

شبیه سازی برخی از سازه های مکانیکی حفاظت آب و خاک در حوزه های آبخیز با استفاده از مدل EUROSEM

بهزاد قربانی^{۱*}

استاد یار گروه آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد؛ b_ghorbani@yahoo.com

چکیده

استفاده از روش های حفاظت آب و خاک در حوزه های آبخیز علاوه بر کاهش فرسایش خاک از حوزه سدها و کاهش تجمع رسوبات در دریاچه سدهای ذخیره ای ممکن است موجب اصلاح مراتع و غنی شدن آبخوان ها نیز بشود. تخمین غیر اصولی پارامترهای مربوط به سازه های مکانیکی رایج در حوزه های آبخیز نظیر ظرفیت، فاصله و پراکنش این سازه ها که ممکن است گاهی کمتر و یا بیشتر از مقدار واقعی باشد، موجب هدر رفت وقت و سرمایه می شود. در این مقاله با ارایه یک مدل جدید که بستر حوزه های هیدرولوژیک را با حفاظت و بدون حفاظت شبیه سازی می کند، امکان طراحی سازه های مکانیکی با دقت بیشتری میسر می شود. مدل مورد استفاده EUROSEM^۲ است که برای پیش بینی رواناب و فرسایش خاک در یک حوزه هیدرولوژیک با منظور کردن کلیه عوامل تهیه شده است. این مدل از نوع مدل های فیزیکی تک رخداد فراگیر^۳ است که با دریافت خصوصیات بارندگی، حوزه آبخیز و پوشش گیاهی که برخی از این عوامل ممکن است در زمانها و مکانهای مختلف، متفاوت باشند، داده ها را در قالب سه پرونده ورودی پردازش نموده و نتایج را در قالب سه پرونده خروجی نشان می دهد. این مدل با داده هایی که با روش مستقیم در حوزه های هیدرولوژیک با حفاظت و بدون حفاظت با برخی سازه های مکانیکی اندازه گیری شده بودند، واسنجی^۴ و اعتبارسازی^۵ گردید. نتایج نشان داد که مدل قادر است عوامل مهم هیدروگراف رواناب از جمله: حجم رواناب، دبی اوج و زمان رسیدن به اوج را برای پلات های حفاظت نشده و حفاظت شده با موفقیت شبیه سازی کند. لذا با انتخاب صحیح مقدار عوامل مؤثر در تولید و تشدید رواناب، امکان استفاده از مدل برای پیش بینی حجم رواناب و دبی اوج رواناب به منظور طراحی و مدیریت سازه های مکانیکی حفاظت آب و خاک در حوزه های آبخیز وجود خواهد داشت.

واژه های کلیدی: سازه های مکانیکی، شبیه سازی، حفاظت، رواناب، EUROSEM

مقدمه

آنها به نفع نسل های حال و آینده کوشید. در همین راستا مؤسساتی وابسته به دولت از جمله مؤسسه SCS به وجود آمدند که هدف آنها ارایه روش هایی برای

در دهه ۱۹۳۰ صحاری خشک و گردبادهای سخت به کشاورزان آمریکایی فهماند که خاک و آب دو عنصر ارزشمند و محدود هستند و باید در حفظ و حراست

۱- نویسنده مسئول، آدرس: چهارمجال و بختیاری، شهر کرد، کیلومتر ۳ جاده سامان، دانشگاه شهر کرد، دانشکده کشاورزی، گروه

مهندسی آب، صندوق پستی - ۱۱۵

* دریافت: ۸۴/۱۱/۱۴ و پذیرش: ۸۷/۱۰/۴

- 2- European Soil Erosion Model
- 3- Distributed Single Event
- 4- Calibration
- 5- Validation

عملیات شخم ذخیره ای روشی است که اخیراً ابداع شده است. در این عملیات، شخم هایی به عمق ۳۰ و به فاصله ۷۰ سانتی متر در سطح زمین ایجاد می شود که ضمن افزایش سرعت نفوذ آب به داخل خاک، ذخایر سطحی را افزایش می دهند (Hasheminia, 1994).

لوسیریکول و همکاران (۱۹۸۹)، احداث کانال های انبارش را برای کنترل رواناب سطحی، فرسایش و جلوگیری از نشت آب از کانال ها به پایین دست در اراضی کشاورزی که شیب آن ها بیش از ۲۹ در صد است، در امتداد خطوط تراز با فاصله های ۱۰ متر از یکدیگر پیشنهاد کردند.

در خاک های شنی و سیلتی، برای کنترل رواناب و فرسایش خاک در شیب های کمتر از ۴/۵ درجه پشته هایی با شیب کم نسبت به خطوط تراز احداث می شوند. در اراضی مرتعی نیز چاله های کوچکی حفر می شوند که ابعاد آنها ۵۰×۵۰ سانتی متر، عمق آن ها ۷/۵ سانتی متر و فاصله آن ها از یکدیگر ۴۵ سانتی متر است. این چاله ها پس از ۸ سال ۵۰ در صد و پس از ۲۸ سال ۹۰ در صد کارایی خود را از دست می دهند (نخجوانی، ۱۳۵۱).

اولیویرا و همکاران (۱۹۸۷) طی گزارشی مدعی هستند که در کار برد تلفیقی چاله ها و مالچ گیاهی رواناب کاهش و ضریب هدایت هیدرولیکی افزایش می یابد. لوسیریکول و همکاران (۱۹۸۹) در گزارشی نوشتند که در فرآیند فرسایش خاکی، میزان ذرات لای، رس و خاک فرسایش یافته از شیارهایی که فاقد مالچ بودند، حداکثر بوده و پس از آن شیارهایی که دارای ۴۰ و ۶۰ در صد مالچ داشتند و کمترین فرسایش نیز در شیارهایی که ۸۰ در صد مالچ داشتند، مشاهده گردید.

پشته های تراز پشته هایی هستند که به طول ۱/۵ تا ۲ متر که با فاصله ۱۰ تا ۲۰ متر در جهت عمود بر شیب احداث می شوند (Morgan, 1986). آب در بالادست این پشته ها جمع شده و به تدریج نفوذ می کند. ارتفاع، عرض و ظرفیت پشته ها بستگی به شیب زمین دارد.

