

مطالعات جغرافیایی مناطق خشک

دوره یازدهم، شماره چهل و یکم، پاییز ۱۳۹۹

تأیید نهایی: ۱۳۹۹/۰۹/۲۰

دریافت مقاله: ۱۳۹۹/۰۱/۲۰

صص ۱۷-۲۸

بررسی تأثیر اقلیم بر تغییرات پوسته‌های نمکی با استفاده از سنجش از دور (مطالعه‌ی موردی: پوسته‌های نمکی پلایای سبزوار)

ملیحه پورعلی، مربی گروه جغرافیای طبیعی-دانشگاه فردوسی مشهد

عادل سپهر*، دانشیار گروه مدیریت منابع خشک و بیابانی-دانشگاه فردوسی مشهد

محمدحسین محمودی قرائی، دانشیار گروه زمین‌شناسی-دانشگاه فردوسی مشهد

چکیده

در این مطالعه، پنج سری از تصاویر سنسورهای لندست از جمله MSS، TM، ETM+ و OLI در فواصل زمانی نابرابر در دوره‌ی ۴۲ ساله بین سال‌های ۱۹۷۳ تا ۲۰۱۵ به منظور بررسی تغییرات فضایی و زمانی پوسته‌های نمکی در پلایای سبزوار واقع در ایران مرکزی، مورد بررسی قرار گرفت. تصاویر ماهواره‌ای لندست و مدل رقومی ارتفاعی SRTM تهیه و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. نتایج با استفاده از مشاهدات میدانی و ۸ نقطه‌ی کنترل زمینی و آزمایش کانی‌شناسی پراش اشعه‌ی ایکس مورد ارزیابی مجدد قرار گرفت. بر اساس تفاوت اختلاف بین بازتاب گروه‌های طیفی قابل مشاهده و مادون قرمز نزدیک (NIR)، یک روش قابل اطمینان به نام شاخص اختلاف استاندارد شده‌ی نمک NDSI به منظور تمایز پوسته‌های نمکی در نظر گرفته شد. نتایج نشان داد که پوسته‌های نمک در طول دوره‌ی ۴۲ ساله بین ۱۵٪ تا ۳۵٪ در تغییر بوده‌اند و این تغییرات بر مورفولوژی پلایا تأثیرگذار بوده است. بخش‌های غربی و جنوبی پلایا، بیش‌ترین گسترش سطوح نمکی را در تمام تصاویر نشان داده است. آنالیز کانی‌شناسی پراش اشعه‌ی ایکس نیز در این مناطق نشان از غالب بودن کانی‌های حالت دارد که خود حاکی از فرآیند رو به افزایش تبخیر و کاهش آب‌های زیرزمینی در منطقه‌ی مورد مطالعه در سال‌های اخیر است. در نهایت، رابطه‌ی معنادار مثبت بین گسترش پوسته‌های نمک و میانگین دما در ماه‌های مرداد طی پنج دوره‌ی متوالی ($R = 0.624$) برآورد شد. این نتیجه بیانگر گسترش پوسته‌های نمکی در دماهای بسیار بالا در طی زمان در منطقه‌ی مورد مطالعه است.

واژگان کلیدی: پلایا، NDSI، پراش اشعه‌ی ایکس، لندست، سبزوار، تصاویر ماهواره‌ای.

*Email: adelsepehr@um.ac.ir

نویسنده‌ی مسئول:

این مقاله بخشی از رساله‌ی دکتری با عنوان «تحولات ژئومورفولوژی اواخر کواترنر در پلایای سبزوار با استفاده از شواهد رسوبی و کانی‌شناسی» و تحت حمایت معاونت پژوهش و فناوری دانشگاه فردوسی مشهد با کد ۴۱۸۳۲ می‌باشد.

۱- مقدمه

پلایا^۱ به‌عنوان یک عارضه‌ی مهم ژئومورفیک در مناطق خشک و نیمه‌خشک دنیا شناخته می‌شود (Abrahams and Parsons, 1994: 674) که در غرب آمریکا (Rosen, 1991: 241)، استرالیا (Bowler, 1986: 32) و ایران (Krinsley, 1970: 320) از تنوع و تعداد بیش‌تری برخوردار است. پلایا منطقه‌ای است با تعادل آب منفی برای بیش از نیمی از سال و با خاصیت موئینگی نزدیک به سطح زمین؛ به‌طوری‌که تبخیر آب باعث خواهد شد املاح محلول در سطح رسوب کنند (Sahw and Thomas, 1989: 196). شوری و نمک‌زایی در رسوبات، یک روند دینامیکی زمانی و مکانی در مناطق خشک و نیمه‌خشک مانند پلایاست که از انباشت نمک‌های محلول در آب مانند کلریدها، سولفات‌ها و کربنات‌ها در سطح خاک و یا در آب‌های زیرزمینی تشکیل می‌شوند (Metternicht and Zinck, 1997: 2579). پوسته‌ی نمکی پلایای سبزوار که اغلب از یک لایه‌ی کلرید سدیم تشکیل شده است، شامل یک لایه‌ی جامد نمک در سطح است که متأثر از حلالیت و تبخیر بالاست.

در سال‌های اخیر، روش‌های سنجش‌از‌دور^۲ به‌طور گسترده‌ای در آشکارسازی تغییرات محیطی، از قبیل شوری‌زایی خاک، تفکیک‌پذیری و نقشه‌برداری در الگوهای مختلف طیفی و فضایی مورد استفاده قرار گرفته است (El Asmar and Hereher, 2011: 773). تفکیک طیفی به تعداد باندهای طیفی که توسط یک سنسور^۳ خاص و عرض طیف الکترومغناطیسی در هر گروه شناخته می‌شود، اشاره می‌کند؛ درحالی‌که تفکیک مکانی اشاره به ناحیه‌ای دارد که توسط یک پیکسل مشخص شده است (Nieli et al, 2007: 248). استفاده از داده‌های سنجش‌از‌دور برای مطالعه‌ی مناطق کویری و نمکی کمک می‌کند تا ارزیابی دقیق‌تری از توزیع فضایی پوسته‌های نمکی و تنوع زمانی آن‌ها فراهم گردد. از رایج‌ترین روش‌های کاربردی برای تشخیص تغییرات محیطی، تعیین نسبت باند و تفاوت باند است. در این راستا، شوری رسوبات با باندهای مختلف طیفی، نسبت‌ها و پارامترهای استخراج‌شده از تصاویر ماهواره‌ای با استفاده از شاخص‌های خاصی تشخیص داده می‌شوند (Kalra and Joshi, 1996: 3005, Khan et al, 2001: 9, Eldeiry and Garcia, 2008: 206).

