

نقشه برداری نیمه تفصیلی سطوح پلایایی غرب دریاچه ارومیه و نقش آن‌ها در تولید ریزگردها

شهاب‌الدین گرمه‌ای^۱، مصطفی کریمیان اقبال^۲، نیکو حمزه‌پور^{۳*}

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۱/۲۱)

(تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۲/۰۹)

چکیده

پسروی سواحل دریاچه‌ها و در معرض فرسایش بادی قرار گرفتن رسوبات بستر، در نتیجه تغییرات اقلیمی و کاهش بارندگی، پدیده‌ای خطرناک در مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان می‌باشد. ریزگردهای ایجاد شده از چنین محیط‌هایی، اغلب شور بوده و اثرات زیست‌محیطی مخرب متعددی از جمله شور شدن زمین‌های کشاورزی و تشدید جنگل‌زدایی را دارند. اهداف پژوهش حاضر عبارت از مطالعه سطوح پلایایی غرب دریاچه ارومیه و بررسی پتانسیل تولید گردوغبار توسط این سطوح بود. بدین منظور تمام اراضی برجای مانده از پسروی دریاچه ارومیه در حاشیه غربی انتخاب گردیدند. با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و نرم‌افزار گوگل ارث، سطوح پلایایی مختلف شکل گرفته، جداسازی شده و مرزهای ترسیم شده این سطوح با مرزهای واقعی در صحرا مطابقت داده شدند. سپس ۱۳۰ نمونه خاک از عمق ۰ تا ۵ سانتی‌متری سطوح مختلف در طول فصل‌های بهار و تابستان ۱۳۹۸ برداشته شدند و خصوصیات فیزیکوشیمیایی، میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها (MWD) و درصد مواد سست فرسایش‌پذیر (LEM) اندازه‌گیری شدند و در نهایت نقشه سطوح پلایایی در نرم‌افزار ArcGIS تهیه گردید. براساس نتایج حاصل از این پژوهش، هفت سطح مختلف پلایایی در منطقه مطالعاتی شناسایی شد که شامل سطوح رسی، سطوح رسی-نمکی، سطوح نمکی، سطوح شنی-نمکی، شن‌های ساحلی، پهنه‌های شنی و فن‌دل‌تا بودند. هرکدام از این سطوح نیز به دلیل تفاوت در برخی از خصوصیات مورفولوژیکی، نوع و تراکم پوشش گیاهی، پایداری سله‌های سطحی یا خصوصیات فیزیکوشیمیایی، به واحدهای نقشه مختلفی تقسیم شدند. از میان سطوح مطالعه شده، سفره‌های شنی که در بخش‌های شمالی منطقه مطالعاتی و در مجاورت روستای جبل کندی واقع شده‌اند، بالاترین مقدار مواد فرسایش‌پذیر (۸۹/۷ درصد) را دارا بودند که این مقدار، معادل ۵۳/۸ تن در هکتار خاک می‌باشد. نتایج مقایسه میانگین خصوصیات خاکی مختلف در بین سطوح پلایایی نشان داد که بالابودن درصد شن، پایین بودن میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها که خود تابعی از سایر خصوصیات است و همچنین کم بودن ماده آلی، خاک این مناطق را بسیار حساس به تولید گردوغبار نموده است. در این مناطق، توسعه پوشش گیاهی و یا کمک به ایجاد سله‌های سطحی (فیزیکی، شیمیایی و یا بیولوژیکی)، می‌تواند کمک شایانی به کنترل تولید ریزگردها از این سطوح نماید.

واژه‌های کلیدی: سطوح رسی، سطوح نمکی، پهنه‌های شنی، مواد سست فرسایش‌پذیر، گردوغبار

گرمه‌ای، ش.ا.، اقبال، م.ک.، حمزه‌پور، ن. ۱۴۰۲. نقشه برداری نیمه تفصیلی سطوح پلایایی غرب دریاچه ارومیه و نقش آن‌ها در تولید ریزگردها. تحقیقات کاربردی خاک. جلد ۱۱، شماره ۴. صفحه: ۱۴۲-۱۵۷.

۱-دانش آموخته کارشناسی ارشد گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس

۲-دانشیار گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس

۳-دانشیار گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی دانشگاه مراغه (مکاتبه کننده)

*پست الکترونیک: nhamzehpour@maragheh.ac.ir

مقدمه

فرسایش بادی یکی از کلیدی ترین فرایندهای مخرب خاک در مناطق خشک و نیمه خشک می باشد که منجر به انتقال میلیون ها تن ذرات خاک به اتمسفر می شود (Middleton, 2017). پدیده گردوغبار از جمله مهمترین مشکلات محیط زیستی در نقاط مختلف جهان است که سلامت بشر و امنیت اکوسیستم را در معرض خطر قرار می دهد (Goudarzi et al. 2019; Kim et al. 2017). بسته به توزیع اندازه ذرات، گردوغبار حاصل از بیابان ها و نواحی خشک و نیمه خشک جهان، می تواند تا فواصل بسیار طولانی و حتی بین قاره ای منتقل شوند (Schepanski, 2018; Prospero et al. 2002).

به طور کلی، شرایط هیدرولوژیکی و خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاکی خاصی نیاز است تا یک سطح از بستر خشک شده دریاچه ای (که در این مقاله با عنوان "سطح پلايایی" از آن یاد شده است) به منبع گردوغبار تبدیل شود (Krninsley, 1970). این خصوصیات در نهایت کنترل کننده میزان گردوغبار حاصل از یک سطح خواهند بود. بنابراین داشتن اطلاعات و دانش کافی در خصوص نوع سطح پلايایی ایجاد شده در نتیجه خشک شدن دریاچه ها و همچنین خصوصیات فیزیکوشیمیایی آنها، در شناسایی کانون های احتمالی گردوغبار در حال حاضر و در آینده، کمک خواهند کرد و از این رو، یک قدم رو به جلو در مدیریت منابع طبیعی به حساب می آید. تاکنون مطالعات متعددی در خصوص نقش سطوح پلايایی در تولید گردوغبار صورت گرفته است (Bowen & Johnson, 2015; Halleaux & Rennó, 2014). به عنوان مثال، ورباخ و همکاران (Wurtsbaugh et al. 2017) نشان داده اند که رها شدن ذرات گردوغبار از بستر خشک دریاچه آونز در کالیفرنیا، سطح ذرات معلق کوچکتر از ده میکرومتر (PM_{10}^1) را افزایش داده و منجر به ایجاد مشکلات تنفسی متعدد گردید. باون و جانسون (Bowen & Johnson, 2015) دریافته اند که افزایش رطوبت خاک، منجر به افزایش شانس تولید گردوغبار می شود. با این حال، مطالعات متعدد از جمله رینولدز و همکاران (Reynolds et al. 2009) نشان داده اند که کاهش رطوبت خاک و خشکی خاک منجر به افزایش گردوغبار در بیابان مه آوی می شود.

اغلب طوفان های گردوغبار در ایران، پیش تر از کشورهای همسایه، از جمله عراق و سوریه نشأت می گرفتند (Moridnejad et al. 2015). با این حال، در طول دهه های اخیر، بسیاری از دریاچه های داخلی ایران در معرض خشک شدن قرار گرفته اند و حجم و سطح آنها کاهش یافته است (از جمله هامون، گاوخونی، بختگان و ارومیه) و به این ترتیب منابع جدید تولید گردوغبار در سرتاسر کشور ایجاد شده اند. از این رو مطالعاتی در خصوص حساسیت بستر خشک شده دریاچه ها به فرسایش بادی در کشور انجام شده است (به عنوان مثال: Zoratipour et al. 2022; Shahryary, 2014; Rashki et al. 2013; Ghadimi & Farpoor et al. 2012; Ghomi, 2013). براساس این مطالعات پس روی و خشک شدن دریاچه هامون منجر به افزایش شدت و فراوانی طوفان های گردوغبار در این منطقه شده است (Rashki et al. 2013). همچنین قدیمی و قومی (Gadimi & Ghomi, 2013) نیز نشان داده اند که پلايایی میقان در نزدیکی شهر اردکان، در مرکز ایران، بسیار حساس به فرسایش بادی است و پتانسیل تولید گردوغبار را دارد. همچنین در مطالعه ای در اطراف کانون های گردوغبار واقع در هویزه-خرمشهر، نشان داده شد که غلظت برخی از فلزات سنگین مضر در ترکیب گردوغبار افزایش یافته است (Aminfar et al. 2021).

در طول دهه های گذشته، سطح دریاچه ارومیه در شمال غرب ایران، کاهش یافته است و در حال حاضر بیش از ۹۰ درصد آن خشک شده است. این اتفاق منجر به برجای ماندن پهنه وسیعی از اراضی بایر با مقدار زیاد نمک و پوشش گیاهی اندک شده است (Hamzhepour et al. 2018; Shadkam et al. 2016; Farokhnia & Morid, 2014). این اراضی پلايایی شور با پوشش گیاهی اندک، حساسیت بسیار بالایی به فرسایش بادی دارند. به طور کلی، پلايها نواحی مسطح کم ارتفاع در یک حوضه بسته می باشند که برای مدتی طولانی در زیر رسوبات دریاچه ای قرار داشته اند و به دلیل بیشتر بودن تبخیر و تعرق نسبت به بارندگی در یک منطقه تشکیل می شوند. از عوامل مهم شکل دهنده پلايها، فرایندهای تکتونیکی است اما علاوه بر عوامل تکتونیکی، فرایندهای دیگری از جمله عوامل فرسایشی مناطق خشک و فعالیت های انسانی در تشکیل پلايها دخالت دارند. در حال حاضر دریاچه ارومیه یک پلايایی

1. Particulate matter

2. Mojavi

سالیانه منطقه در یک دوره آماری دراز مدت ۶۰ ساله، ۳۳۸ میلی‌متر، میانگین دمای سردترین ماه سال، ۵/۲- درجه سلسیوس و گرم‌ترین ماه سال آن، ۳۲ درجه سلسیوس می‌باشد (<https://data.irimo.ir/>). تبخیر در منطقه مطالعاتی، بین ۹۰۰ تا ۱۱۷۰ میلی‌متر در سال است. تغییرات ارتفاعی در منطقه مطالعاتی نیز بین ۱۲۷۴ تا ۱۲۸۲ متر از سطح آب‌های آزاد است. منطقه مورد مطالعه، جزء مناطق استپی سرد است که دارای زمستان‌های سرد و مرطوب و تابستان‌های ملایم می‌باشد.

