hamzeh *et al.*, 2016; Zhang *et al.*, 2011; Chi *et al.*, 2019) نیز مشاهده شد.

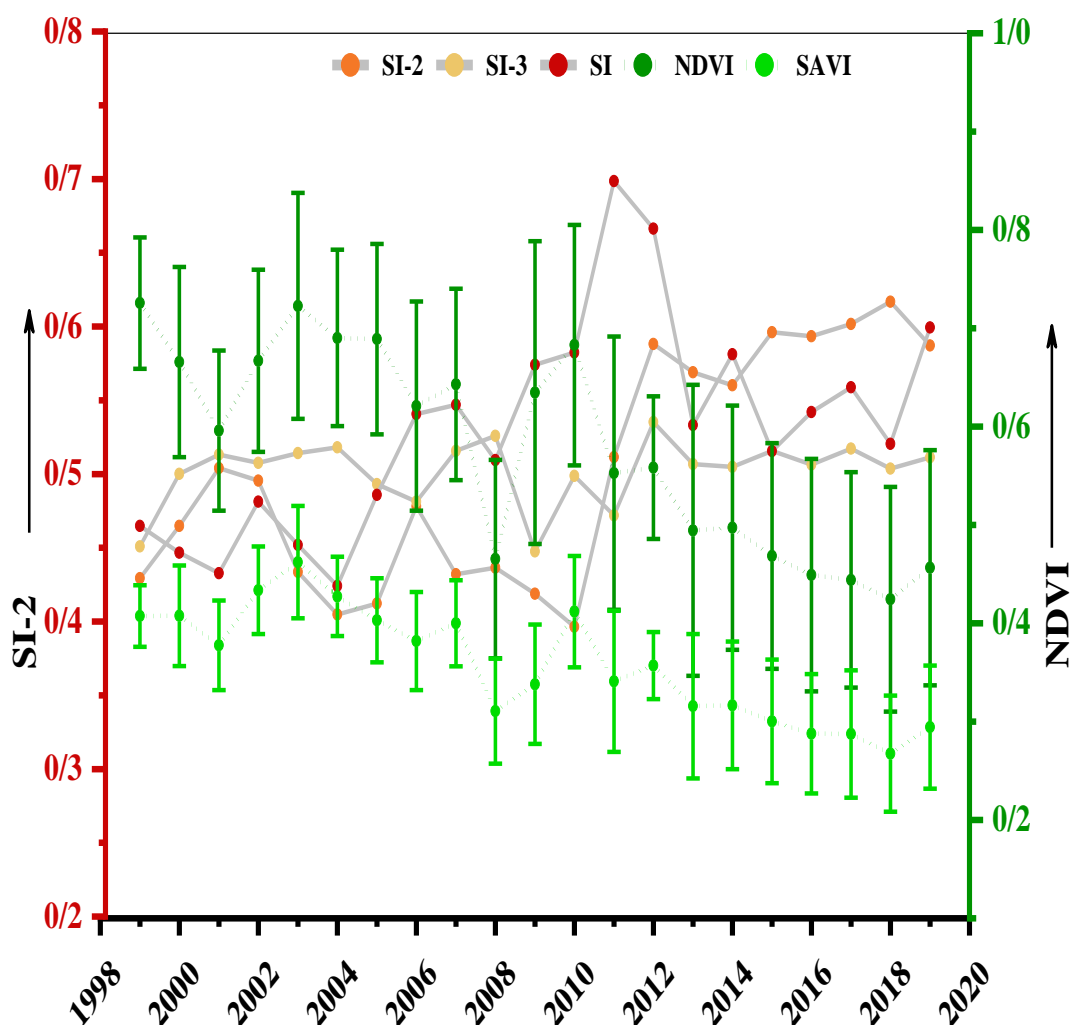
سنجه شوری SI-2 از بین هر سه سنجه شوری همبستگی بهتری با سنجه‌های گیاهی نشان می‌دهد. دو سنجه شوری SI و SI-2 روند تغییر میزان شوری را با توجه به نمونه‌های برداشت شده از سال ۲۰۱۱ و سنجه شوری SI-3 در سال ۲۰۱۲، بیشترین میزان شوری را نشان می‌دهد (شکل ۵). همچنین هر دو سنجه SI-2, SI میانگین شوری را بعد از آبیگری سد به صورت افزایشی نشان

رابطه سنجه‌های شوری خاک و سنجه‌های گیاهی

نتایج به دست آمده از سنجه‌های شوری نشان می‌دهد روند تغییرات شوری خاک بین سال‌های ۱۹۹۹ تا ۲۰۰۸ از یک افت و خیز نامتعادلی برخوردار بوده است (شکل ۵). در صورتیکه از سال ۲۰۱۰ روند افزایشی در هر سه سنجه شوری خاک قابل مشاهده است. این تغییرات رابطه معکوسی با سنجه‌های گیاهی نشان می‌دهد (شکل ۵). با افزایش شوری خاک و تنش‌های ناشی از آن، میزان کلروفیل و سبزیگی در گیاهان کاهش یافته و در نتیجه مقادیر سنجه‌های گیاهی (NDVI, SAVI, LAI) کاهش یافته است. نتایج این سنجه‌ها که ارتباط مستقیمی با رشد گیاهان، زیست توده گیاهی، پوشش سطح برگ و مقدار

شروع تنش از سال ۲۰۱۱ بر پوشش گیاهی منطقه وارد شده است (شکل ۵).

داده‌اند. افت شدید مشاهده شده در مقادیر سنجه‌های گیاهی و افزایش در سنجه‌های شوری نشان می‌دهد که

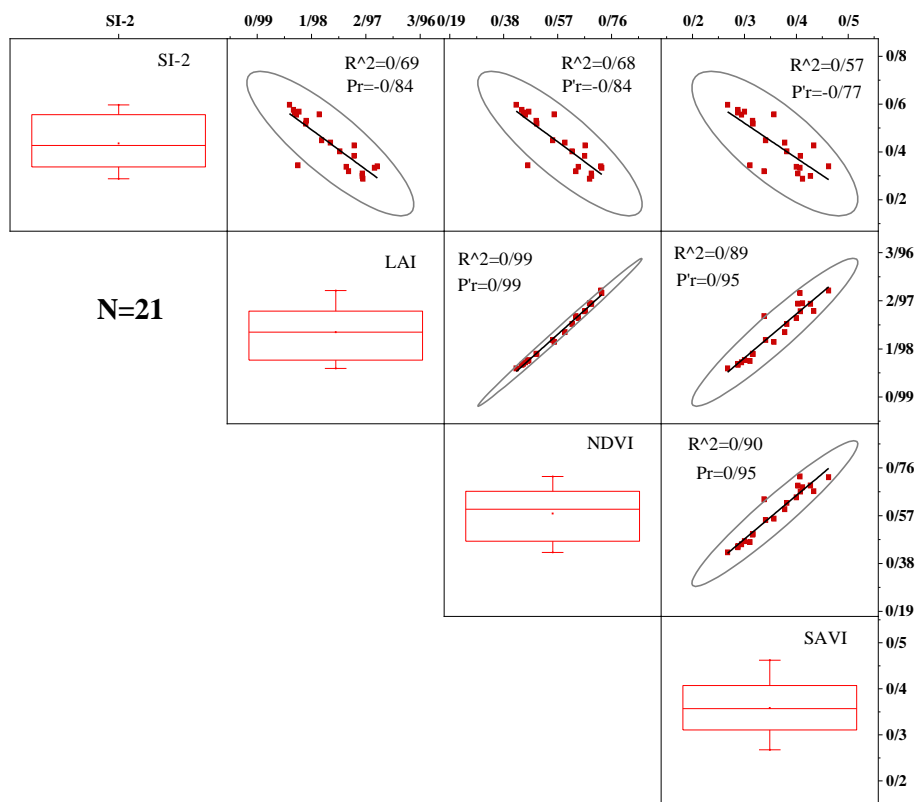


شکل ۵- روند میزان تغییرات شوری خاک و رابطه آن با پوشش گیاهی در سال‌های قبل و بعد از آبگیری سد گتوند

