



Assessing spatio-temporal variations in land use/land cover and soil salinity and their impact on managing dry areas

(Case study: a part of Sistan basin, southeast of Iran)

Sajjad Karbalaie Saleh¹ | Solmaz Amoushahi^{2✉} | Akram Sanaei³

1. Department of Environmental Sciences, Faculty of Fisheries and Environmental Sciences, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Golestan, Iran. E-mail: sajjad7374@gmail.com

2. Corresponding Author, Department of Environmental Sciences, Faculty of Fisheries and Environmental Sciences, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Golestan, Iran. E-mail: solmazamoushahi@gmail.com

3. Department of Environmental Sciences, Faculty of Natural Resources & Desert Studies, Yazd University, Yazd, Iran. E-mail: a.sanaei99@gmail.com

Article Info

Article type:

Research Article

Article history:

Received 23 October 2023

Received in revised form 2
January 2024

Accepted 24 January 2024

Published online 4 May 2024

Keywords:

Soil salinity changes,

Land use/land cover changes,

Arid areas,

Random forest algorithm.

ABSTRACT

The negative effects of soil salinity on natural and human environments have turned such phenomenon into one of the serious threats to the sustainable management of arid and semi-arid areas. The present study aims to evaluate the spatial-temporal variations in land use/land cover and soil salinity in a part of Sistan basin located in the arid regions of southeastern Iran, which has been exposed to the phenomenon of soil salinity during the recent years. To this aim, land use/land cover and soil salinity maps were prepared for 1989 and 2019 using the measurements obtained from ground sampling and instruments such as remote sensing (RS) and geographic information system (GIS). Based on the results, the normalized average soil salinity was 0.322 during 1989, reaching 0.52 during 2019 with a growth of 0.188. In addition, comparing the trend of salinity increase and land use/land cover variations in the region indicates that such factors affect each other significantly. Further, the conversion of land use/land cover from irrigated agricultural uses and water bodies to bare lands, rainfed agriculture, and man-made areas has decreased the vegetation cover and water areas, leading to an increase in soil salinity due to the erosion created by the 120-day wind of Sistan and sedimentation of salt particles in the whole region. Chah-nimehs have not been able to fully compensate for the adverse effects generated by the destruction of habitats and drying up of a part of Hamun Lake and Hirmand River, despite their slight success in reducing the environmental obstacles.

Cite this article: Karbalaie Saleh, S., Amoushahi, S., & Sanaei, A. (2024). Assessing spatio-temporal variations in land use/land cover and soil salinity and their impact on managing dry areas (Case study: a part of Sistan basin, southeast of Iran). *Journal of Natural Environment*, 77 (1), 107-121. DOI: <http://doi.org/10.22059/jne.2024.367087.2611>



ارزیابی تغییرات مکانی-زمانی کاربری/پوشش زمین و شوری خاک و تأثیر آن بر مدیریت مناطق خشک

(مطالعه موردی: بخشی از حوضه سیستان، جنوب شرقی ایران)

سجاد کربلایی صالح^۱ | سولماز عموشاهی^۲ | اکرم سنایی^۳

۱. گروه محیط زیست، دانشکده شیلات و محیط زیست، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گلستان، ایران. رایانامه: sajjad7374@gmail.com
۲. نویسنده مسئول، گروه محیط زیست، دانشکده شیلات و محیط زیست، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گلستان، ایران. رایانامه: solmazamoushahi@gmail.com
۳. گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و کوبرشناسی، دانشگاه یزد، یزد، ایران. رایانامه: a.sanaei99@gmail.com

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله پژوهشی	اثرات منفی شوری خاک بر محیط‌های طبیعی و انسانی این پدیده را به یکی از تهدیدات جدی در مدیریت پایدار مناطق خشک و نیمه‌خشک تبدیل کرده است. بنابراین، در مطالعه حاضر تغییرات مکانی-زمانی شوری خاک و تغییرات کاربری/پوشش زمین در بخشی از حوضه سیستان واقع در مناطق خشک جنوب شرقی ایران که در سال‌های اخیر در معرض پدیده شوری خاک واقع شده است، مورد بررسی قرار گرفت. در این مطالعه با استفاده از اندازه-گیری‌های حاصل از نمونه‌برداری‌های زمینی و ابزارهایی نظیر سنجش‌ازدور (RS) و سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) نقشه‌های کاربری/پوشش زمین و شوری خاک برای سال‌های ۱۹۸۹ و ۲۰۱۹ تهیه شد. براساس نتایج، میزان میانگین نرمال شده شوری خاک در سال ۱۹۸۹ برابر ۰/۳۲۲ بوده و در سال ۲۰۱۹ این میزان با رشد حدود ۰/۱۸۸ به ۰/۵۲ رسیده است. همچنین، نتایج حاصل از مقایسه روند افزایش شوری و تغییرات کاربری/پوشش زمین در منطقه نشان می‌دهد که این دو عامل به‌صورت متقابل تأثیر به‌سزایی بر یکدیگر دارند. از سوی دیگر، تبدیل کاربری/پوشش زمین از کاربری‌های کشاورزی آبی و بسترهای آبی به کاربری‌های مناطق بایر، کشاورزی دیم و مناطق انسان‌ساخت موجب کاهش پوشش گیاهی و مناطق آبی در منطقه شده که به دلیل ایجاد فرسایش حاصل از بادهای ۱۲۰ روزه و نشست ذرات نمک در کل منطقه موجب افزایش شوری خاک می‌شود. اگرچه احداث چاه نیمه‌ها در این منطقه، اندکی از مشکلات محیط‌زیستی آن کاسته است. با این حال، بر اساس نتایج، این چاه نیمه‌ها نتوانسته‌اند اثرات منفی حاصل از تخریب زیستگاه‌ها و نیز خشکی بخشی از دریاچه هامون و رودخانه هیرمند را به‌طور کامل جبران کنند.
تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۸/۰۱	
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۱۰/۱۲	
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۱/۰۴	
تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۰۲/۱۵	
کلیدواژه‌ها: الگوریتم جنگل تصادفی، تغییرات شوری خاک، تغییرات کاربری/پوشش زمین، مناطق خشک.	

استناد: کربلایی صالح، سجاد؛ عموشاهی، سولماز و سنایی، اکرم (۱۴۰۳). ارزیابی تغییرات مکانی-زمانی کاربری/پوشش زمین و شوری خاک و تأثیر آن بر مدیریت مناطق خشک (مطالعه موردی: بخشی از حوضه سیستان، جنوب شرقی ایران). *محیط زیست طبیعی*، ۷۷ (۱)، ۱۲۱-۱۰۷.