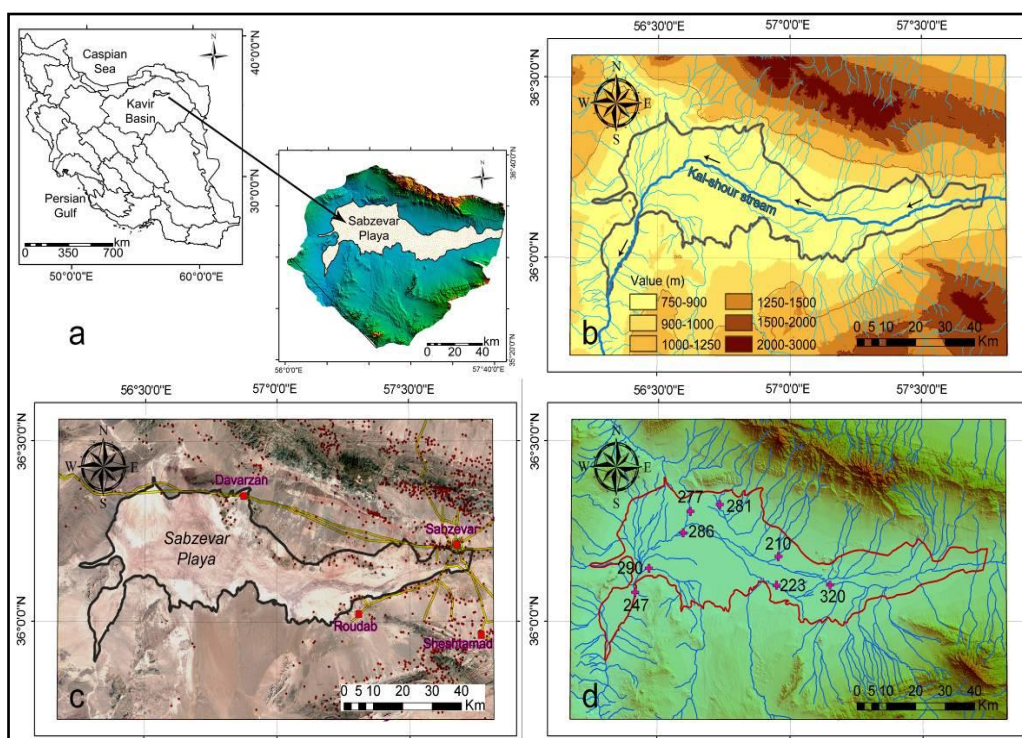
امروزه انتشار عمومی آرشیو تصاویر لندست^۴ و محصولات وابسته توسط سازمان زمین‌شناسی آمریکا^۵، نقشه‌برداری و نظارت بر داده‌های زمین را در مقیاس جهانی فراهم کرده است (Sheng et al, 2016: 138)؛ به‌عنوان مثال، تکنولوژی تصویربرداری، پردازش داده‌ها و روش‌های اشتراک‌گذاری ماهواره‌ی لندست ۸ حامل سنجنده‌ی OLI که در حال حاضر از زمان راه‌اندازی آن در فوریه‌ی ۲۰۱۳ در حال عملیات است، امکان دسترسی بیش‌تر به تصاویر با کیفیت بالا را در مقایسه با تصاویر ماهواره‌ی قبلی فراهم ساخته است (Lulla et al. 2013: 191, Roy et al, 2014: 161). هدف از انجام این تحقیق، تعیین تغییرات فضایی-زمانی پوسته‌های نمکی پلایای سبزوار در یک دوره‌ی ۴۳ ساله با استفاده از تصاویر ماهواره‌ی لندست و مدل ارتفاعی رقومی SRTM و بررسی علل این تغییرات در گذر زمان توسط اقلیم منطقه است. بررسی‌ها نشان می‌دهد آشکارسازی تغییرات می‌تواند مبنایی برای پیش‌بینی تغییرات قرار گیرد و با استمداد از تصاویر ماهواره‌ی لندست می‌توان بسیاری از قلمروهای دیرینه‌ی کواترنر را شناسایی و بازسازی کرد.

۲- منطقه‌ی مورد مطالعه

پلایای سبزوار بخشی از کویر بزرگ ایران مرکزی است (Kearey, 2009: 736). این پلایا به‌عنوان منطقه‌ی مورد مطالعه در شرق حوضه‌ی کویر بزرگ با مساحت حدود ۲۶۴۸ کیلومترمربع و بین عرض جغرافیایی 35°55'-36°25'

-
- 1- Playa
 - 2- Remote sensing (RS)
 - 3- sensor
 - 4- Landsat
 - 5- USGS

شمالی و طول جغرافیایی $56^{\circ}15' - 57^{\circ}45'$ شرقی واقع شده است (شکل ۱؛ a). میانگین مقادیر ارتفاع توپوگرافی منطقه، بین ۷۵۰ و ۹۰۰ متر بالاتر از سطح دریاهای آزاد است (شکل ۱؛ b). رسوبات تبخیری و پوسته‌های نمکی، بیانگر رسوبات متعلق به دوره‌ی کواترنری در پلایا است (Survey of Geology of Iran, 2005). زمین‌شناسی اطراف پلایا نیز شامل سنگ‌های افیولیت، اولترابازیک و سنگ‌های آهکی پلاژیک است. منطقه‌ی مورد مطالعه با بارش سالانه ۱۵۰-۲۰۰ میلی‌متر و متوسط دمای سالانه ۱۶-۱۷ درجه‌ی سانتی‌گراد، دارای آب‌وهوای نیمه‌خشک است (Hijmans et al, 2005: 25). همچنین سکونتگاه‌های انسانی مانند نقاط شهری و روستایی به‌علاوه خطوط ارتباطی جاده‌ای بر روی تصویر ماهواره‌ای نشان داده شده است (شکل ۱؛ c). بر این اساس، چهار شهر با عنوان سبزوار، داورزن، روداب و ششتمد با کل جمعیت ۲۵۵۰۰۰ و حدود ۴۰ روستا با مجموع جمعیت ۳۵۰۰۰ در محدوده‌ی مطالعاتی و حاشیه‌ی شمالی آن پراکنده می‌باشند.



