

## بررسی ارتباط بین پارامترهای بارندگی و عامل فرساینده باران در استان خوزستان

حمید رضا مرادی<sup>۱</sup>، مرتضی بهزادفر<sup>۲</sup> و سید حمید رضا صادقی<sup>۳</sup>

### چکیده

تحقیق حاضر به منظور بررسی ارتباط بین پارامترهای بارندگی و عامل فرساینده معرف شده توسط ویشمایر و اسمیت انجام شده است. در این روش ابتدا انرژی جنبشی هر رگبار محاسبه شده و سپس میزان فرساینده آن با دخالت عامل حداکثر شدت ۳۰ دقیقه ای باران بدست آمد. جهت این امر ابتدا با انتخاب ۳ ایستگاه هواشناسی در استان خوزستان و یک ایستگاه در هر یک از استانهای بوشهر و کهگیلویه و بویر احمد در یک دوره مشترک آمار ۱۳ ساله، در مقاطع زمانی ماهانه، فصلی و سالانه مقادیر ضریب فرساینده محاسبه و پارامترهای بارندگی از گرافهای باران نگار استخراج گردید. در ادامه ضمن بررسی تغییرات زمانی و مکانی فرساینده، رابطه بین خصوصیات مختلف بارندگی و فرساینده باران در مقاطع زمانی یاد شده به کمک آنالیز رگرسیونی بررسی شد. نتایج بدست آمده نشان دادند که از بین فصول سال، فصل زمستان و نیز ماههای بهمن، آذر، اسفند و دی در اولویت اول از نظر خطر فرساینده قرار دارند. بررسی تغییرات مکانی فرساینده در عرصه مورد مطالعه نشان داد که ایستگاه دزفول دارای حداکثر میزان خطر فرساینده می باشد. فرساینده متوسط سالانه برای استان خوزستان ۳۶/۸۰ تن متر بر هکتار ساعت محاسبه گردید. نتایج آنالیز رگرسیونی همچنین موید ارتباط بالای فرساینده با مقدار و حداکثر شدت ۳۰ دقیقه ای باران می باشد.

کلید واژه ها: پارامترهای بارندگی، فرساینده، رگرسیون، خوزستان، ایران

### مقدمه

عوامل فرساینده، نقش مهمی را بازی می کند. فرسایش آبی فرآیندی کاملا پیچیده داشته و به دو مرحله قابل تفکیک است. مرحله اول شامل جدا شدن ذرات خاک توسط عامل فرساینده آب بوده و مرحله دوم حمل این ذرات توسط رواناب حاصل از باران را در بر می گیرد. در این میان نقش باران به عنوان نقطه شروع فرآیند فرسایش آبی انکار ناپذیر است به طوری که بنت<sup>۴</sup> (۸) اظهار می دارد، عمل پراکنده شدن ذرات به وسیله قطرات باران مهمترین عامل در فرسایش آبی محسوب می شود. این کار به کمک انرژی جنبشی قطرات باران انجام می شود. به توانایی باران جهت فرسودن ذرات خاک

امروزه مباحث مربوط به فرسایش خاک به عنوان یکی از بحثهای مهم در مدیریت حوضه های آبخیز مطرح می باشد. کشور ایران نیز از این بحث به دور نبوده و مسائل و مشکلات مربوط به فرسایش در دهه های اخیر به یکی از نگرانی های مهم تبدیل شده است. چنانچه تاملی در مباحث مربوط به فرسایش خاک شود، جدا شدن ذرات خاک از بستر اصلی خود، به عنوان اولین نکته مطرح می شود. عوامل مختلفی در جدا نمودن ذرات خاک نقش دارند که در این میان آب به عنوان یکی از

۱- استادیار گروه مهندسی آبخیزداری دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی دانشگاه تربیت مدرس (morady5hr@yahoo.com)

۲- دانش آموز رشته کارشناسی ارشد رشته مهندسی آبخیزداری دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی دانشگاه تربیت مدرس

۳- استادیار دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی دانشگاه تربیت مدرس، گروه مهندسی آبخیزداری

4- Bennett

تاریخ دریافت: ۸۴/۱/۲۸

تاریخ پذیرش: ۸۵/۹/۲۰

زمانی  $i=1$  تا  $i=n$ :  $\sum_{i=1}^n E$ : مجموع انرژی جنبشی رگبار (از گام

$I_{30}$ : حداکثر شدت بارش ۳۰ دقیقه ای پیوسته  
به سانتیمتر بر ساعت

علت به ۱۰۰ تقسیم کردن برای تبدیل واحد  
 $I_{30}$  از سانتیمتر بر ساعت به متر بر ساعت است تا  
با واحد R همخوانی داشته باشد (۳). جهت  
محاسبه ضریب فرسایندهی باران به کمک روش  
ویشمایر و اسمیت (۱۴)، نیاز به گرافهای باران  
نگاری است و ضمناً روند محاسبات زمان بر می  
باشد.

ویشمایر و اسمیت (۱۴) اولین کسانی بودند که  
تحقیقات وسیع و هدف داری در زمینه فرسایش  
خاک و خصوصاً رابطه آن با بارندگی انجام داده اند.  
آنها با استفاده از ۱۸۳ رگبار در منطقه تانزویل  
آمریکا طی سالهای ۱۹۴۳-۱۹۳۴ نشان دادند که با  
افزایش شدت بارندگی میزان هدر رفت خاک نیز  
افزوده می شود. باگارلو<sup>۳</sup> (۷) بین شاخص فرسایش  
باران و مقدار بارندگی به رابطه توانی رسید که مقدار  
توان آن ۱/۵۴ محاسبه شد. او روابط خود را در  
مناطق مدیترانه ای بدست آورد و همچنین ارتباط  
بین انرژی جنبشی باران با مقدار بارندگی و حداکثر  
شدت ۳۰ دقیقه ای را مورد بررسی قرار داد که به  
روابطی از نوع خطی و توانی که به ترتیب ضرایب  
تیبین ۰/۹۸ و ۰/۹۹ داشتند، رسید. اُبی<sup>۴</sup> (۱۳) در  
تحقیقی تحت عنوان پارامتر های موثر بارندگی بر  
روی فرسایندهی در جنوب شرقی نیجریه به این  
نکته اشاره می کند که فرسایندهی بالای باران در  
این مناطق به رگبارهایی اختصاص دارد که شدت و  
تداوم بیشتر دارند. لوریرو<sup>۵</sup> (۱۲) در تحقیقی تحت  
عنوان روشی جدید به منظور برآورد شاخص

اصطلاحاً فرسایندهی باران اطلاق می شود و به  
عنوان یک فاکتور اقلیمی موثر در فرآیند فرسایش  
 مطرح می باشد. این فاکتور تحت تاثیر عوامل  
مختلفی تغییر می کند که خصوصیات بارندگی و  
خصوصیات محل بارش از عوامل موثر در میزان  
تغییرات آن می باشند. از آنجایی که این دو  
خصوصیت قابلیت تغییر در زمان و مکان را دارند، لذا  
بررسی تغییرات مکانی و زمانی آن می تواند به  
برنامه ریزان کشاورزی جهت ارائه برنامه مدیریت  
کشت کمک نماید زیرا زمینهای کشاورزی عموماً در  
اولویت اول از نظر رسوبزایی قرار دارند و لذا برنامه  
مدیریت کشت می تواند به نوعی طراحی شود که در  
زمان اوج فرسایش، زمینهای کشاورزی عاری از  
پوشش نباشند. ویشمایر و اسمیت<sup>۱</sup> (۱۴) ضمن ارائه  
مدل جهانی فرسایش خاک<sup>۲</sup>، از عامل فرسایندهی  
باران به عنوان عامل اقلیمی موثر در فرسایش و  
هدر رفت خاک نام می برند و در مطالعات خود  
اشاره می کنند که بین هدر رفت خاک و فرسایندهی  
باران رابطه مستقیم وجود دارد. جهت محاسبه  
فرسایندهی به کمک روش مذکور ابتدا انرژی  
جنبشی رگبار با استفاده از رابطه ۱ بدست می آید:

$$KE_i = 210.3 + 89 \log I_i \quad (1)$$

در این معادله:

$KE_i$ : انرژی جنبشی باران بر حسب ژول بر متر

مربع در سانتیمتر باران در هر گام زمانی

$I_i$ : شدت بارندگی بر حسب سانتیمتر بر ساعت

برای گامهای زمانی، می باشند.

