

ارزیابی مدل انتشار نمک دریاچه ارومیه

مریم عبداله‌زاده^{۱*}، احمد فاخری فرد^۲، یعقوب دین‌پژوه^۳، محرم جعفری^۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱۱/۱۷ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۱۲/۶

چکیده

در این مطالعه جهت ارزیابی مدل انتشار زمانی و مکانی نمک از تونل باد استفاده گردید. مدل رگرسیونی به‌دست آمده از داده‌های آزمایش تونل باد روی نمک دریاچه ارومیه با معادله تجربی چپیل مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفت. در این آزمایش از چهار متغیر که عبارتند از سرعت باد، فاصله از منبع نمکی، مدت زمان وزش باد و شوری که در آن شوری (متغیر وابسته به سه متغیر)، استفاده شد. مقادیر ضریب تبیین، متوسط میانگین مربعات خطا و متوسط خطای نسبی بین داده‌های شوری مشاهداتی و محاسباتی به ترتیب ۰/۹۶، ۷۹/۱۲ و ۰/۱۰۶۵ به‌دست آمد. با توجه به معیارهای ارزیابی فوق می‌توان نتیجه گرفت که دقت مدل رگرسیونی ارزیابی شده جهت انتقال گرد نمک در زمان‌ها و فواصل مختلف و به‌ازای سرعت‌های مختلف باد بسیار خوب است. داده‌های شوری حاصل از آزمایش با تبدیل آن‌ها به جرم نمک انتقالی با استفاده از آزمایش توزین، که در متن مقاله توضیح داده شده است، در معادله چپیل جای‌گذاری شدند و مقادیر ضریب تبیین، متوسط میانگین مربعات خطا و متوسط خطای نسبی بین داده‌های جرم نمک مشاهداتی و محاسباتی به ترتیب ۰/۷۰، ۰/۰۴ و ۶۳/۴۳۵۹ به‌دست آمدند. با توجه به معیارهای ارزیابی به‌دست آمده می‌توان با قبول مقداری خطا، معادله ارزیابی شده از طریق داده‌های آزمایشگاهی را که با معادله چپیل ارزیابی گردید در مقیاس بزرگ‌تر مورد استفاده قرار داد.

واژه‌های کلیدی: توزین، تونل باد، جرم نمک، دریاچه ارومیه، شوری

مقدمه

مدل‌های فرسایش باد برای بررسی فرآیندهای اساسی و مدیریت منابع مورد استفاده قرار می‌گیرند. بسیاری از مدل‌ها در متغیرهای زمانی کنترل فرسایش‌پذیری خاک مشابه هستند. شور شدن اراضی و فرسایش بادی از جمله فرآیندهای تخریبی خاک‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک است که به دنبال آن بیابان‌زایی را در بخش بزرگی از ایران به دنبال دارد (احمدی، ۱۳۸۷). عوامل عمده‌ای که فرسایش-پذیری خاک را کنترل می‌کنند عمدتاً زمانی هستند و دامنه تغییرات آن‌ها بستگی به آب و هوا، مدیریت خاک و خواص ذاتی خاک مثل بافت خاک دارد. برای شروع فرسایش، سرعت سایش باید بر نیروهایی که ذرات را روی سطح نگه داشته باشند غلبه کند (Hagen., 2010).

مدل‌های متعددی برای فرسایش بادی وجود دارند. در مدل‌های

منطقه‌ای و مدل‌ها در مقیاس جهانی، تولید گرد و غبار اغلب همراه با غبار و با سه مکانیسم انتشار، فرارفت و رسوب^۵ است (Shao., 2000). کاربرد آن‌ها شامل پیش‌بینی اثرات گرد و غبار روی اقلیم (Werner et al., 2002)، مشکلات سلامتی (Draxler et al., 2001)، و آب و هوای فعلی به‌خصوص در آسیای شرقی (Zhou et al., 2008) است.

چالش‌های متعددی در اصلاح مدل‌ها در مقیاس منطقه‌ای برای استفاده آن در مناطق بزرگ وجود دارد (Shao., 2000; Raupach and Lu., 2004; Zobeck et al., 2000; Feng and Sharratt., 2007). مدل‌های فرسایش در مقیاس حوضه‌ای برای پیش‌بینی خاک از دست رفته، سیستم‌های حفاظت از گیاه و ارزیابی اثرات فرسایش بادی استفاده می‌شود. مدل‌های در مقیاس مزرعه‌ای برای پیش‌بینی خاک از دست رفته، طراحی سیستم‌های حفاظت، و ارزیابی اثرات فرسایش بادی استفاده می‌شود (Hagen., 1991; Wagner and Hagen., 1999). بسیاری از مدل‌ها برای شبیه‌سازی اثرات خاص مانند ریبیل‌های^۶ شن و ماسه وجود دارند (Gill et al., 2007).

در تحقیقی پایدار^۷ی خاک‌دانه‌های خشک را علتی بر مقاومت

۱- دانشجوی دکتری مهندسی منابع آب، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

۲- استاد گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

۳- دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

۴- استادیار گروه مکانیک، دانشکده مکانیک، دانشگاه تبریز

*- نویسنده مسئول: (Email: Maryam.abdolazadeh90@yahoo.com)

5- Diffusion, Advection and Deposition

6- Field Scale

7- Ripples

توسعه مدل انتشار ذرات گرد و غبار و کاربرد آن در آسیای شرقی بهره جستند. تحقیقات نشان داد که مدل قادر به تخصیص توزیع مکانی و زمانی گرد و غبار است. ارزیابی مدل نشان داد که به هنگام مرطوب بودن، عدم قطعیت مدل دیده می‌شود و سهم ذرات ریز در انتشار گرد و غبار به ۵۰ درصد کاهش می‌یابد (Dong et al., 2016). در مطالعه دیگری برای تخمین انتشار گرد و غبار و انتقال آن از شبیه‌سازهای FLEXPART و FLEXDUST استفاده کردند. مدل‌ها به خوبی برای دوره بهار پیش‌بینی کرده بودند ولی برای وقایع گرد و غبار در اواخر پاییز و اوایل زمستان بیش برآزش داشتند (Groot et al., 2017).