شکل ۱: اطلاعات پایه‌ای محدوده‌ی مورد مطالعه (a) موقعیت عمومی منطقه (b) نقشه‌ی مدل ارتفاعی رقومی (c) توزیع نقاط شهری و روستایی (d) توزیع نمونه‌های کنترل زمینی

۳- مواد و روش‌ها

۳-۱- فراهم‌سازی داده‌ها

به منظور تهیه‌ی تصاویر ماهواره‌ای منطقه‌ی مورد مطالعه، داده‌های ماهواره‌ای از آرشیو لندست اداره‌ی زمین‌شناسی ایالات متحده جمع‌آوری شده است. اطلاعات جمع‌آوری شده شامل سنجنده‌ی MSS ماهواره‌های لندست ۱ تا ۵ (1972-1999)، سنجنده‌ی TM ماهواره‌های لندست ۴ تا ۵ (1982-2012)، سنجنده‌ی ETM+ ماهواره‌ی لندست ۷ از ۱۹۹۹ تاکنون و سنجنده‌های OLI و TIRS ماهواره‌ی لندست ۸ از ۲۰۱۳ تاکنون بوده است که در آرشیوهای اداره‌ی زمین‌شناسی آمریکا بارگذاری شده‌اند (جدول ۱) و می‌توان با استفاده از نرم‌افزار برخط

EarthExplorer به‌عنوان یک رابط کاربری گرافیکی برای تعریف مناطق موردعلاقه یا نرم‌افزار برخط GloVis به‌عنوان یک جستجوگر فضایی در ابعاد بین‌المللی در دسترس قرار گیرند.

جدول ۱: اطلاعات و مشخصات تصاویر ماهواره‌ای لندست مورد استفاده

Acquisition Date	Satellite	Sensor
August 09, 1973	Landsat 1	MSS
August 19, 1987	Landsat 5	TM
August 30, 2000	Landsat 7	ETM+
August 15, 2009	Landsat 5	TM
August 16, 2015	Landsat 8	OLI-TIRS

اصلاح رادیومتری و اتمسفری در نرم‌افزار ENVI (v:5.3) انجام شد. داده‌ها از لحاظ هندسی به مختصات UTM^۷ در زون شمالی ۴۰ و با استفاده از نقاط کنترل زمینی به‌طور مساوی بر مبنای تصویر لندست ۸ مربوط به سال ۲۰۱۵ کنترل شدند. تصاویر مربوط به تاریخ‌های دیگر هم بر مبنای تصویر سال ۲۰۱۵ اصلاح هندسی شدند. دقت ثبت تصویر به کم‌تر از ۰٫۵ رسید. همچنین از نظر رادیومتری، تمامی تصاویر لندست برای مقیاس‌های بازتابی کالیبراسیون شدند. پوسته‌های نمکی و رسوبات شور دارای انعکاس بالا در محدوده‌ی طیفی قابل‌مشاهده با آلبدو بالا هستند که می‌تواند با شاخص روشنایی تصاویر هم مرتبط باشد (Elnaggar and Noller, 2009: 157)؛ به‌عنوان مثال، هالیت خالص^۸ شفاف است و ترکیب شیمیایی و ساختار آن باعث جذب باندهای مادون قرمز قابل‌مشاهده و نزدیک می‌شود (Metternicht and Zinck, 2003: 2574). با توجه به بافت صاف پوسته‌های نمکی، آن‌ها می‌توانند بازتابی بالا را در باند طیفی قابل‌مشاهده و NIR نشان دهند (Rao et al, 1995: 2129). بر این اساس می‌توان گفت که پوسته‌های نمکی و خاک شور به شدت در باندهای قابل‌مشاهده و مادون قرمز نزدیک NIR منعکس می‌شود (Schmid et al, 2008: 121). بر اساس تفاوت بازتاب بین باندهای طیفی قابل‌مشاهده و NIR، یک روش قابل‌اعتماد به نام شاخص NDSI توسط خان و همکاران پیشنهاد شده است (Khan et al, 2005: 98) که به تشریح پوسته‌های نمک در تصاویر ماهواره‌ای می‌پردازد و مشابه آن را می‌توان در شاخص NDVI مشاهده کرد. شاخص NDSI بر اساس معادله‌ی زیر محاسبه می‌شود:

$$\text{NDSI} = \frac{R - \text{NIR}}{R + \text{NIR}} \quad \text{رابطه‌ی ۱}$$

که در آن R، باند قرمز قابل‌مشاهده (باند ۳ در ETM) و NIR، باند مادون قرمز نزدیک (باند ۴ در ETM) است. علاوه بر این، ارزیابی دقت روش NDSI با معیارهای مختلف از جمله دقت کلی و ضریب کاپا مورد ارزیابی قرار گرفت. بر این اساس، دقت کلی و ضریب کاپا به ترتیب در جدول ۲ برآورد شده است که قابل‌قبول می‌باشند. با توجه به حلالیت زیاد نمک‌ها، بارندگی جوی و رطوبت می‌تواند صحت توزیع موقعیت مناطق نمکی را تحت تأثیر قرار دهد؛ بنابراین برای حذف خطای ناشی از بارش، تمام تصاویر ماهواره‌ای در گرم‌ترین و خشک‌ترین ماه سال؛ یعنی مردادماه انتخاب شدند.

جدول ۲: میزان دقت کلی و ضریب کاپا در این تحقیق

سال	۱۹۷۳	۱۹۸۷	۲۰۰۰	۲۰۰۹	۲۰۱۵
دقت کلی	۳۲/۸	۲۳/۳	۲۸/۲	۳۴/۸	۱۴/۷
دقت کاپا	۳۵/۲	۲۵/۶	۳۰/۳	۳۶/۹	۱۶٫۲

7- Universal Transverse Mercator

8- NaCl

سپس طبقه‌بندی حداکثر احتمال برای طبقه‌بندی NDSI بر اساس نمونه‌های زمینی اعمال شد. بدین منظور، ۸ نمونه در امتداد سطح پلایا در نظر گرفته شد (شکل ۱؛ d) و نقاط با استفاده از دستگاه سیستم موقعیت‌یاب جهانی^۹ مدل گرمین ثبت گردیدند. نمونه‌ها در آزمایشگاه خاک دانشکده‌ی منابع طبیعی و محیط زیست دانشگاه فردوسی مشهد مورد آنالیز کانی‌شناسی به وسیله‌ی دستگاه پراش اشعه‌ی ایکس^{۱۰} مدل ساخت (GNR) (EXPLORER) در محدوده‌ی ۳ تا ۶۰ درجه، اندازه‌گیری شده و کانی‌ها با استفاده از پیک‌های مشخص آن‌ها در طیف نرمال شناسایی و فراوانی نسبی آن‌ها با استفاده از سطح زیر منحنی در الگوهای پراش اشعه‌ی ایکس برآورد شد. هدایت الکتریکی^{۱۱} نیز با استفاده از دستگاه هدایت سنج الکتریکی مدل ساخت (Jenway Inc, England) در نسبت ۵: ۱ آب به رسوب اندازه‌گیری و تصحیحات لازم برای دمای ۲۵ درجه‌ی سانتی‌گراد انجام گرفت.