مطالعه سطوح پلایایی غرب دریاچه ارومیه و نقشه‌برداری آنها

مطالعه انجام شده در تحقیق حاضر، در سطح نقشه‌برداری نیمه‌تفصیلی انجام شد که شامل نمونه‌برداری با فواصل تقریبی یک تا دو کیلومتر (هر ۱۰۰ هکتار تا ۴۰۰ هکتار یک نمونه) بود (Rossiter, 2000; Avery, 1987). بدین منظور، ابتدا با استفاده از نرم‌افزار گوگل ارث، سطوح پلایایی مختلف براساس تغییر در رنگ، بافت و پوشش گیاهی در تصاویر ماهواره‌ای، جداسازی شدند و مرز اولیه بین سطوح ترسیم گردید (شکل ۱ب). در مرحله بعدی، مرز بین سطوح در صحرا کنترل گردید و مرزها تصحیح شدند. سپس، مشخصات سطوح و نوع آن‌ها، وجود سله‌های سطحی، بیرون‌زدگی‌های نمکی، تراکم پوشش گیاهی، وجود سنگریزه، علائم فرسایش بادی و یا اضافه شدن رسوبات جدید به سطح به دقت یادداشت گردید و در نهایت از سطوح مختلف از عمق ۰ تا ۵ سانتی‌متری از ۱۳۰ نقطه نمونه‌برداری گردید (شکل ۱ب) و موقعیت نقاط مشاهده شده توسط GPS² ثبت شد. نمونه‌برداری از منطقه مطالعاتی به صورت نمونه‌برداری نامنظم نظارت شده (روش آزاد) بود. به این ترتیب که در مناطق با تغییرات اندک، فاصله نمونه‌برداری‌ها افزایش، و در مقابل، در مناطق با تغییرات بیشتر، فواصل نمونه‌برداری کمتر و تعداد نمونه‌های تهیه شده، افزایش یافت. به این ترتیب، با کمترین تعداد نمونه ممکن، امکان پوشش دادن تمام سطوح پلایایی ممکن شد. سپس فایل KML سطوح جداسازی شده وارد نرم‌افزار ArcGIS نسخه ۱۰.۴.۱ شد و در انتها، براساس آنالیزهای آزمایشگاهی و مطالعات صحرائی، نقشه نهایی سطوح پلایایی منطقه مطالعاتی تهیه شد. برای تهیه نقشه برخی از

جوان است که انواع سطوح پلایایی بر روی آن در حال شکل‌گیری است. با این حال، مطالعات اندکی در خصوص تکامل سطوح مختلف پلایایی و مشارکت هر کدام از آنها در تولید ریزگرد صورت گرفته است. با این حال، پژوهش‌ها نشان داده‌اند که شدت طوفان‌های گردوغبار در اطراف دریاچه ارومیه و در شهرهای مجاور پس از کاهش سطح دریاچه ارومیه، زیاد شده است (Ahmady-Birgani, 2020; Boroughani et al. 2019; Sotoudeheian et al. 2016). مطالعات احمدی بیرگانی (Ahmady-Birgani et al. 2020) نشان داده است که مناطق تحت تأثیر گردوغبار حاصل از دریاچه ارومیه، تا ۴۰ کیلومتر دورتر از دریاچه ارومیه نیز می‌توانند گسترده باشند. گردوغبار شور و ذرات حاصل از خاک‌های مجاور دریاچه ارومیه، مسئول ۶۰ درصد از ذرات PM₁₀ در منطقه می‌باشند. این مقدار، نه برابر بیش از حد مجاز تعیین شده توسط WHO¹ (20 µg/m³) است (Gholampour et al. 2017). حمزه‌پور و همکاران (۲۰۲۲) نیز گزارش نموده‌اند که گردوغبار حاصل از دریاچه ارومیه می‌تواند بر روی هسته‌زایی یخ و تشکیل ابر در منطقه، تأثیر زیادی داشته باشد و در نهایت بر روی میزان بارندگی در منطقه اثرگذار باشد (Hamzehpour et al. 2022). از این رو، هدف از پژوهش حاضر، نقشه‌برداری نیمه‌تفصیلی سطوح پلایایی غرب دریاچه ارومیه و تعیین پتانسیل تولید گردوغبار توسط آنها می‌باشد تا با به‌دست آوردن اطلاعات جامع از نوع سطوح پلایایی شکل‌گرفته در غرب دریاچه ارومیه، قدمی در جهت مدیریت هرچه بهتر این مناطق برداشته شود.

مواد و روش‌ها

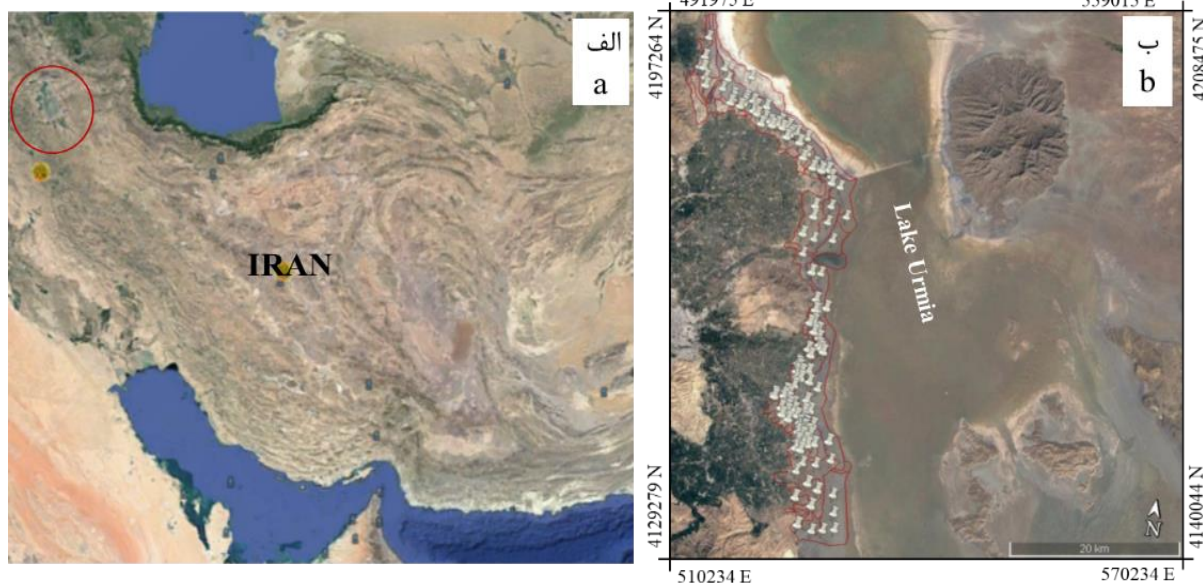
منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در شمال‌غربی ایران و در حاشیه‌ی غربی دریاچه ارومیه واقع شده است. این منطقه شامل تمام اراضی است که از پسروری دریاچه ارومیه در حاشیه غربی آن، در مجاورت دشت ارومیه برجای مانده‌اند (شکل ۱ب) و مساحتی در حدود ۳۷۰ کیلومتر مربع دارد. مختصات جغرافیایی آن بین طول‌های جغرافیایی ۱۶° ۰۲' ۴۵" و ۱۲° ۲۵' ۴۵" شرقی و عرض‌های جغرافیایی ۲۸° ۲۱' ۳۷" و ۳۷° ۵۰' ۵۳" شمالی است. میانگین مجموع بارش

1. world health organization
2. Global Positioning System

میانگین خصوصیات خاکی در سطوح مختلف پلایایی، از روش مقایسه میانگین با استفاده از آزمون چنددامنه‌ای دانکن با تعداد تکرارهای نامتقارن در سطح آماری ۵٪، در نرم افزار SAS استفاده شد.

خصوصیات خاکی تأثیرگذار در تفاوت بین سطوح پلایایی و واحدهای تشکیل دهنده آنها، از روش تخمین کریجینگ ساده در ArcGIS و برای اعتبارسنجی نتایج، از روش اعتبارسنجی متقابل^۱، استفاده شد. همچنین برای مقایسه



شکل ۱- الف: موقعیت دریاچه ارومیه در شمال غرب ایران که با دایره قرمز رنگ نمایش داده شده است. ب: دریاچه ارومیه در شمال غرب ایران و منطقه مطالعاتی در حاشیه غربی آن. منطقه مطالعاتی شامل تمام اراضی بر جای مانده از پسروی دریاچه ارومیه در مجاورت دشت ارومیه را شامل شدند. خطوط قرمز رنگ، شناسایی اولیه سطوح پلایایی مختلف را روی تصویر ماهواره‌ای نشان می‌دهد. نقاط سفید رنگ، موقعیت نقاط نمونه برداری شده را نمایش می‌دهد.

Figure 1. a: The location of Lake Urmia in the northwest of Iran; b: Lake Urmia in northwestern of Iran and the study area on its western edge. The study area included all the lands exposed after Lake Urmia recession in the vicinity of Urmia Plain. The red lines show the initial identification of different playa levels on the satellite image. The white dots represent the locations of the sampled points.