Fig. 5- Trend of soil salinity changes and its relationship with vegetation in the years before and after Gotvand dam water intake

مشاهده گردید. سپس سنجه‌های NDVI و SAVI به ترتیب با $R^2 = 0.68$ و $R^2 = 0.57$ بیشترین همبستگی با سنجه شوری SI-2 را نشان داده است (شکل ۶). همبستگی منفی سنجه‌های گیاهی با شوری خاک طی سال‌های مورد مطالعه نشان می‌دهد با توجه به نوع اقلیم منطقه (گرم و خشک)، افزایش املاح نمک در پشت دریاچه سد و نفوذ آن به آب‌های زیرزمینی، پایین بودن سطح آب‌های زیرزمینی در پیرامون اکوسیستم گیاهی بیشه‌زار و همچنین فعالیت‌های انسانی، شور شدن خاک را طی سال‌های آینده تشدید خواهد کرد.

سنجه‌های گیاهی نشان دهنده کیفیت پوشش گیاهی موجود در یک منطقه است (Chi et al., 2018). از این رو به‌منظور همبستگی میان سنجه‌های گیاهی و سنجه‌های شوری خاک از بین ۲۱ نمونه مدل رگرسیون بین آن‌ها بررسی گردید. نتایج به‌دست آمده بیانگر، همبستگی منفی قوی بین هر سه سنجه‌های گیاهی با شوری خاک است. همبستگی پیرسن بین سنجه SI-2 و LAI با $R^2 = 0.84$ و $R^2 = 0.69$ بهترین رابطه را داشته است (شکل ۶). این نتایج در مطالعات Chi et al., (2019) بین سنجه‌های گیاهی و سنجه شوری SI-2 نیز

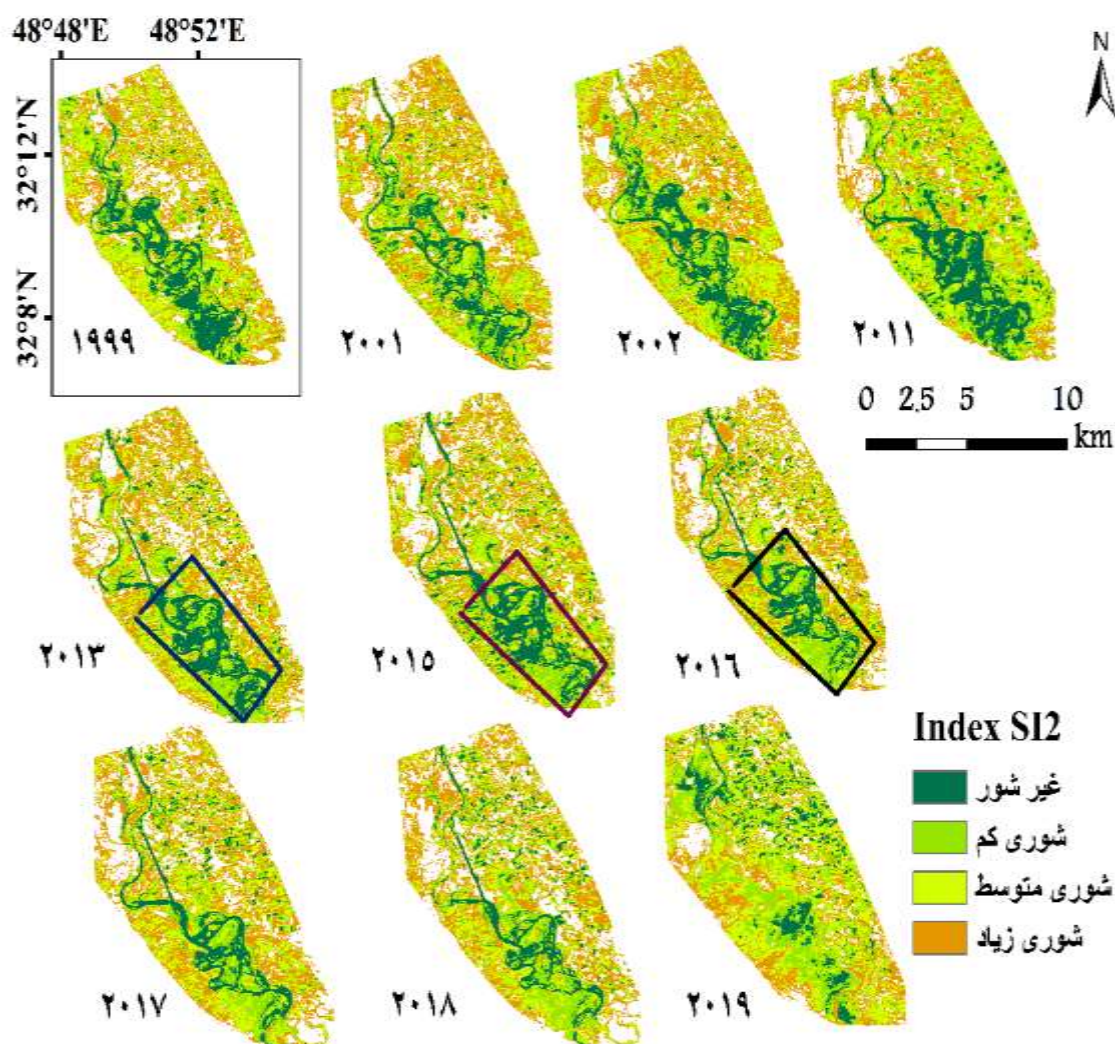


شکل ۶- میزان همبستگی سنجه شوری SI-2 با سنجه‌های گیاهی
Fig. 6- Correlation of salinity index SI-2 with plant indices

تأثیر شوری آب و خاک بر پوشش گیاهی منطقه

سال‌های ۲۰۱۷ تا ۲۰۱۹ روند افزایشی را نشان می‌دهد. شوری آب و خاک منطقه به‌طور کلی روی عمده پوشش گیاهی در کنار رودخانه کارون و همچنین زمین‌های کشاورزی در دو قسمت شرق و غرب رودخانه چشمگیر تر بوده است. در شکل ۷ که با استفاده از سنجه شوری SI-2 تهیه شده است، منطقه‌های شهری و روستایی ماسک شد، زیرا این منطقه‌ها سبب خطا در مقادیر شوری خاک می‌شود. به‌طور کلی، اگرچه میزان افزایش دما، افزایش پدیده ریزگردها در بخش‌های جنوب و جنوب غربی ایران و همچنین خشکسالی‌های دهه‌های گذشته نیز می‌تواند عاملی در از بین رفتن پوشش‌های گیاهی باشد، اما در نتایج حاصل از سنجه‌های گیاهی و همچنین سنجه‌های شوری به‌دست آمده این تغییرات با شروع آبیگری سد همراه بوده که در سال‌های بعد از آبیگری سد نیز تنش‌های بیشتری نشان می‌دهد (شکل ۳ و شکل ۷).

