

کاربرد مدل کامپیوتری ANSWERS برای محاسبه رواناب و تخمین فرسایش و رسوب در اراضی شیبدار کشاورزی حوزه آبخیز گرگان رود و مقایسه آن با سایر روشهای متداول

مرتضی پوزش شیرازی، حسینقلی رفاهی و صابر شاهویی

به ترتیب دانشجوی سابق کارشناسی ارشد، استاد گروه خاکشناسی دانشکده کشاورزی دانشگاه تهران و

استادیار دانشگاه کردستان

تاریخ پذیرش مقاله ۷۸/۸/۱۹

خلاصه

در سالهای اخیر توجه روزافزونی به بهبود و حفظ منابع آب ملی در کشور صورت گرفته است. هرز آبهای آلوده و رسوبات موجود در آنها از عوامل مهم در تخریب منابع یادشده به شمار می‌روند. مدل‌های ریاضی متعددی برای محاسبه هرز آب و تخمین فرسایش خاک بوجود آمده‌اند که مدل کامپیوتری ANSWERS یکی از این مدلها می‌باشد. این مدل از نوع مدل‌های تبیینی بوده و با استفاده از پارامترهای توزیع یافته و یا بخشی در سطح یک حوزه آبخیز و با استفاده از داده‌های هر رگبارش، به شبیه‌سازی فرایندهای هیدرولوژیک رگبارش فوق می‌پردازد. در این تحقیق یک حوزه آبخیز به مساحت ۲۴ هکتار در منطقه گرگان در نظر گرفته شد. اراضی شیبدار کشاورزی که در این حوزه قرار گرفته‌اند دارای شیب میانگین معادل ۳۵ درصد می‌باشند. پس از ورود اطلاعات به کامپیوتر و حصول نتایج خروجی مشخص شد که حجم روان آب مشاهده شده در محیط با حجم روان آب محاسبه شده توسط مدل فوق تقریباً یکسان بوده و بیش از ۹۶ درصد همخوانی دارد. با این وجود فرسایش خاک پیش‌بینی شده توسط مدل و فرسایش خاک مشاهده شده مطابقت مناسبی نداشته و عدد ارائه شده توسط مدل تا ۲/۵ برابر بیشتر از مقدار واقعی نیز بالغ می‌گردید. همچنین مشاهده شد که مدل کامپیوتری ANSWERS در بارانهای با شدت متوسط تا زیاد، بهتر از بارشهای با شدت کم عمل نموده و قابل اطمینان‌تر خواهد بود. در این میان از سایر مدلها نیز استفاده گردید و مشخص شد که حجم روان آب محاسبه شده در روش استدلالی تقریباً با مقدار واقعی نزدیک می‌باشد ولی قرابت آن کمتر از مدل ANSWERS است. همچنین حجم روان آب محاسبه شده توسط روش شماره منحنی (CN) دارای هیچگونه نزدیکی با مقدار واقعی نبوده و از اینرو در این حوزه قابل اطمینان نمی‌باشد. در مورد فرسایش خاک نیز باید عنوان کرد که مقدار تلفات خاک محاسبه شده توسط معادله جهانی فرسایش USLE تقریباً همخوانی مناسبی با مقدار واقعی داشته و از مدل ANSWERS در بارشهای با شدت کم قابل اطمینان‌تر خواهد بود. در نهایت باید عنوان کرد که با انجام تحقیقات بیشتر می‌توان به بهینه‌سازی مدل‌های یاد شده و تطابق بهتر آنها با شرایط ایران پرداخت.

واژه های کلیدی: مدل ANSWERS، رواناب، فرسایش، رسوب، نفوذ

مقدمه

افزایش جمعیت از یک سو و نیاز روزافزون به غذا از سوی دیگر سبب شده است تا کشاورزان در ابتدا به دامنه‌ها، سپس به تپه‌های کم ارتفاع و نهایتاً به کوهها هجوم آورده و ضمن جنگل‌تراشی این نواحی، به کشت غیراصولی و نادرست (شخم در جهت شیب) اقدام کنند. این امر سبب فرسایش شدید خاکها در مزارع شیبدار این مناطق و از دست رفتن سرمایه‌های ملی شده است. نتیجه تخریب منابع طبیعی و بخصوص جنگلها را در بروز سیلاب‌های وحشتناک و حوادث ناگوار ناشی از آن در طی سالهای اخیر به خوبی مشاهده می‌کنیم.

جهت جلوگیری از فرسایش خاک و بروز حوادث ناگوار فوق باید در ابتدا به کسب اطلاعات پایه‌ای در مورد میزان هرز آب به وجود آمده در این مناطق و فرسایش و تخریب خاک ناشی از آن پردازیم و سپس براساس نتایج حاصل از این اطلاعات به بحث پیرامون راههای حفاظت خاک اقدام نمائیم.

درسالهای اخیر توجه روزافزونی به بهبود و حفظ منابع آب ملی در کشور صورت گرفته است. سازمانها و افراد مختلفی در سطوح دولتی، صنعتی و خصوصی در حال انجام تحقیقات بر روی اثرات مدیریت اراضی، نحوه استفاده از زمین و راهکارهای حفاظتی می‌باشند که این اثرات قادرند بر کیفیت و کمیت منابع آبی در حوزه‌های آبخیز کشاورزی و غیر آن تأثیر بگذارند.

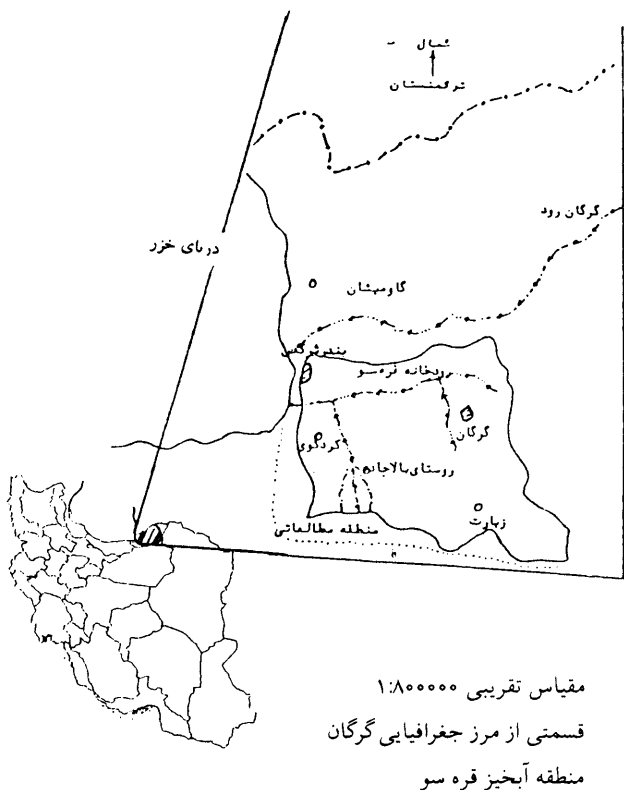
در این میان نقش فرسایش خاک بسیار مهم تلقی می‌شود، زیرا عمل فرسایش نه تنها خاک حاصلخیز سطحی را که پایه و اساس کشاورزی محسوب می‌گردد از بین می‌برد، بلکه از سوی دیگر نیز با انتقال مواد شیمیائی از جمله کودها و سموم دفع آفات کشاورزی توسط هرز آب به درون منابع آبی مانند رودخانه‌ها، سدها و دریاچه‌ها، آلودگی این منابع را باعث می‌گردد (۱).