گام نخست برای طراحی سازه های مکانیکی تخمین اوج شدت رواناب برای رگبارهایی با شدت و مدت مشخص است. در شرایطی که هیچ گونه اطلاعات هیدرومتری موجود نباشد، روش های متعددی از جمله روش استدلالی، شماره منحنی (SCS) و مدل های بسیاری برای تخمین دبی اوج پیشنهاد شده است. در بسیاری از این روش ها خصوصیات کیفی حوزه با ارقامی به

حفاظت آب و خاک، توصیه های لازم به کشاورزان و ابداع روش های نوین برای این منظور بود. به دنبال آن تحقیقاتی برای یافتن روش های جدید در سطح جهان و آمریکا اجرا شد که هم اکنون نیز ادامه دارد (Rivenrock, 2002)

برای حفاظت آب و خاک از طریق کاهش رواناب و فرسایش در حوزه های آبخیز، تکنیک های ویژه ای به کار می رود که ممکن است برخی از آن ها مکانیکی و برخی دیگر بیولوژیکی باشد. روش های مکانیکی بسیار زیاد و متنوع هستند و انتخاب نوع آن ها بستگی به هدف افزایش ذخیره سطحی آب در سطح زمین و یا کاهش سرعت رواناب دارد. با ایجاد سازه های ذخایر سطحی نظیر چاله های آبگیر، خرد حوضچه ها یا بندهای کوتاه امکان کاهش رواناب سطحی وجود دارد (Morgan and Rickson, 1990).

ایجاد مخازن سطحی نظیر انبارش چاله ای، خرد حوضچه و کار برد بقایای گیاهی و پشته های شکاری که هم اکنون در اراضی کشاورزی آمریکا مورد استفاده قرار می گیرد، می توانند رواناب را به قدر قابل توجهی کاهش دهند (Gilly and Kottwitz, 1994, Harold and Lewis, 1996, Hasheminia, 1994).

یکی از روش های جدید حفاظت آب و خاک احداث حصارهای زنجیره ای در زمین های مسطح شخم شده است. این روش به وسیله ایستگاه تحقیقات کشاورزی تکراس به منظور حفاظت آب باران توسعه یافته است که رواناب را به میزان ۴۰ در صد در مقایسه با زمین هایی که فاقد آن هستند، کاهش می دهد (Harold and Lewis, 1996).

شخم از لحاظ حفاظتی در بسیاری از خاک ها مفید است و باعث افزایش ناهمواری های سطح زمین و ایجاد بلندی هایی به ارتفاع ۱۲ تا ۱۴ سانتی متر می شود. هر چه ناهمواری سطح خاک افزایش یابد، فرسایش آبی و بادی کاهش می یابد. البته شخم در خاک های چسپنده موجب بهبود خاک و در خاک های غیر چسپنده باعث بهم ریختن ساختمان خاک می شود (Morgan, 1986)

- 1- Surface Storage
- 2- Pittings
- 3- Micro-Basins
- 4- Check Dams
- 5- Depression Storage
- 6- Furrow Diking
- 7- zhain Diking

- 8- Reservoir Tillage
- 9- Interception Ditches

سطح زمین با استفاده از یک زنجیر با حلقه های پنج میلی متری اندازه گیری شد.

برای انجام آزمایش های مربوط به حفاظت آب و خاک شش پلات دیگر به شکل جوی پشته به طول ۱۲، عرض ۰/۹ و ارتفاع ۰/۲ متر در نظر گرفته شد و سپس پلات ها تحت بارش قرار گرفت و با روش های چاله (در سه پلات)، بندهای کوتاه از جنس خاک مزرعه (در سه پلات دیگر) برای کاهش رواناب و فرسایش حفاظت گردید. چاله ها با فاصله های یک متر و به طول ۱۰، عرض ۱۰ و ارتفاع ۵ سانتی متر و بندها با فاصله های یک متر و به طول ۲۰، عرض ۱۰ و ارتفاع ۵ سانتی متر احداث شد. پاره ای از مشخصات پلات های آزمایشی را می توان در جدول (۱) ملاحظه نمود. با استفاده از داده های رواناب، منحنی های هیدروگراف مشاهده شده ترسیم و اجزاء آنها با اجزاء هیدروگراف پیش بینی شده به وسیله مدل EUROSEM مقایسه و با روش های آماری تجزیه و تحلیل شدند.

مدل EUROSEM

مدل اروپایی فرسایش خاک (EUROSEM) مدلی تک رخداد فراگیر است که برای پیش بینی رواناب و فرسایش خاک به وسیله آب از یک حوزه هیدرولوژیک تهیه شده است. این مدل که حاصل تلاش ۲۵ پژوهشگر از ۱۰ کشور اروپایی است و از حمایت مالی دبیرکل دوازدهمین کمیسیون جامعه مشترک اروپا بر خوردار است، می تواند برای سنجش خطر فرسایش و ارزیابی تأثیر روش های حفاظت خاک و آب بکار رود (Rickson, 1994, Ghorbani, 2007). این مدل با استفاده از میزان بارندگی یک حوزه و لحاظ کردن ذخیره برگاب^۲، حجم بارانی که از لابلای شاخ و برگ درختان گذشته و مستقیماً به زمین می رسد^۱، زهکش حاصل از شاخه ها و برگ و ساقه گیاهان^۳، حجم ذخایر سطحی خاک^۴، حجم رواناب و فرسایشی که به وسیله قطرات باران و جریان آب ایجاد می شود، دبی حمل رسوب و یا میزان رسوب گذاری را پیش بینی می کند.

این مدل برخلاف سایر مدل های مشابه علاوه بر شبیه سازی فرسایش شیاری^۵ و بین شیاری^۶ و انتقال رسوبات به شیارها، دبی رسوبات و رواناب را نسبت به

صورت کمی و انباشته بیان شده اند که ممکن است با واقعیت منطبق نباشند.

