



ارزیابی تغییرات مکانی فرسایش پذیری بادی اراضی در حاشیه دریاچه ارومیه

علی اکبر نظری سامانی^{۱*}، محمدرضا راهداری^۲، غلامرضا راهی^۳

۱. دانشیار، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.

۲. استادیار، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تربت حیدریه، تربت حیدریه، ایران.

۳. عضو هیأت علمی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی بوشهر.

* نویسنده مسئول: aknazari@ut.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۰/۲۸ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۱۲/۱۵

چکیده

فرسایش بادی یکی از فرآیندهای مهم تخریب اراضی در مناطق خشک و نیمه خشک جهان به شمار می آید. با توجه به رخداد پسروری سطح آب دریاچه ارومیه در دهه ۱۳۸۰ و احتمال وقوع فرآیند فرسایش بادی و گردوغبار، لازم است تا نقش اراضی حاشیه این دریاچه از منظر حساسیت به بادبردگی ارزیابی شود. برای این منظور از مطالعات ژئومورفولوژی و برداشت های میدانی به همراه شاخص های دانه بندی و تحلیل سرعت آستانه بهره گیری شد. نتایج نشان داد که رخساره های اراضی شور و پف کرده (۱۹٪)، اینسلب برگ (۱۳/۵٪)، پوسته نمکی همراه با خشکه رود (۱۲/۸٪) و اراضی رها شده (۱۰/۷٪)، به ترتیب بیشترین سطح از اراضی حاشیه دریاچه را به خود اختصاص داده اند. نتایج دانه بندی بیانگر این است که میانگین قطر ذرات برابر با ۸۷۰ میکرون و میانگین جورشدگی و کج شدگی به ترتیب برابر با ۲/۹۱ و ۰/۱۵ هستند. ارزیابی سرعت آستانه فرسایش بادی به روش ولیکانف نشان داد که بیشترین سرعت آستانه ۱۸/۸۳ نات و کمترین آن ۸/۳ نات است، و از سویی میانگین آن در نمونه های برداشت شده ۱۲ نات و میانگین وزنی رخساره های ژئومورفولوژی ۱۱ نات برآورد شده است. بیشترین فرسایش پذیری نیز متعلق به اراضی شور و پف کرده نمکی است. مقدار پتانسیل فرسایش پذیری منطقه بسیار زیاد است، ولی در عمل به دلیل نوع اقلیم (بارش و دما) و حضور پوشش گیاهی مقدار فرسایش بادی در شرایط طبیعی کم است. پهنه بندی فرسایش پذیری نشان دهنده حساسیت بیشتر اراضی در قسمت های جنوب شرقی جزیره اسلامی و شمال غرب دریاچه ارومیه است. ارزیابی گلماسه سالانه نشان می دهد که بیشترین مقدار پتانسیل حمل ماسه به ترتیب در ایستگاه های تبریز ($UDI=0/05$, $DP=232$)، خوی ($UDI=0/49$, $DP=130$) و ارومیه ($0/59$), $UDI=63$, $DP=63$) است. بر پایه وجود منابع تولید ماسه و انرژی باد در قسمت غربی و شمال غربی دریاچه ارومیه امکان شکل گیری تپه های ماسه ای و فرسایش بادی وجود دارد، ولی با توجه به وجود منابع زیاد نمک لازم است تا از دیدگاه هجوم نمک و رخ دادن هوازگی نمکی پژوهش های بیشتری در اراضی حاشیه دریاچه انجام شود.

واژگان کلیدی: اقلیم؛ تپه ماسه ای؛ رخساره ژئومورفولوژی؛ سرعت آستانه؛ فرسایش پذیری؛ گل ماسه

■ مقدمه

فرسایش بادی تهدیدی جدی برای محیط زیست و بقایای بشر به ویژه در مناطق خشک و نیمه خشک است (۳). فرسایش بادی پدیده‌ای است که در نتیجه وزش بادهای تند و تلاطم حاصل از آن بر سطح زمین هموار و عاری از پوشش رخ می‌دهد. این در حالی است که رشد تصاعدی جمعیت و بهره‌برداری نامناسب و غیر اصولی از خاک، موجب وارد کردن خسارات جبران ناپذیری به این اکوسیستم طبیعی شده است (۲۳). بررسی و ارزیابی فرسایش بادی به دلیل گستردگی و تنوع عوامل دخیل در آن کار مشکلی است (۱۳). عامل‌هایی مانند پوشش گیاهی ضعیف و پراکنده، سطح خاک هموار و خشک حاوی ذرات سست و وقوع بادهای شدید؛ احتمال فرسایش بادی را افزایش می‌دهند (۲۹).

باد، پدیده‌ای دینامیک و پویا و فرایندی وابسته به زمان و مکان است که حدود ۲۸٪ از خشکی‌های جهان را تحت سیطره خود قرار داده است (۳۶) و یکی از پیامدهای ژئومورفولوژی آن حمل و رسوب‌گذاری ماسه‌های روان است. از نظر زمانی سرعت و جهت باد و از نظر مکانی توپوگرافی، ویژگی‌های ذاتی خاک، مدیریت اراضی و پوشش گیاهی موجب می‌گردد که وضعیت فرسایش بادی در طول زمان تغییر کند (۳۱). باد به علت نیروی زیاد و عملکرد در سطح وسیع در مناطق خشک و نیمه خشک موجب می‌گردد که شدت هدررفت خاک و مقدار رسوب‌دهی در چنین مناطقی گاه تا چندین برابر فرسایش آبی باشد. اگر چه فرسایش بادی در مناطق خشک و نیمه خشک بسیار معمول است، اما پژوهش‌ها نشان می‌دهد نواحی مرطوب که همه بارش سالانه آن‌ها در قسمتی از سال تمرکز دارد و بقیه سال خشک و بدون باران هستند، نیز دارای فرسایش بادی خواهند بود (۳۰). همچنین ماسه‌های بدون ساختمان در مناط ساحلی و خاک‌های سبک آلی نیز نسبت به فرسایش بادی حساس می‌باشند (۳۳).

تأثیر بادهای فرساینده در قسمت‌های مختلف یک منطقه و همچنین در بیابان‌های مختلف متفاوت است، زیرا تغییرپذیری زیادی در انرژی باد وجود دارد. سرعت و قدرت باد عنصر کلیدی در قابلیت فرسایش بادی است. درجه

فرساینده‌گی باد به مقدار انرژی آن بستگی دارد؛ به‌طوریکه هرچه مقدار انرژی باد بیشتر باشد مقدار بادبردگی خاک افزایش می‌یابد (۲۷). روش‌های متعددی برای برآورد قابلیت حمل رسوبات بادی برپایه ویژگی‌های محیطی ابداع شده است (۱۶). از بین آن‌ها، روش فرایبرگر سازگاری بیشتری با محیط‌های بیابانی دارد و بیشتر مورد استفاده قرار گرفته است (۱۲). این روش برپایه معادله لتو-لتو تهیه شده که نشان دهنده ارتباط بین انرژی باد و حمل ماسه است (۴). بنابراین از این شاخص برای تعیین مقدار فعالیت تپه‌های ماسه بادی استفاده شده است (۱، ۹، ۲۰). از سویی دیگر بررسی‌های زیادی بر اساس روش فرایبرگر در محیط‌های بیابانی در سطح ملی و بین‌المللی صورت گرفته است؛ به‌طوریکه در پژوهشی مقدار انرژی باد در ایستگاه زابل برابر با ۲۵۶۱ واحد بردار محاسبه شد و به عنوان یکی از بیشترین مقدار در بیابان‌های داخلی جهان گزارش شده است (۱). پتانسیل حمل ماسه در مصر برابر با ۱۴۰۰ واحد بردار (۲۴)، در ایالت کلرادو آمریکا برابر با ۱۱۰۰ واحد بردار (۲۵)، در لیبی برابر با ۶۵۰ واحد بردار (۲۲) و در کویت برابر با ۳۴۵ واحد بردار (۴) گزارش شده است.

حدود ۲۴ میلیون هکتار از اراضی کشور ایران، تحت تأثیر فرسایش بادی قرار دارد و ۱۳ میلیون هکتار از این اراضی در سیطره تپه‌های ماسه‌ای قرار دارند که حدود پنج میلیون هکتار آن را تپه‌های ماسه‌ای فعال و نیمه فعال تشکیل می‌دهد (۲۸). طی دو دهه گذشته به دلیل خشکسالی‌ها و مدیریت سرزمین، احداث سد و تغییر الگوی پوشش و مصرف آب موجب شده است تا بیشتر دریاچه‌های دائمی و فصلی در ایران مرکزی خشک شوند و بنابراین به عنوان منبع بالقوه برای تولید رسوبات بادی و انتقال املاح تبدیل شوند. در محدوده شمال غرب کشور نیز در دهه گذشته با کاهش سطح و خشک شدن دریاچه ارومیه جنبه‌های فرسایش بادی و املاح همراه رسوبات نقش پررنگتری به خود گرفته است. به‌طوریکه در سطح ملی و منطقه‌ای خشک شدن دریاچه ارومیه به عنوان تهدید مخاطره انگیز مطرح شده است (۳۲). به‌طوریکه پسروی سطح دریاچه ارومیه، ناشی از کاهش شدید بارندگی در بیش از یک دهه گذشته، افزایش نسبی دما، تبخیر از سطح دریاچه، احداث و بهره‌برداری از سازه‌های آبی، کاهش ورود آب به دریاچه از طریق رودخانه‌ها و در پایان برداشت بی‌رویه

است که بادهای محلی ذرات ریز نمک را از سمت دریاچه به حاشیه غربی آن حمل می کنند و منجر به تجمع نمک و تشکیل رسوبات بادی بسیار شور شده اند (۸). با توجه به بررسی های انجام شده می توان گفت که پژوهشی جامع و کامل در زمینه شناسایی رخساره های ژئومورفولوژی حاشیه دریاچه ارومیه و پهنه بندی سرعت آستانه فرسایش بادی و فرسایش پذیری و همچنین ارزیابی پتانسیل حمل ماسه در منطقه صورت نگرفته است و این پژوهش به دنبال رسیدن به این اهداف انجام شده است.

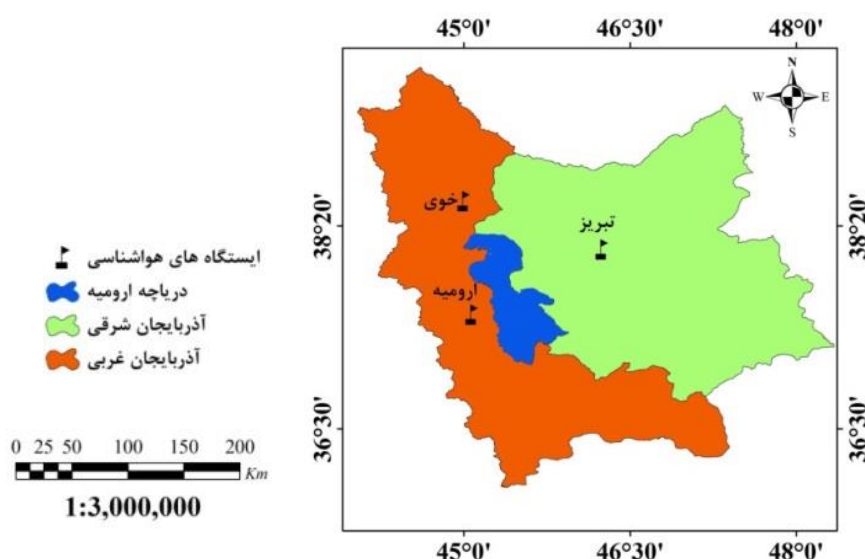
■ مواد و روش ها

منطقه مورد مطالعه

دریاچه ارومیه دومین دریاچه شور دنیا و بزرگترین دریاچه داخلی با مساحتی حدود 5822 Km^2 کیلومتر مربع (۱۵) در شمال غرب ایران است و با موقعیت جغرافیایی 37° و $42'$ شمالی و 45° و $19'$ شرقی بین دو استان آذربایجان غربی و آذربایجان شرقی واقع شده است (شکل ۱). سطح معمول دریاچه نسبت به سطح آب دریا های آزاد 1300 متر بالاتر قرار دارد. طول دریاچه از 130 تا 146 کیلومتر متغیر است و عرض دریاچه در پهن ترین قسمت 58 کیلومتر و در کم عرض ترین قسمت آن که در محلی بین کوه زنبدیل و جزیره اسلامی، 15 کیلومتر می باشد (۵). این حوضه دارای اقلیم نیمه خشک سرد است و میانگین بارش سالانه آن 340 میلی متر است (۳۲).