از سال ۱۹۷۲ تلاشهای پراکنده تحقیقاتی و مدل‌های ساده فرسایشی دچار تحول و جهش بزرگی شدند و دانشمندان زیادی بر روی فرسایش خاک به تحقیق پرداخته و مدل‌های متفاوتی را به وجود آوردند. بعضی از این مدلها تنها به صورت منطقه‌ای بوده و در ناحیه‌ای که به وجود آمده بودند کاربرد داشتند. درحالیکه سایر مدلها دارای پارامترهای مناسبی بودند که سبب شد این مدلها به مدل‌های جهانی

تبدیل شده و در اکثر کشورهای جهان مورد استفاده قرار گیرند. یکی از مدل‌های اخیر مدل کامپیوتری ANSWERS^۱ می‌باشد (۷).

در این مطالعه یک حوزه ۲۴ هکتاری در جنوب گرگان‌رود در حوزه قره‌سو در ۶ کیلومتری جنوب شرقی شهر کردکوی و نسیم کیلومتری غرب روستای بالا جاده انتخاب گردید (شکل ۱).

این حوزه آبخیز دارای بارزترین چهره‌های تخریب مانند فرسایش آبی و فرسایش ناشی از عملیات خاک‌ورزی می‌باشد و از اینرو می‌توان از آن به عنوان نمونه‌ای از اراضی شیبدار زراعی شمال کشور نام برد. نتایج حاصل از این تحقیق می‌تواند در سطح بیش از ۳۰۰۰۰۰ هکتار از اراضی شیبدار زراعی شمال کشور که در شرایط تقریباً مشابه اقلیمی، خاکی، توپوگرافی و نحوه مدیریتی قرار دارند مورد استفاده قرار گیرد (۴).



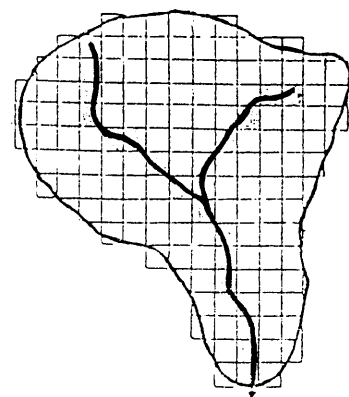
شکل ۱ - موقعیت منطقه مطالعاتی و حوزه آبخیز قره سو - منطقه گرگان

مواد و روشها

معرفی مدل ANSWERS

پس از نزدیک به یک دهه تحقیق، متخصصین و صاحبانظران مسائل فرسایش خاک، مدل ANSWERS را در دانشکده مهندسی زراعی دانشگاه پردو در ایالت ایندیانا ایالات متحده امریکا معرفی نموده و پس از کامل شدن نرم افزار و کتاب راهنمای آن در سال ۱۹۸۱، آنرا انتشار دادند (۷).

ساختمان کلی مدل فوق شامل یک مدل هیدرولوژیک، مدل «فرسایش-رسوب»، قوانین موجود برای تشریح حرکت آب در جریانات سطحی، زیرزمین و در کانالها و نهایتاً روابط میان آنها می باشد. این مدل از نوع تبیینی^۱ بوده و با استفاده از پارامترهای توزیع یافته یا پخشی^۲ در سطح یک حوزه آبخیز و با استفاده از داده های رگبارش حادثه ای به جای بارندگی های طولانی مدت از لحاظ دوره ای، قادر است شبیه سازی بهتری از سایر مدل های غیر پخشی داشته باشد. مدل های تبیینی مدل هایی هستند که فرایندهای واقعی از سیکل هیدرولوژیک را شرح داده، همچنین حوادث هیدرولوژیک واقعی را مدل سازی می نمایند. به عنوان مثال تبدیل وقایع بارندگی به هیدروگراف جریان رودخانه ای توسط این مدلها صورت می گیرد. مدل های پخشی مدل هایی هستند که روابط ریاضی بین پارامترها به صورت معادلات دیفرانسیل جزئی نسبت به زمان و مکان تغییر می کند. این مدلها احتیاج به شبکه بندی هندسی نقاط داخل حوزه دارند و از این رو غالباً پیچیده و مشکل هستند. در این مدلها، حوزه به تعداد زیادی زیر حوزه های کوچک تقسیم می شود (شکل ۲) و



شیرازی، حوزه

شکل ۲ - نحوه شبکه بندی حوزه آبخیز

برای هر کدام جداگانه مدل سازی صورت می گیرد و سپس با ترکیب آنها با هم جواب لازم برای حوزه اصلی بدست می آید. این مدلها دارای دقت زیادی بوده و می توانند جریان های کم، متوسط و زیاد را پیش بینی نمایند (۸). با افزایش ظرفیت و سرعت کامپیوترها، استفاده از این مدلها امروزه مورد توجه بیشتری قرار گرفته است.

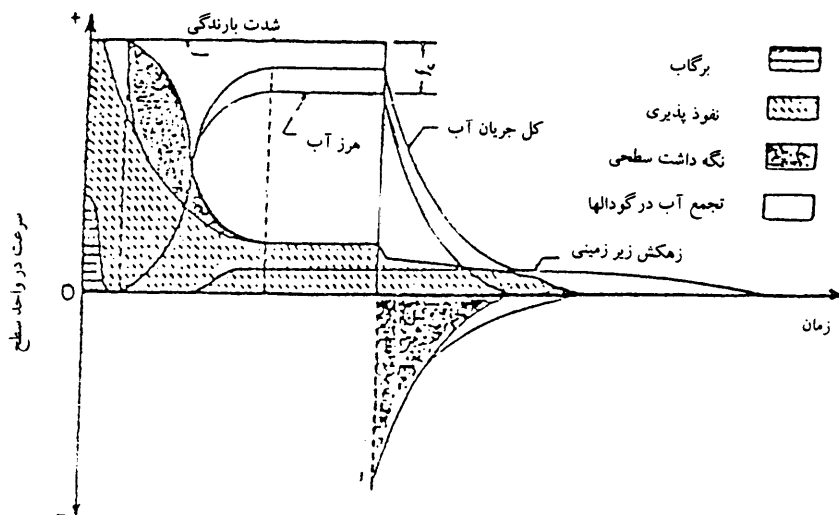
مدل ANSWERS بر این فرضیه استوار است که در هر نقطه از حوزه آبخیز روابطی بین مقدار جریان آب و پارامترهای هیدرولوژیک کنترل کننده آن مانند شدت بارندگی، میزان نفوذ آب، پستی و بلندی و نوع خاک برقرار است. کاربرد این مدل در حوزه های آبخیز تا وسعت ۵۰۰۰ هکتار توصیه شده است و چون برای هر رگبار منفرد به کار می رود، نیازی به اعداد تبخیر و تعرق در آن وجود ندارد.