۴- بحث و نتایج

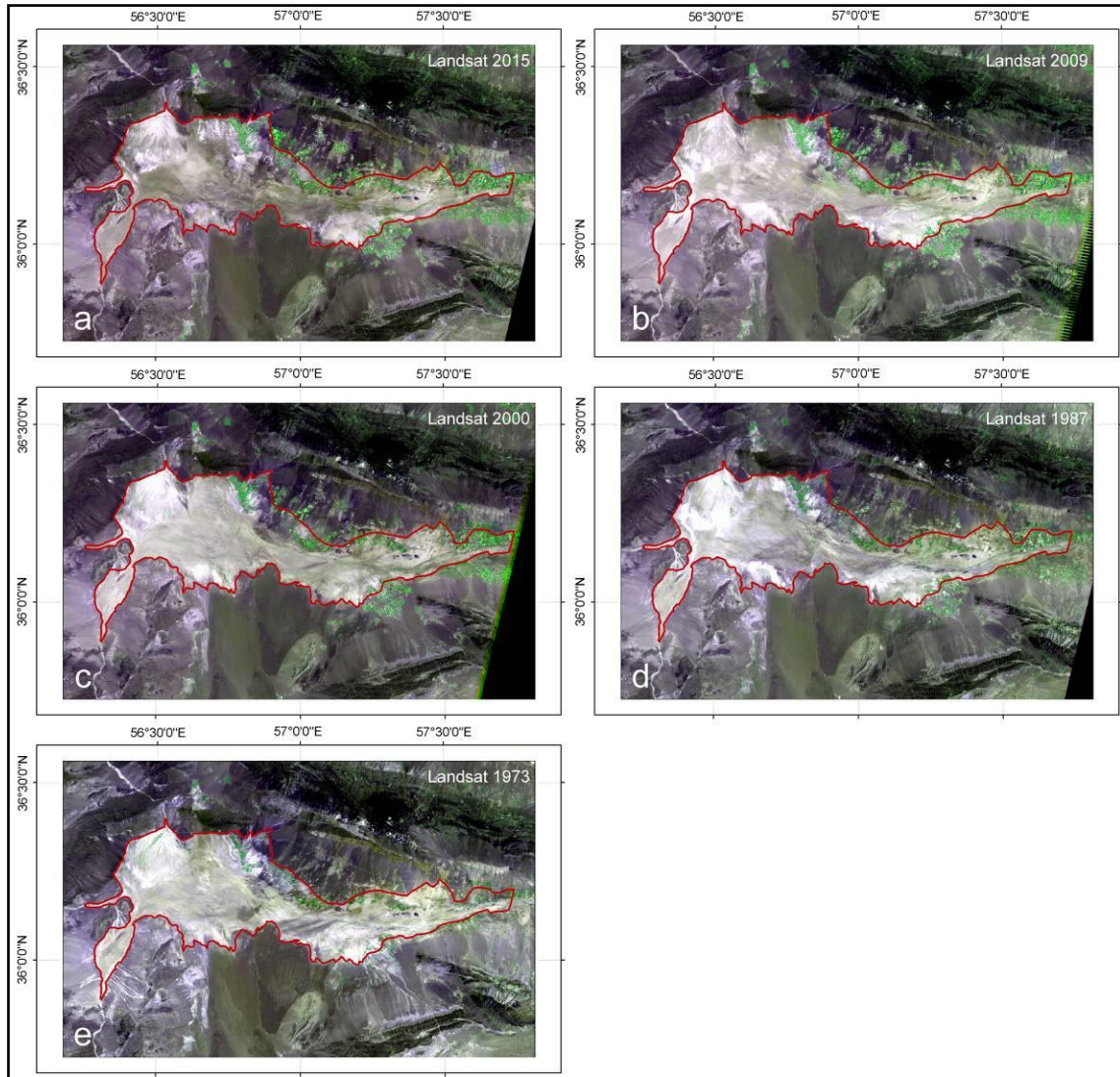
۴-۱- صحت‌سنجی داده‌ها

این مطالعه، تصاویر لندست را در ترکیب با مشاهدات میدانی برای تحلیل مورفودینامیکی فضایی و زمانی پوسته‌های نمکی پلایا سبزوار بررسی می‌کند. قبل از طبقه‌بندی پوسته‌های نمکی در تصاویر ماهواره‌ای، جداسازی کلاس‌های هدف تشخیص پهنه‌ها ضروری است (Li et al, 2014: 10136). در گام نخست، تصاویر لندست توسط نرم‌افزار ENVI تولید شدند. همان‌طور که در شکل ۲ و ۳ نشان داده شده است، تصاویر با ترکیب رنگ واقعی (RGB) و رنگ ترکیب‌شده‌ی NDSI برای تشخیص پوسته‌های نمکی تولید شدند. در شکل ۳ طبقه‌بندی شوری رسوبات در پنج کلاس نشان داد که آخرین کلاس با مقدار ۰٫۸ تا ۱ مربوط به هالیت خالص و پوسته‌ی نمک با سطح اطمینان ۹۵٪ برای هر پنج توالی زمانی مورد مطالعه است.