شکل ۷ نتایج به‌دست آمده از طریق سنجه شوری SI-2 برای بیشه‌زارهای منطقه را نشان می‌دهد. با توجه به این نتایج از بین رفتن پوشش گیاهی در پیرامون رودخانه کارون در طی سال‌های ۱۹۹۹ تا ۲۰۱۹ بسیار چشمگیر بوده است. این نتایج همان‌طور که در شکل ۷ مشخص است، پس از سال ۲۰۱۳ شدت بیشتری گرفته است. اما با این حال میزان تغییرات سبزی‌نگی و بازتاب در محدوده طیفی NIR که ارتباط مستقیمی با شادابی گیاهان، همچنین تنش‌های شوری و آبی گیاه دارد، تغییرات رخ داده را طی سال‌های مورد مطالعه به‌خوبی نشان داده است (شکل ۳). با توجه به نتایج حاصل از سنجه شوری SI-2، بین سال‌های ۲۰۱۱ تا ۲۰۱۹ منطقه‌ها با زمین‌های غیر شور نسبت به زمین‌های با درصد شوری کم روبه کاهش بوده است. زمین‌های با درصد شوری متوسط نیز بین



شکل ۷- نقشه‌های استخراج شده از سنجه شوری SI-2 در سال‌های ۱۹۹۹ تا ۲۰۱۹
 Fig. 7- Maps extracted from the SI-2 salinity index from 1999 to 2019

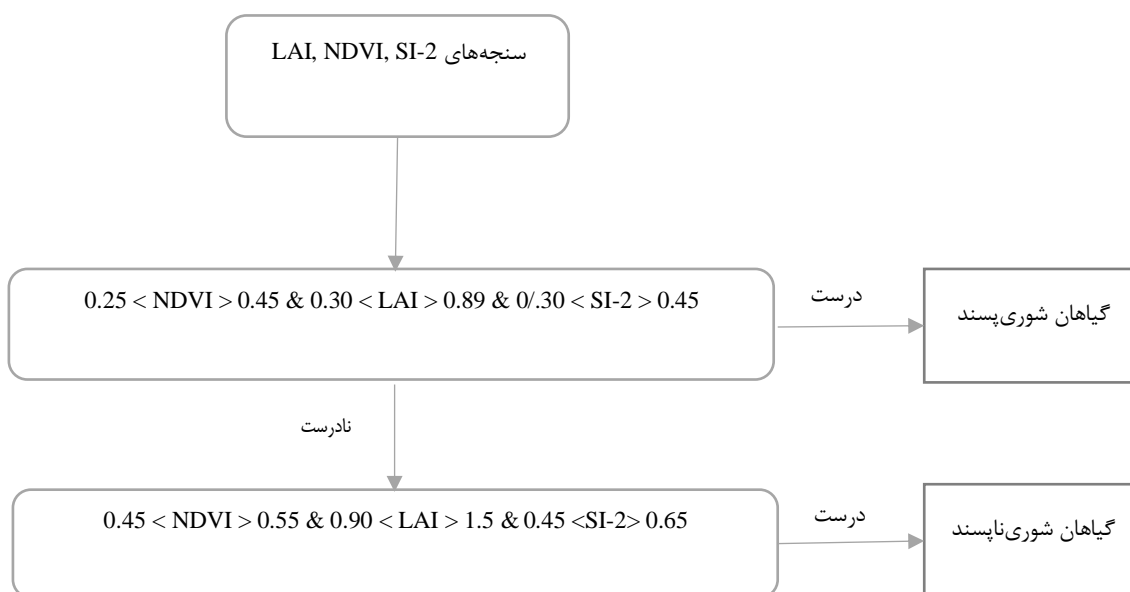
شکل ۸ نشان داده شده است. براساس آستانه به‌دست آمده در سال ۲۰۱۸، نمونه‌های آموزشی گیاهان شوری‌پسند (درختچه‌های گز) در سنجه NDVI از محدوده ۰/۲۵ تا ۰/۴۵، در سنجه LAI از ۰/۳۰ تا ۰/۸۹، در سنجه m^2/m^2 و در سنجه شوری SI-2 از محدوده ۰/۴۵ تا ۰/۶۵ قرار داشته‌اند. اما گیاهان شوری‌ناپسند (درخت‌های بید) در سنجه NDVI از محدوده ۰/۴۵ تا ۰/۵۵، در سنجه LAI از ۰/۹۰ تا ۱.۵ m^2/m^2 و در سنجه SI-2 از محدوده ۰/۳۰ تا ۰/۴۵ قرار داشتند (شکل ۸). این آستانه برای سال‌های دیگر متغیر است (شکل ۹). چراکه تنش‌های ناشی از عامل‌های مختلف سبب تغییر میزان کلروفیل

طبقه بندی گیاهان شوری‌پسند و گیاهان شوری‌ناپسند

پس از تجزیه و تحلیل سنجه‌های گیاهی و همچنین سنجه‌های شوری خاک در این تحقیق، با استفاده از الگوریتم طبقه بندی Decision Tree براساس مقادیر آستانه از تصویرهای سنجه‌های گیاهی LAI، NDVI و سنجه شوری خاک SI-2 که همبستگی بیشتری با سنجه‌های گیاهی داشته است، پوشش گیاهی شوری‌پسند از گیاهان شوری‌ناپسند تفکیک گردید. مقادیر حدآستانه سه سنجه LAI، NDVI، SI-2 برای تفکیک گیاهان شوری‌پسند از گیاهان شوری‌ناپسند در

هر نوع پوشش گیاهی به صورت جداگانه بررسی و محاسبه گردید.