از منابع آب زیرزمینی منجر به بروز پیامدهای منفی و نگران کننده ای در منطقه شده است (۲۶). طی دهه اخیر دریاچه ارومیه با از دست دادن 90% از سطح آبی خود و افزایش غلظت نمک (۱۷) جای خود را به پوشش وسیعی از محیط های شبه پلایایی داده است که می تواند به عنوان منبع احتمالی ایجاد گرد و غبار و نمک به شود (۱۸). قدر مسلم در صورت وجود شرایط بادی مناسب، این املاح مستعد حرکت اند و توفان هایی نمکی به صورت ذرات ریز معلق در جو تشکیل خواهد شد (۱۴). در نتیجه تجمع نمک، پراکندگی و یا نبود پوشش گیاهی و وقوع فرسایش بادی، بافت سستی در سطح خاک شکل خواهد یافت (۲) که در فصل های گرم، باد می تواند این نمک ها را حمل نموده و به مناطق مجاور و فواصل بسیار زیاد انتقال دهد (۱۷).

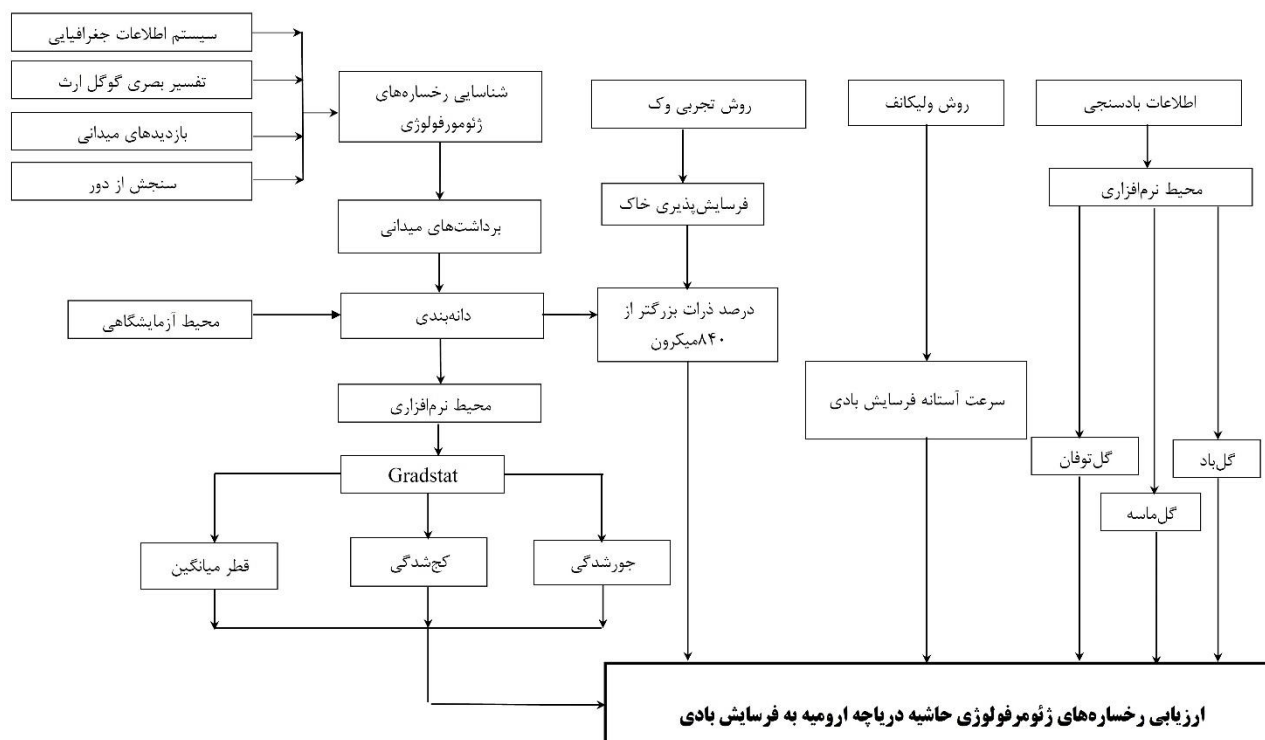
بررسی های متعددی در ارتباط با رژیم باد و فرسایش بادی دریاچه ارومیه در چند سال اخیر انجام شده است به طوریکه در پژوهشی مشخص شد که گرد و غبار تا شعاع 40 کیلومتری از دریاچه اثرگذاری بیشتری را داشته اند و مناطق شمال و شمال غرب بیشترین تأثیر را از این ذرات داشته اند (۳۲). در بررسی دیگری طی 50 سال اخیر تعداد روزهای گرد و غبار در ایستگاه هم دیدی ارومیه 473 روز ارزیابی شد و بیشترین روزهای گرد و غبار در مرداد ماه اتفاق افتاده است (۷). در تحقیقی در ارتباط با رسوبات بادی حاشیه غربی دریاچه ارومیه مشخص شده



شکل ۱. منطقه مورد مطالعه

فرسایش بادی از بررسی‌های میدانی، تجزیه و تحلیل‌های آزمایشگاهی و روابط تجربی استفاده شود (شکل ۲) که به تفصیل در ادامه شرح داده می‌شود.

در این تحقیق تلاش شده است که به منظور ارزیابی
رخساره‌های ژئومورفولوژی حاشیه دریاچه ارومیه به



شکل ۲. نمودار جریان‌ی مراحل انجام تحقیق

اراضی حاشیه دریاچه ارومیه شناسایی شده است. لازم به ذکر است که در این محدوده بیشتر اراضی ملی متعلق به منابع طبیعی مد نظر بوده است که مساحتی در حدود ۱۶۰ هزار ۱۱ شامل شده است.

برای بررسی شاخص‌های دانه‌بندی، ابتدا نمونه‌های برداشت شده در سینی ریخته شد تا از بقایای گیاهی و هر ذرهٔ اضافی پاک شوند. سپس دانه‌بندی نمونه‌ها، براساس روش الک خشک، انجام شد. از الک‌های ۲۰۰۰، ۱۰۰۰، ۵۰۰، ۲۵۰، ۱۲۵، ۶۲ و کمتر از ۶۲ μm ، از هر نمونه ۴۰۰ gr انتخاب و به مدت ۵ دقیقه الک شد و محتوی رسوب باقی مانده برروی هر الک به دقت وزن شد (۱۱).

قطر میانگین یا M_z ، حد متوسط اندازه‌ی ذرات است که با استفاده از رابطهٔ ۱ به دست آمد:

$$M_z = \frac{\Phi_{16} + \Phi_{50} + \Phi_{84}}{3} \quad (1)$$

(الف) شناسایی واحد، تیپ و رخساره‌های ژئومورفولوژی مطالعات متعددی در زمینه ژئومورفولوژی بیابان‌های ایران انجام شده است که در این پژوهش نیز از تقسیم‌بندی‌های رخساره‌های ژئومورفولوژی بیابان بر مبنای مطالعات کرینسلی، احمدی، محمودی و اختصاصی استفاده شده است (۳۰). به منظور شناسایی رخساره‌های ژئومورفولوژی با توجه به مدل رقومی ارتفاعی استر با قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متر، نقشه شیب برای مناطق حاشیه دریاچه ارومیه تهیه شده است. در ادامه با توجه به طبقات شیب واحدهای ژئومورفولوژی جداسازی گردید؛ به منظور جداسازی و تفکیک تیپ‌ها و رخساره‌های ژئومورفولوژی با استفاده از بررسی‌های سنجش از دور مبتنی بر داده‌های رقومی لندست ۸ و تحلیل مولفه‌های اصلی، همراه با طبقه بندی نظارت نشده مناطقی که از نظر طیفی همگن بودند شناسایی شدند. سپس با تفسیر بصری گوگل ارث نقشه رخساره اولیه جداسازی شد و در پایان با بازدیدهای میدانی (معادل ۱۲ نفر روز) تیپ‌ها و رخساره‌های ژئومورفولوژی

وابسته به ارزیابی‌های میدانی و تونل باد قابل حمل (۱۰) و ثابت (۱۹) طبقه‌بندی کرد.

ارزیابی سرعت آستانه فرسایش بادی در این تحقیق با توجه به معادله ولیکانف (رابطه ۵) صورت پذیرفته است (۳):

$$V_k = 46.5 \sqrt{14d + 0.006} \quad (۵)$$

در این رابطه V_k برابر با سرعت آستانه فرسایش بادی به متر بر ثانیه در ارتفاع ۸ متر و d معادل با قطر ذرات به متر است.

ت) رژیم بادی (گل‌باد، گل‌توفان و گل‌ماسه)

به‌منظور ارزیابی رژیم بادی در حاشیه دریاچه ارومیه پس از آماده‌سازی داده‌های بادسنجی (۱۳۶۶-۱۳۹۶) در فرمت Lake، گل‌باد و گل‌توفان ایستگاه‌های مورد مطالعه با استفاده از نرم افزار 8 WR Plot view رسم شد. گل‌ماسه ایستگاه‌های مورد مطالعه نیز با توجه به رابطه ۶ تا ۹ و با استفاده از نرم افزار MATLAB 2015 انجام شد. سرعت آستانه نیز بر پایه تحلیل‌های دانه‌بندی ذرات و رابطه تجربی برآورد و در پایان میانگین وزنی سرعت آستانه فرسایش بادی در رخساره‌های مختلف محاسبه شد. در ادامه با رابطه‌های ۶ تا ۹ فرای‌برگر (۱۲) شاخص پتانسیل حمل ماسه محاسبه شد.

$$DP \propto V^2(V - V_t) \times T \quad (۶)$$

در این رابطه سرعت باد اندازه‌گیری شده با V نشان داده شده است و V_t سرعت آستانه، معادل ۱۱ نات، و T فراوانی طبقه‌های سرعت باد در جهت‌های هشت‌گانه در ایستگاه مورد بررسی است.

درپایان DP توانایی حمل ماسه در تمام جهات در زمان سالانه با توجه به مطالعات فرای‌برگر به دست آمد. به‌منظور به دست آوردن برآیند برداری در جهات مختلف بعد از تجزیه نیروها در امتداد محورهای طولی و عرضی بردار برآیند محاسبه شد.

جورش‌دگی یا انحراف معیار، شاخصی است که یکنواختی ذرات تشکیل‌دهنده رسوب و دور و نزدیک بودن قطر نمونه حول قطر میانه را نشان می‌دهد (رابطه ۲).

$$SO = \frac{\Phi_{84} - \Phi_{16}}{4} - \frac{\Phi_{95} - \Phi_5}{6/6} \quad (۲)$$

کج‌شدگی، نامتقارنی یا نامتجانس بودن منحنی توزیع ذرات را بیان می‌کند که توسط دنباله منحنی توزیع مشخص می‌شود و معادله مربوط به کج‌شدگی در رابطه ۳، ارائه شده است:

$$Skl = \frac{\Phi_{16} + \Phi_{84} - 2\Phi_{50}}{2(\Phi_{84} - \Phi_{16})} + \frac{\Phi_5 + \Phi_{95} - 2\Phi_{50}}{2(\Phi_{95} - \Phi_5)} \quad (۳)$$

Mz میانگین قطر ذرات در مقیاس فی، SO جورش‌دگی یا انحراف معیار و SKI معادل با کج‌شدگی است.