سپس با استفاده از رابطه ۲ فرسایندهی باران

محاسبه می گردد:

$$R = \frac{\sum_{i=1}^n EI_{30}}{100} \quad (2)$$

که در آن: R: عامل فرسایندهی باران بر حسب

تن متر بر هکتار ساعت

3- Bagarello  
4- Obi  
5- Loureiro

1- Whichmeier and Smith  
2- Universal Soil Loss Equation(USLE)

دقیقه شمالی واقع شده است. این استان از شمال غربی با استان ایلام، از شمال با لرستان، از شمال شرقی و شرق با استانهای چهارمحال بختیاری و کهگیلویه و بویر احمد، از جنوب شرقی با استان بوشهر، از جنوب با خلیج فارس و از غرب با کشور عراق هم مرز است. متوسط بارندگی در این استان بر اساس آخرین گزارشها حدود ۲۶۶ میلیمتر و دوره بارندگی در آن معمولاً بین مهرماه تا اردیبهشت است. مراحل اجرایی انجام تحقیق حاضر در راستای بررسی روابط آماری ضریب فرساینده با سایر متغیرهای بارندگی و همچنین مطالعه تغییرات مکانی و زمانی فرساینده در استان خوزستان طی مراحل زیر صورت پذیرفت.

### جمع آوری آمار و اطلاعات

آمار و اطلاعات مورد نیاز جهت انجام تحقیق، شامل کلیه رگبارهای ثبت شده توسط دستگاههای باران نگاری مستقر در ایستگاههای سینوپتیک عرصه مورد مطالعه می باشد. لذا جهت دسترسی به این اطلاعات، ابتدا با مراجعه به اطلس منابع آب ایران (۱)، ایستگاههای هواشناسی استان شناسایی و سپس با مراجعه به سازمان هواشناسی کشور آمار و اطلاعات ایستگاهها اخذ گردید. از بین ایستگاههای موجود در استان خوزستان تنها ایستگاههای دزفول، بستان و رامهرمز دارای آمار آماده و پردازش شده بودند. به جهت کمبود ایستگاه در منطقه جنوبی استان دو ایستگاه دیگر به نامهای گچساران (دوگنبدان) و بوشهر نیز انتخاب شدند. جدول شماره ۱ اطلاعات کلی ایستگاههای مورد بررسی و شکل شماره ۱ وضعیت پراکنش آنها را در عرصه مورد مطالعه نشان می دهد.

### آماده سازی آمار و اطلاعات موجود

پس از اخذ اطلاعات مربوط به رگبارهای ثبت شده، داده ها به صورت فایل‌های تحت فرمت نرم

فرساینده معادله USLE براساس اطلاعات ماهانه بارندگی در منطقه الگارو<sup>۱</sup> پرتغال به مدل چند متغیره رگرسیونی دست پیدا نمود. متغیرهای مستقل این مدل چند متغیره، میزان بارش ماهانه برای روزهای با بارندگی بیش از ۱۰ میلیمتر و تعداد روزهای با بارندگی بیش از ۱۰ میلیمتر بودند. ضریب تبیین معادله بدست آمده ۰/۸۹ بود. صادقی (۵) در قالب یک طرح پژوهشی تحت عنوان بررسی تغییرات مکانی شاخص فرساینده در استان مازندران، به مدلسازی روابط بین فرساینده و خصوصیات بارندگی پرداخته و به وجود رابطه قوی بین فرساینده با مقدار و حداکثر شدت ۳۰ دقیقه ای باران اشاره می نماید. بهزادفر (۲) در تحقیقی تحت عنوان بررسی تغییرات مکانی و زمانی شاخص فرساینده در استان مازندران، به وجود تغییرات معنی دار مکانی و زمانی در فرساینده باران در عرصه مورد مطالعه خود اشاره می کند. افزایش غرب به شرق میزان فرساینده در استان مازندران و همچنین اولویت اول ماه مهر و فصل پاییز در فرساینده از دیگر نتایج این بررسی بودند. هدف تحقیق حاضر ضمن مطالعه تغییرات مکانی و زمانی شاخص فرساینده در استان خوزستان، بررسی ارتباط بین عامل فرساینده و کلیه خصوصیات قابل استخراج از گرافهای باران نگاری می باشد تا بدینوسیله بتواند مدلی را ارائه نماید که قادر باشد میزان فرساینده باران را با استفاده از شاخصهایی سهل الوصول برآورد نماید.

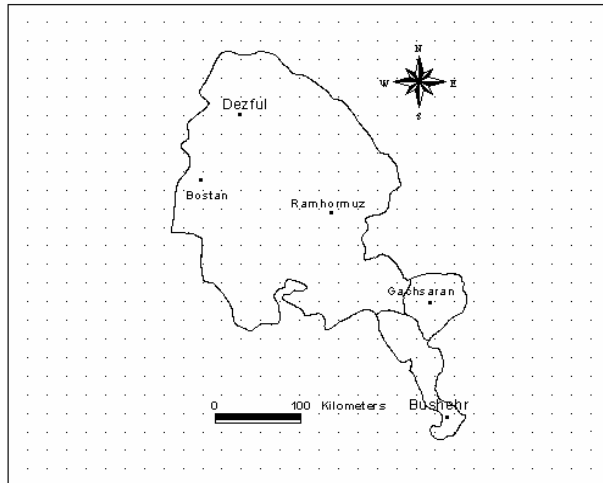
### مواد و روش ها

استان خوزستان با مساحتی در حدود ۶۴۲۳۶ کیلومتر مربع، بین طول جغرافیایی ۴۷ درجه و ۴۱ دقیقه تا ۵۰ درجه و ۳۹ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۲۹ درجه و ۵۸ دقیقه تا ۳۳ درجه و ۴

افزار Excel، آماده و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند.

جدول ۱- مشخصات کلی ایستگاههای مورد مطالعه

نام ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع از سطح دریا (بر حسب متر)	متوسط بارش سالانه (بر حسب میلی متر)	طول دوره آماری
بستان	۴۱° ۰'	۳۱° ۴۳'	۷/۸	۲۲۰/۹	۱۹۸۶-۱۹۹۸
دزفول	۴۸° ۲۳'	۳۲° ۲۴'	۱۴۳	۳۷۸/۶	۱۹۷۰-۱۹۹۲
رامهرمز	۴۹° ۳۷'	۳۱° ۱۶'	۱۵۰	۳۴۹/۲	۱۹۸۷-۲۰۰۱
گچساران	۵۰° ۴۶'	۳۰° ۲۶'	۶۹۹/۵	۴۸۲/۲	۱۹۸۴-۱۹۹۸
بوشهر	۵۰° ۵۰'	۳۱° ۵۹'	۱۹/۶	۲۹۱/۶	۱۹۸۰-۱۹۹۷



شکل ۱- نقشه پراکنش ایستگاهها در عرصه مورد مطالعه  
شکل ۲- نقشه تقسیمات شهری استان خوزستان  
استخراج پارامترهای بارندگی

مطالعه نیز به همین ترتیب عمل شد. برای هر یک از رگبارها میزان انرژی جنبشی، میزان فرساینده و در نهایت خصوصیات بارندگی محاسبه و استخراج شدند و رابطه خصوصیات بارندگی (جدول ۴) به عنوان متغیر مستقل با عامل فرساینده به عنوان متغیر وابسته تحلیل شدند.