معادل به روش تیتراسیون برگشتی (Jackson, 2005); اندازه‌گیری کلر به روش تیتراسیون با نیترات نقره؛ اندازه‌گیری سدیم محلول در نسبت ۲/۵:۱ خاک به آب و به روش شعله‌سنجی (Rhoades, 1996) و اندازه‌گیری کلسیم و منیزیم محلول به روش تیتراژ کردن با EDTA تعیین گردید (Rhoades, 1996). همچنین، جرم مخصوص ظاهری (pb) نمونه‌ها به روش کلوخه اندازه‌گیری شد. میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها (MWD) در نمونه‌های الک نشده، با استفاده از روش الک خشک با سری الک ۰/۲۵، ۰/۵، ۱، ۲ و ۴/۷۵ میلی‌متر تعیین (Kemper & Chepil, 1965) و با استفاده از فرمول زیر محاسبه شد (Van Bavel, 1950):

$$MWD = \sum_{i=1}^n x_i y_i \quad (1)$$

آنالیزهای فیزیکوشیمیایی بر روی نمونه‌های خاک

نمونه‌های جمع‌آوری شده از منطقه مطالعاتی، به آزمایشگاه منتقل و پس از خشک شدن در هوای آزاد، کوبیده شدند و به منظور انجام آنالیزهای فیزیکی و شیمیایی مورد نظر از الک دو میلی‌متری عبور داده شدند. تمامی مطالعات آزمایشگاهی مطابق با شیوه‌های استاندارد^۲ و دستورالعمل-های مربوط به روش‌های آنالیز خاک^۳ انجام گرفتند. اندازه-گیری بافت خاک به روش هیدرومتری (Gee & Or, 2002); درصد کربن آلی به روش سوزاندن تر (Nelson & Sommers, 1996); قابلیت هدایت الکتریکی (EC) و واکنش خاک (pH) در نسبت ۲/۵:۱ خاک به آب به ترتیب با استفاده از دستگاه هدایت‌سنج الکتریکی و دستگاه pH متر اندازه‌گیری گردید. اندازه‌گیری کربنات کلسیم

1. Cross-validation
2. Handbook of Soil Analysis
3. Soil Analysis Methods

بودند. هر کدام از این سطوح نیز به دلیل تفاوت در برخی از خصوصیات صحرایی از جمله نوع و تراکم پوشش گیاهی، ضخامت و پایداری سله‌های سطحی و عمق تا آب زیرزمینی و یا تغییر در خصوصیات فیزیکوشیمیایی، به واحدهای نقشه مختلفی تقسیم شدند که در ادامه شرح داده خواهند شد. لازم به ذکر است فن دلتاها، به دلیل عدم نمونه‌برداری، مورد بحث قرار نخواهند گرفت.

سطوح رسی (CFs)

اولین سطح شناسایی شده در منطقه مطالعاتی، سطوح رسی بود. براساس تعریف کرینزلی، سطح رسی عبارت از یک سطح پایدار است که در زیر آن لایه‌ای از رس خشک و سیلت که در آن مقدار متفاوتی از نمک وجود دارند. سطوح رسی پلایا دارای سطح آب زیرزمینی پایین بوده و مقدار نمک تا ۴۰ درصد وزن آن را ممکن است تشکیل دهد (Krinley, 1970). در منطقه مطالعاتی، سطوح رسی، در اراضی نزدیک به دشت ارومیه و در دورترین فاصله از بستر کنونی دریاچه ارومیه واقع شده‌اند (شکل ۲، الف). این سطوح، از رسوبات دانه‌ریز سیلت و رس با سله‌های سطحی به نسبت سفت و محکم تشکیل شده‌اند. در سطح این اراضی، پوسته‌های سیلنتی-رسی با اندازه‌های بین یک تا پنج سانتی‌متر مشاهده گردید. بخش اعظمی از سطوح رسی در غرب دریاچه ارومیه، برخلاف سطوح رسی مشاهده شده در جنوب شرق دریاچه ارومیه (Motaghi *et al.* 2020)، بسیار ضخیم بودند و در اکثر موارد ضخامتی بیش از دو سانتی‌متر داشتند و مقاومت آن‌ها در برابر شکنندگی، زیاد بود. وجود چنین پوسته‌هایی، مقاومت این سطوح را در برابر فرسایش بادی افزایش داده است. همچنین وجود رس، خاصیت چسبندگی بین ذرات را بالا می‌برد و یک سطح سفت و پایدار در مقابل وزش باد و انتشار ریزگرد ایجاد می‌کند.

که در آن، α_i میانگین قطر کلاس ذرات به میلی‌متر و γ_i نسبت وزن هر کلاس ذرات به وزن کل نمونه می‌باشد. با توجه به اینکه درصد خاکدانه‌های کوچکتر از ۰/۸۴ میلی-متر، یکی از شاخص‌های مهم مقاومت خاک در برابر فرسایش بادی است (Zobeck, 1991; Morgan, 2009)، لذا در این پژوهش از این شاخص که از آن با نام مواد سست فرسایش‌پذیر (LEM) نام برده می‌شود، در کنار مطالعات صحرایی و سایر خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک، به‌عنوان معیاری برای تقسیم‌بندی سطوح مطالعه‌شده از نظر پایداری در مقابل فرسایش بادی استفاده شده است. برای به‌دست آوردن درصد خاکدانه‌های پایدار بزرگتر از ۰/۸۴ میلی‌متر در حالت خشک، از دستگاه اندازه‌گیری پایداری خاکدانه‌ها در حالت خشک استفاده شد (Nimmo & Perkins, 2002)؛ با این تفاوت که به جای سری الک‌ها فقط از الک ۰/۸۴ میلی‌متر استفاده شد. در نهایت، درصد مواد سست فرسایش‌پذیر (LEM) از روی معادل زیر محاسبه گردید.

$$LEM (\%) = (100 - AS_{0.84}) \times 100 \quad (2)$$

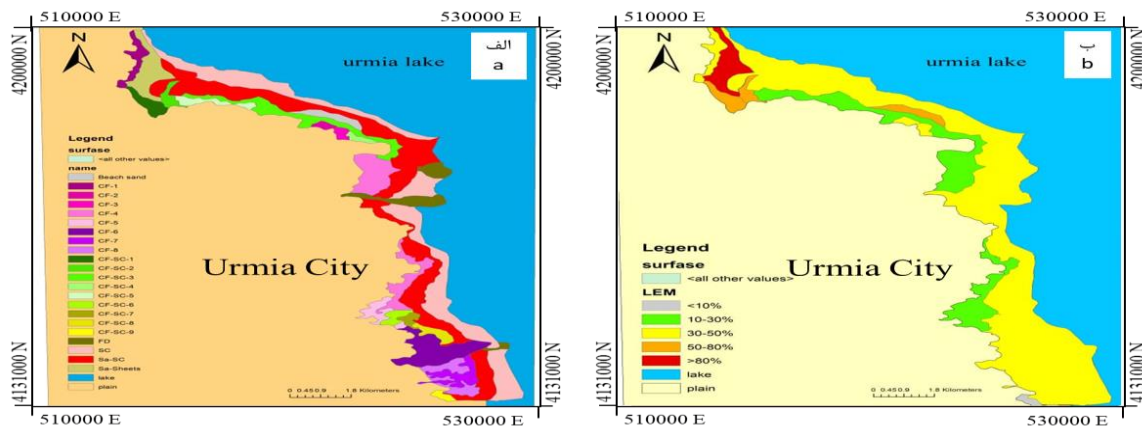
که $AS_{0.84}$ ، درصد خاکدانه‌های پایدار بزرگتر از ۰/۸۴ میلی-متر می‌باشد.

نتایج و بحث

مطالعه سطوح ژئومورفیک و نقشه‌برداری آنها

نقشه سطوح مختلف پلایایی شناسایی شده در حاشیه غربی دریاچه ارومیه در شکل (۲، الف) ارائه شده است. همانطور که از این شکل قابل مشاهده است، هفت سطح مختلف ژئومورفیکی در منطقه مطالعاتی تعیین گردید که شامل سطوح رسی (CF^2)؛ سطوح رسی-نمکی (CF-SC)؛ سطوح نمکی (SC^3)؛ سطوح شنی-نمکی (Sa-SC)؛ پهنه‌های شنی (Sa -sheets^۴)؛ فن دلتا (FD^5) و شن ساحلی (Beach sand)

1. Loose Erodible Material
2. Clay flats
3. Salt crusts
4. Sand sheets
5. Fan delta



شکل ۲-الف: نقشه سطوح پلایایی شناسایی شده در غرب دریاچه ارومیه. اعداد نشان دهنده واحدهای نقشه مختلف جداسازی شده برای هر سطح پلایایی است. ب: نقشه فرسایش پذیری سطوح مختلف پلایایی براساس درصد مواد فرسایش پذیر تعیین شده در هر کدام از واحدهای نقشه برداری.

Figure 2. a: Map of the identified playa surfaces in the western Lake Urmia. Numbers represent different separated map units for each playa surface. b: map of loose erodible material (LEM) determined based on the LEM measurement in each map unit. CF: clay flats; CF-SC: clay flats-salt crusts; FD: fan delta; SC: salt crust; Sa-sheets: sand sheets.

زبادی از املاح به لایه های زیرین شسته شوند (جدول ۱). همچنین بیشترین مقدار درصد کربن آلی (به جز سطح پلایایی شن ساحلی) در این سطوح مشاهده شد که به دلیل پوشش گیاهی خوب این سطوح در غرب دریاچه ارومیه می باشد. کمترین میانگین مواد فرسایش پذیر (LEM) با مقدار ۲۵ درصد نیز متعلق به سطوح رسی بود که نشان از پایداری بالای این سطوح در مقایسه با سطوح دیگر داشت. میانگین وزنی قطر خاکدانه ها (MWD) نیز ۲/۱ میلی متر به دست آمد. متوسط بافت خاک در سطوح رسی، clay loam تعیین شد.

خلاصه ای از میانگین خصوصیات فیزیکوشیمیایی سطوح پلایایی غرب دریاچه ارومیه در جدول (۱) ارائه شده است. با توجه به این جدول، قابلیت هدایت الکتریکی سطوح رسی، ۲۶/۵ دسی زیمنس بر متر به دست آمد که در مقایسه با سطوح مطالعه شده، به استثنای شن های ساحلی، از تمامی سطوح دیگر کمتر بود. به دلیل این خصوصیات، در صحرا بیرون زدگی نمکی در این سطوح یا دیده نشد و یا به صورت لکه های کوچکی مشاهده گردید. یکی از دلایل پایین بودن قابلیت هدایت الکتریکی در این سطوح، پایین بودن سطح آب زیرزمینی است ($> 4\text{cm}$) که موجب شده است تا بخش

جدول ۱- میانگین خصوصیات فیزیکوشیمیایی نقاط نمونه برداری از سطوح پلایایی شناسایی شده در غرب دریاچه ارومیه.

Table 1. Mean physicochemical properties of the different playa surface, identified in the western Lake Urmia playa.

