

## بررسی تغییرات زمانی و مکانی شوری خاک شهرستان آبادان در بازه ۲۴ ساله با تصاویر ماهواره‌ای

مهدی مومی‌پور\* - استادیار ژئومورفولوژی، دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر، خرمشهر، ایران

وصول: ۱۳۹۶/۱۱/۱۳ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۲/۲۸

### چکیده

شوری خاک، به دلیل ضعف مدیریت منابع آب و خاک و توسعه ناپایدار کشاورزی رخ داده و موجب کاهش بازدهی خاک می‌شود. در روش سنتی، شوری خاک با جمع‌آوری نمونه‌های میدانی، آنالیز آزمایشگاهی و هدایت الکتریکی آنها اندازه‌گیری می‌شود. داده‌ها و تکنیک‌های سنجش از دور، روشی مؤثرتر و اقتصادی‌تر برای پایش و تهیه نقشه شوری خاک هستند. بازتاب طیفی نمک‌ها در سطح خاک کاملاً شناسایی شده و به‌عنوان شاخص مستقیم شناسایی خاک‌های شور در سنجش از دور استفاده می‌شود. هدف این مطالعه، بررسی تغییرات مکانی و زمانی شوری خاک‌های سطحی در محدوده شهرستان آبادان است. به این منظور، تصاویر ماهواره‌ای لندست در بازه زمانی ۲۴ ساله استفاده شده و سه شاخص نسبت آبی به سبز، شاخص نرمال‌شده شوری خاک و شاخص شوری با استفاده از این تصاویر به دست آمده و مقایسه شده‌اند. شاخص‌های مختلف شوری خاک با مدل رگرسیون خطی ارزیابی شده و پارامترهای مدل به دست آمد. بر اساس نتایج رگرسیون، شاخص شوری، بهترین انطباق را با واقعیت میدانی نشان داد ( $R^2 = 0/573$ ). در بازه زمانی انجام این پژوهش، شوری خاک در برخی نواحی شهرستان کمتر و در برخی نواحی بیشتر شده است. نمی‌توان با اطمینان و بدون وجود داده‌های میدانی از شاخص‌ها استفاده کرد. پژوهش حاضر نشان داد، با اینکه شوری خاک منطقه همچنان بالاست، شوری زمین‌ها در بیشتر مناطق شهرستان آبادان در بازه زمانی این مطالعه کاهش یافته است؛ اما در برخی نواحی، افزایش شوری به‌طور موردی است. استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و شاخص‌های شوری خاک به دلیل دید کلی که از وضعیت شوری ارائه می‌دهد بسیار مفید است، اما باید عدم قطعیت داده‌ها را در نظر داشت.

واژگان کلیدی: شوری خاک، تصویر ماهواره‌ای، شاخص‌های شوری، آبادان، تغییرات زمانی.

## مقدمه

شاید شوری خاک مانند زلزله و یا زمین لغزش، خسارت ناگهانی وارد نکند، اما بدون شک، یک خطر جدی محیط‌زیستی است. شوری خاک، به دلیل ضعف مدیریت منابع آب و خاک و توسعه ناپایدار کشاورزی رخ داده و موجب کاهش بازدهی محصولات کشاورزی می‌شود. آمار وسعت زمین‌های شور در منابع مختلف متفاوت است، اما تخمین‌ها حدود یک میلیارد هکتار است که حدود ۷٪ سطح خشکی‌های زمین را شامل می‌شود (قاسمی و همکاران، ۱۹۹۵: ۳۸). شوری، سبب ایجاد سایر مشکلات خاک مانند پراکنش خاک، فرسایش و مشکلات مهندسی نیز می‌شود. ضرورت مقابله با شوری خاک زمانی ملموس‌تر است که اثرات منفی آن در اقتصاد بیان شود. برای مثال، زیان اقتصادی ناشی از شوری ثانویه (در اثر فعالیت انسان) حدود ۷۵۰ میلیون دلار در سال برای حوضه آبریز کلرادو، حدود ۳۰۰ میلیون دلار در سال برای حوضه آبریز پنجاب در شمال پاکستان و ۲۰۸ میلیون دلار در سال برای حوضه آبریز مورای استرالیا برآورد شده است (قاسمی و همکاران، ۱۹۹۵: ۴۶). بیشتر این خسارت‌ها، بدون احتساب کاهش قیمت زمین (به دلیل شوری) و سایر هزینه‌های جانبی مانند آسیب به زیرساخت‌ها (ساختمان‌ها و جاده‌ها) و هزینه‌های اجتماعی اقتصاد مزارع محاسبه شده است. در ایران، برآورد اقتصادی دقیقی انجام نشده است، اما آنچه آشکار است این است که شوری خاک، خسارت زیاد اقتصادی و به تبع آن مشکلات اجتماعی و امنیتی ایجاد می‌کند (قاسمی و همکاران، ۱۹۹۵: ۴۹). در روش سنتی اندازه‌گیری شوری خاک، نمونه‌های میدانی جمع‌آوری شده و در آزمایشگاه آنالیز می‌شوند تا غلظت مواد محلول و یا هدایت الکتریکی آنها مشخص شود. با این حال، این روش‌ها زمان‌بر و پرهزینه هستند، زیرا باید نمونه برداری زیادی انجام شود تا بتوان تغییرات مکانی شوری را در منطقه تعیین کرد. داده‌ها و تکنیک‌های سنجش از دور، روشی مؤثرتر و اقتصادی‌تر برای پایش و تهیه نقشه شوری خاک هستند (فریفته، ۲۰۰۷).

از داده‌ها و تکنیک‌های سنجش از دور، از دهه ۱۹۶۰، به‌طور روزافزون برای تهیه نقشه شوری خاک استفاده می‌شود (کوشال<sup>۱</sup>، ۲۰۱۲). داده‌های چندطیفی، مانند لندست<sup>۲</sup>، اسپات<sup>۳</sup>، ایکونوس<sup>۴</sup>، کوئیک برد<sup>۵</sup> و سنجش از دور هند<sup>۶</sup> و داده‌های فراطیفی مانند هیپرئون<sup>۷</sup> و های‌مپ<sup>۸</sup> برای تهیه نقشه و پایش شوری خاک مفید تشخیص داده شده‌اند (فریفته، ۲۰۰۷؛ کوشال، ۲۰۱۲). بازتاب طیفی انواع نمک‌ها در سطح خاک، به‌طور دقیق مطالعه شده و به‌عنوان شاخص مستقیمی در سنجش از دور استفاده می‌شود. با این حال، وقتی رطوبت خاک بالا بوده، یا لایه نمکی در سطح خاک قابل مشاهده نباشد و یا نمک با سایر اجزای خاک مخلوط شده باشد، رویکرد تشخیص مستقیم شوری پیچیده شده و ممکن است نتایج پایا و قابل قبولی ارائه ندهد، زیرا این عوامل، بر بازتاب طیفی خاک اثرگذارند (الحق<sup>۹</sup>، ۲۰۱۶)؛ اما پوشش گیاهی و گیاهان شورپسند (هالوفیت‌ها)، می‌توانند به‌عنوان نشانه‌ای از شوری خاک برای تشخیص غیر مستقیم و شناسایی مناطق شور بر اساس بازتاب طیفی گیاهان باشند. در حالت عادی، گیاهان ناسالم و یا متأثر از شوری، فعالیت فتوسنتز