آنچه مهم است آنست که در اغلب مدل های موجود بر آورد رواناب و فرسایش خاک، تغییرات مکانی، زمانی و مورفولوژی بستر حوزه هیدرولوژیک شبیه سازی نشده است. ولی این تغییرات، در مدل اروپایی فرسایش خاک (EUROSEM)، در قالب یک سری عوامل ورودی مثل ضریب های زبری دیده شده است. لذا در این تحقیق هدف آن است که با شبیه سازی بستر حوزه و پیش بینی حجم رواناب و اوج شدت رواناب ناشی از یک شدت بارش با دوره برگشت مشخص، امکان پیش بینی ظرفیت مورد نیاز سازه های حفاظت آب و خاک بررسی شود. مدلی که برای این منظور به کار می رود، مدل اروپایی فرسایش خاک است، که به نظر می رسد قادر است حجم رواناب و اوج دبی را برای یک رگبار با شدت معلوم و دوره برگشت مشخص پیش بینی و سازه های مکانیکی حفاظت آب و خاک را شبیه سازی نماید.

مواد و روش ها

برای انجام آزمایش ها، تعداد سه پلات به شکل جوی پشته به طول ۱۲، عرض ۰/۹، و ارتفاع ۰/۲ متر در یک حوزه کوچک هیدرولوژیک واقع در سایت دانشگاه کرانفیلد انگلستان انتخاب شدند. پلات ها در محدوده تقریباً یکنواخت منحنی شدت پاشش باران ساز و در امتداد شیب طولی زمین احداث شدند. برای شبیه سازی باران از یک شبیه سازان باران با قطر نازل ۶ میلی متر و ارتفاع پایه ۱ متر استفاده شد. برای جمع آوری رواناب سطحی حاصل از مازاد بارندگی حفره ای در انتهای هر پلات ایجاد و پس از جمع آوری رواناب در یک ظرف با حجم معین در فواصل زمانی مشخص، شدت رواناب نسبت به زمان اندازه گیری شد.

برای تعیین برخی از عوامل فیزیکی خاک از سه نقطه در هر پلات ها و از اعماق ۱۰، ۲۰ و ۳۰ سانتی متر نمونه برداری شد و پس از انتقال نمونه ها به آزمایشگاه بر روی آنها آزمایش دانه بندی انجام شد و نوع بافت خاک، متوسط قطر ذرات و ضریب دانه بندی ذرات (Luthin, 1970) مشخص گردید. علاوه بر آن، سه نمونه خاک دست نخورده دیگر به آزمایشگاه منتقل و متوسط ضریب هدایت هیدرولیکی به روش بار ثابت اندازه گیری گردید. برای تعیین ناهمواریهای بستر پلات های آزمایشی، فاصله های واقعی و مستقیم نقاط در جهت شیب طولی و عرضی

3- Interception Storage

4 Direct Throughfall

5- Leaf Drainage and Stem Flow

6- Depression Storage

7- Rill Erosion

8- Interrill Erosion

1- Lumped

2- Coefficient of Gradation, $C_g = (D_{30})^2 / (D_{10} \times D_{60})$

مکان و زمان پیش بینی می کند (Morgan, et al., 1993).
 مبنای محاسبات در این مدل، معادله سینماتیک موجی^۱ به شرح زیر است:

$$\frac{\partial(AC)}{\partial t} + \frac{\partial(QC)}{\partial x} - e(x,t) = q_s(x,t) \quad (1)$$

که در آن: A سطح مقطع جریان (بر حسب m^2)، C غلظت رسوبات (m^3/m^3)، Q دبی (بر حسب m^3/s)، e شدت جدایش پذیری خالص ذرات^۲ یا شدت فرسایش خالص بستر در واحد طول جریان (بر حسب $m^3/s/m$) و x فاصله افقی از مبدأ (بر حسب m) و t زمان از شروع رواناب (s) و q_s دبی رسوبات ورودی از اطراف یک آبراهه در واحد طول جریان (بر حسب $m^3/s/m$) است که مقدار آن بر روی یک سطح شیبدار برابر صفر است. مقدار e از دو جزء زیر تشکیل شده است:

$$e = DR + DF \quad (2)$$

که در آن: DR شدت جدایش پذیری ذرات خاک به وسیله قطرات باران (بر حسب $m^3/s/m$) و DF شدت جدایی ذرات بوسیله جریان (بر حسب $m^3/s/m$) که مقدار آن در حالت حمل ذرات مثبت و در حالت ترسیب منفی است (۱۶) مقدار رواناب سطحی $Q(x,t)$ از حل معادله زیر به روش عددی به دست می آید:

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = W(R_i(t) - i(t)) = q \quad (3)$$

که در آن: $R_i(t)$ شدت بارندگی پس از کسر برگاب (بر حسب m/s)، $i(t)$ نفوذپذیری (بر حسب m/s) و W عرض جریان (بر حسب m) و q دبی رواناب جانبی (بر حسب $m^3/s/m$) است.

رواناب سطحی

در مدل EUROSEM، رواناب سطحی در امتداد واحدی از یک حوزه (سطح یا آبراهه) یک جریان یک بعدی است که در آن شدت جریان (Q) به شعاع هیدرولیکی (r) بستگی دارد:

$$Q = \alpha pr^m \quad (4)$$

که بر مبنای معادله مانینگ ضریب α برابر است با

$$\alpha = \frac{1}{n} S^{1/2} \quad (5)$$

که در آن: n ضریب زبری مانینگ، S شیب طولی، p محیط خیس شده (بر حسب m) و r شعاع هیدرولیکی (بر حسب m) است. در یک جریان سطحی چون عمق جریان

$$Q = \alpha h^m \quad (6)$$

پس از جایگزینی معادله فوق در معادله (۳)، شکل معادله برای واحد عرض جریان $w = 1$ و $r = h$ می شود [Ghorbani, 2006]:

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \alpha m h^{m-1} \frac{\partial h}{\partial x} = q(x,t) \quad (7)$$

در مدل EUROSEM معادلات سینماتیک موجی به روش عددی و با استفاده از تکنیک نیوتون رافسون حل می شوند (Woolhiser, et al., 1990, Pearson, 1983).

