چکیده

بررسی شدت فرسایش و توزیع اندازه‌ی ذرات رسوب در فرسایش ناشی از رواناب در اراضی زراعی دیم

محمد علی‌گلی کلرود

آگاهی از توزیع اندازه‌ی ذرات رسوب برای پی‌بردن به کیفیت و وضعیت حاصلخیزی اراضی تحت فرسایش، پیش‌بینی میزان آلودگی منابع آب و عرصه‌ی ترسیب و نیز بررسی فرآیندهای انتقال ذرات مهم است. این مطالعه با هدف بررسی نقش دبی جریان و شیب بستر بر غلظت و توزیع اندازه ذرات رسوب ناشی از فرسایش شیاری در ایستگاه تحقیقات حفاظت خاک و آب دانشگاه تهران واقع در منطقه کوهین استان قزوین انجام شد. به این منظور، چهار دبی جریان ۰/۰۲۸، ۰/۰۸۳، ۰/۱۶۷ و ۰/۲ لیتر در ثانیه ($L\ s^{-1}$) در سه شیب یک، سه و پنج درصد مورد بررسی قرار گرفت. برای اجرای هر آزمایش، تعداد سه شیار با طول سه متر و با مقطع ذوزنقه‌ای با ابعاد قاعده‌ی پایین، قاعده‌ی بالا و ارتفاع به ترتیب برابر با ۵، ۱۲ و ۵ سانتی‌متر توسط قالب چوبی ایجاد شد و در انتهای شیار میانی، ناودان و ابزار جمع‌آوری رواناب و رسوب نصب گردید. قبل از انجام هر آزمایش، خاک با یک جریان آرام غیر فرساینده به مدت حداقل ۱۰ ساعت اشباع گردید. در هنگام انجام هر آزمایش که به مدت سی تا چهل دقیقه ادامه یافت، ضمن عبور جریان از هر سه شیار، اندازه‌گیری‌ها فقط در شیار وسط انجام شد. رواناب خروجی در فواصل زمانی مختلف جمع‌آوری و غلظت و توزیع اندازه ذرات رسوب تعیین گردید. توزیع اندازه ذرات بستر نیز قبل و بعد از انجام آزمایش اندازه‌گیری شد. به منظور بررسی تکرارپذیری و تاثیر فصول، کلیه آزمایش‌ها در دو فصل پاییز و بهار انجام شد. نتایج این مطالعه به گونه‌ای موید نتایج کارهای آزمایشگاهی مشابه مبنی بر (۱) کاهش غلظت رسوب در زمان و در نهایت رسیدن به یک حالت پایدار، (۲) افزایش غلظت رسوب با افزایش دبی جریان در هر شیب و همچنین با افزایش شیب بستر در هر دبی جریان، (۳) وجود یک الگوی انتخابی در انتقال ذرات خاک توسط جریان که وابسته به شرایط هیدرولیکی جریان است و (۴) انتقال ذرات با اندازه‌های متفاوت توسط مکانیسم‌های مختلف انتقال بوده است. نتایج بیانگر تغییرات دینامیک غلظت و توزیع اندازه ذرات رسوب با دبی جریان و شیب بستر است.

کلید واژه‌ها: تولید رسوب، خاکدانه، شیب بستر، هیدرولیک جریان

Abstract

The study of erosion rate and sediment size distribution under flow erosion in dry farming fields

Mohammad Aligoli

The knowledge of sediment size distribution is very important for assessment of on-site effects of soil erosion on soil fertility and quality, predicting of water resources and depositional site pollution, and also for studying the processes of particle transportation. This research was conducted to study the effects of flow rate and slope steepness on sediment concentration and size distribution in rill erosion at the Soil and Water Conservation Research Station of Tehran University located in Kuhin, Qazvin province. Experiments were performed under four flow rates of 0.028, 0.083, 0.167 and 0.2 liter per second ($L\ s^{-1}$) at three slopes of 1, 3 and 5%. For each experiment, three trapezoidal rills were preformed along the slope. The length, depth, bottom and top width of the rills were 3, 0.05, 0.05 and 0.12 m, respectively. Soil was saturated for at least 10 hours before each experiment with a very gentle flow. Runoff samples were collected periodically from the the middle rill, and analyzed for sediment concentration and sediment size distribution. All the experiments were repeated in two seasons of autumn and spring. The results of this field study confirmed the previously published laboratory results including; (i) sediment concentration reduces with time and reaches an almost steady state value, (ii) sediment concentration increases with increasing flow rate in each slope and with slope for a given flow rate, (iii) there is a size selective pattern for particle transportation which depends on the hydraulic conditions, and (iv) the particles of different sizes transport by different mechanisms. The results also showed dynamic changes in sediment concentration and particle size distribution.

Key words: Aggregate, Flow hydraulic, Sediment yield, Slope steepness.

بسم الله الرحمن الرحيم

دانشکده علوم کشاورزی
گروه علوم خاک
(فیزیک و حفاظت خاک)

بررسی شدت فرسایش و توزیع اندازه ذرات رسوب در فرسایش ناشی از رواناب در اراضی زراعی دیم

از:
محمد علی‌گلی کلرود

استاد راهنما:
دکتر حسین اسدی

استاد مشاور:
دکتر منوچهر گرجی

بهمن ماه ۱۳۹۰

تقدیم به:

او که همیشه همراه من است،

امام زمان (عج)،

پدر و مادر مهربانم و

خواهرم فاطمه و برادرانم مجید و میلاد

تقدیر و تشکر

خدا کمک می‌کند. انسان‌های خوب کمک می‌کنند. انسان‌های خوب از طرف خدا هستند. بنابراین خدا تنها کمک کننده است. خدایا شکر به خاطر تمام کمک‌هایی که به بنده حقیر خود کردی.