1- Koshal

2- Landsat

3- SPOT

4- IKONOS

5- Quick Bird

6- Indian Remote Sensing (IRS)

7- Hyperion

8- Hymap

9- Elhag

کمتری دارند که موجب بازتاب بیشتر نور مرئی و بازتاب کمتر طیف مادون قرمز نزدیک<sup>۱</sup> از گیاهان می‌شود که این را استرس شوری می‌نامند (دیرسن و اسکورل<sup>۲</sup>، ۱۹۷۳). چندین شاخص پوشش گیاهی مانند شاخص نرمال شده پوشش گیاهی<sup>۳</sup> و شاخص تنظیم شده خاک و پوشش گیاهی<sup>۴</sup> به عنوان شاخص غیر مستقیم شوری شوری خاک به کار می‌روند؛ همچنین برخی پژوهشگران، شاخص‌های شوری ارائه داده‌اند که برای تشخیص مستقیم شوری هستند مانند شاخص نرمال شده شوری خاک<sup>۵</sup> و شاخص شوری<sup>۶</sup> (الحق، ۲۰۱۶).

تغییرات زمانی، مکانی و عمودی در نیمرخ خاک، از عوامل محدودکننده کاربرد سنجش از دور برآورد شوری خاک هستند، زیرا اطلاعات طیفی تصاویر ماهواره‌ای، قادر به شناخت اطلاعات کلی نیمرخ خاک نیست و فقط سطح خاک را بررسی می‌کند (سینگ<sup>۷</sup> و همکاران، ۲۰۱۰)؛ افزون بر این، خصوصیات سطحی نیز در بسیاری موارد نماینده بخش‌های عمیق خاک نیستند (دی‌ویت<sup>۸</sup> و همکاران، ۲۰۱۲). با این حال، تلفیق سنجش از دور و داده‌های ژئوفیزیکی و مدل‌های شبیه‌سازی، می‌تواند تا حدودی این مسئله را حل کند. همبستگی بالایی بین داده‌های مادون قرمز نزدیک و مادون قرمز میانی سنجنده آستر با شوری خاک در پژوهش نوار<sup>۹</sup> و همکاران (۲۰۱۵)، گزارش شده است. مشابه این کار با استفاده از تصاویر سنجنده نقشه‌بردار موضوعی بهبود یافته<sup>۱۰</sup> لندست در دشت قزوین توسط عبدی‌نام (۱۳۸۳)، انجام شد. بر اساس مطالعه هاتفی اردکانی و همکاران (۱۳۹۵)، مشخص شده که استفاده از شاخص‌های شوری نسبت به طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای برتری دارد؛ با این حال، خادمی و همکاران (۱۳۹۳)، دادرسی و همکاران (۱۳۸۵) و زینالی و همکاران (۱۳۹۵) با طبقه‌بندی تصویر ماهواره‌ای، تغییرات خاک‌های شور را بررسی کرده‌اند. برخی مطالعات مانند دشتکیان و همکاران (۱۳۸۷)، هم شاخص شوری خاصی را برای منطقه‌ای معین ارائه کرده‌اند که بهترین انطباق را با اندازه‌گیری‌های میدانی دارد.

رویکرد تشخیص مستقیم شوری خاک برای خاک‌های لخت، آسان‌تر و عملی‌تر است، مانند مناطقی که پوسته نمکی روی سطح خاک وجود دارد و پوشش گیاهی پراکنده‌تر است. در چنین حالتی، انواع نمک‌ها و ضخامت آنها نیز با توجه به بازتاب طیفی آنها قابل تشخیص است (گرفات<sup>۱۱</sup> و همکاران، ۲۰۰۷؛ هواری<sup>۱۲</sup>، ۲۰۰۳). در مناطقی که پوشیده از گیاه است، تشخیص مستقیم شوری امکان‌پذیر نیست؛ زیرا بین خاک و گیاه تداخل بازتاب وجود دارد (دینگ<sup>۱۳</sup> و همکاران، ۲۰۱۱؛ کالیتا<sup>۱۴</sup> و همکاران، ۲۰۰۵). در مطالعاتی که از شاخص‌های گیاهی برای مطالعه غیر مستقیم شوری خاک استفاده می‌شود، فرض می‌شود شوری خاک تنها عامل مؤثر در آسیب پوشش گیاهی است و سایر شرایط مانند مدیریت نادرست خاک و کیفیت آب نادیده گرفته می‌شوند. افزون بر این، آسیب پوشش گیاهی ممکن است به دلیل نبود مواد مغذی خاک باشد نه وجود

- 1- Near Infra-Red (NIR)
- 2- Driessen & Schoorl
- 3- Normalized Differential Vegetation Index
- 4- Soil Adjusted Vegetation Index
- 5- Normalized Differential Soil Index
- 6- Salinity Index
- 7- Singh
- 8- Dewitte
- 9- Nawar
- 10- Enhanced Thematic Mapper (ETM+)
- 11- Gherfat
- 12- Howari
- 13- Ding
- 14- Kaleita

نمک؛ همچنین گیاهان مختلف، عموماً در سطوح متفاوتی از شوری می‌توانند رشد کنند، لذا شاخص نرمال‌شده پوشش گیاهی، شاخص نامطمئنی برای شوری خاک است. در کنار اینها، وجود گیاهان شورپسند ممکن است شناسایی خاک شور با شاخص نرمال‌شده پوشش گیاهی را دچار اشکال و خطا سازد (سینگ و همکاران، ۲۰۱۰)؛ از این رو، تا حدودی شاخص تنظیم‌شده خاک و پوشش گیاهی و سایر مدل‌های اصلاح‌شده می‌توانند برای جداسازی طیف‌های بازتابی گیاه و خاک مؤثر باشند (مودلر<sup>۱</sup> و همکاران، ۲۰۱۳). برای بخش‌های پوشیده از گیاه و بدون گیاه، شاخص‌های متفاوتی توسط وو<sup>۲</sup> و همکاران (۲۰۱۴) تعریف شده که دقت کار را بالا برده است.

