**دانشگاه صنعتی اصفهان**
دانشکده کشاورزی

# برآورد نرخ فرسایش بادی با استفاده از تکنیک سزیم- ۱۳۷ در منطقه شرق اصفهان

پایان نامه کارشناسی ارشد خاکشناسی

**فاطمه قیصری**

استاد راهنما
**دکتر شمس الله ایوبی**

۱۳۹۲

**دانشگاه صنعتی اصفهان**
دانشکده کشاورزی

پایان نامه کارشناسی ارشد خاک‌شناسی خانم فاطمه قیصری

تحت عنوان

# برآورد نرخ فرسایش بادی با استفاده از تکنیک سزیم- ۱۳۷ در منطقه شرق اصفهان

در تاریخ ۱۳۹۲/۹/۱۸ توسط کمیته تخصصی زیر مورد بررسی و تصویب نهایی قرار گرفت.

| | |
|---|---|
| ۱- استاد راهنمای پایان نامه | دکتر شمس الله ایوبی |
| ۲- استاد مشاور پایان نامه | دکتر حسین خادمی |
| ۳- استاد مشاور پایان نامه | دکتر محمدرضا عبدی |
| ۴- استاد داور | دکتر حسین شریعتمداری |
| ۵- استاد داور | دکتر محمد مهدی مجیدی |
| سرپرست تحصیلات تکمیلی دانشکده | دکتر محمد مهدی مجیدی |

سپاس و ستایش خدای را جل و جلاله که آثار قدرت او بر چهره روز روشن، تابان است و انوار حکمت او در دل شب تار، درفشان. آفریدگاری که خویشتن را به ما شناساند و درهای علم را بر ما گشود. از پدر و مادر عزیزم این دو معلم بزرگوارم که همواره بر کوتاهی و درشتی من، قلم عفو کشیده و کریمانه از کنار غفلت‌هایم گذشته‌اند و در تمام عرصه‌های زندگی یار و یاوری بی‌چشم داشت برای من بوده‌اند، سپاسگذارم.

از استاد باکمالات و شایسته، جناب آقای دکتر ایوبی که در کمال سعه صدر، با حسن خلق و فروتنی، از هیچ کمکی در این عرصه بر من دریغ ننمودند و زحمت راهنمایی این رساله را بر عهده گرفتند، کمال تشکر را دارم.

از اساتید صبور و بزرگوار، جناب آقایان دکتر خادمی و عبدی که در طول این تحقیق از مشاورهایشان بهره‌مند گردیدم، کمال تشکر و قدردانی را دارم. از اساتید ارجمند، جناب آقایان دکتر شریعتمداری و دکتر مجیدی که زحمت بازخوانی و داوری این پایان‌نامه را متقبل شدند تشکر می‌نمایم. از کمک‌های بی‌شائبه آقای مهندس مللی، خانم عباس‌زاده، خانم تاجیک و پرسنل گروه خاکشناسی صمیمانه سپاسگذارم. از کارشناسان محترم آزمایشگاه فیزیک هسته‌ای دانشگاه اصفهان ممنون و سپاسگذارم.

فاطمه قیصری

آذر ۱۳۹۲

**کلیه حقوق مادی مترتب بـر نتـایج مطالعات، ابتکارات و نـوآوری‌هـای ناشی از تحقیق موضوع ایـن پایـان نامــه متعلــق بــه دانشــگاه صــنعتی اصفهان است.**

**بخشی از هزینه‌های این پایان نامه توسط آزمایشگاه فیزیک هسته‌ای دانشگاه اصفهان تأمین شده است که بدین وسیله تشکر و قدردانی می‌شود.**

به پاس تعبیر عظیم و انسانی‌شان از کلمه ایثار و از خودگذشتگان

به پاس عاطفه سرشار و گرمای امیدبخش وجودشان که در این سردترین روزگاران بهترین پشتیبان است

به پاس قلب‌های بزرگشان که فریادرس است و سرگردانی و ترس در پناهشان به شجاعت می-گراید

و به پاس محبت‌های بی‌دریغشان که هرگز فروکش نمی‌کند

**این تحقیق را به پدر و مادر عزیزم تقدیم می کنم**

## فهرست مطالب

**عنوان** **صفحه**

فهرست مطالب ..... هشت
فهرست اشکال..... یازده
فهرست جداول ..... دوازده
چکیده..... ۱
**فصل اول مقدمه و بررسی منابع**
۱-۱ مقدمه .....۲
۱-۲ کلیات ..... ۴
۱-۲-۱ فرسایش خاک .....۴
۱-۲-۲ فرسایش بادی ..... ۴
۱-۲-۳ انواع حرکت ذرات خاک توسط باد.....۵
۱-۲-۴ عوامل مؤثر بر فرسایش بادی .....۶
۱-۲-۵ خصوصیات مؤثر خاک بر روی فرسایش بادی ..... ۶
۱-۲-۵-۱ نقش ناهمواری و سنگریزه سطحی خاک.....۷
۱-۲-۵-۲ نقش توزیع و اندازه خاکدانه‌ها .....۷
۱-۲-۵-۳ نقش رطوبت خاک ..... ۸
۱-۲-۵-۴ نقش پوشش گیاهی .....۸
۱-۲-۵-۶ نقش بافت خاک .....۹
۱-۲-۵-۷ نقش آهک و گچ خاک .....۹
۱ -۲-۵-۸ نقش چگالی ظاهری خاک ..... ۱۰
۱ -۲-۵-۹ نقش مواد آلی.....۱۰
۱-۲-۵-۱۰ نقش غلظت املاح و شوری خاک ..... ۱۰
۱-۲-۶ نتایج حاصل از فرسایش بادی .....۱۱
۱-۲-۶-۱ تشکیل نهشته‌های بادی.....۱۱
۱-۲-۶-۲ تشکیل حفره‌هایی در زمین ..... ۱۱
۱-۲-۶-۳ به وجود آمدن زمین‌های سنگلاخی ..... ۱۲
۱-۲-۶-۴ از بین رفتن خاک ..... ۱۲
۱-۲-۶-۵ از بین رفتن مواد غذایی و کاهش قدرت تولیدی خاک ..... ۱۲
۱-۲-۶-۶ تغییر خصوصیات و بافت خاک ..... ۱۲
۱-۲-۷ اهمیت مطالعه پدیده فرسایش بادی خاک.....۱۳
۱-۲-۸ دلایل اندازه گیری فرسایش بادی .....۱۴
۱-۲-۹ روش های برآورد فرسایش خاک .....۱۶
۱-۲-۱۰ رادیونوکلوئید سزیم –۱۳۷. .....۱۷