Φ_{16} : قطر ذرات معادل ۱۶٪ در نمودار فراوانی تجمعی برحسب فی

Φ_{50} : قطر ذرات معادل ۵۰٪ در نمودار فراوانی تجمعی برحسب فی

Φ_{84} : قطر ذرات معادل ۸۴٪ در نمودار فراوانی تجمعی برحسب فی

Φ_{95} : قطر ذرات معادل ۹۵٪ در نمودار فراوانی تجمعی برحسب فی

پ) فرسایش‌پذیری و سرعت آستانه به فرسایش بادی

به منظور ارزیابی فرسایش‌پذیری از فرمول تجربی وک (رابطه ۴) به شرح ذیل استفاده شده است که I معادل با مقدار فرسایش‌پذیری سالانه به تن در هکتار است و AGG برابر با میانگین وزنی قطر ذرات خاکدانه می‌باشد (۲۱):

$$I = 525 \times 2.718^{-0.04 AGG} \quad (۴)$$

بررسی‌های زیادی در ارتباط با ارزیابی سرعت آستانه فرسایش بادی صورت گرفته است که می‌توان آن‌ها را به دو گروه معادله‌های تجربی (۶، ۳۵، ۳۷) و پژوهش‌های

روش پیشنهاد نمود از سرعت‌های بیشتر از ۴۰ نات صرف‌نظر شود به خاطر اینکه از نظر آماری درصد بسیار ناچیزی را شامل می‌شوند.

در پایان پس از انجام محاسبات در سامانه اطلاعات جغرافیایی، پتانسیل حمل ماسه در منطقه مورد مطالعه پهنه‌بندی شد.

■ نتایج و بحث

نتایج حاصل از شناسایی رخساره‌های ژئومورفولوژی در شکل ۳ قابل مشاهده است. همانطور که در جدول ۲ نیز قابل ملاحظه است بخش زیادی از قسمت شرقی دریاچه ارومیه در تیپ جلگه رسی و رخساره‌های اراضی شور و پف کرده و پوسته نمکی واقع شده است.

مطابق با شکل ۴ اراضی شور و پف کرده فاقد پوشش و در برخی نقاط دارای پوشش هالوفیت بیشترین سطح (۱۹٪) از رخساره‌های ژئومورفولوژی در حاشیه دریاچه ارومیه به خود اختصاص داده است. بعد از آن اینسلیبرگ جزیره اسلامی (۱۳/۵٪)، پوسته نمکی همراه با خشکه رود (۱۲/۸٪) و اراضی رها شده (۱۰/۷٪) بیشترین سطح را به خود اختصاص داده‌اند.

$$RDP = \sqrt{(C^2 + D^2)}$$

$$D = \sum_{i=1}^{8 \text{ or } 16} (DP_i) \cos \theta_i \quad (7)$$

$$C = \sum_{i=1}^{8 \text{ or } 16} (DP_i) \sin \theta_i$$

به طوریکه در این رابطه منظور از RDP، برآیند برداری پتانسیل حمل ماسه و RDD نیز جهت حمل ماسه می‌باشد.

$$RDD = \text{Arc tan}\left(\frac{C}{D}\right) \quad (8)$$

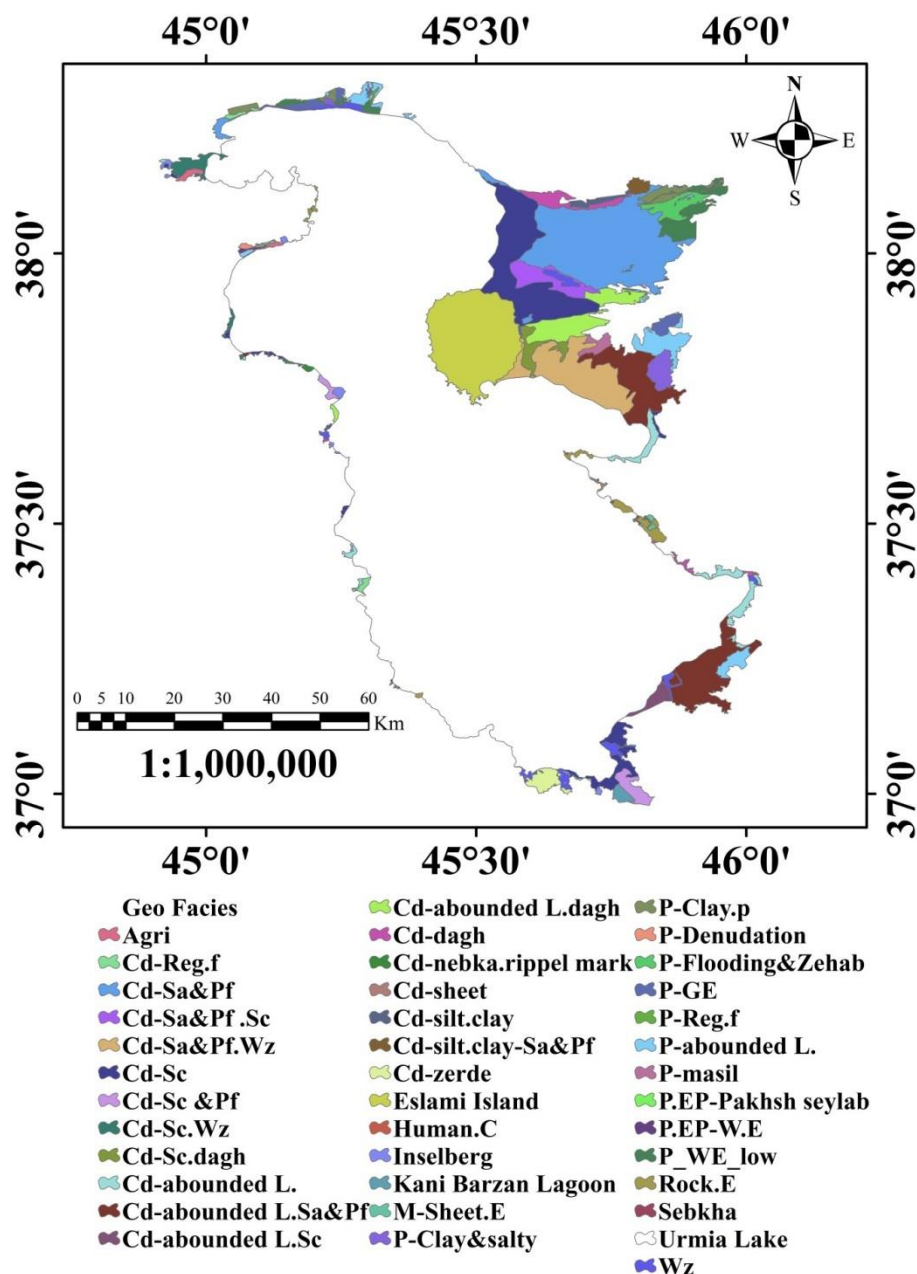
به منظور به دست آوردن نسبت برآیند برداری به برآیند جبری (UDI) از تقسیم این دو پارامتر که در مراحل قبل توسط رابطه ۷ به دست آمده، استفاده شد:

$$UDI = \left(\frac{RDP}{DP_t}\right) \quad (9)$$

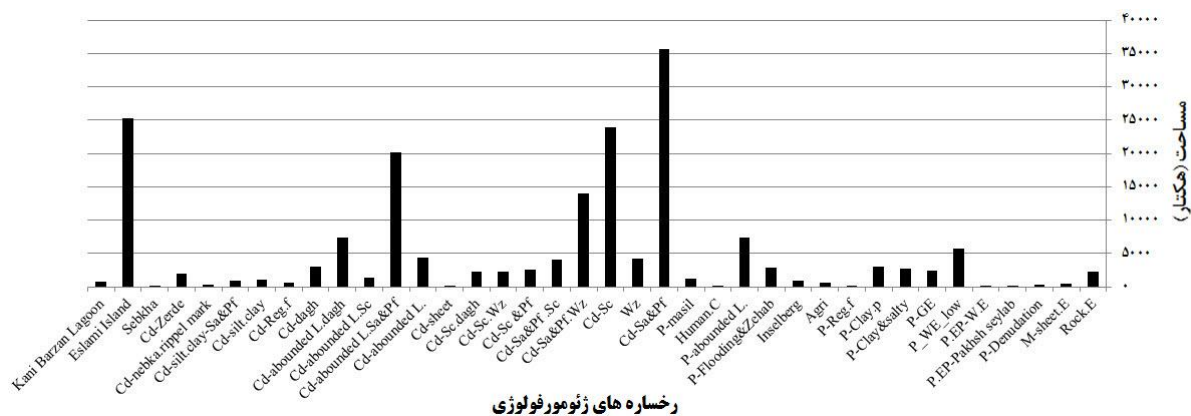
برای انجام محاسبات پتانسیل حمل ماسه به روش فرایبرگر (۱۲) از طبقه‌های سرعت باد استاندارد (جدول ۱) استفاده شده است. لازم به ذکر است که فرایبرگر در این

جدول ۱. محاسبات فاکتور وزنی به روش فرایبرگر و کلاس‌های سرعت باد (سرعت آستانه فرسایش بادی: ۱۱ نات)

کلاس سرعت باد (نات)	میانگین سرعت باد	^۲ (سرعت باد)	(سرعت آستانه-سرعت باد)	فاکتور وزنی
۱۶-۱۱	۱۳/۵	۱۸۲/۲۵	۲/۵	۴/۵۵
۲۱-۱۷	۱۹	۳۶۱	۸	۲۸/۸۸
۲۷-۲۲	۲۴/۵	۶۰۰/۲۵	۱۳/۵	۸۱/۰۳
۳۳-۲۸	۳۰/۵	۹۳۰/۲۵	۱۹/۵	۱۸۱/۳۹
۴۰-۳۴	۳۷	۱۳۶۹	۲۶	۳۵۵/۹۴



شکل ۳. شناسایی رخساره‌های ژئومورفولوژی حاشیه دریاچه ارومیه



شکل ۴. مقایسه رخساره‌های ژئومورفولوژی بر مبنای سطح (هکتار)