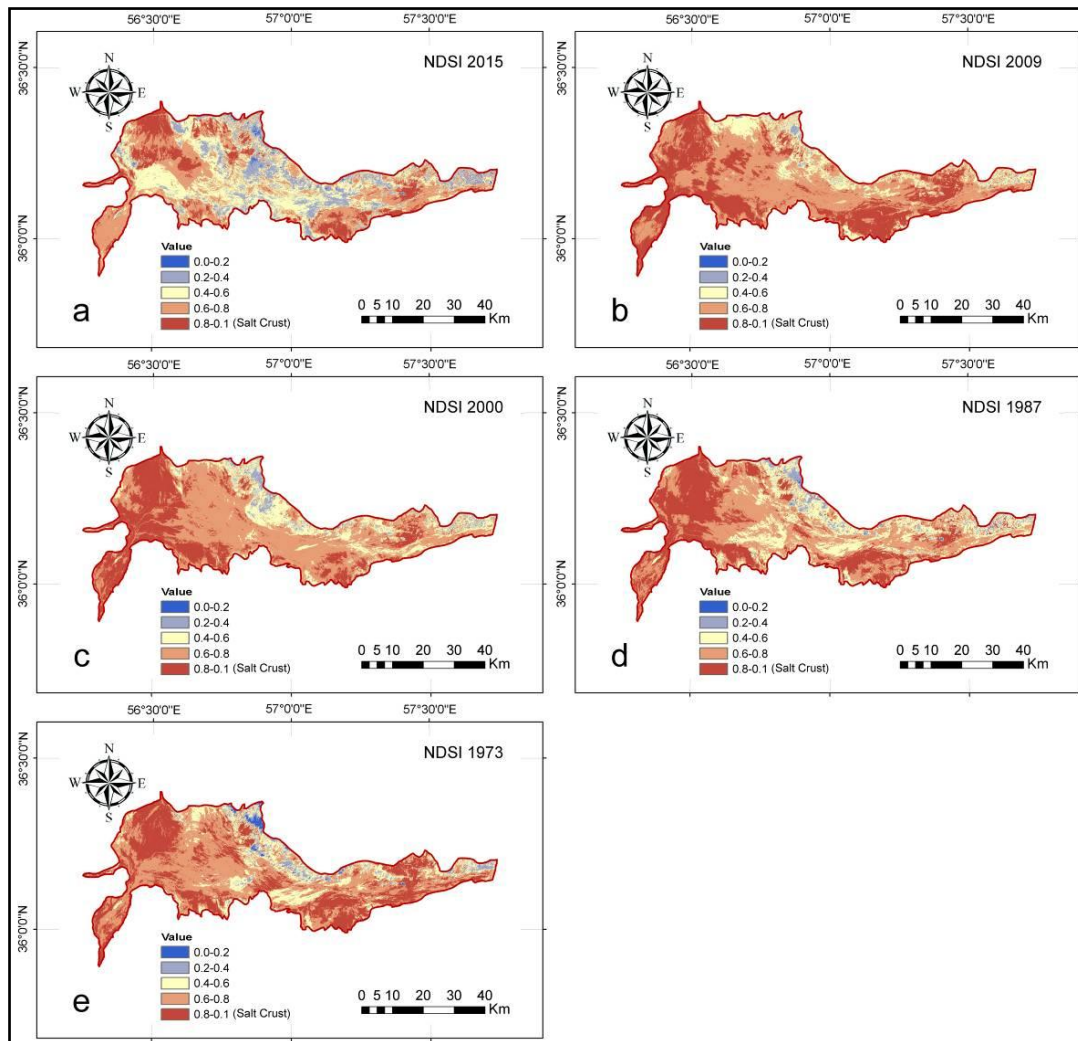
9- Global positioning system (GPS)

10- X-Ray Diffraction (XRD)

11- Electrical Conductivity (EC)



شکل ۲: تصاویر ماهواره‌ای لندست برای (a) سال ۲۰۱۵ (b) سال ۲۰۰۹ (c) سال ۲۰۰۰ (d) سال ۱۹۸۷ و (e) سال ۱۹۷۳



شکل ۳: تصاویر ترکیب‌شده‌ی NDSI برای (a) سال ۲۰۱۵ (b) سال ۲۰۰۹ (c) سال ۲۰۰۰ (d) سال ۱۹۸۷ و (e) سال ۱۹۷۳

بر اساس نقشه‌های طبقه‌بندی ذکرشده، سطوح غنی از نمک و پوسته‌های نمکی برآورد شده است. بر این اساس، شوری رسوبات طی پنج دوره‌ی زمانی ۴۲ ساله تغییر یافته است و مناطق پوسته‌ی نمک در کلاس‌های NDSI برای تصاویر ماهواره‌ای سال‌های ۱۹۷۳، ۱۹۸۷، ۲۰۰۰، ۲۰۰۹ و ۲۰۱۵ برابر با ۳۲٫۸، ۲۳٫۳، ۲۸٫۲، ۳۴٫۸ و ۱۴٫۷ درصد از کل پلایا محاسبه و در جدول ۳ نمایش داده شده‌اند. پوسته‌ی نمکی نسبت به کل منطقه‌ی مورد مطالعه در طول ۴۲ سال از ۱۵ درصد تا ۳۵ درصد افزایش داشته است.

جدول ۳: توزیع سطوح و پوسته‌های نمکی بر اساس تحلیل تصاویر ماهواره‌ای لندست در منطقه

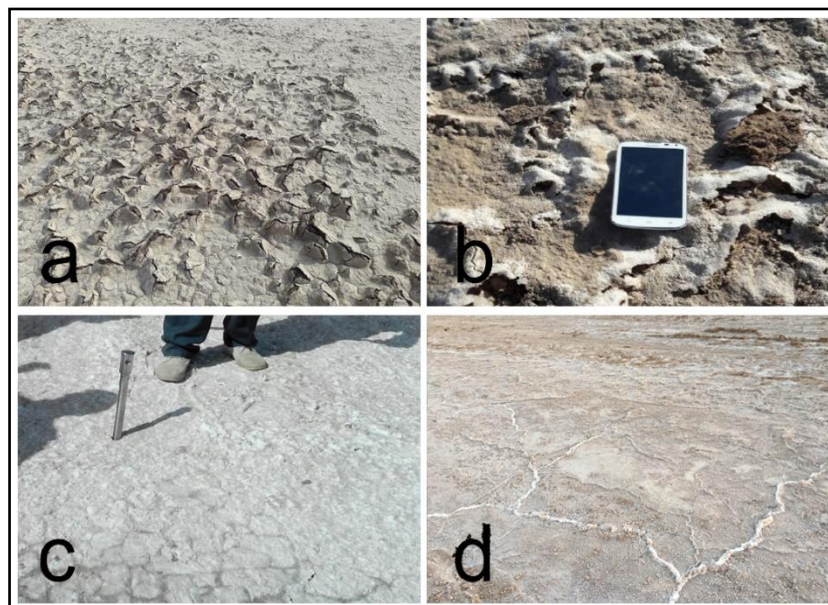
تاریخ	سطوح نمکی	
	Km ²	%
مرداد ۱۹۷۳	۸۶۸/۵	۳۲/۸
مرداد ۱۹۸۷	۶۱۷/۰	۲۳/۳
مرداد ۲۰۰۰	۷۴۶/۷	۲۸/۲
مرداد ۲۰۰۹	۹۲۱/۵	۳۴/۸
مرداد ۲۰۱۵	۳۸۹/۳	۱۴/۷