هدف از تحقیق حاضر، بررسی مدل رگرسیونی ارایه شده برای محاسبه شوری با استفاده از آزمایش تونل باد و ارزیابی آن با مدل تجربی چپیل می‌باشد، زیرا با توجه به آزمایشگاهی بودن مدل ارایه شده و کوچک مقیاس بودن آن و نبود داده‌های مشاهداتی در زمینه شوری در منطقه مورد مطالعه، مدل ارایه شده با مدل تجربی دیگر که در مقیاس بزرگ‌تر بدست آمده است، مورد ارزیابی قرار گرفت تا قابل تعمیم بودن آن به طبیعت یا به عبارت دیگر استفاده از این معادله در مقیاس‌های بزرگ مورد بررسی قرار بگیرد.

مواد و روش‌ها

منطقه مطالعه شده

حوضه آبریز دریاچه ارومیه واقع در شمال غرب ایران با مساحت ۵۱۸۷۶ کیلومترمربع یکی از شش حوضه آبریز اصلی ایران است. این حوضه بین استان‌های آذربایجان غربی، آذربایجان شرقی و کردستان قرار دارد. دریاچه ارومیه به‌عنوان بزرگ‌ترین دریاچه بعد از دریاچه خزر و شورترین دریاچه داخلی ایران و از مهم‌ترین و با ارزش‌ترین اکوسیستم‌های آبی ایران و جهان به‌شمار می‌آید. از نظر شیمیایی آب دریاچه تیپ کلره بوده و باقی‌مانده خشک عناصر محلول در آب آن TDS در دوران پربابی در حدود ۱۸۰ و در زمان کم‌آبی ۴۲۰ گرم در لیتر است (حسینی و صولتی‌فر، ۱۳۸۸). مهم‌ترین منابع تامین آب دریاچه، بارش مستقیم بر روی آن و هم‌چنین رواناب‌های سطحی ورودی به آن از طریق رودخانه‌های این حوضه آبریز بسته می‌باشد، که با توجه به مشکلات متعدد بوجود آمده در طی سالیان اخیر دریاچه ارومیه به شوره‌زار تبدیل شده است. شکل ۱ که آخرین عکس منتشر یافته از تصاویر ماهواره ای ناساست، گویای همین موضوع می‌باشد. جدول ۱ خصوصیات آماری داده‌های شوری اندازه‌گیری شده را نشان می‌دهد.

خاک در مقابل فرسایش بادی دانستند. از آن‌جا که همواره مقاومت خاک‌های مرطوب از خاک‌دانه‌های خشک بیش‌تر است، درصد رطوبت خاک نیز از عوامل موثر در برابر فرسایش بادی است (Bryan., 1968). سرعت باد به‌عنوان یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های فیزیکی باد، عامل انتقال ذرات با مکانیسم‌های مختلف است. ذرات خاک با سه مکانیسم غلطیدن، جهش و خزش انتقال می‌یابد (اختصاصی، ۱۳۷۲). تحقیقات اولیه انجام گرفته در زمینه فرسایش بادی با استفاده از تونل باد آزمایشگاهی بیانگر آن است که فرآیند فرسایش‌پذیری خاک، کاملاً تحت تاثیر توزیع اندازه خاک‌دانه‌های خشک قرار دارد (Chepil and Milne., 1941). برخی از محققان در بررسی میزان فرسایش بادی، اثر ذرات فرساینده^۱ همراه با باد را مورد بررسی قرار داده‌اند. چنان‌چه ماسه همراه باد نباشد، در عمل ساییدن ناتوان است (رفاهی، ۱۳۷۸). در قاره استرالیا مدلی با سامانه یک‌پارچه (این سامانه فرسایش بادی با اساس فیزیکی و انتقال ذرات را به هم پیوند می‌دهد) ارایه کردند. از مدل فوق می‌توان برای تعیین شدت فرسایش بادی، انتشار ذرات، پیش‌بینی طوفان گرد و غبار استفاده کرد. اندازه غالب برای ذرات گرد و غبار بین ۰ تا ۱۱ میکرومتر بودند. هم‌چنین مکان‌های اصلی انتشار ذرات و مسیرهای آن‌ها با استفاده از عکس‌های ماهواره‌ای تشخیص داده شدند. در مقایسه با تعداد مدل‌های موجود در ارتباط با انتقال ذرات، این مدل توانایی تشخیص منبع گرد و غبار را داشت (Lu and Shao., 2001). هاگن در مطالعه‌ای مدل‌های فرسایش بادی را ارزیابی کرد. برای اندازه‌گیری خاک از دست رفته از ۴۶ رویداد در شش ایالت از مدل WEPS^۲ استفاده شد. ضریب تبیین بین مقادیر فرسایش اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده معادل با $R^2=0.71$ بود (Hagen., 2004). هی و همکاران در تحقیقی فرآیند فرسایش بادی روی دو نوع خاک (لومی و لوم‌شنی) را در منطقه‌ای از مغولستان با استفاده از تونل باد، با توجه به سرعت باد و رطوبت خاک مورد مطالعه قرار دادند. نتایج نشان داد که مدل فرسایش بادی خاک با افزایش سرعت باد افزایش می‌یابد. زمانی که سرعت باد از مقدار بحرانی تجاوز کند، فرسایش بادی خاک به‌طور ناگهانی افزایش پیدا می‌کند. ایشان سرعت بحرانی برای هر دو نوع خاک را در محدوده‌ی ۷-۸ متر بر ثانیه عنوان کرد و این‌که مقدار رطوبت خاک تاثیر زیادی روی فرسایش بادی دارد. فرسایش بادی در هر دو نوع خاک با افزایش رطوبت خاک به‌صورت کاهشی گزارش شد (He et al., 2013). در تحقیقی دیگر از تونل باد برای اندازه‌گیری سرعت رسوب ذرات گرد و غبار با اندازه ذرات متفاوت، سطوح و سرعت‌های باد متفاوت استفاده کردند (Zhang et al., 2014). دانگ و همکاران در مطالعه خود از مدل CMAQ جهت

