

هیدروژئومورفولوژی، شماره ۱۷، زمستان ۱۳۹۷، صص ۲۰۳-۱۸۵

وصول مقاله: ۱۳۹۷/۰۹/۰۳ تأیید نهایی مقاله: ۱۳۹۷/۱۱/۳۰

مقایسه و تحلیل گسترش نمکزارهای شمال غربی دریاچه ارومیه با استفاده از داده‌های میدانی، تصاویر ماهواره‌ای و رخساره‌های ژئومورفیک منطقه

شیرین محمدخان^{*۱}

فاطمه مرادی پور^۲

انور مرادی^۳

چکیده

دریاچه ارومیه در شمال غرب ایران طی دهه‌های اخیر با یک خشکی تدریجی مواجه شده است. این مسئله باعث افزایش سطح زمین‌های شورزار و به تبع آن مشکلات اجتماعی-محیط زیستی فراوانی شده است. پایش مناطق ساحلی و استخراج تغییرات این مناطق در فاصله‌های زمانی مختلف دارای اهمیت زیادی است؛ زیرا ماهیت خطوط ساحلی دینامیکی است و مدیریت چنین محیط‌های بوم‌شناختی حساسی، به کسب اطلاعات دقیق در فاصله‌های زمانی مختلف نیاز دارد. هدف از انجام این تحقیق، بررسی گسترش نمکزارهای شمال غربی دریاچه ارومیه با استفاده از داده‌های میدانی، تصاویر ماهواره‌ای لندست (MSS, TM, ETM+, OLI) و رخساره‌های ژئومورفیک منطقه است. برای انجام این تحقیق، نمونه‌هایی از رسوب دریاچه به صورت سطحی (عمق ۰ تا ۱۵ سانتی متر) در ترانسکت‌های مختلف از یک محدوده مشخص در شمال غربی دریاچه برداشت شد. در مرحله‌ی بعد با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و پیمایش میدانی، میزان شوری، گسترش نمکزارها و رخساره‌های ژئومورفیک استخراج گردید. در نهایت نتایج داده‌های میدانی و آزمایشگاهی، تصاویر ماهواره‌ای و همچنین رخساره‌های ژئومورفیک مقایسه و اعتبارسنجی شد. نتایج نشان داد مساحت سطح آب دریاچه بسیار کاهش یافته و در

۱- استادیار گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه تهران، تهران، ایران (نویسنده‌ی مسئول). E-mail:mohamadkh@ut.ac.ir

۲- دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

۳- دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

مقابل نمکزارها در سطح وسیعی گسترش یافته‌اند و مناطقی که دارای تراکم نمک بالاتری می‌باشند با خطوط نمکزار به دست آمده از تصاویر ماهواره‌ای و رخساره‌های ژئومورفیک مطابقت می‌کنند. بر اساس نقشه‌ی رخساره‌ها، محدوده‌ی مورد مطالعه دارای ۱۲ رخساره است که زمین‌های شورزار با مساحت ۱۷۲۴ هکتار، از نظر وسعت در بین رخساره‌های محدوده، سومین رخساره می‌باشند؛ منطقه برداشت با مساحت ۲۶۴۱ هکتار و پهنه‌های ماسه‌ای به مساحت ۱۴ هکتار، به ترتیب دارای بیشترین و کمترین وسعت رخمون رخساره در منطقه مورد بررسی می‌باشند.

کلمات کلیدی: شوری خاک، رخساره‌های ژئومورفیک، تصاویر ماهواره‌ای لندست، همبستگی، دریاچه‌ی ارومیه.

مقدمه

دریاچه‌ی ارومیه دومین دریاچه بزرگ فوق شور جهان است (آرکیان و همکاران^۱، ۲۰۱۶: ۱؛ هجازی و همکاران، ۲۰۱۶: ۱۶۹۳؛ جلیلی و همکاران، ۲۰۱۶: ۱) که وسعت آن طی دهه‌های اخیر به دلیل کاهش جریان ورودی، دائماً در حال کاهش بوده است (شادکام و همکاران، ۲۰۱۶: ۹۴۲). ظهور انواع گرده‌های زیستگاه‌های شور، همراه با افزایش حساسیت‌های مغناطیسی و مواد آلی، نشان می‌دهد سطح آب پایین‌تر رفته و تبدیل به دشت‌های گلی شور شده است (طالبی و همکاران، ۲۰۱۶: ۴۰). از جمله عوامل دیگری که سبب کاهش سطح آب دریاچه‌ی ارومیه بوده می‌توان به تأثیرات انسانی نظیر استخراج بیش‌ازاندازه آب برای آبیاری محصولات کشاورزی و باغی (دالبی و موسوی، ۲۰۱۷: ۳۹؛ علیزاده چوباری و همکاران، ۲۰۱۶: ۴۲۷۶)، سدسازی‌های گسترده بر روی رودخانه‌های منتهی به دریاچه‌ی ارومیه (زینودینی و همکاران، ۲۰۱۵: ۷۱) و عوامل طبیعی نظیر تغییرات آب و هوایی (دالبی و موسوی، ۲۰۱۷: ۳۹؛ علیزاده چوباری و

1- Arkian et al.,

همکاران، ۲۰۱۶: ۴۲۷۶) بخصوص کاهش میزان بارش و افزایش میزان تبخیر (علیزاده چوپاری و همکاران، ۲۰۱۶: ۴۲۷۶) اشاره کرد. با کاهش مساحت سطح آب دریاچه، به مرور زمان بخش بیشتری از بستر دریاچه و نمک از آب خارج شده است (کریمی و همکاران، ۲۰۱۶: ۵۰۰۳)؛ این مسئله منجر به بروز مسائل اجتماعی-محیط زیستی جدی شبیه فاجعه‌ی دریاچه‌ی آرال شده است (شادکام و همکاران، ۲۰۱۶: ۹۴۲).