Playa surface	GWD (m)	pb (g cm ³)	EC (dS m ⁻¹)	pH	Ca ²⁺ +Mg ²⁺ (meq L ⁻¹)	Na ⁺ (meq L ⁻¹)	Cl ⁻ (meq L ⁻¹)	OM (%)	CCE (%)	Clay (%)	Silt (%)	Sand (%)	LEM (%)	MWD (mm)
CF	> 4	1.7	26.5	8.1	140.7	672.5	333.0	2.9	17.7	36	37	27	25.0	2.1
CF-SC	< 2	1.4	43.6	8.2	142.4	729.5	889.3	1.6	21.4	27	41	32	36.3	1.9
Sa-SC	< 0.5	1.3	84.6	8.3	254.0	905.0	870.0	1.3	23.6	19	27	54	42.6	1.9
SC	< 0.1	1.6	117.7	8.7	174.0	1000.0	928.0	0.3	17.9	31	45	24	27.5	2.4
Sa-sheets	> 2	1.2	30.1	8.1	85.5	520.0	432.3	0.5	35	12	5	83	89.7	0.7
Beach sand	> 1	1.4	0.4	8.3	12.0	24.0	10.2	6.0	38.0	12	12	76	55.0	1.7

GWD: ground water depth; EC: electrical conductivity; OM: organic matter; CCE: calcium carbonate equivalent; LEM: loose erodible material; MWD: mean weight diameter.

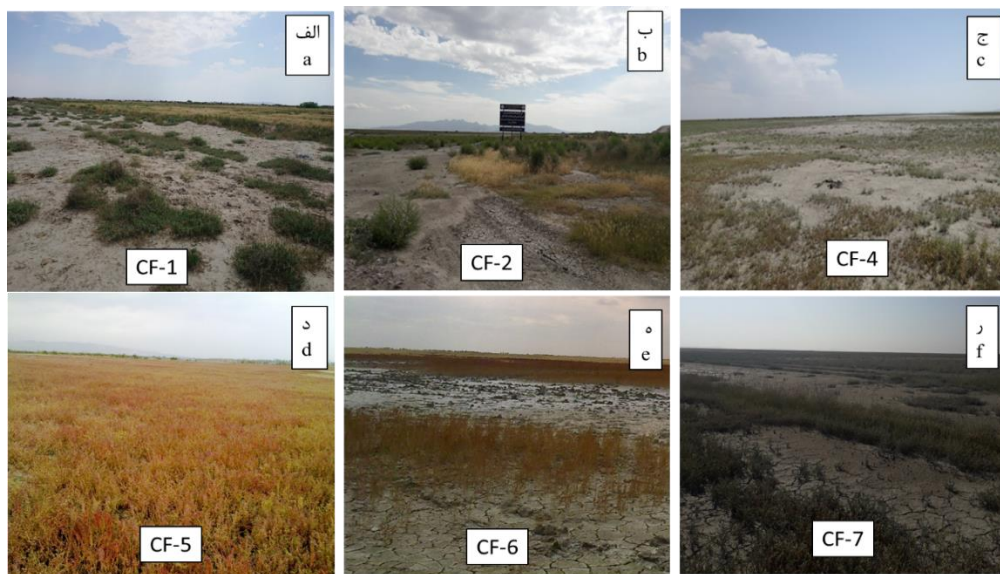
دارد و این نوع پلایا به طور معمول سطوح سفت و سختی دارند که ریزگردهای کمی ایجاد می کنند یا ریزگردی

به طور کلی در سطوح خشک پلایایی، آب زیرزمینی با سطح زمین در ارتباط نیست زیرا از سطح زمین فاصله

دهند (Ahmed *et al.* 2016). تنها در واحد CF-1 که در بخش شمالی منطقه مطالعاتی، در نزدیکی روستای جبل کندی و در مجاورت کانون‌های گردوغبار قرار داشت، برخلاف سایر سطوح رسی مشاهده شده، پوسته رسی ضعیفی تکامل یافته بود. آثار فرسایش بادی در پای بوته‌ها در این منطقه مشاهده شد (شکل ۳، الف). متوسط مواد فرسایش پذیر در این سطح نیز ۶۰ درصد به دست آمد که در مقایسه با سایر سطوح رسی، بسیار بیشتر بود. با این حال، به دلیل پوشش گیاهی خوب در این بخش و در صورت عدم دستکاری سله‌های سطحی، این منطقه می‌تواند پایدار باقی بماند.

تولید نمی‌کنند. در نتیجه اگر سطح آب زیرزمینی پایین باشد، سطوح پلایا منبع مهمی برای تولید ریزگرد محسوب نمی‌شوند (Perez & Gill, 2009).

در مطالعه حاضر، هشت واحد نقشه برداری مختلف در سطوح رسی مطالعه شده، شناسایی و جداسازی شد که با اسامی CF-1 تا CF-8 در شکل (۲، الف) ارائه شده‌اند. تصویری از برخی از این واحدها در شکل ۳ نمایش داده شده است. در تمامی این سطوح، پوشش گیاهی خوب، سله‌های مقاوم، عمق زیاد تا آب زیرزمینی و درصد رس بالا از عوامل مهم پایداری آنها در مقابل فرسایش بادی می‌باشند. احمد و همکاران نشان داده‌اند که بیشتر گونه‌های گیاهی می‌توانند سرعت ذرات گردوغبار را کاهش



شکل ۳- تصاویری از واحدهای نقشه برداری مختلف سطح پلایایی رسی در غرب دریاچه ارومیه.

Figure 3. Images of the different mapping units of the clay flat playa surface in the west of Lake Urmia.

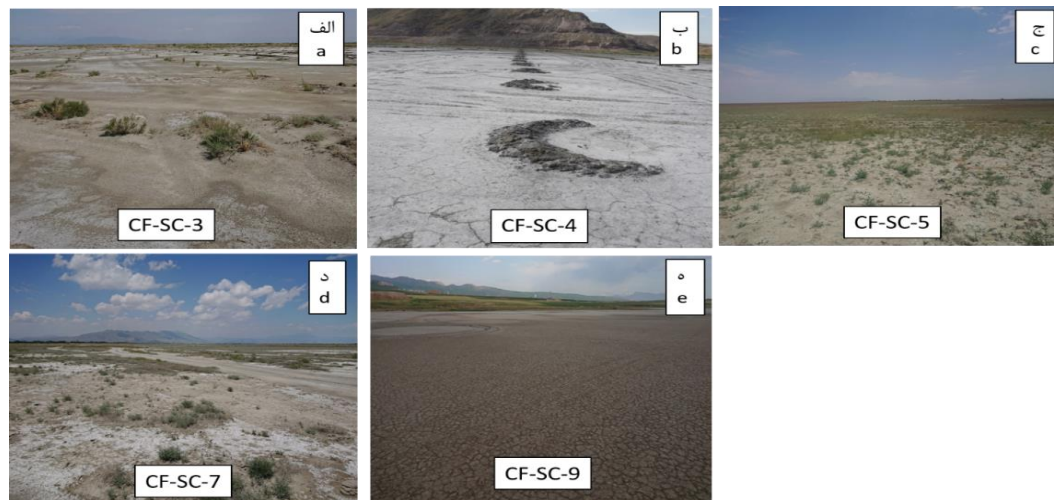
نمی‌باشد. ضخامت سله‌های سطحی برخلاف سله‌های مشاهده شده در جنوب شرقی دریاچه (Motaghi *et al.* 2020)، بسیار ضخیم بود و همانند سطوح رسی، در برخی نقاط تا پنج سانتی‌متر نیز می‌رسید. میانگین قابلیت هدایت الکتریکی در این سطوح در حدود ۴۳/۶ دسی‌زیمنس برمتر به دست آمد که بیش از مقدار مشاهده شده در سطوح رسی است، در حالی که در بسیاری از مناطق مطالعه شده، این سطوح درست در مجاورت پهنه‌های رسی شکل گرفته‌اند. میانگین درصد کربن آلی در این سطوح نیز کمتر از پهنه‌های رسی بود که به دلیل محدود بودن پوشش گیاهی در این مناطق در نتیجه‌ی شوری بالا بود (شکل ۴). میانگین

سطوح رسی-نمکی (CF-SC)

سطوح رسی-نمکی در منطقه‌ی مطالعاتی عمدتاً در حدفاصل بین سطوح رسی و سطوح شنی-نمکی واقع شده‌اند (شکل ۲، الف). تفاوت این سطوح با سطوح رسی در فاصله تا آب زیرزمینی است. در این سطوح، سطح آب زیرزمینی در مقایسه با سطوح رسی، در فاصله نزدیکتری به سطح زمین واقع شده است و همین امر باعث شده است تا نمک طی حرکت موپینگی به سمت بالا حرکت کند و در سطح تجمع یابد. از این جهت در این سطوح، بیرون‌زدگی-های نمکی به صورت لکه‌ای قابل مشاهده است اما میزان نمک در این سطوح در حد سطوح شنی-نمکی و نمکی

شدند (شکل ۲، الف) که دلیل تقسیم بندی آن ها تفاوت در تراکم و نوع پوشش گیاهی، میزان بیرون زدگی های نمکی، ضخامت سله های سطحی و تفاوت در بافت خاک سطحی بود.

LEM و MWD به ترتیب ۳۶/۳ درصد و ۱/۹ میلی متر به دست آمد که بعد از سطوح رسی، در رده دوم از نظر مقاومت به فرسایش بادی قرار دارد. متوسط بافت خاک در این سطوح نیز clay loam به دست آمد. سطوح رسی-نمکی غرب دریاچه ای ارومیه در ۹ واحد نقشه مختلف طبقه بندی



شکل ۴- تصاویری از واحدهای نقشه برداری مختلف سطوح رسی-نمکی در غرب دریاچه ارومیه.

Figure 4. Images of the different mapping units of the clay flat-salt crust playa surface in the western Lake Urmia.

دائمی نمک از لایه های زیرین به سطح زمین و رسوب آن در سطح، منجر به ایجاد لایه ای نمکی در سطح این اراضی شده است (شکل ۵). از این رو میانگین قابلیت هدایت الکتریکی در این سطح در حدود ۱۱۷/۷ دسی زیمنس بر متر به دست آمد. درصد ماده آلی نیز به دلیل شوری بالا و نبود پوشش گیاهی در این سطوح در حدود ۰/۳۳ به دست آمد (جدول ۱). میانگین بافت خاک در پهنه های نمکی silty clay loam و MWD به ترتیب ۲۷/۵ درصد و ۲/۴ میلی متر تعیین گردید. بزرگترین مقدار MWD در این سطوح دیده شد که می تواند به دلیل وجود نمک و رس بالا به عنوان مواد هم آور خاکدانه ها باشد. همچنین با تفاوت جزئی در مقایسه با پهنه های رسی، این سطوح در رده دوم پایداری در برابر فرسایش بادی قرار دارند.