DOI: <http://doi.org/10.22059/jne.2024.367087.2611>

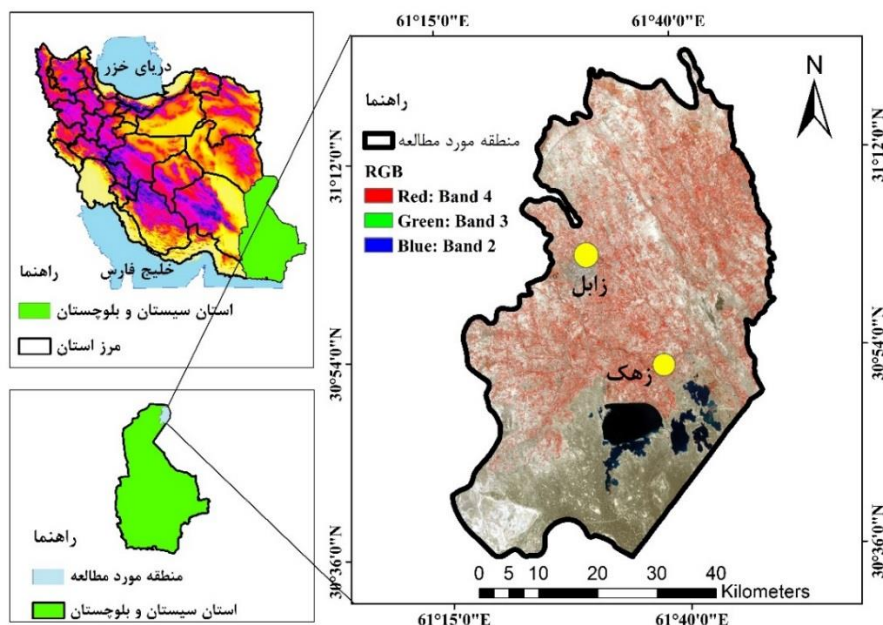


مقدمه

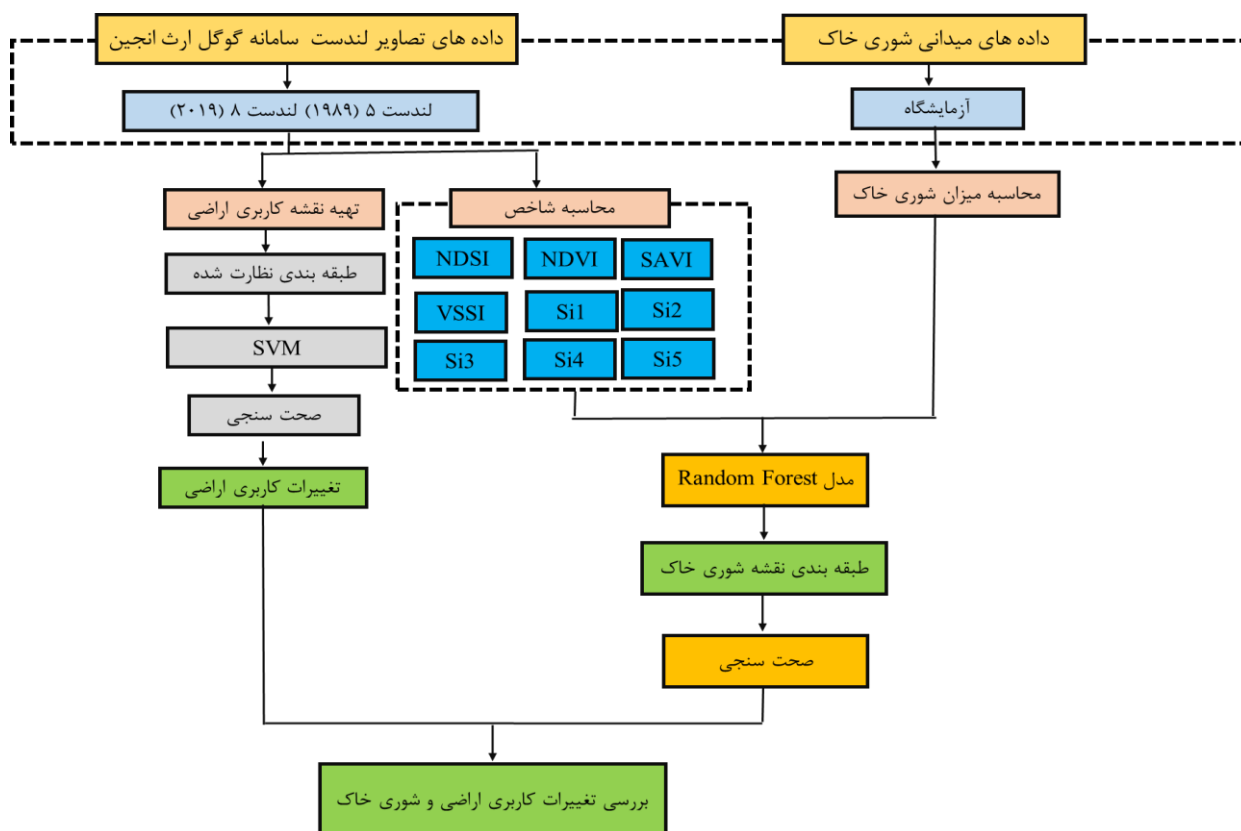
شوری خاک معیاری از غلظت تمام نمک‌های محلول در آب موجود در خاک است و معمولاً به صورت هدایت الکتریکی (EC) بیان می‌شود (Shahid *et al.*, 2018). میزان شوری خاک، که در حال حاضر یک تهدید محیط‌زیستی به‌شمار می‌رود، معمولاً در مناطقی رخ می‌دهد که دارای آب و هوای خشک، مقدار زیاد تبخیر، سطح آب زیرزمینی کم عمق و محتوای نمک محلول در آب بالا باشد. از میان خسارات ناشی از شور شدن خاک می‌توان به کاهش تنوع زیستی، اختلال در اکوسیستم، افزایش خطر فرسایش خاک به دلیل از بین رفتن پوشش گیاهی، آلودگی آب آشامیدنی، کاهش شدید رشد محصولات کشاورزی و کاهش فعالیت بیولوژیک خاک به دلیل افزایش سطح آب شور اشاره کرد (Allbed and Kumar, 2013; Peng *et al.*, 2019). به‌طور کلی، فعالیت‌های انسانی (استفاده از آب آبیاری بی کیفیت، مصرف شدید کودها و روش‌های کشت غیر منطقی) و عوامل طبیعی (تغییر آب و هوا و وقوع مکرر خشکسالی) دو عامل اصلی مؤثر بر شوری خاک هستند (Allbed and Kumar, 2013; Bouaziz *et al.*, 2011). علاوه بر این، فرآیندهای تخریب زمین، مانند فرسایش خاک که عمدتاً در اثر تبدیل زمین از کاربری‌های مختلف به کاربری ساخت و ساز و یا زمین‌های بایر صورت می‌گیرد می‌تواند موجب افزایش روند شوری در مناطق شود (Fan *et al.*, 2012; Bai *et al.*, 2016). شوری خاک، به‌خصوص در مناطق خشک و نیمه‌خشک، به دلیل خشکسالی‌های مکرر و کمبود آب و بیابان‌زایی به یکی از مشکلات عمده این مناطق تبدیل شده است. در این مناطق، تبخیر رطوبت آبیاری از سطح یا اعماق کم پروفیل و بارندگی سالانه ناکافی برای شسته شدن نمک‌ها از ناحیه ریشه‌زایی گیاه باعث تجمع بیش از حد نمک‌های محلول در خاک می‌شود (Gorji *et al.*, 2009; Ali Abdelfattah *et al.*, 2015). بنابراین، نظارت پویا و دوره‌ای شوری خاک با دانستن زمان، مکان و چگونگی وقوع شوری برای مدیریت صحیح منابع آب و خاک بسیار مهم به‌نظر می‌رسد (Fan *et al.*, 2012; Ding and Yu, 2014). این حال، در بسیاری از موارد روش‌های سنتی آنالیز آزمایشگاهی برای توصیف شوری خاک، به‌ویژه برای مناطق غیرقابل دسترس و یا هر منطقه‌ای که امکان دستیابی و تحلیل دقیق داده‌ها در آن وجود ندارد، نمی‌تواند اطلاعات پویایی را در مقیاس بزرگ ارائه دهد (Kumar *et al.*, 2015; El-Battay *et al.*, 2017). به این دلیل که تکنیک‌های سنجش از دور به‌طور گسترده برای ارزیابی شوری خاک امکان مشاهدات زمینی در مقیاس‌های مکانی بزرگ و وضوح زمانی بالا را فراهم می‌کنند از دهه ۱۹۶۰ برای تکمیل داده‌های حاصل از نمونه‌برداری‌ها در این زمینه مورد استفاده قرار گرفته‌اند (Fallah Shamsi *et al.*, 2013; Gorji *et al.*, 2015). روش‌های سنجش از دوری به دلیل به‌روزرسانی سریع، پوشش وسیع و اطلاعات طیفی فراوان، اخیراً به ابزاری قدرتمند برای نقشه‌برداری شوری خاک تبدیل شده است و به‌طور گسترده در بسیاری از مطالعات قبلی (Gorji *et al.*, 2017; Triki *et al.*, 2018; Fourati *et al.*, 2017; Wang *et al.*, 2018) مورد استفاده قرار گرفته است. یکی از کاربردهای دیگر فناوری سنجش از دور تهیه نقشه‌های تغییرات کاربری/پوشش زمین است که همان‌طور که قبلاً به آن اشاره شد ارتباط تنگاتنگی با میزان شوری خاک دارد. از سوی دیگر، منطقه جنوب شرقی ایران به دلیل بارش کم، بادهای شدید، خشکی منابع آبی و تبخیر بسیار بالا دارای خاک بسیار شوری بوده که با توجه به افزایش جمعیت منطقه و نیاز به تولیدات کشاورزی امروزه به معضلی جدی برای این منطقه تبدیل شده است. بنابراین، در مطالعه حاضر محققان در تلاش هستند که با بررسی تغییرات کاربری/پوشش زمین در سال‌های اخیر و تأثیر آن بر روند افزایش شوری خاک و برنامه‌ریزی‌های منطقه‌ای، الگویی برای برنامه‌ریزی مناسب، احیاء اکوسیستم منطقه و نیز جلوگیری از پیشروی بیش از پیش این روند آسیب‌زا ایجاد کنند.

روش‌شناسی پژوهش

منطقه مورد مطالعه: منطقه مورد مطالعه، واقع شده در دشت سیستان، با عرض جغرافیایی $35^{\circ} 25' 61''$ تا $85^{\circ} 83' 61''$ شرقی و طول جغرافیایی $15^{\circ} 59' 30''$ تا $61^{\circ} 35' 31''$ شمالی در شرقی‌ترین نقطه مرزی ایران با افغانستان و در استان سیستان و بلوچستان واقع شده است (شکل ۱). میانگین بارندگی در این منطقه سالانه ناچیز و بین ۵۰ تا ۵۵ میلی‌متر است. در حالی که میانگین تبخیر سالانه زیاد و حدوداً ۴۸۰۰ میلی‌متر می‌باشد. از ویژگی‌های مهم محیط‌زیستی این منطقه بادهای ۱۲۰ روزه سیستان است که در فصول تابستان و بهار می‌وزند که علاوه بر افزایش میزان گرد و غبار به‌عنوان یکی از مهم‌ترین عوامل ایجاد تبخیر و تعرق بالا نیز به‌شمار می‌رود (Ganjali and Khaksafidi, 2015; Firoozi *et al.*, 2020; Piri and Mobaraki, 2022). همچنین،



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه



شکل ۲- مراحل انجام مطالعه

شرایط آب و هوایی بسیار گرم موجب افزایش میزان تبخیر و تعرق در منطقه مورد مطالعه شده است. عوامل ذکر شده در بالا در طی سالیان موجب رسوب مقادیر زیادی نمک در خاک گردیده است که سبب تهدیدات محیط‌زیستی جدی در سال‌های اخیر برای خاک منطقه شده است. بنابراین، در مطالعه حاضر سعی بر آن است که با تعیین میزان شوری در کاربری‌های مختلف موجود در منطقه مورد مطالعه، به بررسی ارتباط میان دو عامل تغییرات کاربری/پوشش زمین و شوری خاک در منطقه‌ای واقع در بخش خشک جنوب شرقی ایران پرداخته شود. شکل ۲ روند جریانی مطالعه حاضر را نشان می‌دهد.