فرآیندهای هیدرولوژیک، نیروی محرکه مدل ANSWERS به حساب می آید. شکل ۳ فرایندهای هیدرولوژیک را در هر یک از عناصر حوزه نشان میدهد. پس از شروع بارندگی مقداری از بارش بر روی برگهای گیاهان تجمع می یابد که به آن برگاب^۳ می گویند. با پیشرفت زمان ظرفیت کل برگاب تکمیل گردیده و نفوذ آب باران به داخل خاک شروع خواهد شد. با توجه به آنکه با بالا رفتن ذخیره آب در خاک نفوذ پذیری آن به صورت نمایی کاهش خواهد یافت، با تداوم بارندگی زمانی فرا خواهد رسید که میزان بارش از میزان نفوذ بیشتر شده که نتیجه آن تجمع آب در ناهمواریهای سطح زمین خواهد بود که به آن تجمع سطحی یا ذخیره گودالی می گویند. با پایان یافتن گنجایش ناهمواریها برای تجمع سطحی آب، فرایند رواناب در سطح زمین آغاز خواهد شد. به حجم آب که به طور موقتی در طول جریان رواناب در سطح زمین وجود دارد، نگهداشت سطحی^۴ می گویند. مقدار نگهداشت سطحی برابر است با:

نگهداشت سطحی

نگهداشت آب در گودالها - حجم کل آب موجود بر روی سطح خاک =
سطح زمین

کم کردن آب موجود در گودالها از کل حجم آب سطحی به آن علت است که بر طبق فرض، تمام این آب به درون خاک نفوذ خواهد کرد. زهکشی یا جریان آب زیرزمینی هنگامی که پتانسیل آب زیرزمینی در اطراف لوله های زهکش بیشتر از فشار اتمسفری گردد، شروع به کار می کند، در صورتیکه خاک دارای زهکش طبیعی باشد



شکل ۳ - فرآیندهای هیدرولوژیکی در هریک از شبکه های حوزه

نیازمند تأمین آب به طور دایم در طول جریان نفوذ می باشد از رابطه میزان رطوبت خاک به عنوان متغیر مستقل در میزان نفوذ و مطابق رابطه زیر استفاده می کند (۷).

$$F_{MAX} = FC + A(PIV/TP)^P$$

که در آن :

F_{MAX} : ظرفیت نفوذ پذیری بر حسب میلیمتر در ساعت

FC : سرعت نفوذ نهائی یا ظرفیت نفوذ پایدار

A : تفاوت بین حداکثر نفوذ پذیری و سرعت نفوذ نهائی

PIV : تفاوت رطوبت اولیه و اشباع خاک بر حسب درصد حجمی

در منطقه کنترل

TP : خلل و فرج کل خاک بر حسب درصد. مقدار آن در خاکهای

رسی ۰/۸-۰/۷۵، در خاکهای لومی ۰/۶۵-۰/۵۵ و در

خاکهای شنی ۰/۵-۰/۳۵ می باشد.

P : پارامتر بدون بعد که کاهش میزان نفوذ را با بالا رفتن میزان رطوبت

خاک نشان می دهد.

برداشت ذرات خاک و انتقال و ترسیب آنها در ارتباط نزدیک با

عوامل هیدرولوژیکی حوزه آبخیز می باشد. این عملیات می توانند

توسط نیروی ضربتی قطرات باران و یا نیروی برشی سطحی هرز آب

صورت گیرد. در بیشتر موارد از میزان رسوب انتقال یافته از سطح به

وسیله ضربات باران صرف نظر می گردد. در شکل ۴ شمائی از فرایندها

و عوامل فوق و ارتباط آنها با هم در یک مسیر عرضه شده

مدل قادر به دریافت اطلاعات ضریب زهکشی منطقه و به کارگیری آن در سیکل هیدرولوژی حوزه خواهد داشت. در صورت قابل توجه بودن شدت، مدت و دوام بارندگی، میزان نفوذ به یک حد پایدار خواهد رسید که به آن سرعت نفوذ نهایی یا FC گویند. با اتمام بارش، نگهداشت سطحی به صورت جریان رواناب کاهش یافته و با توقف آن، به کلی تمام خواهد شد. اما نفوذ پذیری تا تمام شدن آب موجود در ناهمواری ها ادامه خواهد داشت و جریان در زهکشها نیز تا زمانی که آب اضافی در اطراف لوله های زهکش موجود باشد به طول می انجامد و مطابق شکل ۳ جریان در شاخه نزولی هیدروگراف که مشخصه اراضی دارای زهکش تحت الارضی است از شاخه صعودی طولانی تر خواهد شد. انتقال مواد شیمیائی آلوده کننده از سطح اراضی عملاً به رفتار هیدرولوژیکی حوزه بستگی دارد. لذا برای برخی از این ترکیبات مانند فسفر که با فرسایش خاک همراه است، این فرایندها می توانند به سادگی با هم در ارتباط قرار گیرند (۷).

نفوذ^۱ یکی از پارامترهائی است که مدل ANSWERS به آن حساسیت شدیدی به خصوص در شرایط رواناب کم تا متوسط دارد. گرچه فعالیت های زیادی در این مورد به صورت جهانی صورت گرفته است لیکن هنوز روش جهانی مورد قبول در این مورد ارائه نشده است. رابطه به کار گرفته برای نفوذ شامل معادله تغییر یافته هولتان^۲ (۱۹۶۱) به وسیله اوورتون^۳ (۱۹۶۵) می باشد که برخلاف معادله های نفوذ متکی به زمان مانند معادلات هورتون و فیلیپ که

است (۱۰).

می توان بصورت زیر محاسبه نمود:

$$DETF = 0.9 \times CDR \times SKDR \times A \times SL \times q$$

که در آن:

$$DETF = \text{شدت کنده شدن ذرات خاک بوسیله جریان سطحی} \\ (\text{kg/min})$$

$$SL = \text{تندی شیب (درصد)}$$

$$q = \text{شدت جریان سطحی (m}^2/\text{min)}$$

$$CDR, SKDR = \text{به ترتیب مقدار C و K در معادله USLE}$$

سابقه تحقیق مدل در ایران و سایر کشورها

در اواسط دهه هشتاد میلادی کارشناسان فرسایش آمریکا از داده‌های حاصل از پلاتهای آزمایشی کوچک که دارای باران سازهای مناسب بودند در آزمون مدل استفاده کردند. آنها مدیریتهای گوناگون را که می‌توانند بر روی هرز آب و فرسایش خاک اثر بگذارند، بررسی نمودند. سپس این تحقیقات به حوزه‌های بزرگ و حوادث واقعی حاصل از یک رگبارش در طبیعت گسترش یافت تا داده‌های حاصل از مدل را با داده‌های مشاهده‌ای از این حوزه‌ها مقایسه نمایند. در جدول شماره ۱ داده‌های حاصل از هرز آب و تولید رسوب در چندین حادثه بارندگی و در دو حوزه آبخیز آمریکا مشاهده می‌شود.