برای ارزیابی میزان تغییرات سطح آب دریاچه‌ی ارومیه و اثر این تغییرات در گسترش پهنه‌های نمکی، مروری بر تحقیقات انجام شده، صورت گرفته است. در میان مطالعات صورت گرفته می‌توان به مالیان و همکاران (۱۳۹۵)؛ حسنلو و همکاران (۱۳۹۶)؛ احمدزاده کویا و احمدزاده کویا (۲۰۰۸)؛ تورین و همکاران^۱ (۲۰۱۵)؛ کریمی و همکاران (۲۰۱۶)؛ تراوت و همکاران (۲۰۱۶)؛ شیری و همکاران (۲۰۱۶)؛ باقری و همکاران (۲۰۱۷) اشاره کرد که نتیجه این مطالعات عمدتاً تعیین میزان تغییرات سطح آب دریاچه، تخمین میزان شوری آب و تعیین سطوح گسترش نمکزارها با استفاده از داده‌های سنجش از دوری بوده است. شوری دریاچه‌ی ارومیه اثرات اکولوژیک زیادی بر روی زیست و رشد آرتمیا، زوپلانکتون بومی دریاچه‌ی ارومیه (آق^۲، ۲۰۱۴: ۱۷۸) که یک منبع غذایی اصلی برای پرندگان بزرگ محسوب می‌شود (زینودینی و همکاران، ۲۰۱۵: ۷۱) داشته است. ایجاد گردوغبار از سطوح دریاچه که به‌تازگی در معرض نمک قرار گرفته‌اند و جمعیت حدود ۶ میلیون نفر که به‌طور مستقیم و غیرمستقیم تحت تأثیر عواقب تخلیه دریاچه ارومیه قرار گرفته‌اند، تهدید ناشی از شوری برای زمین‌های کشاورزی و احتمالاً بیابان‌زایی پس از آن، نیازمند توجه خاص و اقدامات مناسب می‌باشد (همزه‌پور و بوگت^۳، ۲۰۱۷: ۲۳). پیدا کردن علت اصلی این فاجعه‌ی زیست‌محیطی که ممکن است منجر به مرگ فاجعه‌بار یک اکوسیستم آب شور

1- Tourian et al.,

2- AGH

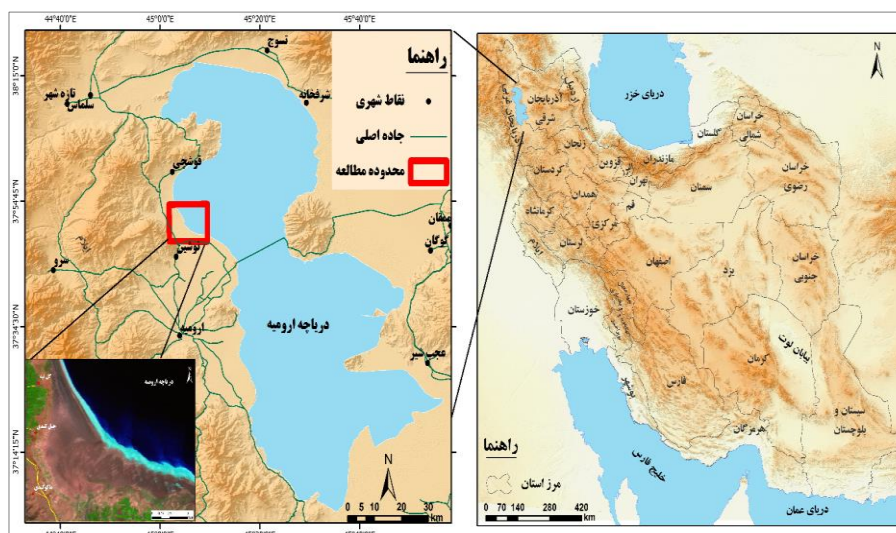
3- Hamzehpour & Bogaert

بی‌مانند شود، هنوز یک موضوع بحث‌برانگیز محسوب می‌شود (جلیلی و همکاران، ۲۰۱۶: ۲). هدف از انجام این تحقیق، بررسی تغییرات سطح آب دریاچه‌ی ارومیه و تأثیر آن در تغییرات میزان سطوح نمکی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و سپس مقایسه و ارزیابی نتایج به‌دست‌آمده با داده‌های برداشت زمینی از رسوبات سطحی دریاچه و نقشه‌ی رخساره‌های ژئومورفیک می‌باشد.

مواد و روش‌ها

- منطقه‌ی مورد مطالعه

منطقه‌ی مورد بررسی، بخشی از شمال غرب دریاچه‌ی ارومیه به وسعت ۴۲ کیلومترمربع با مختصات ۴۵ درجه و ۱ دقیقه تا ۴۵ درجه و ۶ دقیقه طول شرقی و ۳۷ درجه و ۴۹ دقیقه تا ۳۷ درجه و ۵۵ دقیقه عرض شمالی است. مرتفع‌ترین بخش منطقه‌ی مورد بررسی، در قسمت‌های غربی و جنوب غربی است که ارتفاع آن از سطح آب‌های آزاد ۱۳۹۲ متر و پست‌ترین قسمت آن با ارتفاع ۱۲۶۰ متر در بخش شمال شرقی منطقه‌ی مورد بررسی قرار دارد (DEM 30 m). اصلی‌ترین رودخانه‌ای که به محدوده‌ی مورد بررسی می‌ریزد نالوچای می‌باشد (امامی‌فر و همکاران، ۲۰۰۶: ۲۷۷). آب‌وهوای حوضه‌ی دریاچه‌ی ارومیه با زمستان‌های سرد و تابستان‌های نسبتاً معتدل شناخته می‌شود. متوسط سالانه‌ی نرخ بارش بر روی دریاچه حدود ۳۵۰ میلی‌متر و متوسط سالانه‌ی میزان تبخیر ۹۰۰ تا ۱۱۷۰ میلی‌متر است (سیما و همکاران، ۲۰۱۳: ۳۷۵). شکل (۱) موقعیت منطقه‌ی مورد مطالعه را نشان می‌دهد.



