

## بررسی احتمالاتی توان فرسایشی باد در خوزستان

حسین عساکره، استاد آب و هواشناسی، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه زنجان، ایران  
رضا خوشرفتار، استادیار ژئومورفولوژی، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه زنجان، ایران  
سیده کبری موسوی، دانش آموخته کارشناسی ارشد آب و هواشناسی، دانشگاه زنجان، ایران

### چکیده

در بسیاری از نقاط سطح زمین، باد به عنوان عامل اصلی و نیروی قدرتمند در جابجایی مواد سطحی و فرسایش عمل می‌کرده است. یکی از مناطق توام با توان فرسایش بادی بالا در ایران، استان خوزستان است. در پژوهش حاضر تلاش شد تا توان باد در ایجاد فرسایش و حمل ذرات در نواحی مختلف استان خوزستان مورد بررسی قرار گیرد. برای رسیدن به این هدف از داده‌های ۵۸ ایستگاه همدید و تخریب سنجی استان خوزستان از سال ۱۹۸۷ تا ۲۰۱۰ میلادی استفاده شد. از آنجا که میزان رطوبت در رخداد فرسایش بادی بسیار موثر است، ویژگی‌های عمومی باد توام با خشکی استان مورد توجه قرار گرفت. بدین ترتیب آستانه فرسایش بادی انواع ذرات خاک، شامل لای، رس، ماسه ریز و ماسه درشت، به‌طور جداگانه محاسبه و احتمال رخداد فرسایش در شرایط خشک و مرطوب مورد بررسی قرار گرفت. بررسی‌های انجام شده نشان داد که بیشترین سرعت باد و کمترین میزان ضریب تغییر پذیری باد و همچنین کمترین میزان بارش و ضریب تغییرات آن در قسمت‌های جنوب، جنوب‌غرب و غرب استان رخ می‌دهد. از این رو در این قسمت‌ها توان فرسایش و احتمال رخداد آن برای هر چهار ذره به ترتیب در قسمت‌های جنوب، جنوب‌غرب و غرب استان بیشتر از نواحی دیگر است.

**کلمات کلیدی:** فرسایش بادی، توان باد، خوزستان، احتمال شرطی.

## مقدمه

در مناطق خشک و بیابانی به دلیل فقر گیاه و نیز به علت نیروی قوی و عملکرد وسیع باد، فرسایش خاک و انتقال ذرات بیش از هر عاملی تحت تأثیر نیروی باد است. از این رو در مناطق خشک و بیابانی میزان فرسایش و رسوب گذاری بادی گاه تا چندین برابر فرسایش آبی است (سعدالدین و همکاران، ۱۳۸۹: ۶۴). بنابراین شدت فرسایش بادی<sup>۱</sup> بیش از هر چیز به سرعت باد<sup>۲</sup> و ویژگی های خاک منطقه بستگی دارد (محمودآبادی و همکاران، ۱۳۹۰: ۸۱) و معمولاً نتیجه ی فقدان پوشش گیاهی و تخریب ساختمان مناسب خاک می باشد (صادقی، ۱۳۸۴: ۴۸۱). به طور کلی، خطر فرسایش بادی در مناطقی شدیدتر است که خاک سست، خشک و برهنه بوده و بادهای با سرعت و تکرار زیاد وجود داشته باشد (کاردوس و همکاران<sup>۳</sup>، ۲۰۰۵: ۳۱۹۸). لایلس<sup>۴</sup> (۱۹۸۸: ۹۱-۱۰۱)؛ در مطالعه ای با عنوان فرآیندهای پایه فرسایش بادی در ایالات متحده آمریکا با استفاده از معادله ی فرسایش بادی و همچنین استفاده از رابطه لگاریتمی، شرایط ایجاد فرسایش بادی را وجود خاک سست، خشک و ریزدانه و همچنین نادر بودن پوشش گیاهی در این منطقه می داند. پدیده فرسایش بادی از عمده معضلات در مناطق خشک و نیمه خشک محسوب می شود (کوپینگر<sup>۵</sup> و همکاران، ۱۹۹۱: ۲۵۵). فرسایش بادی در قیاس با لایه های زیرین، در لایه های رویی خاکها بیشتر بوده و موجبات ترک و سایش در لایه های رویی می گردد (یولیو<sup>۶</sup> و همکاران ۲۰۰۳: ۵۵-۶۴). از این رو فرسایش بادی یکی از عوامل اصلی محدود کننده حاصلخیزی خاک در بسیاری از نقاط جهان از جمله ایران می باشد (ژائو<sup>۷</sup> و همکاران، ۲۰۰۶: ۵۳) و یکی از پدیده هایی است که باعث ویرانی زمین ها در این مناطق شده و چالشی جدی در برابر

<sup>۱</sup> - Wind Erosion

<sup>۲</sup> - Wind Speed

<sup>۳</sup> - Kardous et al

<sup>۴</sup> - Lyles

<sup>۵</sup> - Coppinger

<sup>۶</sup> - You Liu

<sup>۷</sup> - Zhao

تولید پایدار و مدیریت کشت و کار محسوب می شود. لیو و شاو<sup>۱</sup> (۲۰۰۱: ۲۳۳-۲۴۹) دریافتند که کل گرد و خاک ایجاد شده در استرالیا طی فوریه‌ی ۱۹۹۶ معادل ۱/۸۷ میلیون تن بوده است.

مناطق گسترده‌ای از جهان و ایران شرایط مساعد وقوع فرسایش بادی را دارا هستند. این پدیده حدود یک ششم مساحت خشکی‌های زمین را تحت تأثیر خود قرار داده است (اسکیدمور<sup>۲</sup>، ۲۰۰۰: ۲۱۸). در سطح جهانی حدود ۵۴۹ میلیون هکتار در اثر فرسایش بادی مورد تخریب قرار گرفته است (سابرامانیام و چیناپا<sup>۳</sup>، ۲۰۰۲: ۸۱۶) که ۲۹۶ میلیون هکتار آن دارای فرسایش بادی شدید می‌باشد (لال<sup>۴</sup>؛ ۲۰۰۳: ۴۵۰). پرسلی و تاتارکو<sup>۵</sup> (۲۰۰۹)، در امریکا با بررسی اصول فرسایش بادی و کنترل آن نشان دادند که در ۷۵ میلیون هکتار از زمین تنها در ایالات متحده، فرسایش بادی رخ داده که به طور متوسط ۴ تا ۵ میلیون هکتار در هر سال به شدت آسیب می‌بیند. طبق آمار موجود در اثر فرسایش بادی سالانه حدود یک هزار میلیارد ریال خسارت به صورت مستقیم و غیر مستقیم بر منابع طبیعی کشور وارد می‌شود (احمدی و همکاران، ۱۳۷۹: ۳۲۹). همچنین باد به همراه ویژگی برخی سازندهای خاک می‌تواند موجب پدیده گرد و غبار شود. از میان استان‌هایی که در سرزمین پهناور ایران طی سال‌های گذشته، پدیده گرد و غبار را با بسامد بیشتری تجربه می‌کرده‌اند و توجه بسیاری از پژوهشگران و مدیران اجرایی را به خود جلب کرده است، استان خوزستان است (کرامت؛ ۱۳۸۸: ۱). جاده‌های تجاری - نفتی، راه آهن، مسیرهای آبی و حوزه‌های شهری مستقیماً در معرض خطرات موج‌های غبار هستند که گاه افق دید را تا کمتر از ۱۰۰ متر کاهش می‌دهد (براتی و کرمی، ۱۳۸۹)، از این رو محاسبه‌ی توان باد در فرسایش این بخش از کشور و همچنین پیش بینی و شناخت بادهای غالب آن جهت برنامه ریزی برای مبارزه با فرسایش بادی ضروری به نظر می‌رسد.