جدول ۲. وضعیت ژئومورفولوژی حاشیه دریاچه ارومیه بر مبنای واحد، تیپ و رخساره

کد و نام واحد ژئومورفولوژی	کد و نام تیپ ژئومورفولوژی	کد و نام رخساره	کد و نام ویژگی رخساره	مساحت (هکتار)	کد بر روی نقشه
۱ کوهستان	۱-۱	کوه	۱-۱-۱ برونزد سنگی همراه لکه‌های پوشیده از خاک	۲۲۹۰	Rock.E
			۱-۱-۲ کوهستان همراه با فرسایش سطحی، پوشش سنگریزه‌ای	۴۰۵	M-sheet.E
	۲-۱	دشت‌سر فرسایشی	۲-۱-۱ فرسایش سطحی و مخروط واریزه‌ای همراه با پوشش گیاهی کم و سنگریزه سطحی	۲۴۰	P-Denudation
	۲-۲	دشت‌سر	۲-۲-۱ دشت سیلابی و پخش سیلاب اجرا شده	۱۲	P.EP-Pakhsh seylab
		اپانداز	۲-۲-۲ فرسایش ورقه‌ای، سطحی و شیب‌ری همراه با پوشش کم	۱۸۹	P.EP-W.E
			۲-۳-۱ فرسایش آبی، ورقه‌ای، در برخی سطوح همراه با پوشش نمکی و پوشش گیاهی کم	۵۶۶۰	P_WE_low
			۲-۳-۲ فرسایش خندقی و آبراهه‌ای و اراضی شدیداً تخریب شده به همراه پوشش گیاهی کم و سنگریزه سطحی کم تا متوسط	۲۳۸۶	P-GE
			۲-۳-۳ اراضی شور و رسی نمکی، پوشش بسیار کم منطقه برداشت و حمل بادی	۲۷۰۲	P-Clay&salty
۲ دشت‌سر			۲-۳-۴ دشت رسی -سیلنتی ریزدانه همراه با پوشش گیاهی کم و فصلی	۲۹۶۳	P-Clay.p
			۲-۳-۵ رخساره دامنه منظم با پوشش گیاهی متوسط تا زیاد و بوته‌ای	۱۳۷	P-Reg.f
	۲-۳	دشت‌سر پوشیده	۲-۳-۶ اراضی کشاورزی	۶۸۹	Agri
			۲-۳-۷ اینسلیبرگ (با جنس سنگ آذرین درونی و آهک‌های آبستنی)	۹۸۱	Inselberg
			۲-۳-۸ دشت سیلابی، زهاب و مسیل (انتهای شبکه آب) با رطوبت سطحی زمین و پوشش گیاهی هیدروهالوفیت یکساله	۲۸۴۷	P-Flooding&Zehab
			۲-۳-۹ اراضی کشاورزی رها شده در قسمت‌های مختلف با پوشش سنگریزه متغیر و پوشش گیاهی متوسط	۷۳۹۳	P-abounded L.
			۲-۳-۱۰ ساخت و ساز انسانی به همراه نخاله‌های ساختمانی	۴۹	Human.C
			۲-۳-۱۱ فرسایش آبراهه‌ای و کناری با تراکم زیاد آبراهه و سنگریزه کم	۱۱۹۶	P-masil
			۳-۱-۱ اراضی شور و پف کرده، فاقد پوشش و در برخی نقاط دارای پوشش هالوفیت	۳۵۶۴۵	Cd-Sa&Pf
			۳-۱-۲ اراضی مرطوب، زهاب، مسیل، سطوح پف کرده، پوشش هیدروهالوفیت	۴۱۸۰	Wz
			۳-۱-۳ پوسته نمکی، خشکه رود، فاقد پوشش و در برخی نقاط دارای پوشش کم، دارای پوشش هیدروهالوفیت بر روی مسیل	۲۳۸۷۰	Cd-Sc
			۳-۱-۴ اراضی شور و پف کرده، پوسته نمکی، اراضی مرطوب و زهاب، دارای پوشش کم و فاقد پوشش	۱۴۰۶۵	Cd-Sa&Pf.Wz
			۳-۱-۵ اراضی شور و پف کرده، پوسته نمکی و خشکه رود	۴۰۳۱	Cd-Sa&Pf.Sc
			۳-۱-۶ اراضی شور و پف کرده، دارای پوسته نمکی، فاقد پوشش و در برخی نقاط دارای پوشش گیاهی اتریپلکس و نیزار	۲۴۹۷	Cd-Sc &Pf
۳ پلایا	۳-۱	جلگه رسی	۳-۱-۷ پوسته نمکی، خشکه رود، اراضی مرطوب، زهاب و مسیل، دارای پوشش گیاهی هیدروهالوفیت داخل مسیل	۲۲۳۴	Cd-Sc.Wz
			۳-۱-۸ پوسته نمکی، خشکه رود، دق، فاقد پوشش و در برخی نقاط دارای پوشش	۲۲۵۵	Cd-Sc.dagh
			۳-۱-۹ فرسایش سطحی و شیب‌ری، پوشش گیاهی کم	۱۳۵	Cd-sheet
			۳-۱-۱۰ اراضی رها شده	۴۴۲۶	Cd-abounded L.
			۳-۱-۱۱ سطوح شور و پف کرده نمکی به همراه اراضی رها شده قدیمی با پوشش گیاهی کم و غیر یکنواخت و شواهد منطقه برداشت	۲۰۰۹۱	Cd-abounded L.Sa&Pf
			۳-۱-۱۲ پوسته نمکی فاقد سنگریزه مختلط با اراضی رها شده دارای خشکه رود با پوشش اندک	۱۳۷۱	Cd-abounded L.Sc
			۳-۱-۱۳ دشت رسی (شبه دق) همراه با اراضی رها شده قدیمی با پوشش گیاهی بسیار کم	۷۳۹۸	Cd-abounded L.dagh
			۳-۱-۱۴ دق، پوشش گیاهی خیلی کم و لکه‌های فاقد پوشش	۳۰۷۷	Cd-dagh

ادامه جدول ۲. وضعیت ژئومورفولوژی حاشیه دریاچه ارومیه بر مبنای واحد، تیپ و رخساره

کد و نام واحد ژئومورفولوژی	کد و نام تیپ ژئومورفولوژی	کد و نام رخساره ژئومورفولوژی		مساحت (هکتار)	کد بر روی نقشه
		کد رخساره	نام و ویژگی رخساره		
۳-۱-۱۵	رخساره منظم، زهاب، پوشش گیاهی زیاد و هیدروهاالوفیت			۶۷۵	Cd-Reg.f
۳-۱-۱۶	پایانه مخروط دلتایی ریزدانه، اراضی رس و لیمونی، پوشش گیاهی کم، هیدروهاالوفیت			۱۱۳۶	Cd-silt.clay
۳-۱-۱۷	پایانه مخروط، اراضی رس و لیمونی، اراضی شور و پف کرده			۹۴۲	Cd-silt.clay-Sa&Pf
۳-۱-۱۸	نبکا و ریبیل مارک			۲۷۰	Cd-nebka.rippel mark
۳-۱-۱۹	زرده، پوسته نمکی، پوشش گیاهی پراکنده			۲۰۲۹	Cd-Zerde
۳-۲-۱	کفه نمکی و سیخا های ساحلی			۱۰۳	Sebkha
۳-۲-۲	اینسبرگ جزیره اسلامی			۲۵۳۳۹	Eslami Island
۳-۲-۳	دریاچه	کوبر		۵۴۳۸۷۸	Urmieh Lake
۳-۲-۴	تالاب کانی برزان			۹۰۰	Kani Barzan Lagoon

نتایج حاصل از مطالعات دانه بندی در این پژوهش نیز در جدول ۳ قابل مشاهده است. همانطور که در این جدول محاسبه شده است میانگین قطر ذرات برابر با ۸۷۰ میکرون است و میانگین جورشدگی و کج شدگی نیز به ترتیب برابر با ۲/۹۱ و ۰/۱۵- می باشد. کوچکترین قطر میانگین ذرات در حاشیه جنوب شرقی جزیره اسلامی و در رخساره اراضی پف کرده مشاهده شده است. از سویی دیگر میانگین درصد ذرات بزرگتر از $840 \mu m$ معادل با ۴۷٪ است، به طوریکه بیشترین مقدار آن ۹۴٪ و کمترین مقدار نیز ۳/۵٪ در شمال غرب دریاچه ارومیه و در مجاورت روستای جبل کنندی محاسبه شده است. از سویی بررسی های مشابه در تپه های ماسه ای حاشیه دریاچه ارومیه (۸) نشان داده است که شباهت نزدیکی بین یافته های این پژوهش در تپه های ماسه ای مجاور روستای جبل کنندی از نظر میانگین قطر ذرات و جورشدگی به طور نسبی برخوردار است.

نتایج حاصل از ارزیابی سرعت آستانه فرسایش بادی با توجه به روش ولیکانف نشان داد که بیشترین و کمترین مقدار سرعت آستانه به ترتیب برابر با ۱۸/۸۳ و ۸/۳ نات است و از سویی میانگین آن در نمونه های مورد مطالعه ۱۲ نات برآورد شد. مقدار فرسایش پذیری در منطقه مورد مطالعه و با توجه به روش تجربی وک به طور متوسط ۱۰۰ ton.ha/Yr ارزیابی شده است و حداکثر و حداقل مقدار آن

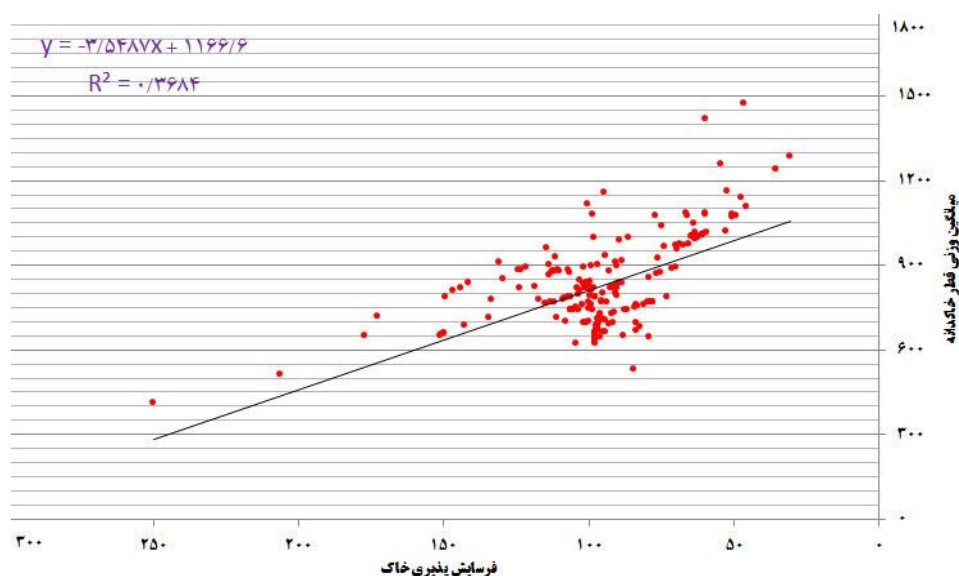
به ترتیب برابر با ۱۲ و ۴۵۶ ton.ha/Yr است. زیاد بودن مقدار بیشینه به دلیل تک برآورد در نقطه ۴۴ جدول ۳ است. ولی در صورتیکه در سطح رخساره ها میانمایی شود اعداد تعدیل و متوسط ۱۰۰-۸۰ حاصل می شود. لازم به ذکر است که فرسایش پذیری به ویژگی ذاتی خاک برمی گردد و این مقدار زیاد به معنی مقدار فرسایش خاک نیست. بلکه پتانسیل بادرزدگی برای شرایط خاک لخت و فاقد ساختمان و استحکام می باشد. بنابراین استفاده از واحدهای کاری مبتنی بر رخساره های ژئومورفولوژی می تواند به عنوان روشی برای تعدیل داده های بسیار کم یا زیاد مقدار فرسایش پذیری مفید باشد. پ نتایج بررسی های آماری (شکل ۷ و ۸) و رگرسیون نشان داده که همبستگی زیادی بین مقدار فرسایش پذیری و میانگین وزنی قطر خاکدانه ها ($R^2 = 0/36$) به عنوان شاخص زمینی نسبت به مقدار فرسایش پذیری و سرعت آستانه فرسایش بادی ($R^2 = 0/25$) به عنوان عامل اقلیمی، در رخساره های حاشیه دریاچه ارومیه برقرار است. مهمترین دلیل ای تفاوت رد ضرایب همبستگی را میتوان به ویژگی فرسایش پذیری عنوان کرد. در واقع فرسایش پذیری ویژگی ذاتی خاک است و کمتر شرایط اقلیمی وابسته است. در پایان نتایج پهنه بندی مکانی سرعت آستانه فرسایش بادی و فرسایش پذیری در شکل ۹ و ۱۰ قابل مشاهده است.