۱-۲-۱۰-۱ پرتوزائی ..... ۱۷
۱-۲-۱۰-۲ انفجارات هسته‌ای و ریزش‌های اتمسفری ..... ۱۸
۱-۲-۱۰-۳ عنصر رادیو اکتیو سزیم-۱۳۷ ..... ۱۹
۱-۲-۱۰-۴ چرخه فرونشست سزیم-۱۳۷ در زمین نما ..... ۲۰
۱-۲-۱۰-۵ خصوصیات ویژه تکنیک سزیم-۱۳۷ ..... ۲۱
۱-۲-۱۰-۶ مزایای روش سزیم-۱۳۷ ..... ۲۲
۱-۲-۱۰-۷ معایب استفاده از روش سزیم-۱۳۷ ..... ۲۲
۱-۲-۱۱-۸ فرضیات مدل سزیم-۱۳۷ در محاسبه میزان فرسایش ..... ۲۳
۱-۳ مروری بر تحقیقات انجام شده توسط تکنیک سزیم-۱۳۷ در مطالعات فرسایش بادی خاک ..... ۲۴
۱-۴ پذیرفتاری مغناطیسی ..... ۲۷
۱-۴-۱ منشاء پذیرفتاری مغناطیسی در خاک ..... ۲۷
۱-۴-۲ استفاده از تکنیک پذیرفتاری مغناطیسی در خاکشناسی ..... ۲۸
۱-۴-۵ پذیرفتاری مغناطیسی و توزیع مجدد خاک ..... ۲۸
۱-۵ اهمیت بررسی و اندازه گیری فرسایش در منطقه مورد مطالعه ..... ۲۹
۱-۶ فرضیات ..... ۲۹
۱-۷ اهداف ..... ۲۹

**فصل دوم مواد و روش‌ها**

۲-۱ معرفی منطقه مورد مطالعه ..... ۳۰
۲-۱-۱ موقعیت جغرافیایی استان اصفهان ..... ۳۰
۲-۱-۲ موقیعت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه ..... ۳۱
۲-۱-۳ پوشش گیاهی منطقه مورد مطالعه ..... ۳۲
۲-۱-۴ ویژگی خاک منطقه مورد مطالعه ..... ۳۲
۲-۱-۵ هوا و اقلیم منطقه مورد مطالعه ..... ۳۲
۲-۱-۵-۱ بارندگی ..... ۳۲
۲-۱-۵-۲ درجه حرارت ..... ۳۳
۲-۱-۵ -۳ مشخصات باد در منطقه مورد مطالعه ..... ۳۳
۲-۲ نمونه برداری از نقاط مورد مطالعه ..... ۳۴
۲-۲-۱ نمونه برداری از نقاط مرجع فرسایش نیافته ..... ۳۵
۲-۳ مطالعات آزمایشگاهی ..... ۳۶
۱-۳-۱ آنالیزهای فیزیکوشیمیایی خاک ..... ۳۶
۲-۳-۲ آنالیزهای سزیم-۱۳۷ ..... ۳۷
۲-۴ آشنایی با دستگاه اسپکترومتری گاما با آشکارساز ژرمانیوم ..... ۳۸
۲-۴-۱ کالیبراسیون سیستم آشکارساز ژرمانیوم ..... ۳۹
۲-۴-۲ آماده سازی نمونه ها در اسپکترومتری گاما ..... ۴۱