<sup>۱</sup> - Lu and Shao

<sup>۲</sup> - Skidmore

<sup>۳</sup> - Subramaniam and Chinappa

<sup>۴</sup> - Lal

<sup>۵</sup> - Presley and Tatarko

اندازه‌گیری فرساینده‌گی بادی بسیار مشکل بوده و سرعت آستانه‌ی مشخصی برای آن لزوماً وجود ندارد. نیروی نسبی باد و پوکی<sup>۲</sup> خاک تعیین‌کننده‌ی میزان فرسایش حاصل از باد است. همچنین مرز مشخصی بین تعلیق<sup>۳</sup> و جهش<sup>۴</sup> در نحوه انتقال رسوبات توسط باد وجود ندارد (اسکات<sup>۵</sup>، ۱۹۹۵، ۱۷۰). بنابراین اگرچه بررسی همه جانبه فرسایش بادی نیازمند توجه به فراسنج‌های مختلف است، اما در بسیاری شرایط، فراسنج‌های مورد بررسی بر پایه هدف مطالعه تعیین می‌شوند. مثلاً شیدمور<sup>۶</sup> (۱۹۹۲: ۱۹۵-۲۰۸) با استفاده از نمایه CE و براساس فراسنج‌های آب‌وهواشناختی نظیر سرعت و جهت باد، بیشینه سرعت باد و سایر فراسنج‌های جوی به بررسی و محاسبه‌ی فرسایش بادی در ایالات متحده امریکا پرداخته است. لاری و وگنر<sup>۷</sup> (۱۹۹۶: ۲۰۵-۹۶)؛ نیز بر این باورند که تراکم و ماندگاری خاک در سطح می‌تواند برای مطالعه استعداد و حساسیت فرسایش بادی مورد توجه قرار گیرد. هارپر<sup>۸</sup> (۲۰۰۹: ۱۲۹-۱۴۱) با تأکید بر نقش ذرات و بافت خاک و با به کارگیری نمایه CE در جنوب غرب استرالیا دریافت که ۴۷ درصد کل فرسایش منطقه در بافت ماسه‌ای و کوارتز صورت می‌پذیرد. لیز<sup>۹</sup> (۲۰۰۳: ۹۵۰-۹۴۰) با تأکید بر نقش پوشش گیاهی، بر این باور است که کنترل فرسایش بادی پوشش خاک به ویژه در خاک‌های شنی از طریق افزایش کشت میسر است. ایکس یوو و همکاران (۲۰۰۶: ۱۶۹-۱۸۲) با کمک داده‌های NOAA به شناسایی طوفان‌های گرد و غبار و مشخصات سطح زمین در چین پرداختند. ایشان کاهش بارندگی و به دنبال آن کاهش پوشش گیاهی را عامل مهمی در کنش خاک و شکل‌گیری روزهای غبارآلود معرفی کردند.

1- Threshold Velocity

2- Fluffiness

3- Suspension

4- Saltation

5- Scott

6- Shidmore

7- Larry and Wagner

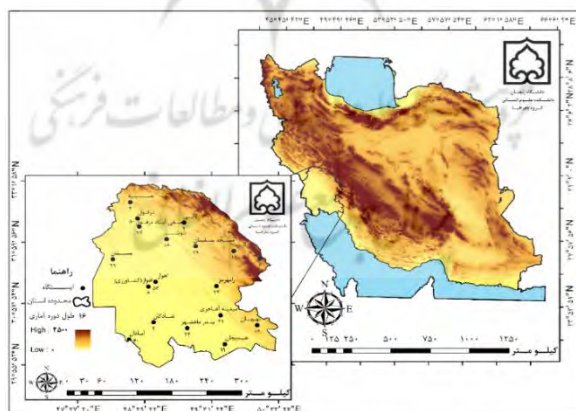
8- Harper

9- Leys

شدت فرسایش بادی در استان‌هایی نظیر خوزستان و برخی مناطق حاشیه کویری که رژیم اقلیمی خشک دارند، تحت تاثیر عوامل متعددی از جمله رطوبت جوی و بارش است. از این رو در پژوهش حاضر تلاش می‌شود توان فرسایش بادی در استان خوزستان تحت دو سناریوی خشک و مرطوب در معرض توجه قرار گیرد.

#### محدوده مورد مطالعه

استان خوزستان با وسعتی در حدود ۶۷۲۸۲ کیلومتر مربع، در جنوب غربی ایران قرار گرفته است (یمانی و کرمی، ۱۳۸۹، ۲۸) و بطور نسبی ۳/۹ درصد از کل مساحت کشور را دربر می‌گیرد. این استان در بین مختصات جغرافیایی  $۳۹^{\circ} ۵۰' - ۴۲^{\circ} ۴۷'$  طول جغرافیایی و  $۳۲^{\circ} ۵۸' - ۲۹^{\circ} ۵۸'$  عرض جغرافیایی قرار دارد و از شمال با استان لرستان، از شمال غرب با ایلام، از شمال شرق و شرق با استان‌های چهارمحال و بختیاری و کهگیلویه و بویراحمد از جنوب شرقی با استان بوشهر از جنوب با خلیج فارس و از مغرب با کشور عراق هم مرز است. شمال و شرق این استان را رشته کوه‌های زاگرس دربر گرفته است. ارتفاع کوه‌های زاگرس در این استان به سوی جنوب غربی به تدریج کاهش می‌یابد و در نواحی جنوبی‌تر به صورت تپه ماهورهایی نمایان می‌شود (شکل ۱).



شکل ۱. مشخصات ارتفاعی و موقعیت ایستگاه‌ها به همراه طول دوره آماری آن‌ها در

خوزستان

### داده‌ها و روش‌ها

در این تحقیق برای داده‌های ساعتی باد و رطوبت از ۱۹ ایستگاه همدید استان خوزستان استفاده شده است. قدیمی‌ترین ایستگاه همدید این استان، آبادان است که در سال ۱۹۵۱ تأسیس گردیده و کوتاه‌ترین طول دوره آماری نیز متعلق به ایستگاه شادگان است که در سال ۲۰۰۸ تأسیس شده است. به دلیل کمبود شمار ایستگاه‌های این استان در سال‌های آغازین دوره (۱۹۵۱-۱۹۸۷) آمار این سال‌ها مورد استفاده قرار نگرفت. نکته قابل توجه در این آمار خلأ شدید آماری در اغلب آن‌هاست. در برخی ایستگاه‌ها مشاهدات برای ساعات ۱۸، ۰۰، و ۲۱ (GMT) در چندین سال پیاپی ثبت نشده است. از آنجا که باد یک‌کمیت برداری بوده و دارای جهت و سرعت است و نیز تحت تأثیر توپوگرافی و نحوه استقرار جریان‌ات فوقانی جو است، از این رو تخمین سمت و سرعت باد در ساعات فاقد آمار، غیر ممکن بوده و در صورت تخمین نیز با خطا همراه است. بنابراین در نهایت دوره آماری ۱۹۸۷-۲۰۱۰ (۲۴ سال) برای انجام این پژوهش مورد استفاده قرار گرفت.

پس از تعیین داده‌های مورد نیاز، به منظور انجام این پژوهش، روش کتابخانه‌ای و نیز روش‌های تجربی در چند مرحله به شرح زیر به کار گرفته شد:

۱- براساس روش ولیکانوف (۱۹۴۸) و به شرح زیر سرعت آستانه فرسایش محاسبه شد (به نقل از احمدی، ۱۳۷۷: ۲۲۵):

$$V_* = 46.5\sqrt{14d + 0.006} \quad (1)$$

در این رابطه:

$d$  = قطر ذرات به متر

$V_*$  = سرعت آستانه‌ی فرسایش به متر بر ثانیه است.