قدرت تفکیک طیفی کم تصاویر، تشخیص مستقیم شوری را مشکل می‌کند؛ زیرا این تصاویر، باندهای جذبی خاص برخی نمک‌ها را ثبت نمی‌کند و علائم طیفی پدیده‌های سطحی با هم مخلوط شده و تشخیص مشکل می‌شود (دهان و تیلور<sup>۳</sup>، ۲۰۰۲؛ مونوت<sup>۴</sup> و همکاران، ۱۹۹۳). برای حل این مشکل، کاربرد تصاویر فراتطیفی توصیه می‌شود که باندهای طیفی باریک زیادی دارند و تشخیص پدیده‌ها آسان‌تر می‌شود (دهان و تیلور، ۲۰۰۲). مطالعه‌ای که مشخص کند کدام شاخص بهترین نتیجه را دارد، وجود ندارد، بلکه استفاده از شاخص‌ها به تشخیص پژوهشگر و شرایط منطقه مورد مطالعه بستگی دارد.

هدف این مطالعه، بررسی تغییرات مکانی و زمانی شوری خاک‌های سطحی در محدوده شهرستان آبادان است. به این منظور، از تصاویر ماهواره‌ای لندست در یک بازه زمانی ۲۴ ساله استفاده شده است. سه شاخص شوری خاک (نسبت باندی آبی به سبز، شاخص شوری و شاخص نرمال‌شده تفاوت شوری) با استفاده از این تصاویر به دست آمده و مقایسه شده است تا هم مشخص شود در این مدت، شوری خاک چه تغییری کرده و کدام شاخص برای این منطقه مناسب‌تر است؟

## مواد و روش‌ها

محدوده مورد مطالعه در مرز سیاسی شهرستان آبادان در منتهی‌الیه جنوب غربی ایران و هم‌مرز با کشور عراق و خلیج فارس در محدوده طول جغرافیایی ۴۸° ۱۰' تا ۴۸° ۵۵' شرقی و عرض جغرافیایی ۳۰° ۳۰' تا ۳۰° ۳۰' شمالی است (شکل ۱). اقلیم منطقه، گرم و خشک و بارندگی سالانه کمتر از ۲۵۰ میلی‌متر در سال است. این منطقه پس از جنگ تحمیلی و در سال‌های اخیر، دچار مشکلات شوری آب و شوری خاک و کم شدن رونق کشاورزی شده است.

در این مطالعه، از تصویر ماهواره‌ای نقشه‌بردار موضوعی<sup>۵</sup> لندست ۵ و تصویربردار عملیاتی زمین<sup>۶</sup> لندست ۸ به ترتیب مربوط به سال‌های ۱۹۹۰ و ۲۰۱۴ استفاده شده است. تصحیحات معمول رادیومتریک و اتمسفری برای این تصاویر انجام شد. این پژوهش، بر مبنای ارزیابی همبستگی رگرسیونی بین داده‌های صحیح زمینی و مقادیر شاخص‌های شوری به دست آمده از تصاویر ماهواره‌ای است؛ بنابراین، برداشت‌های زمینی در زمان گذر ماهواره از منطقه (سال ۲۰۱۴) انجام شده است. واسنجی بر اساس داده‌های لندست ۸ که هم‌زمان با نمونه‌برداری خاک بوده، صورت پذیرفته است.

1- Mudler

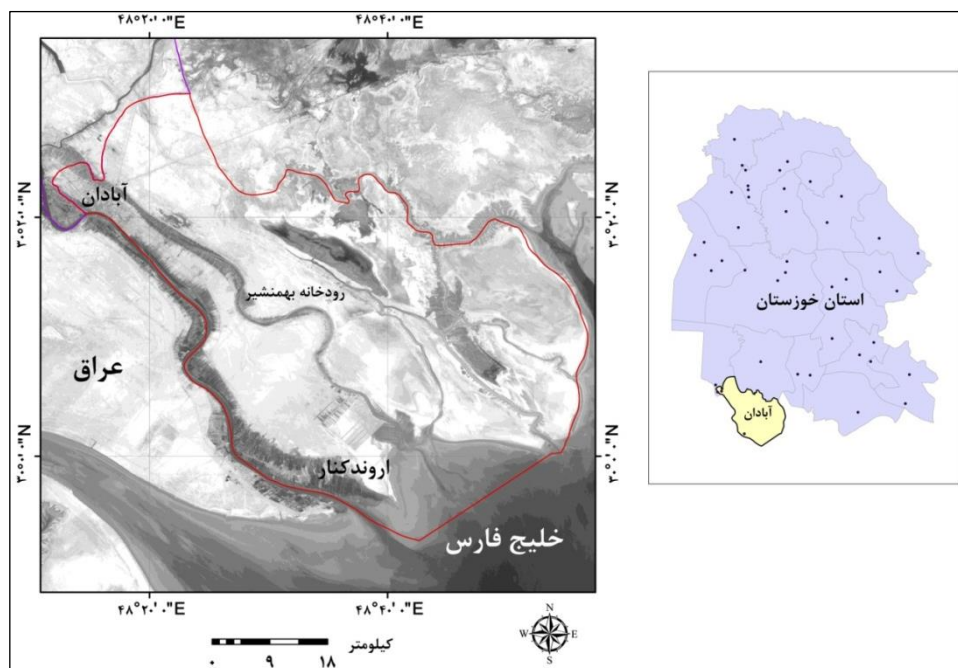
2- Wu

3- Dehann & Taylor

4- Mougnot

5- Thematic Mapper

6- Operational Land Imager



شکل ۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه

شاخص‌های سنجش از دور شوری خاک، به‌طور کلی برای تشخیص طیف بازتابی کانی‌های نمکی خاک ایجاد شده‌اند و تفاوت بازتاب طیفی خاک‌های شور را در باندهای مختلف تشخیص می‌دهند. شاخص‌های شوری مورد استفاده در این مطالعه، شامل شاخص نرمال‌شده شوری خاک، نسبت باندهای آبی به سبز و شاخص شوری هستند (رابطه ۱ تا ۳):

$$B/G = \text{نسبت طیفی}$$

رابطه ۱ (میجور<sup>۱</sup> و همکاران، ۱۹۹۰)

$$NDSI^3 = \frac{(R-NIR)}{(R+NIR)}$$

رابطه ۲ (الخیر<sup>۲</sup>، ۲۰۰۳: ۲۴)

$$SI = \frac{(NIR * R)}{G}$$

رابطه ۳ (خان<sup>۴</sup> و همکاران، ۲۰۰۵)

در مرحله کار میدانی، از ۵۰ نقطه نمونه‌برداری شده است (شکل ۲). در هر نقطه، سه نمونه خاک برداشت شد؛ سپس شوری خاک بر اساس هدایت الکتریکی در آزمایشگاه اندازه‌گیری شد. نمونه‌ها، مخلوط نشده و جداگانه آزمایش شدند. هر ۲۰ گرم خاک خشک، با ۱۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر مخلوط شده و به مدت نیم ساعت هم‌زده شد تا نمک‌های محلول خاک حل شوند؛ سپس سوسپانسیون به مدت ۲۴ ساعت بدون حرکت نگهداری شد تا خاک حل‌نشده ته‌نشین شود؛ سپس دستگاه هدایت‌سنج، کالیبره شده و بدون تماس الکترود با خاک ته‌نشین‌شده، مقدار هدایت الکتریکی خوانده شد. دمای آب نیز ثبت شد تا اگر ۲۵ درجه سانتی‌گراد نیست، مقادیر خوانده‌شده تصحیح شود. برای هر درجه حرارت بالاتر از ۲۵ درجه، ۰.۲٪ به مقدار هدایت الکتریکی افزوده شده و برای هر ۱ درجه حرارت پایین‌تر از ۲۵ درجه، ۰.۲٪ از مقدار هدایت الکتریکی کم می‌شود. در این مطالعه، از دستگاه هدایت‌سنج هاج<sup>۵</sup> استفاده شده است.