سطوح نمکی تشکیل شده در حاشیه غربی دریاچه ای ارومیه در برخی از نقاط بسیار جوان و در حال شکل گیری هستند و هنوز ضخامت زیادی ندارند. در برخی از نقاط، این سطوح درست در انتهای سطوح رسی-نمکی و در نتیجه ی پسروری-های اخیر دریاچه ارومیه در حال شکل گیری هستند (شکل

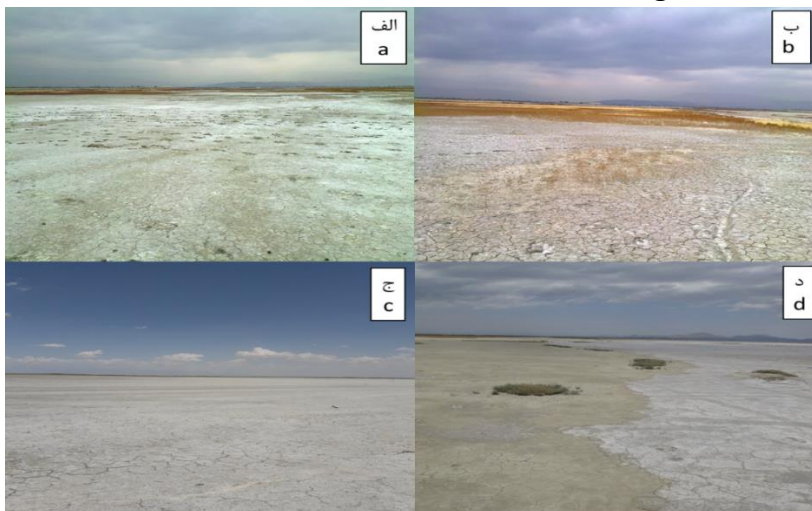
سطوح نمکی^۱ (SC)

پوسته های نمکی، سطوح صاف و سفت و مرطوب هستند و سطح آنها از چندوجهی های مختلف که در اثر ترک در سطح نمکی ایجاد می شود، تشکیل شده است. این نمک های سفید ممکن است حاوی تکه هایی از نمک سیاه باشند. برخی پوسته های نمکی دارای ۹۹ درصد هالیت^۲ خالص در ترکیب با سایر نمک ها می باشند. پوسته های نمکی همیشه مرطوب هستند و حضور آن ها به طور کلی نشان دهنده سطح آب زیرزمینی کم عمق می باشد (Krinley, 1970). پدیده های متفاوتی به وسیله تبلور نمک و خشک شدن پوسته های رسوبی غنی از نمک و تناوب خشک و تر شدن نمک ها روی سطوح پلا یابی به وجود می آید. انقباض ناشی از خشک و تر شدن نمک ها باعث ایجاد شکاف هایی روی سطح شده و تکامل این شکاف ها، چندوجهی ها را ایجاد می کند (Farpoor et al. 2012). در منطقه مطالعاتی، سطوح نمکی در انتهایی ترین قسمت منطقه ی مطالعاتی و در دورترین فاصله از سطوح رسی شکل گرفته اند (شکل ۲، الف). در این اراضی، سطح آب زیرزمینی نزدیک به سطح زمین است و نوسانات زیادی ندارد. از این جهت، حرکت

1. Salt Crust
2. Halite

مقاومت آن را در برابر فرسایش افزایش می‌دهد و در نواحی خارجی پلایا که تیپ‌های سولفاتی قرار می‌گیرند، سطح خاک پودری و پف‌کرده و مستعد فرسایش می‌باشد (Ahmadi *et al.* 2010). در پلایای فرانکلین، یکی از بزرگترین منابع گردوغبار در سطح جهان نیز دانشمندان تنها راه حل برای جلوگیری از تولید گردوغبار از این پلایا را توسعه‌ی پوسته‌های نمکی موجود در کف دریاچه دانسته‌اند تا بتواند مانع فرسایش بادی خاک‌های آن شود (Reynolds *et al.* 2009).

۵، د). در مقابل، در برخی از نقاط که دریاچه‌ی ارومیه برای زمان طولانی‌تری پسروری داشته است و آب زیرزمینی برای زمان طولانی در اثر تبخیر از سطح، املاح را برجای گذاشته است، سله‌های نمکی ضخیم و بسیار محکم در سطح تشکیل شده است (شکل ۵، الف، ب). احمدی و همکاران (۱۳۸۹) رابطه‌ی بین فرسایش بادی و تیپ تبخیری‌ها در پلایای طبس را مطالعه کرده و با توجه به نمونه‌های برداشته‌شده و نتایج تجزیه و تحلیل‌های آزمایشگاهی دریافتند که در مرکز پلایا در اثر تجمع نمک‌های کلردار، پوسته سخت در سطح تشکیل شده که



شکل ۵- سطوح نمکی تشکیل شده در غرب دریاچه ارومیه. الف: سطوح نمکی فاقد پوشش گیاهی؛ ب: سطوح نمکی با پوشش گیاهی شورپسند؛ ج و د: سطوح نمکی جوان در حال شکل‌گیری.

Figure 5. Salt crusts formed in the western part of Lake Urmia. a: saline surfaces without vegetation; b: saline surfaces with saline vegetation; c and d: Young and recently exposed salt surfaces.

در مقایسه با سطوح نمکی و غلظت کمتر املاح می‌باشد. میانگین درصد کربن آلی نیز ۱/۳ درصد تعیین گردید که به دلیل وجود پوشش گیاهی پراکنده، بیشتر از سطوح نمکی فاقد پوشش گیاهی بود. میانگین بافت خاک نیز loam تعیین گردید که در مقایسه با سطوح نمکی، درصد رس کمتر و درصد شن بیشتر در این سطوح مشاهده شد (جدول ۱). در این سطوح درصد مواد سست فرسایش‌پذیر (LEM) بیش از پهنه‌های رسی، رسی-نمکی و نمکی بود به طوری که LEM و MWD به ترتیب ۴۲/۶ درصد و ۱/۹ میلی‌متر به دست آمد.

پهنه‌های شنی (sa-sheets²)

سطوح شنی - نمکی (Sa-SC¹)

سطوح شنی-نمکی عمدتاً در حفاصل بین سطوح نمکی و سطوح رسی-نمکی شکل گرفته‌اند. این سطوح به نظر می‌رسد پیش از پسروری‌های اخیر دریاچه‌ی ارومیه و تشکیل سطوح نمکی جوان، برای زمان طولانی ساحل دریاچه‌ی ارومیه بوده‌اند و دارای بافت درشت‌تر از سایر سطوح بحث‌شده تا به اینجا می‌باشند. خلاصه‌ای از میانگین خصوصیات فیزیکوشیمیایی این سطوح در جدول (۱) ارائه شده است. میانگین قابلیت هدایت الکتریکی در سطوح شنی-نمکی در حدود ۸۴/۶ دسی‌زیمنس بر متر به دست آمد که بیشتر از سایر سطوح مطالعه‌شده و کمتر از سطوح نمکی بود. دلیل این موضوع، فاصله‌ی بیشتر این سطوح از دریاچه‌ی ارومیه

1. sandy-salt crusts
2. sand sheets

در مناطق نیمه خشک، پایداری خاکدانه‌ها یکی از خصوصیات بسیار مهم خاک است که رشد گیاهان را کنترل می‌کند (Kohler et al., 2010).

در شکل (۲، ب)، نقشه سطوح پلايایی به همراه نقشه LEM آنها ارائه شده است. همانطور که از این شکل قابل مشاهده است، عمده سطوح نمکی، شنی-نمکی، و رسی در دسته مناطق با میزان LEM ۳۰ تا ۵۰ درصد واقع شده‌اند. سطوح رسی-نمکی نزدیک به دشت ارومیه دارای LEM کمتر از سایر سطوح با میزان ۱۰ تا ۳۰ درصد می‌باشند. بالاترین میزان LEM در پهنه‌های شنی مشاهده شده که بیش از ۹۰ درصد بود. بعد از آن شن‌های ساحلی، CF-SC₁ و CF-SC₂ بالاترین میزان LEM را دارا می‌باشند.

در جدول (۲)، میزان مواد سست فرسایش پذیر برحسب تن در هکتار از روی درصد مواد فرسایش پذیر و جرم مخصوص ظاهری در عمق پنج میلی‌متری از سطح خاک در هر یک از سطوح پلايایی، محاسبه و ارائه شده است. بر این اساس، بالاترین مقدار LEM با مقدار ۵۳/۸ تن در هکتار، برای پهنه‌های شنی و کمترین مقدار آن با مقدار ۲۰/۶ تن در هکتار برای پهنه‌های رسی به دست آمد. بعد از پهنه‌های شنی، بالاترین مقادیر LEM به ترتیب مربوط به Beach sand، Sa-SC، SC و CF-SC بود. با توجه به اینکه در این مطالعه در تعیین LEM وجود و یا عدم وجود سله‌های سطحی در نظر گرفته نشده است، بنابراین مقادیر تعیین شده برای LEM تنها نشان‌دهنده‌ی پتانسیل تولید گردوغبار در این سطوح در نبود سله‌های سطحی و پوشش گیاهی می‌باشد و در حال حاضر تولید ریزگرد از عمده‌ی سطوح پلايایی مطالعه شده اتفاق نمی‌افتد.

سطوح مربوط به پهنه‌های شنی، در قسمت شمالی منطقه مورد مطالعه و در مجاورت روستای جبل‌کندی مشاهده شدند. این سطوح فاقد سله‌های سطحی بودند. بافت خاک در مشاهدات صحرائی در اندازه سیلت مشاهده شد ولی براساس جدول (۱)، میانگین درصد شن در حدود ۸۳ درصد به دست آمد. کمترین مقدار MWD و بیشترین LEM با مقادیر عددی ۰/۷ میلی‌متر و ۸۹/۷ درصد در این سطوح مشاهده شد. این بدان معنی است که از هر ۱۰۰ گرم خاک این منطقه، در حدود ۹۰ درصد آن پتانسیل تولید گردوغبار دارند. در این سطوح با وجود اقدامات حفاظتی از جمله استقرار پوشش گیاهی و بادشکن همچنان در زمان وزش باد حتی با سرعت کم، گردوغبار زیادی از این سطوح تولید می‌شود و نیاز به اقدامات و مدیریت صحیح و حفاظتی جدید در کنار استقرار پوشش گیاهی احساس می‌شود.