جدول ۳. محاسبات دانه‌بندی، سرعت آستانه فرسایش بادی و فرسایش پذیری

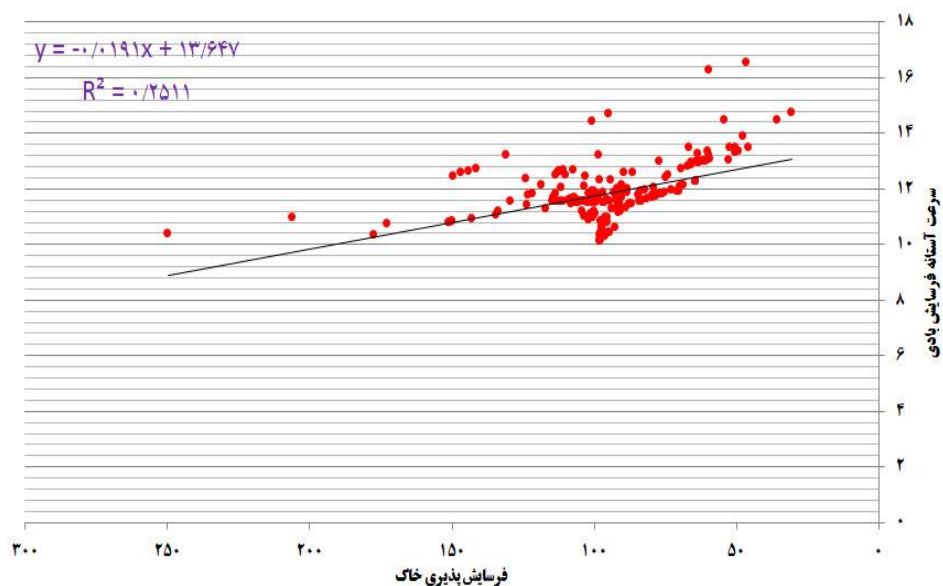
شماره	دانه‌بندی			سرعت آستانه (knot)	فرسایش‌پذیری (ton. ha/y)
	میانگین (μ)	جورشدگی	کج‌شدگی		
۱	۶۱۸	۲/۷۷	-۰/۰۷	۱۰/۹۲	۱۲۹
۲	۱۲۹۵	۲/۹۷	-۰/۶۰	۱۴/۰۱	۳۹
۳	۵۴۳۱	۳/۴۷	۰/۵۶	۹/۹۰	۱۹۳
۴	۹۰۱	۳/۰۵	-۰/۰۸	۱۲/۳۱	۶۸
۵	۱۴۹۱	۲/۵۹	-۰/۵۶	۱۴/۷۹	۲۹
۶	۱۰۳۴	۲/۹۸	-۰/۲۸	۱۲/۹۲	۵۴
۷	۶۶۹	۳/۶۶	-۰/۱۲	۱۱/۱۸	۹۸
۸	۶۰۲	۳/۳۲	۰/۰۱	۱۰/۸۴	۱۱۵
۹	۳۰۴	۳/۴۶	۰/۴۳	۹/۱۴	۲۵۶
۱۰	۱۰۷۹	۲/۵۸	-۰/۲۰	۱۳/۱۱	۴۶
۱۱	۹۱۳	۲/۹۱	-۰/۱۱	۱۲/۳۷	۶۱
۱۲	۱۵۵۱	۲/۵۳	-۰/۶۰	۱۵/۰۲	۲۵
۱۳	۳۸۷	۳/۲۲	۰/۱۷	۹/۶۳	۲۰۱
۱۴	۷۰۷	۳/۶۴	-۰/۱۹	۱۱/۳۸	۷۴
۱۵	۸۶۴	۲/۷۲	-۰/۰۱	۱۲/۱۴	۷۷
۱۶	۴۵۱	۳/۸۱	۰/۲۵	۱۰/۰۱	۱۴۶
۱۷	۶۷۵	۳/۳۴	-۰/۰۷	۱۱/۲۲	۹۸
۱۸	۹۹۲	۲/۸۸	-۰/۱۷	۱۲/۷۲	۵۶
۱۹	۷۸۳	۲/۴۰	-۰/۱۳	۱۱/۷۸	۷۱
۲۰	۶۰۷	۳/۲۴	-۰/۰۷	۱۰/۸۷	۱۰۲
۲۱	۸۳۳	۲/۵۲	-۰/۱۳	۱۱/۹۹	۷۱
۲۲	۵۹۶	۳/۶۶	۰/۰۳	۱۰/۸۱	۹۸
۲۳	۹۰۰	۳/۱۰	-۰/۱۹	۱۲/۳۰	۶۳
۲۴	۶۰۶	۳/۲۲	۰/۱۸	۱۰/۸۶	۱۰۶
۲۵	۶۱۵	۳/۱۸	۰/۰۶	۱۰/۹۰	۱۰۶
۲۶	۹۰۵	۲/۸۹	-۰/۰۴	۱۲/۳۳	۶۶
۲۷	۶۷۲	۲/۵۳	۰/۰۳	۱۱/۲۰	۱۲۴
۲۸	۷۷۱	۲/۲۰	۰/۰۸	۱۱/۶۹	۱۰۲
۲۹	۸۰۵	۲/۶۵	۰/۰۱	۱۱/۸۶	۹۸
۳۰	۱۴۹۱	۲/۵۲	-۰/۴۳	۱۴/۷۹	۲۹
۳۱	۹۴۴	۲/۶۶	-۰/۰۵	۱۲/۵۱	۵۸
۳۲	۱۲۱۱	۲/۹۴	-۰/۲۵	۱۳/۶۷	۴۲
۳۳	۷۳۳	۲/۷۷	۰/۰۳	۱۱/۵۱	۱۰۶

ادامه جدول ۳. محاسبات دانه بندی، سرعت آستانه فرسایش بادی و فرسایش پذیری

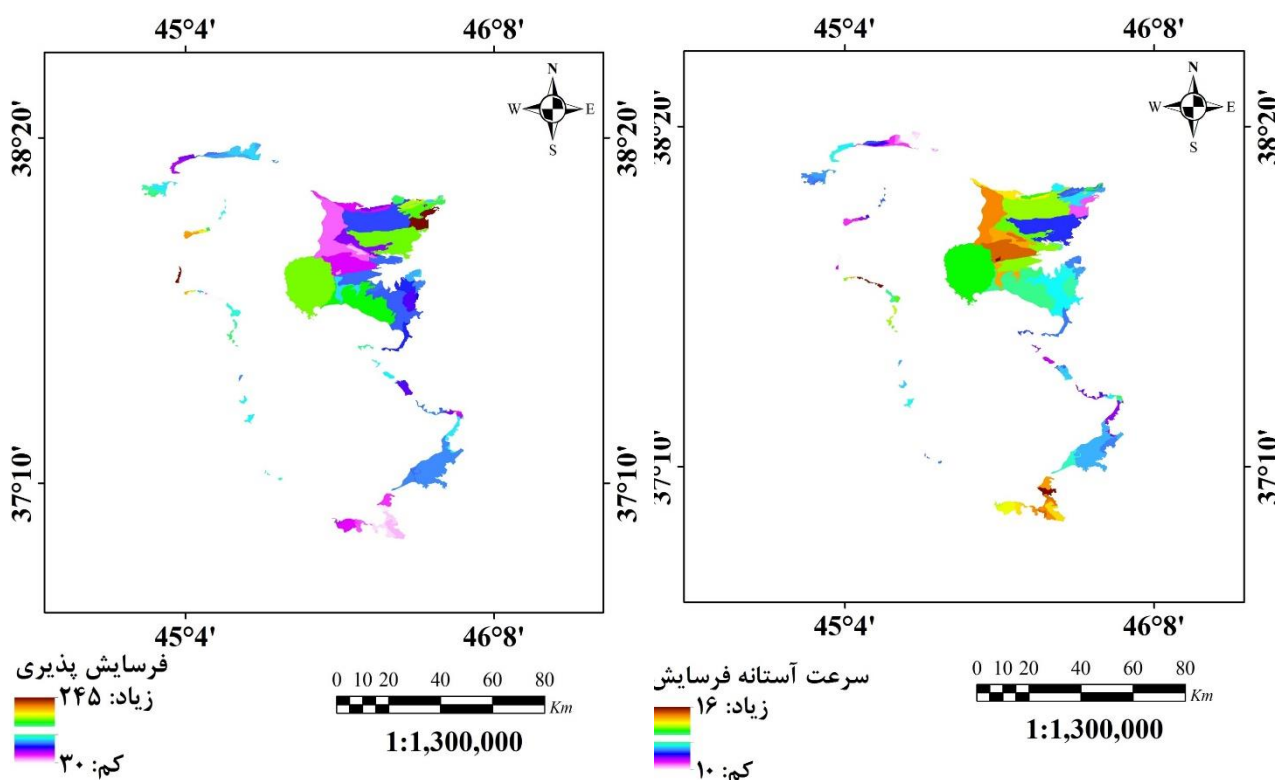
شماره	دانه بندی		>۸۴۰ (%)	سرعت آستانه (knot)	فرسایش پذیری (ton. ha/y)
	میانگین (μ)	جورشدگی			
۳۴	۷۷۱	۲/۹۸	-۰/۰۳	۱۱/۶۹	۹۰
۳۵	۱۸۲۳	۲/۳۰	-۰/۶۲	۱۶/۰۲	۲۱
۳۶	۶۳۳	۳/۲۳	۰/۰۸	۱۱	۱۱۵
۳۷	۱۸۱۷	۲/۳۷	-۰/۶۳	۱۶	۲۰
۳۸	۱۸۷	۲/۴۹	۰/۳۱	۸/۳۸	۳۶۶
۳۹	۱۶۸۲	۱/۳۵	-۳/۰۳	۱۵/۵۱	۳۵
۴۰	۶۵۱	۲/۳۵	-۰/۰۷	۱۱/۰۹	۱۲۹
۴۱	۷۵۲	۲/۵	-۰/۰۱	۱۱/۶۰	۱۰۶
۴۲	۲۶۸۳	۱/۴۵	-۰/۲۷	۱۸/۸۳	۱۲
۴۳	۵۸۵	۳/۰۶	۰/۲۷	۱۰/۷۵	۱۵۲
۴۴	۲۷۴	۱/۵۹	-۰/۱۹	۸/۹۵	۴۵۶
۴۵	۴۶۷	۴/۸۲	-۰/۱۵	۱۰/۱۰	۱۰۲
۴۶	۸۲۳	۳/۰۹	-۰/۱۴	۱۱/۹۴	۶۳
۴۷	۷۴۷	۳/۵۷	-۰/۱۷	۱۱/۵۷	۸۰
میانگین	۸۷۰/۱۷	۲/۹۱	-۰/۱۵	۱۲	۱۰۰
حداقل	۱۸۷/۹	۱/۳۵	-۳/۰۳	۸/۳۸	۱۲
حداکثر	۲۶۸۳/۳	۴/۸۲	۰/۵۶	۱۸/۸۳	۴۵۶



شکل ۷. رابطه بین فرسایش پذیری (تن.هکتار/سال) و میانگین وزنی قطر خاکدانه در رخساره های اطراف دریاچه ارومیه



شکل ۸. رابطه بین فرسایش پذیری (تن. هکتار/سال) و سرعت آستانه فرسایش بادی (نات) در رخساره‌های اطراف دریاچه ارومیه



شکل ۱۰. پهنه‌بندی فرسایش‌پذیری رخساره‌های حاشیه دریاچه ارومیه (تن. هکتار/سال)

شکل ۹. پهنه‌بندی سرعت آستانه فرسایش بادی رخساره‌های حاشیه دریاچه ارومیه (نات)

می‌باشند. از سویی دیگر بخش‌هایی از رخساره‌های شمال غربی و شرقی دریاچه ارومیه دارای سرعت آستانه فرسایش بادی کمتری هستند. بیشترین مقدار فرسایش‌پذیری در رخساره‌های شمال غربی و همچنین بخش‌هایی از رخساره‌های پف کرده در محدوده شرقی منطقه و در

نتایج پهنه‌بندی سرعت آستانه فرسایش بادی در منطقه مورد مطالعه در شکل ۹ و ۱۰ نشان می‌دهد که رخساره‌های شمال شرقی دریاچه ارومیه و در مجاورت جزیره اسلامی و همچنین رخساره‌های جنوبی دریاچه ارومیه دارای بیشترین مقدار سرعت آستانه فرسایش بادی

بیشترین تغییر پذیری در محدوده میانی نقاط می باشد و در این محدوده به دلیل تنوع نوع رخساره ها در این محدوده و همچنین وضعیت ناپیوستگی مکانی بین رخساره های هم شکل موجب شده است تا به دلیل تغییر پذیری، دیگر عوامل زمینی موجب پراکندگی ابر نقاط شود.