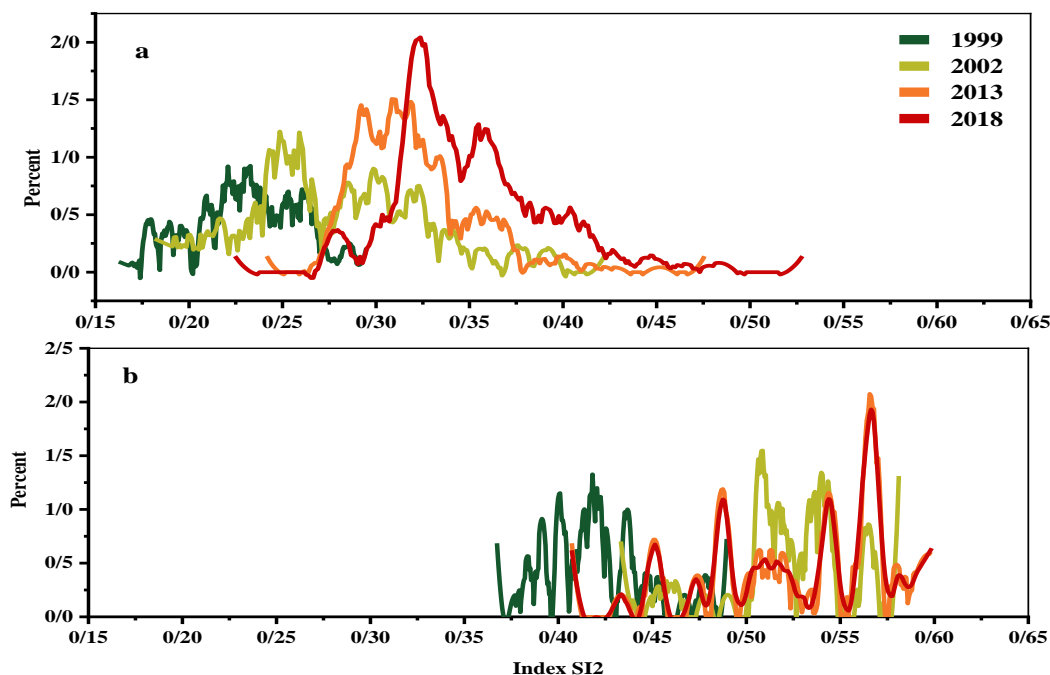
گیاهی و همچنین افزایش و یا کاهش شوری می شود که در این تحقیق براساس نمونه های آموزشی تهیه شده برای



شکل ۸- روش تصمیم گیری درختی برای طبقه بندی و تفکیک گیاهان شورپسند از گیاهان شورناپسند (سال ۲۰۱۸)
 Fig. 8- Decision tree for classification and separation of halophyte plants from non-halophyte plants (2018)

کلی بین ۰/۴ تا ۰/۶ برای گیاهان شورناپسند و بین ۰/۱۵ تا ۰/۴ در گیاهان شورپسند طی چهار سال ۲۰۱۳، ۲۰۰۲، ۱۹۹۹ و ۲۰۱۸ مشاهده شد (شکل ۹، a, b).

با توجه به آستانه به دست آمده از گیاهان شورپسند و گیاهان شورناپسند، ارزش مقادیر در سنجه SI-2 هرچه به مقدار یک نزدیک تر می شود، بیانگر گیاهان با تحمل پذیری شوری کمتر هستند. این مقادیر به صورت



شکل ۹- آستانه گیاهان شورپسند (a) و گیاهان شورناپسند (b) در سال های ۱۹۹۹، ۲۰۰۲، ۲۰۱۳ و ۲۰۱۸
 Fig. 9- Threshold of halophyte plants (a) and from non-halophyte plants (b) in 1999, 2002, 2013, and 2018

(2019). این مسئله می‌تواند در بلند مدت خاک منطقه را برای زندگی دیگر گیاهان با چالش جدی‌تری روبرو کند. نتایج به‌دست آمده از سنجش‌های شوری خاک و سنجش‌های گیاهی (شکل ۵)، نشان داد پس از سال ۲۰۱۱ میزان شوری خاک منطقه و کاهش پوشش گیاهی با هم رابطه معکوسی داشته است. اما از طرفی مساحت گیاهان شوری‌پسند نسبت به گیاهان شوری‌ناپسند در این دوره زمانی نیز با روند افزایشی روبرو بوده است (شکل ۹). این نتایج با توجه به تنش‌های ناشی از شوری آب و تأثیر سریع آن بر کاهش میزان کلروفیل و سبزینگی گیاهان منطقی است. همچنین نتایج به‌دست آمده بیانگر تغییر اکوسیستم گیاهی به سمت گیاهان شوری‌پسند است. همبستگی به-دست آمده نیز رابطه بین سنجش گیاهی LAI و سنجش شوری SI-2 با $R^2 = 0.69$ نسبت به دیگر سنجش‌های گیاهی بیشترین میزان R^2 را نشان داده است (شکل ۶).

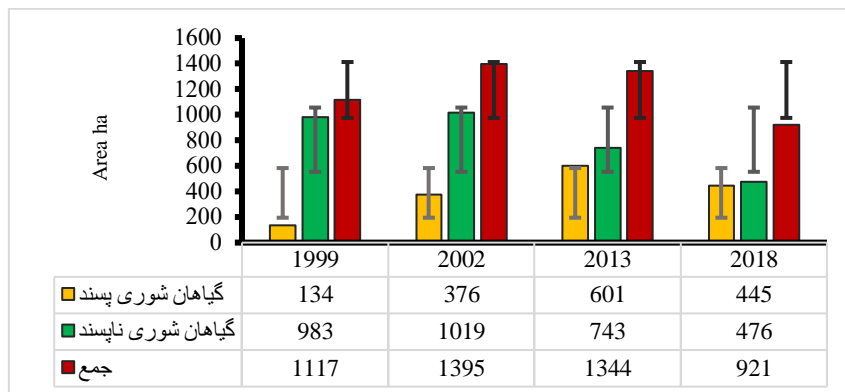
نتایج طبقه‌بندی و ارزیابی نقشه‌های نهایی تفکیک

پوشش گیاهی شوری‌پسند و شوری‌ناپسند

با استفاده از مجموعه داده‌های اعتبار سنجی در هر سال به-صورت جداگانه، دقت طبقه‌بندی نهایی به‌ترتیب برای سال-های ۲۰۱۳، ۲۰۰۲، ۱۹۹۹ و ۲۰۱۸ برابر $0.88/9$ ، $0.93/5$ ، $0.97/4$ و $0.97/4$ برآورد گردیده است. نتایج نهایی صحت سنجی طبقه‌بندی نشان می‌دهد سال ۱۹۹۹ از میزان دقت پایین‌تری نسبت به سال‌های دیگر برخوردار بوده است. با توجه به این نتایج میزان دقت کلی برای سال ۱۹۹۹، حدود $93/5$ درصد با ضریب کاپای 0.89 ، اما در سال ۲۰۱۸ دقت کلی $97/4$ و ضریب کاپای 0.93 به‌دست آمده است (جدول ۲). کاهش صحت طبقه‌بندی در سال‌های ۱۹۹۹ و ۲۰۰۲ می‌تواند ناشی از درصد نوع پوشش‌های گیاهی شوری‌پسند با شوری‌ناپسند باشد که در سال‌های قبل از آبیگری سد با توجه به تحلیل‌های صورت گرفته روی رفتار طیفی گیاهان نشان می‌دهد که از میزان شادابی و سبزینگی بیشتری برخوردار بوده است که این امر می‌تواند در تفکیک هر دو نوع پوشش گیاهی تأثیر گذار باشد.