از استاد راهنمای محترم جناب آقای دکتر حسین اسدی که بنده را در مراحل مختلف این تحقیق صمیمانه یاری نمودند تشکر می‌کنم. از استاد مشاور محترم جناب آقای دکتر منوچهر گرجی به دلیل همکاری و مساعدتشان تشکر می‌کنم.

قدردانی خود را از اساتید مدعو آقایان دکتر محمود شعبان‌پور و دکتر حسن رمضان‌پور که زحمت بازخوانی این پایان‌نامه را بر عهده داشتند، اعلام می‌دارم. همچنین از سایر اساتید گروه خاکشناسی آقایان دکتر پیروز عزیزی، دکتر مهدی عاکف و دکتر اکبر فرقانی که در کلاس خود، گوهر خاک را به من شناساندند قدردانی می‌کنم. از کارشناسان محترم مجموعه آزمایشگاه‌های گروه خاکشناسی، آقایان مهندس انصاری و مهندس زینعلی و سرکار خانم مهندس معلمی کمال تشکر را دارم. از پرسنل محترم ایستگاه تحقیقات حفاظت خاک و آب دانشگاه تهران آقایان مهندس چگینی، مهندس زاجکانی و پدر بزرگوارشان و همچنین آقای سلیمانی سپاس‌گذارم. از تمامی همکلاسی‌های مهربانم در دوره‌ی کارشناسی و کارشناسی ارشد که ذکر نام یکایک آن‌ها میسر نیست تشکر و قدردانی می‌کنم.

محمد علی‌گلی کلرود
بهمن ماه ۱۳۹۰

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

چکیده فارسی ..... د
چکیده انگلیسی ..... ذ
مقدمه ۱

فصل اول: کلیات و بررسی منابع

۱-۱- فرسایش خاک ۴
۱-۱-۱- فرسایش زمین‌شناسی ۵
۱-۱-۲- فرسایش تشدیدی ۵
۱-۲- فرایندهای فرسایش ۵
۱-۲-۱- فرایندهای ناشی از بارندگی ۵
۱-۲-۲- فرایندهای ناشی از جریان ۶
۱-۳- رسوب ۶
۱-۳-۱- اثر درجه شیب بر مقدار و نوع رسوب ۷
۱-۳-۲- اثر دبی جریان بر مقدار و نوع رسوب ۹
۱-۴- مدل‌سازی فرسایش خاک ۱۱
۱-۴-۱- مدل WEPP ۱۱
۱-۴-۱-۱- معادله پیوستگی انتقال رسوب ۱۲
۱-۴-۱-۲- فرسایش بین‌شیاری ۱۲
۱-۴-۱-۳- فرسایش شیاری ۱۳
۱-۴-۲- مدل GUEST ۱۴
۱-۴-۲-۱- مبنای بیان فرسایش و انتقال ذرات ۱۴
۱-۴-۲-۲- فرایندهای فرسایش و ترسیب ۱۵
۱-۴-۲-۳- محاسبه غلظت رسوب ۱۵
۱-۴-۳- مدل EUROSEM ۱۷
۱-۴-۳-۱- مفهوم اصلی مدل ۱۷
۱-۴-۳-۲- جدا شدن ذرات توسط رواناب ۱۸
۱-۵- هیدرولیک جریان‌های سطحی ۱۹
۱-۵-۱- انواع جریان‌های سطحی ۱۹
۱-۵-۲- عدد رینولدز و عدد فرود ۱۹
۱-۵-۳- میانگین سرعت ۲۰
۱-۵-۴- تنش برشی بحرانی ۲۱
۱-۵-۴-۱- مفهوم تنش برشی بحرانی ۲۱
۱-۵-۴-۲- تعیین تنش برشی بحرانی از روی نمودار شیلدز ۲۱
۱-۵-۴-۳- اثر شیب بر تنش برشی بحرانی ۲۲

۱-۵-۵- قدرت جریان آستانه ۲۳

فصل دوم: مواد و روش‌ها

۲-۱- مراحل تحقیق ۲۵
۲-۲- مکان اجرای تحقیق ۲۵
۲-۳- نمونه‌برداری از خاک و آماده‌سازی نمونه‌ها ۲۶
۲-۴- روش‌های اندازه‌گیری ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک ۲۶
۲-۴-۱- جرم مخصوص توده خاک (ρ_b) به روش کلوخه ۲۶
۲-۴-۲- جرم مخصوص ذرات خاک (ρ_s) ۲۷
۲-۴-۳- توزیع اندازه ذرات اولیه (بافت خاک) ۲۷
۲-۴-۴- توزیع اندازه ذرات ثانویه یا ارزیابی پایداری خاکدانه‌ها به روش الک تر ۲۹
۲-۴-۵- pH خاک ۳۰
۲-۴-۶- EC خاک ۳۰
۲-۴-۷- ماده آلی خاک ۳۰
۲-۴-۸- کربنات کلسیم معادل خاک ۳۱
۲-۵- اندزه‌گیری نفوذپذیری خاک ۳۱
۲-۶- تیمارهای آزمایشی ۳۲
۲-۷- مراحل انجام آزمایش ۳۲
۲-۷-۱- آماده‌سازی بستر آزمایش ۳۲
۲-۷-۲- شبیه‌سازی جریان ۳۳
۲-۷-۳- اندازه‌گیری‌ها ۳۳
۲-۷-۴- تعیین آستانه حرکت ذرات ۳۳
۲-۸- تجزیه و تحلیل نتایج ۳۴
۲-۸-۱- توزیع اندازه رسوب ۳۴
۲-۸-۲- توزیع اندازه بستر ۳۶
۲-۸-۳- غلظت رسوب ۳۶