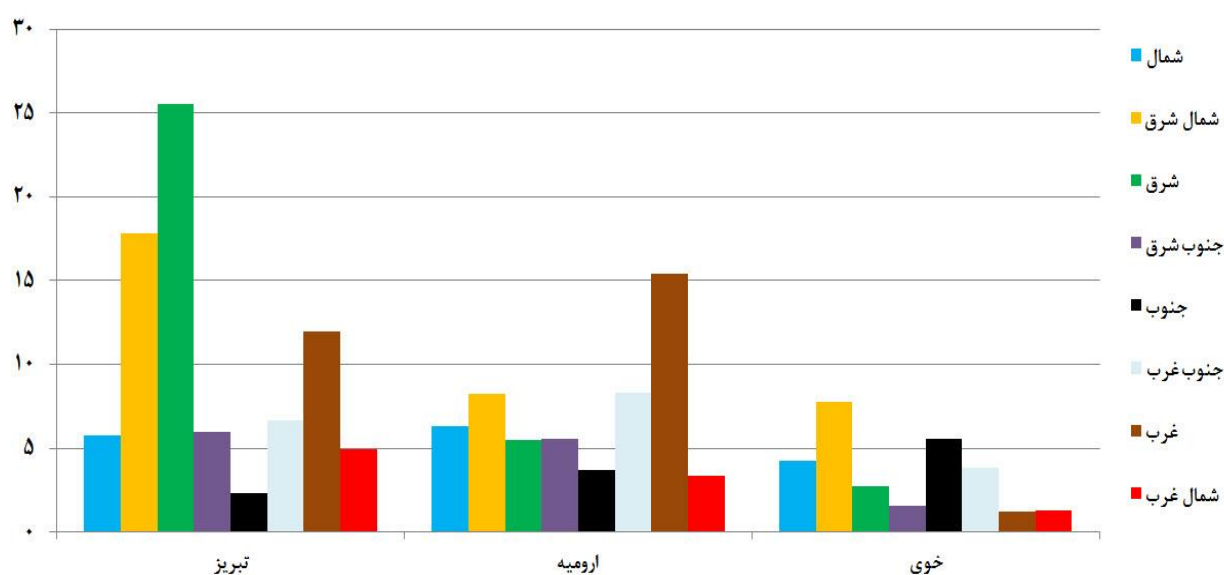
به بیان ساده تر ممکن است یک نوع رخساره اراضی پف کرده و رسی در دو مکان مختلف قرار داشته باشند و شرایط نوع املاح و سله سطحی متفاوت باشد ولی در محاسبه به عنوان یک رخساره مد نظر قرار گرفته اند.

تجزیه و تحلیل اطلاعات بادسنجی (شکل ۱۱ و ۱۲) در ایستگاه تبریز بیانگر حاکمیت بادهای شرقی و شمال شرقی به ترتیب ۲۵٪ و ۱۸٪، در ایستگاه خوی به ترتیب بادهای شمال شرقی ۷۷٪ و جنوبی ۵۵٪ و در ایستگاه ارومیه بادهای غربی ۱۵/۴٪ است.

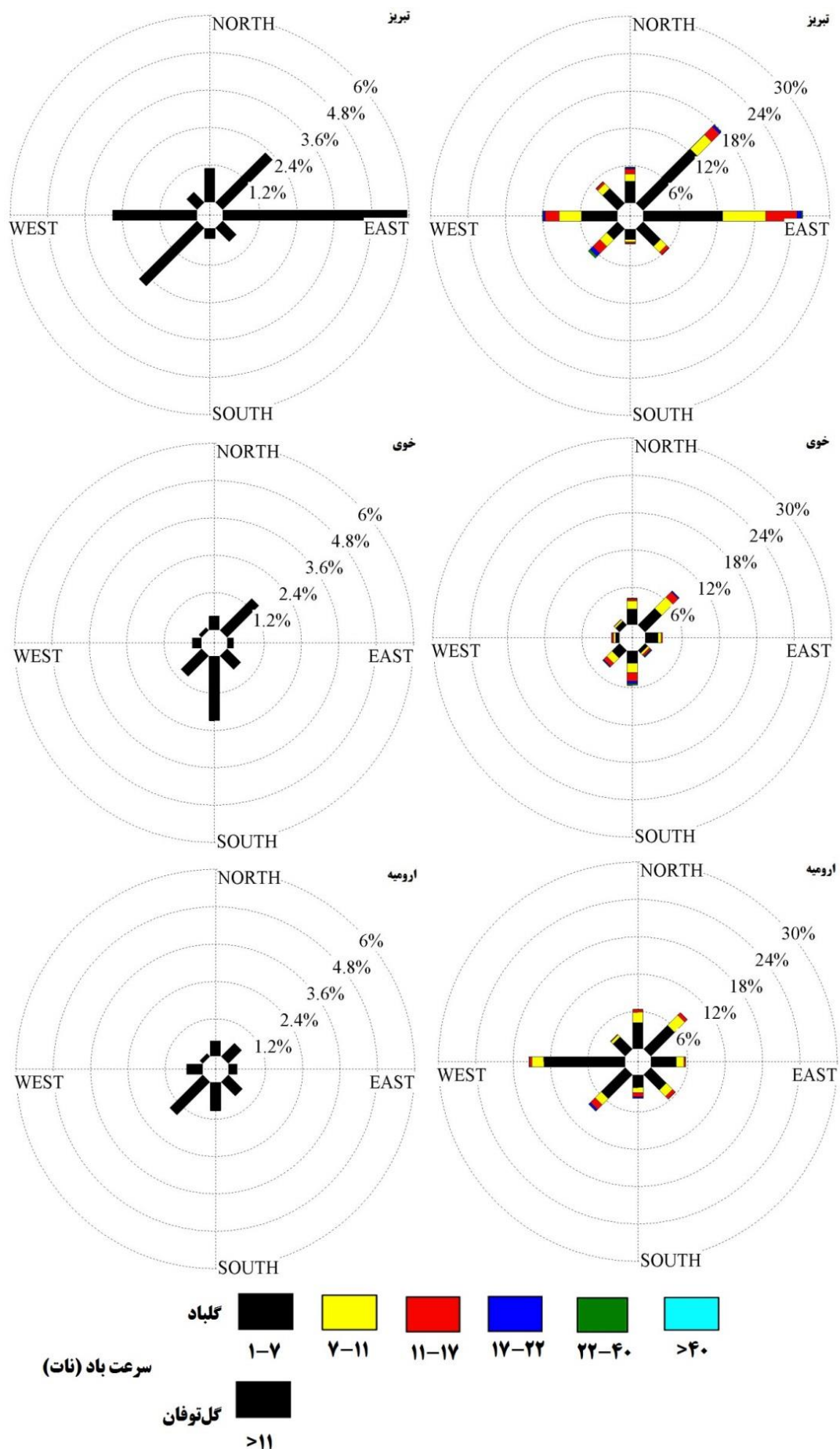
نتایج گل توفان ها در ایستگاه های مورد مطالعه بیانگر حاکمیت بادهای شرقی با ۶٪ در ایستگاه تبریز، بادهای جنوبی با ۲/۲٪ و شمال شرقی با ۱/۵٪ در ایستگاه خوی و در پایان بادهای جنوب غربی ۱/۳٪ در ایستگاه ارومیه می باشد.

مجاورت جزیره اسلامی مشاهده شده است. این محدوده در قسمت دلتای رسی رودخانه آجی چای دریاچه ارومیه قرار دارد. رودخانه تلخه چای به عنوان مهمترین منبع تامین شوری دریاچه ارومیه می باشد. همچنین رسوبات ناپیوسته این دلتا حاصل فرایندهای کوتاهتری است که به احتمال زیاد از سازندهای مارن نتوژن موجود در آبخیز تلخه چای آورده شده اند. عدم حضور پوشش گیاهی دائمی در بیشتر این رخساره ها و دلتای رسی نیز مبین حضور لایه های نمکی و سخت لایه یا بالابودن سطح ایستابی شور می باشد (۳). بیشترین مقدار فرسایش پذیری متعلق به رخساره های دلتای رسی همراه با پوسته های نمکی و اراضی پف کرده همراه با مسیل ها و کمترین متعلق به رخساره های اینسلیبرگ و اراضی مرطوب می باشد. اگر چه در روش های تجربی برآورد فرسایش بادی ابداع شده در ایران در معیار دوم به وضعیت شکل زمین و پستی و بلندی پرداخته شده است ولی نوع ویژگی رخساره ها کمتر مورد توجه بوده است. بنابراین می توان در ارزیابی های با مقیاس مکانی بزرگ نوع وضعیت رخساره را به عنوان معیار مناسبی به کار گرفت.

تحلیل ابر نقاط در رابطه بین فرسایش پذیری و مقدار میانگین وزنی قطر ذرات (شکل ۷) مبین این است که



شکل ۱۱. مقایسه وضعیت بادناکی در ایستگاه های مورد بررسی



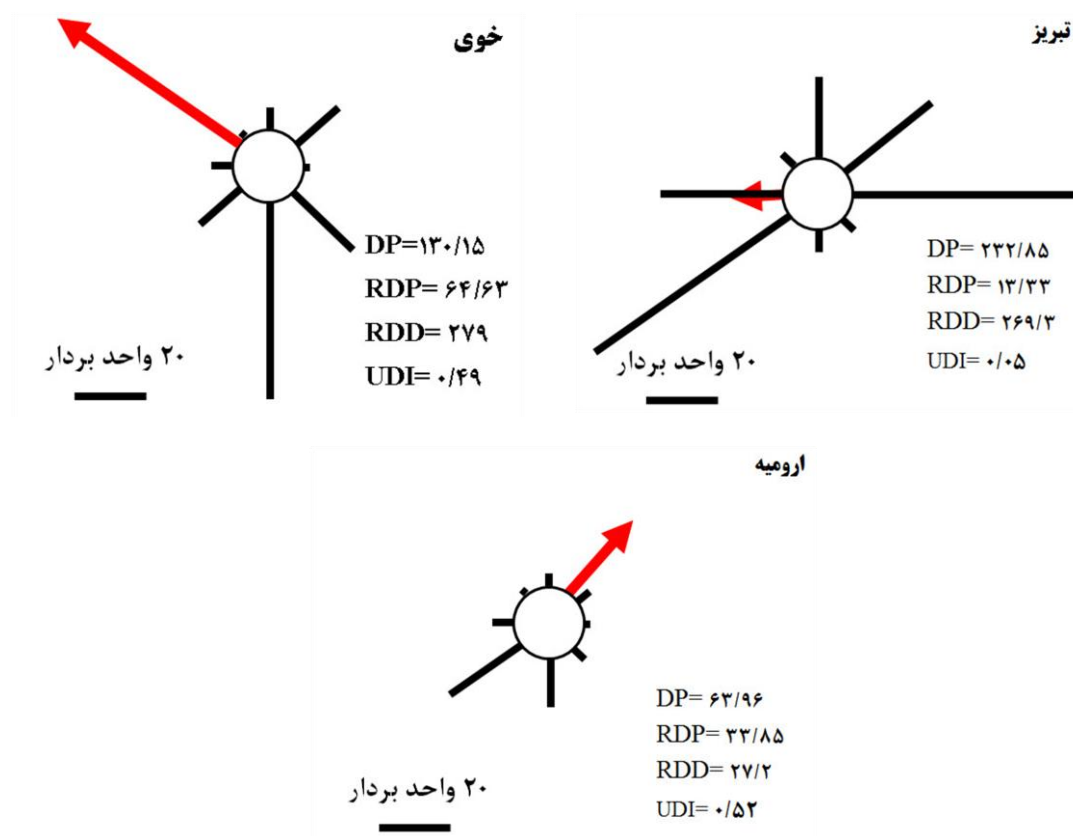
شکل ۱۲. گل باد (راست) و گل توفان (چپ) ایستگاه‌های هواشناسی حاشیه دریای ارومیه

در رژیم بادی یک جهته و ایستگاه تبریز (۰/۰۵) در رژیم بادی چند جهته واقع شده است. از سویی دیگر شاخص جهت حمل ماسه نشان می‌دهد که ایستگاه‌های تبریز و خوی تمایل دارند ماسه را در جهت غرب و جنوب غرب هدایت نمایند اما ایستگاه ارومیه به سمت شمال شرق هدایت می‌نماید.