سرعتی را که ذرات خاک در آن شروع به حرکت می‌کنند (احمدی، ۱۳۷۷: ۲۲۵)، سرعت آستانه فرسایش بادی گویند. در واقع موقعی فرسایش بادی اتفاق می‌افتد که سرعت باد به حدی برسد که بتواند ذرات را با خود حمل کند. به عبارت دیگر، این آستانه، حداقل

سرعت باد است که قادر به حمل ذرات خاک می‌باشد و کمترین سرعت باد است که موجب جابه‌جایی و حرکت اولین ذرات خاک می‌گردد (رفاهی، ۱۳۷۸: ۱۱۱-۱۱۲). تحقیقات باگنولد و همکاران نشان می‌دهد که حداقل سرعت آستانه سیال برای ذراتی است که قطرشان بین ۰/۱ تا ۰/۱۵ میلی‌متر می‌باشد (در مقاله حاضر متوسط قطر ذرات ماسه ریز). اگر قطر ذرات از این مقدار بیش‌تر و یا از این مقدار کم‌تر باشد، در هر دو حالت سرعت بحرانی یا سرعت آستانه سیال افزایش می‌یابد. باگنولد اظهار می‌دارد که برای انتقال ذرات کوچک‌تر از حد ۰/۱ میلی‌متر قطر (در مقاله حاضر ذرات رس و لای)، سرعت بیش‌تری نسبت به ذرات بزرگ‌تر لازم است. همچنین در کم‌تر از این حد هر چه ذره کوچک‌تر باشد، برای حرکت آن سرعت آستانه بیش‌تری لازم است (رفاهی، ۱۳۷۸: ۱۰۴). بنابراین انتظار می‌رود بیشترین توان جابجایی در ذرات ماسه‌ریز باشد و جابجایی در ذرات رس و لای به دلیل چسبندگی و ماسه‌درشت به دلیل سنگینی، کمتر از سایر ذرات باشد. همان‌گونه که قبلاً بیان شد وجود پوشش گیاهی، ناهمواری در سطح زمین و وجود رس به دلیل خاصیت چسبندگی آن، در کاهش میزان توان فرسایش مؤثر است. از دیگر عوامل مهم در کنترل فرسایش پذیری خاک، محتوای رطوبت است که بر خواص چسبندگی خاک تأثیر می‌گذارد (راوی و همکاران، ۲۰۰۴: ۳۱)، به همین منظور در این پژوهش به محاسبه میزان آستانه فرسایش بادی در شرایط مرطوب نیز پرداخته شد.

۲- با توجه به نقش رطوبت در جابجایی ذرات توسط باد، سرعت آستانه‌ی فرسایش در شرایط مرطوب براساس روش «بلی»<sup>۱</sup> به شرح زیر محاسبه شد (به نقل از رفاهی، ۱۳۷۸، ۲۴۰-۲۴۲):

$$U_{th} = (1 + \frac{0.5h}{100})U_i \quad (2)$$

در این رابطه:

$$U_{th} = \text{آستانه سرعت برشی در هوای مرطوب}$$

<sup>۱</sup>-Belly

$h =$  درصد رطوبت هوا

$U_i =$  آستانه سرعت برشی در هوای خشک

۳- قدرت فرساینده‌گی باد به انرژی جنبشی آن بستگی دارد. شواب<sup>۱</sup> و همکاران رابطه‌ی تجربی زیر را برای توان حمل باد ارائه داده‌اند که در آن توانایی انتقال ذرات توسط باد و به عبارت دیگر فرساینده‌گی باد با توان سوم سرعت باد همبستگی مستقیم دارد (رفاهی، ۱۳۷۸، ۹۵):

$$S \propto (V - V_*)^3 d^{0.5} \quad (۳)$$

که در آن:

$S =$  مقدار خاک منتقله بر حسب  $g/cm^2$

$V =$  سرعت باد

$V_* =$  حداقل سرعت لازم برای حرکت دادن ذراتی با قطر  $d$  (سرعت آستانه)

در کشورهای مختلف قطری که برای هر یک از خاکدانه‌ها در نظر گرفته می‌شود، متفاوت است. در اینجا تقسیم‌بندی خاکدانه‌ها به صورت بین‌المللی در نظر گرفته شده است. رده بندی بین‌المللی که در اصل به وسیله‌ی آتبرگ پیشنهاد شده به شرح جدول ۱ است (کهنگ، ۱۹۶۸ : ۹۷-۹۶):

جدول ۱. رده‌بندی بین‌المللی خاکدانه‌ها (کهنگ، ۱۹۶۸)

قطر به میلی‌متر	خاکدانه
۰/۲-۲	ماسه درشت
۰/۰۲-۰/۲	ماسه ریز
۰/۰۰۲-۰/۰۲	لای
<۰/۰۰۲	رس



به منظور بررسی شرایط احتمالاتی فرسایش و براساس احتمال شرطی (رابطه ۴) احتمال وزش باد بیش از آستانه و رخداد فرسایش ( $V$ ) به شرط فقدان رطوبت- بارش لازم ( $D$ ) برای چسبندگی خاکدانه‌ها برای هریک از رده‌های خاکدانه ارایه شده در جدول ۱ محاسبه شد (عساکره، ۱۳۹۰: ۲۸۹):

$$P(S/D) = \frac{P(S \cap D)}{P(D)} \quad (4)$$

در این رابطه:

$P(S/D)$  = احتمال شرطی (رخداد همزمان) سرعت باد بیش از آستانه و خشکی هوا (روزهای با بارش کم‌تر از یک میلی‌متر). از آنجا که نیروی پیوستگی بین مولکول‌های آب و ذرات خاک باعث چسبندگی ذرات خاک به یکدیگر شده و باد به راحتی قادر به حمل آن‌ها نخواهد بود (مصباح زاده، ۱۳۸۹، ۴۰۶)، لذا روزهایی را که دارای ۱ میلی‌متر بارش و کم‌تر بوده‌اند، به عنوان روز خشک تلقی شده است.

$P(S \cap D)$  = احتمال توأم وزش باد و خشکی

$P(D)$  = احتمال رخداد خشکی است.

۴- نقشه‌های مربوط به توان جابه‌جایی ذرات خاکدانه و احتمال رخداد آن به طور توأم ترسیم و نمایش داده و تحلیل شد.

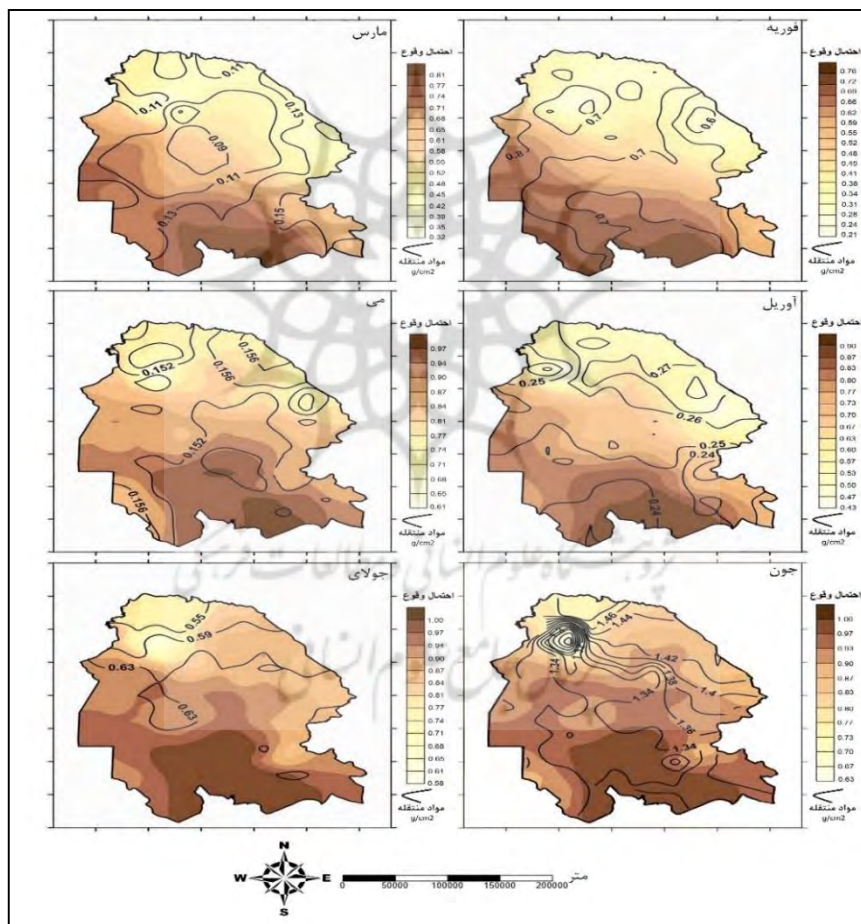
#### یافته‌ها

بررسی میزان بارش استان خوزستان براین واقعیت دلالت دارد که بیشترین بارش و ضریب تغییرات در ارتفاعات شمال و شمال شرق و نیز شرق استان رخ می‌دهد. جنوب و جنوب غرب و غرب استان از بارش کمتر و ضریب تغییرات پایین‌تری برخوردار است. از طرف دیگر طبق بررسی‌های انجام شده بالاترین سرعت باد در استان نیز به ترتیب در جنوب و جنوب غرب و غرب استان رخ می‌دهد است. از این‌رو انتظار می‌رود توان