۲- ۵ محاسبه نرخ فرسایش بادی ..... ۴۱
۲-۶ اندازه‌گیری پارامترهای مغناطیسی ..... ۴۲
۲-۷ آنالیز داده ها ..... ۴۳
۲-۷-۱ توصیف آماری داده ها ..... ۴۳
۲-۷-۲ آنالیز همبستگی ..... ۴۳
۲-۷-۳ آنالیز رگرسیون بین متغیرها ..... ۴۳
۲-۷-۴ آنالیز واریانس ..... ۴۳
**فصل سوم نتایج و بحث**
۳-۱ توصیف آماری متغیرها ..... ۴۴
۳-۲ آنالیز همبستگی بین متغیرها ..... ۵۰
۳-۲-۱ همبستگی سزیم-۱۳۷ با ویژگی های فیزیکوشیمیایی ..... ۵۰
۳-۲-۲ همبستگی سزیم-۱۳۷ با پارامترهای مغناطیسی ..... ۵۲
۳-۲-۳ همبستگی سزیم-۱۳۷ با اجزای مختلف شن ..... ۵۲
۳-۳ روابط رگرسیون بین متغیرها ..... ۵۳
۳-۳-۱ روش رگرسیون تک متغیره ..... ۵۳
۳-۳-۲ رابطه رگرسیون بین سزیم-۱۳۷ و پذیرفتاری مغناطیسی ..... ۵۶
۳-۳-۳ رابطه رگرسیون بین سزیم-۱۳۷ و اجزای مختلف شن ..... ۵۷
۳-۳-۴ روش رگرسیون چند متغیره ..... ۵۸
۳-۳-۵ رابطه رگرسیون خطی بین سزیم-۱۳۷ با برخی خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک ..... ۵۸
۳-۴ محاسبه نرخ فرسایش بادی با استفاده از روش سزیم-۱۳۷ ..... ۶۱
۳-۴-۱ توزیع سزیم-۱۳۷ در نقطه مرجع ..... ۶۱
۳-۴-۲ توزیع سزیم-۱۳۷ در نقاط فرسایش و رسوب‌گذاری ..... ۶۲
۳-۴-۳ توزیع عمقی برخی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی پروفیل مرجع ..... ۶۲
۳-۴-۴ درصد هدر رفت یا زیاد بود سزیم-۱۳۷ در نقاط‌های مورد بررسی در طول ترانسکت ..... ۶۵
۳-۵ تأثیر فرسایش بادی بر روی خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک ..... ۶۹
۳-۵-۱ تغییرپذیری ویژگی‌های شیمیایی خاک در مناطق فرسایش و رسوب‌گذاری ..... ۶۹
۳-۵-۲ تغییرپذیری ویژگی‌های فیزیکی خاک در مناطق فرسایش و رسوب‌گذاری ..... ۷۰
۳-۵-۳ تغییرات توزیع اندازه ذرات خاک ..... ۷۱
۳-۵-۴ تغییرات درصد ماده آلی، سنگریزه و سزیم-۱۳۷ در طول ترانسکت مورد مطالعه ..... ۷۴
**فصل چهارم نتیجه‌گیری و پیشنهادات**
۴-۱ نتیجه‌گیری ..... ۷۶
۴-۲ پیشنهادات ..... ۷۷
منابع ..... ۸۰

## فهرست اشکال

**عنوان** **صفحه**


شکل ۲- ۱ موقعیت جغرافیایی و مسیر ترانسکت مورد مطالعه ..... ۳۱
شکل ۲-۲ گلبادv۷ ساله فرودگاه در منطقه شرق اصفهان ..... ۳۴
شکل ۲- ۳ شمائی از یکی از نقاط نمونه برداری در طول ترانسکت مورد مطالعه..... ۳۵
شکل ۲- ۴ مشخصات ظاهری سطح زمین در نقاط مرجع مورد مطالعه..... ۳۶
شکل ۳-۱ هیستوگرام‌های متغیر هدایت الکتریکی خاک قبل (الف) و بعد (ب) از نرمال سازی ..... ۴۸
شکل ۳-۲ نمودارهای جعبه‌ای متغیرهای درصد ماده‌آلی (الف) ودرصد آهک (ب) ..... ۴۹
شکل ۳-۳ معادله برازش شده بین سزیم-۱۳۷ و درصد رس..... ۵۴
شکل ۳-۴ معادله برازش شده بین سزیم-۱۳۷ و درصد سیلت..... ۵۴
شکل ۳-۵ معادله برازش شده بین سزیم-۱۳۷ و درصد ماده آلی..... ۵۵
شکل ۳-۶ معادله برازش شده بین سزیم-۱۳۷ و درصد نیتروژن کل..... ۵۵
شکل ۳-۷ معادله برازش شده بین سزیم-۱۳۷ و پذیرفتاری مغناطیسی در فرکانس پایین..... ۵۶
شکل ۳-۸ معادله برازش شده بین سزیم-۱۳۷ و پذیرفتاری مغناطیسی وابسته به فرکانس..... ۵۶
شکل ۳-۹ معادله برازش شده بین سزیم-۱۳۷ و شن خیلی درشت ..... ۵۷
شکل ۳-۱۰ معادله برازش شده بین سزیم-۱۳۷ و شن متوسط ..... ۵۷
شکل ۳-۱۱ معادله برازش شده بین محتوای سزیم-۱۳۷ و درصد ماده آلی ..... ۵۹
شکل ۳-۱۲ معادله برازش شده بین محتوای سزیم-۱۳۷و درصد رس ..... ۵۹
شکل ۳-۱۳ معادله برازش شده بین محتوای سزیم-۱۳۷ و درصد سیلت..... ۵۹
شکل ۳-۱۴ معادله برازش شده بین محتوای سزیم-۱۳۷ و پذیرفتاری مغناطیسی در فرکانس پایین..... ۶۰
شکل ۳-۱۵ معادله برازش شده بین محتوای سزیم-۱۳۷ و پذیرفتاری مغناطیسی وابسته به فرکانس ..... ۶۰
شکل ۳-۱۶ توزیع عمقی پرتوزائی سزیم-۱۳۷ در پروفیل مرجع..... ۶۱
شکل ۳-۱۷ توزیع عمقی سزیم-۱۳۷ در نقاط ۳ (a)، ۱۱(b) و ۱۴(c) ..... ۶۲
شکل ۳-۱۸ توزیع عمقی برخی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک در پروفیل مرجع..... ۶۳
شکل ۳-۱۹ درصد تغییرات توزیع اندازه ذرات در امتداد ترانسکت مورد مطالعه..... ۷۲
شکل ۳-۲۰ درصد تغییرات اجزای شن در امتداد ترانسکت مورد مطالعه..... ۷۲
شکل ۳-۲۱ توزیع اندازه ذرات در بخش شن در نقاط فرسایش‌یافته ..... ۷۳
شکل ۳-۲۲ توزیع اندازه ذرات در بخش شن در نقاط رسوب‌گذاری..... ۷۳
شکل ۳-۲۳ درصد تغییرات ماده آلی در امتداد ترانسکت مورد مطالعه..... ۷۵
شکل ۳-۲۴ درصد تغییرات سزیم-۱۳۷ در امتداد ترانسکت مورد مطالعه..... ۷۵