شکل (۱) موقعیت منطقه‌ی مورد مطالعه

این تحقیق از نوع کاربردی بوده و داده‌های تحقیق طی مطالعات کتابخانه‌ای، آزمایشگاهی و میدانی جمع‌آوری شده است. جامعه‌ی آماری محدوده عقب‌نشینی آب دریاچه ارومیه است که دچار فرسایش بادی شده است. این تحقیق با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست (MSS) سال ۱۹۷۶، (TM) سال ۱۹۸۵ تا ۲۰۱۱، (ETM+) سال ۲۰۰۰، (OLI) سال ۲۰۱۵ و برداشت‌های صحرایی متعدد نمونه‌های رسوب با روش زیگراگ، همچنین آزمایش رسوبات به دست آمده از این محدوده با استفاده از روش‌های استاندارد انجام شده است. برداشت نمونه‌های رسوب سطحی (۲۲ نمونه در عمق ۰ تا ۱۵ سانتی‌متری) در ترانسکت‌های مشخص از قسمت‌های مختلف محدوده‌ی مطالعاتی و سپس استفاده از روش‌های آزمایشگاهی برای تعیین میزان شوری این نمونه‌های رسوب، جایگاه مطالعات میدانی را در تحقیق حاضر نشان می‌دهد. این کار به منظور مقایسه و اعتبارسنجی دقت داده‌های سنجش‌ازدور برای تعیین تغییرات سطح آب دریاچه و در نتیجه میزان تغییرات سطوح شور دریاچه صورت گرفته است. برای بررسی تغییرات خط

ساحلی و نمکزار دریاچه‌ی ارومیه از تصاویر ماهواره‌ای لندست که از سایت سازمان زمین‌شناسی آمریکا^۱ دانلود شده، استفاده شده است. جهت تصحیح هندسی تصاویر از نقشه توپوگرافی ۱/۲۵۰۰۰ منطقه‌ی مورد مطالعه و برای پردازش تصاویر ماهواره‌ای، تولید لایه‌های اطلاعاتی و تهیه نقشه از نرم‌افزارهای ARC GIS10.3، ENVI4.8 و ERDAS استفاده شده است.

- جداسازی نمکزار

بهترین محدوده از امواج الکترومغناطیسی برای جداسازی خط ساحل و نمکزار بخش مرئی و مادون قرمز است (احمدی و همکاران، ۱۳۹۳: ۶۷). تصاویر ماهواره‌ای لندست به دلیل دارا بودن باندهای مجزا در محدوده مرئی و مادون قرمز داده‌های مناسبی برای این منظور فراهم می‌کنند. در این تحقیق از شش شاخص شوری استفاده شده است (جدول ۱). در این شاخص‌ها به ترتیب R، NIR، B، G، MIR، SWIR عبارت‌اند از باند قرمز، باند مادون قرمز نزدیک، آبی، سبز، مادون قرمز میانی و مادون قرمز کوتاه. پس از اعمال شاخص‌ها بر روی تصویر دقت نتایج شاخص‌ها با استفاده از نقاط نمونه که از گوگل ارث برداشته شده ارزیابی شد. در نهایت شاخص مناسب برای استخراج نمکزار انتخاب شده است. سپس بررسی و تحلیل تغییرات مورد نظر در محیط نرم‌افزار ARC GIS10.3 انجام شده است.

- نمونه‌برداری رسوب و نحوه‌ی به‌دست آوردن EC^۲

برای انجام این تحقیق، در سال ۱۳۹۳ تعداد ۲۲ نمونه از رسوب دریاچه‌ی ارومیه به صورت سطحی در ترانسکت‌های مختلف از یک محدوده‌ی مشخص در شمال غربی دریاچه برداشت شد (شکل ۲- الف). هرکدام از نمونه‌های برداشت شده در آزمایشگاه با آب مقطر ترکیب شده و به مدت معین (۱۸ ساعت) نگهداری شد (شکل ۲- ب). در مرحله‌ی بعد عصاره اشباع نمونه‌ها توسط دستگاه EC متر اندازه‌گیری شدند (شکل ۲- ۲).

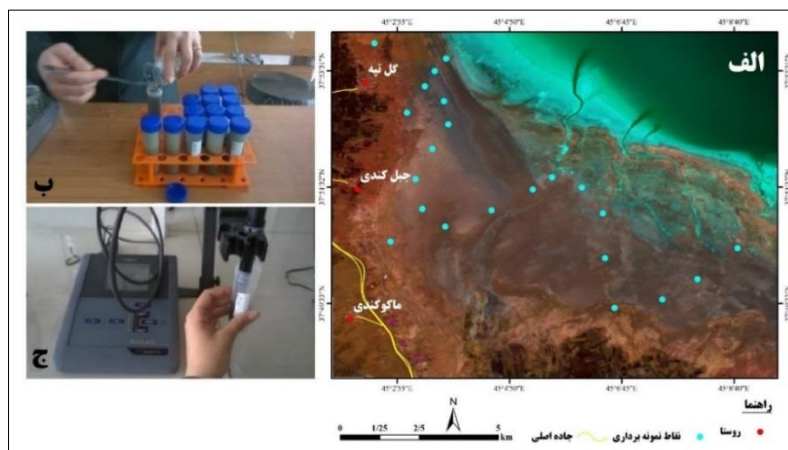
1- USGS

۲- هرچه میزان EC یا هدایت الکتریکی بیشتر باشد به معنای این است که میزان شوری بیشتر است

ج) و دو پارامتر EC و دما یادداشت گردید. نهایتاً بعد از به دست آوردن EC‌های تصحیح‌شده، بین نتایج تصاویر ماهواره‌ای و داده‌های زمینی و همین‌طور نقشه‌ی رخساره‌های ژئومورفیک منطقه مقایسه صورت گرفته است تا صحت نتایج به‌دست‌آمده از میزان گسترش شوری منطقه مورد ارزیابی قرار گیرد.

جدول (۱) مشخصات شاخص‌های پهنه‌بندی شوری مورد استفاده در منطقه‌ی مورد مطالعه

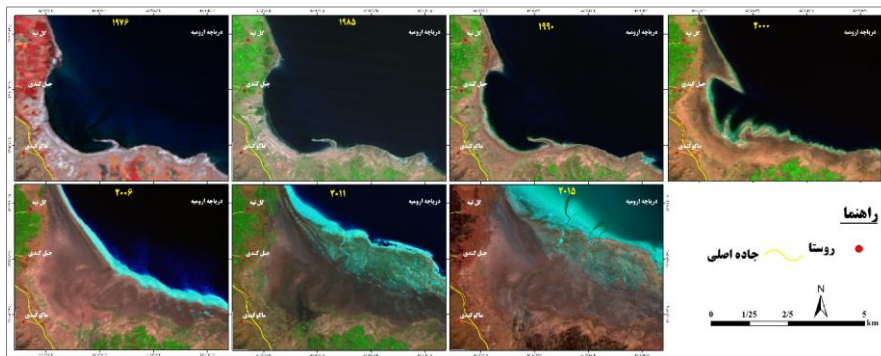
شاخص شوری	معادله	منبع
Normalized Differential Salinity Index	$NDSI = \frac{(R - NIR)}{(R + NIR)}$	(Khan; Rastoskuev et al. 2001:7)
Salinity Index 1	$SI = \sqrt{B} \times R$	(Khan; Rastoskuev et al. 2001:7)
Salinity Index 2	$SI = (G^2 + R^2 + NIR^2)^{0.5}$	(Kappa et al, 2005:356)
Salinity Index 3	$SI3 = \frac{(G \times R)}{B}$	(Abbas et al, 2013:46)
Salinity Index 9	$SI = \frac{(MIR \times SWIR - MIR \times SWIR)}{MIR}$	(Bannari, Guedon et al, 2008:2803)
Salinity Index 14	$SI = \frac{(R \times NIR)}{G}$	(Abbas, 2007:2635)