سابقه تحقیق و آزمون مدل ANSWERS در ایران منحصر به ۲ تحقیق در دشت کم شیب باجگاه واقع در دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز می‌گردد. این دو تحقیق به ترتیب توسط محتن (۱۳۶۸) و گروسی (۱۳۷۶) صورت گرفته است. نتایج حاصل از تحقیق‌های مذکور به شرح زیر بوده است: میزان هرز آب مشاهده‌ای و تخمین زده شده توسط مدل در طول یک حادثه بارندگی دارای همخوانی بالایی بوده و ضریب همبستگی متوسط آنها با هم ۹۲ درصد می‌باشد لیکن مدل از لحاظ مقدار خاک تلف شده نمیتواند پاسخگوی مقادیر واقعی بوده و بدست آوردن مقادیر بهتر نسبت تحویل رسوب (SDR) از اهمیت خاصی برای ایران برخوردار است (۵ و ۶).

روش انجام تحقیق

با توجه به آنکه هدف از تحقیق حاضر بررسی فرسایش در اراضی شیبدار کشاورزی در شمال کشور بود، از اینرو سعی گردید که

هنگام برخورد قطرات باران به خاک، ذرات خاک توسط انرژی موجود در این قطرات جابجا می‌شوند و میزان این جابجایی معمولاً به نسبت توان ۲ شدت بارندگی متناسب خواهد بود. زیرا هرچه شدت بارش بیشتر باشد، قطر قطره، سرعت برخورد قطره با خاک و در نتیجه انرژی جنبشی آن بیشتر خواهد بود (۱). جدا کردن ذرات خاک در تمام طول یک حادثه بارندگی اتفاق می‌افتد حتی اگر جریان سطحی نیز در این میان به وجود نیاید. بنابراین اکثر ذرات جدا شده قبل از شروع جریان رواناب ترسیب می‌شوند. مقدار خاک برداشته شده توسط ضربه قطرات باران را می‌توان با استفاده از فرمول زیر محاسبه نمود:

$$DETR = 0.108 \times CDR \times SKDR \times A \times R^2$$

که در آن:

$$DETR = \text{شدت کنده شدن ذرات خاک بوسیله قطرات باران} \\ (\text{Kg/min})$$

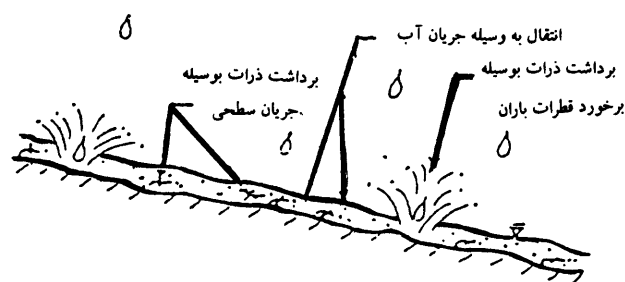
$$CDR = \text{فاکتور پوشش گیاهی (ضریب C در معادله USLE)}$$

$$SKDR = \text{فاکتور فرسایش خاک (ضریب K در معادله USLE)}$$

$$A = \text{مساحت برحسب m}^2$$

$$R = \text{شدت بارندگی در یک فاصله زمانی (mm/min)}$$

با پیشرفت زمان و تجمع هرز آب انتقال خاک امکان پذیر می‌گردد و جدا شدن ذرات خاک توسط جریان سطحی هنگامی صورت می‌پذیرد که تنش برشی در سطح خاک از نیروهای چسبندگی و وزن ذرات فراتر رود. معمولاً "میزان جدا شدن بستگی به شیب و میزان رواناب دارد، حرکت ذره جدا شده وابسته به میزان بار رسوب و توان حمل جریان دارد (شکل ۵) (۱۲). این مقدار خاک انتقال یافته را



شکل ۴ - مراحل مختلف فرسایش آبی و حمل مواد برداشت شده

ترکیبی از خصوصیات اقلیمی و شرایط طبیعی موجود در خود حوزه آبخیز می‌باشد. با توجه به کوچک بودن حوزه آبخیز مورد مطالعه (قره‌سو - گرگان) از ۳ روش به نامهای منحنی میزان نفوذ پذیری، روش استدلالی و همچنین روش شماره منحنی CN استفاده گردید. روش سرعت نفوذپذیری

در روش منحنی میزان نفوذپذیری، سرعت نفوذ خاک به عوامل مختلفی بستگی دارد که شامل دانه‌بندی، میزان هوموس، ارتفاع آب روی خاک، کیفیت آب، تراکم پوشش گیاهی، شیب، درصد رطوبت قبلی و فشردگی خاک می‌گردد. برای محاسبه نفوذپذیری از معادله هورتون استفاده می‌شود (۹). این معادله همان معادله‌ای است که در مدل کامپیوتری ANSWERS به طور وسیعی به کار رفته است. این مدل قادر است روان آب لحظه‌ای را در هر فاصله زمانی مورد نظر محاسبه نموده و بصورت ارتفاع آبدوی ارائه نماید. از اینرو محقق می‌تواند هیدروگراف هر بارش را با استفاده از داده‌های این مدل رسم نماید. بعنوان مثال در شکل شماره ۷ هیدروگراف بارندگی برای رخداد ۷۶/۹/۱۶ مشاهده می‌گردد.

همانطور که در این هیدروگراف مشاهده می‌شود، زمان رسیدن به نقطه اوج و همبطور طول مدت ظهور روان آب برای هر دو منحنی روان آب مشاهده‌ای و روان آب تخمین زده شده دارای قرابت و نزدیکی مطلوبی می‌باشد. منحنی غیر نمایان که در بالای هیدروگراف مشاهده می‌شود مربوط به مدت زمان آبدوی است. این معادله دو منحنی فوق و محاسبه سطح زیر آنها محاسبه شد. همچنین تخمین زده شده دارای ۹۷ درصد همخوانی با روان آب مشاهده‌ای می‌باشد و تنها ۳ درصد تفاوت بین آن‌ها وجود دارد. این تفاوتی اول بر روی مشاهده‌ای تا ۱۰٪ می‌باشد.