شرایط سطح خاک

سطح زمین ممکن است از دو نوع ناهمواری شکل^۳ و ناهمواری هیدرولیکی^۴ تشکیل شده باشد که هر دو در فرسایش خاک و جریان سطحی نقش دارند. ناهمواری شکل مبین حجم آبی است که در ذخایر سطحی زمین نگهداری می شود. ذخایر سطحی در بسیاری از مدل های هیدرولیکی منظور نشده است، ولی در مدل EUROSEM که می تواند سطوح مختلف از جمله سطوح ناشی از انواع شخم در سطح زمین و روش های حفاظتی آب و خاک را شبیه سازی کند، به کار رفته است (Morgan, et al. 1998). ناهمواری شکل که با دو عامل RFR^۵ (ناهمواری در امتداد شیب) و RAS (ناهمواری عمود بر شیب) بیان می شود، عبارت است از نسبت فاصله مستقیم بین دو نقطه بر روی زمین (X، متر) به فاصله واقعی بین آن دو نقطه (Y، متر) که در بر گیرنده تمام پستی ها و بلندهای سطح زمین است:

$$RFR = \frac{y-x}{y} \times 100 \quad (8)$$

حاصل معادله فوق با استفاده از فرمول زیر به عمق ذخایر سطحی (D، متر) تبدیل می شود.

$$D = \exp(-6.6 + 0.27RFR) \quad (9)$$

ناهمواریهای هیدرولیکی مربوط به بافت خاک است که با ضریب زبری مانینگ بیان می شود و برای پوشش سنگی نیز اصلاح می شود (Morgan, et al., 1998, Woolhiser, et al., 1990)

1- Kinematic Wave Equation

۲- جدایش پذیری خالص ذرات (e) عبارت است از مقداری از ذرات خاک که بر اثر انرژی قطرات باران یا رواناب سطحی از توده خاک جدا شده و با آب منتقل می شود.

3- Shape Roughness

4- Hydraulic Roughness

5- Roughness Along the Slope

6- Roughness Across the Slope

کاربرد مدل

رسوب نسبت به زمان) و تغییرات مکانی و زمانی رواناب و فرسایش برای هر واحد و کل حوزه می شود. پاره ایی از خروجی های کلی و مهم رواناب در جدول (۲) ارائه شده است. ضمناً چون مقوله رسوب خارج از موضوع این مقاله می باشد از نقل جزئیات آن صرف نظر می شود.

قبل از کاربرد مدل باید آن را با داده های موجود برای عوامل هیدروگراف رواناب از جمله حجم رواناب، دبی اوج (حداکثر شدت رواناب)، زمان شروع رواناب، زمان رسیدن به اوج و اسنجی و اعتبار سازی نمود. جدول (۲) نتیجه اعتبار سازی مدل را برای سه پلات آزمایشی جوی پشته بدون اعمال روش های حفاظت (شاهد) نشان می دهد. در این جدول مقادیر پیش بینی شده در برابر مقادیر مشاهده شده به روش آماری مقایسه و میانگین خطای مربعات (RMSE)، ضرایب کارایی (E) و همبستگی (R^2) آنها بیان شده است. بر اساس این جدول حجم رواناب و دبی اوج رواناب پیش بینی شده، که یک نقش کلیدی در طراحی سازه های مکانیکی حفاظت آب و خاک دارند، بیشترین همگرایی را با ارقام اندازه گیری شده نشان می دهند، ولی زمان شروع رواناب و زمان رسیدن به اوج از همگرایی کمتری برخوردارند. کویتن (۱۹۹۴) با حذف رواناب صفر از مشاهدات خود نتیجه گرفت که شبیه سازی زمان شروع رواناب توسط مدل نیز در حد قابل قبول و منطقی است. شکل (۲) نیز گواه بر این ادعا است که مدل شکل کلی هیدروگراف رواناب را به خوبی شبیه سازی کرده است. به عبارتی دیگر کلیه عوامل هیدروگراف های لحظه ایی سه پلات حفاظت نشده تقریباً با هم برابرند. علاوه بر آن منحنی های تجمعی پیش بینی شده و مشاهده شده سه پلات که مبین کل رواناب حاصل از هر پلات هستند نیز تقریباً با هم برابرند. اظهارات وولهایزر و همکاران (۱۹۹۰) و مورگان و همکاران (۱۹۹۸)، قربانی (۱۹۹۷)، خلیل مقدم (۱۳۸۰ و ۱۳۸۲) و حبیبیان (۱۳۸۳) نتایج این تحقیق را تأیید می کند.

تأثیر تکنیک های حفاظت آب و خاک روی رواناب

جدول ۳ تأثیر روش های مکانیکی حفاظت آب و خاک (بندهای کوتاه و چاله های آبگیر) را بر رواناب نشان می دهد. برای بررسی تأثیر روش های مختلف حفاظت آب و خاک بر رواناب از دو عامل RFR (ناهمواری در جهت شیب) و RAS (ناهمواری در جهت عمود بر شیب) و تقسیم حوزه هیدرولوژیک به چند حوزه همگن استفاده شد. حساسیت مدل EUROSEM به مقادیر مختلف RFR (۱، ۲۴، ۳۴، ۳۶ در صد) برای شدت بارش ۲۶ میلی متر در ساعت و ضریب هدایت

مدل EUROSEM را می توان در محدوده وسیعی از حوزه های خرد^۱ تا حوزه های کوچک هیدرولوژیک به کار برد. برای کاربرد مدل، سطح زمین را باید به صورت واحدهایی^۲ همگن متشکل از سطوح شبیدار، آبراهه های متعدد و یا تلفیقی از آن ها تقسیم نمود (شکل ۱). هر سطح شبیدار با یک طول و عرض و یک شیب متوسط مشخص می شود که طول آن همان مسیر حرکت جریان است. همگرایی و یا واگرایی جریان را می توان با واحدهایی که عرض آنها کم یا زیاد می شود، شبیه سازی کرد. واحدهایی که به صورت آبراهه هستند با طولی که متناسب با یک بعد سطح شبیدار منتهی به آنها است و خصوصیات هندسی آبراهه از قبیل عمق، عرض و شیب مشخص می شوند.