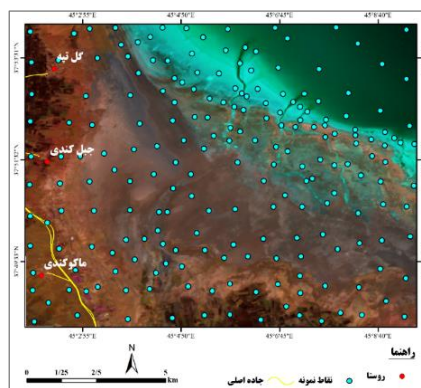
شکل (۲) الف - موقعیت نقاط نمونه‌برداری از خاک در منطقه مورد مطالعه، ب) ترکیب رسوب و آب مقطر ج) اندازه‌گیری EC و دما توسط دستگاه EC متر

بحث و نتایج

شکل (۳) تصاویر ماهواره‌ای (RGB) منطقه‌ی مورد مطالعه را نشان می‌دهد. پس از اعمال شاخص‌های شوری بر روی تصاویر ماهواره‌ای، دقت نتایج شاخص‌ها با استفاده از نقاط نمونه ارزیابی شده است که نقاط نمونه (۲۰۵) نقطه‌ی نمونه‌ی آب، شوری و غیرشوری) برای منطقه‌ی مورد مطالعه در شکل (۴) نشان داده شده است.



شکل (۳) تصاویر ماهواره‌ای (RGB) منطقه‌ی مورد مطالعه



شکل (۴) پراکنش نقاط نمونه در منطقه‌ی مورد مطالعه

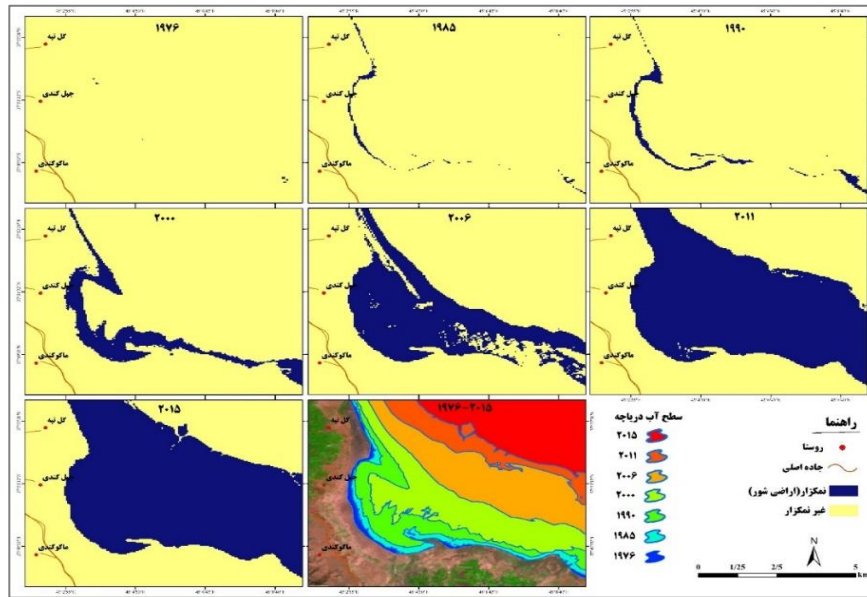
نتایج ارزیابی دقت شاخص‌های استخراج خط ساحل و نمکزار در جدول (۲) ارائه شده است. با توجه به جدول مذکور برای استخراج نمکزار قوی‌ترین شاخص، شاخص SI2 است به طوری که ۱۰۲ نقطه نمونه شوری را با دقت ۰/۹۷ درصد استخراج کرده است و ضعیف‌ترین شاخص، شاخص NDSI با دقت ۰/۵۲ درصد است.

جدول (۲) نتایج ارزیابی دقت شاخص‌های استخراج نمکزار برای سال ۲۰۱۵

شاخص	NDSI	SI1	SI2	SI3	SI9	SI14
نمونه‌های شوری	۵۵	۹۱	۱۰۲	۹۶	۷۷	۸۸
نمونه‌های آب	۵۰	۱۴	۳	۹	۲۸	۱۷
دقت کلی (%)	۰/۵۲	۰/۸۷	۰/۹۷	۰/۹۱	۰/۷۳	۰/۸۴

در شکل (۵) تغییرات دوره‌ای خطوط ساحلی و سطح نمکزارهای منطقه‌ی مورد مطالعه طی دوره‌ی ۱۹۷۶-۲۰۱۵ نشان داده شده است. سطح آب دریاچه از ۱۹۷۶ تا ۲۰۱۵ دارای یک روند کاهشی بوده که این کاهش از ۲۰۰۰ به بعد به شکل محسوس و قابل ملاحظه‌ای است. بر همین اساس مساحت نمکزارها به طور قابل توجهی افزایش پیدا کرده است که بیشترین تغییرات آن از سال ۲۰۰۰ به بعد، به‌ویژه طی یک دهه‌ی اخیر روی داده است.