روش استدلالی

در روش استدلالی در ضریب روان آب استفاده می‌گردد. ضریب روان آب یا C عبارت است از نسبت میزان آبدوی به میزان بارندگی. یعنی:

$$C = \frac{\text{ارتفاع آب جاری شده}}{\text{ارتفاع بارندگی متوسط سالانه}}$$

برای محاسبه ضریب C از جداول متعددی می‌توان استفاده نمود. این ضریب در هر حوزه آبخیز بصورت میانگین وزنی به دست می‌آید. بطور مثال در حوزه آبخیز قره‌سو - گرگان که حوزه مورد مطالعه ما در تحقیق حاضر بوده است، ۲۹/۲ درصد از زمینها را تپه‌های پوشیده از درخت، ۱۷/۷ درصد را تپه‌های مرئی و مابقی که

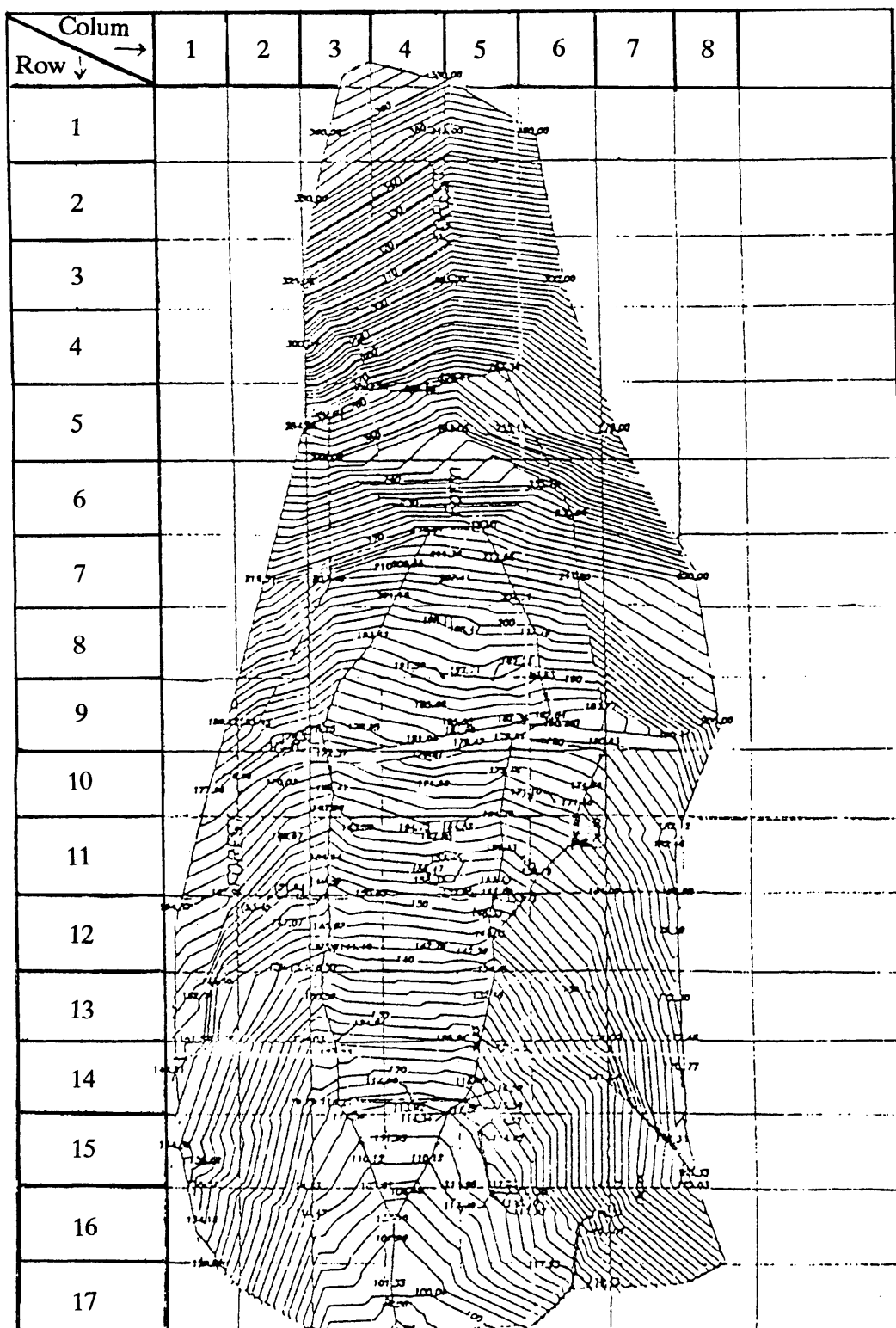
حوزه‌ای انتخاب شود که دارای بیشترین تشابهات از لحاظ هواشناسی، زمین‌شناسی، خاکشناسی، پوشش و درصد شیب با سایر حوزه‌های آبخیز شمال کشور را داشته باشد. پس از نشانه‌گذاری چندین حوزه مناسب بر روی عکسهای هوایی منطقه و بازدید این حوزه‌ها از نزدیک، نهایتاً یک حوزه ۲۴ هکتاری در تپه‌های لسی حوزه آبخیز گرگان‌رود در ۶ کیلومتری جنوب شرقی کردکوی و نیم کیلومتری غرب روستای بالاجاده انتخاب و پس از شبکه‌بندی حوزه به فواصل ۱۰۰ متری در جهت شمال - جنوب و شرق - غرب، نقشه توپوگرافی حوزه با روش تاکتومری تهیه و نقشه خطوط هم میزان و سه بعدی با استفاده از نرم افزار ایزوسرف تهیه گردید. حداقل شیب این حوزه ۱۲ درصد، حداکثر آن ۷۱ درصد و متوسط شیب حوزه ۳۳ درصد می‌باشد.

پس از تهیه نقشه توپوگرافی با توجه به متغیرهای مکانی زیاد در درون حوزه از لحاظ پوشش گیاهی، درصد شیب و نوع خاک، تصمیم بر آن شد تا عناصر حوزه آبخیز به صورت مربع‌های ۵۰ x ۵۰ متر انتخاب گردند. از اینرو نقشه توپوگرافی محل با توجه به مقیاس $\frac{1}{40000}$ به ماتریسی از مربعهای ۱/۲۵ سانتیمتری تقسیم شد. ماتریس فوق در نهایت دارای ۹۶ سلول یا عنصر گردید (شکل شماره ۶).

بعد از شبکه‌بندی حوزه آبخیز بر روی نقشه توپوگرافی، اینکار بر روی زمین نیز پیاده گردید تا اطلاعات مورد نیاز برای هر عنصر به طور جداگانه برداشت شود. جهت تکمیل کار، اقدام به نصب باران‌نگار ثابت در متوسط ارتفاع حوزه و نصب سرریز مثلثی شکل در خروجی حوزه گردید. در طول مدت تحقیق، ۲ بارش در تاریخهای ۷۶/۹/۲ و ۷۶/۹/۱۶ به ترتیب با ۸/۶ میلی‌متر و ۸/۴ میلی متر باران و حداکثر ۴/۵ میلیمتر در ساعت و ۱۵/۶ میلیمتر در ساعت بارش انتخاب شدند که بارش اول بیانگر بارندگی با شدت کم و بارندگی دوم بیانگر بارندگی با شدت متوسط تا زیاد بود.