پیش پردازش: در پژوهش حاضر، به دلیل مقیاس منطقه مورد مطالعه، تصاویر ماهواره لندست ۵ سنجنده TM برای سال ۱۹۸۹ و ماهواره لندست ۸ سنجنده OLI و TIRS برای سال ۲۰۱۹ (دارای تفکیک مکانی متوسط) از سامانه گوگل ارث انجین^۱ با وضوح مکانی ۳۰ متر و وضوح زمانی ۱۶ روز در هر چهار فصل سال (۱۲ تصویر در سال ۱۹۸۹ و ۱۰ تصویر در سال ۲۰۱۹) دریافت گردید. سپس، تصاویر ماهواره لندست مربوط به منطقه مورد مطالعه برای چهار فصل سال فیلتر شده و از تمامی تصاویر مربوط به هر سال میانگین گیری شد. سپس، پیش پردازش های مورد نیاز بر روی این تصاویر برای تولید نقشه های تغییرات کاربری/ پوشش زمین^۲ و نقشه تغییرات شوری خاک صورت گرفت (جدول ۱).

جدول ۱- مشخصات تصاویر ماهواره ای مورد استفاده برای سال های ۱۹۸۹ و ۲۰۱۹

ماهواره/سنجنده	مسیر	نوع باند	Dataset	E.C.T*	تاریخ
		باندهای طیفی	C01/T1_SR		۱۹۸۹/۰۱/۱۶، ۱۹۸۹/۰۳/۰۵، ۱۹۸۹/۰۴/۰۶
لندست	۱۵۷/۳۸			۵/۵۵ (روز ۱۶)	۱۹۸۹/۰۴/۲۲، ۱۹۸۹/۰۵/۰۸، ۱۹۸۹/۰۵/۲۴
TM	۱۵۷/۳۹	باندهای حرارتی	C01/T1_TOA		۱۹۸۹/۰۸/۱۲، ۱۹۸۹/۰۶/۲۵، ۱۹۸۹/۰۶/۰۱
		باندهای طیفی	C01/T1_SR		۱۹۸۹/۰۸/۲۸، ۱۹۸۹/۰۹/۱۳، ۱۹۸۹/۱۰/۱۵
		باندهای طیفی	C01/T1_SR		۲۰۱۹/۰۳/۰۸، ۲۰۱۹/۰۴/۲۵
لندست	۱۵۷/۳۸			۶/۲۵ (روز ۱۶)	۲۰۱۹/۰۵/۲۷، ۲۰۱۹/۰۶/۱۲
OLI/TIRS	۱۵۷/۳۹	باندهای حرارتی	C01/T1_TOA		۲۰۱۹/۰۷/۱۴، ۲۰۱۹/۰۸/۱۵
					۲۰۱۹/۰۹/۱۶، ۲۰۱۹/۱۰/۰۲
					۲۰۱۹/۱۱/۰۳، ۲۰۱۹/۱۲/۲۱

* Equatorial Crossing Time (زمان تقاطع استوایی)

طبقه بندی کاربری/ پوشش زمین: به منظور تهیه نقشه کاربری/پوشش زمین در منطقه از روش ماشین بردار پشتیبان^۳ در سامانه گوگل ارث انجین استفاده شد. این روش ابتدا در سال ۱۹۶۳ توسط وپنیک^۴ به عنوان طبقه بندی کننده خطی ارائه گردید (Vapnik, 2000). از آنجا که در روش فوق، به جای استفاده از داده های آماری، از پارامترهای هندسی طبقه ها استفاده می شود نوعی روش غیرپارامتریک به شمار می آید. اصلی ترین ایده ماشین بردار پشتیبان یافتن فراسفحه بهینه برای جداسازی دو کلاس با برچسب ۱ و منفی ۱- با بیشترین حاشیه جداسازی است. در صورتی که داده ها به صورت خطی جداپذیر نباشد، داده ها با استفاده از تابع کرنل (هسته ای) غیرخطی به فضایی با ابعاد بالاتر منتقل می شود و فراسفحه بهینه در آن فضا تعیین می شود.

در صورت استفاده از تابع کرنل، تابع تصمیم گیری SVM را می توان به صورت رابطه ۱ بیان کرد:

$$f(x) = \sum_{i=1}^N y_i a_i k(x, x_i) + b \quad \text{رابطه ۱}$$

که در آن $x_i \in R^d$ و $i=1, \dots, N$: ابعاد ویژگی ها، N : تعداد نمونه های آموزشی مربوط به دو کلاس،

$a_i, y_i \in \{-1, +1\}$ ضرایب لاگرانژ و $k(x, x_i)$ تابع کرنل و b : ضریب بایاس است.

متداول ترین توابع کرنل شامل کرنل سیگموئیدی، چندجمله ای و توابع پایه شعاعی هستند که هر یک بسته به موضوع مورد استفاده دارای نقاط قوت و ضعف مربوط به خود می باشند (Salehi et al., 2014; Moghimi et al., 2018).

برای استفاده از SVM در حالت چندکلاسه، دو استراتژی یک در برابر بقیه (OAA) و یک در برابر یک (OAO) وجود دارد. در روش یک در برابر یک، برای هر زوج کلاس ممکن، از یک SVM باینری استفاده می شود بنابراین برای $C(C-1)/2$ کلاس C طبقه بندی کننده باینری وجود دارد و در روش یک در برابر بقیه هر SVM داده های یک کلاس را از داده های کلاس دیگر جدا می کند. در این روش برای هر C کلاس C طبقه بندی کننده باینری وجود دارد که هر دو روش برچسب نهایی داده از طریق روش رأی گیری حداکثر تعیین می شود (Salehi et al., 2014).

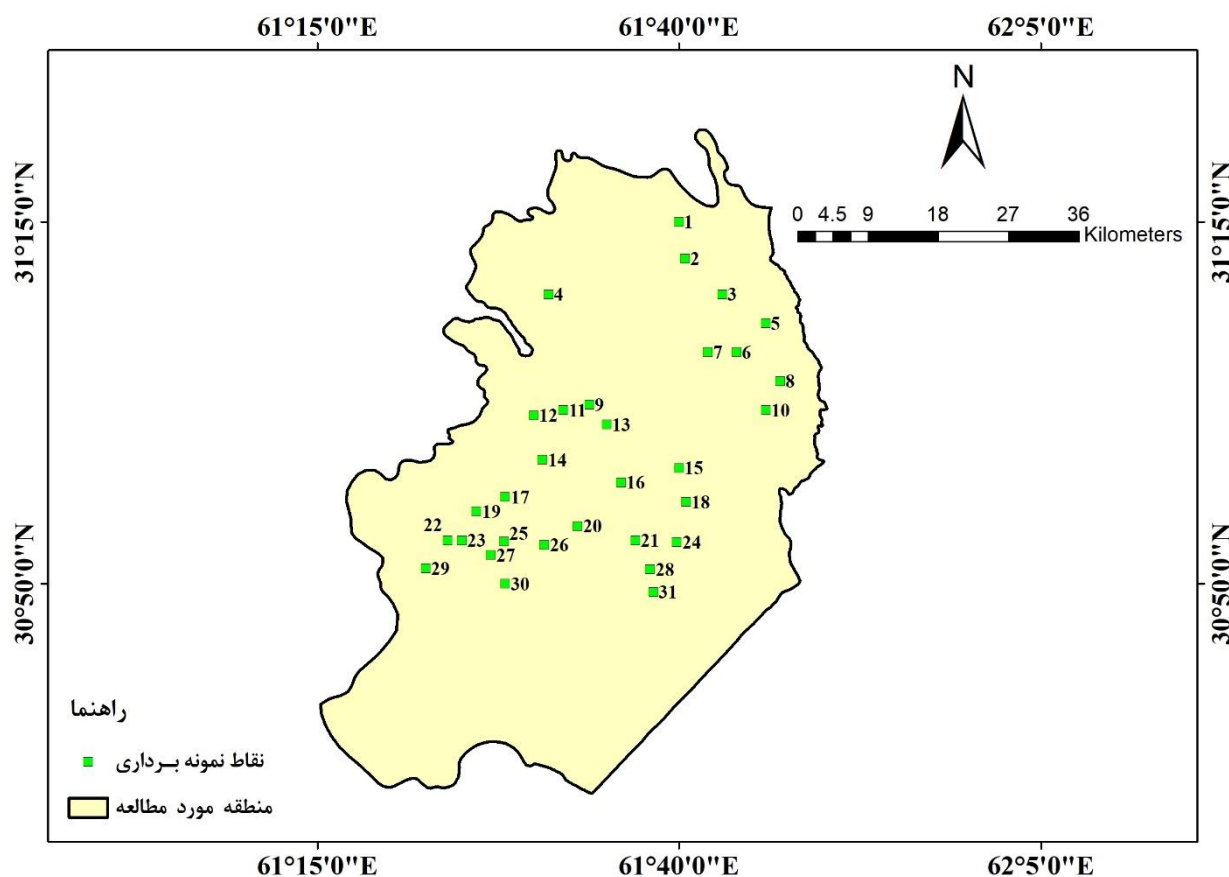
در مطالعه حاضر، با استفاده از طبقه های تعیین شده در سایر مطالعات (e.g. Zewdu et al., 2016; Thiam et al., 2021; Bhardwaj et al., 2019; Mahdavian et al., 2022) و نیز شرایط منطقه مورد مطالعه، ۵ طبقه کاربری کشاورزی دیم، زمین های بایر، کاربری کشاورزی آبی، پهنه های آبی و مناطق انسان ساخت برای طبقه بندی کاربری های منطقه انتخاب شدند.