نتایج آزمایشگاهی نمونه‌های خاک در جدول (۳) و خلاصه آماره‌های توصیفی برای هدایت الکتریکی سطحی خاک در جدول (۴) ارائه شده است. همان‌طور که نتایج نشان می‌دهد مقدار EC در ۲۲ نمونه خاک از ۰/۹ میکروزیمنس بر متر تا ۷۸/۳۷ متغیر بوده که نشان‌دهنده‌ی تغییرپذیری زیاد شوری در منطقه است. بررسی هیستوگرام فراوانی داده‌های نتایج آزمایشگاهی نمونه‌های خاک نشان داد که متغیر شوری خاک دارای ویژگی چولگی مثبت به راست است. نتایج بررسی نرمال بودن توزیع داده‌های خاک مربوط به شوری به روش‌های کولموگروف - اسمیرنوف، کرامر-ون مایسز و اندرسون - دارلین در جدول (۴) ارائه شده است. با توجه به جدول، از آنجایی که نتایج هر سه روش از مقدار ۰/۰۵ بیش‌تر است بنابراین داده‌های نمونه‌برداری از خاک دارای توزیع نرمال هستند.



شکل (۵) نقشه تغییرات خطوط ساحلی و نمکزار منطقه‌ی مورد مطالعه

جدول (۳) نتایج آزمایشگاهی نمونه‌های خاک (مقادیر EC های تصحیح شده)

no.	x	y	EC (میکروزیمنس)	no.	x	y	EC (میکروزیمنس)
۱	۵۰۴۶۱۹	۴۱۹۵۲۱۵	۱۱/۴۶	۱۲	۲۰۵۲۰۳	۴۱۹۲۰۵۳	۰/۹
۲	۵۰۴۹۱۳	۴۱۹۲۶۳۶	۲/۷۵	۱۳	۵۰۲۶۲۶	۴۱۹۴۶۳۰	۲۴/۰۳
۳	۵۰۵۲۰۸	۴۱۹۲۷۳۸	۱/۱۷	۱۴	۵۰۵۷۲۵	۴۱۹۳۷۰۲	۵۰/۱
۴	۵۰۴۳۷۵	۴۱۹۱۱۰۶	۱۱/۴	۱۵	۵۰۵۵۱۱	۴۱۹۳۴۹۵	۶۱/۳۲
۵	۵۰۴۷۸۴	۴۱۹۱۱۹۷	۱/۱۷	۱۶	۵۰۵۶۱۷	۴۱۹۳۵۹۰	۷۸/۳۷۴
۶	۵۰۵۱۵۹	۴۱۹۱۳۶۲	۱/۵۶	۱۷	۵۰۵۴۰۰	۴۱۹۳۴۷۹	۳۵/۰۵۳
۷	۵۰۵۶۲۰	۴۱۸۸۸۱۵	۶/۹	۱۸	۵۰۴۷۳۹	۴۱۹۰۴۱۳	۸۴/۴۹
۸	۵۰۵۹۷۶	۴۱۸۸۷۹۹	۲/۲	۱۹	۵۰۳۸۰۶	۴۱۸۹۶۴۴	۳/۳۲
۹	۵۰۶۱۷۸	۴۱۸۸۹۵۴	۱/۹	۲۰	۵۰۴۹۵۸	۴۱۸۹۵۳۷	۱۰/۱
۱۰	۵۰۶۵۸۶	۴۱۸۹۲۹۶	۵/۷۳	۲۱	۵۰۵۲۰۶	۴۱۸۹۳۴۲	۲۴/۱۶۵
۱۱	۵۰۶۵۶۵	۴۱۸۳۲۸۰	۳/۹۵۹	۲۲	۵۰۵۱۷۱	۴۱۸۸۹۸۸	۱۶/۹۲

همبستگی میان هدایت الکتریکی سطحی نمونه‌های خاک به‌عنوان متغیر وابسته و ارزش‌های رقومی نمونه‌ها در باندهای مختلف به‌عنوان متغیر مستقل در جدول (۵) آورده شده است. هدایت الکتریکی سطحی خاک بیشترین همبستگی را با باندهای مرئی و مادون قرمز ۱، ۲، ۳ و ۴ دارد که نشان‌دهنده‌ی این است که خاک‌های شور در نواحی مرئی و مادون قرمز بازتاب طیفی بیشتری دارند. با افزایش شوری بازتاب طیفی باندهای مرئی افزایش می‌یابد. در باند مادون‌قرمز نزدیک (باند ۴) پوشش گیاهی بازتاب بالایی دارد و این بازتاب بالا نشان‌دهنده‌ی شوری کم است؛ لذا همبستگی میان شوری و باند ۴ منفی می‌شود. این نتایج با مطالعات فریفته و همکاران (۲۰۰۶) و حسوندی و همکاران (۱۳۹۳) مطابقت دارد. با توجه به نتایج به دست آمده شاخص SI2 با $R^2=۹۶/۶$ دارای بالاترین ضریب تبیین برای پیش‌بینی تغییرات شوری خاک در نقاط کنترل زمینی است (شکل ۶).

جدول (۴) آماره‌های توصیفی و توزیع نرمال داده‌های شوری خاک در منطقه‌ی مورد مطالعه

متغیر	کمینه	بیشینه	کشیدگی	چولگی
	۰/۹	۷۸/۳۷	۱/۲۹	۱/۴۷
شوری خاک	میانگین	میانه	انحراف معیار	
	۱۸/۲۶	۸/۵	۲۲/۴۵	
(EC) - ۱۳۹۵	کولموگروف = اسمیرنوف	کرامر - ون مایسز	اندرسون - دارلین	
	۰/۱۱	۰/۰۹	۰/۰۸۱	

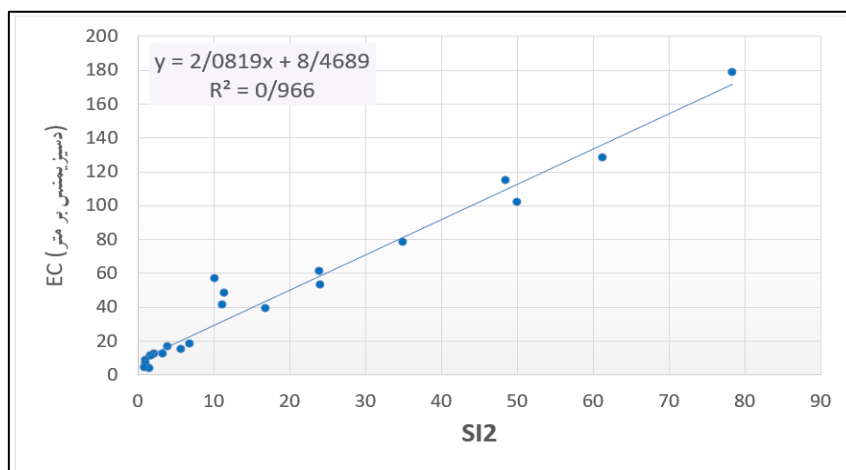
معادله‌ی رگرسیونی به دست آمده بین EC با شاخص برتر، برای تصویر سال ۲۰۱۵ عبارت است از:

$$EC = ۸/۴۶۸۹ (SI2) + ۲/۰۸۱۹ \quad (۱) \text{ رابطه‌ی}$$

جدول (۵) همبستگی میان هدایت الکتریکی خاک با باندهای طیفی

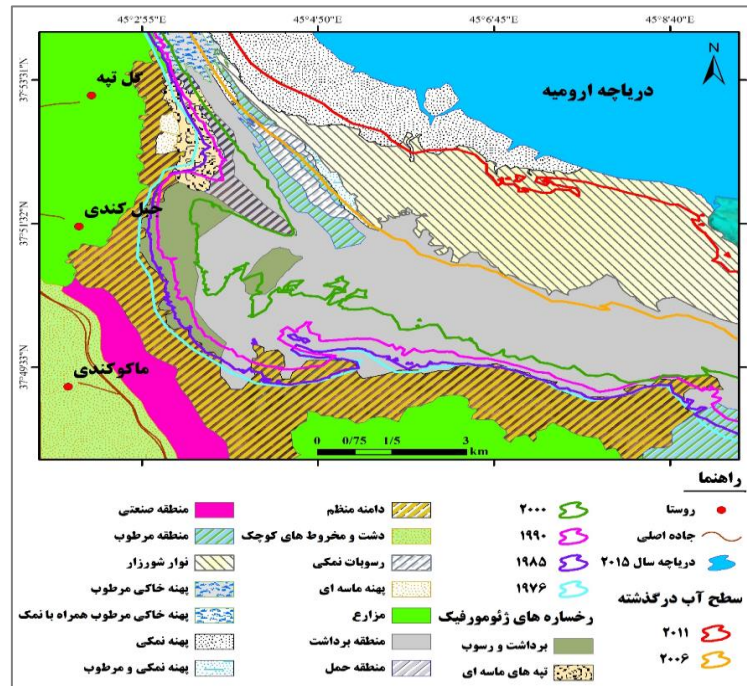
باند طیفی	باند ۱	باند ۲	باند ۳	باند ۴	باند ۵	باند ۶-۱	باند ۲-۶	۷
EC	۰/۸۴۱**	۰/۸۳۴**	۰/۸۲۶**	۰/۷۴۸**	۰/۶۸۷*	۰/۷۱۶**	۰/۷۲۳**	۰/۷۳۱**

** و * به ترتیب اختلاف معنی‌دار در سطح ۱ درصد و ۵ درصد.



شکل (۶) نمودار رگرسیونی داده‌های شوری خاک با شاخص برتر SI2

در شکل (۷) محدوده‌ی رخساره‌های ژئومورفیک منطقه در سال ۲۰۱۵ با خطوط ساحلی مطابقت داده شده است و مساحت این رخساره‌ها در جدول (۶) آمده است. از سال ۲۰۰۰ به بعد به تدریج با کاهش وسعت دریاچه، به‌طور قابل توجهی سطوح رسوبات نمکی، نوار شورزار و پهنه‌های نمکی، افزایش پیدا کرده‌اند. روند عقب‌نشینی دریاچه طی سال‌های مورد بررسی با خطوط رنگی نشان داده شده است. با توجه به شکل، در ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۵ محدوده نمکزار بسیار گسترش یافته است (شکل ۷). در مجموع با روند کاهش وسعت دریاچه‌ی ارومیه، به ترتیب در ۱۹۷۶ رخساره‌ی دامنه منظم؛ در ۱۹۸۵ برداشت رسوب؛ در ۱۹۹۰ منطقه‌ی برداشت، در ۲۰۰۰ منطقه‌ی مرطوب، منطقه‌ی برداشت و رسوبات نمکی؛ در ۲۰۰۶ نوار شورزار و پهنه‌ی نمکی و از ۲۰۱۱ تا ۲۰۱۵ پهنه‌ی نمکی شکل گرفته و گسترش یافته‌اند (شکل‌های ۷ و ۸).



شکل (۷) نقشه‌ی رخساره‌های ژئومورفیک منطقه (سال ۲۰۱۵) و مطابقت خطوط ساحلی قدیمی با آن

جدول (۶) مساحت رخساره‌های ژئومورفیک در شکل ۷

ردیف	رخساره	مساحت به هکتار	ردیف	رخساره	مساحت به هکتار
۱	منطقه‌ی برداشت	۲۶۴۱	۷	شوره‌زار	۱۷۲۴
۲	برداشت و رسوب	۳۱۰	۸	منطقه‌ی مرطوب	۷۹۳
۳	منطقه‌ی حمل	۱۹۹	۹	دریاچه	۲۲۲۸
۴	تپه‌های ماسه‌ای	۱۶۳	۱۰	دشت و مخروط‌های کوچک	۵۷۴
۵	پهنه ماسه‌ای	۱۴	۱۱	مزارع	۱۴۵۸
۶	دامنه‌های منظم	۱۶۵۴	۱۲	منطقه صنعتی	۳۴۰
	مجموع			۱۲۰۹۸	



شکل (۸) نمونه‌هایی از رخساره‌های ژئومورفیک منطقه‌ی مورد مطالعه. (۱) منطقه‌ی رسوب‌گذاری و تپه‌های ماسه‌ای، (۲) بستر آبراهه‌ها، (۳) شوره‌زار با چندضلعی‌های نمکی، (۴) منطقه‌ی برداشت، (۵) منطقه‌ی مرطوب، (۶) شوره‌زار با حفره‌های انحلالی