نتایج و بحث

الف - روان آب: قبل از انجام هرگونه عملیات حفاظتی نظیر ترانس‌بندی، ساختن بندهای رسوبگیر و آبراهه‌های انحرافی و کارهای نظیر آن باید حجم روان آب در یک مدت معین را محاسبه نمود. بطور کلی آبدوی مورد انتظار از یک حوزه آبخیز تحت تأثیر



شکل ۶ - شبکه بندی درون حوزه آبخیز سیزه دار

ذخیره شده باشند مقدار CN برای حوزه آبخیز مورد نظر (قره سو - گرگان) ۹۳/۳ بدست آمده که حداکثر ظرفیت نگهداشت آن حوزه بصورت زیر محاسبه گردید:

$$S = \frac{25400}{93/3} - 254 = 18/2$$

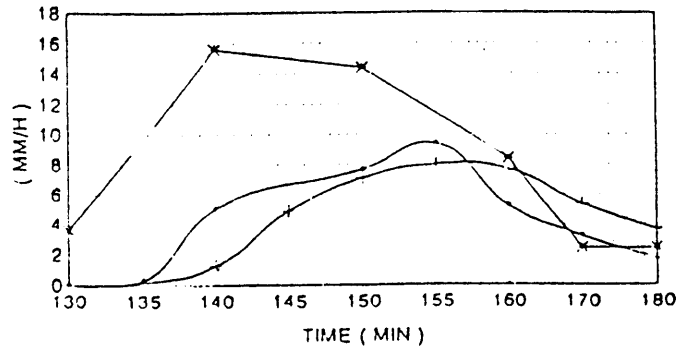
خلاصه اعداد بدست آمده برای حجم روان آب در حوزه مطالعه را می توان در جدول شماره ۲ مشاهده کرد.

همانطور که در جدول شماره ۲ مشاهده می شود حجم روان آب محاسبه شده توسط مدل کامپیوتری ANSWERS دارای نزدیکترین تخمین به مقدار مشاهده ای است. روش استدلالی هم تا حد قابل قبولی به این مقدار نزدیک می باشد اما روش منحنی CN در این حوزه آبخیز مناسب نبوده و قابل اطمینان نمی باشد.

ب - زمان تمرکز

بنا به تعریف، زمان تمرکز یک حوزه عبارت از زمانی است که آب سطحی لازم دارد تا از دورترین مکان حوزه (از لحاظ زمانی) به نقطه خروجی برسد. روشهای متعددی برای محاسبه زمان تمرکز وجود دارد. در جائیکه حوزه آبخیز کوچک بوده و هیدروگراف آن موجود باشد، زمان تمرکز می تواند به صورت فاصله زمانی بین حداکثر شدت بارندگی و حداکثر دبی لحظه ای روان آب آن حوزه انتخاب شود (۳). در شکل ۸ زمان تمرکز حوزه مورد مطالعه براساس روش فوق مشاهده می گردد. این بارندگی دارای دو حداکثر شدت بارش و دو حداکثر روان آب لحظه ای می باشد که فاصله بین آنها با خط عمودی مشخص شده است.

همانطور که مشاهده می شود، زمان تمرکز حوزه در هر دو حالت



— OBSERVED + ESTIMATED * RAINFALL

شکل ۷ - هیدروگراف بارندگی

۱/۵۳ درصد می گردد راکشت پنبه در روی تپه ها به خود اختصاص داده است. از اینرو ضریب C مورد استفاده در این آبخیز برابر خواهد بود با $\frac{29/2}{100} \times 0/21 + \frac{17/7}{100} \times 0/42 + \frac{53/1}{100} \times 0/72 = 0/51$ از این ضریب برای محاسبه حجم روان آب و حداکثر دبی استفاده می شود.

روش شماره منحنی CN

در روش شماره منحنی CN از جداولی که براساس گروههای هیدرولوژیک خاک و پوشش سطح حوزه تنظیم شده اند استفاده می گردد. در این روش، رطوبت پیشین خاک مورد توجه قرار می گیرد. اعداد منحنی روان آب یا CN بین ۱۰۰ و صفر تغییر می کنند. عدد ۱۰۰ هنگامی است که همه باران به آبدوی تبدیل می شود و عدد صفر بیانگر وقتی است که تمام باران در سطح آبخیز

جدول ۲ - خلاصه اعداد بدست آمده برای حجم رواناب در حوزه مورد مطالعه

روش	فرمول	حجم هرز آب. میلیمتر بر هکتار	
		بارندگی اول	بارندگی دوم
مشاهده ای	اعداد اندازه گیری شده توسط پارشال فلوم	۳/۱۶۷	۴/۷۹۱
استدلالی	H = CP	۴/۳۸۶	۴/۲۸۴
مدل ANSWERS	معادله هورتون	۳/۰۶۳	۴/۶۴۷
شماره منحنی CN	$Q = \frac{(P - 0.2S)^2}{P + 0.8S}$	۱/۰۶	۰/۹۸

1. Time of Concentration

کل رسوب باید بارکف را نیز محاسبه کرده و با آن جمع نمود. براساس خصوصیات حوزه آبخیز بارکف (Bed load) معادل ۱۵ درصد بار معلق می‌باشد. از اینرو داریم:

۱۵ درصد بار معلق + بار معلق = رسوب کل
براساس موارد ذکر شده، مقدار خاک تلف شده از حوزه آبخیز قره‌سو - گسرگان برای بارندگی اول ۱۵۳ کیلوگرم بر هکتار و برای بارندگی دوم ۷۶۷ کیلوگرم بر هکتار بوده است.

۲- محاسبه فرسایش توسط مدل ANSWERS

در مدل ANSWERS ابتدا فرسایش پاشمان و سپس فرسایش شیاری محاسبه شده و با توجه به توان حمل رسوب میزان خاک تلف شده در هر هکتار از حوزه آبخیز بدست می‌آید. این مدل همچنین قادر است تا مقادیر فوق‌الذکر را برای هر کدام از عناصر یک حوزه آبخیز محاسبه نموده و بصورت مجزا ارائه نماید. در شکل شماره ۹ گراف مربوط به بار رسوب در بارندگی دوم مشاهده می‌شود.

حجم زیر منحنی برای داده‌های تخمین زده شده توسط مدل در این گراف حدوداً "۴۵ درصد بیشتر از حجم زیر منحنی برای داده‌های مشاهده‌ای می‌باشد و بیانگر این است که فرسایش برآورد شده توسط مدل ۱/۸ برابر بیشتر از فرسایش مشاهده‌ای می‌باشد. در بارندگی اول نیز چنین روندی مشاهده می‌گردد به گونه‌ای که فرسایش برآورد شده توسط مدل ۲/۵ برابر بیشتر از فرسایش مشاهده‌ای در بارندگی دوم که شدت بارندگی زیادتر بوده است، تفاوت میان فرسایش

A, B معادل ۱۰ دقیقه می‌باشد. در بارندگی دوم نیز تقریباً چنین نتیجه‌ای حاصل گردید که بر این اساس می‌توان عنوان نمود که زمان تمرکز حوزه آبخیز مورد مطالعه، معادل ده دقیقه است.