هر واحد باید از لحاظ خواص خاک، شیب و پوشش گیاهی و کاربری یکنواخت و همگن باشد. واحدها باید طوری مرتب شوند که طبق روال طبیعی به صورت ناودانی عمل کنند و جریان های سطحی و رسوبات در سطح زمین از بالاترین واحد به پایین ترین آن هدایت شوند. هر جا تغییراتی در بافت خاک، پوشش گیاهی، مدیریت خاک و تعداد آبراهه ایجاد می شود، باید تقسیماتی اضافی در سطح حوزه ایجاد شود (Quinton, 1994).

در مجموع سه نوع توپوگرافی را می توان با این مدل بر روی یک سطح شبیدار شبیه سازی کرد: سطوح بدون آبراهه با ناهمواری مشخص، آبراهه هایی که جریان های جانبی به آن ها می ریزند و سطوح شیار دار شبیه اراضی که با انواع گاوآهن شخم شده اند. علاوه بر آن تغییراتی که در ابعاد جریان (عمق و عرض جریان) و در مسیر آن بر اثر رسوب گذاری یا فرسایش ایجاد می شود در طول مدت رگبار توسط مدل شبیه سازی می شود. با توضیحات فوق اثرات روش های مختلف حفاظت آب و خاک از جمله شخم و شیارها، کانتور فاروها، چاله های آبگیر و تراستها و نوارهای شیب دار را می توان با این روش شبیه سازی کرد (Woolhiser, et al., 1990).

نتیجه گیری و بحث

مقایسه عوامل پیش بینی شده و مشاهده شده

خروجی های مدل EUROSEM شامل:

کل رواناب سطحی، کل فرسایش خاک، هیدروگراف رواناب، سدیگراف رسوب (منحنی شدت

حفاظت شده بود صفر نشان می دهد. اندازه گیریهای صحرایی مندرج در این جدول نیز این نتایج را اثبات می کند. البته این نتایج در حالی به دست آمده اند که پلات ها برای مدت ۲۰۰ دقیقه تحت بارش های ۳۶، ۴۱ و ۴۶ میلی متر در ساعت قرار گرفته اند. همان طور که شکل (۳) نشان می دهد، شرایط تمام پلات های آزمایشی در محدوده غیر حساس (یعنی $RFR < 24$) که بحرانی است قرار دارند. به عبارتی زمان شروع رواناب زودتر و در نتیجه حجم رواناب بیشتر است، و انتظار می رود که روانابی اتفاق بیافتد. ولی چنین وضعیتی به علت کار ساز بودن روش های حفاظت بروز نمی کند. زیرا همان طور که در جدول (۳) ملاحظه می شود، حجم پتانسیل رواناب در مدت ۲۰۰ دقیقه کمتر از ظرفیت پیش بینی شده سازه ها در تمام پلاتهای آزمایشی است. لذا می توان نتیجه گرفت که مدل EUROSEM با منظور کردن تغییرات مکانی و زمانی داده های ورودی در قالب واحد های مجزا و دیدن ناهموازی های طولی و عرضی سطح زمین به صورت دو عامل RFR و RAS، توانسته است سازه های مکانیکی را با موفقیت شبیه سازی کند. پیش بینی حجم رواناب توسط مدل این امکان را فراهم می سازد که ابعاد سازه مورد نظر را بر اساس آن طراحی کرد. نتیجه کلی آن که مدل EUROSEM قادر است هیدروگراف رواناب و اجزاء آن از جمله اوج هیدروگراف، زمان رسیدن به اوج و حجم کل رواناب در هر واحد و کل حوزه را با موفقیت پیش بینی کند. علاوه بر آن از شبیه سازی موفقیت آمیز روش های مختلف حفاظت آب و خاک توسط مدل می توان در جهت طراحی و مدیریت این سازه استفاده نمود.

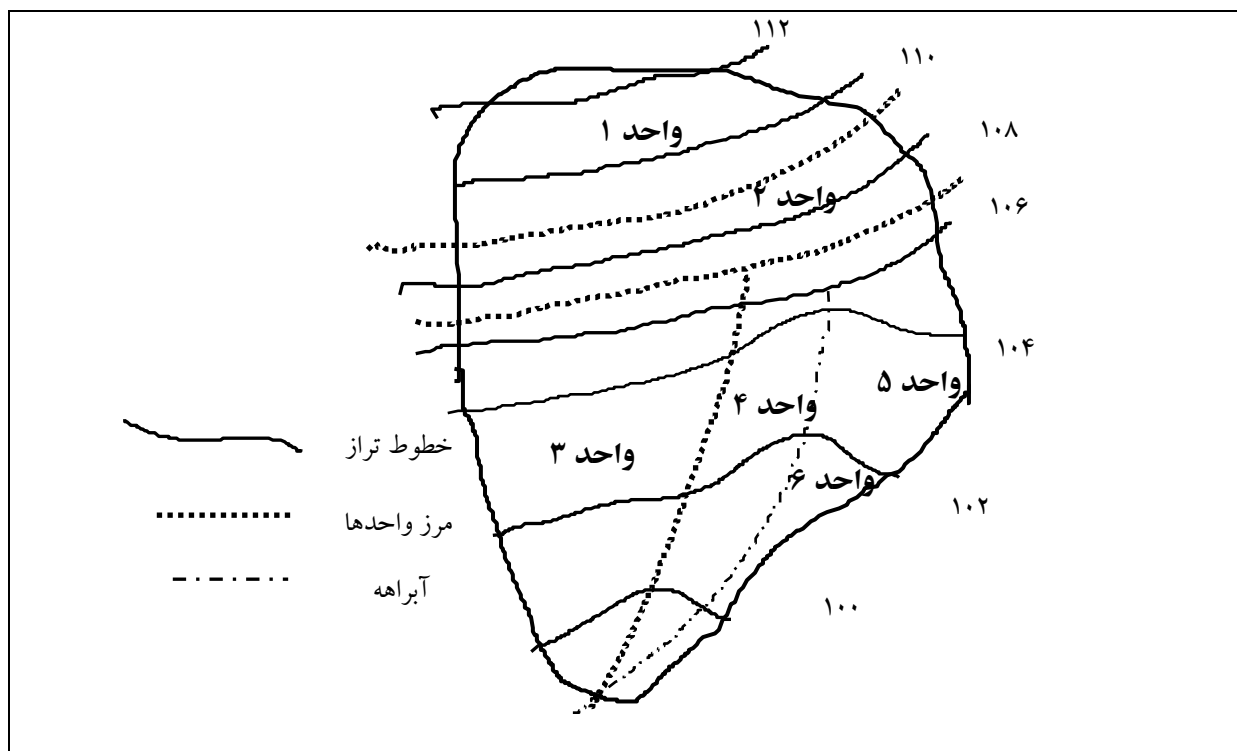
هیدرولیکی* (صفر) در شکل (۳) نشان داده شده است (سایر عوامل ثابت فرض شده است). همان طور که در این شکل ملاحظه می شود هر قدر مقدار ضریب RFR افزایش می یابد، در زمان شروع رواناب تأخیر ایجاد شده و حجم رواناب کاهش می یابد. این در حالی است که زمان پایان رواناب و اوج جریان ثابت و مستقل از مقادیر RFR است. به عبارتی پس از توقف بارش رواناب سیر نزولی داشته و شاخه نزولی تمام هیدروگرافها بر هم منطبق است. حساسیت مدل به مقادیر $RFR < 24\%$ کم ولی برای $RFR > 24\%$ قابل توجه است (Ghorbani, 1997) کویتنن نیز در سال ۱۹۹۴ حساسیت مدل را به عامل RFR بررسی و نتیجه گرفت که حساسیت مدل نسبت به RFR های کوچک کم است، مخصوصاً اوج جریان و زمان رسیدن به اوج به تغییرات RFR حساسیتی ندارند (Quinton, 1994).