استفاده از اطلاعات طیفی منعکس شده توسط تصویرهای سنجنده‌های چند طیفی برای پایش شوری خاک سطحی طی سال‌های گذشته نتایج قابل قبولی ارائه داده‌اند (Zeraatpisheh *et al.*, 2019). چراکه ویژگی‌های طیفی مختلف مرتبط با خاک سطحی با میزان درجه‌های مختلف شوری اساس نظارت بر این پدیده به‌شمار می‌رود. با افزایش میزان شوری سطحی شکل‌گیری پوسته نمکی سفید بر سطح خاک و در نتیجه آن افزایش بازتاب در محدوده مادون قرمز میانی را در پی خواهد داشت (Hamzeh *et al.*, 2012; Wang *et al.*, 2020). این امر امکان استفاده از باندهای چند طیفی و سنجش‌های طیفی مشتق شده از آن‌ها را برای نظارت و نقشه برداری از شوری سطح خاک فراهم می‌کند (Wang *et al.*, 2020). پایش شوری خاک با استفاده از تصویرهای سنجش از دور به دو روش صورت می‌گیرد، ۱) تخمین مستقیم شوری خاک با استفاده از سنجش‌های شوری (Han *et al.*, 2019); ۲) برآورد شوری به‌صورت غیر مستقیم با استفاده از سنجش‌های گیاهی (Allbed and Wang *et al.*, 2019). با این حال، زیستگاه و تحمل میزان شوری در هر نوع پوشش گیاهی به‌طور کامل متفاوت است (Wang *et al.*, 2020). مطالعات قبلی نشان داده منطقه‌های تحت پوشش گیاهی به‌طور معمول به‌عنوان خاک غیر شور یا کمی شور شناخته می‌شوند (Ding and Yu, 2014; Hu *et al.*, 2019). از این رو برای بررسی شوری در سطح خاک بهتر است منطقه‌های پوشش گیاهی ماسک شود تا میزان تأثیر بر نتایج سنجش‌های شوری کاهش یابد (Wang *et al.*, 2020).

با توجه به روند رو به رشد گیاهان شوری‌پسند و توانایی این نوع گیاهان به زیستن در خاک‌هایی که میزان شوری آن‌ها بالا است و همچنین استخراج آب و نمک از لایه‌های عمیق‌تر زمین و ذخیره نمک در گیاه -هنگامی که گیاهان از بین رفتند و پوسیدند- بیشتر آن نمک در شاخ و برگ گیاهان به خاک سطحی اضافه خواهد شد (Ren *et al.*,



شکل ۱۰- مساحت برآورده شده گیاهان شورى پسند و شورى ناپسند در سال‌های ۱۹۹۹، ۲۰۰۲، ۲۰۱۳ و ۲۰۱۸

Fig. 10- Fulfilled area of halophyte and non-halophyte plants in 1999, 2002, 2013, and 2018

جدول ۲- میزان دقت طبقه‌بندی نقشه‌های نهایی

Table 2. Accuracy of final map classification

| صحت نهایی Overall accuracy | ضریب کاپا Kappa coefficient | سال Year |
|-------------------------------|--------------------------------|-------------|
| 88.88% | 0.42 | 1999 |
| 93.52% | 0.89 | 2002 |
| 97.76% | 0.94 | 2013 |
| 97.53% | 0.93 | 2018 |

نتایج تحقیق بیانگر روند افزایشی گیاهان شورى پسند از سال ۱۹۹۹ تا ۲۰۱۳ است. در سال ۲۰۱۸ نیز اگر چه میزان گیاهان شورى پسند مساحت کمتری نسبت به سال ۲۰۱۳ داشته‌اند، اما این مسئله می‌تواند به دلیل کاهش مساحت کلی بیشه‌زارها باشد (شکل ۱۱). مساحت گیاهان شورى پسند و شورى ناپسند در سال ۲۰۱۸ کمابیش برابر شده و این نشان دهنده تغییرات بسیار زیاد در نوع پوشش گیاهی و همچنین تخریب بسیار بالای اکوسیستم طبیعی بیشه‌زار در منطقه است، که دلیل‌هایی غیر از شورى خاک و آب (همچون تخریب و از بین رفتن توسط سازمان‌ها و افراد محلی برای تبدیل به زمین کشاورزی، آتش سوزی، ایجاد راه در بیشه‌زارها که در سال‌های اخیر با توجه به مطالعه میدانی افزایش چشم‌گیری داشته است، ایجاد کانال‌های انسان‌ساز برای تغییر جهت آب رودخانه جهت جلوگیری از تخریب و فرسایش زمین‌های کشاورزی و

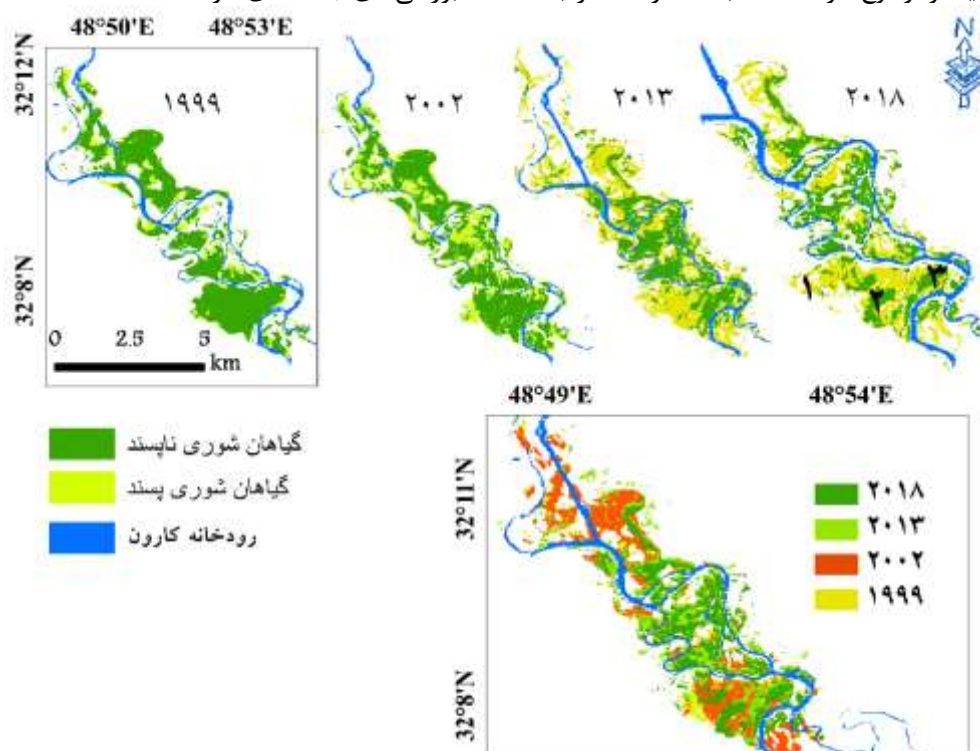
تغییرات شورى خاک و تأثیر آن بر تغییر نوع پوشش‌های گیاهی منطقه

پس از انتخاب بهترین رویکرد، طبقه‌بندی کاربری‌های منطقه با استفاده از روش تصمیم‌گیری درختی نقشه گیاهان شورى پسند و شورى ناپسند در چهار سال (۱۹۹۹، ۲۰۰۲، ۲۰۱۳، ۲۰۱۸) تهیه شد. همان طور که نتایج حاصل از روش طبقه‌بندی نشان داده است (شکل ۱۲)، تغییرات زیادی در پوشش گیاهی بیشه‌زار بین سال‌های ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۸ صورت گرفته است. براساس نتایج حاصل از این طبقه‌بندی منطقه‌ها با پوشش گیاهی درختچه‌ای که به‌طور عمده گیاهان شورى پسند هستند، طی این دوره زمانی روند افزایشی داشته‌اند. مساحت محاسبه شده پوشش‌های گیاهی بیشه‌زار در سال ۲۰۰۲ با ۱۳۹۵ هکتار بیشترین مساحت و در سال ۲۰۱۸ با ۹۲۱ هکتار کاهش ۶۶٪ در طی ۱۸ سال اخیر را نشان می‌دهد (شکل ۱۰).