فرمولهای تجربی متعددی برای تعیین زمان تمرکز پیشنهاد شده‌اند که با توجه به وسعت حوزه آبخیز، وضعیت آبراهه‌های جریان از نظر پوشش گیاهی، نوع خاک و نیز عوامل هیدرولیکی حاکم بر جریان آب متفاوت هستند. در جدول شماره ۳ بعضی از این مدلها و زمان تمرکز محاسبه شده توسط آنها مشاهده می‌شود.

ج - فرسایش و رسوب

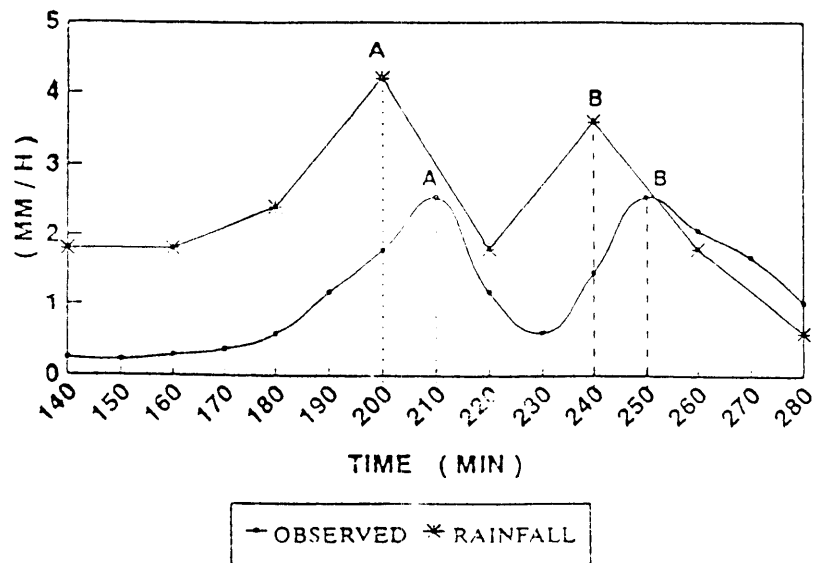
احتمالاً "مهمترین قسمت یک معادله فرسایش و رسوب مربوط به محاسبه و تخمین مقدار خاک از دست رفته می‌باشد. هرچه عدد تخمین زده شده به مقدار خاک فرسایش یافته واقعی تر نزدیکتر باشد معادله دارای ضریب اطمینان بیشتری خواهد بود.

۱- محاسبه فرسایش واقعی

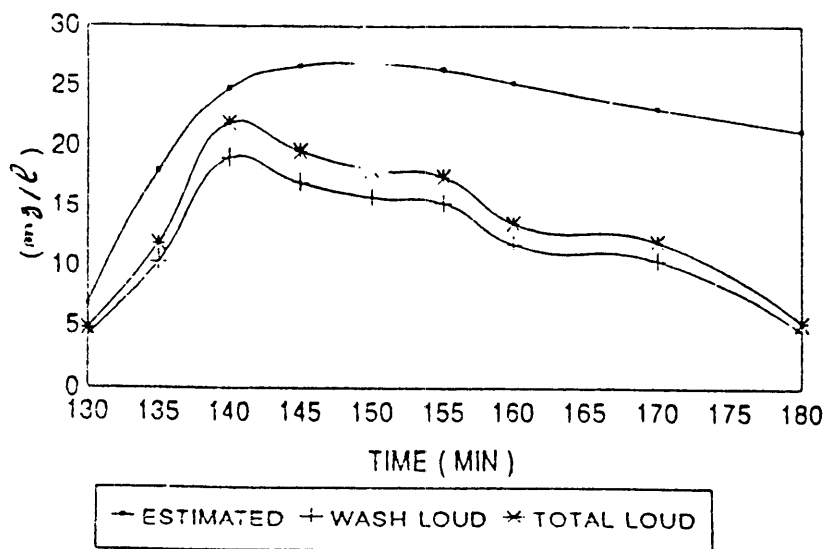
برای بدست آوردن مقدار خاک فرسایش یافته واقعی، ابتدا کلیه مرزهای موجود در حوزه مورد مطالعه به گونه‌ای بسته شدند که تمام هرزآب و مواد رسوبی از یک نقطه که دارای یک سرریز بود، عبور نمایند. سپس از یک سری بطری با حجم مشخص استفاده گردید که این بطریها در فواصل زمانی معین و یک ارتفاع مشخص از سرریز قرار داده شده و از روان آب پر می‌شدند. پس از انتقال این آبها به آزمایشگاه و خشک نمودن آنها، وزن رسوب در حجم بطری و سپس در حجم کل هرز آب محاسبه گردید. رسوب بدست آمده در این حالت معادل بار معلق (wash load) می‌باشد که برای بدست آوردن

جدول ۳ - استفاده از روشهای مختلف برای محاسبه زمان تمرکز حوزه آبخیز قره‌سو - گسرگان

روش	فرمول	زمان تمرکز «دقیقه»
مشاهده‌ای	زمان حداکثر روان آب - زمان حداکثر بارش	10
کریچ	$T_c = 0.0003L^{0.77} S^{-0.385}$	7.79
چاو	$T_c = 0.00032 \frac{L^{1.15}}{H^{0.385}}$	7.56
ماکوس	$T_e = \frac{T_1}{0.6}$	$T_e = 13.6$
	$T_1 = \frac{L^{0.8} (S+1)^{0.7}}{1900xy^{0.5}}$	$T_1 = 8.17$



شکل ۸ - محاسبه زمان تمرکز حوزه آبخیز سبزه دار با استفاده از هیدروگراف بارش



شکل ۹ - گراف بار رسوب برابر داده های مشاهده ای و تخمین زده شده در بارندگی دوم

۳- تخمین فرسایش خاک بارش معادله جهانی فرسایش خاک USLE دانشمندان و محققین حفاظت خاک در آمریکا مشاهده نمودند که عواملی از قبیل نوع و مقدار بارندگی، طول و تندی شیب، فرسایش پذیری خاک، سیستمهای زراعی و عملیات مدیریتی بر تلفات خاک از طریق فرسایش سطحی و شیاری مؤثر هستند. این افراد فعالیتهای گستردهای را جهت کمی کردن اثرات این عوامل بر فرسایش آغاز نمودند که منجر به ساخت معادله جهانی فرسایش (USLE) گردید. فرمول کلی این معادله بصورت $A = RKLSCP$ می باشد که نحوه محاسبه هر کدام از پارامترهای

تخمین زده شده و مشاهدهای کمتر از بارندگی اول که شدت آن کم بوده است، می باشد.

با توجه به مطالب ارائه شده فوق میتوان چنین نتیجه گرفت که بخش فرسایش و رسوب مدل ANSWERS دارای تطابق لازم با مقادیر واقعی نمی باشد. نتایج بدست آمده از این بخش از مدل ANSWERS مشابه همان نتایجی هستند که در مطالعات گروسی (۱۳۷۶) نیز بدست آمده است. از اینرو لازم است تا با انجام تحقیقات بیشتر بر روی این زمینه، امکان بهینه سازی و استفاده مناسب از این بخش از مدل مذکور نیز فراهم گردد.

