

مدلسازی بارش - رواناب مؤثر (مطالعه موردی: حوزه آبخیز کچیک، استان گلستان)

*آتنا کبیر^۱، نادر نورا^۲ و علی نجفی نژاد^۲

^۱دانشجوی دکتری آبخیزداری دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران،

^۲استادیار گروه آبخیزداری دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

تاریخ دریافت: ۸۴/۸/۱۱؛ تاریخ پذیرش: ۸۵/۱۲/۶

چکیده

رواناب مؤثر یکی از فرآیندهای چرخه هیدرولوژیکی است که به طور گسترده مورد مطالعه و بررسی قرار گرفته است. اغلب مدل‌های مختلفی که برای شرح این فرایند پیشنهاد شده‌اند، برای پلات‌های کوچک قابل استفاده می‌باشند و به شدت بارش‌هایی که بیشتر از ظرفیت نفوذ پلات می‌باشند اشاره دارد. در این مقاله برای محاسبه بارش مازاد از مدل نفوذپذیری ارائه شده توسط دیسکن و نازیمو (۱۹۹۵) استفاده شده است. مدلی که در اینجا شرح داده شده، تنها محدود به ظرفیت نفوذپذیری نبوده، بلکه از این مدل می‌توان برای محاسبه تغییرات نرخ ظرفیت نفوذپذیری و تولید رواناب مؤثر برای هر هایتوگراف بارش و یک مقدار معلوم رطوبت اولیه خاک، استفاده نمود. مدل شامل ۲ محیط تنظیمی و ذخیره است که برای تعریف آن نیاز به سه پارامتر می‌باشد که عبارتند از: حد اقل و حداکثر نرخ ظرفیت نفوذ (f_0 و f_c) و حداکثر رطوبت موجود در خاک (sm). به منظور محاسبه میزان رواناب مؤثر مدل مورد نظر برای حوزه آبخیز کچیک واقع در استان گلستان به اجرا در آورده شد. نتایج نشان دادند که میزان بارش مازاد حاصل از یک رگبار انتخابی در کاربری مرتع این حوزه حدود ۵۵/۹ میلی‌متر بوده است.

واژه‌های کلیدی: تغییرات نفوذپذیری، بارش مازاد، حداکثر رطوبت موجود در خاک، حداقل و حداکثر نرخ ظرفیت نفوذ، حوزه آبخیز کچیک

مقدمه

مدل‌کردن سیستم هیدرولوژیکی، ظرفیت نفوذ است که باید مقدار آن در حوزه برآورد گردد (تلوری، ۱۹۹۶). در طول یک واقعه بارش، شدت بارش به طور مداوم در حال تغییر می‌باشد. و این مقدار ممکن است کمتر یا بیشتر از نرخ نفوذپذیری در لایه بالایی خاک باشد. در عین حال نرخ نفوذپذیری نیز با تغییر شدت بارش تغییر می‌کند، زیرا این میزان بستگی به محتوی رطوبت لایه بالایی خاک دارد که خود تحت تأثیر شدت بارش و میزان تراوش می‌باشد