¹Google Earth Engine(GEE)

² Land Use/ Land Cover (LULC)

³Support vector machine (SVM)

⁴ vapnik



شکل ۳- موقعیت نقاط نمونه برداری در منطقه مورد مطالعه

ارزیابی صحت و دقت طبقه بندی: یکی از پرکاربردترین روش های ارزیابی صحت طبقه بندی، محاسبه ماتریس خطا است که در مطالعات زیادی استفاده شده است. در این تحقیق، دقت کلی (OA) و ضریب کاپا (KC) به عنوان معیار ارزیابی انتخاب شدند که OA و KC یک آزمون غیر پارامتری است (Rousta *et al.*, 2018). مدل ریاضی OA و KC را می توان به صورت رابطه های ۲ و ۳ بیان کرد:

$$\text{OA} = \frac{\sum_{i=1}^q nii}{n} * 100 \quad \text{رابطه ۲}$$

$$\text{Kappa} = \frac{\sum_{i=1}^q nii - \sum_{i=1}^q ni + n + i}{n^2 - \sum_{i=1}^q ni + n + i} \quad \text{رابطه ۳}$$

که در آن q: تعداد کلاسه ها، n: تعداد کل پیکسل در نظر گرفته شده و $\sum_{i=1}^q nii$: جمع عناصر قطر اصلی ماتریس خطاست. n+: حاشیه ردیف ها در ماتریس خطا و n+i: جمع حاشیه ای ستون ها در ماتریس خطا است.

تغییرات شوری خاک: همان طور که در شکل ۳ نشان داده شده است، به منظور تهیه نقشه شوری خاک در ابتدا به طور تصادفی ۳۱ نمونه از عمق ۳۰ سانتی متری سطح زمین در کاربری های مختلف تهیه و میزان EC آن ها اندازه گیری شد.

پس از انجام نمونه برداری از خاک منطقه مورد مطالعه و اندازه گیری میزان شوری آن، نقشه شوری خاک با استفاده از میانگین سالانه تصاویر ماهواره لندست ۵ و لندست ۸ و بررسی مطالعاتی که قبلاً در خصوص تعیین شاخص های تأثیرگذار بر شوری خاک انجام شده بودند (Elhag *et al.*, 2016; Masoud *et al.*, 2019; Guo *et al.*, 2019; Nguyen *et al.*, 2020; Fathizad *et al.*, 2020) (جدول ۲) برای سال های ۱۹۸۹ و ۲۰۱۹ تهیه گردید.

پس از تهیه شاخص ها، نقشه شوری خاک با استفاده از نرم افزار R و الگوریتم جنگل تصادفی^۵ تهیه شد. سپس به دلیل حذف بزرگی تفاوت در مقدار شوری در نقاط مختلف، نتایج حاصل در نرم افزار ArcGIS 10.5 نرمال سازی شد (رابطه ۴). قابل ذکر است

^۵random forest

جدول ۲- شاخص‌های مورد استفاده برای تهیه نقشه شوری خاک

شاخص	فرمول	رفرنس‌ها
Si1	$\text{Sqrt}(\text{Green}^2 + \text{Red}^2)$	Nicolas and Walter (2006)
Si2	$\text{Sqrt}(\text{Green} * \text{Red})$	Nicolas and Walter (2006)
Si3	$\text{Sqrt}(\text{Blue} * \text{Red})$	Khan et al. (2005)
Si4	$(\text{Red} * \text{NIR})/\text{Green}$	Nicolas and Walter (2006)
Si5	Blue/red	Nicolas and Walter (2006)
شاخص تفاوت شوری نرمال شده (NDSI)	$(\text{Red} - \text{NIR}) / (\text{Red} + \text{NIR})$	Khan et al. (2005)
شاخص تفاوت پوشش گیاهی نرمال شده (NDVI)	$(\text{NIR} - \text{Red}) / (\text{NIR} + \text{Red})$	Khan et al. (2005)
شاخص خاک/پوشش گیاهی تعدیل شده (SAVI) (L=0.5)	$(1+L) * \text{NIR} - \text{Red} / L + \text{NIR} + \text{Red}$	Alhammadi and Glenn (2008)
شاخص شوری خاک گیاه (VSSI)	$2 * \text{Green} - 5 * (\text{Red} + \text{NIR})$	Dehni and Lounis (2012)

که نقشه میزان شوری در مطالعه حاضر پس از نرمال‌سازی به پنج طبقه ۰/۲-، ۰/۴-، ۰/۶-، ۰/۸-، ۰/۶-، ۰/۸- و ۰/۸- طبقه‌بندی شد. همچنین، هر چه اعداد موجود در این طبقه‌بندی به ۱ نزدیک‌تر شود میزان شوری خاک بیش‌تر خواهد بود.

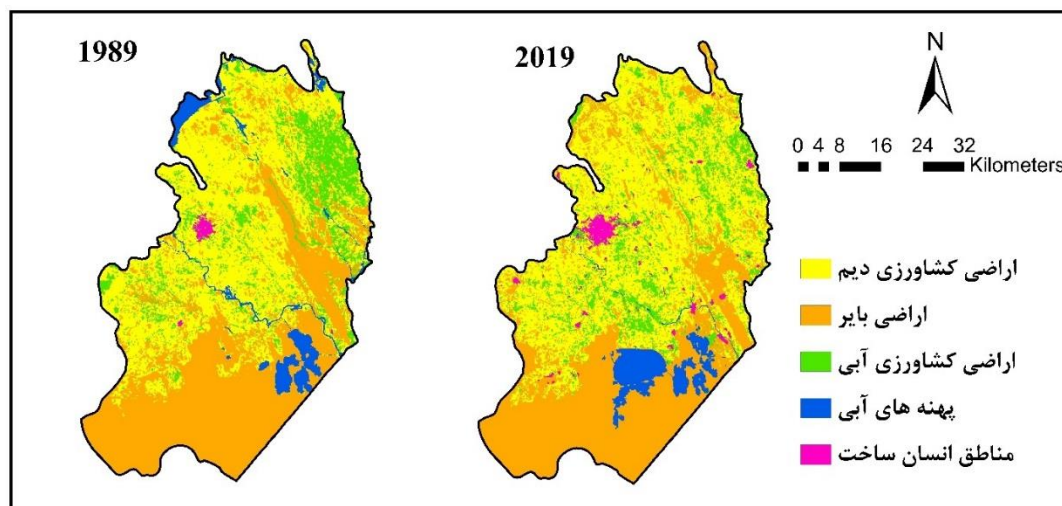
$$\text{Salinity}_{\text{rescale}} = (X_i - X_{\min}) / (X_{\max} - X_{\min}) \quad \text{رابطه ۴}$$

در رابطه فوق، X_{\max} و X_{\min} : حداکثر و حداقل مقدار X را نشان می‌دهند و X_i : مقدار X در پیکسل i است (Gou et al., 2019).

الگوریتم جنگل تصادفی: اساس کار روش جنگل تصادفی ترکیبی از چندین درخت تصمیم است که در ساخت آن چندین نمونه بوت‌استرپ از داده‌ها شرکت دارد. همچنین، در ساخت هر درخت به‌طور تصادفی تعدادی از متغیرهای ورودی شرکت می‌کنند. روش بوت‌استرپ، روش نمونه‌گیری با جای‌گذاری است. بنابراین با تکرار عملیات نمونه‌گیری، تعدادی مجموعه داده (out-of- OOB) از مجموعه آموزشی به وجود می‌آید که می‌توان برای هر مجموعه داده آموزشی یک درخت تصمیم محاسبه نمود. الگوریتم جنگل تصادفی در نرم‌افزار R دارای تابعی با دو پارامتر m_{tree} و n_{tree} به ترتیب تعداد متغیرها و تعداد درخت است که قابل تغییر بوده و توسط کاربر تعیین می‌شود. الگوریتم رگرسیون RF تعداد زیادی درخت را با استفاده از دو روش اصلی تصادفی برای کاهش واریانس پیش‌بینی‌ها و افزایش قدرت پیش‌بینی در داده‌های آموزشی ایجاد می‌کند (Liaw and Wiener, 2002). برای ارزیابی عملکرد هر مدل RF در این مطالعه، از تجزیه و تحلیل نمودار پراکندگی، تحلیل همبستگی و تجزیه و تحلیل باقیمانده (مجموع باقیمانده‌های مربع تقسیم بر n) استفاده شد.

یافته‌های پژوهش

تغییرات مکانی-زمانی کاربری/پوشش زمین: همان‌طور که قبلاً به آن اشاره شد، نقشه طبقه‌بندی کاربری/پوشش زمین منطقه مورد مطالعه به روش SVM تهیه شده است (شکل ۴). نتایج نشان می‌دهد که بیشترین درصد از مساحت منطقه در سال ۱۹۸۹ را کاربری کشاورزی دیم (۴۲/۰۲ درصد از مساحت منطقه) و سپس کاربری زمین‌های بایر (۴۰/۸۵ درصد از مساحت منطقه) را به‌خود اختصاص داده‌اند. پس از آن کاربری‌های کشاورزی آبی، بسترهای آبی و مناطق ساخته شده به ترتیب با ۱۱/۹۴، ۴/۷۶ و ۰/۴۲ درصد از مساحت منطقه در رده‌های بعدی قرار دارند. همچنین، بیشترین مساحت در سال ۲۰۱۹ به ترتیب مربوط به کاربری کشاورزی دیم (۴۵/۳۰ درصد) و زمین‌های بایر (۳۷/۵۲ درصد) و کاربری‌های کشاورزی آبی، بسترهای آبی و مناطق ساخته شده به ترتیب با مساحت ۱۰/۹۴، ۴/۵۱ و ۱/۷۱ درصد از کل منطقه در رده‌های بعدی قرار دارند (جدول ۳). همچنین، نتایج حاصل از صحت‌سنجی تصاویر که دارای نسبت ۷۰ به ۳۰ برای آموزش و آزمایش بوده است، نشان می‌دهد که مقدار کاپا در سال‌های ۱۹۸۹ و ۲۰۱۹ به ترتیب برابر با ۰/۸۶ و ۰/۸۸ است و میزان دقت کلی در سال‌های ۱۹۸۹ و ۲۰۱۹ نیز به ترتیب برابر با ۹۰/۲ و ۹۲/۶ است. بنابراین، نتایج بیانگر دقت بالا و قابل قبول در طبقه‌بندی کاربری/پوشش زمین است (جدول ۴).