شن‌های ساحلی (Beach sand)

این منطقه، سطح نسبتاً کوچکی را به خود اختصاص داده بود. این منطقه تا عمق بیش از ۷۰ سانتی‌متری از شن درشت ساحلی با پوشش گیاهی بسیار زیاد و متراکم تشکیل شده بود. کمترین هدایت الکتریکی بین سطوح مطالعه شده با مقدار ۰/۵۴ دسی‌زیمنس بر متر در این سطح مشاهده شد (جدول ۱). درصد کربنات‌ها در این منطقه بالا بود و مقدار ۳۸ درصد را داشت. سله‌ی سطحی تشکیل نشده بود، اما ذرات شن توسط ریشه گیاهان و کربنات کلسیم به شدت سیمانی شده بودند و سطح این منطقه به شدت سفت و محکم بود. مقادیر LEM و MWD برای این سطح به ترتیب ۵۵ درصد و ۱/۷۶ میلی‌متر به دست آمد.

رابطه بین سطوح پلايایی و پتانسیل تولید ریزگرد

از پایداری خاکدانه‌ها به عنوان شاخص ارزیابی کیفیت ساختمان خاک استفاده می‌شود (Bronick & Lal, 2005).

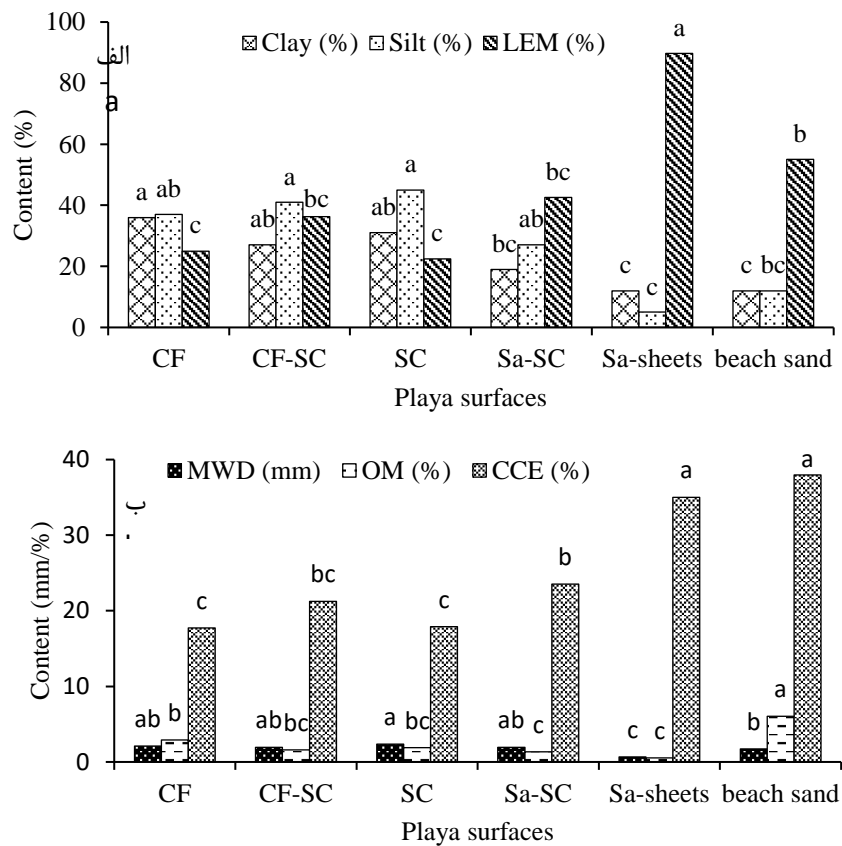
جدول ۲- میزان مواد سست فرسایش پذیر موجود در هر کدام از سطوح پلايایی بر حسب تن در هکتار.

Table 2. The amount of loose erodible material (LEM) in each of the playa surfaces in terms of tons per hectare.

Playa surface	LEM (%)	Pb(g.cm ⁻³)	LEM (ton.ha ⁻¹)
CF	25.0	1.65	20.6
CF-SC	36.3	1.40	25.4
Sa-SC	42.6	1.33	28.3
SC	27.5	1.57	21.6
Sa-Sheets	89.7	1.20	53.8
Beach sand	55.0	1.40	38.5

شده است. در شکل ۷ نیز نقشه‌های تخمین مکانی برخی از مهمترین پارامترهای خاکی تأثیرگذار بر میزان فرسایش-پذیری سطوح ارائه شده است.

در شکل (۶) نمودار مربوط به میانگین LEM برای هر کدام از سطوح پلايایی به همراه برخی از مهمترین خصوصیات خاکی تأثیرگذار به همراه مقایسه میانگین آنها نمایش داده

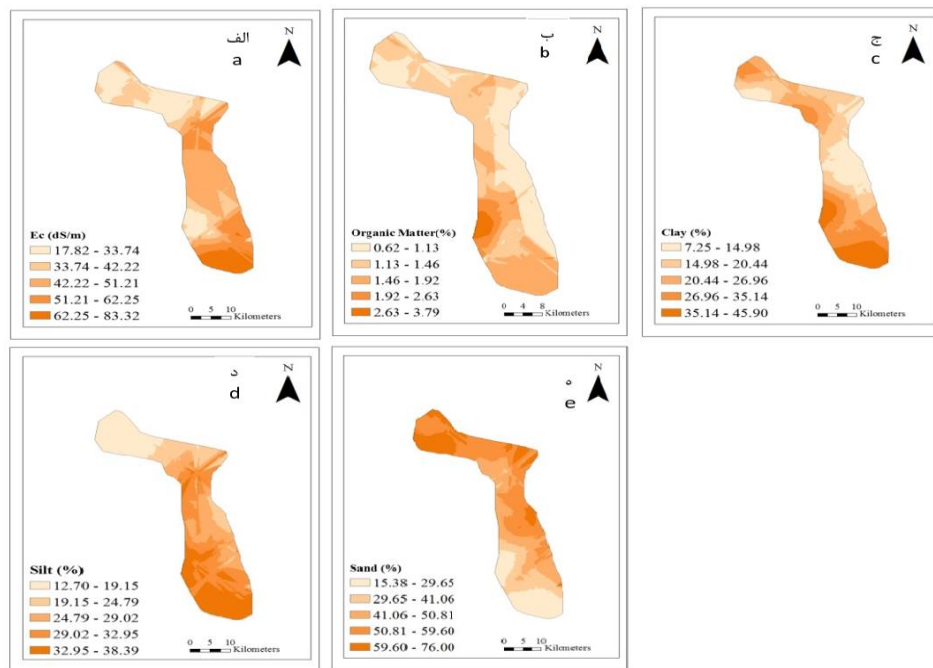


شکل ۶- الف: میانگین درصد مواد سست فرسایش پذیر (LEM)، سیلت و رس؛ ب: میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها، درصد ماده آلی و کربنات کلسیم معدل در سطوح پلايایی مطالعه شده.

Figure 6. a: The Mean values of the loose erodible material (LEM) along with silt and clay content; b: The mean weight diameter; organic matter and calcium carbonate equivalent in the studied playa surfaces.

و میزان بالای رس و سیلت به همراه نمک در سطوح نمکی، می‌توانند از عوامل مهم پایداری این سطوح و پایین بودن مقدار LEM باشند. بالا بودن شوری خاک و تجمع نمک در سطح سطوح شنی-نمکی، نیز منجر به پایداری بیشتر این سطوح نسبت به پهنه‌های شنی شده است.

همانطور که گفته شد، بیشترین مقدار LEM مربوط به پهنه‌های شنی می‌باشد. براساس شکل (۶)، بیشترین مقدار کربنات‌ها، به همراه کمترین مقدار میانگین وزنی خاکدانه‌ها و ماده آلی در این سطح مشاهده شد. بالا بودن درصد رس و سیلت (شکل ۶، الف؛ شکل ۷، ج، د) به همراه بالا بودن مقدار ماده آلی (شکل ۶، ب؛ شکل ۷، ب) در سطوح رسی



شکل ۷. نقشه تخمین مکانی برخی از پارامترهای مهم تأثیرگذار بر فرسایش پذیری بادی سطوح در منطقه مطالعاتی. الف: قابلیت هدایت الکتریکی؛ ب: ماده آلی؛ ج: درصد رس؛ د: درصد سیلت؛ ه: درصد شن.

Figure 7. Spatial estimation map of some of the important parameters affecting the wind erodibility of the playa surfaces. a: electrical conductivity (EC); b: organic matter (OM); c: percentage of clay; d: percentage of silt; e: percentage of sand.

جنوب شرق دریاچه ارومیه، قابلیت هدایت الکتریکی، کربنات‌ها، ماده آلی، رس و سیلت خاک، همبستگی منفی و شن خاک، همبستگی مثبت و معنادار با میزان مواد سست فرسایش‌پذیر نشان داد (Motaghi *et al.* 2020). با وجود آنچه در خصوص تأثیر مثبت کربنات کلسیم در مقاومت سطوح در برابر فرسایش بادی گفته شد، به نظر می‌رسد در پهنه‌های شنی، با وجود درصد بالای کربنات‌ها (۳۵ درصد)، اندازه درشت ذرات کربنات کلسیم و فراوانی بیشتر کانی‌های آراگونیت و دولومیت به جای کلسیت (Hamzhepour *et al.* 2022)، نه تنها منجر به پایداری این سطوح نشده است، بلکه بر ناپایداری آنها در برابر نیروی باد نیز افزوده است.