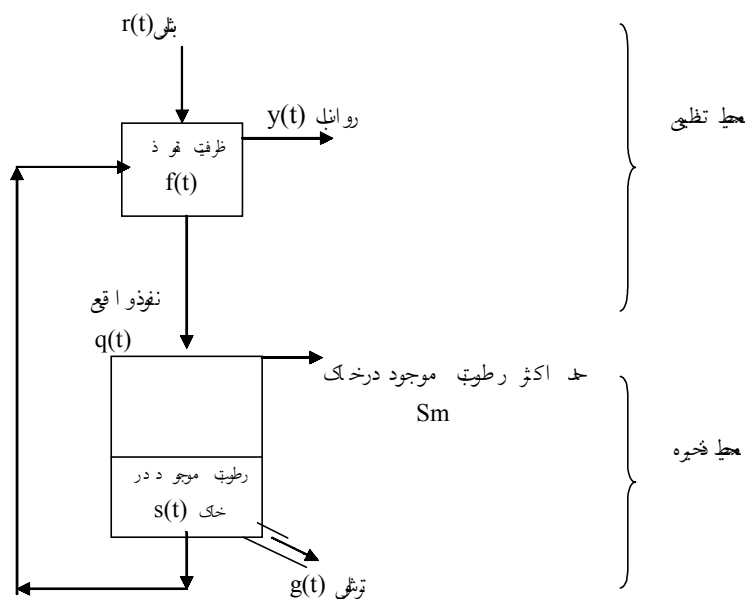
نفوذپذیری بخش مهمی از چرخه هیدرولوژیکی را تشکیل می‌دهد و عبارتست از فرآیند ورود آب به داخل خاک. همچنین جریان سطحی ناشی از بارش مازاد به عنوان یکی از اجزای مهم مدل‌های رواناب می‌باشد (ملسی و همکاران، ۲۰۰۳). به منظور آنالیز دقیق و همچنین تخمین میزان رواناب، به درک بهتری از فرآیند نفوذپذیری نیاز است. یکی از مهمترین فرآیندها در

مواد و روش‌ها

معرفی منطقه: حوزه معرف کچیک با مساحتی حدود ۳۶۰۰ هکتار یکی از زیر حوزه‌های کوچک حوزه آبخیز قرناوه بوده و از نظر تقسیمات کشوری جزء بخش مراوه تپه و در محدوده شهرستان کلالة، در منتهی الیه شمال شرق استان گلستان، در مختصات ۱۰" و ۵۲' و ۵۵° الی ۵۲" و ۵۷' و ۵۵° طول شرقی و ۱۵" و ۴۲' و ۳۷° الی ۲۵" و ۴۶' و ۳۷° عرض شمالی واقع شده است، به طوری که از قسمت شمال به ارتفاعات باباشمل، از جنوب به جنگل‌های عنابلی، از شرق به رشته کوه شلمی و از غرب به محور ارتباطی کلالة - مراوه تپه محدود می‌گردد (وزارت جهاد کشاورزی، ۲۰۰۰).

شرح مدل: مدل شامل ۲ محیط است که به طور شماتیک در شکل ۱ نشان داده شده است. محیط اول، محیط تنظیمی است که دارای یک ورودی و دو خروجی می‌باشد و محیط دوم، محیط ذخیره نام دارد که یک ورودی دریافت کرده و یک خروجی دارد. دو محیط با این واقعیت که یکی از خروجی‌های محیط تنظیمی ورودی محیط ذخیره است، به هم مربوط می‌شوند.

(بنداراگودا و همکاران، ۲۰۰۴). شدت نفوذ به ارتفاع آبی گفته می‌شود که اگر در روی زمین وجود می‌داشت می‌توانست در واحد زمان (به‌طور مثال یک ساعت) در زمین نفوذ کند. آب فقط زمانی در سطح زمین انباشته یا جاری می‌شود که شدت بارندگی از سرعت نفوذ آب در خاک بیشتر باشد (علیزاده، ۱۹۹۸). روش‌های فیزیکی نسبتاً ساده‌ای برای شرح فرآیند نقطه‌ای نفوذپذیری وجود دارند. از جمله روابط ارائه شده توسط فلیپ، معادله گرین - امپت، همچنین روابط ارائه شده توسط اسمیت و پارلنگ در سال ۱۹۷۸ (چو و همکاران، ۱۹۹۸). در حقیقت از بسیاری از این مدل‌ها فقط در مواقعی که میزان نفوذپذیری از شدت بارش کمتر است استفاده می‌شود (کرادینی و همکاران، ۲۰۰۴). فوجی مارا و آندو (۲۰۰۱) با استفاده از شبیه ساز باران و محاسبه تغییرات نفوذپذیری در طول بارش به ارزیابی مدل دیسکن و نازیموو پرداخته و به نتایج مطلوبی رسیدند. با وجود اطلاعات غنی در مورد نفوذپذیری، مطالبی وجود دارد که هنوز به قدر کافی بحث نشده و این شامل تغییرات ظرفیت نفوذ و تولید بارش مازاد در طول یک واقعه بارش است. هدف از این مقاله معرفی یک مدل مفهومی نسبتاً ساده از فرآیند نفوذپذیری است که قادر است به حل برخی از مسائل نفوذپذیری بپردازد.