فصل سوم: نتایج و بحث

۳-۱- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک ۳۹
۳-۲- نفوذپذیری خاک ۴۰
۳-۳- ویژگی‌های هیدرولیکی ترکیب‌های تیماری مورد آزمایش ۴۱
۳-۴- نتایج آزمایش‌ها ۴۳
۳-۴-۱- نتایج آزمایش‌های نوبت اول (پاییز) ۴۳
۳-۴-۱-۱- غلظت رسوب ۴۳
۳-۴-۱-۲- مقایسه غلظت رسوب اندازه‌گیری شده با غلظت رسوب برآوردی ۴۴
۳-۴-۱-۳- توزیع اندازه ذرات رسوب ۴۶
۳-۴-۱-۴- توزیع اندازه ذرات بستر بعد از آزمایش ۵۲

۳-۴-۲- نتایج آزمایش‌های نوبت دوم (بهار) ۵۸
۳-۴-۲-۱- غلظت رسوب ۵۸
۳-۴-۲-۲- مقایسه غلظت رسوب اندازه‌گیری شده با غلظت رسوب برآوردی ۵۹
۳-۴-۲-۳- توزیع اندازه ذرات رسوب ۶۰
۳-۴-۲-۴- توزیع اندازه ذرات بستر بعد از آزمایش ۶۴
۳-۵- نتیجه‌گیری ۶۹
۳-۶- پیشنهادها ۷۲
منابع ۷۴

فهرست جدول‌ها

عنوان **صفحه**

جدول ۱-۱- رابطه‌ی بین سرعت جریان آب و اندازه‌ی مواد انتقال یافته ۹
جدول ۲-۱- کلاس‌های قطری (mm) ده‌گانه برای هر شیب ۳۵
جدول ۳-۱- نتایج تجزیه واریانس ویژگی‌های مورد بررسی ۳۹
جدول ۳-۲- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد بررسی ۳۹
جدول ۳-۳- معادلات مربوط به نفوذ تجمعی (cm) و سرعت نفوذ ($cm\ min^{-1}$) آب در خاک‌های مورد بررسی ۴۰
جدول ۳-۴- ویژگی‌های هیدرولیکی هر یک از ترکیب‌های تیماری ۴۲
جدول ۳-۵- سرعت سقوط کلاس‌های اندازه‌ای ذرات شیب‌های مورد بررسی به همراه سرعت سقوط میانگین هر شیب ۴۵