حساسیت این مدل برای محدوده وسیعی از عامل RAS و برای شدت پاشش های ۱۴ تا ۱۰۰ میلی متر در ساعت نیز بررسی شد. مشاهدات نشان داد که حجم رواناب حساسیتی به تغییرات RAS ندارد و تأثیر پذیری سایر پارامترها، از جمله اوج رواناب نیز قابل اغماض است. در مجموع تأثیر RFR بر روی رواناب بیشتر از RAS است. زیرا این عامل وضعیت ناهموازی را در امتداد شیب که رواناب در آن جریان دارد، بیان می کند. مقادیر مختلف RFR و RAS مربوط به روش های مختلف حفاظت آب و خاک در جدول (۱) وارد شده است. مدل با داده های این جدول ارزیابی گردید. نتایج ارزیابی مدل برای دو روش حفاظتی در جدول (۳) آمده است. این جدول مقادیر رواناب پیش بینی شده از هر ۶ پلات را که به دو روش مختلف

جدول ۱- برخی از خصوصیات پلات های آزمایشی با خاک لومی سنی ($D_{50} = 0.20$ mm و $C_g = 9$) و شیب طولی ۴٪

پلات	نوع حفاظت	طول (m)	عرض (m)	هدایت هیدرولیکی (mm/h)	نسبت ناهموازی (%)		ضریب کاپیلاریته* (mm)
					عمود بر شیب (RAS)	در جهت شیب (RFR)	
۱	شاهد	۱۲/۳	۰/۹۰	۲۱/۴	۱/۰	۱۸/۲	۱۱
۲	شاهد	۱۲/۳	۰/۹۰	۱۹/۳	۱/۰	۱۸/۲	۱۱
۳	شاهد	۱۲/۳	۰/۹۰	۴۰/۰	۱/۱	۱۸/۲	۱۱
۴	بند	۱۲/۳	۰/۹۰	۳۴/۰	۲۳/۱	۱۸/۲	۱۱
۵	بند	۱۲/۳	۰/۹۰	۳۴/۰	۲۰/۵	۱۷/۵	۱۱
۶	بند	۱۲/۳	۰/۹۰	۳۴/۰	۲۲/۷	۱۵/۰	۱۱
۷	چاله	۱۲/۳	۰/۹۰	۳۴/۰	۲۲/۱	۳۵/۰	۱۱
۸	چاله	۱۲/۳	۰/۹۰	۳۴/۰	۲۴/۳	۳۲/۰	۱۱
۹	چاله	۱۲/۳	۰/۹۰	۳۴/۰	۲۳/۱	۳۶/۰	۱۱

* این ضریب یکی از خواص فیزیکی خاک است که خود تابعی از فشار ماتریک و ضریب هدایت هیدرولیکی خاک می باشد.