شکل ۱- نمودار شماتیک مدل نفوذپذیری.

مطابق با قانون بقای ماده می توان به صورت معادله ۵ نوشت:

$$q(t)-g(t)=ds/dt \quad (5)$$

روش محاسبه: کاربرد مهم مدل شرح داده شده در بالا، محاسبه تغییرات ظرفیت نفوذ و تولید رواناب مؤثر در طول یک رگبار بارندگی می باشد.

در ابتدا با مشخص بودن پارامترهای مدل (f_o, f_c, f_e) و مقادیر اولیه متغیرها، مقدار اولیه $f(t), g(t)$ با استفاده از معادله های ۱ و ۲ به دست می آید. سپس محاسبات برای پیوندهای زمانی متوالی انجام می شود.

با انتخاب یک پیوند زمانی ($\Delta t = t_{i+1} - t_i$) معادله ۵ را می توان به صورت معادله ۶ نوشت:

$$e \text{ و } b \quad (6) \quad s_e - s_b = (q_b + q_e)\Delta t / 2 - (g_b + g_e)\Delta t / 2$$

به ترتیب نماینده ابتدا و انتهای پیوند است و طول مدت پیوند زمانی توسط Δt نشان داده می شود.

با توجه به تعاریف نفوذ واقعی (q) در معادلات ۳ و ۴ و همچنین میزان شدت بارش در طول زمان، سه حالت ممکن است اتفاق بیفتد:

حالت اول: شدت باران در ابتدا و انتهای پیوند زمان، بیشتر از ظرفیت نفوذ است، یعنی $I > f_b$ و $I > f_a$. در این حالت $q_e = f_e$ و $q_b = f_b$ می باشد که در این صورت معادله ۶ را می توان با توجه به معادلات ۱ و ۲ به صورت معادله ۷ بازنویسی نمود:

$$s_e = (f_o \Delta t + s_b (1 - f_o \Delta t / 2sm)) / (1 + f_o \Delta t / 2sm) \quad (7)$$

حالت دوم: شدت بارندگی در ابتدا و انتهای پیوند زمان، کمتر از ظرفیت نفوذ است، یعنی $I < f_b$, $I < f_e$. در این حالت: $(q_a + q_b) / 2 = I$. در این صورت معادله ۶، با توجه به معادله ۱ به صورت معادله ۸ بازنویسی می شود:

$$s_e = (s_b (1 - f_c \Delta t / 2sm) + r \Delta t) / (1 + f_c \Delta t / 2sm) \quad (8)$$

حالت سوم: شدت بارندگی کمتر از ظرفیت نفوذ در شروع پیوند زمانی و بیشتر از ظرفیت نفوذ در پایان همان پیوند زمانی است، یعنی $I < f_b$ و $I > f_e$. که این حالت در لحظه تولید رواناب بوجود می آید. در این حالت در

محیط تنظیمی نماینده سطح خاک است که تعیین کننده ظرفیت نفوذ خاک می باشد. این محیط همچنین میزان تبدیل بارش $r(t)$ را به نفوذ واقعی $q(t)$ و رواناب $y(t)$ تعیین می نماید. محیط ذخیره نیز نماینده رطوبت لایه بالایی خاک می باشد که این رطوبت از طریق نفوذپذیری $q(t)$ ، از بالا به آن اضافه شده و توسط تراوش $g(t)$ ، از مرز پایین آن تخلیه می شود.