شکل ۴- نقشه تغییرات کاربری/پوشش زمین طبقه‌بندی شده به روش SVM سال‌های ۱۹۸۹ و ۲۰۱۹

جدول ۳- مساحت (هکتار) و درصد طبقات مختلف کاربری/پوشش زمین در سال‌های ۱۹۸۹ و ۲۰۱۹

تغییرات درصد (۱۹۸۹-۲۰۱۹)	۲۰۱۹		۱۹۸۹		
	درصد (%)	مساحت (هکتار)	درصد (%)	مساحت (هکتار)	
۸/۳۲-%	۱۰/۹۴	۳۱۶۷۳/۱۶	۱۱/۹۴	۳۴۵۴۶/۸۶	کشاورزی آبی
۷/۸۰-%	۴۵/۳۰	۱۳۱۰۵۴/۲	۴۲/۰۲	۱۲۱۵۷۴/۱	کشاورزی دیم
۸/۱۶-%	۳۷/۵۲	۱۰۸۵۳۲/۹	۴۰/۸۵	۱۱۸۱۷۸/۸	زمین‌های بایر
۳۰۹/۶۸-%	۱/۷۱	۴۹۵۳/۹۶	۰/۴۲	۱۲۰۹/۲۴	مناطق انسان ساخت
۵/۱۷-%	۴/۵۱	۱۳۰۴۹/۲۸	۴/۷۶	۱۳۷۶۰/۲۸	پهنه‌های آبی

جدول ۴- صحت‌سنجی تغییرات کاربری/پوشش زمین در سال‌های ۱۹۸۹ و ۲۰۱۹

دقت کلی	ضریب کاپا	کاربری/پوشش زمین
۹۰/۲	۰/۸۶	کاربری/پوشش زمین در سال ۱۹۸۹
۹۲/۶	۰/۸۹	کاربری/پوشش زمین در سال ۲۰۱۹

تغییرات مکانی-زمانی شوری: همان‌طور که در جدول ۵ مشاهده می‌شود برای تعیین تغییرات مکانی-زمانی شوری در منطقه مورد مطالعه، در مرحله اول ۳۱ نقطه نمونه‌برداری تعیین شده و میزان هدایت الکتریکی (EC) در آن اندازه‌گیری پس از آن، با استفاده از اعداد به دست آمده از این مرحله و نیز تصاویر ماهواره‌ای مربوط به هر دو سال مورد مطالعه و شاخص‌های استخراج شده از مطالعات پیشین، نقشه تغییرات شوری برای سال‌های ۱۹۸۹ و ۲۰۱۹ به دست آمد. بر اساس نتایج حاصل، بیش‌ترین میانگین شوری نرمال شده در سال ۱۹۸۹ مربوط به کاربری/پوشش زمین بایر با ۰/۳۸۲ و سپس طبقه کاربری کشاورزی دیم با میزان شوری ۰/۳۱۶ است. مقدار شوری در سال ۲۰۱۹ نیز همانند سال ۱۹۸۹ به ترتیب مربوط به کاربری‌های زمین‌های بایر و کاربری کشاورزی دیم است که با افزایش چشمگیر نسبت به سال ۱۹۸۹ در این دو کاربری به ترتیب به ۰/۵۶۶ و ۰/۵۲۲ رسیده است (جدول ۶). تجزیه و تحلیل صورت گرفته بر روی نقشه شوری خاک در سال‌های ۱۹۸۹ و ۲۰۱۹ با استفاده از الگوریتم جنگل تصادفی حاکی از آن است که میزان میانگین شوری خاک که در سال ۱۹۸۹ برابر با ۰/۳۲۲ بوده در سال ۲۰۱۹ به میزان ۰/۱۸۸ افزایش یافته و به عدد ۰/۵۲ رسیده است. همچنین، براساس نقشه شوری خاک منطقه در سال ۱۹۸۹، درصد زیادی از مساحت منطقه، (حدود ۱۶۱۸۱۸/۳ هکتار (۴۹/۱۵ درصد))، در طبقه بدون شوری قرار گرفته است. به علاوه، طبقات شوری کم، شوری زیاد، شوری بسیار زیاد و شوری متوسط به ترتیب دارای مساحت ۷۷۶۴۴/۵۳ (هکتار) (۲۳/۵۸ درصد)، ۷۷۶۴۴/۵۵ (۱۴/۸۰ درصد)، ۳۲۶۳۸/۸۶ (۹/۹۱ درصد) و ۸۳۵۵/۶ (۲/۵۳ درصد) بوده و در رده‌های بعدی قرار گرفته‌اند. از سوی دیگر، در سال ۲۰۱۹، بیش‌ترین مساحت منطقه مربوط به طبقه شوری متوسط است که دارای مساحت ۱۴۴۷۴۴/۹ هکتار (۴۳/۹۶ درصد) است.

جدول ۵-مختصات نقاط نمونه برداری از خاک و اندازه گیری هدایت الکتریکی (EC¹) (dS.m⁻¹)

ردیف	X	Y	EC	ردیف	X	Y	EC
۱	۳۱ ۱۵ ۰۰	۶۱ ۳۹ ۹۹	۱/۴۳	۱۷	۳۰ ۵۶ ۰۰	۶۱ ۲۷ ۰۰	۴/۹۰
۲	۳۱ ۱۲ ۲۰	۶۱ ۴۰ ۴۲	۱/۵۴	۱۸	۳۹ ۵۵ ۶۵	۶۱ ۴۰ ۴۶	۳/۷۴
۳	۳۱ ۱۰ ۰۰	۶۱ ۴۲ ۹۹	۱/۲۷	۱۹	۳۰ ۵۴ ۹۹	۶۱ ۲۵ ۹۹	۲/۲۰
۴	۳۱ ۰۹ ۹۹	۶۱ ۳۰ ۹۹	۲۱/۲۹	۲۰	۳۰ ۵۴ ۰۰	۶۱ ۳۲ ۹۹	۴/۷۸
۵	۳۱ ۰۸ ۰۰	۶۱ ۴۵ ۹۹	۵/۴۷	۲۱	۳۰ ۵۳ ۰۰	۶۱ ۳۶ ۹۹	۲/۲۸
۶	۳۱ ۰۶ ۰۰	۶۱ ۴۳ ۹۹	۸/۹۵	۲۲	۳۰ ۵۳ ۰۰	۶۱ ۲۴ ۰۰	۱/۸۵
۷	۳۱ ۰۶ ۰۲	۶۱ ۴۲ ۰۰	۳/۳۰	۲۳	۳۰ ۵۲ ۹۹	۶۱ ۲۴ ۹۹	۱۱/۲۴
۸	۳۱ ۰۳ ۹۹	۶۱ ۴۶ ۹۹	۲/۵۸	۲۴	۳۰ ۵۳ ۰۳	۶۱ ۳۸ ۶۷	۲/۲۸
۹	۳۱ ۰۲ ۳۶	۶۱ ۳۳ ۸۱	۱/۴۴	۲۵	۳۰ ۵۲ ۹۱	۶۱ ۲۷ ۹۰	۱۴/۷۲
۱۰	۳۱ ۰۱ ۹۹	۶۱ ۴۵ ۹۹	۱/۴۲	۲۶	۳۰ ۵۲ ۷۸	۶۱ ۲۸ ۷۷	۸/۸۷
۱۱	۳۱ ۰۱ ۹۹	۶۱ ۳۱ ۹۹	۶۴/۱۰	۲۷	۳۰ ۵۱ ۹۹	۶۱ ۲۷ ۰۰	۵/۳۷
۱۲	۳۱ ۰۱ ۶۳	۶۱ ۲۹ ۹۶	۰/۸۸	۲۸	۳۰ ۵۱ ۰۰	۶۱ ۳۷ ۹۹	۲۰/۶۳
۱۳	۳۱ ۰۰ ۹۹	۶۱ ۳۴ ۹۹	۲۱/۴۰	۲۹	۳۰ ۵۱ ۰۶	۶۱ ۲۲ ۴۸	۵/۰۵
۱۴	۳۰ ۵۸ ۵۶	۶۱ ۳۰ ۵۶	۳/۸۰	۳۰	۳۰ ۴۹ ۹۹	۶۱ ۲۷ ۹۹	۴/۰۵
۱۵	۳۰ ۵۷ ۹۹	۶۱ ۳۹ ۹۹	۴/۴۷	۳۱	۳۰ ۴۹ ۴۲	۶۱ ۳۸ ۲۱	۰/۸۵
۱۶	۳۰ ۵۷ ۰۰	۶۱ ۳۵ ۹۹	۱/۵۹				