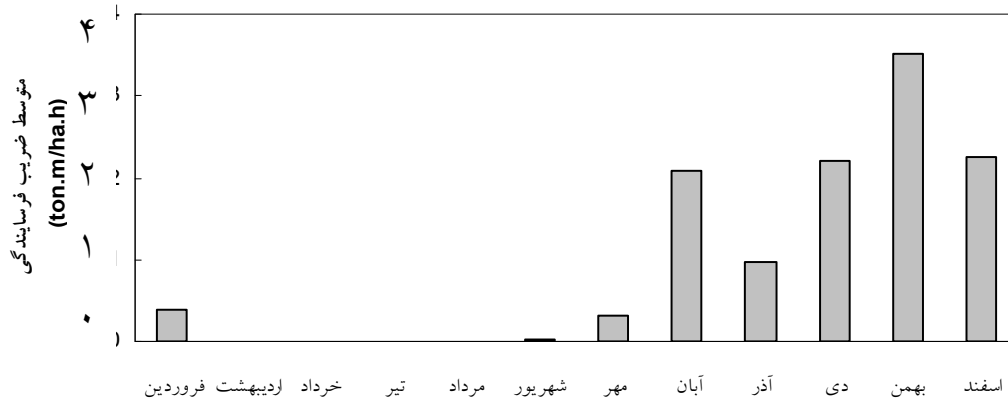
در این تحقیق تمامی رگبارهای اتفاق افتاده در طول دوره آماری مشترک مورد بررسی قرار گرفت. مقادیر ضریب فرساینده، تعداد رگبارهای تحلیل شده در کل دوره آماری و همچنین نحوه توزیع ماهانه و فصلی فرساینده به عنوان نمونه برای ایستگاه بستان در جدول های ۲ و ۳ و شکل های ۳ و ۴ نشان داده شده اند. برای دیگر ایستگاه های مورد

جدول ۲- تغییرات ماهانه ضریب فرسایندگی (ton.m/ha.h) در ایستگاه بستان

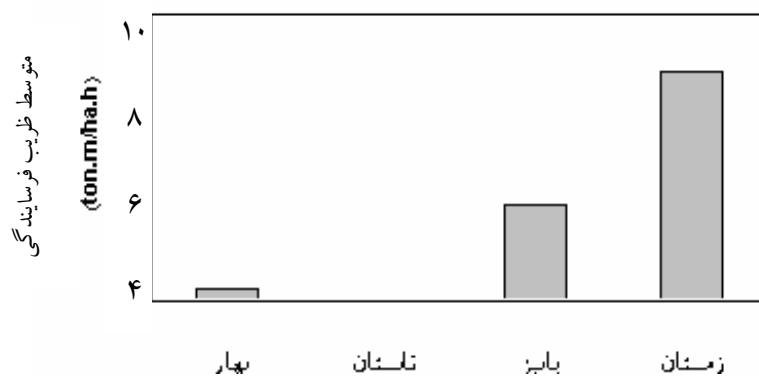
ماه سال	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند
۱۹۸۶	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۲	۰/۴۲	۰	۰	۰
۱۹۸۷	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰/۰۷	۰	۰	۰
۱۹۸۸	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۴/۱۴	۰	۰/۱۲
۱۹۸۹	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۱۹۹۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰/۱	۰	۰	۰	۰
۱۹۹۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰/۱۷	۰/۰۱	۰	۰/۰۰۴	۷/۶۲	۰	۱/۳۵
۱۹۹۲	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۴/۴۴	۵/۵۶	۰	۰	۰
۱۹۹۳	۰/۲۸	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰/۰۳	۰/۰۱	۰/۰۳	۷/۱۳	۰/۱۸
۱۹۹۴	۱/۰۶	۰	۰	۰	۰	۰	۰/۰۵	۱/۳۵	۰/۲	۳/۹۹	۳۰/۶۷	۰
۱۹۹۵	۰/۸۷	۰/۰۵	۰	۰	۰	۰	۰	۰/۱۶	۰/۰۸	۷/۱/۱	۳/۰۳	۰/۷۱
۱۹۹۶	۱/۴۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰/۵۲	۰/۳۷	۵/۰۴	۴/۶۴	۰/۷۸
۱۹۹۷	۰/۹۱	۰	۰	۰	۰	۰	۴/۰۳	۱۳/۴۳	۵/۸	۱/۳۵	۰	۱۳/۷۶
۱۹۹۸	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۵/۱۱	۰/۰۰۲	۴/۵۹	۰/۱۷	۱۲/۲۶
تعداد رگبار	۳۰	۱	۰	۰	۰	۳	۷	۳۴	۴۵	۶۰	۳۶	۵۹
میانگین	۰/۳۹	۰/۰۰	۰/۱۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۱	۰/۳۲	۱/۰۸	۰/۹۶	۲/۲۲	۳/۵۱	۲/۲۴

جدول ۳- تغییرات فصلی و سالانه ضریب فرسایندگی (ton.m/ha.h) در ایستگاه بستان

سال	بهار فصل	تابستان	پاییز	زمستان	سالانه
۱۹۸۶	۰	۰	۲/۴۲	۰	۲/۴۲
۱۹۸۷	۰	۰	۰/۰۷	۰	۰/۰۷
۱۹۸۸	۰/۶	۰	۰	۴/۲۶	۴/۸۶
۱۹۸۹	۰	۰	۰	۰	۰
۱۹۹۰	۰	۰	۰/۱	۰	۰/۱
۱۹۹۱	۰	۰/۱۹	۰/۰۲۴	۸/۹۷	۹/۱۸
۱۹۹۲	۰	۰	۱۰	۰	۱۰
۱۹۹۳	۰/۲۸	۰	۰/۰۴	۷/۳۴	۷/۶۶
۱۹۹۴	۱/۰۶	۰	۱/۶	۳۴/۶۶	۳۷/۳۲
۱۹۹۵	۰/۹۲	۰	۰/۲	۵/۵۴	۶/۵۷
۱۹۹۶	۱/۴۱	۰	۰/۸۹	۱۰/۴۶	۱۲/۷۶
۱۹۹۷	۰/۹۱	۰	۲۳/۲۶	۱۵/۱۱	۳۹/۲۸
۱۹۹۸	۰	۰	۵/۱۱	۱۷/۳۸	۲۲/۴۹
تعداد رگبار	۳۱	۳	۸۶	۱۵۵	۲۷۵
میانگین	۰/۴۰	۰/۰۱	۳/۳۶	۷/۹۸	۱۱/۷۵



شکل ۳ - تغییرات ماهانه ضریب فرسایندگی (ton.m/ha.h) در ایستگاه بستان



شکل ۴ - تغییرات فصلی ضریب فرسایندگی (ton.m/ha.h) در ایستگاه بستان

**جدول ۴- خصوصیات قابل استخراج بارندگی از گرافهای باران نگاری**

متغیر مستقل	علامت اختصاری	واحد اندازه گیری
دوام بارش	T	min
مقدار بارش	P	mm
حداکثر شدت بارش ۱۰ دقیقه ای	I <sub>10</sub>	cm/h
حداکثر شدت بارش ۳۰ دقیقه ای	I <sub>30</sub>	cm/h
حداکثر شدت بارش ۶۰ دقیقه ای	I <sub>60</sub>	cm/h
حداکثر شدت بارش ۱۲۰ دقیقه ای	I <sub>120</sub>	cm/h
شدت متوسط بارش	I <sub>mean</sub>	cm/h
چارک اول بارش	Q <sub>1</sub>	mm
چارک دوم بارش	Q <sub>2</sub>	mm
چارک سوم بارش	Q <sub>3</sub>	mm
چارک چهارم بارش	Q <sub>4</sub>	mm

تبیین معادلات و کاهش میزان خطای برآورد مدلها لازم است تا در ابتدا میزان چولگی داده ها بررسی شوند. مقادیر چولگی نزدیک ۰/۵ تعریف شده است؛ در صورت تفاوت قابل ملاحظه مقدار چولگی با ۰/۵، از فرمهای استاندارد تغییر شکل داده ها که شامل  $\sqrt{x}$ ،  $\ln x$  و  $\frac{1}{x}$  می باشد، استفاده می شود.