# فهرست جداول

**عنوان** **صفحه**


جدول۱-۱ خصوصیات انواع حرکت ذرات خاک توسط باد ..... ۶
جدول ۱-۲ حساسیت خاک به فرسایش بادی براساس درصد خاکدانه‌های بزرگتر از یک میلی‌متر ..... ۸
جدول ۳-۱ توصیف آماری برخی خصوصیات شیمیایی خاک ترانسکت مورد مطالعه ..... ۴۵
جدول ۳-۲ توصیف آماری برخی خصوصیات فیزیکی خاک ترانسکت مورد مطالعه ..... ۴۶
جدول۳-۳ ضرایب همبستگی بین خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک و پرتوزائی سزیم- ۱۳۷ ..... ۵۱
جدول ۳-۵ ضرایب همبستگی پیرسون بین سزیم-۱۳۷و پذیرفتاری مغناطیسی ..... ۵۲
جدول ۳-۵ ضرایب همبستگی پیرسون بین سزیم-۱۳۷و اجزای مختلف شن ..... ۵۳
جدول ۳-۶ برخی خصوصیات فیزیکی وشیمیایی خاک در پروفیل مرجع ..... ۶۴
جدول۳ - ۷ درصد هدر رفت یا زیاد بود سزیم-۱۳۷و میزان نرخ فرسایش یا رسوب در نقاط مورد مطالعه ..... ۶۶
جدول ۳-۸ مقایسه میانگین ویژگی‌های مورد مطالعه در مناطق فرسایش و رسوب‌گذاری ..... ۷۰
جدول ۳-۹ مقایسه میانگین ویژگی‌های مورد مطالعه در مناطق مرجع و فرسایش ..... ۷۰
جدول ۳-۱۰ مقایسه میانگین ویژگی‌های مورد مطالعه در مناطق مرجع و رسوب‌گذاری ..... ۷۰

## چکیده

فرسایش بادی یکی از اصلی‌ترین فرآیندهای تخریب اراضی و یکی از جدی‌ترین مشکلات محیط زیست در مناطق خشک و نیمه خشک است. نسبت سطوح مناطق تحت تأثیر فرسایش بادی در ایران بیش از ۶ برابر متوسط جهانی است. بنابراین کنترل فرسایش بادی در مناطق خشک ایران که مشکلات محیط زیست جدی دارند سخت است. در این تحقیق روش سزیم-۱۳۷ برای محاسبه نرخ فرسایش بادی استفاده شد. سزیم-۱۳۷ یک عنصر رادیواکتیو مصنوعی باتشعشع گاما و نیمه عمر ۳۰/۲ سال می‌باشد که در سال‌های ۱۹۵۰-۱۹۷۰ در اثر انفجارهای هسته‌ای همراه با بارش باران وارد زمین شد. سزیم فرونشسته روی زمین، به شدت جذب سطحی رس و ماده آلی شده و در افق‌های سطحی متمرکز می‌شود. تحرک آن در خاک به‌صورت شیمیایی و بیولوژیکی بسیار کند است و فقط به صورت فیزیکی از قبیل فرسایش و خاکورزی حرکت می‌کند. در منطقه سگزی واقع در شرق اصفهان، به علت بهره‌برداری نامناسب از معادن رس و گچ شدت فرسایش بادی افزایش یافته است. بنابراین هدف این تحقیق برآورد نرخ فرسایش بادی و همچنین ارزیابی همبستگی بین خصوصیات فیزیکوشیمیایی و پذیرفتاری مغناطیسی با سزیم-۱۳۷ به عنوان شاخصی از فرسایش بادی در طول ترانسکت شمال شرقی- جنوب غربی عبوری از سگزی واقع در منطقه شرق اصفهان انجام شد. در این بررسی، در طول ترانسکت شمال شرقی- جنوب غربی به طول ۴۲ کیلومتر ۱۶ نقطه انتخاب شد و ۸۰ نمونه از ۵ عمق ۰-۵، ۵-۱۰، ۱۰-۲۰، ۲۰-۳۰ و ۳۰-۵۰ آنالیز شد. علاوه بر این ۲۰ نمونه خاک از نقاط رفرنس برای محاسبه هدررفت خاک و رسوب برداشته شد .نمونه‌های خاک در آزمایشگاه هوا خشک و از الک ۲ میلی‌متری رد شد. نمونه‌های ۵۰۰ گرمی در ظرف مارینلی برای آنالیز سزیم-۱۳۷ با استفاده از دستگاه اسپکترومتری اشعه گاما مورد استفاده قرار گرفت. پارامترهای مغناطیسی نمونه‌های خاک به‌وسیله دستگاه Bartington در فرکانس‌های ۰/۴۶ و ۴/۶ کیلوهرتز اندازه‌گیری شدند. نتایج به‌دست آمده نشان داد که در میان ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و مغناطیسی خاک، که با سزیم-۱۳۷ همبستگی معنی‌دار و مثبت نشان دادند، ماده آلی ($r=./۶۳^{**}$)، هدایت الکتریکی خاک ($r=۰/۶۲^{*}$)، درصد سیلت ($r=۰/۵^{*}$)، درصد رس ($r=۰/۶۳^{**}$)، پذیرفتاری مغناطیسی در فرکانس پایین ($r=۰/۵۹^{*}$)، پذیرفتاری مغناطیسی در فرکانس بالا ($r=۰/۵۵^{*}$) و پذیرفتاری مغناطیسی وابسته به فرکانس ($r=۰/۵^{*}$) بودند. همچنین خصوصیاتی که با سزیم همبستگی معنی‌دار و منفی نشان دادند درصد آهک ($r=-۰/۵۳^{*}$)، درصد شن ($r=-۰/۵۵^{*}$) و اسیدیته خاک ($r=-۰/۷^{**}$) بودند. نتایج محاسبات سزیم-۱۳۷ اغلب مناطق مورد مطالعه در بخش شمالی ترانسکت نرخ فرسایش بادی را از دامنه ۱۲/۹۰ تا ۴۶/۸۶ تن در هکتار در سال نشان داد. تأثیر عمده فرآیند فرسایش خاک در بخش شمالی ترانسکت مورد مطالعه به دلیل بهره‌برداری بیش از حد معادن گچ و فعالیت-های انسانی بود. در بخش جنوبی ترانسکت مورد مطالعه دامنه نرخ رسوب از ۷/۲۱ تا ۷/۶۴ مشاهده شد که احتمالاً تحت تأثیر افزایش پوشش گیاهی بود. این نتایج برگرفته از سزیم-۱۳۷ برای اولین بار نتایج قابل توجهی برای تحقیقات آینده در مورد فرسایش بادی در مناطق خشک ایران به‌دست آورد.