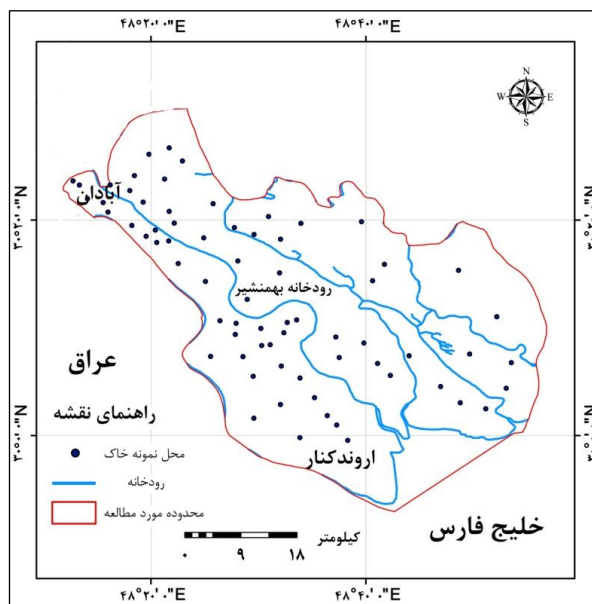
1- Major

2- Al-Khaier

3- Normalized Differential Soil Index (NDSI)

4- Khan

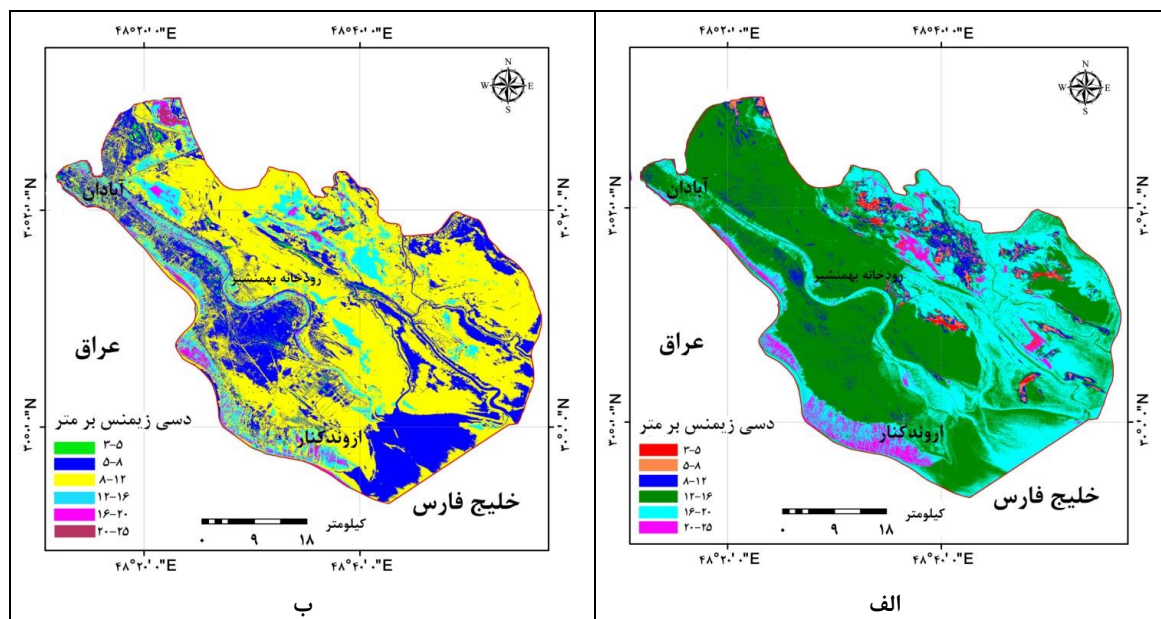
5- HACH



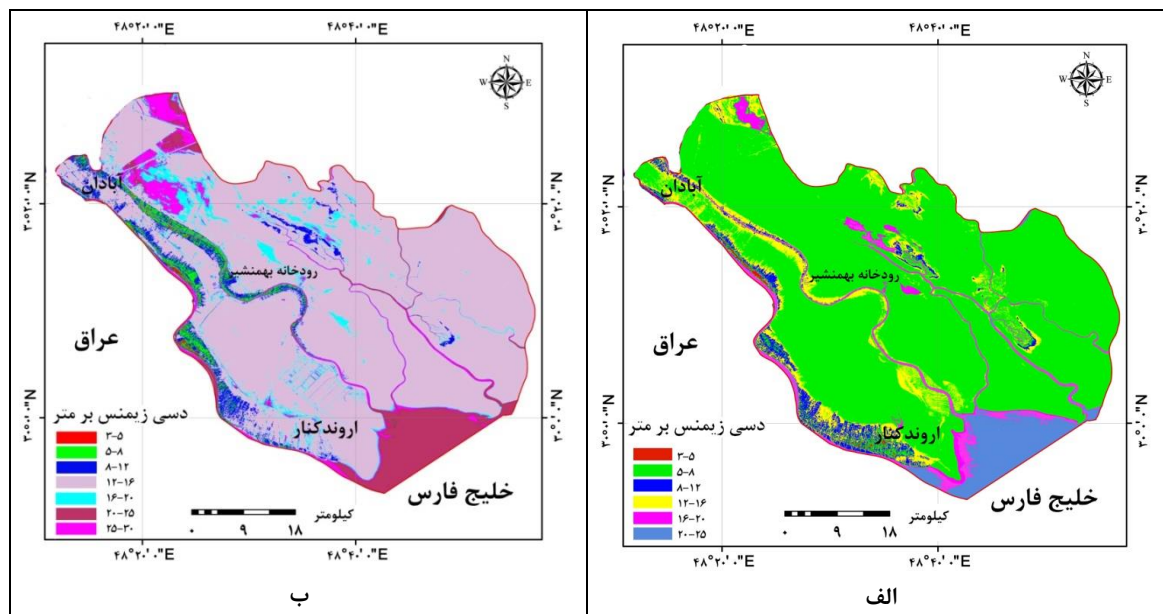
شکل ۲. موقعیت نقاط نمونه‌برداری نمونه‌های خاک