فهرست شکل‌ها

عنوان **صفحه**

شکل ۱-۱- انواع ذرات منتقله و حرکت آن‌ها در یک جریان ۶
شکل ۱-۲- جریان رواناب (q) و رسوب (q_s) در واحد عرض یک قطعه مسطح از طول (L) شیب ۱۵
شکل ۱-۳- فرایندهای افزاینده و کاهنده‌ی غلظت رسوب در یک بخش از جریان سطحی (e_i) شدت جداشدن ذرات ، (e_{di}) شدت جداشدن مجدد ذرات ، (r_{ei}) شدت کنده‌شدن ذرات ، (r_{ri}) شدت کنده‌شدن مجدد ذرات ، (d_i) شدت ترسیب ذرات ۱۵
شکل ۱-۴- رژیم‌های مختلف جریان براساس عدد رینولدز و عدد فرود که در آن D عمق جریان و U_{mean} میانگین سرعت جریان است ۲۰
شکل ۱-۵- نمودارهای نوع شیلدز برای تعیین آستانه‌ی حرکت ذره ۲۲
شکل ۲-۱- شمایی از منطقه مورد مطالعه ۲۵
شکل ۲-۲- شمایی کلی از سیستم اجرا شده بر روی زمین جهت انجام آزمایش ۳۲
شکل ۲-۳- مثالی از روش تعیین کلاس‌های قطری با مقدار برابر در خاک اصلی و تعیین درصد هریک از آن کلاس‌های اندازه‌ای در رسوب با استفاده از منحنی توزیع اندازه ذرات همان خاک ۳۶
شکل ۳-۱- منحنی توزیع اندازه ذرات ثانویه خاک سه شیب مورد مطالعه ۴۰
شکل ۳-۲- منحنی‌های الف) سرعت نفوذ و ب) نفوذ تجمعی آب در خاک سه شیب مورد مطالعه ۴۱
شکل ۳-۳- تغییرات غلظت رسوب با زمان در شیب الف) یک درصد، ب) سه درصد و پ) پنج درصد تحت دبی جریان‌های متفاوت در فصل پاییز ۴۳
شکل ۳-۴- مقایسه غلظت رسوب اندازه‌گیری شده با برآوردی در شیب الف) یک درصد، ب) سه درصد، پ) پنج درصد در فصل پاییز ۴۴
شکل ۳-۵- تغییرات توزیع اندازه ذرات رسوب با زمان در شیب یک درصد تحت دبی جریان‌های مختلف در فصل پاییز ۴۶
شکل ۳-۶- تغییرات توزیع اندازه ذرات رسوب با زمان در شیب سه درصد تحت دبی جریان‌های مختلف در فصل پاییز ۴۸
شکل ۳-۷- تغییرات توزیع اندازه ذرات رسوب با زمان در شیب پنج درصد تحت دبی جریان‌های مختلف در فصل پاییز ۴۹
شکل ۳-۸- توزیع اندازه ذرات رسوب در دقیقه‌ی اول آزمایش در شیب الف) یک درصد و ب) سه درصد تحت دبی جریان‌های متفاوت در فصل پاییز ۵۱
شکل ۳-۹- توزیع اندازه ذرات بستر در فواصل مختلف از ابتدای شیار در شیب یک درصد تحت دبی جریان‌های مختلف در فصل پاییز ۵۲
شکل ۳-۱۰- توزیع اندازه ذرات بستر در فواصل مختلف از ابتدای شیار در شیب سه درصد تحت دبی جریان‌های مختلف در فصل پاییز ۵۳
شکل ۳-۱۱- توزیع اندازه ذرات بستر در فواصل مختلف از ابتدای شیار در شیب پنج درصد تحت دبی جریان‌های مختلف در فصل پاییز ۵۴
شکل ۳-۱۲- میانگین توزیع اندازه ذرات بستر و توزیع اندازه ذرات رسوب در شیب یک درصد تحت دبی جریان‌های مختلف در فصل پاییز .. ۵۵
شکل ۳-۱۳- میانگین توزیع اندازه ذرات بستر و توزیع اندازه ذرات رسوب در شیب سه درصد تحت دبی جریان‌های مختلف در فصل پاییز . ۵۶
شکل ۳-۱۴- میانگین توزیع اندازه ذرات بستر و توزیع اندازه ذرات رسوب در شیب پنج درصد تحت دبی جریان‌های مختلف در فصل پاییز .. ۵۷
شکل ۳-۱۵- تغییرات غلظت رسوب با زمان در شیب الف) یک درصد، ب) سه درصد و پ) پنج درصد تحت دبی جریان‌های متفاوت در فصل بهار ۵۸
شکل ۳-۱۶- مقایسه غلظت رسوب اندازه‌گیری شده با برآوردی در شیب الف) یک درصد، ب) سه درصد، پ) پنج درصد در فصل بهار ۵۹
شکل ۳-۱۷- تغییرات توزیع اندازه ذرات رسوب با زمان در شیب یک درصد تحت دبی جریان‌های مختلف در فصل بهار ۶۰
شکل ۳-۱۸- تغییرات توزیع اندازه ذرات رسوب با زمان در شیب سه درصد تحت دبی جریان‌های مختلف در فصل بهار ۶۱
شکل ۳-۱۹- تغییرات توزیع اندازه ذرات رسوب با زمان در شیب پنج درصد تحت دبی جریان‌های مختلف در فصل بهار ۶۲

شکل ۳-۲۰- توزیع اندازه ذرات رسوب در دقیقه‌ی اول آزمایش در شیب الف) یک درصد و ب) سه درصد تحت دبی جریان‌های متفاوت در فصل بهار ۶۳
شکل ۳-۲۱- توزیع اندازه ذرات بستر در فواصل مختلف از ابتدای شیار در شیب یک درصد تحت دبی جریان‌های مختلف در فصل بهار ۶۴
شکل ۳-۲۲- توزیع اندازه ذرات بستر در فواصل مختلف از ابتدای شیار در شیب سه درصد تحت دبی جریان‌های مختلف در فصل بهار ۶۵
شکل ۳-۲۳- توزیع اندازه ذرات بستر در فواصل مختلف از ابتدای شیار در شیب پنج درصد تحت دبی جریان‌های مختلف در فصل بهار ۶۶
شکل ۳-۲۴- میانگین توزیع اندازه ذرات بستر و توزیع اندازه ذرات رسوب در شیب یک درصد تحت دبی جریان‌های مختلف در فصل بهار ... ۶۷
شکل ۳-۲۵- میانگین توزیع اندازه ذرات بستر و توزیع اندازه ذرات رسوب در شیب سه درصد تحت دبی جریان‌های مختلف در فصل بهار .. ۶۷
شکل ۳-۲۶- میانگین توزیع اندازه ذرات بستر و توزیع اندازه ذرات رسوب در شیب پنج درصد تحت دبی جریان‌های مختلف در فصل بهار ... ۶۸