1- Abraders

2- Wind Erosion Prediction System

3- Total dissolved solids



شکل ۱- عکس شوره‌زار نمک دریاچه ارومیه، گرفته شده در مردادماه ۱۳۹۴

جدول ۱- خصوصیات آماری داده‌های شوری اندازه‌گیری شده (بر حسب میکروزیمنس بر متر)

تعداد	جمع	مقدار حداکثر	مقدار حداقل	چولگی	کشیدگی	واریانس	انحراف معیار	مد	میانه	خطای استاندارد	میانگین
۱۰۰	۴۵۴۶۷	۲۰۴۴/۱۵	۴۲/۱۵	۱/۶۱۳۷۷	۲/۶۸۵۵	۱۷۰۳۰۸/۸	۴۱۲/۶۸	۱۵/۱۰۵	۲۹۹/۱۵	۲۶۸/۴۱	۴۵۴/۶۷

تونل باد

تونل باد ابزاری آزمایشگاهی است که در تحقیقات مربوط به حرکت گازها (در این مطالعه هوا) و تاثیر عبور آن از روی ذرات جامد به منظور ارزیابی فرسایش خاک یا نمک و اثر ترسیب آن‌ها روی مواد مختلف استفاده می‌شود. در این مطالعه برای ایجاد جریان هوا از روی ذرات نمک از یک فن نسبتاً قوی که دارای پره‌هایی صاف برای عبور جریان هوا بود استفاده شد. در این تحقیق، برای تعیین پروفیل ترسیب نمک از تونل باد موجود در دانشکده مکانیک دانشگاه تبریز و برای اندازه‌گیری شوری آب داخل ظروف از EC متر استفاده شد. تونل باد مورد استفاده دارای طول چهار متر و عرض ۵۰ سانتی‌متر و حداکثر سرعت وزش باد در تونل ۱۰ متر بر ثانیه بود. آزمایشات با چهار سرعت متفاوت ۷ تا ۱۰ متر بر ثانیه (با گام‌های ۱ متر بر ثانیه) انجام گردید.

این چهار سرعت با توجه به امکانات تونل باد موجود که حداکثر مقدار سرعت در آن ۱۰ متر بر ثانیه و حداقل سرعت موثر در تغییرات EC که با توجه به انجام آزمایش تعیین شد ۷ متر بر ثانیه بود، انتخاب شد. مراحل انجام آزمایش به این ترتیب بود که برای یک سرعت معین، مقدار EC آب درون ظروف در فواصل و زمان‌های مختلف اندازه‌گیری شدند. به این صورت که در ابتدای تونل باد ظرفی از پودر نمک (تهیه شده از کف دریاچه ارومیه) حدود ۱/۵ کیلوگرم قرار داده شد. سپس ظرف‌های حاوی آب (حدود ۳۰۰ سی سی) به تعداد پنج

عدد و به فواصل ۵۰ سانتی‌متر در تونل باد قرار گرفتند. مقدار EC آب ظروف مذکور پس از وزش باد با سرعت معین و مدت زمان معلوم اندازه‌گیری شد. در هر آزمایش تعداد ۲۵ داده برداشت گردید. به عنوان مثال، برای سرعت باد ۹ متر بر ثانیه، اندازه‌گیری شوری در پنج زمان مختلف (۳۰، ۶۰، ۹۰، ۱۲۰ و ۱۵۰ دقیقه پس از شروع) انجام گرفت. در هر آزمایش به تعداد سینی‌های محتوی آب مقدار EC اندازه‌گیری شد. به این ترتیب که در انتهای هر آزمایش، آب داخل سینی‌ها به ظروف استوانه‌ای مدرج انتقال و پس از به هم زدن آب مقدار EC اندازه‌گیری و ثبت گردید. لازم به ذکر است که تعداد داده‌های اندازه‌گیری شده در این آزمایش با توجه به شرایط آزمایشگاهی ۱۰۰ عدد بود.

بعد از اتمام آزمایش، با توجه به داده‌های ثبت شده، رابطه بین متغیر وابسته (EC) و سایر متغیرهای مستقل تعیین شد. مدل‌های متعددی برای این کار امتحان شد. در مدل اول ابتدا به ازای یک t ثابت رابطه‌ای بین EC و x از نوع نمایی برآزش داده شد. رابطه ۱ رابطه بین دو متغیر را که با استفاده از نرم‌افزار Curve Expert Professional بدست آمده با نام نمایی اصلاح شده نشان می‌دهد.

$$EC = ae^{\frac{b}{x}} \quad (1)$$

سپس بین پارامترهای معادله ۱ یعنی a و b و متغیر زمان (t)

میکروزیمنس بر ثانیه از معادله ۵ و برای بازه ۱۲۰ تا ۲۳۰۰ از معادله ۶ استفاده گردید. نمودار مربوط به هر کدام از بازه‌ها در ذیل آمده است (شکل ۲).