### نتایج

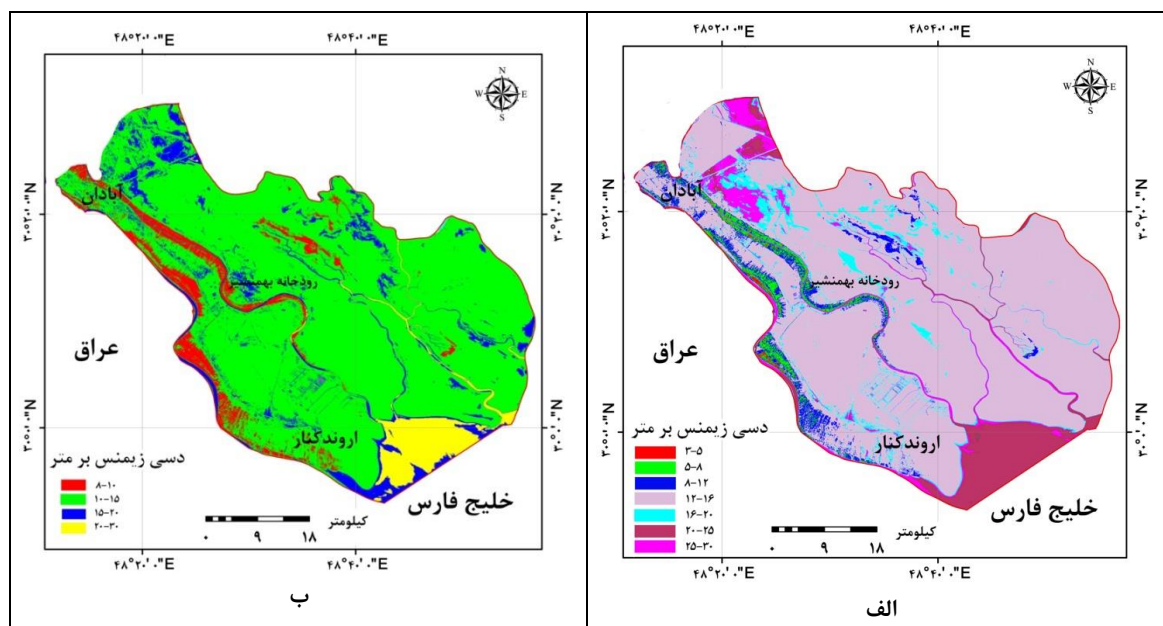
نقشه‌های حاصل از اعمال شاخص‌های شوری نسبت آبی به سبزی، شاخص نرمال‌شده شوری خاک و شاخص شوری برای سال‌های ۱۹۹۰ و ۲۰۱۴ تهیه و مقایسه شده است (شکل ۳، ۴ و ۵). نحوه توزیع پهنه‌های شور در هر کدام از این شاخص‌ها متفاوت است و برای درک اینکه کدام شاخص نتیجه‌ای نزدیک به واقعیت را نشان می‌دهد؛ از داده‌های میدانی نمونه‌برداری خاک استفاده شده است. استفاده از شاخص‌های مختلف شوری خاک، پژوهشگر را به این نتیجه می‌رساند که ترجیحات مختلفی برای تخمین شوری خاک وجود دارد. ارزیابی شاخص‌های مختلف شوری خاک بر اساس انطباق با مدل رگرسیون خطی انجام شده و پارامترهای مدل به دست می‌آید. بر اساس رگرسیون انجام‌شده، شاخص شوری، بهترین انطباق را با واقعیت میدانی نشان می‌دهد (شکل ۶).



شکل ۳. شاخص نسبت باندهای آبی به سبزی: الف: سال ۱۹۹۰ و ب: سال ۲۰۱۴



شکل ۴. شاخص نرمال شده شوری خاک: الف: سال ۱۹۹۰ و ب: سال ۲۰۱۴



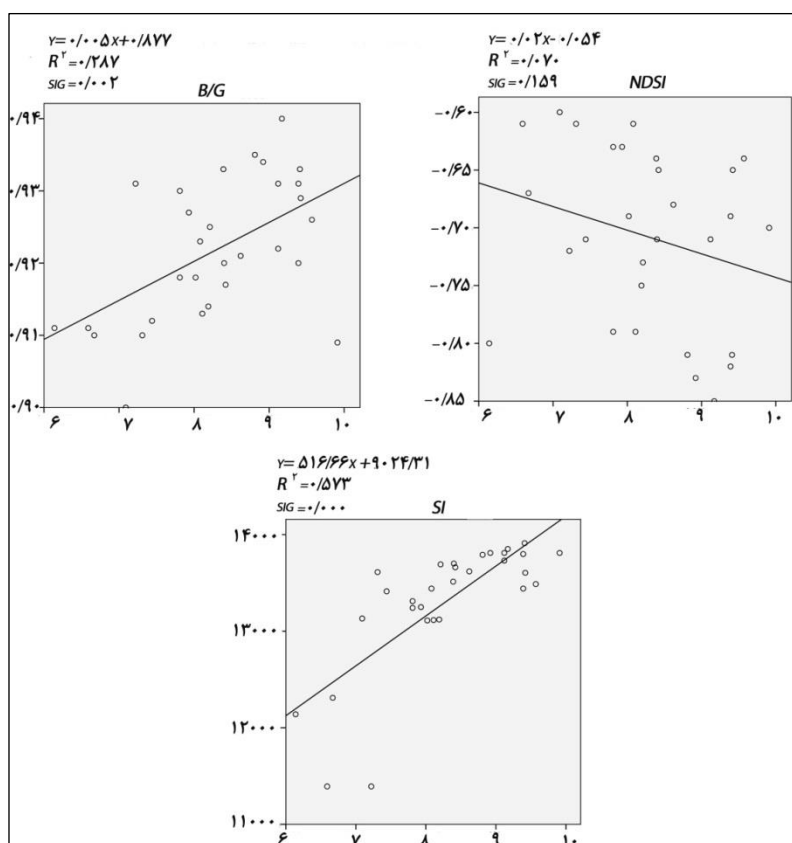
شکل ۵. شاخص شوری: الف: سال ۱۹۹۰ و ب: سال ۲۰۱۴

در نقشه شاخص شوری سال ۱۹۹۰، پوشش گیاهی با مقدار شوری حدود ۱۲ تا ۱۸ دسی زیمنس بر متر منطبق شده است. بیشتر محدوده مورد مطالعه، شوری بالای ۱۸ دسی زیمنس بر متر را نشان می‌دهد که بیانگر شوری زیاد خاک منطقه مورد مطالعه در سال ۱۹۹۰ است. در نقشه شاخص شوری سال ۲۰۱۴، پوشش گیاهی منطقه، کمترین مقدار شوری را نشان می‌دهد که البته باز هم بالای ۸ دسی زیمنس بر متر است که در طبقه‌بندی خاک شور قرار می‌گیرد. مناطق شهری، شوری بالاتر از این مقدار را نشان می‌دهند که البته چون پوشش شهری متفاوت از خاک است نمی‌توان آن را قابل قبول دانست، لذا به‌عنوان تداخل با پدیده‌های سطحی مطرح می‌شود. شوری کل منطقه مورد مطالعه بالاست و نواحی با شوری کم یا متوسط بسیار محدودند.