فرسایش خاک که به اشکال گوناگون رخ می‌دهد و طی آن ذرات و اجزای تشکیل‌دهنده‌ی خاک تحت تاثیر یک عامل یا نیروی فرساینده از بستر اصلی خود جدا شده و به مکانی دیگر منتقل می‌گردند [رفاهی، ۱۳۸۵]، پیامدهای زیادی در درون و برون عرصه-ی فرسایش به دنبال دارد. اغلب اثرات درون یا برون عرصه‌ای از نتایج منفی فرسایش خاک هستند و ما را در اجرای اعمال بازدارنده و حفاظتی در برابر فرسایش خاک ملزم می‌کنند. شناسایی و بررسی نوع و مقدار رسوب تولید شده که تقریبا یکی از مهم‌ترین پیامدهای فرسایش خاک می‌باشد، از درجه‌ی اهمیت بالایی برخوردار است. رسوب بعد از انتقال از عرصه‌ی فرسایشی بر حسب نوع و مقدار می‌تواند موجب تخریب (انتقال رسوب دانه‌درشت ناشی از فرسایش خندقی) یا در بلندمدت بازسازی (انتقال رسوب دانه‌ریز ناشی از فرسایش ورقه‌ای و شیاری) اراضی، کاهش ظرفیت مخازن سدها و به دنبال آن کاهش کارایی آن‌ها در ذخیره‌سازی آب و تولید انرژی، افزایش آلودگی منابع آب و اثرات مخرب ناشی از آن، تخریب زیرساخت‌ها و مواردی از این دست گردد [رفاهی، ۱۳۸۵]. تولید رسوب و آلودگی‌های محیط‌زیستی مهم‌ترین پیامد برون عرصه‌ای فرسایش خاک می‌باشد. فرسایش آبی تحت تاثیر بارندگی و رواناب رخ می‌دهد و بر این اساس در مطالعه‌ی این نوع فرسایش، فرآیندهای فرسایش به دو گروه فرآیندهای ناشی از بارندگی و فرآیندهای ناشی از جریان دسته‌بندی شده‌اند. آگاهی از توزیع اندازه‌ی ذرات رسوب تولیدی می‌تواند از جهات مختلفی نظیر پی بردن به کیفیت و وضعیت حاصلخیزی اراضی مبدا و مقصد، وضعیت آلودگی عرصه‌ی ترسیب و ویژگی‌های بستر، جریان و فرایند انتقال ذرات دارای اهمیت باشد [Asadi et al., 2007a,b].

به منظور جلوگیری از اثرات مخرب رسوب‌گذاری در اراضی کشاورزی و منابع آب، باید دید که در عرصه‌ی فرسایشی چه عواملی موجب تشکیل رسوب می‌گردند. بعد از شناسایی این عوامل آن‌ها را به طرفی هدایت کرد که رسوبی تشکیل نشود (حالت ایده آل که بیانگر حداقل هدررفت خاک و تولید رسوب است). به بیان دیگر، میزان رسوب تشکیل شده در حدی نباشد که موجبات تخریب اراضی و زیرساخت‌ها، آلودگی منابع آب و غیره را در عرصه‌ی ترسیب فراهم نماید. در مطالعات و آزمایش‌های بسیاری مشخص شده که فرسایش بین شیاری خاک فرایندی انتخابی است و در طی آن ذرات در اندازه‌ی رس و سیلت از بستر خاک اصلی منتقل می-شوند [Wan et al., 1998; Basic et al., 2002; Leguedois et al., 2004; Malam et al., 2006; Asadi et al., 2007a,b]. همچنین آزمایش‌های زیادی نیز نشان داده‌اند که در شرایط پایدار، توزیع اندازه‌ی ذرات رسوب تا حد زیادی به بستر اولیه‌ی خاک شباهت دارد [Beuselinck et al., 1999; Hogarth et al., 2004]. اسدی و همکاران [Asadi et al., 2007b, 2011] به این نتیجه رسیدند که در فرسایش شیاری (فرسایش ناشی از جریان) توزیع اندازه‌ی ذرات رسوب به صورت دو نمایی

بوده و شامل دو بخش ذرات خیلی ریز و متوسط تا درشت است. آن‌ها نتیجه گرفتند که مکانیسم‌های مختلف موجب انتقال ترجیحی ذرات با اندازه‌های مختلف می‌شوند.

بعلاوه، نتایج فوق در شرایط آزمایشگاهی حاصل شده‌اند و در بهترین حالت به عنوان مثال در تحقیق تروپ‌ون مرولد و همکاران [Tromp-van Meerveld et al., 2008] برای نزدیک شدن به شرایط طبیعت، از فلوم زهکش‌دار استفاده شده است. پژوهش حاضر با توجه به اهمیت و ضروریت‌های مذکور و با فرض این که مقدار و توزیع اندازه‌ی ذرات رسوب با شدت جریان و شیب زمین و در نتیجه فرآیندهای موثر در فرسایش رابطه دارد، با هدف بررسی اثر درجه شیب و دبی جریان بر نوع و مقدار رسوب تحت شرایط طبیعی صورت پذیرفت.

فصل اول

کلیات و بررسی منابع

۱-۱- فرسایش خاک

فرسایش خاک به فرایندی گفته می‌شود که طی آن ذرات و اجزای تشکیل دهنده‌ی خاک تحت تاثیر یک عامل یا نیروی فرساینده که منشا آن می‌تواند آب، باد، یخچال و یا نیروی ثقل باشد از بستر اصلی خود جدا شده و به مکانی دیگر منتقل می‌شود [رفاهی، ۱۳۸۵]. اگر عامل فرساینده‌ی خاک، آب باشد آن را فرسایش آبی می‌نامند که خود به انواع گوناگونی که در ادامه به برخی از آن‌ها اشاره می‌شود، گروه‌بندی می‌شود.

الف) فرسایش پاشمانی، در اثر برخورد قطرات باران با سطح خاک به وجود می‌آید و بیش‌ترین تاثیر را در جدا کردن ذرات دارد [رفاهی، ۱۳۸۵].

ب) فرسایش ورقه‌ای، در شرایطی که مقدار بارندگی بیش از ظرفیت انبارش رطوبتی خاک و گودال‌های سطح زمین، و شدت بارندگی بیش از ظرفیت نفوذ آب به خاک باشد، جریان غیر یکنواختی از آب که آبراهه مشخصی نمی‌توان برای آن تعیین کرد با ضخامت تقریبا یکسان در شیب تپه‌ها تشکیل می‌شود که به ندرت ذراتی با قطر بیش از یک میلی‌متر را انتقال می‌دهند [رفاهی، ۱۳۸۵].