توجه به ویژگی‌های زیستی خود سبب افزایش شوری خاک می‌شود. پوشش‌های گیاهی منطقه با توجه به نوع گیاهان شوری‌پسند که تحمل ادامه حیات در زمین‌های شور هزار (بسته به تحمل شوری‌پسندی نوع گیاه) را دارند، می‌توانند در نتایج استخراج شده از سنجش‌های شوری خاک تأثیر گذار باشند. این مسئله یکی از چالش‌های مهم برای سنجش‌های شوری نیز به شمار می‌رود که نیاز به بررسی‌های جداگانه‌ای دارد.

منزل‌های مسکونی پیرامون رودخانه و همچنین تخریب توسط سیلاب‌های طی سال‌های گذشته) داشته است. با این حال تسریع در شوری آب و تغییر چشمگیر نوع پوشش گیاهی از گیاهان شوری‌ناپسند به شوری‌پسند با توجه به هماهنگی تغییرات در پوشش گیاهی و آبرگیری سد چشمگیر است.

از طرف دیگر این مسئله می‌تواند ناشی از نوع درخت‌های منطقه که بیشتر از نوع گز هستند، باشد. درخت گز با



شکل ۱۱- نقشه پوشش گیاهی منطقه مورد مطالعه بین سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۸؛ عکس‌های میدانی از نوع پوشش‌های گیاهی منطقه (گیاه شوری‌پسند (درختچه‌های گز - تصویر ۱)، گیاه شوری‌ناپسند (درخت‌های بید - تصاویر ۲ و ۳)، تهیه شده در تاریخ ۲۰/۰۶/۱۹۲۰)
 Fig. 11- Vegetation map of the study area between 2000 and 2018; Field photos of the vegetation type of the region (halophyte plants (shrub Tamarix tetrandra - Picture 1), and non-halophyte plants (willow trees - Pictures 2 and 3); 20.06.2019)

نتیجه گیری

در گیاهان منطقه و تأثیر شوری آب بر پوشش گیاهی بیشه‌زار که ارتباط مستقیمی با رودخانه کارون دارند، است. این نتایج می‌تواند به دلیل افزایش روبه رشد شوری آب رودخانه کارون و در نتیجه تنش‌های اکوسیستم گیاهی منطقه باشد. گرچه برای قطعیت کامل نیاز به مطالعات بیشتر در ابعاد مختلف تنش‌های ایجاد شده در اکوسیستم‌های گیاهی بیشه‌زار به‌عنوان گیاهان طبیعی خودرو و همچنین بازدهی زمین‌های کشاورزی در منطقه است. همچنین، مشکل‌های جدی مانند افزایش ریزگردها در بخش‌های جنوب غربی ایران که طی دو دهه اخیر یکی از چالش‌های اساسی گیاهان به‌شمار می‌رود، تخریب پوشش گیاهی به دلیل تغییرات آب و هوایی و خشکسالی‌های اخیر نیز می‌تواند دلیلی افزون بر چالش شوری آب پس از آبیگری سد گتوند باشند.

پی‌نوشت‌ها

1 Harmonized World Soil Database

2 Canopy Response Salinity Index

3 Western San Joaquin Valley

4 Landsat 8

5 Soil Adjusted Vegetation Index

6 Leaf Area Index

7 Enhanced Thematic Mapper Plus

8 Operational Land Imager

9 United States Geological Survey

10 Scan Line Correctionor

11 Stripping

12 Neighborhood Similar Pixel Interpolator

13 Google Earth

14 Mekong Delta

نتایج این تحقیق نشان می‌دهد تنش‌های جدی در پوشش گیاهی منطقه بویژه بیشه‌زارهای پیرامون رودخانه کارون در پایین دست سد گتوند رخ داده است. نتایج طبقه‌بندی روی پوشش گیاهی منطقه که از طریق هر دو نوع سنجه گیاهی و شوری به دست آمده است، مساحت کلی بیشه‌زارها در سال ۲۰۰۲ با ۱۳۹۵ هکتار و در سال ۲۰۱۸ با ۹۲۱ هکتار نشان می‌دهد اکوسیستم گیاهان طبیعی منطقه با کاهش ۶۶٪ در طی ۱۸ سال اخیر روبرو بوده‌اند. همچنین گیاهان شوری‌پسند از ۱۳۱ هکتار در سال ۱۹۹۹ به ۶۰۱ هکتار در سال ۲۰۱۳ رسیده که بیانگر افزایش چشم‌گیر در این نوع پوشش گیاهی است. این نتایج گویای تغییر اکوسیستم گیاهی منطقه به سمت گیاهان شوری‌پسند است. گرچه تخریب بالای گیاهان منطقه با توجه به اطلاعات میدانی نویسندگان ناشی از جنگل‌زدایی توسط کشاورزان، دامداران و در بخش‌هایی از پوشش گیاهی منطقه توسط نهادهای مسئول حفاظت از اکوسیستم گیاهان طبیعی منطقه صورت گرفته است. با این حال تغییر اکوسیستم گیاهی و افت شدید در روند زمانی متوسط سنجه‌های گیاهی که بیانگر کلروفیل، سبزیگی و شادابی گیاهان می‌باشند و افزایش ارزش مقادیر سنجه‌های شوری از سال ۲۰۱۱ که همزمان با اولین سال‌های آبیگری سد است، گویای تنش‌های جدی

منابع

Abbas, A., Khan, S., Hussain, N., Hanjra, M.A., and Akbar, S., 2013. Characterizing soil salinity in irrigated agriculture using a remote sensing approach. *Physics and Chemistry of the Earth*. 55–57, 43–52.

Allbed, A. and Kumar, L., 2013. Soil Salinity Mapping and Monitoring in Arid and Semi-Arid Regions Using Remote Sensing Technology: A Review. (January).

Allbed, A., Kumar, L. and Sinha, P., 2014.

Mapping and Modelling Spatial Variation in Soil Salinity in the Al Hassa Oasis Based on Remote Sensing Indicators and Regression Techniques. *Remote Sensing*, 6(2), 1137–1157.

Belward, A.S. and Skøien, J.O., 2015. Who launched what, when and why; trends in global land-cover observation capacity from civilian earth observation satellites. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. 103, 115–128.