در منطقه مورد مطالعه، نواحی شهری شوری بالایی را نشان می‌دهند؛ همچنین در نواحی تالابی و پهنه‌های آبی، شوری متوسط تا بالاست. مزارع و استخرهای پرورش ماهی‌ای که در بخش‌هایی از منطقه وجود دارند، در نقشه شوری، مقدار شوری کم را نشان می‌دهند. باید توجه داشت که با وجود کاهش شوری در این مدت، شوری خاک همچنان بیش از حد مجاز است و خاک غیر شور در منطقه به‌ندرت دیده می‌شود. با اینکه شوری در بازه زمانی ۲۴ ساله مورد مطالعه کاهش یافته ولی همچنان مساحت زیادی از شهرستان در رده خاک خیلی شور قرار دارد (جدول ۱).

### بحث

خاک‌های خیلی شور و شورزارهای مناطق خشک و بیابانی و حاشیه پلایاها، تنوع مورفولوژیکی و شیمیایی زیادی دارند. این موضوع باعث می‌شود بازتاب‌های طیفی مختلفی از شورزارها ایجاد شود؛ به همین دلیل، مطالعات شوری خاک با داده‌های ماهواره‌ای مشکلات خاص خود را دارد. مشاهدات میدانی و اندازه‌گیری‌های رادیومتریک، نشان داده است که مقدار و کانی‌شناسی نمک‌ها، رطوبت خاک، رنگ و زبری، عوامل اصلی مؤثر بر بازتاب نمک هستند (هانت<sup>۱</sup> و همکاران، ۱۹۷۱؛ ۱۹۷۲).



شکل ۶. رگرسیون سه شاخص استفاده‌شده در پژوهش حاضر

جدول ۱. تغییرات مساحت زمین‌های شور برحسب هکتار در بازه زمانی ۲۴ ساله

| شوری (دسی زیمنس بر متر) | شوری زیر ۱۰ | شوری ۱۰-۱۸ | شوری بالای ۱۸ |
|-------------------------|-------------|------------|---------------|
| سال ۱۹۹۰                | ۱۵۵۰۰       | ۶۰۸۰۰      | ۱۷۶۷۰۰        |
| سال ۲۰۱۴                | ۱۵۷۰۰       | ۲۲۸۷۰۰     | ۸۶۰۰          |



مونوت و همکاران (۱۹۹۳)، تغییرات بازتاب بر اثر شرایط متغیر سطحی شامل پوسته‌هایی که نمک دارند یا ندارند، پوسته‌های نمکی که ضخامت نمک آنها از یک میلی‌متر تا یک متر است، ساختارهای پف‌کرده که شامل ذرات خاک و بلورهای نمک (۵/۰ تا ۵ میلی‌متر) است که از رس‌های نمکی و گاهی از پوسته‌های نمکی به دست آمده‌اند و لایه‌های پفی حاصل از فرسایش بادی را بررسی کرده‌اند. این مطالعات نشان داده است که بازتاب کانی‌های نمکی در اثر تغییر ساختار سطحی خاک تغییر می‌کند؛ به عبارتی، در یک مقدار شوری معین، تغییر ساختمان خاک باعث می‌شود بازتاب ثبت‌شده در تصویر ماهواره‌ای، شوری‌های متفاوتی را نشان دهد.

از جمله عوامل خطا در مطالعات شوری خاک با تکنیک‌های سنجش از دور این است که بازتاب‌های ثبت‌شده در یک پیکسل ممکن است چندین کانی متفاوت نمکی و چند ساختار متنوع نمک را شامل شود. پوسته‌های نمکی، لایه‌های نازکی هستند که پس از بارندگی یا آبیاری در سطح خاک ایجاد شده و موجب تغییر رنگ خاک می‌شوند (الحق، ۲۰۱۶). دانه‌بندی خاک، در طول فرایند تشکیل پوسته تخریب می‌شود و دانه‌های ریزتر به وجود می‌آیند که در کل، باعث افزایش بازتاب کلی خاک می‌شود. نمک‌ها موجب تغییر زبری سطحی می‌شوند. کانی‌شناسی نمک، پدیده‌های ماکرومورفولوژی مشخصی را در سطح خاک به وجود می‌آورد، مانند پوسته‌های پفی که به دلیل فراوانی سولفات سدیم و پوسته‌های نمکی نرم که به سبب حضور کلریدها شکل می‌گیرند (اقبالم<sup>۱</sup> و همکاران، ۱۹۸۹).

بهترین زمان برای تهیه داده‌های سنجش از دور (مرئی و مادون قرمز)، برای تشخیص نمک خاک، پایان فصل خشک است (زینالی و همکاران، ۱۳۹۵)؛ زیرا نمک‌ها در فصل تر شسته می‌شوند. تصاویر ماهواره‌ای مورد استفاده در این مطالعه نیز مربوط به ماه شهریور است. در بازه زمانی انجام این پژوهش، شوری خاک برخی نواحی مورد مطالعه کمتر شده و در برخی نواحی، شوری بیشتر شده است (شکل ۳، ۴ و ۵)؛ البته با توجه به اینکه بر اساس رگرسیون با داده‌های واقعی، شاخص شوری معتبرتر است، لذا مبنای مقایسه، همین شاخص در نظر گرفته شده است. در سنجش از دور، احتمال تشخیص خاک‌های نمکی به رطوبت خاک، خلوص نمک، پوشش و تمایز طیفی آن نسبت به سایر پدیده‌های کنار آن بستگی دارد. به‌طور کلی، مناطق بسیار شور تا متوسط، به راحتی تشخیص داده می‌شوند، اما مناطق با شوری کم و مراحل آغازین شوری، به سختی قابل تشخیص هستند؛ لذا معمولاً سنجش از دور، مناطق با شوری زیاد را بهتر از مناطق غیر شور تشخیص می‌دهد. برای دقت بالاتر لازم است از داده‌های میدانی و تصاویر راداری نیز بهره برد (سها، ۲۰۱۱). شوری خاک، بر اساس شاخص نرمال‌شده شوری خاک، دقت مناسبی داشته و برای مناطق خشک و نیمه‌خشک توصیه شده است (نوحه‌گر و زارع، ۱۳۹۱)؛ اما در مطالعه حاضر، این شاخص نتیجه خوبی ارائه نداده است (حدود ۷٪ انطباق با واقعیت میدانی). وجود عوامل خطا، مانند پوشش گیاهی متراکم و یا بافت شهری در بخش‌هایی از منطقه مورد مطالعه و همچنین تنوع بافتی نمک‌های موجود باعث می‌شود پهنه‌های شوری طبقه‌بندی‌شده توسط شاخص‌های شوری با اندازه‌گیری‌های میدانی قدری متفاوت باشد. در مورد منطقه مورد مطالعه، شاخص شوری با رگرسیون بالاتر نسبت به دیگر شاخص‌ها، توانسته است شوری خاک منطقه را نزدیک‌تر به واقعیت نشان دهد. با این حال، به دلیل وجود عوامل خطایی که ذکر شد؛ از جمله