$$q = (EC - 2.4215)/9874.6 \quad (۵)$$

$$q = (EC + 45.908)/10603 \quad (۶)$$

معیارهای ارزیابی

برای مقایسه‌ی دقت پیش‌بینی‌ها، از معیارهای جذر میانگین مربعات خطا (RMSE)، متوسط قدرمطلق خطاها (MAE)، ضریب تبیین (R^2)، شاخص پراکنگی (D) و خطای نسبی (E_r) به شرح رابطه ۷ تا ۱۱ استفاده شد (Rawls et al., 1991):

$$R^2 = \frac{[\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(\hat{x}_i - \bar{\hat{x}})]^2}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (\hat{x}_i - \bar{\hat{x}})^2} \quad (۷)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \hat{x}_i)^2} \quad (۸)$$

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |x_i - \hat{x}_i| \quad (۹)$$

$$E_r = \frac{\hat{x}_i - x_i}{x_i} \quad (۱۰)$$

$$D = \frac{\sigma^2}{\bar{x}} \quad (۱۱)$$

در روابط فوق، x_i مقادیر مشاهداتی، \hat{x}_i مقادیر تخمین زده شده، \bar{x} میانگین مقادیر مشاهداتی، $\bar{\hat{x}}$ میانگین مقادیر تخمینی و σ^2 واریانس داده‌های مربوط به مقدار شوری و یا جرم نمک، و n تعداد کل داده‌ها می‌باشد.

نتایج و بحث

جهت بررسی ترسیب نمک در این تحقیق، مدل رگرسیونی چندمتغیره غیرخطی با استفاده از نرم‌افزار Curve Expert Professional به کار گرفته شد و رابطه بین متغیرهای اندازه‌گیری شده تعیین گردید. سپس با تعیین مقادیر پارامترهای معادله مقدار شوری تخمینی بدست آمد. نمودارهای حاصل از آزمایش در چهار سرعت باد ۷، ۸، ۹ و ۱۰ متر بر ثانیه در زمان‌ها و فواصل مختلف بدست آمد که به‌عنوان نمونه در شکل ۳ نمودار مربوط به سرعت ۹ متر بر ثانیه نشان داده شده است.

همان‌طور که در نمودار فوق نشان داده شده است، با فاصله گرفتن از منبع نمکی مقدار ترسیب نمک کم‌تر شده و همچنین با افزایش زمان وزش سرعت باد، مقدار شوری افزایش پیدا کرده است. با جاگذاری روابط ۲ و ۳ در رابطه ۱، رابطه ۱۲ بین مسافت، شوری و زمان بسط داده شد.

روابطی برازش داده شد که در آن رابطه بین a و t رابطه معادله ۲) و رابطه بین b و t رابطه‌ای خطی (معادله ۳) بدست آمد.

$$a = ce^{d.t} \quad (۲)$$

$$b = f + g.t \quad (۳)$$

معادله چیپل

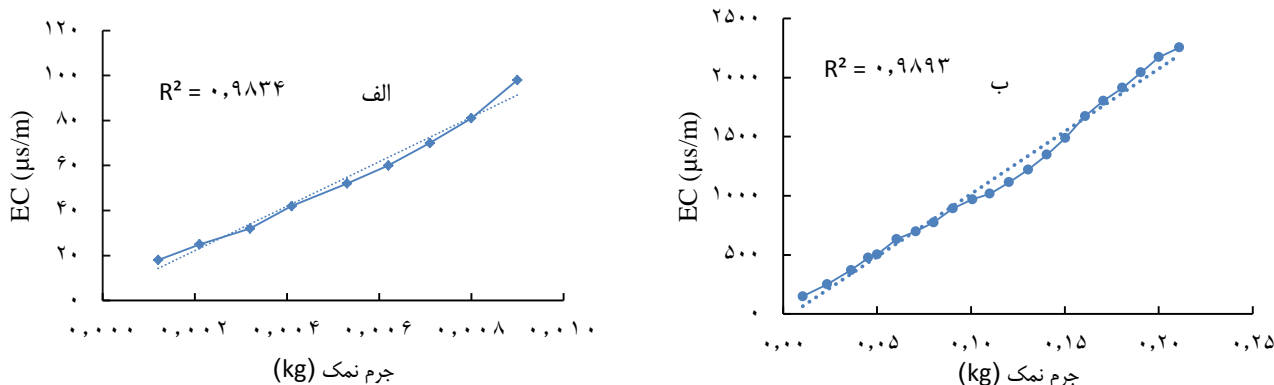
فرسایش بادی یک پدیده فیزیکی است و مستقماً توسط شرایط فیزیکی خاک تاثیر می‌پذیرد و فقط خاک خشک توسط باد انتقال می‌یابد چرا که ساختار خاک در شرایط خشک شاخص قابل اعتمادتر از ساختار خاک نسبت به حالت مرطوب می‌باشد. حالت‌های حمل و نقل ذرات عبارتند از خزش (قطر ۰/۸ - ۲/۰ میلی‌متر)، جهش (۰/۱ - ۰/۸ میلی‌متر) و تعلیق (کم‌تر از ۰/۱ میلی‌متر). چیپل معادلات متعددی در این زمینه ارائه کرده است. این معادلات شامل متغیرهای متعددی هستند که برخی از آن‌ها قطر دانه‌های خاک، شتاب ثقل، چگالی ذرات، چگالی سیال، سرعت آستانه، ارتفاع وزش باد، سرعت باد، زمان وزش بعد و ... می‌باشند که در این مطالعه معادله ۴ که تمامی متغیرهای اندازه‌گیری در آزمایش تونل باد را دارا می‌باشد به کار گرفته شد (Chepil., 1985).