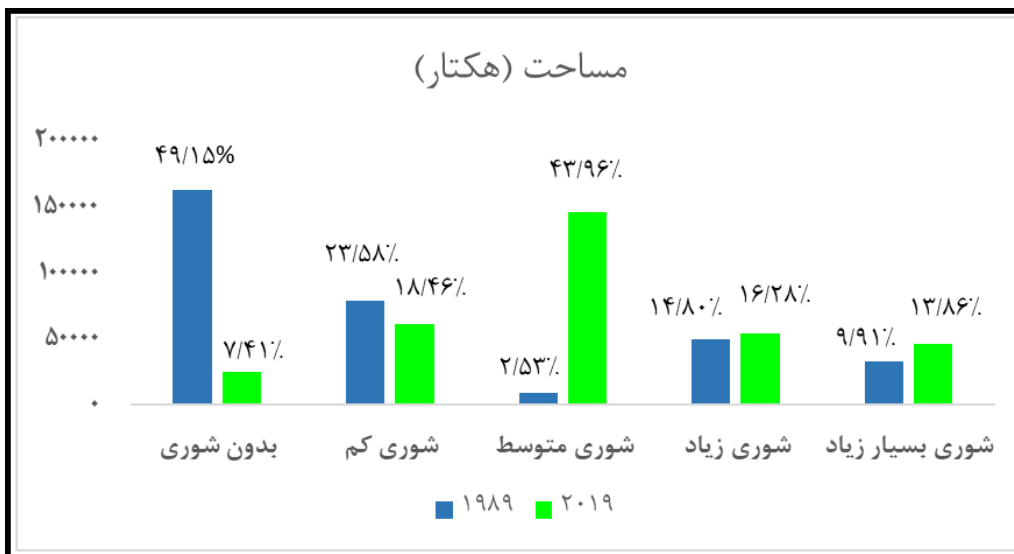
جدول ۶- مساحت (هکتار) و میانگین شوری در سال های ۱۹۸۹ و ۲۰۱۹

کاربری/پوشش زمین	مساحت (هکتار)	میانگین نرمال شده شوری	مساحت (هکتار)	میانگین نرمال شده شوری
کشاورزی آبی	۳۴۵۴۶/۸۶	۰/۱۷۵	۳۱۶۷۳/۱۶	۰/۳۰۴
کشاورزی دیم	۱۲۱۵۷۴/۱	۰/۳۱۶	۱۳۱۰۵۴/۲	۰/۵۲۲
زمین های بایر	۱۱۸۱۷۸/۸	۰/۳۸۲	۱۰۸۵۳۲/۹	۰/۵۶۶
مناطق انسان ساخت	۱۲۰۹/۲۴	۰/۱۸۲	۴۹۵۳/۹۶	۰/۴۷۵
پهنه های آبی	۱۳۷۶۰/۲۸	۰/۲۱۸	۱۳۰۴۹/۲۸	۰/۳۹۶

پس از آن، به ترتیب طبقات شوری کم، شوری زیاد، شوری بسیار زیاد و بدون شوری با مساحت (هکتار) ۶۰۷۷۰/۷۹ (۱۸/۴۶ درصد)، ۵۳۶۱۶/۶۹ (۱۶/۲۸ درصد)، ۴۵۶۴۳/۵۹ (۱۳/۸۶ درصد) و ۲۴۴۲۴/۳۸ (۷/۴۱ درصد) در رده های بعدی قرار گرفته اند (شکل ۵ و جدول ۷). براساس نتایج حاصل، بیشترین تبدیل طبقات نقشه شوری خاک، تبدیل طبقه بدون شوری به طبقه شوری متوسط با مساحت ۶۸۹۹۸/۳۵ هکتار و پس از آن طبقه شوری کم به شوری متوسط و طبقه بدون شوری به شوری کم به ترتیب با مساحت ۳۴۹۹۸/۳۷ و ۳۲۹۳۴/۴۴ هکتار است.

همچنین، شکل ۶ الگوی پراکنش مکانی مناطق با درجات شوری متفاوت را در منطقه مورد مطالعه نشان می دهد. براساس نتایج، بخشی از قسمت جنوب غربی منطقه مورد مطالعه، در هر دو سال در طبقه با شوری زیاد قرار گرفته است. این در حالی است که در سال ۱۹۸۹ تقریباً سایر قسمت های منطقه مورد مطالعه در طبقه شوری کم و بدون شوری قرار گرفته اند ولی بخش هایی از این مناطق از جمله برخی از بخش های مناطق مرکزی، شمال غرب و شمال در طی سال های مورد مطالعه به طبقات با شوری زیاد و بسیار زیاد تبدیل شده اند. جدول ۸ نیز به منظور بررسی بهتر تبدیل طبقات شوری خاک در دو سال ۱۹۸۹ و ۲۰۱۹ تهیه شد.

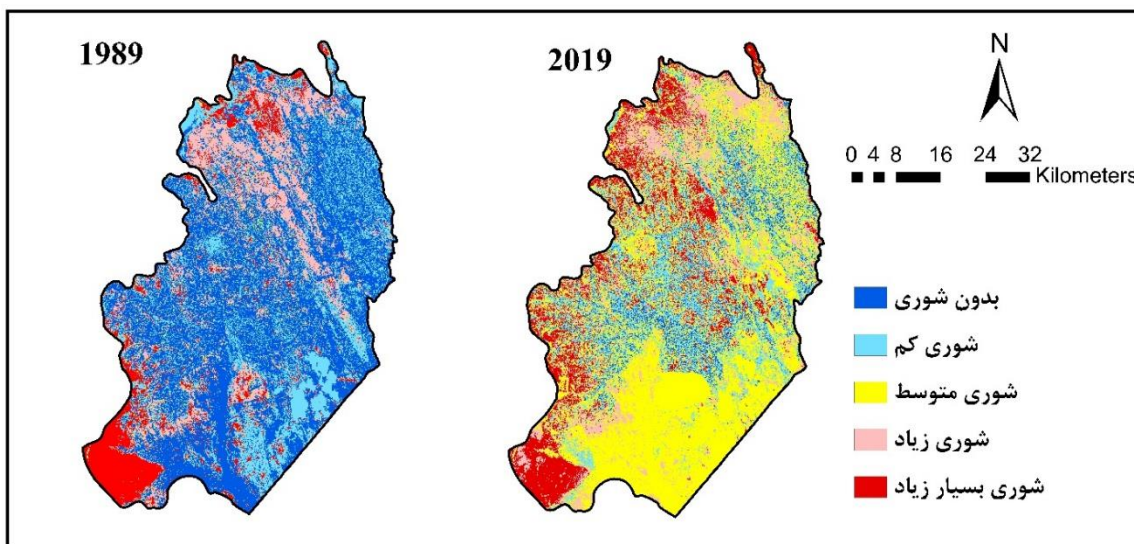
⁶Electrical Conductivity



شکل ۵- طبقات مختلف شوری خاک در سال‌های ۱۹۸۹ و ۲۰۱۹ (هکتار)

جدول ۷- مساحت (هکتار) و میانگین شوری در سال‌های ۱۹۸۹ و ۲۰۱۹

طبقه‌بندی نقشه شوری	۱۹۸۹		۲۰۱۹	
	مساحت (هکتار)	درصد (%)	مساحت (هکتار)	درصد (%)
بدون شوری	۱۶۱۸۱۸/۳	۴۹/۱۵	۲۴۴۲۴/۳۸	۷/۴۱
شوری کم	۷۷۶۴۴/۵۳	۲۳/۵۸	۶۰۷۷۰/۷۹	۱۸/۴۶
شوری متوسط	۸۳۵۵/۶	۲/۵۳	۱۴۴۷۴۴/۹	۴۳/۹۶
شوری زیاد	۴۸۷۴۳/۵۵	۱۴/۸۰	۵۳۶۱۶/۶۹	۱۶/۲۸
شوری بسیار زیاد	۳۲۶۳۸/۸۶	۹/۹۱	۴۵۶۴۳/۵۹	۱۳/۸۶



شکل ۶- نقشه شوری خاک در سال‌های ۱۹۸۹ و ۲۰۱۹ با استفاده از روش جنگل تصادفی

جدول ۸- تبدیل طبقات مختلف شوری خاک در سال‌های ۱۹۸۹ و ۲۰۱۹

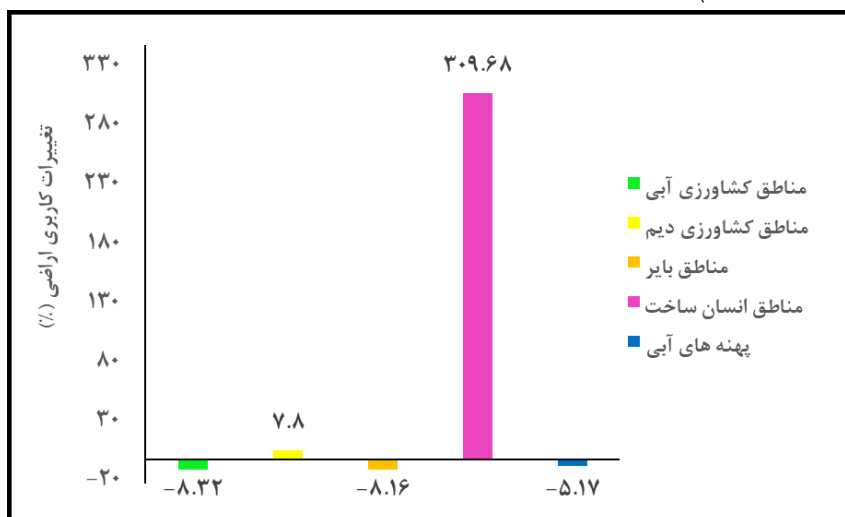
شوری بسیار زیاد	شوری زیاد	شوری متوسط	شوری کم	بدون شوری	طبقه‌بندی نقشه شوری
۱۰۹۹۴/۱۷	۱۵۰۸۸/۵۰	۶۸۹۹۸/۳۵	۳۲۹۳۴/۴۴	-	بدون شوری
۶۵۶۸/۰۸	۸۰۶۳/۲۲	۳۴۹۹۸/۳۷	-	۵۴۰۵/۵۸	شوری کم
۱۲۴۸/۷۰	۱۳۵۹/۹۰	-	۱۴۰۱/۵۷	۴۸۴/۷۲	شوری متوسط
۸۳۹۷/۰۴	-	۱۴۲۳۵/۴۷	۴۷۴۰/۳۸	۱۱۸۶/۸۵	شوری زیاد
-	۸۳۲۵/۱۵	۶۰۶۱/۶۹	۱۱۵۸/۹۳	۲۳۲/۲۰	شوری بسیار زیاد