Benedek, C., and Sziranyi, T., 2009. Change

- Detection in Optical Aerial Images by a Multilayer Conditional Mixed Markov Model. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 47-10-, 3416–3430.
- Chang, X., Gao, Z., Wang, S., & Chen, H., 2019. Modelling long-term soil salinity dynamics using SaltMod in Hetao Irrigation District, China. *Computers and Electronics in Agriculture*, 156, 447–458.
- Chen, J., Zhu, X., Vogelmann, J. E., Gao, F., & Jin, S., 2011. A simple and effective method for filling gaps in Landsat ETM+ SLC-off images. *Remote Sensing of Environment*, 115(4), 1053–1064.
- Chi, Y., Shi, H., Zheng, W., & Sun, J., 2018. Simulating spatial distribution of coastal soil carbon content using a comprehensive land surface factor system based on remote sensing. *Science of The Total Environment*, 628–629, 384–399.
- Chi, Y., Sun, J., Liu, W., Wang, J., & Zhao, M., 2019. Mapping coastal wetland soil salinity in different seasons using an improved comprehensive land surface factor system. *Ecological Indicators*, 107(391), 105517.
- Corwin, D. L., 2021. Climate change impacts on soil salinity in agricultural areas. *European Journal of Soil Science*, 72(2), 842–862.
- Dai, X., Huo, Z., & Wang, H., 2011. Simulation for response of crop yield to soil moisture and salinity with artificial neural network. *Field Crops Research*, 121(3), 441–449.
- Dewan, M. L., & Famuri, J., 1964. *The Soils of Iran*, FAO. Rome. Italy.
- Ding, J., & Yu, D., 2014. Monitoring and evaluating spatial variability of soil salinity in dry and wet seasons in the Werigan–Kuqa Oasis, China, using remote sensing and electromagnetic induction instruments. *Geoderma*, 235–236, 316–322.
- Elagib, N. A., & Basheer, M., 2021. Would Africa's largest hydropower dam have profound environmental impacts? *Environmental Science and Pollution Research*, 28(7), 8936–8944.
- Fan, X., Liu, Y., Tao, J., & Weng, Y., 2015. Soil Salinity Retrieval from Advanced Multi-Spectral Sensor with Partial Least Square Regression. *Remote Sensing*, 7(1), 488–511.
- Fan, X., Weng, Y., & Tao, J., 2016. Towards decadal soil salinity mapping using Landsat time series data. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 52, 32–41.
- Gorji, T., Sertel, E., & Tanik, A., 2017. Monitoring soil salinity via remote sensing technology under data scarce conditions: A case study from Turkey. *Ecological Indicators*, 74, 384–391.
- Guo, B., Han, B., Yang, F., Fan, Y., Jiang, L., Chen, S., ... Liang, T., 2019. Salinization information extraction model based on VI – SI feature space combinations in the Yellow River Delta based on Landsat 8 OLI image feature space combinations in the Yellow River Delta. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 10(1), 1863–1878.
- Hamzeh, S., Naseri, A. A., Alavi Panah, S. K., Mojaradi, B., Bartholomeus, H. M., & Herold, M., 2012, October 19. Mapping salinity stress in sugarcane fields with hyperspectral satellite imagery (C. M. U. Neale & A. Maltese, eds.).
- Hamzeh, S., Naseri, A. A., AlaviPanah, S. K., Mojaradi, B., Bartholomeus, H. M., Clevers, J. G. P. W., & Behzad, M., 2013. Estimating salinity stress in sugarcane fields with spaceborne hyperspectral vegetation indices. *International Journal of Applied Earth Observation and*

- Geoinformation, 21(1), 282–290.
- Hamzeh, Saeid, Naseri, A. A., AlaviPanah, S. K., Bartholomeus, H., & Herold, M., 2016. Assessing the accuracy of hyperspectral and multispectral satellite imagery for categorical and Quantitative mapping of salinity stress in sugarcane fields. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 52, 412–421.
- Han, L., Liu, D., Cheng, G., Zhang, G., & Wang, L., 2019. Spatial distribution and genesis of salt on the saline playa at Qehan Lake, Inner Mongolia, China. *CATENA*, 177, 22–30.
- Hassani, A., Azapagic, A., & Shokri, N., 2020. Predicting long-term dynamics of soil salinity and sodicity on a global scale. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 117(52), 33017–33027.
- Hu, J., Peng, J., Zhou, Y., Xu, D., Zhao, R., Jiang, Q., ... Shi, Z., 2019. Quantitative Estimation of Soil Salinity Using UAV-Borne Hyperspectral and Satellite Multispectral Images. *Remote Sensing*, 11(7), 736.
- Huete, A., Didan, K., Miura, T., Rodriguez, E. ., Gao, X., & Ferreira, L. ., 2002. Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. *Remote Sensing of Environment*, 83(1–2), 195–213.
- Huete, A., Justice, C., & Liu, H., 1994. Developmeclassification and soil indices for MODIS-EOS. *Remote Sensing of Environment*, 49, 224–234.
- Ivushkin, K., Bartholomeus, H., Bregt, A. K., Pulatov, A., Kempen, B., & de Sousa, L., 2019. Global mapping of soil salinity change. *Remote Sensing of Environment*, 231(March), 111260.
- Kasim, N., Tiyip, T., Abliz, A., Nurmemet, I., Sawut, R., & Maihemuti, B., 2018. Mapping and Modeling of Soil Salinity Using WorldView-2 Data and EM38-KM2 in an Arid Region of the Keriya River, China. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 84(1), 43–52.
- Khan, N. M., Rastoskuev, V. V., Sato, Y., & Shiozawa, S., 2005. Assessment of hydrosaline land degradation by using a simple approach of remote sensing indicators. *Agricultural Water Management*, 77(1–3), 96–109.
- Knyazikhin, Y., Schull, M. A., Stenberg, P., Mottus, M., Rautiainen, M., Yang, Y., ... Myneni, R. B., 2013. Hyperspectral remote sensing of foliar nitrogen content. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 110(3), E185–E192.
- Li, S., Shi, Z., Chen, S., Ji, W., Zhou, L., Yu, W., & Webster, R., 2015. In Situ Measurements of Organic Carbon in Soil Profiles Using vis-NIR Spectroscopy on the Qinghai–Tibet Plateau. *Environmental Science & Technology*, 49(8), 4980–4987.
- Masoud, A. A., 2014. Predicting salt abundance in slightly saline soils from Landsat ETM+ imagery using Spectral Mixture Analysis and soil spectrometry. *Geoderma*, 217–218, 45–56.
- nasiri, mina, hamidi, mehdi, & Kardan moghaddam, H., 2020. Evaluating the effect of supplying drinking water and agriculture water of Sari-Neka aquifer on the salinity movement with the utilization of Gelvard dam. *Journal of Soil and Water Resources Conservation*, 9(2), 71–88.
- Neuenschwander, A. L., Crawford, M. M., & Ringrose, S., 2005. Results from the EO-1 experiment—A comparative study of Earth Observing-1 Advanced Land Imager (ALI) and Landsat ETM+ data for land cover mapping in the Okavango Delta, Botswana. *International Journal of Remote Sensing*, 26(19), 4321–4337.