ب- رگرسیون خطی چند متغیره: در گام بعدی، اثر حضور تمامی متغیرهای مستقل مورد بررسی که همان پارامترهای بارندگی هستند، بر روی متغیر وابسته یا ضریب فرساینده با استفاده از روش رگرسیون خطی چند متغیره گام به گام مورد آزمون قرار گرفت. لازم به ذکر است که قبل از استفاده از خروجی نرم افزار ابتدا فرضیات آزمون رگرسیون خطی چند متغیره تثبیت شدند. این فرضیات عبارتند از:

۱- آزمون نرمال بودن داده های متغیرهای مستقل و وابسته با استفاده از آزمون کلموگروف-اسمیرنوف<sup>۱</sup> (۴).

۲- آزمون همگنی واریانس خطاها. این کار با رسم نمودار مقادیر خطای استاندارد شده در برابر مقادیر پیش بینی استاندارد شده انجام و پراکنش یکنواخت نقاط در آن مد نظر است.

۳- آزمون عدم خود همبستگی<sup>۲</sup> بین خطاها با استفاده از آماره دوربین-واتسون<sup>۳</sup>. مقدار این آماره باید نزدیک به دو باشد.

۴- آزمون نرمال بودن خطاها با استفاده از آزمون کلموگروف-اسمیرنوف

۵- تحلیل نقاط پرت<sup>۴</sup> با استفاده از آماره تشخیص موردی<sup>۵</sup>. نقاطی که در محدوده ۳ برابر انحراف معیار قرار نداشته باشند، پرت تشخیص داده می شوند (۴).

## بررسی تغییرات مکانی و زمانی فرساینده

پس از محاسبه مقادیر فرساینده در هر یک از ایستگاههای مورد مطالعه، تغییرات مکانی و زمانی آن در مقاطع ماهانه، فصلی و سالانه مورد بررسی قرار گرفت. جهت بدست آوردن مقادیر متوسط ضریب فرساینده در استان خوزستان، از متوسط وزنی مقادیر استفاده گردید. ضرایب وزنی مقادیر ضریب فرساینده از طریق پلی گون بندی تیسن به علت جلگه ای بودن منطقه مورد بررسی، بدست آمدند. بر این اساس مساحت تحت اثر هر یک از ایستگاهها بدست آمد که مقادیر مساحت به عنوان ضرایب وزنی استفاده شدند.

در طی این بررسی ماهها و فصول سال و همچنین ایستگاههای مورد مطالعه از حیث خطر فرساینده اولویت بندی و موارد دارای حداکثر خطر فرساینده معرفی شدند و نقشه هم فرساینده سالانه برای عرصه مورد مطالعه، در محیط نرم افزار ARCVIEW تهیه شد. همچنین جهت نشان دادن تغییرات مکانی فرساینده از نمودار موسوم به SURFACE که در محیط نرم افزار SURFER تهیه می شود، استفاده گردید. لازم به ذکر است که جهت بررسی تغییرات مکانی و زمانی در عرصه مورد مطالعه و همچنین انجام مدلسازی در مرحله بعد، دوره مشترک آماری ۱۳ ساله (۱۹۸۶-۱۹۹۸) جهت یکسان در نظر گرفتن شرایط انتخاب شد.

## بررسی روابط و مدلسازی

روش های رگرسیون ساده و چند متغیره جهت بررسی روابط بین پارامترهای بارندگی و عامل فرساینده استفاده شدند.

الف- رگرسیون ساده: هدف اصلی این بخش برازش مدل های مختلف با داده ها می باشد به طوری که انواع مدل های خطی، لگاریتمی، معکوس، درجه دو، درجه سه، توانی، ترکیبی، مدل S، منحنی رشد و نمایی با استفاده از نرم افزار آماری SPSS به داده ها برازش داده شد. جهت بالا بردن ضریب

1- Kolmogorov-Smirnov  
2- Autocorrelation  
3- Durbin-Watson  
4- Outlier Analysis  
5- Casewise Diagnostics

ایستگاههای عرصه مورد مطالعه، مقادیر ضریب فرسایندهی در هر یک از دوره های زمانی فوق برای کل استان خوزستان به صورت میانگین گیری وزنی محاسبه شدند. ضرایب وزنی، مساحت تحت اثر هر ایستگاه می باشد که از روش پلی گون بندی تیسن بدست آمد. پلی گون بندی به روش تیسن نشان داد که ایستگاه هواشناسی بوشهر تأثیری بر منطقه مورد مطالعه ندارد لذا در تحلیل‌های منطقه ای ایستگاه بوشهر وارد نشد و وزنی به آن تعلق نگرفت. درصد مساحت تحت اثر هر یک از ایستگاههای دزفول، بستان، رامهرمز و گچساران به ترتیب ۲۴٪، ۲۰٪، ۴۷٪ و ۸٪ می باشد. تغییرات زمانی و مکانی مقادیر فرسایندهی مورد بررسی قرار گرفتند که نتایج آن در شکل های ۵ تا ۹ ارائه شده است.

بر اساس شکل شماره ۵، ماههای بهمن، آذر، اسفند و دی ماه (به ترتیب با مقادیر فرسایندهی ۵/۴۹ و ۵/۸۶، ۶/۶۸/۲۲ ton.m/ha.h) از نظر خطر فرسایندهی در اولویت می باشند. ماههای خرداد، تیر و شهریور دارای مقادیر ضریب فرسایندهی صفر هستند. با توجه به نتایج ارائه شده در شکل شماره ۶، مقادیر ضریب فرسایندهی ماهانه ایستگاه دزفول و رامهرمز نسبت به سایر ایستگاههای عرصه مورد مطالعه بیشتر می باشد. بر اساس شکل شماره ۷، فصل زمستان دارای حداکثر مقدار ضریب فرسایندهی (۱۶/۸۶ ton.m/ha.h) است. شکل شماره ۸ بیانگر آن است که ایستگاههای رامهرمز و دزفول دارای مقادیر حداکثر ضریب فرسایندهی فصلی نسبت به سایر ایستگاهها می باشند. همانطور که در شکل شماره ۹ ملاحظه می گردد، ایستگاه رامهرمز دارای حداکثر مقدار ضریب فرسایندهی سالانه در عرصه مورد مطالعه می باشد.

بعد از تأیید تمامی فرضیه های فوق اقدام به انجام آزمون رگرسیون بین متغیرهای مستقل و متغیر وابسته مورد نظر گردید.

### انتخاب مدل مناسب

جهت انتخاب مدل مناسب معیارهای مختلفی وجود دارد که به شرح زیر هستند:

۱- ضریب تبیین معادله رگرسیونی ( $R^2$ ). مقادیر نزدیک به یک این آماره بیانگر شرایط خوب مدل رگرسیونی می باشد.

۲- خطای نسبی برآوردی (RE): مدل مناسب مدلی است که مقادیر خطای برآوردی آن کمتر از ۴۰٪ باشد (۹).

۳- میانگین مجذور مربعات خطا (RMSE): بر این اساس مدلی مناسب تشخیص داده می شود که مقدار این آماره در آن به سمت صفر میل نماید (۴).

۴- ضریب کارایی (QE): مقادیر نزدیک به یک این آماره نشان دهنده مناسب بودن مدل می باشد.