۲-۴- مطالعات میدانی

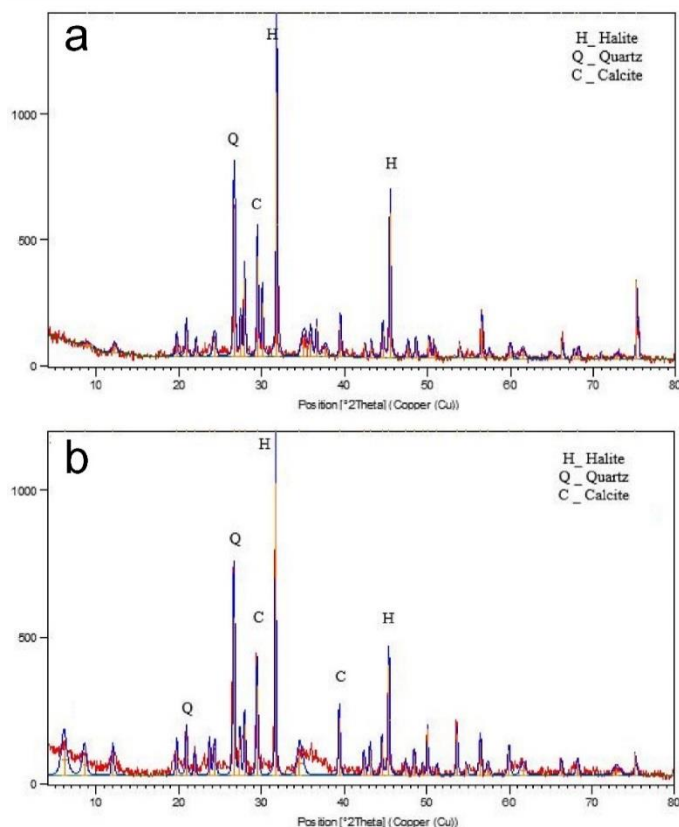
طبق مطالعات میدانی مشاهده شد که بخش‌های غربی و جنوبی پلایا، بیش‌ترین توزیع پوسته‌های نمکی را نسبت به دیگر مناطق پلایا دارند. با توجه به نتایج آزمایش پراش اشعه‌ی ایکس که برای ۸ نمونه رسوب برداشت‌شده از مناطق مختلف پلایا (جدول ۴) انجام شده است. کانی غالب نمونه‌ها در قسمت‌های جنوبی و غربی پلایا (به‌عنوان مثال در اطراف نمونه‌های شماره‌ی ۲۲۳ و ۲۹۰) هالیت است که نشان‌دهنده‌ی فرآیند غالب تبخیر در منطقه است (شکل ۴ و ۵). همچنین میانگین مقادیر هدایت الکتریکی در تمام نمونه‌های پهنه‌ی غربی منطقه، بیش از ۲۵ دسی زیمنس محاسبه شده که نشان‌دهنده‌ی شوری بالاست؛ درحالی‌که سایر کانی‌های تشخیص داده‌شده در قسمت‌های شرقی و شمالی پلایا (به‌عنوان مثال نمونه‌های ۲۱۰ و ۲۸۱) شامل کلسیت، کوارتز و ژیپس به همراه هالیت است. بخش‌های انتهایی زهکش رودخانه‌ی کال شور در جنوب غربی پلایا را نیز دریاچه‌ی نمکی تشکیل می‌دهد. با توجه به مشاهدات میدانی به نظر می‌رسد که کفه‌های رسی در قسمت شمالی و شمال غربی پلایا واقع در انتهایی‌ترین قسمت مخروط افکنه، در طول ۴۲ سال تحت تأثیر سیلاب‌های موقتی و یا رخداد توفان‌های ماسه به وجود آمده است.

جدول ۴: درصد فراوانی نسبی کانی‌ها در نمونه‌های سطحی پلایای سبزوار

شماره	کد نمونه	هالیت	کوارتز	ژیپس	کلسیت	هدایت الکتریکی (dS/m^{-1})
۱	۲۱۰	۱۹/۲	۳۴/۰۴	-	۱۲/۳۱	۴/۰۶
۲	۲۲۳	۵۴/۲	۲۶/۲۴	-	۱۹/۰۶	۰/۴۹۴
۳	۲۴۷	۱۲/۴	۲۶/۱	۲۱/۲۸	-	۳۷/۲۳
۴	۲۷۷	۲۴/۸۹	۲۶/۷۵	-	۲۱/۸۱	۳۴/۲
۵	۲۸۱	۱۱/۱	۳۴/۳	۱۳	۱۵/۱	۸/۹۸
۶	۲۸۶	۴۲/۷۶	۳۰/۳۹	-	۱۶/۷۵	۱۵/۵۱
۷	۲۹۰	۲۹/۶۱	۲۹	-	۱۸/۴	۳۳/۶۶
۸	۳۲۰	۳۹	۳۵/۸	-	۲۵/۲	۲۶/۸۰



شکل ۴: سیمای عمومی سطوح پلایا (a) رس‌های نرم پف‌کرده (b) و (c) پوسته‌های نمکی (d) پلی‌گون‌های نمکی



شکل ۵: گرافهای پراش اشعه‌ی ایکس کانی هالیت در پلاپای سبزوار برای نمونه‌های (a) شماره‌ی ۲۲۳ (b) شماره‌ی ۲۹۰