شکل ۱- تقسیم یک حوزه به چند واحد

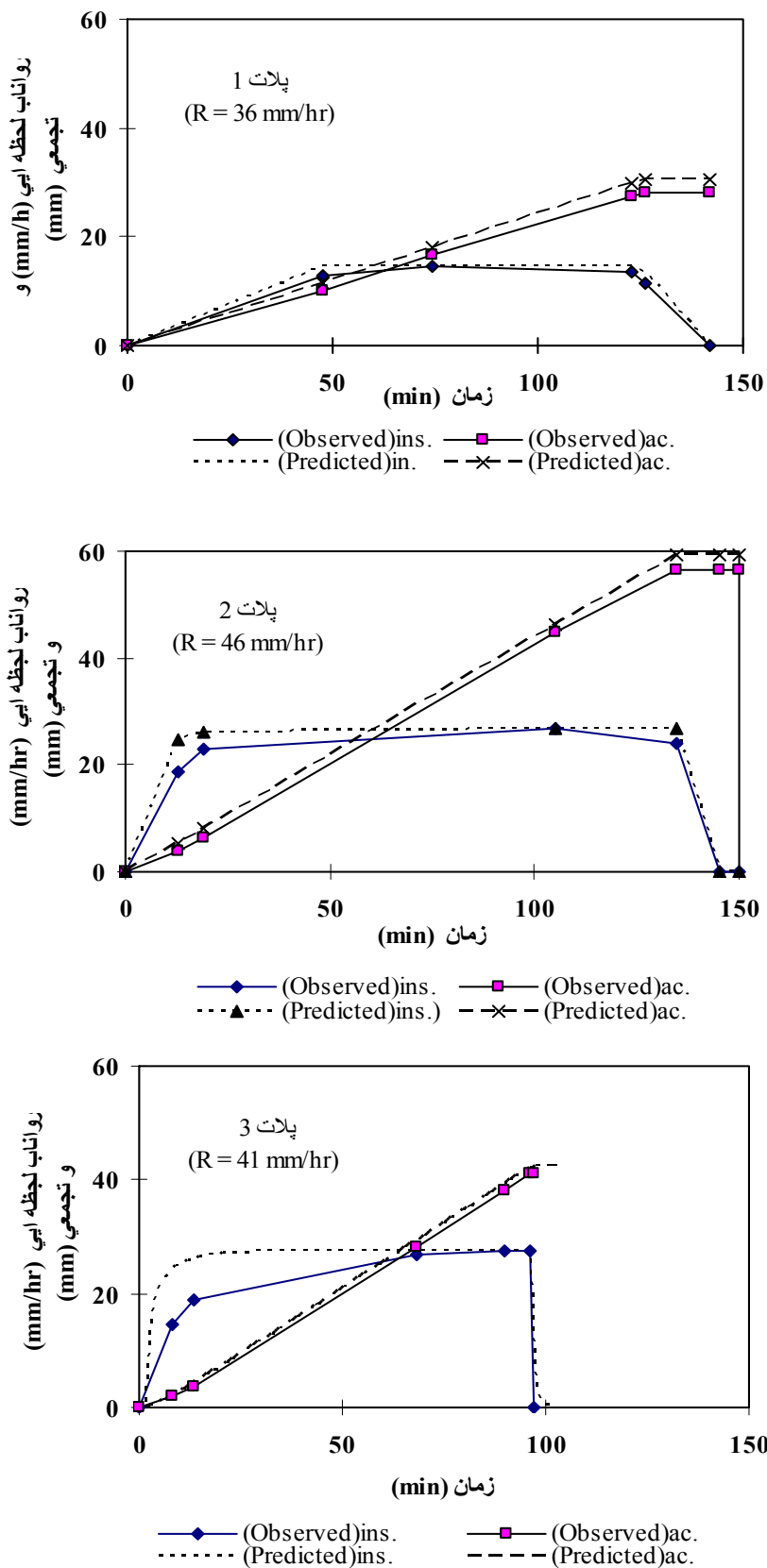
جدول ۲- مقایسه عوامل پیش بینی شده و اندازه گیری شده برای پلات های بدون حفاظت

شماره پلات	نوع حفاظت	پیش بینی / مشاهده	شدت بارش (mm/h)	کل رواناب (mm)	زمان اوج (min)	اوج جریان (mm/h)	شروع رواناب (min)
۱	شاهد	پیش بینی مشاهده	۳۶	۳۱	۷۲	۱۴/۸	۲/۵
۲	شاهد	پیش بینی مشاهده	۴۶	۵۷/۳	۱۱۲/۵	۲۶/۷	۲/۵
۳	شاهد	پیش بینی مشاهده	۴۱	۴۲/۳	۹۶	۲۶/۷	۰/۲
			۴۱	۴۱	۹۰	۲۶/۷	۰
	RMSE ¹			۱/۷۳	۵/۶۴	۰/۱۲	۲/۵۰
	E ²			۰/۹۸	۰/۸۰	۱	---
	R ³			۰/۹۹۹۵	۰/۹۸۹۹	۱	---

1- Residual of Mean Square Error

2- Coefficient of Efficiency

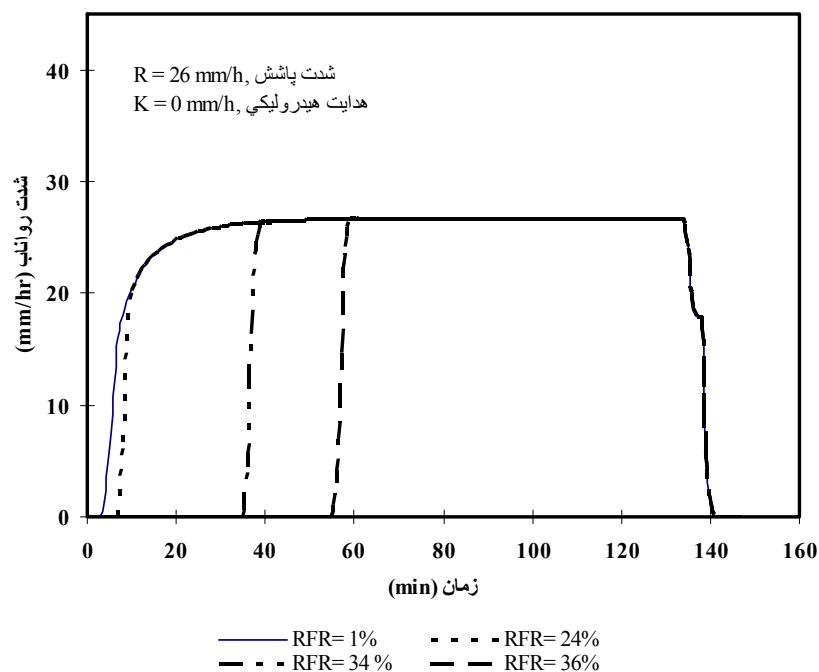
3- Coefficient of Regression



شکل ۲- مقایسه هیدروگراف رواناب مشاهده شده و پیش بینی شده توسط مدل EUROSEM

جدول ۳- مقایسه عوامل پیش بینی شده و اندازه گیری شده برای پلات های حفاظت شده

شماره پلات	نوع حفاظت	پیش بینی / مشاهده	شدت بارش (mm/h)	میانگین شدت رواناب (mm/h)	پتانسیل			مشاهده شده
					حجم رواناب (اندازه گیری) (cm3)	حجم رواناب (mm)	حجم کل رواناب واقعی (mm/h)	
۴	بند کوتاه	پیش بینی	۳۶	۹/۳	۶۲۰۰	۱۰۰۰	.	
		مشاهده	۳۶	۹/۳	۶۲۰۰	۱۰۰۰	.	
۵	بند کوتاه	پیش بینی	۴۶	۱۷/۲	۱۱۴۶۰	۱۰۰۰	.	
		مشاهده	۴۶	۱۷/۲	۱۱۴۶۰	۱۰۰۰	.	
۶	بند کوتاه	پیش بینی	۴۱	۱۲/۷	۸۴۶۰	۱۰۰۰	.	
		مشاهده	۴۱	۱۲/۷	۸۴۶۰	۱۰۰۰	.	
۷	چاله	پیش بینی	۳۶	۹/۳	۳۱۰	۵۰۰	.	
		مشاهده	۳۶	۹/۳	۳۱۰	۵۰۰	.	
۸	چاله	پیش بینی	۴۶	۱۷/۲	۵۷۳	۵۰۰	.	
		مشاهده	۴۶	۱۷/۲	۵۷۳	۵۰۰	.	
۹	چاله	پیش بینی	۴۱	۱۲/۷	۴۲۳	۵۰۰	.	
		مشاهده	۴۱	۱۲/۷	۴۲۳	۵۰۰	.	