جدول ۴ - محاسبات صورت گرفته برای تخمین فرسایش و رسوب در حوزه آبخیز قره سو - گرگان

فرمول روش	بارندگی اول (Kg/HA)		بارندگی دوم (Kg/HA)		رسوبدهی حوزه
	خاک فرسایش یافته	رسوبدهی حوزه	خاک فرسایش یافته	رسوبدهی حوزه	
مشاهده‌ای	برداشت رسوب از روان آب	-	۱۵۳	-	۷۶۷
مدل کامپیوتری ANSWERS	معادله نوستر	۹۹۴	۳۸۱	۲۱۹۶	۱۱۸۱
معادله جهانی فرسایش USLE	A = RKLSCP	۳۸۶	۲۲۸	۲۱۱۲	۱۲۴۶

جدول ۴ خلاصه نمود. این اعداد بر حسب کیلوگرم بر هکتار می‌باشند.

همانطور که در جدول ۴ قابل مشاهده است در بارندگی اول که شدت بارش کم بوده است، اعداد بدست آمده از معادله جهانی فرسایش دارای قرابت و نزدیکی بیشتری با مقدار مشاهده‌ای هستند در حالتیکه در بارندگی دوم که شدت بارش شدیدتر بوده است، مدل ANSWERS اعداد نزدیکتری را به مقدار مشاهده‌ای بدست داده است گرچه تفاوت آن با مقدار محاسبه شده توسط مدل USLE تفاوت چندانی را نشان نمی‌دهد. در نهایت باید اشاره نمود که با توجه به اختلافات مشاهده شده و لزوم بهینه‌سازی مدل‌های فوق، انجام تحقیقات بیشتر بر روی حوزه‌های مشابه از اهمیت خاصی برخوردار است.

آن در منابع مختلف قابل دستیابی می‌باشد. (منبع شماره ۱) باید توجه داشت که عدد بدست آمده از فرمول فوق، بیانگر فرسایش ناخالص می‌باشد و برای بدست آوردن مقدار تلفات خاک باید تعدد فوق را در ضریبی بنام نسبت تحویل رسوب Sediment Delivery Ratio ضرب نمود. SDR بیانگر مقدار رسوب گرفتار شده در گودهای سطح زمین، پای شیب‌ها و در طول تراسبندیها می‌باشد که از مجموع تلفات خاک مزرعه کاسته می‌گردد. براساس خصوصیات موجود در حوزه آبخیز گرگان، ضریب SDR معادل ۵۹ درصد محاسبه گردید.

با توجه به مطالب و توضیحات ارائه شده در قسمت فرسایش و رسوب (قسمت ج) می‌توان محاسبات صورت گرفته برای تخمین فرسایش و رسوب در حوزه آبخیز قره سو - گرگان را بصورت

مراجع مورد استفاده

REFERENCES

- ۱- رفاهی، ح. ۱۳۷۵. فرسایش آبی و کنترل آن. انتشارات دانشگاه تهران. ۵۵۱ صفحه
- ۲- روشنی، ق. ع. ۱۳۷۳. مطالعه فرسایش خاک در حوزه آبخیز رودخانه قره سو - گرگان و نقش آن در خاکهای منطقه. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشکده کشاورزی دانشگاه تهران
- ۳- سرخوش، ا. ۱۳۷۵. بررسی کارایی مدل USLE در برآورد رسوب و مقایسه آن با مدل MPSIAC در حوزه آبخیز درکه. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشکده کشاورزی دانشگاه تهران
- ۴- شاهویی، ص. ۱۳۷۵. بررسی چهره‌های مختلف تخریب اراضی و برآورد نقش آنها در تغییر خصوصیات خاک، کاهش قدرت تولید و طرز استفاده از اراضی شیبدار در حوزه آبخیز گرگان رود. پایان‌نامه دکترا. دانشکده کشاورزی دانشگاه تهران
- ۵- گروسی، ع. ۱۳۷۶. تغییر در مدل کامپیوتری ANSWERS به منظور محاسبه نسبت رسوبدهی CSDR در یک حوزه آبخیز کشاورزی

. پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز.

۶ - ممتحن، ح. ۱۳۶۸. تست مدل کامپیوتری ANSWERS به منظور پیش بینی سیلاب و تخمین فرسایش از حوزه‌های کوچک کشاورزی. پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز.

7. Beasley ,D.B.,L.F.Huggins and E.j.Monke.1980 ANSWERS : A model for watershed planning . Transaction of ASAE.23(4) : 938 - 944.
8. Huggins L.F. 1966. The mathematical simulation of small watersheds . Technical Report . purdue university .130 P.
9. Holtan H.N.1961. A concept for infiltration estimation in watershed engineering .ARS.41-51 . Us.Department of Agriculture.
10. Meyer , LD.and W.H.Wischmeier.1969 .Mathematical simulation of the processes of soil erosion by water.transaction of ASAE.12(6):754-758
11. Overton.D.E.1965.Mathematical refinements of an infiltration equation for watershed engineering . ARS.41.49.
12. Yalin,Y.s.1963. An expression for bed load transportation. Journal of Hydraulics Division,Proceedings of ASCE.89(Hy3):221-250

Application of Answers Model for Calculating Runoff and Predicting Sediment Ation From Steep Agricultural Watsrsheds in Gorgan Catchment and Its Comparison with Other Methods Common in Iran

M. POOZESH-SHIRAZI, H.GH. REFAHI AND S. SHAHOOEI

**Former Graduate Student , Professor Faculty of Agriculture University of Tehran ,
Karaj, Iran and Assistant Professor Univeristy of Kordestan.**

Accepted Nov. 10, 1999

SUMMARY

In recent years , a great emphasis has been placed on improving and maintaining the quality of national water resources. Pollutant run off together with their sediments are the main problems of these resources. Some mathematical models have been developed for calculating run off volumes and predicting eroded soil of which ANSWERS is one. ANSWERS is a deterministic model that uses distributed parameters and is event oriented for simulating hydrologic processes in a watershed. In order to test this model , a 24 hectare watershed was selected. Agricultural farms in this watershed are of an average 35 percent slope. Analysing the resulting out put from computer shows that the volume of observed and estimated run off is almost the same in almost more than 96 percent of the cases. However, the estimated eroded soil doesn't match the observed one and shows to be up to 2.5 times more. Also it was observed that ANSWERS was more dependable in simulating medium to high rainfalls in comparision with low ones. In this investigation, other models were used too. It was shown that the volume of the estimated run off estimated by empirical model was close to the observed one but less close as compared with the ANSWERS model. The eroded soil calculated by USLE showed a better correlation with the observed eroded soil (in low rainfalls) than the ANSWERS model but in high rainlatts they result almost the same. Niether the estimated volume of run off nor the concentration of sediments, calculated by curve number (CN), showed acceptable correlation with the observed data. More investigations are needed to make these models applicable to watersheds in Iran.

Key words:Answers Model, Run off, Erosion, Sediment, Infiltration