پ) فرسایش شیاری، با حرکت آب از بالا به پایین شیب، جریان متمرکز شده و بر سطح خاک آبراهه تشکیل می‌دهد که اندازه‌ی ذرات منتقل شده در آن، به شدت جریان و اندازه‌ی شیار بستگی دارد [رفاهی، ۱۳۸۵].

ت) فرسایش خندقی، با ادامه‌ی جریان در قسمت‌های پایین‌تر شیب، آبراهه‌های دائمی که جریان موقتی به همراه مقدار زیادی رسوب با اندازه‌های گوناگون از آن عبور می‌نماید شکل می‌گیرند که برخلاف شیار توسط عملیات زراعی از بین نمی‌روند و و ادوات کشاورزی نمی‌توانند از عرض آن‌ها عبور نمایند [رفاهی، ۱۳۸۵].

ث) فرسایش عمودی، در این نوع فرسایش با شسته شدن تدریجی مواد کلوئیدی به عمق خاک، دو اتفاق مهم رخ می‌دهد، اول کاهش حاصلخیزی خاک و دوم تشکیل یک لایه با نفوذپذیری کم در عمق خاک که هر دو مورد باعث کاهش پوشش گیاهی در سطح و در نتیجه مستعد شدن خاک نسبت به فرسایش می‌گردد [رفاهی، ۱۳۸۵].

پدیده‌ی فرسایش خاک پیامدهای زیادی به دنبال دارد که مجموعه‌ی آن‌ها را می‌توان به دو دسته‌ی اثرات درون عرصه‌ای و برون عرصه‌ای حاصل از فرسایش گروه‌بندی کرد [رفاهی، ۱۳۸۵]. قابل ذکر است که در دسته‌ی اول اثراتی مثل کاهش کیفیت و توان تولید خاک، اختلال در نقش خاک در تنظیم چرخه‌ی آب، کاهش کارایی نقش بازیافتی خاک، کاهش تنوع زیستی ژنتیکی

خاک و غیره و در دسته‌ی دوم اثراتی مثل تخریب اراضی در اثر رسوب گذاری، کاهش ظرفیت آبراهه‌ها و مخازن، تخریب تاسیسات و سازه‌های مهندسی، آلودگی منابع آب و غیره قرار دارد [رفاهی، ۱۳۸۵].

۱-۱-۱- فرسایش زمین شناسی

فرسایش زمین‌شناسی منحصرا در اثر عوامل طبیعی نظیر باران، باد، یخبندان و غیره رخ داده و دشت‌های آبرفتی، تپه‌های شنی، دلتاها و غیره را به وجود می‌آورد، بنابراین انسان در ایجاد آن هیچ گونه دخالتی ندارد و در نوع متعارف آن، سرعت تشکیل خاک حداقل برابر با سرعت هدررفت خاک است [رفاهی، ۱۳۸۵].

۱-۱-۲- فرسایش تشدیدی

فرسایش تشدیدی با شروع بهره‌برداری انسان از زمین و به بیانی با شروع کشاورزی آغاز شده و مقدار آن بسیار بیش‌تر از فرسایش طبیعی می‌باشد. در این نوع فرسایش سرعت تشکیل خاک کم‌تر از سرعت هدررفت خاک می‌باشد [رفاهی، ۱۳۸۵]. جادسون [Judson, 1981] رسوبات ورودی به دریا را نسبت به سال‌های قبل از گسترش کشاورزی حدود ۲/۵ تا ۵ برابر تخمین زد. الدمن [Oldeman, 1991] بیش‌ترین تخریب اعمال شده بر خاک توسط انسان را در قاره‌ی آسیا گزارش کرده است. طبق نظر دودال [Dudal, 1981] سرعت فعلی تخریب اراضی باعث از بین رفتن غیر قابل برگشت آن می‌شود [به نقل از Lal, 1994].

۱-۲- فرایندهای فرسایش

۱-۲-۱- فرایندهای ناشی از بارندگی

فرایندهای فرسایشی ناشی از بارندگی را می‌توان به سه دسته تقسیم نمود که در ادامه به آن‌ها اشاره شده است [اسدی، ۱۳۸۴]:

الف) فرایندهای جداکننده که شامل؛ (۱) شکسته شدن خاکدانه‌ها که در اثر برخورد قطره‌ی باران و فرایند پوسته‌ای شدن رخ می‌دهد که در خاکدانه‌ها با پایداری کم، پوسته‌ای شدن و در خاکدانه‌ها با پایداری متوسط، برخورد قطره‌ی باران باعث این پدیده می‌گردد، (۲) سائیده شدن خاکدانه‌های با پایداری زیاد و (۳) ایجاد حفره است،

ب) فرایندهای منتقل کننده که شامل؛ (۱) پاشمان هوایی که در آن با برخورد هر قطره‌ی باران بر سطح خاک، ذرات به همراه قطرک‌ها از محل برخورد قطره به اطراف پرتاب می‌شوند، (۲) پاشمان جهشی که در ابتدای بارندگی، باعث انتقال ذرات خرد شده به اطراف می‌شود در حالی که قطره‌ی باران جذب خاک خشک می‌شود، (۳) پاشمان خزشی که در طی آن بعد از برخورد قطره‌ی

باران با سطح زمین، لایه‌ای متحدالمرکز از جریان با سرعتی بیش از سرعت برخورد قطره با سطح خاک از محل برخورد به طرفین حرکت می‌کند که باعث خزش ذرات بزرگتر و حرکت آن‌ها به اطراف می‌گردد و (۴) تعلیق است و