با توجه به شکل ۱۴ که رابطه بین DP و UDI در ایستگاه‌های مختلف در جهان مورد ارزیابی و واکاوی قرار گرفته است (۱۲) این موضوع قابل استنباط است که رسوبات ماسه‌ای در حاشیه غربی و شمال غربی دریاچه ارومیه توانایی و پتانسیل تشکیل تپه‌های عرضی را دارد در حالیکه شرایط ایستگاه تبریز بیانگر پتانسیل تشکیل تپه‌های ستاره‌ای شکل در صورت فراهم بودن ماسه در حاشیه شمال شرقی دریاچه ارومیه خواهد بود.

تجزیه و تحلیل داده‌های بادسنجی نشان داده است که بیشترین مقدار درصد باد آرام مربوط به ایستگاه خوی با ۷۱٪/۷ و کمترین مقدار آن مربوط به ایستگاه تبریز ۱۹٪/۷ است و این مقدار در ایستگاه ارومیه معادل با ۴۳٪/۴ محاسبه شده است.

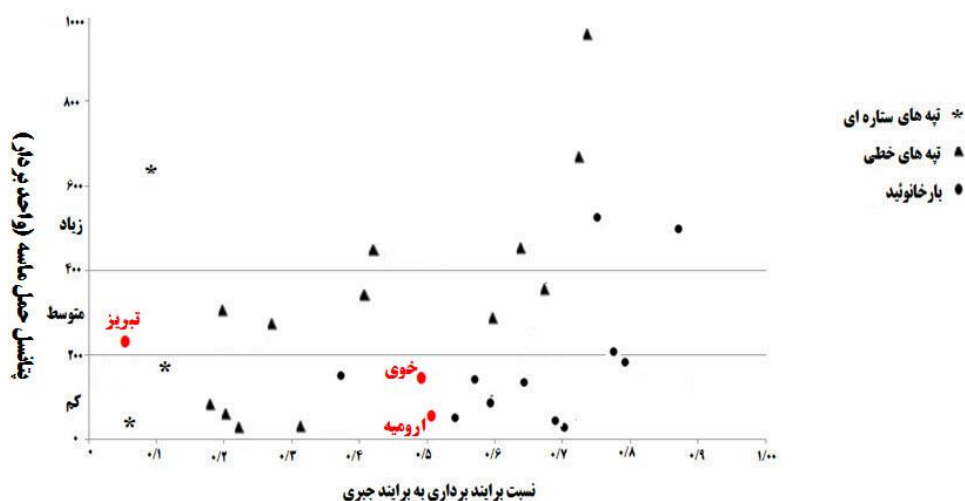
ارزیابی گل‌ماسه سالانه در ایستگاه‌های مورد مطالعه در شکل ۱۳ نشان می‌دهد که بیشترین مقدار برآیند جبری پتانسیل حمل ماسه به ترتیب در ایستگاه‌های تبریز (۲۳۲/۸۵)، خوی (۱۳۰/۱۵) و ارومیه (۶۳/۹۶) است. اما برآینده برداری که نشان دهنده قدرت جابجایی ماسه در یک جهت خاص است، نشان دهنده این است که بیشترین مقدار آن به ترتیب در ایستگاه‌های خوی (۶۴/۶۳)، ارومیه (۳۳/۸۵) و تبریز (۱۲/۳۳) است. شاخص جهت باد بیانگر این است که ایستگاه‌های ارومیه (۰/۵۲) و خوی (۰/۴۹)



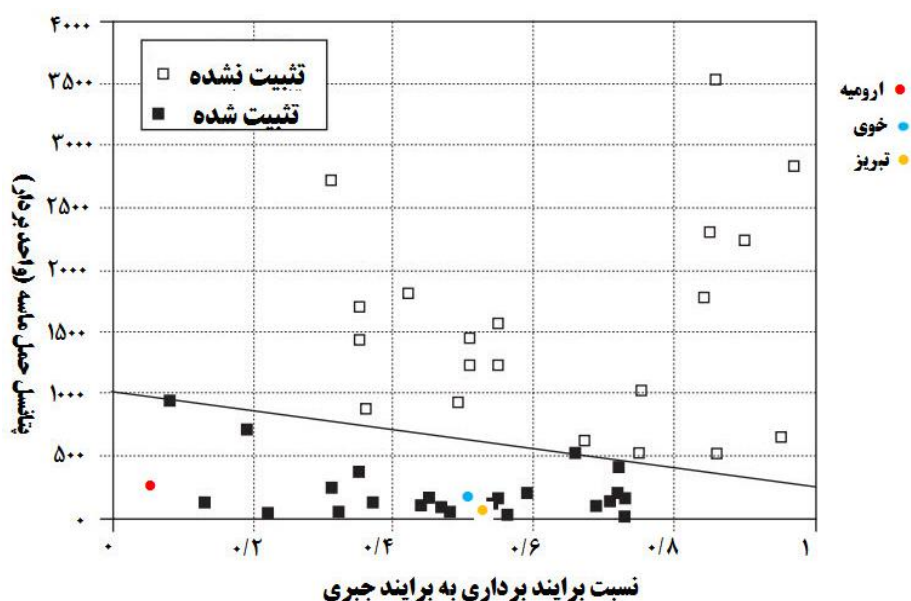
شکل ۱۳. گلماسه سالانه ایستگاه‌های هواشناسی حاشیه دریاچه ارومیه

دریاچه ارومیه در نتیجه دخالت‌های انسانی بوده است و امکان بهبودی در منطقه از طریق فعالیت‌های بیولوژیک و تثبیت شن‌های روان امکان‌پذیر است. در پایان، این مطلب مبین این است که در صورتیکه سطح آب دریاچه به وضع اولیه برنگردد فعالیت این تپه‌ها بیشتر خواهد شد بنابراین توجه بیشتری به مباحث کنترل فرسایش بادی و ماسه‌های روان در منطقه دارد. اهمیت این موضوع به دلیل حضور شهرک صنعتی در مجاورت تپه‌های تشکیل شده در منطقه جبل‌کندی و تأثیر اراضی کشاورزی و باغی از آن قابل توجه است.

نتایج مقایسه مقدار پتانسیل حمل ماسه در حاشیه دریاچه ارومیه با دیگر نقاط دنیا در شکل (۱۵) نشان داده شده است (۳۴). به‌طوریکه موقعیت ایستگاه‌های ارومیه و خوی به گونه‌ای است که مقدار شاخص پتانسیل رسوبات ماسه‌ای کمتر از مقدار آستانه و در زیر خط قرار می‌گیرد. این شاخص حاصل برهم‌کنش دو مقدار D_p و نسبت UDI است و مقدار آستانه آن عدد یک به‌دست آمده است. هر گاه مقدار این شاخص کمتر از یک باشد ولی سطح تپه بدون پوشش گیاهی باشد می‌توان استنباط داشت تپه‌ها فعال‌اند و علت آن به عوامل غیر طبیعی برمی‌گردد. به عبارت دیگر تشکیل رسوبات بادی و فعالیت آنها در حاشیه



شکل ۱۴. رابطه بین UDI و DP با توجه به مطالعات فرای‌برگر در مناطق بیابانی دنیا (برگرفته شده از Fryberger, 1979 با انجام تغییر)



شکل ۱۵. موقعیت ایستگاه‌های هواشناسی مورد مطالعه با توجه به سایر مناطق تثبیت شده و تثبیت نشده دنیا (برگرفته شده از Fryberger, 1979 با انجام تغییر)

■ نتیجه گیری

خشک شدن سطح وسیعی از دریاچه ارومیه و تشکیل مناطق مستعد به فرآیندهای فرسایش بادی و رخدادهای گرد و غبار نگرانی‌هایی را در چند سال اخیر در سطح ملی و منطقه‌ای ایجاد نموده است، لذا با شناسایی مناطق مستعد فرسایش بادی و از سویی کنترل این پهنه‌ها می‌توان بخش زیادی از این نگرانی‌ها را کاست. بخش اعظم رخساره‌های ژئومورفولوژی حاشیه دریاچه ارومیه اختصاص به اراضی شور و پف کرده، اراضی رها شده و اراضی همراه با پوسته نمکی دارد که به ترتیب در قسمت‌های شمال شرقی، شرقی و جنوب شرقی دریاچه ارومیه قرار گرفته‌اند و در مجموع حدود ۴۲٪ از منطقه مورد مطالعه را به خود اختصاص داده‌اند. این رخساره‌های در اثر برهم‌کنش عقب نشینی دریاچه، افت سطح ایستابی منطقه و ایجاد اراضی جدید و مستعد بادبردگی ایجاد شده‌اند. مطالعات دانه‌بندی بیانگر اراضی حاشیه دریاچه حاکی از پتانسیل بادبردگی زیاد در رخساره‌های متعلق به جلگه رسی از جمله اراضی شور و پف کرده و پوسته‌های نمکی دارد. به‌طوریکه قسمت‌های جنوب شرقی جزیره اسلامی و شمال غرب دریاچه ارومیه دارای بیشترین حساسیت می‌باشند. همچنین مطابق با شاخص میانگین وزنی قطر کمترین مقدار متعلق به رخساره‌های (Pf & Cd-Sa) با مقدار $0/647\mu m$ به‌دست آمد. به نظر می‌رسد در مدل‌هایی همچون اریفر ۱ و ۲ میتوان از شاخص میانگین وزنی قطر ذرات خاکدانه استفاده کرد و مقدار آستانه عددی ۹۰۰ تا $1000\mu m$ می‌تواند معیار کمی مناسبی باشد. وجود رابطه معنی دار با مقدار ضریب همبستگی (r) برابر با ۶۱٪ مبین این است که در صورت در نظر گرفتن وضعیت فرسایش پذیری در سطح رخساره می‌توان رابطه معنی داری بین میانگین وزنی قطر ذرات خاک با فرسایش‌پذیری به دست آورد. همچنین ارزیابی‌های میدانی نیز مبین این هستند که در مناطقی مانند خاصلو که در شرق دریاچه قرار دارند پتانسیل باربردگی و فرسایش بادی زیاد است و یکی از محل‌هایی است که پروژه مقابله با فرسایش بادی در آن در حال اجرا است. بنابراین نتایج این پژوهش در انطباق با پروژه‌های میدانی مقابله با فرسایش بادی می‌باشد. با توجه به بررسی‌های پتانسیل حمل ماسه می‌توان نتیجه‌گیری کرد که در مقیاس

سالانه بادهای شکل گرفته در قسمت‌های شرقی دریاچه ارومیه انرژی کافی برای حمل رسوبات بادی را ندارند اما بادهای موجود در قسمت غربی و شمال غربی دریاچه ارومیه انرژی کافی بدین منظور را دارند، به‌طوریکه قابلیت شکل‌گیری تپه‌های عرضی در حاشیه غربی و شمال غربی دریاچه ارومیه مشهود است. فعال شدن و تشکیل این تپه‌ها طی ۱۲ سال اخیر مبین این است که علی‌رغم اینکه شاخص تحرک‌پذیری تپه‌های ماسه‌ای تسوار در محدوده کمتر از ۱ قرار رفت ولی فقدان پوشش گیاهی و ارتفاع کمک آنها نشان‌دهنده فعالیت آنهاست بنابراین مشاهده تپه‌های فعال به دلیل شرایط غیرطبیعی و دخالت انسان ناشی از پسروری سطح دریاچه می‌باشد. وجود همبستگی ضعیف بین مقدار شاخص فرسایش‌پذیری و سرعت آستانه مبین این است که سرعت آستانه از عامل‌های دیگر به غیر از بافت و اندازه ذرات تأثیر پذیر است. ولی رابطه مناسب بین میانگین وزنی قطر و فرسایش‌پذیری در سطح رخساره‌ها ($r = 62\%$) حاکی از این است که نوع رخساره می‌تواند به‌عنوان کلید مناسبی برای طبقه‌بندی کیفی و کمی حساسیت به بادبردگی باشد.