بحث و نتیجه‌گیری

شوری خاک در سال‌های اخیر به مسئله‌ای فراگیر تبدیل شده که موجب محدود شدن تولیدات کشاورزی و پایین آمدن کیفیت خاک در مناطق دنیا و به‌ویژه مناطق خشک و نیمه‌خشک گردیده است. از این‌رو، ارزیابی دقیق شوری خاک نقش کلیدی در امنیت اکولوژیک و توسعه پایدار کشاورزی و نیز مدیریت این مناطق بر عهده دارد. از سوی دیگر، بر طبق نتایج مطالعات انجام شده در سال‌های اخیر (Zewdu et al., 2016; Thiam et al., 2021; Mahdavian et al., 2022) تغییرات کاربری/پوشش زمین ارتباط نزدیکی با تغییرات میزان شوری خاک دارد. بنابراین، در مطالعه حاضر نقشه تغییرات کاربری/پوشش زمین و تغییرات شوری منطقه تهیه شده و ارتباط تغییرات این دو عامل با یکدیگر ارزیابی گردید. بنابر نتایج حاصل می‌توان این‌گونه بیان کرد که تبدیل کاربری زمین‌های بایر به کاربری کشاورزی آبی در بخش‌هایی از منطقه (به‌خصوص در اطراف چاه نیمه چهارم که در طی بازه مورد مطالعه احداث شده است) موجب ایجاد پوشش گیاهی و در نتیجه فرسایش بادی کمتر در کنار وجود بسترهای آب مصنوعی (چاه نیمه‌ها) در این مناطق سبب کاهش میزان شوری در برخی از این بخش‌ها شده است که مطالعات قبلی این نتایج را تأیید کردند (Zewdu et al., 2016; Bhardwaj et al., 2019; Hou and Rusuli, 2022). از سوی دیگر، وزش بادهای شدید در سراسر سال در منطقه مورد مطالعه، به‌خصوص بادهای ۱۲۰ روزه که در محدوده زمانی اواخر اردیبهشت تا پایان شهریور در منطقه سیستان می‌وزند، موجب تسریع فرآیند شوری خاک در این منطقه شده است. قابل ذکر است که در سال‌های پیش، عبور بادهای ۱۲۰ روزه از تالاب بین‌المللی هامون و رودخانه هیرمند موجب تعدیل آب و هوای این استان در فصول گرم سال شده است. این در حالی است که وقوع خشکسالی‌های مکرر و کاهش بارندگی در سال‌های اخیر در کنار قطع حبابه هامون از سوی کشور افغانستان موجب خشک شدن این منابع آبی طبیعی-حیاتی شده و در نتیجه در موسم بادهای ۱۲۰ روزه و عبور این بادهای از بستر خشک این دریاچه و رودخانه ماسه‌ها و غبار نمکی بستر آن‌ها را با خود حمل کرده و آن را در سطح منطقه پخش می‌کند. همچنین، با خیزش این ماسه‌ها به‌صورت غبار و فرود آن بر روی زمین‌های کشاورزی نمک موجود در این غبار در آب موجود در مناطق کشاورزی حل شده و موجب شور شدن بیش از پیش خاک در این مناطق می‌گردد. این مسئله می‌تواند موجب رها شدن بیشتر زمین‌های کشاورزی و تبدیل آن به زمین‌های بایر شود که مجدداً موجب افزایش شدت بادهای و در نتیجه فرسایش بادی و آبی بیشتر و انتقال وسیع‌تر گرد و غبار حاوی نمک در سطح منطقه خواهد شد. محققان (Abuelgasim and Ammad, 2019; Yang et al., 2019; Thiam et al., 2021) نیز در مطالعات خود مشابه این نتایج را به‌دست آوردند. همان‌طور که قبلاً به آن اشاره شد، بررسی تغییرات کاربری/پوشش زمین در منطقه و نقشه میزان شوری (شکل‌های ۴ و ۶)، حاکی از افزایش میزان میانگین شوری در منطقه در طی سال‌های مورد مطالعه است. همچنین، براساس نتایج، بخش‌هایی از منطقه مورد مطالعه که در آن کاربری‌هایی نظیر کشاورزی آبی و پهنه‌های آبی به کاربری‌های دیگر از جمله زمین‌های بایر، مناطق انسان‌ساخت و کشاورزی دیم تبدیل شده از میزان پوشش گیاهی و نیز رطوبت در آن کاسته شده است و همچنین موجب افزایش میزان شوری در این بخش‌ها خواهد شد.

براساس یافته‌ها، تخریب ایجاد شده در اکوسیستم منطقه مورد مطالعه که به‌دلیل دخالت انسان به‌خصوص در مناطق شهری و محیط اطراف آن صورت گرفته است در کنار تغییرات اقلیمی و کاهش نزولات جوی در سال‌های اخیر موجب بسیاری از ناپایداری‌های منطقه از جمله تغییرات کاربری/پوشش زمین و شوری خاک شده است. با نگاه کلی به میزان تغییرات کاربری‌های مختلف، مشاهده می‌شود که کاربری شهری در طی سال‌های مورد مطالعه به میزان چهار برابر افزایش داشته (مانند بخش‌هایی از غرب منطقه که شهر زابل در آن گسترش یافته است و یا قسمت‌های پراکنده دیگری در منطقه مورد مطالعه که شامل شهر زهک و دیگر مناطق مسکونی کوچک است) و به‌دلیل گسترش این مناطق در زمین‌هایی که قبلاً دارای کاربری کشاورزی دیم یا آبی

بوده‌اند می‌تواند تأثیر زیادی بر میزان پوشش گیاهی داشته و بیشترین تأثیر را از نظر کیفیت بر فرسایش و شوری خاک مناطق اطراف داشته باشد (شکل ۷). نتایج مشابهی در بررسی Parvar و همکاران (۲۰۲۳) بیان شد. از سوی دیگر، مناطق انسان‌ساخت بخش کمی از منطقه را به خود اختصاص داده‌اند. از این‌رو بیشترین تأثیر بر شوری خاک منطقه از نظر کمیت را می‌توان به کاربری‌های کشاورزی دیم و زمین‌های بایر نسبت داد. برای مثال بخش‌هایی از منطقه به‌خصوص در شمال و شمال شرق که به‌دلیل خشک شدن منابع آب طبیعی موجود در طی سال‌های مورد مطالعه از کاربری کشاورزی آبی به کشاورزی دیم و یا از بسترهای آبی و کشاورزی دیم به زمین‌های بایر تبدیل شده است دچار شوری بیش از حد اراضی گردیده است. این مناطق همچنین به‌دلیل وزش بادهایی که قبلاً ذکر شد و پراکنده شدن ذرات نمک در سطح منطقه موجب شور شدن بیشتر خاک در منطقه مورد مطالعه شده است. شواهد حاکی از آن است که علی‌رغم ایجاد چاه نیمه‌ها (به‌خصوص چاه نیمه چهارم^۷) که به‌عنوان منابع آب مصنوعی در منطقه ایجاد شده‌اند و تأثیر مثبت این چاه نیمه‌ها در برخی از مناطق اطراف خود در بهبود وضعیت تغییرات کاربری/پوشش زمین، ولی تخریب اکوسیستم در سایر قسمت‌ها و به‌خصوص در منابع آب طبیعی مانع از بهبود کامل وضعیت تغییرات کاربری/پوشش زمین در منطقه شده است و شوری خاک با گذر زمان این وضعیت را بدتر کرده است (Bhardwaj *et al.*, 2019; Thiam *et al.*, 2021).



شکل ۷- تغییرات کاربری/پوشش زمین بین سال‌های ۲۰۱۹-۱۸۸۹

همچنین براساس نتایج، الگوریتم جنگل تصادفی به‌خوبی توانسته است میزان شوری منطقه را مورد تجزیه و تحلیل قرار دهد. نتایج مطالعات نیز نشان داده است که این الگوریتم می‌تواند برای شناسایی و پایش خاک‌های متأثر از شوری با استفاده از مجموعه داده‌های سنجش از دور استفاده شود (Zhu *et al.*, 2022; Aksoy *et al.*, 2022; Rani *et al.*, 2022). همچنین، براساس یافته‌های حاصل از این مطالعه تأثیر متقابل تغییرات کاربری/پوشش زمین و افزایش شوری خاک موجب تهدید جامعه بشری و اکوسیستم طبیعی منطقه مورد مطالعه شده است که می‌تواند موجب مشکلاتی در مدیریت این مناطق گردد. بنابراین، برای بهبود شرایط منطقه و برای جلوگیری از تخریب بیش از حد آن و صدمه به جوامع انسانی و حیات وحش منطقه باید هرچه سریع‌تر برنامه‌ریزی‌های لازم جهت احیای منابع آب طبیعی این منطقه از قبیل تالاب‌های هامون (پوزک، صابری و هیرمند) که بخشی از آن در کشور افغانستان قرار دارد و رودخانه هیرمند که سال‌ها است به رودخانه‌ای خشک تبدیل شده است، صورت پذیرد. نتایج این تحقیق می‌تواند به‌عنوان الگوی مناسبی برای مطالعات آینده در زمینه پیش‌بینی شرایط آینده منطقه مورد مطالعه در صورت عدم احیای اکوسیستم منطقه استفاده شده و نیز برای ایجاد برنامه‌ریزی‌های لازم توسط مسئولین مورد استفاده قرار گیرد.