کلمات کلیدی: فرسایش بادی، رسوب، سزیم- ۱۳۷ و پذیرفتاری مغناطیسی.

# فصل اول
# مقدمه و بررسی منابع

## ۱-۱ مقدمه

فرسایش فرآیندی است که در آن ذرات خاک توسط عوامل فرساینده از بستر اصلی خود جدا شده و توسط یکی از عوامل انتقال دهنده به مکان دیگر حمل می‌شود. چنانچه عامل جداکننده ذرات آب، باد و یخچال باشد به ترتیب فرسایش آبی، بادی و یخچالی گویند[۱۶].

فرسایش بادی حاصلخیزی و قدرت تولیدی خاک را کاهش داده، موجب تغییر در شکل ظاهری زمین نما، کاهش سطح زیر کشت، تغییرات بافت خاک، کاهش آب قابل دسترس گیاه، تخریب ساختمان فیزیکی خاک، کاهش دید و افزایش ناراحتی‌های تنفسی و آلودگی محیط می‌شود. باد و ذرات حمل شده توسط باد می‌توانند، حیات، رشد، مقدار تولید و کیفیت محصولات زراعی و پوشش سبزینه‌ای گیاهان را کاهش دهد. از طرف دیگر ته‌نشست‌های رسوبات بادی سبب کاهش ظرفیت ذخیره منابع آب، جلوگیری از جاری شدن جویبارها و عدم زهکشی مناسب، خسارت به سیستم‌های توزیع آب، گل آلودکردن آب‌های سطحی، افزایش هزینه پالایش آب و انتقال مواد شیمیایی کشاورزی به داخل سیستم-های آب می‌شود [۲۶].

نسبت سطوح مناطق تحت تأثیر فرسایش بادی در ایران بیش از ۶ برابر متوسط جهانی است، واقعیتی که ناگفته ژرفای خطر و وخامت شرایط ایران را نشان می‌دهد. ۴۰ درصد از اراضی کشور تحت تأثیر

فرسایش کم یعنی زیر ۱۰ تن در هکتار در سال، ۲۵ درصد تحت تأثیر فرسایش متوسط (بین ۲۵ تا ۵۰ تن در هکتار در سال) و ۱۲ درصد تحت تأثیر فرسایش شدید یعنی بیش از ۵۰ تن در هکتار در سال قرار دارند. به هر حال، بر بنیاد مطالعاتی که با هدایت دفتر امور بیابان سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری کشور به انجام رسیده است ۱۲/۷ میلیون هکتار منطقه برداشت، ۱/۹ میلیون هکتار منطقه حمل و ۵/۰۶ میلیون هکتار منطقه رسوب است. بنابراین اولویت برنامه‌های مهار فرسایش بادی باید بر روی ۱۲/۷ میلیون هکتار عرصه‌های برداشت متمرکز شود. خوشبختانه، تنها ۶/۴ میلیون هکتار از عرصه‌های کشور به دلیل ملاحظات جمعیتی، صنعتی و یا زیربنایی تحت تهدید مستقیم فرسایش بادی قرار دارند که از این مقدار، ۲/۱ میلیون هکتار در شرایط بحرانی درجه یک (زیاد)، ۲/۲ میلیون هکتار در شرایط بحرانی درجه دو (متوسط) و ۲/۱ میلیون هکتار هم در شرایط بحرانی درجه سه (کم) طبقه‌بندی شده‌اند [۴۹].

حدود دو سوم مساحت ایران در اقلیم خشک و نیمه‌خشک قرار گرفته است که از نظر طول و عرض جغرافیایی با کمربند بیابانی جهان مطابقت دارد. همچنین، مساحت تقریبی بیابان‌های ایران حدود ۴۵۰ هزار کیلومترمربع برآورد شد. در ایران حدود ۱۰۰ میلیون هکتار از اراضی در معرض پدیده بیابان‌زایی هستند به طوری که حدود ۷۵ میلیون هکتار در معرض فرسایش آبی، ۲۰ میلیون هکتار در معرض فرسایش بادی و ۵ میلیون هکتار در معرض تخریب شیمیایی قرار دارند [۴۹].

استان‌هایی از کشور که حداقل قسمتی از آن‌ها در معرض فرسایش بادی قرار دارند عبارتند از: مرکزی، سمنان، خراسان، سیستان و بلوچستان، کرمان، هرمزگان، بوشهر، خوزستان، فارس، اصفهان و یزد [۴۹].