- Nguyen, K.-A., Liou, Y.-A., Tran, H.-P., Hoang, P.-P., & Nguyen, T.-H., 2020. Soil salinity assessment by using near-infrared channel and Vegetation Soil Salinity Index derived from Landsat 8 OLI data: a case study in the Tra Vinh Province, Mekong Delta, Vietnam. *Progress in Earth and Planetary Science*, 7(1), 1.
- Rekha, S., Jenita, R., Mrunalini, B., Kannan, V., & E, N. M. V., 2011. Development And Demonstration Of Satellite Image Salinity Analyzer - A Tool development and demonstration of satellite image salinity analyzer-a tool for salinity mapping. *International Journal on Applied Bio-Engineering*, 5(1), 25–29.
- Ren, D., Wei, B., Xu, X., Engel, B., Li, G., Huang, Q., Huang, G., 2019. Analyzing spatiotemporal characteristics of soil salinity in arid irrigated agroecosystems using integrated approaches. *Geoderma*, 356, 113935.
- Rome, F. A. O., 2015. Status of the World's Soil Resources (SWSR)—Main Report. Food and Agriculture Organization of the United Nations and Intergovernmental Technical Panel on Soils. Rome, FAO, 650 p.
- Russ, J. D., Zaveri, E. D., Damania, R., Desbureaux, S. G., Escurra, J. J., & Rodella, A.-S., 2020. Salt of the Earth: Quantifying the Impact of Water Salinity on Global Agricultural Productivity. *World Bank Policy Research Working Paper*, (9144).
- Sakizadeh, M., & Chua, L. H. C., 2020. Environmental impact of Karkheh Dam in the southern part of Iran on groundwater quality by intervention and trend analysis. *Environmental Monitoring and Assessment*, 192(11), 683.
- Sayyari, M. H., & Mahmoodi, S., 2002. Investigation on reason of soil salinity and alkalinity on some part of Khorasan province (Dizbad-e-Pain Region). *World Congress of Soil Science*, Bangkok (Thailand), 14-21 Aug 2002.
- Scudiero, E., Skaggs, T. H., & Corwin, D. L., 2014. Regional scale soil salinity evaluation using Landsat 7, Western San Joaquin Valley, California, USA. *Geoderma Regional*, 2–3, 82–90.
- 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.
- Skaggs, T. H., Anderson, R. G., Corwin, D. L., & Suarez, D. L., 2014. Analytical steady-state solutions for water-limited cropping systems using saline irrigation water. *Water Resources Research*, 50(12), 9656–9674.
- Slonecker, E. T., 2018. *Advanced Applications in Remote Sensing of Agricultural Crops and Natural Vegetation* (2nd Editio; P. S. Thenkabail, J. G. Lyon, & A. Huete, Eds.).
- Squires, V. R., & Glenn, E. P., 2011. Salination, desertification and soil erosion. *The Role of Food, Agriculture, Forestry and Fisheries in Human Nutrition*, VR Squires, Ed.(EOLSS Publications, 2011), 3, 102–123.
- Taghadosi, M. M., Hasanlou, M., & Eftekhari, K., 2019. Soil salinity mapping using dual-polarized SAR Sentinel-1 imagery. *International Journal of Remote Sensing*, 40(1), 237–252.
- Tran, T. V., Tran, D. X., Myint, S. W., Huang, C., Pham, H. V., Luu, T. H., & Vo, T. M. T., 2019. Examining spatiotemporal salinity dynamics in the Mekong River Delta using Landsat time series imagery and a spatial regression approach. *Science of The Total Environment*, 687, 1087–1097.
- Wang, J., Ding, J., Yu, D., Ma, X., Zhang, Z., Ge, X., Guo, Y., 2019. Capability of Sentinel-2 MSI

data for monitoring and mapping of soil salinity in dry and wet seasons in the Ebinur Lake region, Xinjiang, China. *Geoderma*, 353(June), 172–187.

Wang, J., Ding, J., Yu, D., Teng, D., He, B., Chen, X., ... Su, F., 2020. Machine learning-based detection of soil salinity in an arid desert region, Northwest China: A comparison between Landsat-8 OLI and Sentinel-2 MSI. *Science of The Total Environment*, 707, 136092.

Wulder, M. A., Loveland, T. R., Roy, D. P., Crawford, C. J., Masek, J. G., Woodcock, C. E., ... Zhu, Z., 2019. Current status of Landsat program, science, and applications. *Remote Sensing of Environment*, 225, 127–147.

Zeraatpisheh, M., Ayoubi, S., Jafari, A., Tajik, S., & Finke, P., 2019. Digital mapping of soil properties using multiple machine learning in a semi-arid region, central Iran. *Geoderma*, 338, 445–452.

Zhang, T.-T., Zeng, S.-L., Gao, Y., Ouyang, Z.-T., Li, B., Fang, C.-M., & Zhao, B., 2011. Using hyperspectral vegetation indices as a proxy to monitor soil salinity. *Ecological Indicators*, 11(6), 1552–1562.





Environmental Sciences Vol.19 / No.4 / Winter 2022

225-248

Original Article

Investigating the effect of Gotvand Dam on changes in soil salinity and vegetation cover of downstream lands of the dam using satellite imagery and spectral indices

Morteza sharif and Saeid Hamzeh*

Department of Remote Sensing and GIS, Faculty of Geography, University of Tehran, Tehran, Iran

Received: 2021.02.02 Accepted: 2021.07.16

Sharif, M. and Hamzeh, S., 2022. Investigating the effect of Gotvand Dam on changes in soil salinity and vegetation cover of downstream lands of the dam using satellite imagery and spectral indices. *Environmental Sciences*. 19(4): 225-248.

Introduction: One of the most important factors that play a major role in reducing soil fertility and agricultural land degradation is soil salinization. Soil salinity problem is more severe in agricultural lands of arid and semi-arid regions. In many cases, human activities and irrigation of agricultural lands with saline water are the cause of salinization. This is a serious problem in different regions of Iran, especially in Khuzestan Province. Therefore, the present study was conducted with the aim of monitoring and evaluating the effect of Gotvand Dam on the salinization of the downstream area and changing its plant ecosystem before and after water intake using remote sensing imagery.

Material and methods: The time series of two ETM+ and OLI sensors from 1999-2019 were collected using plant indices (NDVI, SAVI), biophysical index of leaf cover (LAI), and salinity indices. The soil was classified by salient decision-making method of changes in halophyte and non-halophyte plants according to the threshold obtained from the indicators used in each year. Then, the final results were evaluated according to the trend of changes obtained from the used indicators and their correlation with changes in the plant ecosystem of the region.

Results and discussion: The rate of vegetation changes in the four years of 2018, 2013, 2002, and 1999 was more than other years, which was prepared by the method of supervised classification of the area under normal vegetation and saline plants. According to the results obtained from 1999, the total vegetation area of the groves was about 1117 hectares, of which about 134 hectares were related to halophyte vegetation. However in 2018,

* Corresponding Author: *Email Address.* saeid.hamzeh@ut.ac.ir

these values were estimated at 921 hectares, with areas covered by halophyte changing to 445 hectares and halophyte to 476 hectares.

Conclusion: The results of the study indicate the onset of the highest stresses in the plant ecosystem of the region and the simultaneous decline in leaf cover and NDVI with the water intake of Gotvand Dam since 2011. This coincidence, which is due to the salinity of the water of Gotvand Dam Lake and consequently Karun River, has a significant effect on increasing salinity and changes in soil quality of the region and thus increasing halophyte plants as well as high vegetation degradation in the region. These conditions can create more serious challenges for the ecosystem of this area and in the long period change the ecosystem and vegetation cover of this region to halophyte plants.

Keywords: Remote sensing, Landsat, Halophyte plants, LAI, SAVI.