$$q = \frac{C \rho_a}{g^{*x}} u_*^2 (u_* - u_{*c}). t \quad (۴)$$

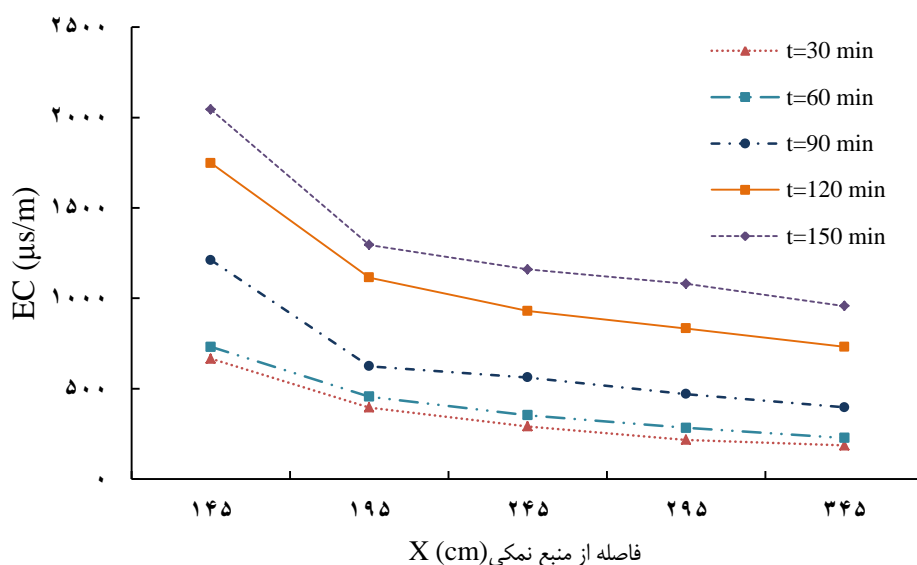
در معادله فوق، جرم انتقالی ذرات q (kg/m) متناسب است با مکعب سرعت باد u_* (m/s)، که در آن c یک ضریب است، ρ_a دانسیته هوا (kg/m^3)، g شتاب گرانش (m/s^2) و u_{*c} سرعت باد آستانه (m/s) که در این تحقیق برابر با ۶/۵ متر بر ثانیه برای نمک با توجه به آزمایش انجام شده در نظر گرفته شده. X مسافت طی شده ذرات (m)، t مدت زمان وزش باد (s) است.

معادلات زیادی در ارتباط با بحث فرسایش بادی ارائه شده‌اند اما معادله‌ای غیر از معادله چیپل که بتواند متغیرهای اندازه‌گیری شده در این آزمایش (سرعت باد، شوری یا جرم نمک، زمان، مسافت) را در خود بگنجانند یافت نشد و این معادله تنها مدل جهت ارزیابی برای این تحقیق در نظر گرفته شد.

همان‌طور که در این معادله مشاهده می‌شود جهت ارزیابی مدل رگرسیون ارائه شده با این معادله نیازمند تبدیل شوری به جرم نمک هستیم. برای این منظور از دستگاه توزین با دقت ۰/۰۰۰۱ گرم استفاده شد. به این صورت که مقدار نمک در دو بازه ۰/۰۰۱ تا ۰/۰۰۹ گرم (فواصل ۰/۰۰۱ از هم) و ۰/۰۱ تا ۰/۲ گرم (فواصل ۰/۰۱ از هم) وزن شد و سپس معادل آبی که در آزمایش استفاده شده بود (۳۰۰ سی سی) در ظروف استوانه‌ای مدرج ریخته و مقدار EC اندازه‌گیری شد. سپس رابطه بین شوری و جرم نمک در هر کدام از بازه‌ها استخراج گردید. برای مقادیر شوری بین ۱۸ تا ۱۲۰



شکل ۲- نمودار تغییرات شوری نسبت به جرم نمک



شکل ۳- نمودار تغییرات شوری نسبت به فاصله از منبع نمکی به ازای سرعت باد ۹ متر بر ثانیه در زمان‌های مختلف

پارامترهای معادله هستند. با تخمین پارامترهای معادلات ۱۳، ۱۴، ۱۵، ۱۶ و با جایگزینی آن‌ها در معادله ۱۲، EC از روی مدل برازش داده شده به دست آمد. نمودار پراکندگی مقادیر اندازه‌گیری شده و محاسبه شده از مدل برای EC در شکل ۴ نشان داده شده است. همان‌طور که در بخش‌های قبلی این تحقیق ذکر شد، برای ارزیابی معادله ارایه شده جهت تعمیم آن به طبیعت (استفاده در مقیاس‌های بزرگ‌تر) از معادله تجربی چپیل استفاده شد. معادل مقادیر EC های اندازه‌گیری شده با انجام آزمایش توزین، مقادیر جرم نمک نیز بدست آمدند و با جای‌گذاری در معادله چپیل مقادیر جرم نمک محاسباتی بدست آمد که در شکل ۵ پراکندگی داده‌ها بین مشاهدات و محاسبات نشان داده شده است. جدول ۲ مقادیر معیارهای ارزیابی برای معادله رگرسیونی و معادله چپیل نشان می‌دهد.

$$EC = ce^{d.t}e^{\frac{(f+g.t)}{x}} \quad (12)$$

در رابطه فوق، t زمان از آغاز آزمایش بر حسب دقیقه، x فاصله ظرف آب از منبع نمکی بر حسب سانتی‌متر، EC شوری بر حسب میکروزیمنس بر متر و c, d, f و g پارامترهای رابطه ۱۲ هستند که به ترتیب از معادله‌های زیر بدست می‌آید. برای دخالت دادن سرعت باد در رابطه فوق، بین پارامترهای معادله ۱۲ و سرعت باد روابطی به شرح معادلات ۱۳ تا ۱۶ برآش داده شد.