1- Eghbalm

2- Saha

تداخل بازتاب گیاهان و خاک و حضور سایر پدیده‌های سطحی که بر بازتاب اثر می‌گذارند؛ نتایج حاصل از تصویر ماهواره‌ای بدون کنترل میدانی قابل پذیرش نیستند و بدون شک باید از چند نقطه کنترل زمینی استفاده کرد.

بر اساس رگرسیون بین داده‌های زمینی و مقادیر شوری به دست آمده از تصاویر ماهواره‌ای، شاخص شوری با دقت حدود ۵۷٪، بهترین نتیجه را ارائه داده است. دقت ۵۷٪ به این معناست که پهنه‌های با شوری معین حدود ۵۷٪ در مکان و مقدار درست (منطبق با اندازه‌گیری میدانی) هستند. وجود خطاهای ذکر شده باعث می‌شود که داده‌های ماهواره‌ای و داده زمینی با هم تفاوت داشته باشند و هیچ‌وقت به انطباق صد در صد نرسند؛ البته هر چقدر عوامل خطا کمتر باشند، این مقدار به انطباق کامل نزدیک‌تر است.

لازم به یادآوری است که به دلیل ماهیت متفاوت خاک‌ها و تفاوت رفتار بازتابی آنها و اینکه شوری پدیده‌ای پویا است، نتایج حاصل از تحقیقاتی از این دست، برای همان منطقه و همان شرایط مطالعه قابل استناد است. به عبارتی، نتایج این پژوهش اگر در بخش دیگری از کشور با اقلیم و طبیعت متفاوت انجام می‌شد، متفاوت از نتایج مطالعه کنونی می‌شد؛ لذا مقایسه نتایج مطالعات سایر پژوهشگران با نتایج این پژوهش هم چندان درست نیست، بلکه اگر در همین منطقه مطالعه‌ای صورت گرفته باشد می‌توان مقایسه انجام داد.

### نتیجه‌گیری

پژوهش حاضر نشان داد که شوری زمین در بیشتر مناطق شهرستان آبادان در این ۲۴ سال کاهش یافته است؛ در برخی نواحی نیز که افزایش شوری مشاهده شده، به طور موردی بوده است. بر اساس یافته‌های رگرسیون سه شاخص مورد مطالعه، شاخص شوری بیشترین تطابق را با داده‌های واقعی دارد؛ البته باید توجه داشت که نمی‌توان بدون وجود داده‌های میدانی، از شاخص‌ها استفاده کرد. در نمودارهای رگرسیون داده‌های میدانی و مقادیر شاخص‌ها، با توجه به  $R^2$  و سطح معنی‌دار بودن، شاخص شوری نسبت به دو شاخص دیگر برای منطقه مورد مطالعه مناسب‌تر است (شکل ۶). بررسی مساحت زمین‌های شور در سال‌های ۱۹۹۰ و ۲۰۱۴ نشان می‌دهد که مساحت این اراضی، تغییرات زیادی داشته است (جدول ۱). مساحت زمین‌های با شوری کم، تقریباً بدون تغییر بوده ولی زمین‌های با شوری متوسط افزوده شده و زمین‌های با شوری بالا کمتر شده است.

لازم است برنامه‌های مناسبی برای نحوه مدیریت اراضی و مدیریت زراعی منطقه در نظر گرفته شود تا از گسترش شوری جلوگیری شود. بارش منطقه کم و تبخیر آن بسیار زیاد است. کشاورزی و آبیاری نیز شوری را افزایش می‌دهد؛ زیرا آبیاری بدون زهکشی مناسب، باعث افزایش سطح آب زیرزمینی و در نتیجه شور شدن خاک می‌شود. آبیاری غرقابی، دلیل مهمی برای شور شدن خاک است.

هوای خشک و تبخیر بالا و کیفیت آب زیرزمینی و سطح بالای آب، شرایطی را ایجاد می‌کنند که نمک در خاک تجمع کرده و خاک شور شود. از نظر عوامل انسانی، پروژه‌های ذخیره آب، اتصال هیدرولیکی بین رودخانه و دشت سیلابی را قطع می‌کند که موجب بالا آمدن سطح آب زیرزمینی می‌شود. این خود باعث برهم خوردن تعادل آب - نمک شده و نمک در خاک ته‌نشین می‌شود. سدسازی در بالادست رودخانه نیز موجب شوری زمین‌ها در پایین دست می‌شود. به طور کلی، استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و شاخص‌های شوری خاک برای اینکه دیدی کلی از وضعیت شوری در منطقه ارائه می‌دهد، بسیار مفید است؛ اما باید داده‌های ماهواره‌ای را با نمونه‌های میدانی واسنجی کرد.

## سپاسگزاری

این مقاله، برگرفته از نتایج طرح تحقیقاتی داخلی شماره ۱۰۷ (قرارداد ۴۸۳-۱/۱۰۰ مورخ ۹۵/۲/۵) از محل اعتبارات ویژه پژوهشی دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر است.