تخمین فرسایش بادی برای ارزیابی میزان و شدت بیابان‌زایی و اقدامات ضروری برای جلوگیری از بیابان‌زایی ضروری است. مدل‌های فرسایش بادی در تخمین فرسایش بادی عمومیت دارد اما محدودیت-های علمی و دقت آن‌ها نیز وجود دارد [۸۹].

پژوهشگران در سراسر دنیا از دیرباز در پی این بوده‌اند تا با استفاده از روش‌های مختلف بتوانند میزان فرسایش را دراراضی مختلف محاسبه نمایند. براین اساس روش‌های مختلفی از جمله مدل‌های فیزیکی، تجربی و مدل‌های ریاضی جهت نیل به این اهداف ابداع شده و در نقاط مختلف دنیا استفاده می‌شوند که هریک دارای محاسن و معایبی بوده‌اند. استفاده از این مدل‌ها بستگی به مشخصات اقلیمی و فیزیکی منطقه دارد. در این تحقیق، روش تجربی اندازه‌گیری پرتوزائی هسته سزیم-۱۳۷ برای محاسبه میزان فرسایش با استفاده از اندازه‌گیری تغییرات غلظت آن به‌کار گرفته شده است. تولید و پخش هسته پرتوزائی سزیم-۱۳۷ که جزء محصولات شکافت اورانیم است حاصل آزمایش‌های هسته‌ای دهه‌های ۱۹۵۰ و ۱۹۶۰ میلادی و حوادث هسته‌ای مانند حادثه چرنوبیل می‌باشد[۳۰].

## ۲-۱ کلیات

### ۱-۲-۱ فرسایش خاک

واژه «فرسایش» معادل «Erosion» به معنای «خوردگی مداوم» است. فرسایش بادی عبارت از کنده شدن، انتقال و رسوب مواد خاکی به‌وسیله باد می‌باشد. باد در صورتی فرسایش شدیدی را به‌وجود می‌آورد که از سرعت قابل ملاحظه‌ای برخوردار و مانع جدی در مسیرش وجود نداشته باشد. در مناطق لخت یا پوشش گیاهی بسیار پراکنده و به‌خصوص در اراضی وسیع بیابانی باد قادر به جابه‌جایی مقادیر زیادی مواد می‌باشد [۱]. فرسایش خاک یک فرآیند طبیعی است، ولی عواملی در تسریع فرآیند وتشدید آن دخالت دارند که نتیجه فعالیت های غیراصولی انسان در جریان تولید می‌باشد[۱۵].

فرسایش بادی تبعات ناخوشایند دارد که برخی از آن‌ها به شرح زیر می‌باشند:

- آلودگی هوا که باعث بیماری‌های تنفسی در انسان می گردد.
- تصادفات ناشی از کمی دید
- آسیب به مزارع کشاورزی
- کاهش عملکرد گیاه
- آلوده شدن آب رودخانه ها
- آسیب رساندن به تأسیسات و صنایع

### ۲-۲-۱ فرسایش بادی

فرسایش بادی یکی از اصلی‌ترین فرآیندهای تخریب اراضی و یکی از جدی‌ترین مشکلات اکوسیستم و محیط زیست در مناطق خشک و نیمه خشک است و فرسایش بادی از مهم‌ترین عوامل تخریب خاک و هدررفت خاک در این مناطق به شمار می رود [ ۹۰ و۹۱]. همچنین فرسایش خاک بوسیله باد یکی از اولین عامل‌های ایجاد بیابان شن و گسترش بیابان است [۸۹].

فرسایش بادی فرآیندی است که به سبب افزایش سرعت و در اثر تلاطم باد در سطح عاری از پوشش ایجاد می گردد. این وضعیت در زمین‌های با خاک نرم، لخت، خشک، صاف و دارای دانه‌بندی ریز بیشتر مشهود است. فرسایش بادی تابع دو دسته عمده از عوامل فرسایش‌زایی و فرسایش‌پذیری است. فرسایش‌پذیری به خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مربوط می‌شود، فرسایش‌زایی به فیزیک باد مربوط می‌شود [۲۴]. گرچه فرسایش آبی در مقیاس جهانی مهم‌تر و خطرناک‌تر از فرسایش بادی است ولی این بدین معنی نیست که فرسایش بادی در همه جا مسئله کم اهمیتی است، بلکه در دنیا مناطقی یافت می‌شود که در آن‌ها فرسایش بادی به اندازه بدترین فرسایش آبی خطرناک و مصیبت بار است [۲۹].

مناطق مستعد فرسایش بادی تقریباً با مناطق خشک تطابق داشته و نقاطی با بارندگی کمتر از ۲۵۰ تا ۳۰۰ میلی‌متر در سال را شامل می‌شود. البته استثنائاتی نیز وجود دارد، مثلاً در نواحی مرطوبی که کل بارش سالیانه آن‌ها در یک قسمت از سال تمرکز یافته و بقیه سال خشک و بدون باران است زمین نسبت به فرسایش بادی آسیب‌پذیر است[۴۹]. حدود ۳۶ درصد از خشکی‌های سطح زمین را مناطقی با آب و هوای خشک تشکیل می‌دهد از جمله کشورهایی که جزو این مناطق قرار دارند می‌توان استرالیا، چین، مصر، هندوستان، ایران، پاکستان، کشورهای آسیانه میانی و آمریکا را نام برد [۶۱].