نتیجه‌گیری کلی

پلايای ارومیه یک شکل اراضی پویا است که توسط فرایندهای متعددی دستخوش تغییر می‌گردد. یکی از مهم‌ترین فرایندهایی که خصوصیات این پلايا را کنترل می‌کند، تاریخچه‌ی پیشروی و پسروی آب در طی سالیان گذشته می‌باشد که این موضوع باعث ایجاد تغییراتی در خصوصیات فیزیکی سطوح آن شده است. هنگامی که تغییرات رطوبتی در آن به صورت ناپایدار صورت گیرد، سطوح سخت و مقاوم به فرسایش، تبدیل به سطوح نرم و سست می‌شوند. ماهیت اصلی این فرایندها هنوز نامشخص است، ولی یکی از دلایل

خزائی و همکاران به ترتیب مقدار ماده آلی، رس و کربنات کلسیم معادل را از عوامل مؤثر بر پایداری خاکدانه‌های برخی از خاک‌های کشاورزی استان همدان تشخیص دادند (Khazaei *et al.* 2008). چانی و سوئیفت (Chaney & Swift, 1984) با پژوهشی در خاک‌های بریتانیا، بیان داشتند که بین پایداری خاکدانه‌ها و ذرات اولیه خاک (رس، سیلت و شن)، رابطه معنی‌داری وجود نداشت، ولی ماده آلی از مهم‌ترین عوامل در وضعیت پایداری خاکدانه‌ها بود. همچنین پژوهش‌های محققان دیگر در سطح جهان نیز نشان داده است که ماده آلی (Rodríguez *et al.* 2006) و کربنات‌ها (Duiker *et al.* 2001)، در کنار ذرات معدنی (Santos *et al.* 2003)، از جمله خصوصیات هستند که فرسایش‌پذیری خاک را تحت تأثیر قرار می‌دهند. طبق پژوهش‌های رودریگز و همکاران (Rodríguez *et al.* 2006) بین مواد آلی و عامل فرسایش‌پذیری همبستگی منفی و معنی‌دار وجود دارد، لذا نقش ماده‌ی آلی در کاهش فرسایش‌پذیری به دلیل بهبود پایداری خاکدانه‌ها و نفوذپذیری خاک می‌تواند حائز اهمیت باشد. راعی و همکاران در مطالعه‌ای در شرق دریاچه ارومیه، نشان دادند که فرسایش‌پذیری بادی با عواملی چون میانگین اندازه ذرات همبستگی دارد (Raei *et al.* 2020). در مطالعه‌ای در

تخریب توسط انسان و یا احشام و نیز ماندابی نشدن)، سله-های رسی، رسی-نمکی و یا نمکی با گذر زمان، بر روی آن‌ها توسعه پیدا می‌کند.

به‌طور کلی می‌توان گفت که پهنه‌های رسی با سله‌های سطحی سفت و ضخیم در مجاورت دشت ارومیه و در دورترین فاصله از دریاچه ارومیه شکل گرفته‌اند. این سطوح، شوری پایین و پتانسیل تولید گردوغبار پایین داشتند به‌طوری که کمترین مقدار مواد سست فرسایش‌پذیر (LEM) در این سطوح مشاهده شد. سطوح رسی-نمکی در فاصله کمی از پهنه‌های رسی تشکیل شده‌اند. در این سطوح، سطح آب زیرزمینی بالاتر و مقدار نمک نسبت به پهنه‌های رسی بیشتر بود. این سطوح به همراه سطوح نمکی که در نزدیک‌ترین فاصله از دریاچه ارومیه تشکیل شده بودند، همانند پهنه‌های رسی پتانسیل کمی برای تولید گردوغبار داشتند. در مقابل، پهنه‌های شنی که در بخش‌های شمالی منطقه مطالعاتی و در مجاورت روستای جبل کندی واقع شده‌اند، بالاترین مقدار مواد فرسایش‌پذیر را با مقدار ۸۹/۷ درصد (۵۳/۸ تن در هکتار) دارا بودند. در پهنه‌های شنی، بالابودن درصد شن، کوچک بودن میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها که خود تابعی از سایر خصوصیات است و همچنین کم بودن ماده آلی، خاک این مناطق را بسیار حساس به فرسایش بادی نموده است. به عنوان جمع‌بندی نهایی از این مطالعه می‌توان گفت که درصد شن زیاد، ماده آلی کم و نبود سله‌های سطحی، از عنوان مهم تاثیرگذار بر فرسایش‌پذیری بادی سطوح پلايایی برجای مانده از پسروری دریاچه ارومیه می‌باشند. بنابراین در صورت توسعه پوشش گیاهی در مناطق با میزان املاح کمتر و نیز توسعه سله‌های سطحی (فیزیکی، شیمیایی و یا بیولوژیکی) در مناطقی که امکان رشد گیاهان وجود ندارد، امکان کنترل تولید ریزگرد از سطوح پلايایی و مقابله با فرسایش بادی فراهم می‌شود.

Reference

- Ahmady-Birgani H., Ravan P., Schlosser J.S., Cuevas-Robles A., AzadiAghdam M., and Sorooshian A. 2020. On the chemical nature of wet deposition over a major desiccated lake: Case study for Lake Urmia basin. *Atmospheric Research*, 234: 104762.
- Ahmady-Birgani H., and Feiznia S. 2016. Chemical Composition of TSP Dust-Sized as an Indicator in Geochemical Fingerprinting of Sediments. *Journal of Natural Environment*, 69(2): 283-301.
- Ahmadi A., Ghalibaf M.A., Ekhtesasi MR., and Ebrahimi Z. 2010. Evaluation of the erodibility of evaporate solutes of Tabas playa facies. *Proceedings of the 2nd National Conference on Wind Erosion and Dust Storms, Yazd, Iran*. pp. 110-116.
- Ahmed M., Al-Dousari N., and Al-Dousari A. 2016. The role of dominant perennial native plant species in controlling the mobile sand encroachment and fallen dust problem in Kuwait. *Arabian Journal of Geosciences*, 9: 1-4.

آن را می‌توان ایجاد ترک در سطح این مناطق در اثر تبخیر آب زیرزمینی از سطح خاک دانست. چنین ترک‌هایی، با در معرض باد قرار دادن سطوح زیرین، منجر به تشدید فرسایش بادی می‌شود. فرسایش بادی رسوبات دریاچه‌ای برجای مانده در اثر خشک شدن دریاچه‌ها، به‌طور طبیعی رخ می‌دهد ولی می‌تواند توسط فعالیت‌های انسانی هنگامی که سطح پلایا سست و مستعد فرسایش است، افزایش یابد. نتایج مربوط به مطالعه سطوح پلايایی مختلف شناسایی شده در غرب دریاچه ارومیه نشان داد که منطقه مطالعاتی از هفت سطح مختلف ژئومورفیکی تشکیل شده است که شامل سطوح رسی (CF)؛ سطوح رسی-نمکی (CF-SC)؛ سطوح نمکی (SC)؛ سطوح شنی-نمکی (Sa-SC)؛ پهنه-های شنی (Sa-sheets)؛ فن دلتا (FD) و شن ساحلی (Beach sand) بودند. هر کدام از این سطوح نیز به دلیل تفاوت در برخی از خصوصیات صحرائی به واحدهای نقشه مختلفی تقسیم شدند. یکی از مهم‌ترین عوامل منجر به تشکیل سطوح مختلف در این منطقه، همانند بسیاری از پلایاهای جهان، تغییرات سطح آب زیرزمینی و نوع رسوبات در هر بخش از منطقه بود. به‌طور کلی هرچه عمق تا آب زیرزمینی بیشتر، شست‌وشوی املاح بیشتر و نوسانات سطحی آب زیرزمینی کمتر می‌شود. در نتیجه، تجمع املاح در سطح کمتر می‌شود و امکان تشکیل سله نمکی کمتر می‌گردد. در منطقه مطالعاتی، در چنین نقاطی (چنانچه روی رسوبات دریاچه‌ای توسعه یافته‌اند) عمدتاً سطوح رسی ایجاد شده است. همچنین در مناطقی با سطح آب زیرزمینی بالا و غلظت نمک بیشتر در رسوبات، سطوح نمکی شکل گرفته است. در سایر نقاط، بسته به نوسانات سطح آب زیرزمینی و غلظت نمک، سطوح رسی-نمکی و یا نمکی-رسی ایجاد شده است. بسته به مدت زمانی که از شکل‌گیری این سطوح می‌گذرد و همچنین پایداری این سطوح (عدم

- Aminfar R., Landi A., and Hojati S. 2021. Source Identification and Distribution Mapping of some Heavy Metals in Dust Particles Collected Around the Hoveyzeh-Khorramshahr Dust Center. *Applied Soil Research*, 9(4): 1-14.
- Avery B.W. 1987. Soil survey methods: a review. Technical Monograph No. 18. Silsoe: Soil Survey and Land Resources Center. 86p.
- Boroughani M., Hashemi H., Hosseini S.H., Pourhashemi S., and Berndtsson R. 2019. Desiccating Lake Urmia: a new dust source of regional importance. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 17(9), 1483-1487.
- Bowen M.W. and Johnson W.C. 2015. Holocene records of environmental change in High Plains playa wetlands, Kansas, US. *The Holocene*, 25(11): 1838-1851.
- Bronick C.J., and Lal R. 2005. Soil structure and management: a review. *Geoderma*, 124: 3-22.
- Chaney K. and Swift R.S. 1984. The influence of organic matter on aggregate stability in some British soils. *Journal of Soil Science*, 35(2): 223-230.
- Duiker S.W., Flanagan D.C. and Lal R. 2001. Erodibility and infiltration characteristics of five major soils of southwest Spain. *Catena*, 45(2): 103-121.
- Farokhnia A., and Morid S. 2014. Assessment of the effect of temperature and precipitation variations on the trend of river flows in Urmia Lake watershed. *J. Water Wastewater*. 25(91): 86-97. (In Persian)
- Farpoor M.H., Neyestani M., Eghbal M.K. and Borujeni I.E. 2012. Soil-geomorphology relationships in Sirjan playa, south central Iran. *Geomorphology*, 138(1): 223-230.
- Gee G.W., and Or D. 2002. 2.4 Particle-size analysis. *Methods of soil analysis: Part 4 physical methods*, 5: 255-293.
- Ghadimi F., and Ghomi M. 2013. Geochemical and sedimentary changes of the Mighan Playa in Arak, Iran. *Iran Journal of Earth Science*, 5: 25-32.
- Gholampour A., Nabizadeh R., Hassanvand M.S., Nazmara S. and Mahvi A.H. 2017. Elemental composition of particulate matters around Urmia Lake, Iran. *Toxicological and Environmental Chemistry*, 99(1): 17-31.
- Goudarzi G., Shirmardi M., Naimabadi A., Ghadiri A. and Sajedifar J. 2019. Chemical and organic characteristics of PM_{2.5} particles and their in-vitro cytotoxic effects on lung cells: The Middle East dust storms in Ahvaz, Iran. *Science of the Total Environment*, 655: 434-445.
- Halleaux D.G., and Rennó N.O. 2014. Aerosols-climate interactions at the Owens "Dry" Lake, California. *Aeolian Research*, 15: 91-100.
- Hamzehpour N., Eghbal M.K., Abasiyan S.M.A., and Dill H.G. 2018. Pedogenic evidence of Urmia Lake's maximum expansion in the late Quaternary. *Catena*, 171: 398-415.
- Hamzehpour N., Marcolli C., Pashai S., Klumpp K., and Peter T. 2022. The Urmia Playa as source of airborne dust and ice nucleating particles-Part 1: Correlation between soils and airborne samples. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 22: 14905-14930.
- Jackson M. L. 2005. Soil Chemical Analysis: Advanced Course. UW-Madison Libraries parallel press, USA. 210p.
- John R.N. and Kim S. P. 2002. *Aggregate stability and size distribution*. (pp. 201-414), In: Jacob, H.D., and Clarke Topp, G (Ed.), *Methods of Soil Analysis. Part 4. Physical Methods*. Soil Science Society of America, Madison, WI., USA.
- Kemper W.D., and Chepil W.S. 1965. Size distribution of aggregates. In: Sparks, D.L. (Ed.), *Methods of soil analysis- Part 1. physical and mineralogical properties, including statistics of measurement and sampling*. SSSA Book Series No.9. *Soil Science Society of America and American Society of Agronomy*, Madison, pp. 499-510.
- Kim D., Chin M., Kemp E.M., Tao Z., Peters-Lidard C.D. and Ginoux P. 2017. Development of high-resolution dynamic dust source function-A case study with a strong dust storm in a regional model. *Atmospheric Environment*, 159: 11-25.
- Khazaei A., Mosaddeghi M.R., and Mahboubi A.A. 2008. Structural stability assessment using wet sieving method and its relations with some intrinsic properties in 21 soil series from Hamadan Province. *Agricultural Research: water, soil and plant in agriculture*, 8(1): 171-181.
- Kohler J., Caravaca F. and Rolan A. 2010. An AM fungus and a PGPR intensify the adverse effects of salinity on the stability of rhizosphere soil aggregates of *Lactuca sativa*. *Soil Biology and Biochemistry*, 42: 429-434.
- Krinsley D. 1970. A geomorphological and paleoclimatological study of the playas of Iran. US Geol. Surv. Rep.