## منابع

- خادمی، فاطمه؛ پیرخراطی، حسین؛ شاه‌کرمی، سجاد (۱۳۹۳) مطالعه روند افزایش خاک‌های شور اطراف دریاچه ارومیه با استفاده از GIS و RS، **علوم زمین**، ۲۴ (۹۴)، صص. ۹۸-۹۳.
- دادرسی، ابوالقاسم؛ یمانی، مجتبی؛ پاک‌پرور، مجتبی؛ داورزنی، زهرا (۱۳۸۵) بررسی روند تغییرات شوری خاک با استفاده از داده‌های سنجش از دور و سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی در ناحیه گرم و خشک جنوب شرقی شهرستان سبزوار، **جغرافیا و توسعه**، ۷ (۴)، صص. ۱۸۴-۱۷۳.
- دشتکیان، کاظم؛ پاک‌پرور، مجتبی؛ عبدالهی، جلال (۱۳۸۷) بررسی روش‌های تهیه نقشه شوری خاک با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای لندست در منطقه مروست، استان یزد، **تحقیقات مرتع و بیابان ایران**، ۱۵ (۲)، صص. ۱۳۹-۱۵۷.
- زینالی، محمد؛ جعفرزاده، علی‌اصغر؛ شهبازی، فرزین؛ اوستان، شاهین؛ ولی‌زاده کامران، خلیل (۱۳۹۵) ارزیابی شوری خاک سطحی با روش پیکسل‌مبنا بر اساس داده‌های سنجنده TM (مطالعه موردی: اراضی شهرستان خوی - استان آذربایجان غربی)، **اطلاعات جغرافیایی**، ۲۵ (۹۹)، صص. ۱۳۹-۱۲۷.
- عبدی‌نام، 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)، صص. ۳۸-۳۳.
- 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)، **جغرافیا و مخاطرات محیطی**، ۱ (۱)، صص. ۶۴-۴۹.
- هاتفی اردکانی، امیرحسین؛ کریمی احمدآباد، مصطفی؛ اختصاصی، محمدرضا؛ پایدار اردکانی، عباس (۱۳۹۵) ارزیابی روش‌های مدل‌سازی و طبقه‌بندی نظارت‌شده در تهیه نقشه شوری خاک با استفاده از تصاویر ASTER و ETM، **پژوهش‌های حفاظت آب‌و‌خاک**، ۲۳ (۵)، صص. ۱۴۰-۱۲۳.
- Al-Khaier, F. (2003) **Soil Salinity Detection Using Satellite Remote Sensing**, ITC MSc. Thesis, Supervisor: Bastiaanssen, ITC, Netherlands.
- Dehaan, R. L., Taylor, G. R. (2002) Field-Derived Spectra of Salinized Soils and Vegetation as Indicators of Irrigation-Induced Soil Salinization, **International Journal of Remote Sensing**, 80 (3), pp. 406-417.
- Dewitte, O., Jones, A., Elbelrhiti, H., Horion, S., Montanarella L. (2012) Satellite Remote Sensing for Soil Mapping in Africa: An Overview, **Progress in Physical Geography**, 36 (4), pp. 514-538.
- Ding, J., Wu, M. C., Tiyp, T. (2011) Study on Soil Salinization Information in Arid Region Using Remote Sensing Technique, **Agricultural Sciences in China**, 10 (3), pp. 404-411.
- Driessen, P., Schoorl, R. (1973) Mineralogy and Morphology of Salt Efflorescences on Saline Soils in the Great Konya Basin, Turkey, **European Journal of Soil Science**, 24 (4), pp. 436-442.
- Eghbalm, M., Southard, K. J., Whittig, L. D. (1989) Dynamics of Evaporate Distribution in Soils on a Fan Playa Transect in the Carrizo Plain California, **Soil Science Society of America Journal**, 53 (3), pp. 898-903.
- Elhag, M. (2016) Evaluation of Different Soil Salinity Mapping Using Remote Sensing Techniques in Arid Ecosystems, Saudi Arabia, **Sensors**, Article ID 7596175, pp. 1-8.

- Farifteh, J. (2007) **Imaging Spectroscopy of Salt-Affected Soils: Model-Based Integrated Method**, Ph.D. Dissertation, Supervisors: Van der Meer and De Jong, ITC, Netherlands.
- Ghassemi, F., Jackman, A. J., Nix, A. H. (1995) **Salinization of Land and Water Resources**; CAB International, Wallingford, England.
- Ghrefat, H. A., Goodell, P. C., Hubbard, B. E., Langford, R. B., Aldouri, R. E. (2007) Modeling Grain Size Variations of Aeolian Gypsum Deposits at White Sands, New Mexico, Using AVIRIS Imagery, **Geomorphology** 88 (1-2), pp.57-68.
- Howari, F. (2003) The Use of Remote Sensing Data to Extract Information from Agricultural Land with Emphasis on Soil Salinity, **Australian Journal of Soil Research**, 41 (7), pp. 1243-1253.
- Hunt, G. R., Salisbury, J. W., Lenhoff, C. J. (1971) Visible and Near-Infrared Spectra of Minerals and Rocks. IV. Sulphides and Sulfates, **Modern Geology**, 3, pp. 1-4.
- Hunt, G. R., Salisbury, J. W., Lenhoff, C. J. (1972) Visible and Near Infrared Spectra of Minerals and Rocks: V. Halides, Phosphates, Arsenates, Venadates and Borates, **Modern Geology**, 3, pp. 121-32.
- Kaleita, A. L., Tian, L. F., Hirschi, M. C. (2005) Relationship between Soil Moisture Content and Soil Surface Reflectance, **Transactions of the ASAE**, 48 (5), pp. 1979-1986.
- Khan, N. M., Rastokuev, V. V., Sato, Y., Shiozawa, S. (2005) Assessment of Hydrosaline Land Degradation by Using a Simple Approach of Remote Sensing Indicators, **Agricultural Water Management**, 77 (1), pp. 96-109.
- Koshal, A. K. (2012) Spectral Characteristics of Soil Salinity Areas in Parts of South-West Punjab Through Remote Sensing and GIS, **International Journal of Remote Sensing and GIS**, 1 (2), pp. 84-89.
- Major, D., Baret, F., Guyot, G. (1990) A Ratio Vegetation Index Adjusted for Soil Brightness, **International Journal of Remote Sensing**, 11 (5), pp. 727-740.
- Mougenot, B., Pouget, M., Epema, G. F. (1993) Remote Sensing of Salt Affected Soils, **Remote Sensing Reviews**, 7 (3-4), pp. 241-259.
- Mudler, V. L., Bruin, S., Schaepman, M. E. (2013) Representing Major Soil Variability at Regional Scale by Constrained Latin Hypercube Sampling of Remote Sensing Data, **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, 21, pp. 301-310.
- Nawar, S., Buddenbaum, H., Hill, J. (2015) Digital Mapping of Soil Properties Using Multivariate Statistical Analysis and ASTER Data in an Arid Region, **Remote Sensing**, 7 (2), pp. 1181-1205.
- Saha, S. K. (2011) Mirovawe Remote Sensing in Soil Quality Assessment, **International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences**, XXXVIII-8/W20, pp. 34-39.
- 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), pp. 5-15.
- Wu, W., Al-Shafie, W.M., Mhameed, A.S., Ziadat, F., Nangia, V., Payne, W. (2014) Soil Salinity Mapping by Multiscale Remote Sensing in Mesopotamia, Iraq, **IEEE Journal on Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing**, 7 (11), pp. 4442-4452.