تعریف پارامترهای مدل: کاربرد مدل در فرآیند نفوذپذیری نیاز به تعریف سه پارامتر دارد که عبارتند از: S_m حد اکثر رطوبت موجود در خاک، f_o و f_c حداکثر و حداقل میزان نفوذپذیری. این سه پارامتر برای تعریف محیط های مدل و شرح فرآیند نفوذپذیری با هم ترکیب می شوند (شکل ۲).

رابطه بین میزان ذخیره در مخزن $s(t)$ و ظرفیت نفوذ $f(t)$ ، به صورت رابطه خطی کاهنده در رابطه (۱) مشخص شده است:

$$f(t) = f_o - (f_o - f_c) s(t) / sm \quad (1)$$

در عین حال خروجی محیط ذخیره، نماینده میزان تراوش از لایه بالایی خاک بوده $g(t)$ و توسط یک رابطه خطی فزاینده بین میزان ذخیره در مخزن و تراوش در رابطه (۲) نشان داده شده است:

$$g(t) = f_c s(t) / sm \quad (2)$$

خروجی محیط تنظیمی بستگی به میزان ورودی یا شدت بارندگی $r(t)$ و متغیر ثابت یا نفوذپذیری $f(t)$ در زمان مورد ملاحظه دارد. دو خروجی از این محیط شامل نفوذ واقعی $q(t)$ و رواناب $y(t)$ با استفاده از روابط ۳ و ۴ تعیین می شوند:

$$(3) \quad \text{اگر } r(t) < f(t) \text{ و } y(t) = 0 \rightarrow q(t) = r(t)$$

$$(4) \quad \text{اگر } r(t) > f(t) \text{ و } y(t) = r(t) - f(t)$$

مقدار متغیر ثابت ذخیره $s(t)$ در هر لحظه از زمان t تغییر می کند که این نرخ بستگی به میزان ورودی و خروجی از محیط ذخیره دارد. رابطه بین این سه متغیر را

لحظه‌ای داخل Δt ظرفیت نفوذ با شدت بارش برابر خواهد شد.

محتوای رطوبتی خاک در این لحظه که با s_r نشان داده می‌شود با جانشین کردن $r=f(t)$ در معادله ۱ به صورت معادله ۹ به دست می‌آید:

$$S_r = (f_0 - r) sm / (f_0 - f_c) \quad (9)$$

سپس با جایگزینی $S_e = S_r$ و $\Delta t = \Delta t_1$ زمان تساوی بارندگی و نفوذ به کمک رابطه معادله ۱۰ محاسبه می‌شود:

$$\Delta t_1 = (s_r - s_b) / (r - (s_b + st) f_c / 2sm) \quad (0 < \Delta t_1 < \Delta t) \quad (10)$$

در نهایت مقدار S_e یا محتوای رطوبت خاک در پایان پریود زمان از معادله معادله ۱۱ قابل محاسبه است:

$$s_e = (f_0 \Delta t_2 + s_r (1 - f_0 \Delta t_2 / 2sm)) / (1 + f_0 \Delta t_2 / 2sm) \quad (11)$$

بدین ترتیب با ثابت بودن فاصله پریودهای زمانی معادلات ۷ و ۸ را می‌توان به صورت معادلات ۱۲ و ۱۳ خلاصه نمود:

$$se = k_1 s_b + k_2 \quad \text{در مورد حالت اول: (12)}$$

$$se = k_3 s_b + k_4 R \quad \text{و در مورد حالت دوم: (13)}$$

ضرایب k_1, k_2, k_3, k_4 مقادیر ثابتی هستند که

توسط پارامترهای مدل در هر پریود زمانی به صورت معادلات ۱۴، ۱۵، ۱۶ و ۱۷ محاسبه می‌شوند:

$$k_1 = (1 - f_0 \Delta t / 2sm) / (1 + f_0 \Delta t / 2sm) \quad (14)$$

$$k_2 = f_0 \Delta t / (1 + f_0 \Delta t / 2sm) \quad (15)$$

$$k_3 = (1 - f_c \Delta t / 2sm) / (1 + f_c \Delta t / 2sm) \quad (16)$$

$$k_4 = \Delta t / (1 + f_c \Delta t / 2sm) \quad (17)$$

زمان ماندابی (پاندینگ تایم) و بارش مازاد: در مطالعات نفوذپذیری پاندینگ تایم عبارتست از لحظه شروع بارش مازاد و نمایانگر زمانی است که در آن شدت بارندگی از یک میزان کمتر از ظرفیت نفوذ به میزانی بیشتر از آن تغییر می‌کند (بون، ۲۰۰۱).

پاندینگ تایم ممکن است به یکی از دو صورت زیر باشد: الف) پاندینگ تایم مضرب صحیحی از پریود زمانی است: زمانی حاصل می‌شود که شدت بارش از یک میزان کمتر از ظرفیت نفوذ به میزانی بیشتر از ظرفیت نفوذ تغییر نماید (شکل ۳-ا).

ب) مربوط به پاندینگ تایم‌هایی می‌شود که در آن ظرفیت نفوذ در داخل پریود زمانی از میزانی بیشتر از شدت بارش به مقداری کمتر از آن تغییر کند (شکل ۳-ب).

شکل ۲- نمودار روابط تابعی بین ظرفیت نفوذ (f) و رطوبت خاک (s) و بین میزان تراوش (g) و رطوبت خاک.

شکل ۳- دو نوع زمان ماندابی شدن.

- ۴- نمونه برداری از خاک مرتع و اندازه گیری حداکثر رطوبت موجود در خاک.
 ۵- وارد نمودن اطلاعات به مدل.
 ۶- محاسبه تغییرات نفوذپذیری و میزان بارش مازاد.

نتایج

- پس از جمع آوری آمار و اطلاعات بارندگی های رگباری در ایستگاه های باران سنجی حوزه مورد مطالعه از سازمان جهاد کشاورزی استان گلستان و انتخاب پیوند زمانی ۱۰ دقیقه ای، نتایج زیر حاصل شد که به طور خلاصه در جدول های ۱ و ۲ آورده شده است:
- ۱- با توجه به جدول ۱، مقدار f_0 برابر با ۳۰۰ میلی متر بر ساعت و مقدار f_c برابر با ۴ میلی متر بر ساعت می باشد.
 - ۲- میزان رطوبت اولیه خاک و حداکثر رطوبت موجود در خاک در این کاربری به ترتیب ۱۲ و ۳۵ میلی متر اندازه گیری شد.
 - ۳- همانطور که در جدول ۲ مشاهده می شود، ۵۵/۹ میلی متر بارش مازاد از این بارش حاصل شده است.
 - ۴- تولید بارش مازاد حدود ۶۰ دقیقه به طول انجامیده است.

پانددینگ تایم در حالت اول نشان دهنده آن است که بارش مازاد در پایان پیوند زمانی حاصل می شود ولی در حالت دوم بارش مازاد در یک زمان کوچک داخل پیوند زمانی اتفاق می افتد.

محاسبه بارش مازاد: عمق بارش مازاد یا بارش مؤثر در هر پیوند زمانی که شدت بارندگی بیشتر از ظرفیت نفوذپذیری باشد براساس معادلات ۱۸ و ۱۹ محاسبه می شود:

$$\Delta r = [r - (f_b + f_e / 2)] \Delta t \quad (18)$$

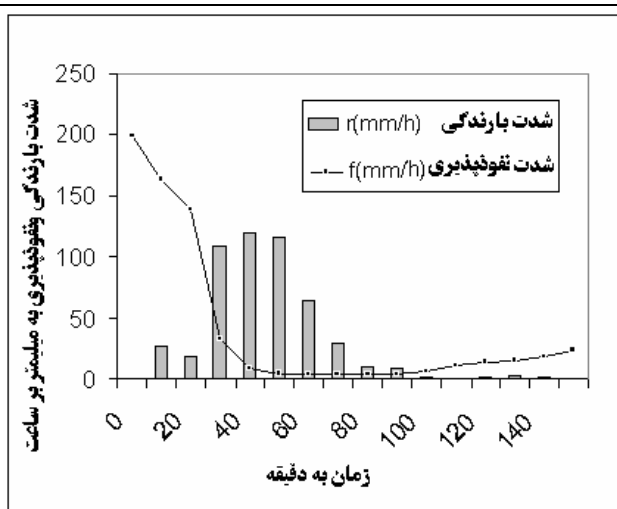
$$\Delta r = [r - (r + f_e / 2)] \Delta t^2 \quad (19)$$

روش کار: با توجه به اینکه بخش اعظم حوزه کچیک دارای کاربری مرتع می باشد، مدل برای این کاربری به اجرا درآمد. مراحل کار به ترتیب زیر می باشد که به تفصیل در نمودار جریانی شکل ۳ آورده شده است:

- ۱- تهیه آمار و داده های بارندگی ایستگاه ثبات از سازمان جهاد کشاورزی استان گلستان و دسته بندی رگبارها.
- ۲- جدا نمودن رگبارهایی که احتمال وقوع رواناب در آنها وجود دارد.
- ۳- عملیات صحرائی شامل اندازه گیری میزان نفوذپذیری با استفاده از استوانه های دوتایی در مرتع.

جدول ۱- نتایج اندازه‌گیری نفوذپذیری به روش استوانه مضاعف در مراتع حوزه آبخیز کچیک.

زمان (دقیقه)	مقدار نفوذ (میلی‌متر)	شدت نفوذ (میلی‌متر بر ساعت)
۰	۰	-
۱	۵	۳۰۰
۲	۹	۲۴۰
۳	۱۲	۱۸۰
۵	۱۷	۱۵۰
۷	۲۱	۱۲۰
۱۰	۲۵	۸۰
۱۵	۲۹	۴۸
۳۰	۳۳	۱۶
۴۵	۳۶	۱۲
۶۰	۳۷	۴
۷۵	۳۸	۴
۹۰	۳۹	۴



شکل ۵- های توگراف بارش و مقادیر ظرفیت نفوذ.

حداکثر نرخ میزان نفوذپذیری (f_0, f_c) و حداکثر رطوبت موجودی در خاک (sm) و همچنین متغیرهای مدل عبارتند از تغییرات نفوذپذیری $f(t)$ و تغییرات رطوبت موجود در خاک (sm).

۲- کاربرد اصلی مدل محاسبه تغییرات ظرفیت نفوذپذیری و محاسبه بارش مازاد در طول و بعد از رگبار بارندگی است که به شکل های توگراف موجود است.

۳- دلیل انتخاب این مدل و برتری که این مدل نسبت به سایر مدل‌ها داراست این است که، بر خلاف سایر مدل‌های محاسبه بارش مازاد مانند روش شماره منحنی، نظر کارشناسی اصلاً در این مدل دخالت داده نمی‌شود و پارامترهای مدل از طریق اندازه‌گیری مستقیم به مدل وارد می‌شوند.

۴- با توجه به نتایج حاصله از جدول ۲ مشاهده می‌شود که میزان ظرفیت نفوذپذیری با بارش مازاد رابطه معکوس

۵- تغییرات ظرفیت نفوذپذیری در طی این رگبار به ترتیب در پریده‌های ۱۰ دقیقه‌ای ۱۹۸/۵، ۱۶۲/۹، ۱۳۸/۷، ۳۲/۷۴، ۸/۸۴، ۴/۸۱، ۴/۱۳، ۴/۰۲، ۴/۰۰۱، ۴/۰۰۲، ۷/۱۳، ۱۱/۱۳، ۱۳/۸۸، ۱۵/۴، ۱۸/۵۷ و ۲۳/۵۳ میلی‌متر بر ساعت به دست آمده است.