$$c = \frac{a_1 + b_1.V}{1 + c_1.V + d_1.V^2} \quad (13)$$

$$d = \frac{a_2 + b_2.V}{1 + c_2.V + d_2.V^2} \quad (14)$$

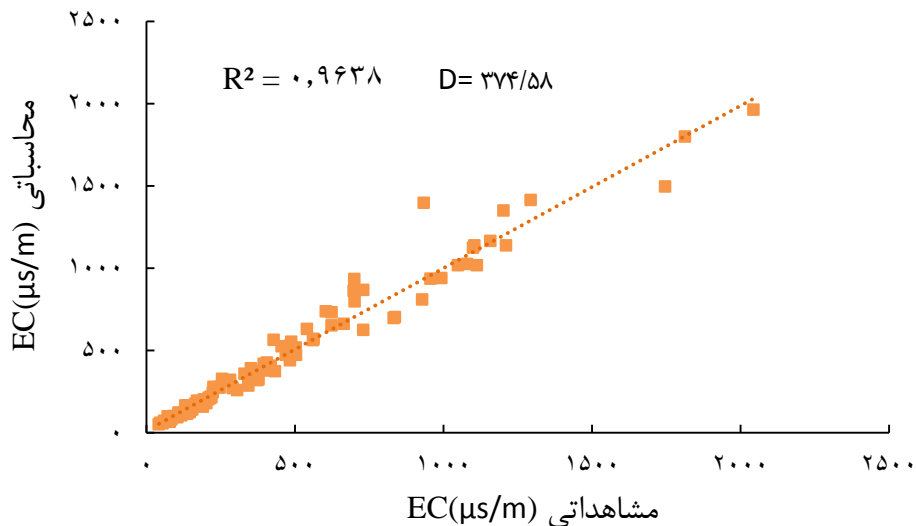
$$f = \frac{1}{a_3 + b_3.V + c_3.V^2} \quad (15)$$

$$g = \frac{a_4.V}{b_4 + V} \quad (16)$$

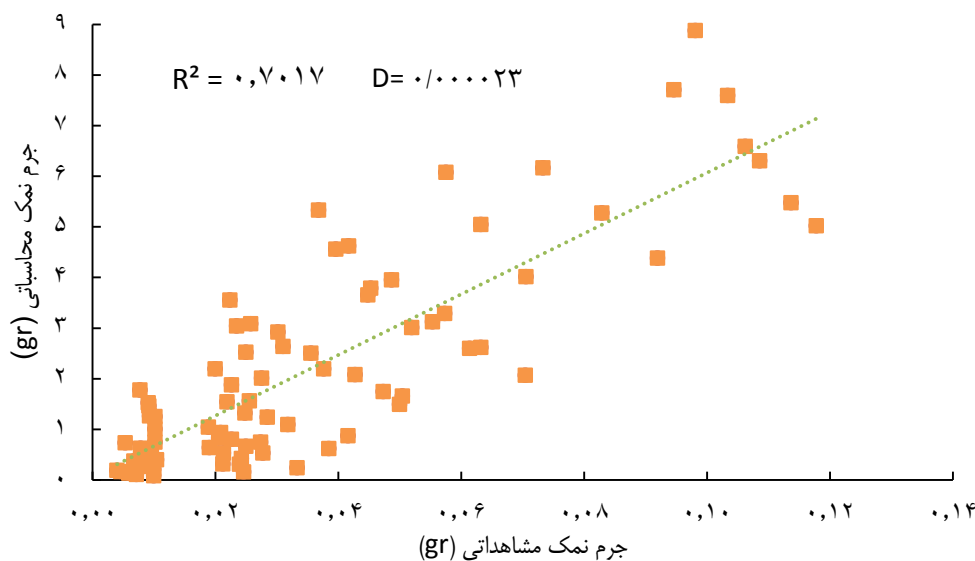
در معادله‌های فوق V سرعت باد بر حسب متر بر ثانیه و a, b و c

فواصل دورتر در یک زمان ثابت مقدار نمک ترسیب شده (شوری) کاهش می‌یابد و این مسئله در طبیعت نیز اتفاق می‌افتد.

با توجه به معیارهای ارزیابی بدست آمده برای معادله ۱۲ با توجه به دقت بیش‌تر و خطای کم‌تر نتایج رضایت‌بخشی را ارائه داد، به این صورت که در رابطه ۱۲، با افزایش سرعت باد و در نظر گرفتن



شکل ۴- نمودار پراکندگی مقادیر محاسباتی و مشاهده‌اتی EC با استفاده از رابطه ۱۲



شکل ۵- نمودار پراکندگی مقادیر محاسباتی و مشاهده‌اتی جرم نمک با استفاده از معادله چپیل

جدول ۲- مقادیر معیارهای ارزیابی بدست آمده برای مدل‌های مورد استفاده در این تحقیق

مقارهای ارزیابی	R^2	$RMSE(\mu s/m, kg)^*$	$MAE(\mu s/m, kg)$	E_r	$D(\mu s/m, kg)$	مشاهداتی	محاسباتی
مدل ارایه شده	۰/۹۶	۷۹/۱۲	۴۶/۱۵	۰/۱۰۶۵	۳۷۴/۵۸	۳۷۲/۱۹	
مدل چپیل	۰/۷۰	۰/۰۴	۰/۰۲۹	۶۳/۴۳۵۹	۰/۰۰۰۰۲۳	۰/۰۰۱۹۴	

* برای مدل ارایه شده واحدها برحسب میکروزیمنس بر متر و برای مدل چپیل واحدها بر حسب کیلوگرم می‌باشند.

گرفته شود. با توجه به پسروی آب دریاچه و تبدیل شدن آن به شوره-زار نمک و دپو کردن نمک و برداشت غیرعلمی آن توسط انسان، بستری مناسب برای فرسایش سطح نمکی فراهم آورده شده است که با استفاده از مدل ارایه شده می‌توان مقدار نمک ترسیب شده در فواصل مختلف از دریاچه ارومیه در جهت وزش باد را برآورد کرده چرا که گسترش سطح نمکی منبع مخربی را برای اراضی کشاورزی و باغی و تهدید کیفی منابع آبی منطقه بشمار می‌رود.