فرسایش در این نواحی بیش از ارتفاعات استان باشد. در زیر میزان فرسایش پذیری و احتمال رخداد آن برای هر یک از خاکدانه‌های جدول ۱ مورد بررسی قرار می‌گیرد:

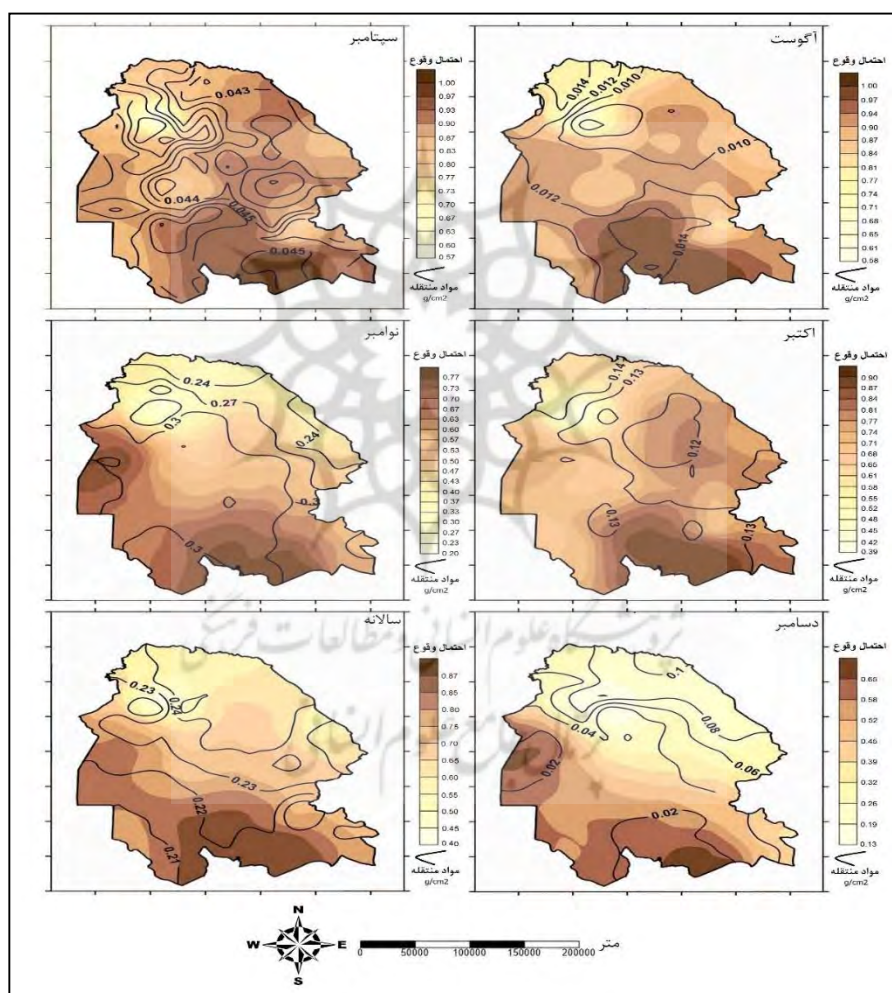
### خاکدانه‌های رس

محاسبه توان فرسایش (خطوط هم‌چند) و احتمال وقوع آن (پس‌زمینه سایه-روشن) برای ذرات رس در شکل ۲ ارائه شده است.



شکل ۲. پراکنش توان جابه‌جایی ذرات رس ( $g/cm^2$ ) و احتمال وقوع آن در خوزستان

می‌توان دید که احتمال رخداد توان فرسایش برآورد شده در جنوب استان بسیار بیشتر بوده است. احتمال رخداد فرسایش در جنوب، جنوب غرب و غرب استان به ویژه در ماه‌های جون و سپتامبر به دلیل فقدان بارش و جولای و آگوست به دلیل کمبود بارش، محتمل‌تر است. کم‌ترین احتمال رخداد فرسایش در ماه دسامبر بوده است. این ماه بیشترین میزان بارش و رطوبت نسبی را تجربه می‌کند.



ادامه شکل ۲. پراکنش توان جابه‌جایی ذرات رس ( $g/cm^2$ ) و احتمال وقوع آن در خوزستان

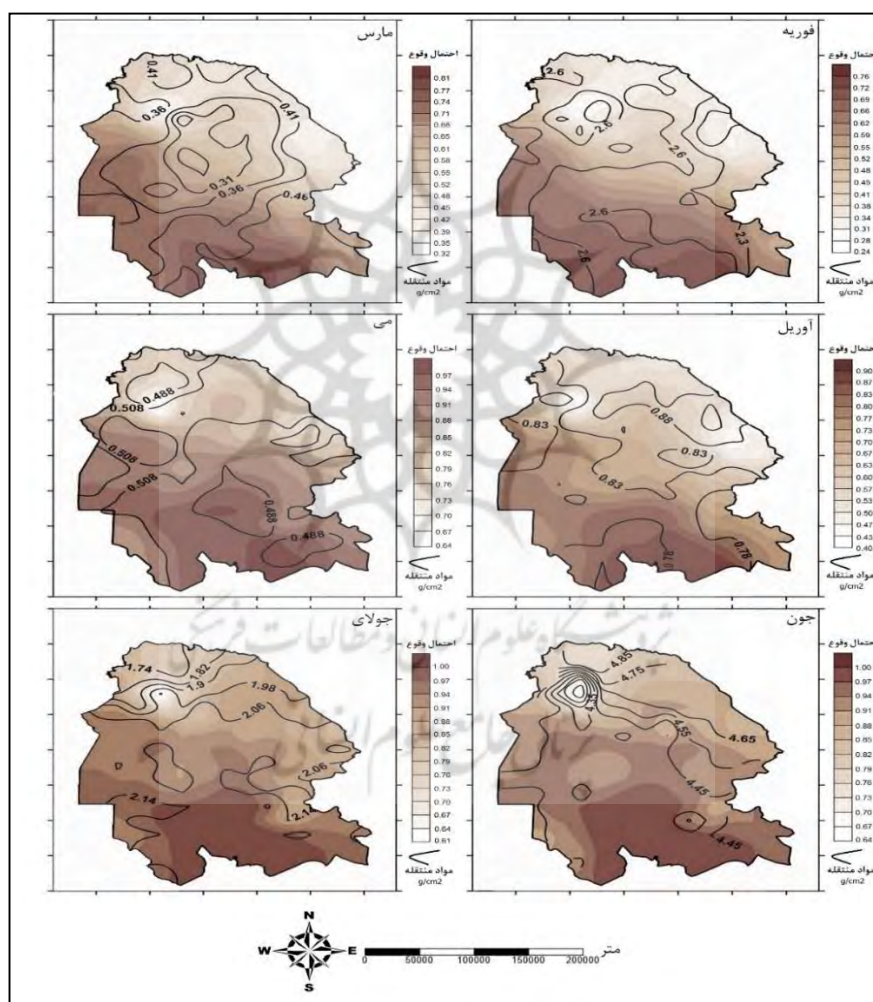
از آنجا که بیشترین میزان بارش در شمال استان رخ می‌دهد، بیشترین کاهش توان فرسایش و احتمال وقوع آن نیز در شمال استان قابل مشاهده است. ماه‌های فوریه، نوامبر و مارس نیز به دلیل بارش و رطوبت بالا نسبت به ماه‌های دیگر در رتبه‌ی بعدی کم‌ترین احتمال فرسایش قرار دارند. بررسی نقشه‌ی سالانه توان فرسایش خاکدانه‌های رس نشان می‌دهد که بیشترین احتمال فرسایش و جابجایی ذرات در جنوب استان بوده است و هر چه به سمت شمال استان و ارتفاعات پیش می‌رویم به دلیل بارش بیشتر و سرعت پایین‌تر باد، از احتمال رخداد فرسایش به شدت کاسته می‌شود.