پس از ارزیابی مدل‌های تهیه شده برای مقاطع زمانی مختلف در عرصه مورد مطالعه، جهت ارزیابی میزان خطای برآورد مدل، از داده های خارج از دوره مشترک آماری استفاده گردید. ملاک برای انتخاب مدل بهینه، مقادیر کوچکتر خطای نسبی برآوردی همراه با سهل الوصول بودن پارامترهای مدل است چون هدف این تحقیق ارائه روابطی است که کاربر بتواند با استفاده از آنها مقادیر ضریب فرسایندهی را راحت تر و با دقت خوبی در مناطق فاقد اطلاعات ثبت شده از رگبارها در عرصه مورد مطالعه برآورد نماید.

### نتایج و بحث

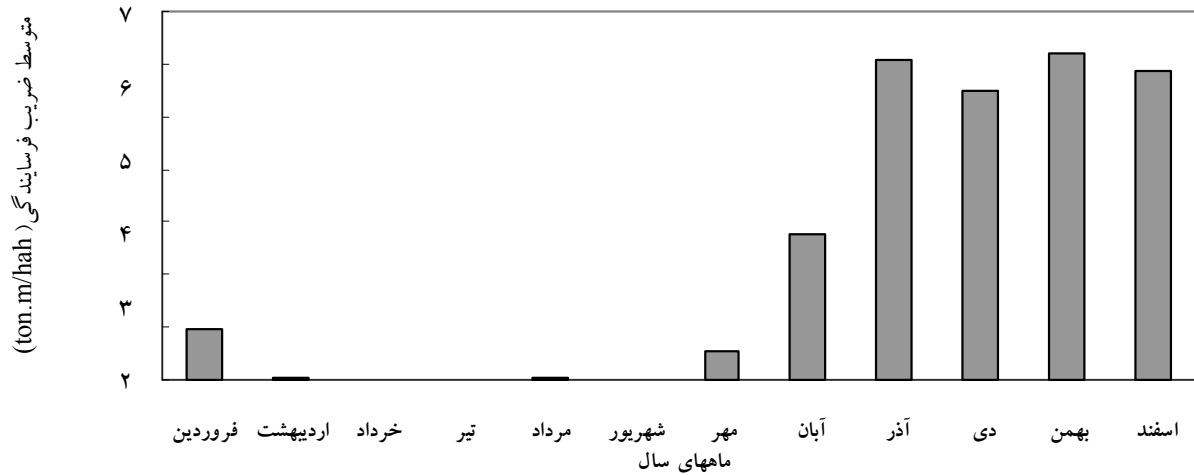
نتایج تحقیق حاضر را می توان در دو بخش ارائه نمود:

#### الف- بررسی تغییرات مکانی و زمانی

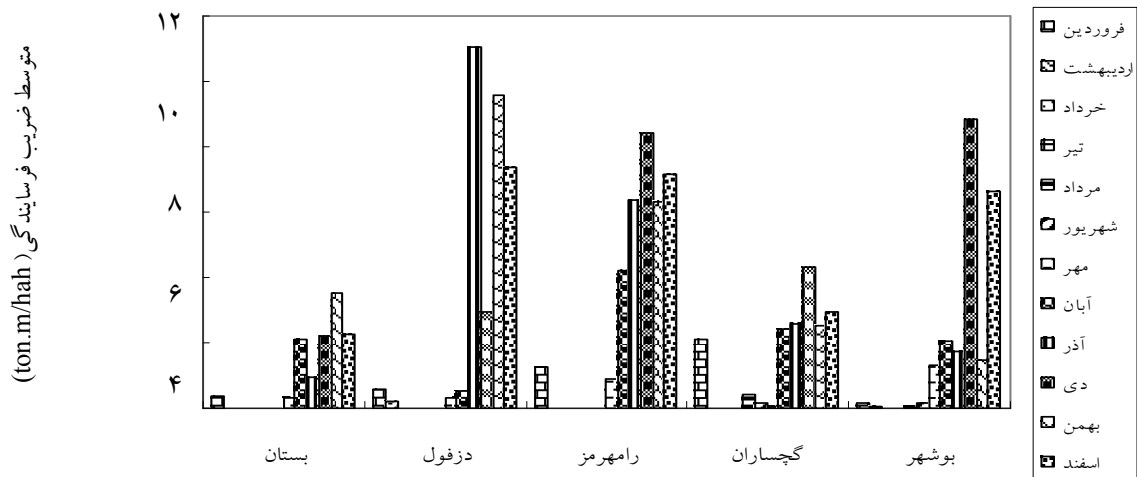
##### فرسایندهی در عرصه مورد مطالعه

پس از محاسبه مقادیر ضریب فرسایندهی در مقاطع زمانی ماهانه، فصلی و سالانه در هر یک از

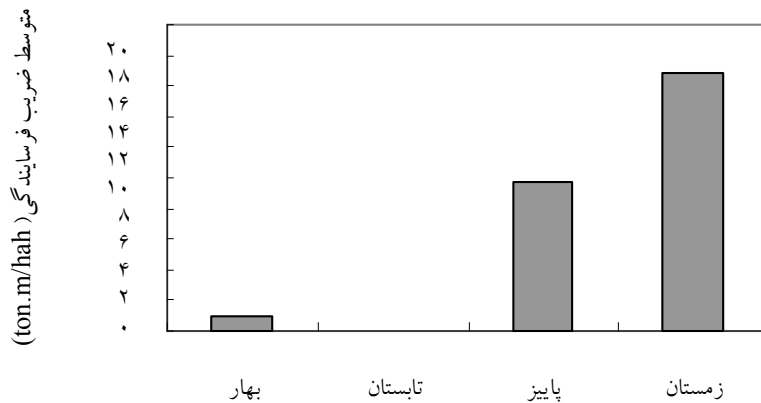




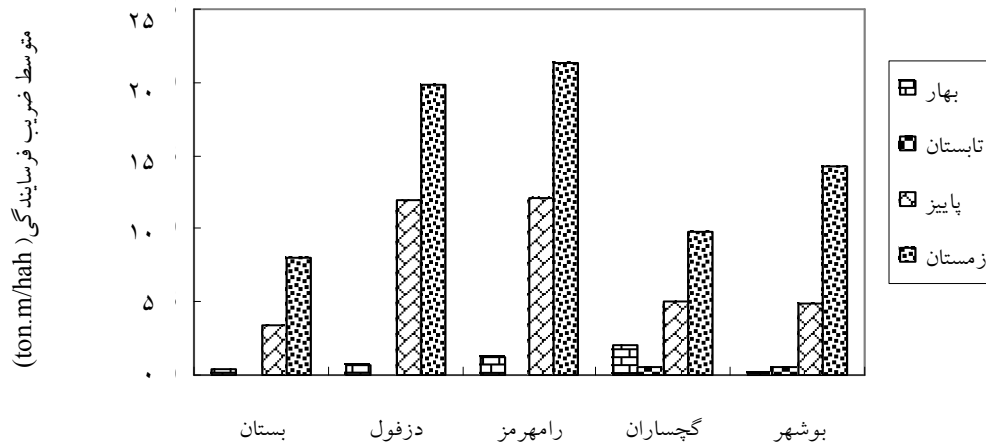
شکل ۵- تغییرات ماهانه ضریب فرسایندگی (ton.m/ha.h) در عرصه مورد مطالعه