در انتها پیشنهاد می‌شود آزمایش مشابهی در این زمینه (نمک یا خاک و یا ترکیبی از آن‌ها) و در صورت امکان در تونل باد با ابعاد بزرگ‌تر در منطقه‌ای دیگر انجام پذیرد و با نتایج این تحقیق مقایسه گردد.

منابع

احمدی، ح. ۱۳۸۷. ژئومورفولوژی کاربردی، جلد دوم: بیابان- فرسایش بادی. انتشارات دانشگاه تهران، ۷۰۶ صفحه.

اختصاصی، م. ر. ۱۳۷۲. تهیه نقشه حساسیت به فرسایش بادی اراضی دشت یزد به کمک دستگاه سنجش فرسایش بادی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران، ۲۳۷ صفحه.

حسینی، م و صولتی‌فر، س. ۱۳۸۸. تدوین دانش فنی استحصال سدیم سولفات از آب دریاچه ارومیه به روش غیرتبخیری. مجله اندیشه علوم- شیمی کاربردی. ۱۲: ۴۰-۳۱.

رسول‌زاده، س و بزرگ حداد، ا. ۱۳۸۷. مقایسه شبکه عصبی مصنوعی و رگرسیون خطی چندمتغیره در پیش‌بینی میزان آبدهی مخزن سد کرج. سومین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران، ۲۳ تا ۲۵ مهرماه، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تبریز، تبریز.

رفاهی، ح. ۱۳۷۸. فرسایش بادی و کنترل آن. انتشارات دانشگاه تهران، ۳۲۰ صفحه.

Bryan, R.B. 1968. The development, use and efficiency of indices of soil erodibility. Geoderma - Elsevier Publishing. 2.1: 5-26.

Chepil, W.S and Milne, R.A. 1941. Wind erosion in relation to roughness of the surface. Soil sciences. 52: 417-433.

Chepil, W.S. 1985. Soil conditions that influence wind erosion. U.S. Department of Agriculture, ARS, Technical Bulletin Washington, D.C. No. 1185. 40p.

Dong, X., Fu, J.S., Huang, K., Tong, D and Zhuang, G. 2016. Model development of dust emission and heterogeneous chemistry within the Community

این نکته را نیز باید در نظر داشت که با توجه به شرایط آزمایشگاهی موجود نتایج به‌دست آمده برای حالت پتانسیل جواب‌گو خواهد بود و انتظار نمی‌رود که در تمام فصول سال بتوان از معادله ارایه شده نتایج مطلوبی را حاصل کرد. هم‌چنین با توجه به مقدار ضریب تعیین بدست آمده از معادله چپیل برای داده‌های اندازه‌گیری شده در آزمایش که مقدار قابل‌قبولی می‌باشد، می‌توان با پذیرفتن مقداری خطا مدل رگرسیون ارایه شده را برای بررسی ترسیب نمک به‌کار برد.

در تحقیق‌های دیگری که در رابطه با فرسایش بادی صورت گرفته است، از جمله آن‌ها می‌توان به هاگن (Hagen., 2004) اشاره کرد، ایشان مدلی برای تعیین فرسایش بادی ارایه کرد که تنها برای خاک‌دانه‌های کوچک‌تر قابل استفاده بود و مقدار ضریب تعیین بدست آمده برابر با ۰/۷۱ بود. لو و شائو مدلی جهت تشخیص منبع گرد و غبار و محاسبه فرسایش با استفاده از اطلاعات جوی و سطحی و نقشه‌های GIS ارایه دادند (Lu and Shao., 2001). هی و همکاران فرآیند فرسایش بادی را با توجه به سرعت باد و رطوبت خاک مورد مطالعه قرار دادند که با افزایش رطوبت خاک فرآیند فرسایش کاهش یافت. با این حال، ماهیت کار فعلی با مطالعه ایشان طوری است که امکان مقایسه یافته‌های بین این دو تحقیق منطقی به نظر نمی‌رسد (He et al., 2013).

نتیجه‌گیری

به منظور ارایه مدلی از ترسیب نمک، از آزمایش تونل باد استفاده گردید. بعد از اندازه‌گیری چهار متغیر (سرعت باد، طول مدت وزش باد، فاصله از منبع نمکی، شوری) مدلی بین آن‌ها برآزش داده شد. مدل ارایه شده در زمینه فرسایش و ترسیب نمک کمک می‌کند تا تاثیر سرعت باد در حمل نمک و رسوب آن در فواصل مختلف از منبع نمکی ارزیابی شود. در طول انجام آزمایش تونل باد، در سرعت‌های زیاد باد، مقدار نمک حمل شده نیز به تبع آن زیاد شده و در فواصل نزدیک به منبع نمک، ترسیب آن نیز نسبت به فواصل دورتر بیش‌تر بوده است. با انجام این آزمایش، مدل زمانی- مکانی انتشار نمک در سرعت‌های مختلف استخراج شد که نتایج رضایت‌بخشی حاصل گردید. با توجه به بزرگ نبودن تونل باد جهت انجام آزمایشات در سطح وسیع‌تر، و با توجه به این‌که مقادیر EC بصورت نمونه‌ای در منطقه برای مقایسه داده‌های آزمایش با آن‌ها در دسترس نبود، بنابراین بر آن شدیم تا داده‌های اندازه‌گیری شده را با یک مدل تجربی دیگر ارزیابی نماییم. در نهایت با معیارهای بدست آمده از معادله چپیل می‌توان به این نتیجه رسید که مدل رگرسیونی ارایه شده می‌تواند به‌عنوان مدلی جهت بررسی ترسیب نمک در منطقه به‌کار