نتیجه‌گیری

داده‌های ماهواره‌ای، بهترین و کارآمدترین منبع اطلاعاتی برای آشکارسازی تغییرات خطوط ساحلی و نمکزار به شمار می‌روند. این داده‌ها اگر با برداشت‌های زمینی مطابقت داده شوند نتایج معتبرتری ارائه خواهند داد. با توجه به نتایج تصاویر ماهواره‌ای، سطح آب دریاچه‌ی ارومیه از ۱۹۷۶ تا ۲۰۱۵ دارای یک روند کاهشی بوده که این کاهش از ۲۰۰۰ به بعد به شکل محسوس و قابل‌ملاحظه‌ای است. این نتیجه با نتایج تحقیق مالیان و همکاران (۱۳۹۵) و اصغری زمانی (۱۳۹۲) که نشان دادند مساحت دریاچه‌ی ارومیه کاهش گسترده‌ای در سال‌های اخیر داشته است مطابقت می‌کند. علاوه بر این، نتایج استخراج نمکزار نشان داد که قوی‌ترین شاخص برای استخراج نمکزار، شاخص SI2 است به طوری که ۱۰۲ نقطه نمونه‌ی شوری را با دقت ۰/۹۷ درصد استخراج کرده است و ضعیف‌ترین شاخص، شاخص NDSI است که دارای دقت ۰/۵۲ درصد است. بر

همین اساس و مطابق با نتایج تحقیق خادمی و همکاران (۱۳۹۱) مساحت نمکزارها به طور قابل توجهی افزایش پیدا کرده است که بیشترین تغییرات آن از سال ۲۰۰۰ به بعد، به ویژه طی یک دهه اخیر روی داده است. اما تفاوت این تحقیق با مطالعات پیشین، انجام مطالعات میدانی و مقایسه آن با نتایج داده‌های سنجش از دور است. بر اساس نتایج آزمایشگاهی نمونه‌های خاک، مقدار EC در ۲۲ نمونه خاک از ۰/۹ میکروزیمنس بر متر تا ۷۸/۳۷ متغیر بوده که نشان‌دهنده تغییرپذیری زیاد شوری در منطقه است. بر اساس نقشه‌ی رخساره‌ها، محدوده‌ی مورد مطالعه دارای ۱۲ رخساره است که زمین‌های شور هزار با مساحت ۱۷۲۴ هکتار، از نظر وسعت در بین رخساره‌های محدوده، سومین رخساره می‌باشند (شکل ۷ و جدول ۶). در مجموع با روند کاهشی وسعت دریاچه‌ی ارومیه، رخساره‌ای نمکی منطقه‌ی مورد مطالعه افزایش یافته است. همبستگی میان هدایت الکتریکی سطحی نمونه‌های خاک حاصل از کارهای میدانی و آزمایشگاهی با ارزش‌های رقومی نمونه‌ها در باندهای مختلف در تصاویر ماهواره‌ای، بیشترین همبستگی را با باندهای مرئی و مادون قرمز ۱، ۲، ۳ و ۴ دارد که نشان‌دهنده‌ی این است که خاک‌های شور در نواحی مرئی و مادون قرمز بازتاب طیفی بیشتری دارند. با توجه به نتایج به دست آمده شاخص SI2 با $R^2=۹۶/۶$ دارای بالاترین ضریب تبیین برای پیش‌بینی تغییرات شوری خاک در نقاط کنترل زمینی است؛ بنابراین با توجه به نتایج تحقیق حاضر، بین داده‌های میدانی و تصاویر ماهواره‌ای همبستگی نزدیک به یک وجود دارد و مناطق شور هزار در تصاویر ماهواره‌ای و نتایج بررسی‌های میدانی با رخساره‌های شور هزار در نقشه‌ی ژئومورفیک منطقه مرتبط است. با توجه به افزایش سطح خشکی‌های شور در منطقه‌ی اطراف دریاچه، بر اثر وزش بادهای محلی به مرور اراضی زراعی و مرغوب منطقه‌ی عمومی آذربایجان به سمت شور شدن و در نهایت کویری شدن پیش می‌روند. اگر این روند به همین سرعت ادامه یابد بی‌تردید در بلندمدت می‌بایستی در انتظار بحران‌های محیط زیستی کلان در منطقه بود.

منابع

- احمدی، محمود؛ رامشت، محمدحسین و خهبات درفشی (۱۳۹۳)، بررسی روند تغییرات خط ساحلی با استفاده از تکنیک‌های سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، مطالعه موردی: ساحل شهرستان بندر دیر، خلیج فارس، جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، شماره ۳، صص ۶۳-۷۴.
- اصغری زمانی، اکبر (۱۳۹۰)، ارزیابی تغییرات سطح دریاچه ارومیه به عنوان چالش عمیق زیست محیطی فرا روی منطقه شمال غرب ایران، فصلنامه علمی- پژوهشی فضای جغرافیایی، سال سیزدهم، شماره ۴۱، صص ۷۷-۹۱.
- حسنلو، مهدی؛ جمشیدی، میثم و محمدتقی ستاری (۱۳۹۶)، تهیه نقشه‌ی شوری دریاچه ارومیه با استفاده از رگرسیون بردار پشتیبان و تصاویر لندست ۸، هیدروژئومورفولوژی، شماره ۱۴، صص ۴۳-۶۵.
- خادمی، فاطمه؛ پیرخراطی، حسین و شاه کرمی، سجاد (۱۳۹۱)، مطالعه‌ی روند افزایش خاک‌های شور اطراف دریاچه ارومیه با استفاده از GIS و RS، زمستان ۹۳، سال بیست و چهارم، شماره ۹۴، صص ۹۳ تا ۹۸.
- مالیان، عباس؛ محمدی، علی؛ علی‌محمدی، عباس و جلال ولی‌اللهی (۱۳۹۵)، آشکارسازی و پیش‌بینی روند تغییرات دریاچه ارومیه و محیط پیرامونی آن طی نیم قرن گذشته بر پایه‌ی تحلیل‌های مکان مبنای دورکاوی، هیدروژئومورفولوژی، شماره ۹، صص ۴۳-۶۲.
- Ahmadzadeh Kokya, Bahman & Ahmadzadeh Kokya, Taher (2008), **Proposing a formula for evaporation measurement from salt water resources**, HYDROLOGICAL PROCESSES. No. 22, PP. 2005-2012.
- Arkian, F; Nicholson, S.E; Ziaie, B (2016), **Meteorological factors affecting the sudden decline in Lake Urmia's water level**, Theoretical and Applied Climatology. Pp. 1-11. DOI: 10.1007/s00704-016-1992-6.
- AGH, Naser (2014), **How to save the dying Lake Urmia**, ACTA GEOLOGICA SINICA, Vol. 88, Issues, No.1, PP. 178-179.