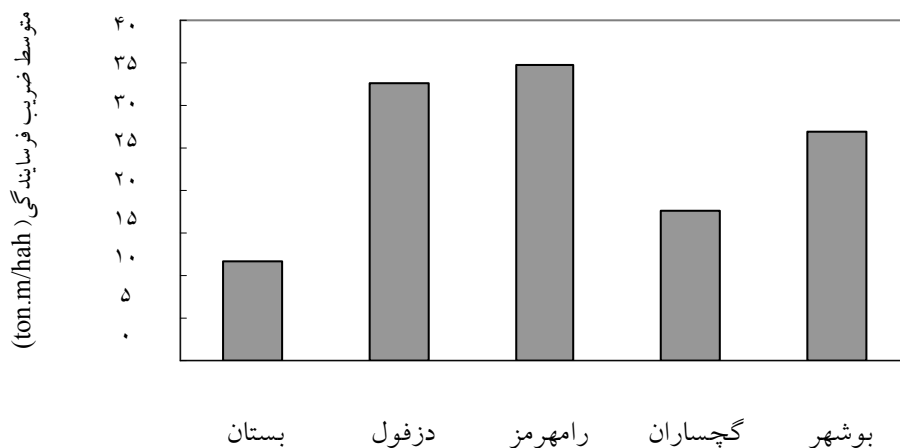
شکل ۶- تغییرات مکانی ماهانه ضریب فرسایندگی (ton.m/ha.h) در ایستگاههای مورد مطالعه



شکل ۷- تغییرات فصلی ضریب فرسایندگی (ton.m/ha.h) در عرصه مورد مطالعه



شکل ۸- تغییرات مکانی ضریب فرساینده فصلی (ton.m/ha.h) در ایستگاههای مورد مطالعه

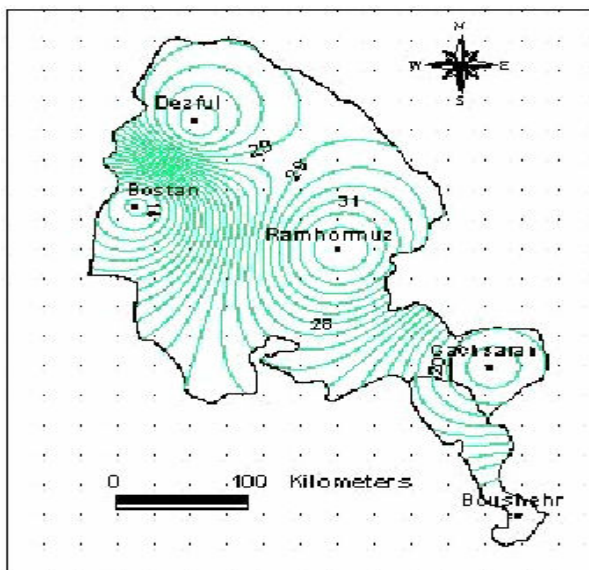


شکل ۹- تغییرات مکانی ضریب فرساینده سالانه (ton.m/ha.h) در ایستگاههای مورد مطالعه

**ب- نتایج حاصل از بررسی روابط و مدلسازی**

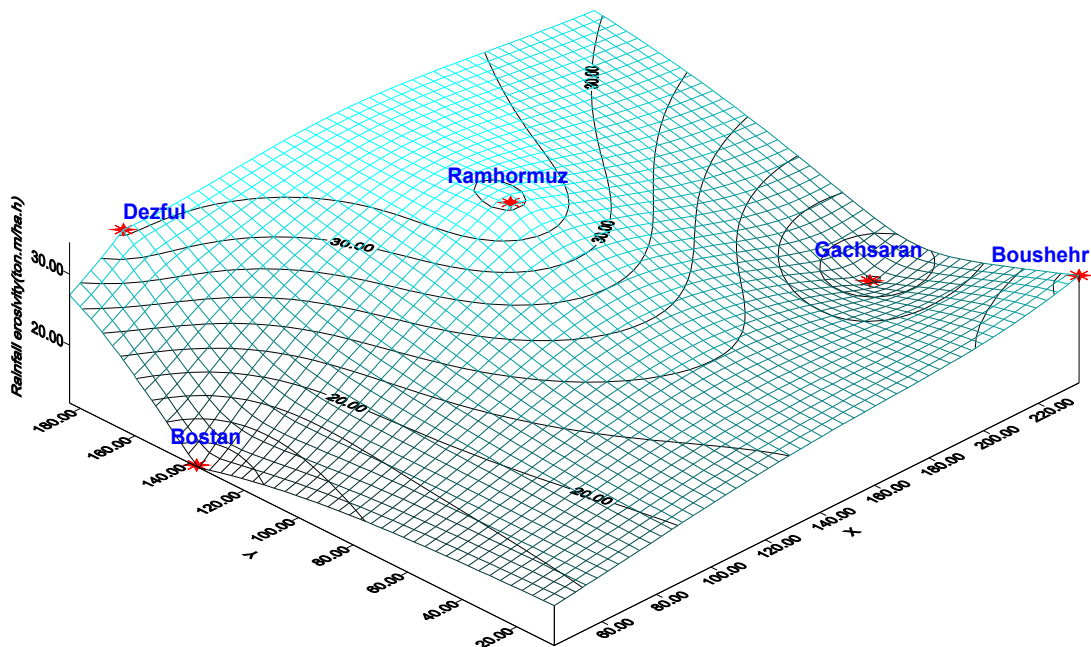
مدلسازی روابط برای مقاطع زمانی ماهانه، فصلی و سالانه انجام گرفت و کلیه پارامترهای ارزیابی مدل نیز برای هر یک محاسبه گردیدند. نتایج حاصل از بررسی روابط برای مقادیر سالانه در جدول ۵ آورده شده است.

مقدار متوسط وزنی ضریب فرساینده سالانه برای عرصه مورد مطالعه،  $36/80 \text{ ton.m/ha.h}$  محاسبه شد. همچنین نقشه هم فرساینده سالانه در محیط نرم افزار ARCVIEW و نمودار SURFASE در محیط نرم افزار SURFER بر اساس مقادیر سالانه ضریب فرساینده تهیه گردید (شکلهای ۱۰ و ۱۱).



پ

شکل ۱۰- نقشه هم فرسایندگی سالانه در عرصه مورد مطالعه



شکل ۱۱- نمودار SURFASE برای مقادیر سالانه ضریب فرسایندگی در عرصه مورد مطالعه

قرار داد. اُبی (۱۳) در جنوب شرقی نیجریه به این نکته اشاره می کند که فرسایندهگی بالای باران در این مناطق به رگبارهایی اختصاص دارد که شدت و تداوم بیشتری دارند. همانطور که در تحلیل تغییرات مکانی و زمانی فرسایندهگی در عرصه مورد مطالعه به آنها پرداخته شد، شدت و تداوم رگبارها دو عامل مهم و اصلی در تحلیل روند تغییرات بودند و به خوبی می توانستند آنها را توجیه نمایند. صادقی (۵) رابطه ای بین حداکثر شدت بارندگی نیم ساعته و شاخص فرسایندهگی، با ضریب همبستگی ۹۷ درصد در حوضه آبخیز امامه ارائه کرد. در عرصه مورد مطالعه تحقیق حاضر نیز روابط بین شاخص فرسایندهگی و حداکثر شدت ۳۰ دقیقه ای از دسته روابطی بودند که ضرایب تبیین بالایی داشتند. صادقی و بهزادفر (۵،۲) به تغییرات معنی دار مکانی و زمانی ضریب فرسایندهگی در استان مازندران اشاره می کنند. نتایج تحقیق حاضر نیز بر این مساله تاکید خاص دارد. آنها همچنین در بررسی روابط بین فرسایندهگی و خصوصیات بارندگی به وجود رابطه معنی داری بین میزان فرسایندهگی و مقدار بارندگی در هر رگبار اشاره می کنند که نتایج تحقیق حاضر علاوه بر تایید نتایج بدست آمده از آن تحقیق، به رابطه خوب بین میزان فرسایندهگی و حداکثر شدت ۳۰ دقیقه ای بارش نیز اشاره دارد. شاید بتوان تغییر اقلیم و خصوصیات بارش منطقه را که مستقیماً تحت تاثیر نوع توده هوایی متاثر از آن می باشد را دلیلی بر این امر دانست. کارایی بیشتر مدل‌های رگرسیونی ساده نسبت به چند متغیره مساله ای است که نتایج هر دو تحقیق به آن اشاره می کنند. نتایج تحقیق حاضر می تواند به مدیران و برنامه ریزان کشاورزی در جهت مدیریت تناوب کشت کمک موثری نماید. به این ترتیب که، در زمانهای دارای حداکثر مقدار ضریب فرسایندهگی، زمینهای کشاورزی دارای پوشش باشند.