در مناطق خشک به علت شرایط خاص محیطی و جوی از جمله کمی رطوبت نسبی، کمی نزولات جوی و پراکندگی نامناسب آن‌ها، تبخیر زیاد، تغییرات شدید حرارتی، شوری و قلیائیت، تراکم کم پوشش گیاهی، حساسیت خاک سطحی به فرسایش که به طور عمده شن‌های بدون ساختمان می‌باشند و فعال بودن بادهای فرساینده، شرایط برای وقوع فرآیند فرسایش بادی بسیار مناسب می‌باشد [۷].

فرآیندهای بادی، برای انجام عملیات خود به شرایط خاصی نیازدارند که هرچه شرایط مطلوب‌تر باشد، فرسایش با شدت و سرعت بیشتری انجام می‌پذیرد. بعضی از این شرایط به شرح زیرند:

۱- باد انرژی کافی برای انتقال مواد داشته باشد[ ۱۶].
۲- شرایط توپوگرافی منطقه مساعد باشد. مثلاً دشت‌های وسیع نقش مهمی در سرعت باد دارند.
۳- شرایط اقلیمی منطقه مساعد باشد.
۴- پوشش گیاهی در سطح زمین وجود نداشته باشد.
۵- رطوبت در مواد رسوبی سطح زمین وجود نداشته باشد.
۶- جهت وزش باد به صورت مایل با سطح زمین باشد. بادهای افقی و موازی با سطح زمین اثر شکل‌زایی بسیار کمی در سطح زمین دارند.

### ۱-۲-۳ انواع حرکت ذرات خاک توسط باد

ذرات خاک توسط باد به سه روش حرکت می‌کنند: جهش[۱]، خزش[۲] و شناوری در هوا[۳]

حرکت جهش‌گونه که اهمیت بیشتری در حرکت ذرات توسط باد دارد. دربرگیرنده بلندشدن و زمین خوردن ذره هاست و آغازگر مرحله خزش و شناوری نیز می‌باشد. دامنه گسترده‌ای از اندازه ذرات (سیلت و شن) بر اثر جهش به حرکت در می‌آیند. دانه‌های شن درشت و بسیار درشت بر اثر خزش حرکت می‌کنند زیرا اندازه آن‌ها بزرگتر از آن است که بر اثر نیروهای گردبادی بلند شوند. شناوری

---
[۱] Saltation
[۲] Creeping
[۳] Suspension

شامل بلند شدن ذره‌های به اندازه رس و سیلت تا ارتفاع زیاد در هوا می‌باشد که ممکن است تا فاصله زیادی نیز برده شود [۱۹ و۲۹].

جدول۱-۱ خصوصیات انواع حرکت ذرات خاک توسط باد [۱۹ و۲۹].

| نوع حرکت | دامنه اندازه ذرات (میلی‌متر) | درصد نسبت نوع حرکت * |
|---|---|---|
| خزش | ۰/۵ -۲ | ۵-۲۵ |
| جهش | ۰/۱ -۰/۵ | ۵۰-۷۵ |
| شناوری | ۰/۰۰۲ -۰/۱ | ۳-۴۰ |

* تخمین توسط فریریر[۱] (۱۹۹۰)

**۱-۲-۴ عوامل مؤثر بر فرسایش بادی**

فرسایش بادی به سرعت باد، دوره طوفانی و خصوصیات سطی خاک بستگی دارد [۶۲]. چپیل (۱۹۶۲) معادله‌ای جهت محاسبه فرسایش بادی برای ایالات غربی امریکا ارائه داده که به‌صورت زیر است:

$$E = f(I, C, K, V) \qquad (۱-۱)$$

در این معادله E مقدار فرسایش مطلق بر حسب تن در هکتار و I فرسایش‌پذیری خاک که درصد ذرات بزرگتر از ۰/۸۴ میلی‌متر است و با سرند خشک تعیین می‌گردد. C عامل اقلیم که به میانگین سرعت باد و میانگین رطوبت خاک روئین بستگی دارد و K ناهمواری سطح خاک و L پهنای معادل که فاصله در جهت وزش باد و فاصله‌ای که از فرسایش مصون می‌باشد. V مقدار معادل پوشش گیاهی که به نوع، مقدار پوشش و توجیه پوشش بستگی دارد [۲۰].

معادله WEQ در سال ۱۹۶۵ توسعه یافت و هم اکنون در امریکا مورد استفاده قرار می‌گیرد ولی به دلایل محدودیت‌هایی اخیراً معادله دیگری به نام WEPS [۲] ارائه گردیده است که فاکتورهای مختلفی را در نظر می‌گیرد که به طور کلی شامل خصوصیات ذاتی و موقتی است [۲۰].

**۱-۲-۵ خصوصیات مؤثر خاک بر روی فرسایش بادی**

خصوصیات خاک مؤثر بر فرسایش بادی می‌تواند به یکی از دو دسته زیر مربوط باشد [۲۰].

---

[۴] Fryear

[۱] Wind erosion prediction system

۱- خصوصیاتی که کم و بیش ثابت بوده و در طول زمان خیلی کم تغییر می‌کنند (خصوصیات ذاتی) مانند مقدار رس که تقریباً در طول زمان ثابت می‌ماند.

۲- خصوصیاتی که خیلی سریع تحت تأثیر اقلیم و مدیریت تغییر می‌کنند (خصوصیات موقتی) مانند وزن مخصوص ظاهری سطح خاک و مقدار کربن آلی و یا توزیع خاکدانه‌ها که سریعاً تحت تأثیر مدیریت تغییر می‌کنند.