### خاکدانه‌های لای

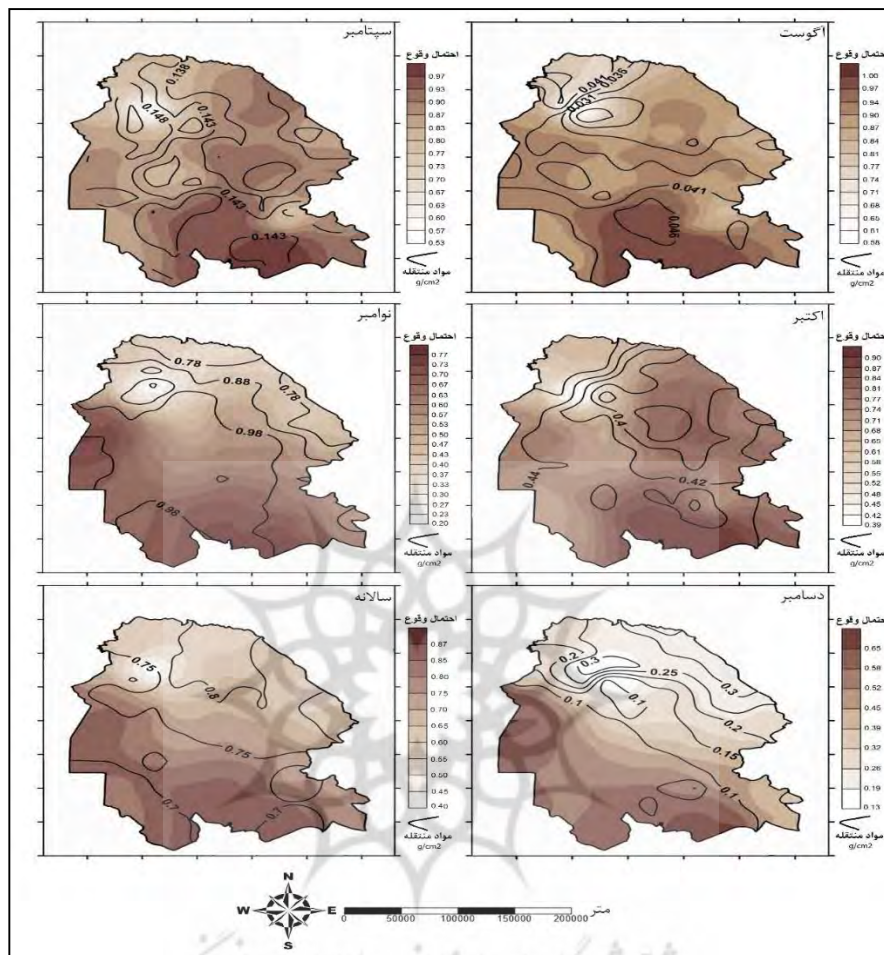
شکل ۳ توزیع مکانی توان جابه‌جایی ذرات لای (خطوط هم‌چند) و احتمال رخداد آنها (پس زمینه سایه - روشن) را نشان می‌دهد. بیشترین احتمال وقوع توان فرسایشی برآورد شده، همچنان متعلق به جنوب استان است. دلیل این امر وجود ارتفاعات در شمال و بارش بیشتر در این بخش از استان نسبت به نیمه جنوبی است. هر چه از جنوب استان به سمت شمال و نواحی مرتفع که بارش بیشتر و سرعت باد پایین‌تر دارند، پیش می‌رویم از احتمال رخداد توان فرسایش بادی بتدریج کاسته می‌شود. کمترین احتمال رخداد توان فرسایش متعلق به ماه دسامبر بوده است. توان فرسایش و احتمال وقوع آن برای خاکدانه‌های لای نیز همانند رس، در ماه جون و سپتامبر دیده می‌شود. در این شرایط نیز همچنان ماه جون به دلیل عدم بارش و بالا بودن سرعت باد و رطوبت نسبی پایین‌تر، بیشترین میزان توان فرسایش و بالاترین احتمال وقوع توان فرسایش را داشته است. به طوری که توان فرسایشی برآورد شده در جنوب استان با احتمال نزدیک به یقین و برابر ۱۰۰ درصد) رخ می‌داده است. پس از ماه جون و سپس ماه‌های فوریه و آوریل بیشترین میزان توان فرسایش و جابجایی در استان را داشته‌اند.

بررسی نقشه سالانه توان فرسایش خاکدانه‌های لای حاکی از احتمال وقوع بیشتر توان فرسایشی برآورد شده در جنوب و جنوب غرب استان می‌باشد. هر چه از سمت جنوب

و جنوب غرب به سمت شمال و شمال شرق پیش می‌رویم از احتمال وقوع توان فرسایشی کاسته شده تا جایی که به ۴۰ درصد تقلیل می‌یابد. از لحاظ میزان توان فرسایشی، تفاوت زیادی بین قسمت‌های مختلف استان مشاهده نمی‌شود، اما از لحاظ احتمال وقوع این فرسایش برآورد شده، در جنوب و جنوب غرب استان بیش از دو برابر شمال و شمال شرق استان می‌باشد.



شکل ۳. پراکنش توان جابه‌جایی ذرات لای ( $g/cm^2$ ) و احتمال وقوع آن در خوزستان

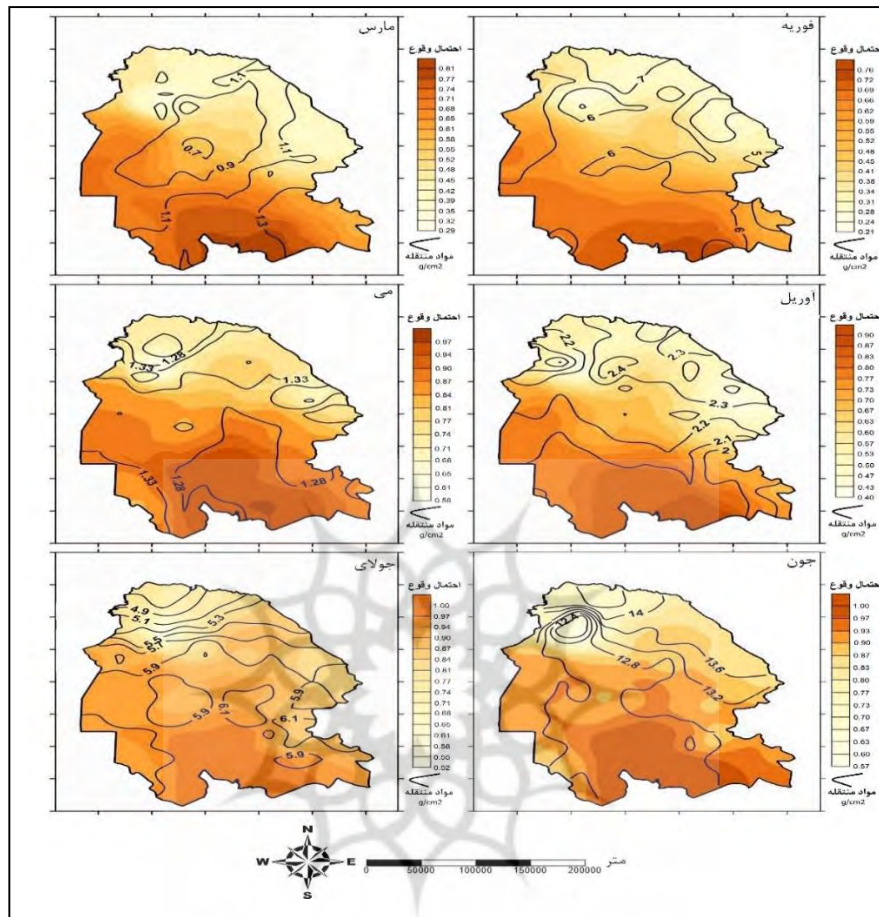


ادامه شکل ۳. پراکنش توان جابه‌جایی ذرات لای ( $g/cm^2$ ) و احتمال وقوع آن در خوزستان