به این ترتیب، تحلیل تغییرات مکانی و زمانی فرسایندهگی باران در عرصه مورد مطالعه به صورت زیر می باشد:

مقایسه ویژگی رگبارهای به وقوع پیوسته در ماههای مختلف سال نشان داد که رگبارهای ماه بهمن از متوسط بارش بیشتری (۵/۶mm) نسبت به سایر ماههای سال برخوردار می باشد. در شرایط یکسان رگبارهایی که مقدار بارش بیشتری داشته باشند، فرسایندهگی بیشتری نیز دارند.

مقایسه خصوصیات رگبارهای به وقوع پیوسته در فصول مختلف سال نشان دادند که رگبارهای به وقوع پیوسته در فصل زمستان، حداکثر شدت ۳۰ دقیقه ای بیشتری (۴/۱۶cm/h) نسبت به سایر فصول سال دارند. حداکثر شدت ۳۰ دقیقه ای یکی از خصوصیات مهم بارندگی است که در فرسایندهگی نقش مستقیم دارد که در معادله ارائه شده توسط ویشمایر و اسمیت (۱۴) نیز به آن اشاره شده است. دخالت عامل حداکثر شدت ۳۰ دقیقه ای باران در افزایش میزان خطر فرسایندهگی، در تحلیل مکانی خطر فرسایندهگی نیز کاملاً بارز است به طوری که رگبارهای به وقوع پیوسته در ایستگاه دزفول از متوسط حداکثر شدت ۳۰ دقیقه ای بیشتری (۰/۴۷cm/h) نسبت به سایر ایستگاههای عرصه مورد مطالعه برخوردار می باشند.

نتایج تحقیق حاضر در مقایسه با سایر مطالعات انجام شده به صورت زیر می باشد:

ویشمایر و اسمیت (۱۴) اظهار می دارند که شدت بارش ۳۰ دقیقه ای با فرسایندهگی ارتباط مستقیم دارد. نتایج تحقیق حاضر چه در بررسی تغییرات زمانی و مکانی فرسایندهگی و چه در مدل‌سازی روابط بین فرسایندهگی و خصوصیات بارندگی نشان دادند که علاوه بر در نظر گرفتن این خصوصیت بارندگی، پارامترهای دیگر بارندگی نظیر دوام بارش و میزان بارش را نیز باید به عنوان پارامترهایی که با فرسایندهگی رابطه دارند مورد توجه

جدول ۵- نتایج حاصل بررسی روابط برای مقادیر سالانه در عرصه مورد مطالعه

شماره	رابطه	R <sup>2</sup>	RE	RMSE	QE
۱	$\left(\frac{1}{R}\right)^{0.29} = 0.48 + 1217\left(\frac{1}{T}\right)^{0.91} - 3875\left[\left(\frac{1}{T}\right)^{0.91}\right]^2 - 16842\left[\left(\frac{1}{T}\right)^{0.91}\right]^3$	۰/۵۸	۴۸/۹۹	۱/۱۵	۰/۵۸
۲	$\left(\frac{1}{R}\right)^{0.29} = 0.16 + 1.38\left(\frac{1}{P}\right)^{0.43} + 2.87\left[\left(\frac{1}{P}\right)^{0.43}\right]^2 - 0.94\left[\left(\frac{1}{P}\right)^{0.43}\right]^3$	۰/۹۵	۱۲/۴۲	۰/۳۹	۰/۹۵
۳	$\left(\frac{1}{R}\right)^{0.29} = 0.93\left[\left(\frac{1}{I_{10}}\right)^{0.6}\right]^{1.07}$	۰/۹۰	۱۷/۱۸	۰/۵۸	۰/۸۹
۴	$\left(\frac{1}{R}\right)^{0.29} = 0.72\left[\left(\frac{1}{I_{30}}\right)^{0.97}\right]^{0.73}$	۰/۹۵	۱۲/۹۲	۰/۴۷	۰/۹۳
۵	$\left(\frac{1}{R}\right)^{0.29} = 4.57e^{-1.81(I_{60})^{0.43}}$	۰/۷۴	۲۹/۷۳	۱/۰۹	۰/۶۲
۶	$\left(\frac{1}{R}\right)^{0.29} = 3.18e^{-1.07(I_{120})^{0.09}}$	۰/۴۰	۵۲/۳۸	۱/۴۸	۰/۳۰
۷	$\left(\frac{1}{R}\right)^{0.29} = 0.34 + 0.18\left(\frac{1}{I_{mean}}\right)^{1.35} - 0.0039\left[\left(\frac{1}{I_{mean}}\right)^{1.35}\right]^2 + 5 \times 10^{-5}\left[\left(\frac{1}{I_{mean}}\right)^{1.35}\right]^3$	۰/۸۸	۲۱/۰۵	۰/۶۹	۰/۸۵
۸	$\left(\frac{1}{R}\right)^{0.29} = 0.49e^{0.06\left(\frac{1}{Q_1}\right)^{0.75}}$	۰/۵۶	۴۱/۱۸	۱/۳۸	۰/۳۹
۹	$\left(\frac{1}{R}\right)^{0.29} = 0.01e^{2.92\left(\frac{1}{Q_2}\right)^{0.16}}$	۰/۷۴	۳۰/۷۴	۰/۹۵	۰/۷۱
۱۰	$\left(\frac{1}{R}\right)^{0.29} = 0.5 + 0.03\left(\frac{1}{Q_3}\right)^{0.86} + 0.0034\left[\left(\frac{1}{Q_3}\right)^{0.86}\right]^2 - 5 \times 10^{-5}\left[\left(\frac{1}{Q_3}\right)^{0.86}\right]^3$	۰/۸۳	۲۴/۷۵	۰/۹۱	۰/۷۴
۱۱	$\left(\frac{1}{R}\right)^{0.29} = 0.29\left[\left(\frac{1}{Q_4}\right)^{0.6}\right]^{1.07}$	۰/۹۰	۱۷/۳۲	۰/۵۹	۰/۸۹

R فرساینده گی باران (ton.m/ha.h)، T: دوام بارش (min)، P: مقدار بارش (mm)، I<sub>30</sub>: حداکثر شدت بارش ۳۰ دقیقه ای (cm/h)، I<sub>60</sub>: حداکثر شدت بارش ۶۰ دقیقه ای (cm/h)، I<sub>120</sub>: حداکثر شدت بارش ۱۲۰ دقیقه ای (cm/h)، I<sub>mean</sub>: شدت متوسط بارش (cm/h)، Q<sub>1</sub>: چارک اول بارش (mm)، Q<sub>2</sub>: چارک دوم بارش (mm)، Q<sub>3</sub>: چارک سوم بارش (mm) و Q<sub>4</sub>: چارک چهارم بارش (mm).