^۷ این چاه‌نیمه که دارای گنجایش حدود ۷۰۰ میلیون مترمکعب است تا حدی توانسته از مشکلات کم‌آبی در بخشی از استان سیستان و بلوچستان بکاهد.

References

- Abuelgasim, A., Ammad, R., 2019. Mapping soil salinity in arid and semi-arid regions using Landsat 8 OLI satellite data. *Remote Sensing Applications: Society and Environment* 13, 415-425.
- Aksoy, S., Yildirim, A., Gorji, T., Hamzehpour, N., Tanik, A., Sertel, E., 2022. Assessing the performance of machine learning algorithms for soil salinity mapping in Google Earth Engine platform using Sentinel-2A and Landsat-8 OLI data. *Advances in Space Research* 69(2), 1072-1086.
- Ali Abdelfattah, M., A Shahid, S., Othman, Y., 2009. Soil Salinity Mapping Model Developed Using RS and GIS - A Case Study from Abu Dhabi, United Arab Emirates. *European Journal of Scientific Research* 26(3), 342-351.
- Allbed, A., Kumar, L., 2013. Soil Salinity Mapping and Monitoring in Arid and Semi-Arid Regions Using Remote Sensing Technology: A Review. *Advances in Remote Sensing* 02(04), 373-385.
- Bai, L., Wang, C., Zang, S., Zhang, Y., Hao, Q., Wu, Y., 2016. Remote Sensing of Soil Alkalinity and Salinity in the Wuyu'er-Shuangyang River Basin, Northeast China. *Remote Sensing* 8(2), 163.
- Bhardwaj, A. K., Mishra, V. K., Singh, A. K., Arora, S., Srivastava, S., Singh, Y. P., Sharma, D. K., 2019. Soil salinity and land use-land cover interactions with soil carbon in a salt-affected irrigation canal command of Indo-Gangetic plain. *CATENA* 180, 392-400.
- Bouaziz, M., Matschullat, J., Gloaguen, R., 2011. Improved remote sensing detection of soil salinity from a semi-arid climate in Northeast Brazil. *Comptes Rendus Geoscience* 343(11-12), 795-803.
- 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* pp. 235-236, 316-322.
- El-Battay, A., Bannari, A., Hameid, N.A., Abahussain, A.A., 2017. Comparative Study among Different Semi-Empirical Models for Soil Salinity Prediction in an Arid Environment Using OLI Landsat-8 Data. *Advances in Remote Sensing* 06 (01), 23-39.
- Elhag, M., 2016. Evaluation of different soil salinity mapping using remote sensing techniques in arid ecosystems, Saudi Arabia. *Journal of Sensor* 2016, 1-9.
- Fallah Shamsi, S.R., Zare, S., Abtahi, S.A., 2013. Soil salinity characteristics using moderate resolution imaging spectroradiometer (MODIS) images and statistical analysis. *Archives of Agronomy and Soil Science* 59(4), 471-489.
- Fan, X., Pedrolí, B., Liu, G., Liu, Q., Liu, H., Shu, L., 2012. Soil salinity development in the yellow river delta in relation to groundwater dynamics. *Land Degradation & Development* 23(2), 175-189.
- Fathizad, H., Ardakani, M. A. H., Sodaiezadeh, H., Kerry, R., Taghizadeh-Mehrjardi, R., 2020. Investigation of the spatial and temporal variation of soil salinity using random forests in the central desert of Iran. *Geoderma* 365, 114233.
- Firoozi, F., Mahmoudi, P., Jahanshahi, S. M. A., Tavousi, T., Liu, Y., Liang, Z., 2020. Modeling changes trend of time series of land surface temperature (LST) using satellite remote sensing productions (case study: Sistan plain in east of Iran). *Arabian Journal of Geosciences* 13(10), 367.
- Ganjali, A.R., Khaksafidi, A., 2015. Identification of Some pharmaceutical plant species in Zabol (Iran, Sistan and Baluchistan province) and Their application in traditional medicine. *Jiitm* 6(1), 89-96.
- Gorji, T., Yildirim, A., Hamzehpour, N., Tanik, A., Sertel, E., 2020. Soil salinity analysis of Urmia Lake Basin using Landsat-8 OLI and Sentinel-2A based spectral indices and electrical conductivity measurements. *Ecological Indicators* 112, 106173.
- 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.
- Gorji, T., Tanik, A., Sertel, E., 2015. Soil Salinity Prediction, Monitoring and Mapping Using Modern Technologies. *Procedia Earth and Planetary Science* 15, 507-512.

- 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. *Geomatics, Natural Hazards and Risk* 10(1), 1863-1878.
- Hou, J., Rusuli, Y., 2022. Assessment of Soil Salinization Risk by Remote Sensing-Based Ecological Index (RSEI) in the Bosten Lake Watershed, Xinjiang in Northwest China. *Sustainability* 14(12), 7118.
- Kumar, S., Gautam, G., Saha, S.K., 2015. Hyperspectral remote sensing data derived spectral indices in characterizing salt-affected soils: A case study of Indo-Gangetic plains of India. *Environmental Earth Sciences* 73(7), 3299-3308.
- Liaw, A., Wiener, M., 2002. Classification and Regression by randomForest. *R News* 2(3).
- Loukika, K.N., Keesara, V.R., Sridhar, V., 2021. Analysis of land use and land cover using machine learning algorithms on google earth engine for Munneru River Basin, India. *Sustainability* 13(24), 13758.
- Masoud, A. A., Koike, K., Atwia, M. G., El-Horiny, M. M., Gemal, K. S., 2019. Mapping soil salinity using spectral mixture analysis of landsat 8 OLI images to identify factors influencing salinization in an arid region. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 83, 101944.
- 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, 1-16.
- Peng, J., Biswas, A., Jiang, Q., Zhao, R., Hu, J., Hu, B., Shi, Z., 2019. Estimating soil salinity from remote sensing and terrain data in southern Xinjiang Province, China. *Geoderma* 337, 1309-1319.
- Piri, H., Mobaraki, M., 2022. Comparison of Artificial Intelligence and Geostatistical Methods in Soil Surface Salinity Prediction in Ghorghori, Hirmand. *Environmental and Water Engineering* 8(3), 622-635.
- Rani, A., Kumar, N., Sinha, N.K., Kumar, J., 2022. Identification of salt-affected soils using remote sensing data through random forest technique: A case study from India. *Arabian Journal of Geosciences* 15(5), 381.
- Rousta, I., Sarif, M., Gupta, R., Olafsson, H., Ranagalage, M., Murayama, Y., Zhang, H., Mushore, T., 2018. Spatiotemporal Analysis of Land Use/Land Cover and Its Effects on Surface Urban Heat Island Using Landsat Data: A Case Study of Metropolitan City Tehran (1988-2018). *Sustainability* 10(12), 4433.
- Shahid, S. A., Zaman, M., Heng, L., 2018. Introduction to Soil Salinity, Sodicity and Diagnostics Techniques. In M. Zaman, S. A. Shahid, & L. Heng, *Guideline for Salinity Assessment, Mitigation and Adaptation Using Nuclear and Related Techniques* (pp. 1-42). Springer International Publishing.
- Thiam, S., Villamor, G.B., Faye, L. C., Sène, J.H.B., Diwediga, B., Kyei-Baffour, N., 2021. Monitoring land use and soil salinity changes in coastal landscape: A case study from Senegal. *Environmental Monitoring and Assessment* 193(5), 259.
- Triki Fourati, H., Bouaziz, M., Benzina, M., Bouaziz, S., 2017. Detection of terrain indices related to soil salinity and mapping salt-affected soils using remote sensing and geostatistical techniques. *Environmental Monitoring and Assessment* 189(4), 177.
- Vapnik, V., 2000. *The Nature of Statistical Learning Theory* (2nd ed.). Springer.
- Vermeulen, D., Van Niekerk, A., 2017. Machine learning performance for predicting soil salinity using different combinations of geomorphometric covariates. *Geoderma* 299, 1-12.

- Wang, J., Peng, J., Li, H., Yin, C., Liu, W., Wang, T., Zhang, H., 2021. Soil salinity mapping using machine learning algorithms with the Sentinel-2 MSI in arid areas, China. *Remote Sensing* 13(2), 305.
- Wang, X., Zhang, F., Ding, J., Kung, H., Latif, A., Johnson, V.C., 2018. Estimation of soil salt content (SSC) in the Ebinur Lake Wetland National Nature Reserve (ELWNNR), Northwest China, based on a Bootstrap-BP neural network model and optimal spectral indices. *Science of The Total Environment* 615, 918–930.
- Yang, X.-D., Ali, A., Xu, Y.-L., Jiang, L.-M., Lv, G.-H., 2019. Soil moisture and salinity as main drivers of soil respiration across natural xeromorphic vegetation and agricultural lands in an arid desert region. *CATENA* 177, 126-133.
- Zewdu, S., Suryabhagavan, K.V., Balakrishnan, M., 2016. Land-use/land-cover dynamics in Sego Irrigation Farm, southern Ethiopia: A comparison of temporal soil salinization using geospatial tools. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences* 15(1), 91-97.
- Zhu, C., Ding, J., Zhang, Z., Wang, Z., 2022. Exploring the potential of UAV hyperspectral image for estimating soil salinity: Effects of optimal band combination algorithm and random forest. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy* 279, 121416.