### خاکدانه‌های ماسه ریز

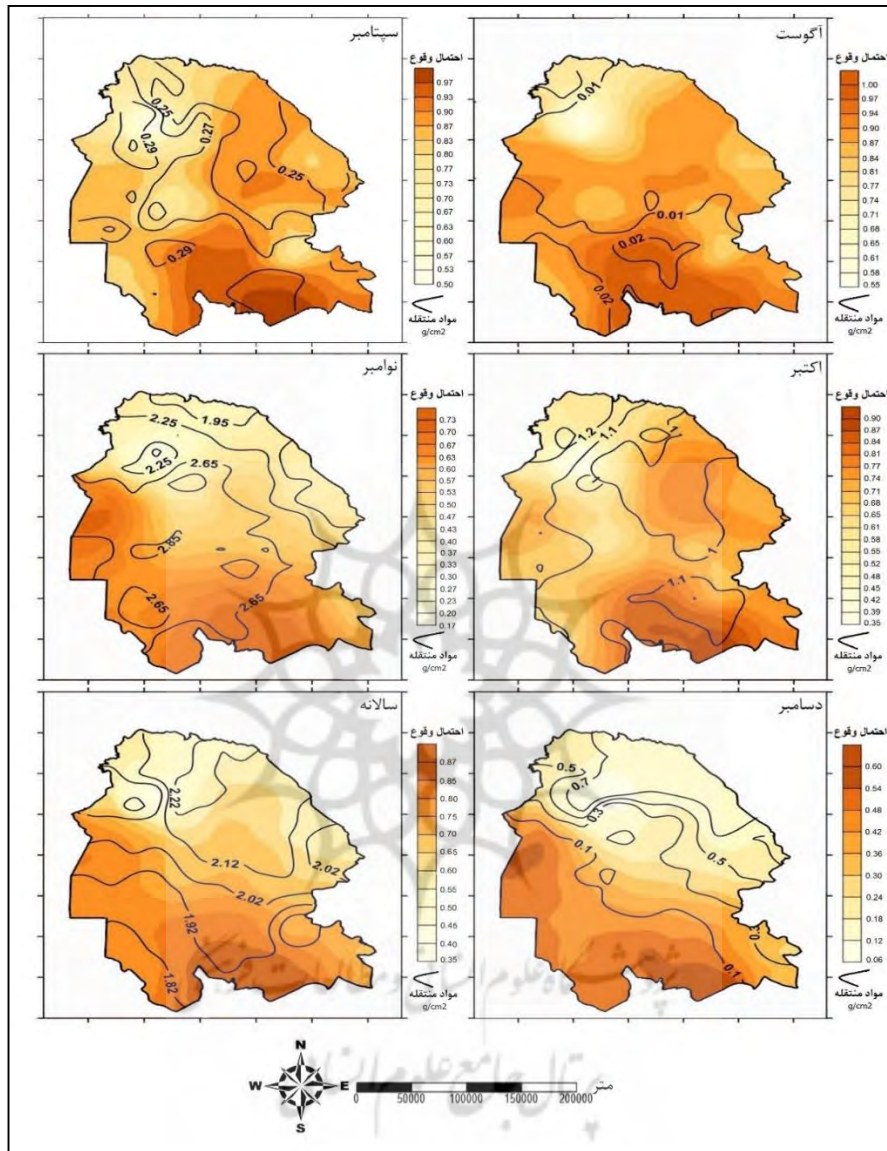
احتمال توان فرسایش بادی در ذرات ماسه ریز در شکل ۴ ارایه شده است. همان‌گونه که می‌توان دید ماه جون همچنان به دلیل عدم بارش و کمبود رطوبت نسبی و بالا بودن سرعت باد، بالاترین میزان توان فرسایش را داشته و احتمال وقوع آن در جنوب استان نزدیک بسیار بالاست، به طوری که احتمال رخداد توان فرسایشی برآورد شده در این

نواحی ۱ (۱۰۰ درصد) بوده است. کم‌ترین احتمال وقوع توان فرسایش در این ماه در شمال استان ۵۷ درصد است. پس از ماه جون ماه‌های فوریه و جولای بالاترین میزان توان فرسایش را به خود اختصاص داده‌اند، با این تفاوت که احتمال وقوع توان فرسایش در جولای بالاتر بوده و در جنوب استان در مرز یقین قرار دارد (۱۰۰ درصد). کم‌ترین احتمال رخداد فرسایش برآورد شده در شمال استان خوزستان ۵۲ درصد بوده است، اما در ماه فوریه به طور متوسط ۲۱ درصد در شمال استان و ۷۶ درصد در جنوب استان احتمال رخداد فرسایش برآورد شده است. دلیل این امر می‌تواند تفاوت این دو ماه در میزان رطوبت و بارش و همچنین سرعت باد در این ماه‌ها باشد. ماه جولای در مقایسه با فوریه رطوبت و بارش کم‌تری داشته و همچنین سرعت باد در این ماه بیش از ماه فوریه بوده است. بنابراین با در نظر گرفتن میزان توان فرسایش و احتمال وقوع آن به صورت توأم، توان فرسایش در جولای بیشتر از فوریه بوده است. در ماه آگوست همانطور که در نقشه نیز نمایان است، قسمت‌های مرتفع شمال شرق و شرق توان فرسایشی زیادی نداشته و احتمال رخداد این مقدار توان برآورد شده نیز بسیار کم است. ماه دسامبر همچنان کم‌ترین میزان احتمال وقوع فرسایش را به خود اختصاص داده است، به طوری که در شمال استان به طور متوسط تنها ۶ درصد و بالاترین احتمال در جنوب استان برابر ۶۰ درصد می‌باشد. همان‌طور که ذکر شد، دلیل این امر بارش و رطوبت زیاد این ماه نسبت به سایر ماه‌ها، به ویژه در شمال استان می‌باشد. نقشه توان فرسایش سالانه این ذره نشان می‌دهد که همچنان جنوب استان با ۸۷ درصد احتمال، بالاترین احتمال رخداد توان فرسایش برآورد شده را داشته و هر چه به سمت عرض‌های بالاتر و شمال استان پیش می‌رویم از احتمال رخداد آن کاسته شده و به ۳۵ درصد کاهش می‌یابد. میانگین میزان توان فرسایش سالانه نیز برابر ۲ گرم در سانتی متر مربع بوده که با توجه به احتمال رخداد آن، پتانسیل جابجایی این ذره در جنوب استان بیش از دو برابر شمال استان می‌باشد.