جدول ۶- مدلهای پرتو جهت محاسبه ضریب فرساینده گی (ton.m/ha.h) در مقاطع مختلف زمانی در

استان خوزستان

دوره زمانی	رابطه	متغیر وابسته		متغیر مستقل		درصد خطای تایید	شماره رابطه
		تغییر فرم داده شده	متغیر وابسته	تغییر فرم داده شده	متغیر مستقل		
فروردین	$R' = 0.61I'_{30}{}^{0.71}$	$R' = \left(\frac{1}{R}\right)^{0.23}$	$I'_{30} = \left(\frac{1}{I_{30}}\right)^{0.75}$	$I'_{30} = \left(\frac{1}{I_{30}}\right)^{0.75}$	$I'_{30} = \left(\frac{1}{I_{30}}\right)^{0.75}$	۱۱/۷۳	۱
اردیبهشت	$R' = 1.08 - 0.08P' + 0.03P'^2 - 0.05P'^3$	$R' = \left(\frac{1}{R}\right)^{0.02}$	$P' = \text{Log}P$	$P' = \text{Log}P$	$P' = \text{Log}P$	-	۲
شهریور	$R' = 0.59 + 0.33I'_{30} - 0.02I'_{30}{}^2 + 0.002I'_{30}{}^3$	$R' = \left(\frac{1}{R}\right)^{0.14}$	$I'_{30} = \left(\frac{1}{I_{30}}\right)^{0.69}$	$I'_{30} = \left(\frac{1}{I_{30}}\right)^{0.69}$	$I'_{30} = \left(\frac{1}{I_{30}}\right)^{0.69}$	-	۳
مهر	$R' = 0.71 - 1.94P' + 6.5P'^2 - 2.38P'^3$	$R' = \left(\frac{1}{R}\right)^{0.24}$	$P' = \left(\frac{1}{P}\right)^{0.34}$	$P' = \left(\frac{1}{P}\right)^{0.34}$	$P' = \left(\frac{1}{P}\right)^{0.34}$	۱۶/۰۹	۴
آبان	$R' = 0.3 + 0.57I'_{30} - 0.04I'_{30}{}^2 + 0.003I'_{30}{}^3$	$R' = \left(\frac{1}{R}\right)^{0.51}$	$I'_{30} = \left(\frac{1}{I_{30}}\right)^{0.72}$	$I'_{30} = \left(\frac{1}{I_{30}}\right)^{0.72}$	$I'_{30} = \left(\frac{1}{I_{30}}\right)^{0.72}$	۱۰/۴۹	۵
آذر	$R' = -0.18 + 2.7P' + 0.15P'^2$	$R' = \left(\frac{1}{R}\right)^{0.23}$	$P' = \left(\frac{1}{P}\right)^{0.35}$	$P' = \left(\frac{1}{P}\right)^{0.35}$	$P' = \left(\frac{1}{P}\right)^{0.35}$	۱۰/۱۵	۶
دی	$R' = 0.63I'_{30}{}^{0.73}$	$R' = \left(\frac{1}{R}\right)^{0.38}$	$I'_{30} = \left(\frac{1}{I_{30}}\right)^{1.3}$	$I'_{30} = \left(\frac{1}{I_{30}}\right)^{1.3}$	$I'_{30} = \left(\frac{1}{I_{30}}\right)^{1.3}$	۱۷/۳۳	۷
بهمن	$R' = 0.26 + 2.55P' + 2.07P'^2 - 0.61P'^3$	$R' = \left(\frac{1}{R}\right)^{0.34}$	$P' = \left(\frac{1}{P}\right)^{0.54}$	$P' = \left(\frac{1}{P}\right)^{0.54}$	$P' = \left(\frac{1}{P}\right)^{0.54}$	۱۸/۱۷	۸
اسفند	$R' = -0.18 + 3.86P'$	$R' = \left(\frac{1}{R}\right)^{0.31}$	$P' = \left(\frac{1}{P}\right)^{0.52}$	$P' = \left(\frac{1}{P}\right)^{0.52}$	$P' = \left(\frac{1}{P}\right)^{0.52}$	۱۰/۶۷	۹
بهار	$R' = -0.19 + 2.6P'$	$R' = \left(\frac{1}{R}\right)^{0.21}$	$P' = \left(\frac{1}{P}\right)^{0.35}$	$P' = \left(\frac{1}{P}\right)^{0.35}$	$P' = \left(\frac{1}{P}\right)^{0.35}$	۸/۵۰	۱۰
تابستان	$R' = 0.49 + 0.38I'_{30}$	$R' = \left(\frac{1}{R}\right)^{0.2}$	$I'_{30} = \left(\frac{1}{I_{30}}\right)^{0.71}$	$I'_{30} = \left(\frac{1}{I_{30}}\right)^{0.71}$	$I'_{30} = \left(\frac{1}{I_{30}}\right)^{0.71}$	-	۱۱
پاییز	$R' = -0.28 + 2.83P'$	$R' = \left(\frac{1}{R}\right)^{0.22}$	$P' = \left(\frac{1}{P}\right)^{0.34}$	$P' = \left(\frac{1}{P}\right)^{0.34}$	$P' = \left(\frac{1}{P}\right)^{0.34}$	۱۰/۲۰	۱۲
زمستان	$R' = 0.07 + 2.18P' + 3.01P'^2 - 0.93P'^3$	$R' = \left(\frac{1}{R}\right)^{0.34}$	$P' = \left(\frac{1}{P}\right)^{0.49}$	$P' = \left(\frac{1}{P}\right)^{0.49}$	$P' = \left(\frac{1}{P}\right)^{0.49}$	۱۷/۱۹	۱۳
سالانه	$R' = 0.16 + 1.38P' + 2.87P'^2 - 0.93P'^3$	$R' = \left(\frac{1}{R}\right)^{0.29}$	$P' = \left(\frac{1}{P}\right)^{0.43}$	$P' = \left(\frac{1}{P}\right)^{0.43}$	$P' = \left(\frac{1}{P}\right)^{0.43}$	۱۳/۴۸	۱۴

R': فرساینده گی باران (ton.m/ha.h)، P': مقدار بارش (mm)، I'30: حداکثر شدت بارش ۳۰ دقیقه ای (cm/h)

منابع

۱. اطلس منابع آب ایران. ۱۳۶۹. تماب.
۲. بهزادفر، م. ۱۳۸۳. بررسی تغییرات مکانی و زمانی فرساینده گی در استان مازندران. سمینار کارشناسی ارشد. ۱۱۰ ص.

۳. رفاهی، ح. ۱۳۷۹. فرسایش آبی و کنترل آن. انتشارات دانشگاه تهران. ۵۵۱ ص.
۴. سریواستاوا، ک. ۱۳۷۰. آمار چند متغیره کاربردی، ترجمه ارقامی، ن. ر. و بزرگ نیا، ا. انتشارات آستان قدس رضوی، ۱۹۶ ص.
۵. صادقی، ح. ۱۳۸۳. بررسی تغییرات مکانی شاخص فرساینده در استان مازندران. طرح پژوهشی سازمان مدیریت و برنامه ریزی استان مازندران. ۱۵۰ ص.
6. Atre, A. A., Damale, A. S., and Bangal, G. B. 1992. Estimation of erosion index at Rahuri (Maharashtra). Journal Maharashtra of agriculture University 22(2):221-222.
7. Bagarello, V., and Asaro, F. D. 1994. Estimation single storm erosivity index Transactions of the ASAE. 31(3):785-791.
8. Bennett, H. H. 2001, Soil conservation, Agrobis, India, 993 p.
9. Das, G. 2000, Hydrology and soil conservation engineering, Asoke K. Ghosh, Prentic-Hall of India, 489 p.
10. Dharmasena, P. B. 1994, an erosivity index for tropical rains, Journal of Agriculture Engng., ISAE, 31(4): 32 – 54.
11. Dijk, A. I. J. M., Bruijnzeel, L. A., and Rosewell, C. J. 2003, Rainfall intensity-Kinetic energy relationships: a critical literature appraisal, Journal of Hydrology 261: 1-23.
12. Loureiro, Nuno de Santos and Miguel de Azevedo Coutinbo. 2001, A new procedure to estimate the RUSLE EI<sub>30</sub> index, based on monthly rainfall data and applied to the Algarve region, Portugal, Journal of Hydrology, 250: 12-18.
13. Obi, M. E., and Salako F. K. 1995, Rainfall parameters influencing erosivity in southeastern Nigeria, Catena 24: 275-287.
14. Whichmeier, W. H., and Smith, D. D. 1958, predicting rain-fall-erosion losses from cropland east of the Rocky Mountains, Agriculture Handb., 282, Washington DC, 201 p.