۶- میزان نرخ تراوش از لایه بالایی خاک در طی این رگبار به ترتیب در پریده‌های ۱۰ دقیقه‌ای ۱/۳۷، ۱/۸۵، ۲/۱۷، ۳/۶۱، ۳/۹۳، ۳/۹۸، ۳/۹۸، ۴، ۴، ۳/۹۵، ۳/۹، ۳/۸۶، ۳/۸۴، ۳/۸، ۳/۷ میلی‌متر بر ساعت به دست آمده است.

بحث و نتیجه‌گیری

۱- مدلی که در اینجا از آن بحث شده است، مدلی نسبتاً ساده است که شامل دو محیط، سه پارامتر و دو متغیر ثابت می‌باشد. پارامترهای مدل عبارتند از حداقل و

دارد که این مطلب با نتایج بایر (۱۹۷۴)، ورما (۱۹۸۲)، مشابهت دارد.

جدول ۲- نتایج حاصل از اجرای مدل نفوذپذیری ارائه شده در مراتع حوزه آبخیز کچیک.

زمان T(min)	مقدار بارندگی r(mm)	شدت بارندگی r(mm/h)	تغییرات رطوبتی S(t) (mm/h)	تغییرات نفوذپذیری F(t)(mm/h)	نرخ تراوش g(t)	بارش مازاد Re(mm)
۰	۰	۰	۱۲	۵/۱۹۸	۱/۳۷۱	۰
۱۰	۴/۴۸	۲۷	۱۶/۲۱	۱۶۲/۹	۱/۸۵۳	۰
۲۰	۳/۱۹	۱۹/۲	۱۹/۰۷	۱۳۸/۷	۲/۱۷۹	۰
۳۰	۱۸/۱	۱۰/۹	۳۱/۶	۳۲/۷۴	۳/۶۱۲	۵/۰۷۶
۴۰	۱۹/۹۸	۱۲۰	۳۴/۴۳	۸/۸۴	۳/۹۳۵	۱۶/۵۳
۵۰	۱۹/۳۲	۱۱۶	۳۴/۹	۴/۸۱۷	۳/۹۸۹	۱۸/۱۹
۶۰	۱۰/۶	۶۳/۹	۳۴/۹۸	۴/۱۳۸	۳/۹۹۸	۹/۸۵۷
۷۰	۴/۹	۲۹/۵	۳۵	۴/۰۲۳	۴	۴/۲۲۳
۸۰	۱/۸	۱۰/۸	۳۵	۴/۰۰۴	۴	۱/۱۳۴
۹۰	۱/۵۶	۹/۴	۳۵	۴/۰۰۱	۴	۰/۸۹۶
۱۰۰	۰/۲۹	۱/۷۵	۳۴/۶۳	۷/۱۳۴	۳/۹۵۸	۰
۱۱۰	۰/۱۸	۱/۰۸	۳۴/۱۶	۱۱/۱۳	۳/۹۰۴	۰
۱۲۰	۰/۳۲	۱/۹۳	۳۳/۸۳	۱۳/۸۸	۳/۸۶۷	۰
۱۳۰	۰/۴۶	۲/۷۷	۳۳/۶۵	۱۵/۴	۳/۸۴۶	۰
۱۴۰	۰/۲۶	۱/۵۷	۳۳/۲۸	۱۸/۵۷	۳/۸۰۳	۰
۱۵۰	۰/۰۴	۰/۲۴	۳۲/۶۹	۲۳/۵۳	۳/۷۳۶	۰

$\Sigma=۵۵/۹$

۷- زمان شروع بارش مازاد رابطه مستقیم با محتوای رطوبت اولیه خاک دارد و هر چه این میزان بالاتر باشد زمان تولید رواناب زودتر خواهد بود.