شکل ۳- تأثیر ضریب ناهمواری RFR روی هیدروگراف رواناب

فهرست منابع:

۱. نخجوانی، ف. ۱۳۵۱. مبارزه با فرسایش و اصلاح آبخیزها، انتشارات دانشگاه تهران، ص ۳۸۵
۲. حبیبیان، ر. ۱۳۸۳ ارزیابی نقش روش های حفاظت خاک و آب و کاهش روانات و فرسایش توسط مدل EUROSEM در بخشی از زیرحوضه ونک از حوضه آبخیز شمال رودخانه کارون پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی اصفهان، ابران.
۳. خلیل مقدم، ب.، جلالیان ا. و قربانی، ب. ۱۳۸۰ ارزیابی مدل دینامیکی EUROSEM در حوزه آبخیز رودخانه بازفت بختیاری هفتمین کنگره علوم خاک ایران-شهر کرد
۴. خلیل مقدم، ب.، جلالیان ا. و قربانی، ب. ۱۳۸۲ ارزیابی مدل EUROSEM برای برآورد فرسایش و رسوب در دیم زارهای پر شیب، مطالعه موردی: زیر حوضه بازفت از حوضه آبخیز کارون شمالی هشتمین کنگره علوم خاک ایران-رشت.
5. Ghorbani, B. 1997. A mathematical model to predict surface runoff under sprinkler irrigation conditions, Ph.D. Thesis, Silsoe College, Cranfield University, UK.
6. Ghorbani, B. 2006. Predicting runoff under stationary sprinkler irrigation systems, Proceedings of the 17th ICID Conference, Beijing, China.
7. Ghorbani, B. 2007. Simulation of biological measures to reduce runoff and erosion from Northern Karoon river. Regional Conference on Karoon and Zayandeh Roud Watersheds, Shahrekord, Iran.
8. Gilley, J.E. and E.R. Kottwitz. 1994. Maximum surface storage provided by crop residue, Journal of Irrigation and Drainage Engineering, ASCE, 120(2): 440-449.
9. Harold, T.W. and E.C. Lewis. 1996. Chain diking effects on runoff and winter wheat production, Agronomy Journal, 88: 541-544.
10. Hasheminia, S. M. 1994. Controlling runoff under low pressure centre pivot irrigation, Irrigation and Drainage Systems, 8: 25-34.
11. Losirikul, M., K. Nagahori, T. Amaya and T. Adachi. 1989. Experiments to determine the effectiveness of simple interception ditches in controlling soil erosion - studies on water erosion control practices on reclaimed sloping land (II), Irrigation Engineering and Rural Planning, 17: 21-30.
12. Luthin, J.N. 1970. Drainage engineering, John Wiley and Sons, Inc., India.
13. Morgan, R.P.C. 1986. Soil erosion and conservation, John Wiley and Sons, Inc., New York, 298 pp.
14. Morgan, R.P.C. and R.J. Rickson. 1990. Issue on soil erosion in Europe, the need for soil conservation policy, in: Boardman, J., Foster D.L. and Dearing, J.A. (eds), Soil erosion on agricultural lands, Wiley, Chichester, 591-603.
15. Morgan, R.P.C., J.N. Quinton, and R.G. Rickson. 1993. EUROSEM: A user guide, Silsoe College, Cranfield University, UK, 84 pp.
16. Morgan, R.P.C., J.N. Quinton, R.E. Smith, G. Govers, J.W.A. Poesen, K. Auerswald, G. Chisci, and D. Torri. 1998. The EUROSEM model. In Global Change: Modelling soil erosion by water (eds. J. Boardman and D. Favis-Mortlock), NATO ASI series, Series 1: Global environmental change. Springer-Verlag, London. 373-382.
17. Morgan, R.P.C., J.N. Quinton, R.E. Smith, G. Govers, J.W.A. Poesen, K. Auerswald, G. Chisci, D. Torri, and M.E. Styczen. 1998. The European soil erosion model (EUROSEM): A dynamic approach for predicting sediment transport from field and small catchment, Earth Surface Process and Landforms, 23: 527-544.
18. Oliviera, C.A.S., R.J. Hanks, and U. Shani. 1987. Infiltration and runoff as affected by pitting, mulching and sprinkler irrigation, Irrigation Science, 8: 49-68.

19. Pearson, C.E. 1983. Handbook of applied mathematics, Van Nostrand Reinhold, New York, 1307 pp.
20. Quinton, J.N. 1994. Validation of physically-based erosion models with particular reference to EUROSEM, Ph.D Thesis, Silsoe College, Cranfield University, UK.
21. Quinton, J.N. 1994. Validation of physically based erosion models with particular reference to EUROSEM, in Rickson, R.J. (eds.), Conserving Soil Resources: European Perspective, CAB, International Walingford, Oxfordshire, UK.
22. Rickson, R.J. 1994. Potential application of the European Soil Erosion Model (EUROSEM) for the evaluating soil conservation measures, in: Rickson, R.J. (ed.), Conserving Soil Resources: European Perspective, CAB International Walingford, Oxfordshire, UK, 448, 448 pp.
23. Rivenrock G. 2002. Soil conservation techniques, in: (<http://www.rivenrock.com/soilcons.htm>).
24. Woolhiser, D.A., R.E. Smith, and D.C. Goodrich. 1990. KINEROS, a kinematic runoff and erosion model: Documentation and user manual, U.S. Department of Agriculture, Agricultural Research Service, ARS-77, 130 pp.