- Lal R. 1990. Soil erosion and land degradation: the global risks. *Advances in Soil Science: Soil Degradation*, 11: 129-172.
- Middleton N.J. 2017. Desert dust hazards: A global review. *Aeolian research*, 24: 53-63.
- Morgan R.P.C. 2009. Soil erosion and conservation. John Wiley & Sons. 100p.
- Moridnejad A., Karimi N. and Ariya P.A. 2015. Newly desertified regions in Iraq and its surrounding areas: Significant novel sources of global dust particles. *Journal of Arid Environments*, 116: 1-10.
- Motaghi F.A., Hamzeshpour N., Abasiyan S.M.A. and Rahmati M., 2020. The wind erodibility in the newly emerged surfaces of Urmia Playa Lake and adjacent agricultural lands and its determining factors. *Catena*, 194: 104675.
- Nelson D.W., and Sommers L.E. 1996. Total carbon, organic carbon, and organic matter. In: Sparks, D.L. (Ed.), *Methods of Soil Analysis—Part 3. Chemical Methods—SSSA Book Series No. 5. Soil Science Society of America and American Society of Agronomy*, Madison, pp. 1123–1184.
- Nimmo J.R. and Perkins K.S. 2002. 2.6 Aggregate stability and size distribution. In: Sparks, D.L. (Ed.), *Methods of soil analysis- part 4 physical methods-*, SSSA Book Series No. 5.4. *Soil Science Society of America and American Society of Agronomy*, Madison, pp. 317-328.
- Prospero J.M., Ginoux P., Torres O., Nicholson S.E. and Gill T.E. 2002. Environmental characterization of global sources of atmospheric soil dust identified with the Nimbus 7 Total Ozone Mapping Spectrometer (TOMS) absorbing aerosol product. *Reviews of geophysics*, 40(1): 2-1.
- Raei B., Ahmadi A., Neyshabouri M.R., Ghorbani, M.A., Asadzadeh F. 2020. Determination of Soil Wind Erodibility in Eastern Urmia Lake and its Relationship with Soil Physicochemical Properties. *Applied Soil Research*, 8(2): 82-92.
- Rashki A., Eriksson P.G., Rautenbach C.D.W., Kaskaoutis D.G., Grote W., and Dykstra J. 2013. Assessment of chemical and mineralogical characteristics of airborne dust in the Sistan region, Iran. *Chemosphere*, 90(2): 227-236.
- Reynolds R.L., Bogle R., Vogel J., Goldstein H., and Yount J. 2009. Dust emission at Franklin Lake Playa, Mojave Desert (USA): Response to meteorological and hydrologic changes 2005-2008. *Natural Resources and Environmental Issues*, 15(1):18-30.
- Rhoades J.D. 1996. Salinity: electrical conductivity and total dissolved solids. In: Sparks, D.L. (Ed.), *Methods of Soil Analysis—Part 3. Chemical Methods—SSSA Book Series No. 5. Soil Science Society of America and American Society of Agronomy*, Madison, pp. 417–435.
- Rodríguez A.R., Arbelo C.D., Guerra J.A., Mora J.L., Notario J.S., and Armas C.M. 2006. Organic carbon stocks and soil erodibility in Canary Islands Andosols. *Catena*, 66: 228-23.
- Rossiter D.G. 2000. Methodology for Soil Resource Inventories, 2nd revision, Soil Science Division, International Institute for Aerospace Survey and Earth Science (ITC). 132p.
- Santos F.L., Reis J.L., Martins O.C., Castanheira N.L. and Serralheiro R.P. 2003. Comparative assessment of infiltration, runoff and erosion of sprinkler irrigated soils. *Biosystems Engineering*, 86(3): 355-364.
- Schepanski K. 2018. Transport of mineral dust and its impact on climate. *Geosciences*, 8(5): 151.
- Shadkam S., Ludwig F., van Oel P., Kirmit Ç., and Kabat P. 2016. Impacts of climate change and water resources development on the declining inflow into Iran's Urmia Lake. *J. Great Lakes Res.* 42(5): 942-952.
- Shahryary A. 2014. Assessment of Tasoki-Rigchah critical area in wind erosion production in Sistan plain. *Int. J. Advanced Biol. Biomed. Res.*, 2(2): 463-472.
- Sotoudeheian S., Salim R., and Arhami M. 2016. Impact of Middle Eastern dust sources on PM10 in Iran: Highlighting the impact of Tigris-Euphrates basin sources and Lake Urmia desiccation. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 121(23): 14-018.
- Van Bavel C.H.M. 1950. Mean weight-diameter of soil aggregates as a statistical index of aggregation. *Proceedings. Soil Science Society of America*, 14: 20-23.
- Wurtsbaugh W.A., Miller C., Null S.E., DeRose R.J., Wilcock P., Hahnenberger M., Howe F., and Moore J. 2017. Decline of the world's saline lakes. *Nature Geoscience*, 10(11): 816-821.
- Zobeck T.M. 1991. Abrasion of crusted soils: Influence of abrader flux and soil properties. *Soil Science Society of America Journal*, 55: 1091-1097.
- Zoratipour A., baranpour M., Moghadam B.Kh., and Bagheri R. 2022. Predicting the Land Degradation Changes in the Dust Center Under the Influence of Climate Change Phenomenon (Case study: Southeast Dust Center of Ahvaz). *Applied Soil Research*, 10(4): 25-44.

Semi-Detailed Mapping of the Playa Surfaces in the West of Lake Urmia and their Contribution to Aerosols

Shabeddin Gerami¹, Mostafa Karimian Eghbal², Nikou Hamzhepour^{3*}

(Received: February, 2023

Accepted: April, 2023)

Abstract

The recession of the lake shores, including Lake Urmia (LU), and later exposure of the lake bed sediments to wind erosion, as a consequence of climate change and drought is an increasingly dangerous phenomenon in arid and semi-arid regions of the world. When salt particles remain unconsolidated, and uncovered on soil surface, they can be moved by wind easily, generating salt dust. These fine-grained salt particles cause salinization of agricultural lands, accelerate deforestation leading to health, and economic problems in lives neighboring residents. The aims of the present research were to study Urmia Lake Playa (ULP) geomorphic surfaces in its western shores, and their vulnerability to dust generation. All lands from Urmia Lake recession from its western shores were selected. Different playa surfaces in the study area were identified and mapped using satellite images and Google Earth software. Then, boundaries of the mapped surfaces were checked by field observations. Later 130 soil samples from depth 0-5 cm of different surfaces were collected during spring to autumn 2019 and physicochemical analysis, mean weight diameter (MWD) and loose erodible material (LEM) were determined and finally geomorphic map of the study area was prepared in ARCGIS software. Based on the results from present study, seven geomorphic surfaces were identified in western part of ULP including clay flats, salt crusts, clay flats- salt crusts; sandy salt crusts, beach sands, sand sheets and fan delta. Each of these surfaces were subdivided to different map units based on the variation in vegetation cover and density, stability of surficial crusts and some other physicochemical properties. Among studied surfaces, sand sheets located in northern parts of the study area, next to Jabal Kandi village, had the highest LEM with 89.7 % equal to 53.8 ton.ha⁻¹ soil. The study of the correlation between LEM and several soil physicochemical properties showed that high sand content and low calcium carbonate, MWD (which is also dependent of soil properties) and also low organic matter in soils of sand sheets have made these areas vulnerable to wind erosion and prone to dust generation.

Keywords: Clay flats, Salt crusts, Sand sheets, Loose erodible material, Dust.

Gerami Sh., Eghbal M.K., Hamzhepour N. 2024. Semi-detailed mapping of the playa surfaces in the west of Lake Urmia and their contribution to aerosols. *Applied Soil Research*, 11(4): 142-157.

1 MSc graduated, faculty of agriculture, soil science department, Tarbiat Modares University, Iran

2 Associated professors, faculty of agriculture, soil science department, Tarbiat Modares University, Iran

3 Associated professors, faculty of agriculture, soil science and engineering department, University of Maragheh, Iran (corresponding author)

* Corresponding Author Email: nhamzhepour@maragheh.ac.ir