۵- تا زمانی که شدت بارش از ظرفیت نفوذپذیری کمتر است، میزان نفوذ با میزان بارش برابر است که با نتایج سینگ (۱۹۸۹) و آرون و دمپسی (۱۹۹۲) مشابهت دارد.

۶- میزان نرخ تراوش رابطه مستقیم با حداقل نرخ ظرفیت نفوذپذیری (fc) دارد.

منابع

- Alizade, A. 1998. Principals of applied hydrology. Astane Ghodse Razavi publications. 634pp.
- Aron, G., and Dempsey, B.A. 1992. Pen state runoff model user manual. Department of Civil and Environmental Engineering, Pennsylvania.
- Bandaragoda, C., Tarboton, D., and Woods, R. 2004. Application of TOPNET in the distributed model intercomparison project. Journal of Hydrology 298 (2004)178-201.
- Bauer, S.W. 1974. A modified Horton equation during intermittent rainfall. Hydrol. Sci. Bull., 19(2-6): 219-224.
- Beven, K.J. 2001. Rainfall-runoff modelling: the primer, Wiley, Chichester, UK. 361p.
- Chow, V.T., and Maidmet, D.R., and Mays, L.W. 1998. Applied hydrology. Mc Graw- Hill inc., New york, USA.
- Corradini, C., and Morbidelli, R., and Saltalippi, C., and Melsone, F. 2004. Flood forecasting and infiltration modelling. Journal of hydrological sciences. Vol. 49(2), pp227-236.
- Diskin, M.H., and Nazimov, N. 1995. Linear reservoir with feedback regulated inlet as a model for the infiltration process, Journal of hydrology Vol. 172, pp 313-330.
- Fujimura, K., and Ando, Y. 2001. Analysis of infiltration capacity in upper soil layer during unsteady rainfall using a rainfall simulator, in: Urban Drainage Modeling, Brashear R. W. and Maksimovic C. (eds), ASCE, pp 83-88.
- Melesse, A.M., and Graham, W., and Jordan, D. 2003. Spatially distributed watershed mapping and modeling :GIS-based storm runoff response and hydrograph analysis: part 2. Journal of Spatial Hydrology. Vol. 3, No. 2. pp 28.
- Sing, V.P. 1989. Infiltration. In: Hydrologic system, vol.2. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ.
- Telvari, A. 1996. Hydrological models in simple language. Tehran university publications. 401pp.
- Verma, S.C. 1982. Modified Horton's infiltration equation. J. Hydrol., 58:385-388.
- Watershed assistance of agricultural holy war ministry. 2000. Detailed studies of Kechik watershed.

Rainfall-effective runoff modelling (Case study: Kechik watershed, Golestan Province)

A. Kabir¹, N. Noora² and A. Najafinejad²

¹Ph.D. student of Watershed Sciences Islamic Azad University Research and Science Branch, Iran

²Assistand Prof. of Dept. of water-shed management, Gorgan Univ. of Agricultural Sciences and Natural Resources, Iran

Abstract

Effective rainfall is one of the processes of the hydrologic cycle that has been studied very extensively. The various models proposed for description of this process are usually applicable to small plots, subjected to rainfall intensities that are higher than the infiltration capacity of the plots. In this paper we try to introduce a model which presented by Diskin and Nazimov. The model presented here in is not restricted to infiltration capacity only. It can also be used for computing the variations in the infiltration capacity rate and the production of rainfall excess for any given rainfall hyetograph and a specified value of the initial moisture content of the upper soil layer. The model comprises two elements, a linear reservoir and a regulating element. The definitions of the two elements require three parameters: minimum and maximum rate of infiltration capacity (f_c , f_o) and the maximum value of moisture storage in upper soil layer. In order to calculate the amount of rainfall excess, the model used in Kechik watershed, Golestan Province. The results show that the value of the rainfall excess during a selected rainfall was about 55.9 mm.

Keywords: Infiltration variations; Rainfall excess; Maximum value of moisture storage; Minimum and maximum rate of infiltration capacity; Kechik watershed