کنترل تپه‌های ماسه‌ای تشکیل شده قبل از هر چیز نیازمند شناسایی منابع تولید ماسه در ارتباط با شرایط بادی منطقه است. نظر به اینکه رخ دادن شرایط فرسایش بادی در این منطقه با دیگر شرایط ایران به ویژه مناطق ساحلی جنوب و مرکز ایران متفاوت است، بنابراین به منظور کنترل فرسایش بادی باید از شرایط اکولوژیک و اقلیمی خاص منطقه بهره‌گیری نمود. وجود بارندگی 300mm و تبخیر و ترقق نسبتاً کم (حدود 1550mm) استفاده از روش‌های زیستی و بیولوژیک را به راحتی فراهم می‌کند. در این پژوهش به دلیل وسعت زیاد، امکان استفاده از شاخص‌های مرفوسکوپی رسوبات بادی فراهم نبود، بنابراین در پژوهش‌های آینده می‌توان از این ویژگی همراه با ویژگی مقدار شوری در تپه‌های ماسه‌ای بهره‌گیری کرد تا در زمینه تأثیر خشکیدگی دریاچه و حرکت نمک در اراضی حاشیه دریاچه بهره برد. همچنین پتانسیل هوازگی نمکی نیز از دیگر مخاطراتی است که در اطراف این دریاچه فعال خواهد شد و لازم است تا در زمینه پهنه‌بندی آن با توجه به ویژگی‌های بادی و زمینی بررسی‌های بیشتری انجام شود.

■ References

1. Abbasi, H. R., Gohardoust, A., Khaksarian, F., & Ganjali, M. (2018). Morphologic characteristics of aeolian deposits and erosive winds in Sistan plain'. *Desert Management*, 5(10), 28-42. (in Farsi)
2. Abuduwaili, J., Liu, D., & Wu, G. (2010). Saline dust storms and their ecological impacts in arid regions. *Arid Land*, 2(2), 144-50.
3. Ahmadi, H. (2008). Applied geomorphology (desert-wind erosion). Vol 2. University of Tehran Press, Tehran, Iran. (in Farsi)
4. Al-Awadhi, J. M., Al-Helal, A., & Al-Enezi, A. (2005). Sand drift potential in the desert of Kuwait. *Arid environments*, 63(2), 425-438.
5. Asghari-Kaljahi, E., Hoseinpour, S., & Nadiri, A. (2018). Evaluation of salt dust occurrence potential in the North east Zone of Urmia Lake, *Environmental Erosion*, 8(2), 42-61. (in Farsi)
6. Bagnold, R. (1966). An approach to the sediment transport problem from general physics. US government printing office. United States department of the Interior.
7. Biabani, L., Abdoshah, M., Hanifepoor, M., & Khosravi, H. (2017). Assessment of wind speed changes trend and its impact on dust region (Case study, Urmia), *Forest and Rangeland*, 115, 11-17. (in Farsi)
8. Biabani, L., Ahmadi, H., Khosravi, H., Nazari Samani, A. A., & Lotfi, J. (2018). Study of Sedimentological Characteristics in Determining of Sand Dunes Origin in the Western Margin of Urmia Lake. *Desert Management*, 11, 1, 82-98. (in Farsi)
9. Bullard, J., Thomas, D., Livingstone, I & Wiggs, G. (1996). Wind energy variations in the southwestern Kalahari Desert and implications for linear dune field activity. *Earth Surface Processes and Landforms*, 21(3), 263-278.
10. Ekhtesasi, M. R. (1993). Wind erosion susceptibility mapping of Yazd-Ardakan plain using wind erosion measuring apparatus. M. Sc. Thesis, Natural resources faculty, University of Tehran, Karaj, Iran. (in Farsi)
11. Feiznia, S. (2017). Applied Sedimentology with Emphasis on Soil Erosion and Sediment Production. Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources Press, Gorgan, Iran. (in Farsi)
12. Fryberger, S. (1979). Dune forms and wind regime (In A study of global sand seas). 1052, 137-169, Washington DC: US Geological Survey Professional Paper.
13. Fryrear, D. W. (1995). Soil losses by wind erosion. *Soil Science*, 59, 668-672.
14. Golabian, H. (2010). Urumia Lake: Hydro-Ecological Stabilization and Permanence Macro-engineering Seawater in Unique Environments. SpringerVerlag, Berlin, 365-397.
15. Golzari Parto, L. (2015). Simulating the Consequences of Lake Urmia's Drying up on Downfall in Northwest of Iran, *Geography and Environment Hazard*, 4(14), 12-26. (in Farsi)
16. Greeley, R., & Iversen, J. D. (1985). Wind as a Geological Process. Cambridge University. Process, New York.
17. Hoseinpour, M., Fakheri Fard, A., & Naghili, R. (2010). Death of Urmia Lake, a Silent Disaster Investigating Causes, Results and Solutions of Urmia Lake drying. 1st International Applied Geological Congress, Department of Geology, Islamic Azad University, Islamic Azad University-Mashad Branch, Iran. (in Farsi)
18. Hossein Mardi, A., Khaghani, A., Macdonald, A. B., Nguyen, P. H., Karimi, N., Heidary, P., Karimi, N., Saemian, P., Sehatkashani, S., Tajrishy, M. & Sorooshian, A. (2018). The Lake Urmia Environmental Disaster in Iran: A Look at Aerosol Pollution. *Science of the Total Environment*, 633, 42-49.

19. Kheirabadi, H., Jalali, V., Naghavi, H. (2017). Assessment of the BSNE sampler efficiency and the capacity of sediment particles transportability in wind erosion using wind tunnel experiment, *Agriculture Engineering*, 41, 2, 27-43. (in Farsi)
20. Lancaster, N., & Baas, A. (1998). Influence of vegetation cover on sand transport by wind: field studies at Owens Lake, California. – *Earth Surface Processes and Landforms*, 23(1), 69-82.
21. Landi, A., & Barzegar, A. (2017). Soil and Water Conservation Engineering, Shahid Chamran University Press, Ahvaz, Iran. (in Farsi)
22. Lisenbarth, A. (1991). Sand desert forms in Libya-Remote sensing analysis. *The Geology of Libya*, Elsevier, Amsterdam, 2235-2255.
23. Maleki, S., Karimi, A., & Hashemi, H. (2011). Wind erosion and its control in Gonabad. The 2nd International Conference on Wind Erosion and Dust. University of Yazd. (in Farsi)
24. Moursy, I., Gaber, E. I., & Samak., M. (2002). Sand drift potential in El-khanka area, Egypt. *Water, Air, and Soil Pollution*, 136(1-4), 225-242.
25. Muhs, R., Thomas, W., Scott, D., Shannon, A., Rolf, B., Maat, A., & Jennifer N. (1996). Origin of the late Quaternary dune fields of northeastern Colorado. *Geomorphology*, 17(1-3), 129-149.
26. Nazari Samani, A. A., Biabani, L., H. R. Abbasi, H. R., & Khosravi, H. (2018). Effects of wind erosivity and sand drift on the littoral area of Urmia Lake and sand mobility, *Range and Desert Research*, 25(3), 594-612. (in Farsi)
27. Nazari Samani, A. A., Khosravi, H., Mesbahzadeh, T., Azarakhshi, M., & Rahdari, M. R. (2016). Determination of sand dune characteristics through geomorphometry and wind data analysis in central Iran (Kashan Erg). *Arabian Journal of Geosciences*, 9(18), 716.
28. Parsamehr, A., & Khosravani, Z. (2017). Analysis of erosive winds and depositions drift potential in desert regions of Esfahan Province. *Range and Desert Research*, 23(4), 832-842. (in Farsi)
29. Qing, H., Yang, X., Mamtimin, A., & Tang, Sh. (2011). Impact factors of soil wind erosion in the center of desert. *Arid Land*, 3, 9-12.
30. Rahdari, M. R. (2018), Potential Modeling of Sand Deposition on Railways. Ph. D thesis, Natural resources faculty, University of Tehran, Karaj, Iran.
31. Rahdari, M., 2014. Classification of sand dunes base on geomorphometric characteristics. M.Sc Thesis, Natural resources faculty, University of Tehran, Karaj, Iran.
32. Ravan, P., Ahmady-Birgani, H., & Sorooshian, A. (2019). Spatial Mapping of Elemental Variability of Atmospheric Particulates throughout the Lake Urmia Basin, *The Earth and Space Physics*, 45(3), 667-686. (in Farsi)
33. Refahi, H. (2008). Wind erosion and its control. University of Tehran Press, Tehran, Iran. (in Farsi)
34. Tsoar, H. (2005). Sand dunes mobility and stability in relation to climate. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 357(1), 50-56.
35. Vuikanov, M., A. (1948). Land Hydrology, Gidrometizdat, Leningrad. (in Russian)
36. Webb, N. P., McGowan, H. A., Phinn, S. R., & McTainsh, G. H. (2006). AUSLEM (Australian Land Erodibility Model): A tool for identifying wind erosion hazard in Australia. *Geomorphology*, 78, 179-200.
37. Zvonkov, V. (1962). Water and Wind Erosion of Soil, Izd. Akad. Nauk SSSR, Moscow. (in Russian)

Assessment of Spatial variabilities of Soil Erodibility by Wind on Margial lands of the Lake Urmia

A.K. Nazari Samani^{1*}, M.R. Rahdari², Gh.R. Rahi³

1. Associate Professor, Natural resources faculty, University of Tehran, Karaj, Iran.
 2. Assistance Professor, Agriculture and natural resources faculty, University of Torbat Heydarieh, Torbat Heydarieh, Iran.
 3. Scientific Member, Agriculture and Natural Resources Research Center, Boushehr, Iran.
- * Corresponding Author: aknazari@ut.ac.ir

Received date: 18/01/2020

Accepted date: 05/03/2020

Abstract

Wind erosion is one of the most important processes of land degradation and desertification in arid, and semi-arid areas. Due to lowering of Urmia Lake's water level, large bare land was created, which makes it crucial to assess their susceptibility to wind erosion. This research was carried on according to the geomorphological mapping unit (facies), field sampling, and granulometric measurements, as well as threshold wind velocity analysis. Results showed that the facies including saline and puffy lands (19%), inselberg island (13.5%), salt crust dry-river (12.8%), and abandoned lands (10.7%) have been the most frequent land surfaces over the study area, respectively. Granulometric studies showed that the average particle diameter, sorting, and skewness are 870 μ , 2.91 and -0.15, respectively. Assessment of threshold wind velocity (V_t) according to the Velikanov formula, showed that the highest and lowest value was 18.83 and 8.3 Knots, and the weighted average on the geomorphological facies was estimated 11 knots. The most value of erodibility factor is estimated for the puffy and salty land surface. Although the wind erodibility of the study area is noteworthy, the wind erosion rate cannot be severe due to natural conditions, such as climate and the presence of vegetation. Zonation of soil erodibility showed that the southeastern parts of the Islamic Island and northwest littoral area of Lake Urmia were the most susceptible regions to wind erosion. Evaluation of sand drift potential showed that the highest potential was in Tabriz (DP= 232, UDI= 0.05), Khoi (DP= 130, UDI= 0.49) and Urmia (DP= 63, UDI= 0.59) stations, respectively. Finally, due to lack of sand sources and wind's energy, the western and northwestern part of the Lake Urmia have more capability for sand dunes formation and wind erosion. However, for salt emission and effecting of the surrounding, lands more research is needed to find out the susceptible area to salt weathering.

Keywords: Climate; Sand dune; Geomorphology facies; Erodibility; Threshold velocity; Sand rose