شکل ۴. پراکنش توان جابه‌جایی ذرات ماسه ریز ( $g/cm^2$ ) و احتمال وقوع آن در خوزستان

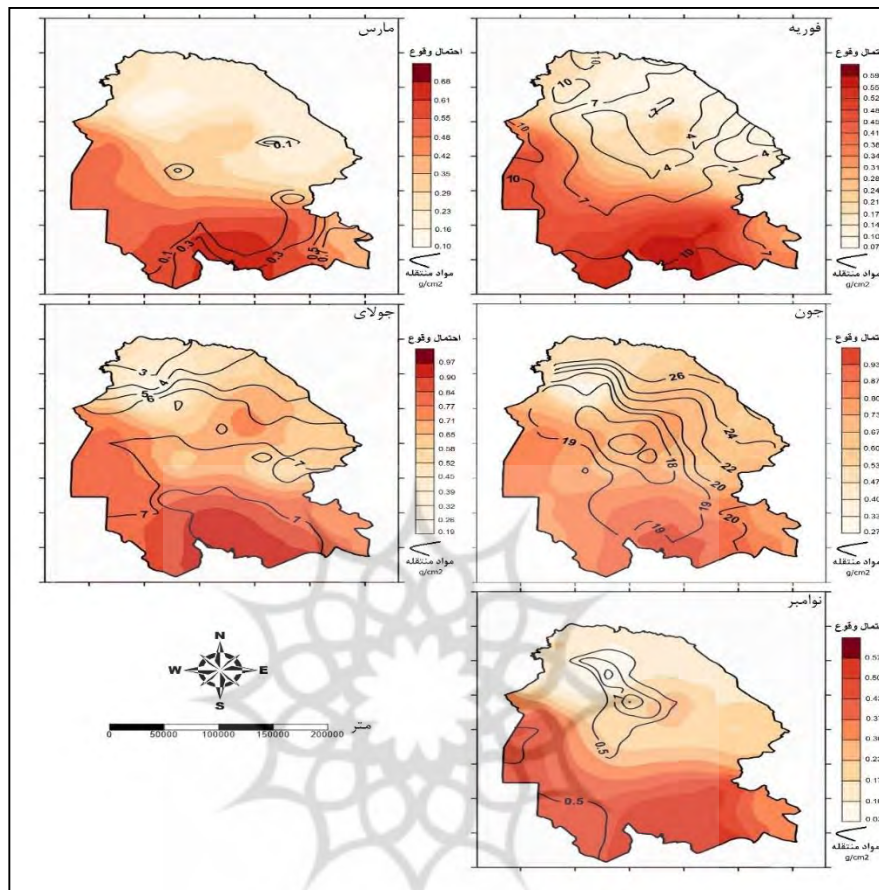




ادامه شکل ۴. پراکنش توان جابه‌جایی ذرات ماسه ریز ( $g/cm^2$ ) و احتمال وقوع آن در خوزستان

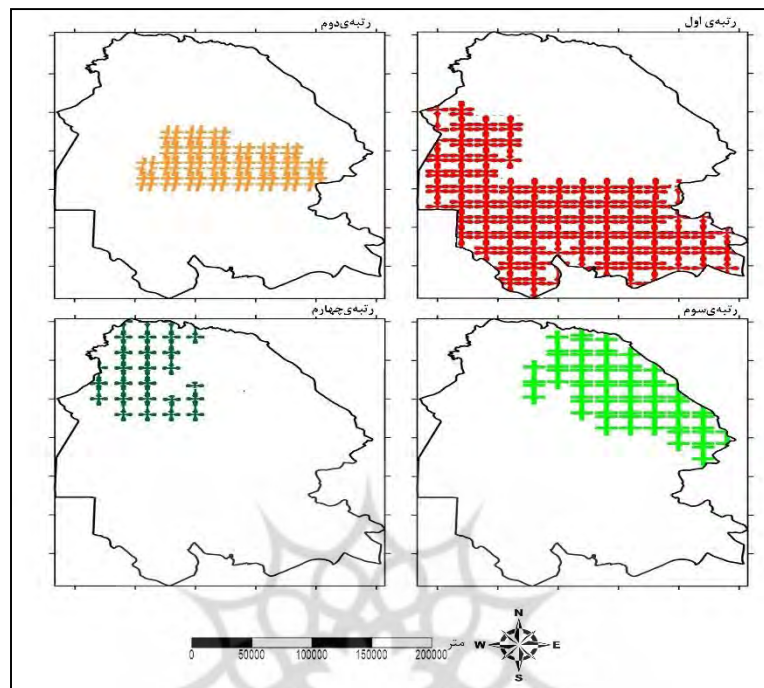
### خاکدانه‌های ماسه درشت

احتمال شرطی بررسی‌های توان فرسایش ماسه درشت (شکل ۵) حاکی از این است که تنها ۵ ماه از سال باد توان جابجایی این ذره را در شرایط خشک دارا بوده است. در این میان همچنان ماه جون بیشترین میزان توان جابجایی و حمل ذرات را داشته است. در این ماه همانند ذرات پیشین و شرایط گذشته، بیشترین احتمال رخداد فرسایش نیز در جنوب استان ۹۳ درصد بوده است. هر چه به سمت شمال استان پیش می‌رویم این احتمال کاهش یافته تا جایی که در شمال استان به ۲۷ درصد می‌رسد. پس از ماه جون، ماه‌های فوریه و جولای دارای بالاترین توان جابجایی بوده است، در حالی که احتمال این رخداد در جولای بسیار بیشتر از فوریه بوده است. در ماه فوریه میانگین میزان توان جابجایی بدون احتساب احتمال آن، برابر ۷ گرم بر سانتی متر مربع بوده است. بالاترین احتمال در جنوب استان به طور متوسط ۵۹ درصد و در شمال استان تنها ۷ درصد بوده است، اما میانگین توان جابجایی و حمل ذرات بدون احتساب احتمال وقوع آن، در ماه جولای ۶ گرم بر سانتی متر مربع بوده که احتمال آن در این ماه برابر ۱۹ درصد در شمال استان و ۹۷ درصد در جنوب استان متغیر بوده است. بنابراین با در نظر گرفتن میزان توان جابجایی و احتمال وقوع آن، توان فرسایش در ماه جولای بیشتر از فوریه بوده است. ماه جون و جولای دارای بالاترین میزان سرعت باد و کمترین میزان رطوبت و بارش بوده‌اند. توان فرسایش در این دو ماه بیشتر از سایر ماه‌ها می‌باشد. از آنجایی که ماه مارس بعد از ماه دسامبر بالاترین میزان بارش را داشته است و رطوبت نسبتاً بالایی نیز دارد، میزان توان جابجایی ذرات در این ماه بسیار کم و تنها محدود به نواحی جنوب استان است. توان فرسایش در ماه نوامبر نیز بسیار ناچیز بوده و احتمال رخداد آن به طور متوسط بین ۳ درصد در شمال و ۵۷ درصد در جنوب استان متفاوت بوده است.



شکل ۵. پراکنش توان جابجایی ذرات ماسه درشت ( $g/cm^2$ ) و احتمال وقوع آن در

تلفیق یافته‌های بالا و نیز نقشه‌های ارائه شده در شکل‌های ۲ تا ۶ براساس منطق سیستمی و با استفاده از ابزار سامانه اطلاعات جغرافیایی، شرایط و درجه فرسایش‌پذیری استان خوزستان را به دست داد. نتایج این تلفیق در شکل ۶ ارائه شده است. همان‌گونه که می‌توان دید جنوب و جنوب غرب و غرب استان خوزستان رتبه اول بیش‌ترین میزان فرسایش را دارا می‌باشد. پس از آن به ترتیب نواحی مرکزی، شرق و شمال شرق و در نهایت شمال استان در رتبه بعدی از لحاظ میزان فرسایش و جابجایی ذرات قرار دارند.