**۱-۲-۵-۱ نقش ناهمواری و سنگریزه سطحی خاک**

پستی و بلندی‌های کوچک یکی از فاکتورهای اصلی مؤثر در فرسایش بادی در معادلات WEPS و WEQ می‌باشد. تحقیقات نشان داده است که فرسایش بادی به اثرات ناهمواری‌های اتفاقی و جهت‌دار حساس است و درصد زبری سطح خاک در کنترل فرسایش بادی اثر می‌گذارد. برآمدگی‌های به ارتفاع ۵۰ تا ۷۰ میلی‌متر فرسایش بادی را در یک خاک لومی شنی (SL) در مقایسه با سطح صاف خاک ۹۸ درصد کاهش می‌دهد [۶۰، ۷۹ و ۱۲۷]. عظیم زاده و همکاران (۱۳۸۰) نیز با بررسی ساختار سطحی در واحدهای مختلف ژئومورفولوژیک دشت یزد- اردکان به این نتیجه رسیدند که با کاهش درصد سنگریزه سطحی فرسایش پذیری خاک افزوده می‌شود [۲۴].

**۱-۲-۵-۲ نقش توزیع و اندازه خاکدانه‌ها**

آگاهی از توزیع اندازه ذرات خاکدانه‌های خشک نیز برای تخمین فرسایش بادی مورد نیاز می‌باشد، زیرا میزان فرسایش بادی با اندازه و مقدار خاکدانه‌های حساس به فرسایش موجود در سطح خاک ارتباط دارد. اثر توزیع اندازه خاکدانه‌های خشک به خوبی مشخص شده است و خاکدانه‌های بزرگتر از ۰/۸۴ میلی‌متر (از نظر قطر) معمولاً غیرقابل فرسایش توسط باد در نظر گرفته می‌شوند [۸۳ و ۱۰۴].

خاکدانه‌های موجود در سطح خاک به ویژه ذرات درشت‌تر برکنترل زبری تصادفی نقش مهمی دارند. از آن‌جا که خاکدانه‌های موجود در سطح خاک سرعت باد را تا ارتفاعی از سطح زمین به مقدار قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌دهد، هر تغییری در زبری تصادفی، اختلاف قابل توجهی درشدت فرسایش بادی ایجاد می‌کند. در این زمینه، توزیع اندازه ذرات و خاکدانه‌ها از طریق تأثیر بر زبری تصادفی بر شدت فرسایش بادی مؤثر است. فرسایش‌پذیری خاک براساس درصد خاکدانه‌های خشک بزرگتر از یک میلی‌متر نیز مورد ارزیابی قرار می‌گیرد(جدول ۱-۳). اگرچه دانشمندان مختلفی این قطر را قطر بحرانی خاکدانه‌ها ذکر نموده‌اند اما قطر ۰/۸۴ میلی‌متر توسط چپیل (زاخار ۱۹۸۲) در نظر گرفته شده است [۶۷ و ۹۸].

تحقیقات نشان داده است خاک‌های شنی بدون خاکدانه با دارا بودن یک درصد اندازه ذرات بزرگتر از ۰/۸۵ میلی‌متر نسبت به خاک‌هایی که دارای ۷۷ درصد از این ذرات می‌باشند صدمرتبه فرسایش‌پذیری بیشتری در برابر باد نشان می‌دهند [۱۰۳].

جدول ۱- ۲ حساسیت خاک به فرسایش بادی براساس درصد خاکدانه‌های بزرگتر از یک میلی‌متر [۸۵].

| کلاس | درصد خاکدانه‌های بزرگتر از یک میلی‌متر |
|---|---|
| فرسایش‌پذیری کم | >۵۰ |
| فرسایش‌پذیری متوسط | ۵۰- |
| فرسایش‌پذیری زیاد | <۵۰ |

داده‌ها از شیاتی [۱] (۱۹۶۵)، ذکر شده توسط زاخار [۲] (۱۹۸۲)

### ۱-۲-۵-۳ نقش رطوبت خاک

رطوبت خاک نیز بر روی حساسیت خاک نسبت به فرسایش بادی تأثیر می‌گذارد و دارای اثر مستقیم روی سرعت باد مورد نیاز برای شروع حرکت ذرات خاک می‌باشد. کریم زاده(۱۳۸۱) نشان داد که در طی فصل مرطوب که سطح خاک مرطوب و سرعت باد نسبتاً پایین می‌باشد، فرسایش بادی نمی‌تواند به عنوان یک مشکل بزرگ مطرح باشد زیرا مقدار رطوبت سطح خاک زیاد و سرعت باد از سرعت آستانه فرسایش کمتر می‌باشد [۲۶].

### ۱-۲-۵-۴ نقش پوشش گیاهی

پوشش گیاهی موجود در سطح خاک نیز در حفاظت خاک سطحی از فرسایش بادی تأثیر بسزایی دارد. تحقیقات نشان داده است ۴ درصد پوشش سطحی، ۱۵ درصد فرسایش بادی را در مقایسه با خاک بدون پوشش کاهش می‌دهد. وجود انواع گیاهان و کاه وکلش سبب می‌شود سرعت باد کاهش یافته و نتواند ذرات خاک را منتقل کند. پوشش گیاهی همراه با ساختمان خاک دو عامل مهم در هدررفت خاک به‌وسیله باد به شمار می‌روند [۵، ۵۶ و ۸۳]. کریم زاده(۱۳۸۱) نشان داد که مقدار مواد بادرفتی جمع‌آوری شده از سطح خاک‌های لخت بیشتر از رسوبات جمع‌آوری شده از سطح خاک‌های حفاظت شده به‌وسیله پوشش گیاهی است. زیرا که پوشش گیاهی سطح خاک را از عملکرد باد به‌وسیله کاهش سرعت باد و جلوگیری از برخورد مستقیم نیروی باد به ذرات فرسایش‌پذیری خاک حفاظت می‌نماید. از

---

[۱] Shiyatyi
[۲] Zachar