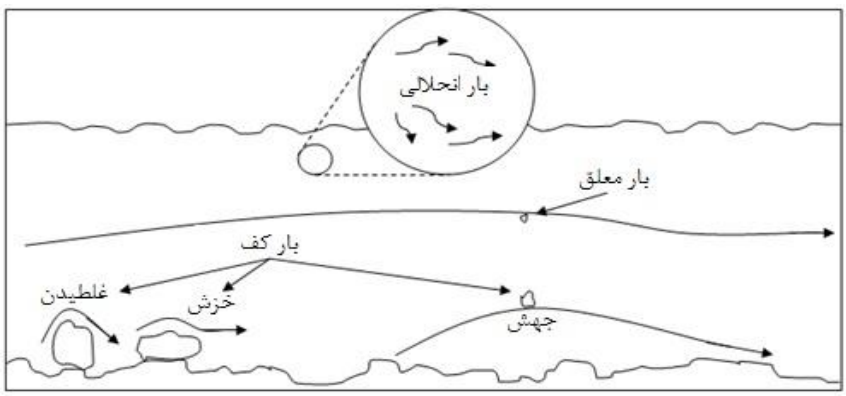
پ) فرایندهای جانبی که شامل؛ (۱) متراکم شدن لایه سطحی خاک و (۲) تشکیل اندوده سطحی است.

۱-۲-۲- فرایندهای ناشی از جریان

طرز عمل جریان توسط اثر لزوجت و نیروی ثقل نسبت به نیروهای اینرسی مشخص می‌شود و در بعضی شرایط نیروی کشش سطحی نیز ممکن است بر جریان موثر باشد [شفاعی، ۱۳۷۳]. هرگاه تنش برشی جریان بیش از مقاومت برشی خاک باشد، برداشت ذرات رخ می‌دهد [رفاهی، ۱۳۸۵]. بعد از برداشت، ذرات می‌توانند به یکی از روش‌های محلول، معلق و بار کف (شامل جهش، خزش و غلطیدن) حمل شوند (شکل۱-۱).

۱-۳- رسوب

به طور کلی در بحث فرسایش آبی، رسوب عبارت است از خاک فرسایش یافته‌ای که از حوضه خارج می‌شود. بارندگی و رواناب به عنوان دو عامل اصلی پدیده‌ی فرسایش آبی، می‌توانند در تولید رسوب موثر باشند. اما بارندگی بیش‌ترین اثر خود را بر روی جدایش ذرات می‌گذارد و فقط می‌تواند زمینه را برای شسته شدن ذرات فراهم نماید به طوری‌که در آزمایشی مشخص شد مقدار ذراتی که در اثر بارندگی جدا می‌شوند ۵۰ تا ۹۰ برابر مقداری هستند که توسط بارندگی انتقال خالص می‌یابند [رفاهی، ۱۳۸۵]. بنابراین نقش رواناب در تولید رسوب دارای اهمیت می‌باشد. ذرات و اجزایی که تحت تاثیر پدیده‌ی فرسایش در بستر اصلی خاک سست شده و قابل انتقال گشته‌اند، همان‌طور که در شکل ۱-۱ نشان داده شده است، می‌توانند توسط جریان آب به عنوان مهم‌ترین عامل منتقل کننده به سه صورت بار انحلالی، بار معلق و بار کف انتقال یافته و از حوضه خارج شده و رسوب را به وجود آورند [مهدوی، ۱۳۸۶].



شکل ۱-۱- انواع ذرات منتقله و اشکال حرکت آن‌ها در یک جریان [مهدوی، ۱۳۸۶]

رسوب تولید شده از دو منظر مقدار و توزیع اندازه‌ی ذرات آن قابل بررسی است. آگاهی از توزیع اندازه‌ی ذرات رسوب انتقال-یافته از سطح اراضی می‌تواند از جهات مختلفی دارای اهمیت باشد. نخست آنکه، اثر فرسایش بر کیفیت و وضعیت حاصلخیزی اراضی (اثر درون عرصه‌ای فرسایش) به ریزی و درشتی ذرات هدررفته بستگی دارد. دوم آنکه، توزیع اندازه ذرات رسوب وضعیت آلودگی منابع آب و عرصه‌ی ترسیب را مشخص می‌نماید. از میان مجموعه‌ی ذرات و اجزایی که وارد آب‌های سطحی شده‌اند ذرات و اجزای درشت زودتر و به آسانی ته نشین می‌شوند در حالی‌که ریزترها به ویژه سیلت ریز و رس موجبات گل آلودگی نسبتا طولانی مدت آب را فراهم می نمایند. اگر بخش اعظم رسوبات دانه ریز باشند، می‌توانند موجبات آلودگی شیمیایی را نیز فراهم کنند. ذرات ریز به دلیل حمل عناصر غذایی به درون منابع آب، آن‌ها را غنی کرده [Fukue et al., 1999] و اثراتی نظیر افزایش رشد گیاهان بر روی سطح آب و ایجاد پدیده‌ی شکوفایی و گسترش جلبکی دارند. سومین جنبه اینکه، با دانستن توزیع اندازه ذرات رسوب، ویژگی‌های بستر، جریان و فرایند انتقال تا حدی مشخص می‌شود [Asadi et al., 2007a,b]. همچنین مقدار رسوب تولید شده، شدت و ضعف هر یک از پدیده‌های فوق را بیان می‌کند.