شکل ۶. رتبه فرسایش پذیری نواحی مختلف در استان خوزستان

### نتیجه‌گیری

در فرسایش بادی اگر اندازه ذره خاک کوچک‌تر از حد معمول باشد، به وسیله‌ی باد منتقل نخواهد شد. به عنوان نمونه ذرات با قطر کوچکتر از  $0/002$  میلی‌متر (اندازه رس) در مقابل فرسایش بادی مقاوم هستند؛ در واقع این ذرات به دلیل نیروی همدوسی به سهولت کنده و جابجا نمی‌شوند. در مقابل اگر اندازه ذره خاک به اندازه کافی بزرگ باشد نیز به وسیله باد منتقل نخواهد شد. این ذرات درشت نه تنها در مقابل فرسایش مقاوم هستند بلکه ذرات کوچک‌تر را نیز حمایت می‌کنند؛ زیرا در سطح خاک زبری به وجود می‌آورند. طبق پژوهش حاضر میزان فرسایش ذرات در شرایط مختلف نیز حاکی از فرسایش بیش‌تر ذرات ماسه ریز در مقایسه با ذرات دیگر است. همچنین ماه‌های جون و جولای و فوریه در هر چهار ذره و در همه شرایط بیشترین میزان فرسایش را داشته‌اند. بیشترین میزان فرسایش در تمامی ذرات و حالات مورد بررسی با در نظر گرفت توان

جابجایی و احتمال وقوع آن، به ترتیب در جنوب و جنوب غرب و غرب استان خوزستان بوده است. دلیل این امر سرعت بالای باد و بارش کمتر در این نواحی استان نسبت به نواحی مرتفع شمال و شمال شرق است که هم بارش بیشتری دریافت می‌نمایند و هم سرعت باد پایین‌تری نسبت به جنوب استان دارند. دلیل این امر نیز وجود ارتفاعات در این نواحی است که مانند بادشکن عمل کرده و موجب کاهش سرعت باد در این مناطق گردیده است. در این میان ذره ماسه درشت تنها ۶ ماه از سال در شرایط خشک و مرطوب و ۵ ماه در صورت بارش باران فرسایش پذیر است. طبق نتایج حاصله توان فرسایش در صورت دخالت عامل رطوبت و بارش، نسبت به شرایط خشک کاهش می‌یابد. دلیل این امر چسبندگی ذرات توسط رطوبت و جابجایی کمتر آن‌ها در اثر رطوبت موجود و سنگینی ذرات بهم چسبیده است. لازم به ذکر است ماه ژانویه در هیچ کدام از ذرات فرسایشی نداشته است.

### منابع

- احمدی، حسن، محمدرضا اختصاصی، سادات فیض نیا و محمدجواد قانعی بافقی، (۱۳۷۹)، بررسی روش‌های کنترل فرسایش بادی برای حفاظت راه آهن، مجله‌ی منابع طبیعی، شماره ۳، صص ۳۲۷ - ۳۴۲.
- احمدی، حسن، (۱۳۷۷)، ژئومورفولوژی کاربردی بیابان - فرسایش بادی، انتشارات دانشگاه تهران، جلد دوم، چاپ سوم، تهران، صص ۲۲۶-۲۲۵.
- براتی، غلامرضا و فریبا کرمی، (۱۳۸۹)، معادلات فشار هوا و افق دید در شهرهای منتخب استان خوزستان، دومین همایش ملی فرسایش بادی و طوفان‌های گرد و غبار، دانشگاه یزد.
- سعدالدین، امیر، داود اخضری و نادر نورا، (۱۳۸۹)، پیش بینی اثرات سناریوهای مدیریت پوشش گیاهی بر خطر فرسایش بادی، مجله‌ی پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، جلد ۱۷، شماره ۱، صص ۶۳ - ۸۰.

صادقی، سیدحمیدرضا، (۱۳۸۴)، مقایسه‌ی تحلیلی فرساینده‌گی و توان حمل فرسایش بادی و آبی، مجموعه مقالات اولین همایش ملی فرسایش بادی، یزد، صص ۴۸۵ - ۴۸۱.

رفاهی، حسینقلی، (۱۳۷۸)، فرسایش بادی و کنترل آن، انتشارات دانشگاه تهران، صص ۳۲۰.

عساکره، حسین، (۱۳۹۰)، مبانی اقلیم‌شناسی آماری. زنجان: انتشارات دانشگاه زنجان، صص ۵۴۵.

کرامت، اکرم، (۱۳۸۸)، خشکسالی‌های اخیر، افزایش آلاینده‌های هوا و گرد و غبار در استان خوزستان، دومین همایش ملی اثرات خشکسالی و راهکارهای مدیریت آن، دزفول، شماره ۱، صص ۴۰۶.

کهننگ، هلموت، (۱۳۷۰)، فیزیک خاک، ترجمه محمد جعفر رفیع، انتشارات دانشگاه تهران، صص ۹۷-۹۶.

محمودآبادی، مجید، فاطمه دهقانی و حمیدرضا عظیم‌زاده، (۱۳۹۰)، مطالعه‌ی اثر توزیع اندازه‌ی ذرات خاک بر شدت فرسایش بادی، "مجله‌ی مدیریت خاک و تولید پایدار، جلد اول، شماره اول، صص ۹۸-۸۱.

مصباح زاده، طیب، حسن احمدی، غلامرضا زهتابیان، و فریدون سرمیدیان، (۱۳۸۹)، ارزیابی شدت فرسایش بادی با بهره‌گیری از مدل اریفر (ابوزید کاشان)، نشریه مرتع و آبخیزداری، مجله منابع طبیعی ایران، دوره ۶۳، شماره ۳، صص ۴۱۵-۳۹۹.

Coppinger, K.D., Reiners, W.A., Burke, I.C., and Olson, R.K. (1991). Net erosion on a sagebrush steppe landscape as determined by cesium 137 distribution. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 55:254-258.

Harper, R. J. and outworkers, (2009). Wind erosion and soil carbon dynamics in south-western Australia, Contents lists available at ScienceDirect, 1:p 129-141.

Kardous, M., Bergametti, G., and Marticorena, B. (2005). Wind tunnel experiments of the effects of tillage ridge features on wind erosion horizontal fluxes. *Annales Geophysicae*, 23:10. 3195-3206.

Lal, R. (2003). Soil erosion and global carbon budget. *International Environment*. 29: P437-450.

- Lyles, L. (1988). Basic wind erosion processes. *Agric. Ecosystems Environ*, 22/23: p91-101.
- Larry E. Wagner, (1996). Ph.D. An overview of The Wind Erosion Prediction System. Wind Erosion Research Unit USDA Agricultural Research Service Throckmorton Hall, KSU Manhattan, KS 66506. Contribution from USDA-ARS in cooperation with Kansas Ag. Exp. Station, Contribution No. 96-205-A.
- Leys, John. (2003) Wind Erosion control. ([WWW.msfp.org.au](http://WWW.msfp.org.au)).
- Lu, H, Shao, Y. Toward quantitative prediction of dust storms: an integrated wind erosion modelling system and its applications, *Environmental Modelling & Software* 16 (2001), PP 233–249. ([www.elsevier.com/locate/envsoft](http://www.elsevier.com/locate/envsoft)).
- Ravi, S., P<sup>l</sup> D’Odorico, T. M. Over, and T<sup>ç</sup> M<sup>z</sup>obeck (2004), On the effect of air humidity on soil susceptibility to wind erosion: The case of air-dry soils, *Geophys. Res. Lett.*, 31, L09501, doi:10.1029/2004GL019485<sup>l</sup>
- Skidmore, E.L. (2000). Air, soil, and water quality as influenced by wind erosion and strategies for mitigation. In: *Agroenviron*, P 216-221. In: *Second International Symposium of new Technologies for Environmental Monitoring and Agro-Applications Proceedings*, Tekirdag, Turkey.
- Scott, W.D. (1995) .Measuring the erosivity of the wind, *CATENA*,. 24(3):163-175.
- Subramaniam, N., and Chinappa, G.P. Remote sensing and GIS techniques for land degradation assessment due to water erosion, 2002. P 815-819. In: 17th WCSS, Thailand
- Shidmore, E. L. (1992). Wind erosion climatic erosivity, D. Reidel Publishing mpany, 9: p195-208.
- Xu, X. Levy, J, K., Lin, Z., Chen, H. (2006). An investigation Of Sand-dust storm events and land surface Characteristics in China using NOAA NDVI data. *Global and Planetary Change*. 52: 182-196.
- You Liu, Lian and Pei – Jun Shi, Xue – Yong Zou, Shang – Yu Gao, Hasi Erdon, Ping Yan , Xiao – Yan Lid , Zhi – Bao Dongd , Jian – Hua Wangd, (2003) Short-term dynamics of wind erosion of three newly cultivated grassland soils in Northern China, 115:p55-64.