۴-۳- تولید همبستگی داده‌ها

تغییر و گرم شدن اقلیم و تأثیر آن بر کاهش سطح ایستایی آبخوان‌های سطحی ممکن است باعث حرکات کند آب‌های زیرزمینی، عمل ضعیف موینگی و تخریب پوسته‌های نمکی در طی سال‌های اخیر تا سال ۲۰۱۵ باشد. برای ارائه‌ی یک مدل اقلیمی منطقی بر تغییرات پوسته‌ی نمک، یک آزمون همبستگی بین سطوح غنی از نمک و داده‌های محلی بارش و میانگین دما انجام شد. بدین منظور، داده‌های ماهانه‌ی مردادماه در طول پنج سال بر اساس داده‌های بلندمدت اقلیمی ایستگاه سینوپتیک سبزوار طی دوره‌ی زمانی ۱۹۵۱-۲۰۱۵ (Iranian Meteorological Organization, 2015) به دست آمد (جدول ۵)؛ سپس تجزیه و تحلیل آماری با استفاده از آزمون پیرسون^{۱۲} با احتمال بالای ۹۵ درصد برای نشان دادن همبستگی بین گسترش پوسته‌های نمکی و دو پارامتر آب و هوایی دما و بارش در پنج بازه‌ی زمانی انجام شد (جدول ۶). نتایج نشان داد که رابطه‌ی معناداری بین میزان گسترش پوسته‌ی نمک و میانگین دمای مردادماه در طول پنج بازه‌ی زمانی وجود دارد ($R = 0.624$)؛ از این رو، پوسته‌ی نمک در مردادماه در منطقه‌ی مورد مطالعه گسترش بیشتری می‌یابد، اما به موازات رابطه‌ی معناداری بین گسترش پوسته‌ی نمک و بارش در ماه‌های مرداد طی پنج دوره‌ی زمانی مشاهده نشد ($R = 0.360$)؛ در نتیجه، گسترش پوسته‌ی نمک با رویدادهای بارش ارتباطی ندارد.

جدول ۵: داده‌های اقلیمی منطقه بر مبنای ایستگاه سینوپتیک سبزوار

Date	Temperature [°C]	Precipitation [mm]
August 1973	31/5	0/9
August 1987	29/7	1/3
August 2000	29/9	1/0
August 2009	30/1	½
August 2015	29/6	0/7

جدول ۶: ضریب همبستگی پیرسون بین پوسته‌های نمکی و پارامترهای اقلیمی

Parameters	Pearson Test	Precipitation	Temperature	Salt Crusts
Precipitation	R	1	-0/290	0/360
	Sig.		0/636	0/551
	N	5	5	5
Temperature	R	-0/290	1	0/624
	Sig.	0/636		0/261
	N	5	5	5
Salt Crusts	R	0/360	0/624	1
	Sig.	0/551	0/261	
	N	5	5	5

(N: تعداد بازه‌های زمانی؛ Sig: معناداری و R: ضریب همبستگی)

۵- نتیجه‌گیری

در این تحقیق، پنج بازه‌ی زمانی سنجنده‌های ماهواره‌ی لندست در سال‌های ۱۹۷۳، ۱۹۸۷، ۲۰۰۰، ۲۰۰۹ و ۲۰۱۵ برای بررسی تغییرات مکانی و زمانی پوسته‌های نمک در پلاهای سبزوار واقع در ایران مرکزی استخراج شدند. برای تصحیح خطاهای هندسی و رادیومتری از تصاویر ماهواره‌ای خام، اصلاحات هندسی به‌طور خودکار با استفاده از نرم‌افزار ENVI و بر مبنای مدل ارتفاعی رقومی انجام شد. با توجه به انعکاس بالا در باندهای طیفی قابل‌مشاهده و NIR برای پوسته‌های نمکی، یک روش قابل‌اعتماد به نام روش NDSI تولید شد. ارزیابی صحت روش NDSI با دقت کلی به ترتیب ۳۲،۳، ۲۳،۳، ۲۸،۲ و ۳۴،۸، ۱۴،۷ درصد و ضریب کاپا ۳۵،۲، ۲۵،۶، ۳۰،۳، ۳۶،۹ درصد برای تمام بازه‌های زمانی ارزیابی شد. سطوح پوسته‌ی نمکی در کلاس‌های NDSI برای تصاویر ماهواره‌ای سال‌های ۱۹۷۳، ۱۹۸۷، ۲۰۰۰، ۲۰۰۹ و ۲۰۱۵ به ترتیب برابر با ۳۲،۳، ۲۳،۳، ۲۸،۲، ۳۴،۸ و ۱۴،۷ درصد از کل سطح پلایا به دست آورده شد که نشان‌دهنده‌ی روند افزایشی از ۱۵ درصد تا ۳۵ درصد در کل پلایا به‌خصوص در بخش‌های غربی و جنوبی آن است. با توجه به نتایج آزمایش پراش اشعه‌ی ایکس، کانی اصلی نمونه‌های رسوبی برداشت‌شده در این قسمت از پلایا، کانی هالیت بوده که نشان‌دهنده‌ی فرآیند غالب تبخیر در منطقه است. با بررسی مشاهدات میدانی به نظر می‌رسد که سطوح غنی از رسوبات رسی در قسمت شمالی و شمال غربی منطقه در طول زمانی ۴۲ ساله تحت تأثیر سیلاب، توفان‌های ماسه‌ای و یا افزایش فعالیت‌های کشاورزی رخ داده باشد. همچنین، تجزیه‌وتحلیل آماری توسط آزمون پیرسون برای نشان دادن ضریب همبستگی بین گسترش پوسته‌های نمکی و پارامترهای آب و هوایی در پنج بازه‌ی زمانی صورت گرفت. نتایج نشان داد که رابطه‌ی معناداری بین میزان گسترش پوسته‌ی نمکی و میانگین دمای ماه‌های مرداد در طول پنج بازه‌ی زمانی وجود دارد ($R = 0.624$)؛ ازاین‌رو، پوسته‌های نمک در مردادماه به‌عنوان خشک‌ترین ماه در منطقه‌ی مورد مطالعه، در دمای بسیار بالا گسترش می‌یابند. پیش‌بینی می‌شود که گسترش پوسته‌های نمکی در آینده و در شرایط گرم شدن کره‌ی زمین در این منطقه افزایش یابد. همچنین به نظر می‌رسد علاوه بر مشاهدات میدانی، سنجش از راه دور برای پایش سطوح ژئومورفیک پلایا همچون سطوح نمکی، به منظور شناخت مورفودینامیک زمانی و مکانی آن‌ها روش قابل‌قبولی باشد.

۶- قدردانی

نگارندگان از آقای مهندس مهدی مرادی، کارشناس ارشد سنجش‌ازدور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، قدردانی می‌کنند.