مطالعات زیادی نشان داده است که فرسایش بین شیاری خاک یک فرایند انتخابی است و طی آن ذرات در اندازه‌ی رس و سیلت از بستر خاک اصلی منتقل می‌شوند [Wan et al., 1998; Basic et al., 2002; Leguedois et al., 2004; Malam et al., 2006; Asadi et al., 2007a,b]. آزمایش‌های زیادی نیز نشان داده‌اند که در شرایط پایدار، توزیع اندازه‌ی ذرات رسوب تا حد زیادی به بستر اولیه‌ی خاک شباهت دارد [Beuselinck et al., 1999; Hogarth et al., 2004]. اسدی و همکاران [Asadi et al., 2007b, 2011] به این نتیجه رسیدند که توزیع اندازه‌ی ذرات رسوب به صورت دو نمایی بوده و شامل دو بخش ذرات خیلی ریز و متوسط تا درشت است. آن‌ها نتیجه گرفتند که مکانیسم‌های مختلف موجب انتقال ترجیحی ذرات با اندازه‌های مختلف می-شوند. آزمون‌های فوق در شرایط آزمایشگاهی انجام شده‌اند و در بهترین حالت به عنوان مثال در تحقیق تروپون مرولد و همکاران [Ttomp-van meerveld et al., 2008] برای نزدیک شدن به شرایط طبیعت، از فلوم زهکش‌دار استفاده شده است.

عوامل زیادی هستند که نوع و مقدار رسوب را کنترل می‌نمایند یا به بیان دیگر اینکه از یک نوع ذره با اندازه‌ی مشخص چه مقدار می‌تواند در رسوب موجود باشد، تحت تاثیر شرایط مختلفی نظیر؛ (۱) مقدار در دسترس ذره در عرصه‌ی فرسایشی، (۲) امکان تولید ذره در طی پدیده فرسایش و (۳) انتخابی یا غیر انتخابی بودن فرایندهای انتقال ذرات قرار دارد [اسدی، ۱۳۸۴].

۱-۳-۱- اثر درجه‌ی شیب بر مقدار و نوع رسوب

هرچه بر مقدار درجه‌ی شیب (ویژگی بستر) افزوده شود مقدار فرسایش و تولید رسوب نیز افزایش می‌یابد البته این افزایش تا شیب‌های ۶۰ درجه مشاهده شده و بعد از آن مجددا کاهش می‌یابد [رفاهی، ۱۳۸۵]. بنابراین در صورت یکسان بودن سایر شرایط،

شیب‌های تند مولد رسوب بیش‌تری هستند که در این بخش می‌توان موارد زیر را به عنوان دلیل افزایش مقدار رسوب با افزایش درجه‌ی شیب معرفی نمود:

(۱) افزایش قدرت فرسایندگی جریان: با افزایش درجه‌ی شیب، جریان با سرعت بیش‌تری به طرف پایین جاری می‌شود و در نتیجه انرژی جنبشی و قدرت فرسایندگی آن بیش‌تر می‌گردد. گفتنی است که اگر شیب زمین چهار برابر افزایش پیدا کند، سرعت جریان و قدرت فرسایندگی آن به ترتیب دو و چهار برابر افزایش می یابند [رفاهی، ۱۳۸۵].

(۲) افزایش توان حمل جریان: با افزایش درجه‌ی شیب به عنوان یکی از عوامل موثر، توان حمل جریان بنابر معادله‌ی ۱-۱ افزایش می یابد:

$$Q = aV^6 \qquad (۱-۱)$$

که در آن؛ Q جرم ذره‌ی منتقل‌شده، a ضریب تناسب و V سرعت آبدوی است.

پس اگر سرعت جریانی دو برابر شود وزنی از ذرات که می تواند با جریان انتقال یابد ۶۴ برابر حالت قبل می‌شود [رفاهی، ۱۳۸۵].

(۳) افزایش مقدار عامل فرساینده: به دلایل زیادی نظیر کاهش ذخیره‌ی چالابی ، کاهش مقدار نفوذ و غیره در شیب‌های با درجه‌ی زیاد، حجم جریان بالا رفته که خود یک عامل فرساینده برای تخریب بستر است که می‌تواند با تخریب زیاد تحت شیب موجود، مقدار رسوب بیش‌تری را تولید نماید [رفاهی، ۱۳۸۵].

(۴) کاهش زبری بستر: زبری‌هایی که می‌توانستند هم جلوی افزایش سرعت جریان آب را بگیرند و هم با به دام انداختن مواد موجود در جریان، میزان رسوب تولیدی را کاهش دهند در اثر افزایش شیب به طرف پایین متمایل شده و سقوط می‌کنند که اگر این حرکت با جریان همراه باشد به دلیل عواملی نظیر؛ (الف) افزایش تلاطم جریان ناشی از غلطیدن ذرات بزرگ به طرف پایین دست شیب، (ب) احتساب خود ذره به عنوان یک بخشی از رسوب تولید شده، (پ) کاهش مقدار نفوذ جریان عبوری و افزایش سرعت آن به دلیل حذف زبری که این خود به معنی فراهم شدن بستر انتقال ذرات بزرگ‌تر می‌باشد و (ت) افزایش مقدار رسوب به دلیل حذف موانع موجود در سر راه جریان که این نیز به معنی فراهم شدن شرایط به منظور انتقال ذرات بزرگ‌تر است، مقدار تولید رسوب افزایش می‌یابد.