- Abbas, A., Khan, S., Hussain, N., Hanjra, M.A., & Akbar, S. (2013), **Characterizing soil salinity in irrigated agriculture using a remote sensing approach**, Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C, 55, PP. 43-52.
- Abbas, A.a. S.K. (2007), **Using remote sensing techniques for appraisal of irrigated soil salinity**, International Congress on Modelling and Simulation of Australia and New Zealand Christchurch, New Zealand, PP. 2632-2638.
- Bagheri, M.H, Morid, S., Arshad, S. (2017), **Application of Remotely-Sensed Data to Estimate a Water Budget for Data-Scarce Endorheic Basins: A Case Study of Lake Urmia basin**, Iran, Journal of the Indian Society of Remote Sensing, Vol. 45, Issue 1, PP. 101-112, DOI: 10.1007/s12524-015-0522-9.
- Bannari, A., Guedon, A.M., El-Harti, A., Cherkaoui, F.Z., & El-Ghmari, A. (2008), **Characterization of Slightly and Moderately Saline and Sodic Soils in Irrigated Agricultural Land using Simulated Data of Advanced Land Imaging (EO-1) Sensor**, Communications in Soil Science and Plant Analysis, No.39(19-20), PP.2795-2811.
- Dalby, S & Moussavi, Z (2017), **Environmental security, geopolitics and the case of Lake Urmia's disappearance**, Global Change, Peace and Security. Vol. 29, Issue. No.1, PP. 39-55. DOI: 10.1080/14781158.2016.1228623.
- Eimanifar, A; Rezvani, S; Carapetian, J. (2006), **Genetic differentiation of Artemia urmiana from various ecological populations of Urmia Lake assessed by PCR amplified RFLP analysis**, Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, No. 333, PP. 275–285. doi:10.1016/j.jembe.2006.01.002.
- Hejazi, M.A; Khoshrouy, R; Hosseinzadeh Gharajeh, N; Etemadi, M.R; Madayen, L; Javanmard, A. (2016), **Conservation and biodiversity analysis of the microalga Dunaliella in shrinking highly saline urmia lake based on intron-sizing method**, Journal of Agricultural Science and Technology, Vol. 18, No.6, PP. 1693-1703.

- Hamzhepour, Nikou & Patrick, Bogaert (2017), **Improved spatiotemporal monitoring of soil salinity using filtered kriging with measurement errors: An application to the West Urmia Lake, Iran**, *Geoderma*, No. 295, PP. 22-33.
- Jalili, S; Hamidi, S.A; Ghanbari, R.N. (2016), **Climate variability and anthropogenic effects on Lake Urmia water level fluctuations, northwestern Iran**, *Arabian Journal of Geosciences*. PP. 1-11.
- Jalili1, Sheida; Ahmad Hamidi, Sajad; Morid, Saeed & Reza Namdar Ghanbari (2016), **Comparative analysis of Lake Urmia and Lake Van water level time series**, *Arab J Geosci*, 9: 644, DOI 10.1007/s12517-016-2657-6.
- Ji, L., Zhang, L., & Wylie, B. (2009), **Analysis of dynamic thresholds for the normalized difference water index**, *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, No. 75(11), PP. 1307-1317.
- Karimi, N; Bagheri, M.H; Hooshyaripor, F; Farokhnia, A; Sheshangosht, S. (2016), **Deriving and Evaluating Bathymetry Maps and Stage Curves for Shallow Lakes Using Remote Sensing Data**, *Water Resources Management*, Vol. 30, No.14, PP. 5003-5020. DOI: 10.1007/s11269-016-1465-9.
- Khan, N.M., Rastoskuev, V.V., Shalina, E.V., & Sato, Y. (2001, November), **Mapping salt-affected soils using remote sensing indicators—a simple approach with the use of GIS IDRISI**, In *22nd Asian Conference on Remote Sensing*, Vol. 5, P 9.
- McFeeters, S.K. (1996), **the use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features**, *International journal of remote sensing*, No.17(7), PP. 1425-1432.
- Sima, S; Ahmadalipour, A; Tajrishy, M. (2013), **Mapping surface temperature in a hyper-saline lake and investigating the effect of temperature distribution on the lake evaporation**, *Remote Sensing of Environment*, No. 136, PP. 374-385.
- Shadkam, Somayeh; Ludwig, Fulco; van Oel, Pieter; Kirmit, Çağla & Pavel, Kabat (2016), **Impacts of climate change and water resources development on the declining inflow into Iran's Urmia Lake**, *Journal*

- of Great Lakes Research, Vol. 42, Issue. 5, PP. 942–952.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.jglr.2016.07.033>.
- Shiri, J, Shamshirband, S, Kisi, O, Karimi, S, Bateni, S.M, Hosseini Nezhad, S.H, Hashemi, A (2016), **Prediction of Water-Level in the Urmia Lake Using the Extreme Learning Machine Approach**, Water Resources Management, Vol. 30, Issue. 14, PP. 5217-5229. DOI: 10.1007/s11269-016-1480-x.
- Tourian. M.J, Elmi. O, Chen. Q, Devaraju. B, Roohi. Sh & N. Sneeuw, (2015), **A spaceborne multisensor approach to monitor the desiccation of Lake Urmia in Iran**, Remote Sensing of Environment, No.156, PP.349-360.
- Taravat, A; Rajaei, M; Emadodin, I; Hasheminejad, H; Mousavian, R; Biniyaz, E. (2016), **A spaceborne multisensory, multitemporal approach to monitor water level and storage variations of lakes**, Water (Switzerland), Vol. 8, Issue. 11, Nu. 478. DOI: 10.3390/w8110478.
- Talebi, Taravat; Ramezani, Elias; Djamali, Morteza; Alizadeh Ketek Lahijani, Hamid; Naqinezhad, Alireza; Alizadeh, Kamaledin & Valerie, Andrieu-Ponel (2016), **The Late-Holocene climate change, vegetation dynamics, lake-level changes and anthropogenic impacts in the Lake Urmia region, NW Iran**, Quaternary International, No. 408, PP. 40-51.
- Zeinoddini, Mostafa; Bakhtiari, Arash & Majid Ehteshami (2015), **Long-term impacts from damming and water level manipulation on flow and salinity regimes in Lake Urmia, Iran**, Water and Environment Journal, No. 29, PP. 71–87. doi:10.1111/wej.12087.