۷- منابع

1. Abrahams AD, Parsons AJ (1994). *Geomorphology of Desert Environments*, 1st ed. Champan and Hall, London. 674 p.
2. Ahmadi H (1998). *Applied geomorphology, soil erosion*. Publication of University of Tehran. Tehran, pp 580 (In Persian).
3. Allbed A, Kumar M (2013). Soil salinity mapping and monitoring in arid and semi-arid regions using remote sensing technology: a review. *Advances in Remote Sensing*, 2: 373-385.
4. Bowler JM (1986). Spatial variability and hydrologic evolution of Australian lake basins: analogue for Pleistocene hydrologic change and evaporite formation. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 54: 21- 41.
5. Briere PR (2000). Playa, Playa-lake, Sabkha: Proposed definitions for old terms. *Journal Arid Environments*, 45: 1-7.
6. Canton Y, Sole-Benet A, Lazaro R (2003). Soil-geomorphology relations in gypsiferous materials of the Teberans Desert (Almaria, SE Spain). *Geoderma* 115: 193-222.
7. Csillag F, Pásztor L, Biehl LL (1993). Spectral band selection for the characterization of salinity status of soils. *Remote Sens. Environ.* 43: 231-242.
8. Dewidar KM, Frihy OE (2010). Automated techniques for quantification of beach change rates using Landsat series along the North-eastern Nile Delta, Egypt. *Journal of Oceanography and Marine Science*, 1(2): 28-39.
9. El Asmar HM, Hereher ME (2011). Change detection of the coastal zone east of the Nile Delta using remote sensing. *Environmental Earth Sciences*, 62(4): 769-777.
10. Eldeiry AA, Garcia LA (2008). Detecting soil salinity in alfalfa fields using spatial modeling and remote sensing. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 72(1): 201-211.
11. Elnaggar AA, Noller JS (2009). Application of remote- sensing data and decision-tree analysis to mapping salt- affected soils over large areas. *Remote Sensing* 2(1): 151-165.
12. Geological Survey of Iran (2005). Geological sheets of 7262 (Abbas-Abad), 7362 (Davazan), 7462 (Bashtin), and 7562 (Sabzevar), Scaled at 1:100,000.
13. Glennie KW (1978). Desert sedimentary environments. In: R. W. Fairbridge, J. Bourgeois (eds.), *the Encyclopedia of Sedimentology*. Dowden, Hutchinson and Ross, Stroudsburg, 247-251.
14. Hijmans RJ, Cameron SE, Parra JL, Jones PG, Jarvis A (2005). Very High Resolution Interpolated Climate Surfaces for Global Land Areas. *International Journal of Climatology*, 25(15): 1965-1978.
15. Iranian Meteorological Organization (2015). Climatic data of Sabzevar Synoptic Station (1957–2017). <http://www.irimo.ir>. Accessed 2015
16. Kalra NK, Joshi DC (1996). Potentiality of Landsat, SPOT and IRS satellite imagery, for recognition of salt affected soils in Indian Arid Zone. *Int. J. Remote Sens.* 17(15): 3001-3014.
17. Kearey P (2009). *The Encyclopedia of the Solid Earth Sciences*. John Wiley and Sons, pp 736.
18. Khan NM, Rastoskuev VV, Sato Y, Shiozawa S (2005). Assessment of hydrosaline land degradation by using a simple approach of remote sensing indicators. *Agricultural Water Management*, 77(1): 96-109.

19. Khan NM, Rastoskuev VV, Shalina EV, Sato Y (2001). Mapping salt-affected soils using remote sensing indicators—a simple approach with the use of GIS IDRISI. Paper presented at the 22nd Asian Conference on Remote Sensing 5: 9.
20. Krinsley DB (1970). A geomorphological and paleoclimatological study of the playas of Iran. Geological survey of United States Department of Interior, Washington DC, pp 320.
21. Li J, Menenti M, Mousivand A, Luthi SM (2014). Non-Vegetated Playa Morphodynamics Using Multi-Temporal Landsat Imagery in a Semi-Arid Endorheic Basin: Salar de Uyuni, Bolivia. *Remote Sensing*, 6: 10131-10151.
22. Lulla K, Duane Nellis M, Rundquist B (2013). The Landsat 8 is ready for geospatial science and technology researchers and practitioners. *Geocarto International*, 28: 191.
23. Metternicht G, Zinck JA (1997). Spatial discrimination of salt- and sodium-affected soil surfaces. *Int. J. Remote Sens.* 18: 2571-2586.
24. Metternicht G, Zinck JA (2003). Remote sensing of soil salinity: potentials and constraints. *Remote Sens. Environ.* 85: 1-20.
25. Nield SJ, Boettinger JL, Ramsey RD (2007). Digitally Mapping Gypsic and Natric Soil Areas Using Landsat ETM Data. *Soil Science Society of America Journal*, 71(1): 245-252.
26. Rao BRM, Sharma RC, Ravi Sankar T, Das SN, Dwivedi RS, Thammappa SS, Venkataratnam L (1995). Spectral Behaviour of Salt-Affected Soils. *International Journal of Remote Sensing*, 16(12): 2125-2136.
27. Rosen MR (1991). Sedimentologic and geochemical constrains on the hydrologic evolution of Bristol Dry Lake, California, USA. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 84: 229-257.
28. Roy DP, Wulder M, Loveland T, Woodcock C, Allen R, Anderson M, Helder D, Irons JR, Johnson DM, Kennedy R, Scambos TA, Schaff CB, Schott JR, Sheng Y, Vermote EF, Belward AS, Bindschadler R, Cohen WB, Gao F, Hipple JD, Hostert P, Huntington J, Justice CO, Kilic A, Kovalsky V, Lee ZP, Lymburner L, Masek JG, McCorKel J, Shuai Y, Trezza R, Vogelmann J, Wynne RH, Zhu Z (2014). Landsat-8: Science and product vision for terrestrial global change research. *Remote Sensing of Environment*, 145, 154-172.
29. Shaw, P., Thomas, D.S.G. (1989). Playas, pans and salt lakes. *Journal of Arid environments*, 184-205
30. Schmid T, Koch M, Gumuzzio J (2008). Application of hyperspectral imagery to soil salinity mapping,” In: G. Metternicht and J. Zinck, (Eds.), *Remote sensing of soil salinization: impact on land management*, CRC Press, Boca Raton, pp. 113-137.
31. Sheng Y, Song C, Wang J, Lyons EA, Knox BR, Cox JS, Gao F (2016). Representative lake water extent mapping at continental scales using multi-temporal Landsat-8 imagery. *Remote Sensing of Environment*, 185: 129-141.
32. Statistical Centre of Iran (2016). Macro results of statistical survey. <http://www.amar.org.ir>. Accessed 2016.