- Modeling and Software. 16: 233-249.
- Raupach, M.R and Lu, H. 2004. Representation of land-surface processes in Aeolian transport models. *Environmental Modeling Software*. 19: 93-112.
- Rawls, W.J., Gish, T.J and Brakensiek, D.L. 1991. Estimating soil water retention from soil physical properties and characteristics. *Advances in Soil Science*. 9: 213-234.
- Shao, Y. 2000. *Physics and Modeling of Wind Erosion*. Kluwer Academic Publishers: Dordrecht. 2: 456-
- Wagner, L.E and Hagen, L.J. 1999. Application of WEPS generated soil loss components to assess off-site impacts. In *Sustaining the Global Farm*, proceeding of 10th International Soil Conservation Organization Conference, West Lafayette, IN, May 24-29, Stott DE, Mohtar RH, Steinhardt GC, Purdue University, West Lafayette, IN. 2001: 935-939.
- Werner, M., Tegen, I., Harison, S.P., Kohfeld, K.E., Prentice, I.C., Balkanski, Y., Rodhe, H and Roelandt, C. 2002. Seasonal and interannual variability of the mineral dust cycle under present and glacial climate conditions. *Journal of Geophysical Research*. 107.24: 4744-4763.
- Zhang, J., Shao, Y and Hung, N. 2014. Measurements of dust deposition velocity in a wind-tunnel experiment. *Atmospheric Chemistry and Physics*. 14: 8869- 8882.
- Zhou, C.H., Gong, S.L and Zhang, X.Y. 2008. Development and evaluation of an operation SDS forecasting system for East Asia: cauce/dust. *Atmospheric Chemistry and Physics*. 8: 787-798.
- Zobeck, T.M., Parker, N.C., Haskell, S and Guoding, K. 2000. Scaling up from field to region for wind erosion prediction using a field-scale wind erosion model and GIS. *Agricultural Ecosystem and Environment*. 82.1: 247-259.
- Multiscale Air Quality modeling system and its application over East Asia. *Atmospheric Chemistry Physics*. 16:8157-8180.
- Draxler, R.R., Gillette, D.A and Kirkpatrick, J.S. 2001. Estimating PM10 concentrations from dust storms in Iraq, Kuwait, and Saudi Arabia. *Atmosphere Environment*. 35:4315-4330.
- Feng, G and Sharratt, B. 2007. Scaling from field to region for wind erosion prediction using WEPS and GIS. *Journal of Soil Water Conservation*. 62.5: 321-328.
- Gill, T.E., Warren, A and Stout, J.E. 2007. Bibliography of Aeolian Research. Available online at: <http://www.lbk.ars.usda.gov/wewc/biblio/bar.htm>.
- Groot Zwaafink, C.D., Arnalds, Ó., Dagsson-Waldhauserova, P., Eckhardt, S., Prospero, J.M and Stohl, A. 2017. Temporal and spatial variability of Icelandic dust emissions and atmospheric transport, *Atmospheric Chemistry Physics*. 17:10865-10878.
- Hagen, L.J. 1991. A wind erosion prediction system to meet user needs. *Journal of Soil Water Conservation*. 4.2: 105-111.
- Hagen, L.J. 2004. Evaluation of the wind erosion prediction system (WEPS) erosion sub model on cropland fields. *Environmental Modeling and Software*. 19: 171-176.
- Hagen, L.J. 2010. *Erosion by Wind: Modeling*. Wind Erosion Research Unit, USDA-ARS, GMPC, Manhattan, Kansas, U.S.A. *Encyclopedia of Soil Science*. 1-4.
- He, J., Cai, Q and Cao, W. 2013. Wind tunnel study of multiple factors affecting wind erosion from cropland in Agro-pastoral area of Inner Mongolia. China. *Journal of Mountain Sciences*. 10: 68-74.
- Lu, H and Shao, Y. 2001. Toward quantitative prediction of dust storms: an integrated wind erosion modeling system and its applications. *Environmental*

Evaluation of Salt Emission Model of Urmia Lake

M. Abdolazadeh^{1*}, A. Fakhri-Fard², Y. Dinpashoh³, M. Jafari⁴

Received: Feb.6, 2018

Accepted: Feb.25, 2018

Abstract

In this study, a wind tunnel was used to provide a spatial and temporal model of salt emission. Obtained regression model from wind tunnel test data on the salt of Urmia Lake evaluated with the empirical Chepil equation. In this experiment, four variables were used: wind speed, distance from the salt source, duration of wind blowing and Salinity (EC), where the variation of EC is dependent on the other three variables. The values of coefficient of determination, root mean square error and relative error between the observational and computational data of regression model are 0.96, 79.12 $\mu\text{s/m}$ and 0.1065 respectively. According to the evaluation criteria, it can be concluded that the accuracy of the proposed regression model is very good for evaluating the salt transfer at different times and distances and various wind speeds. The obtained salinity data from the experiment were turned to salt mass using weighing test, which is explained in the text of the paper, and were placed in the Chepil equation. The values of coefficient of determination, root mean square error and relative error between the observational and computational data are 0.70, 0.04 kg and 63.4359 respectively. According to the obtained evaluation criteria, we can use the suggested equation by experimental data, which was evaluated by Chepil equation on a larger scale by accepting some errors.

Keywords: Salinity, Salt mass, Urmia Lake, Weighing, Wind Tunnel

1-PhD Candidate, Department. of Water Engineering, Univ. of Tabriz, Iran

2-Professor, Department. of Water Engineering, Univ. of Tabriz, Iran

3-Assoc. Professor., Department. of Water Engineering, Univ. of Tabriz, Iran

4-Assist. Professor., Department. of Mechanic Engineering, Univ. of Tabriz, Iran

(*-Corresponding Author Email: Maryam.abdolazadeh90@yahoo.com)