شماره ۹۱، تابستان ۱۳۹۰

نشریه زراعت

(پژوهش و سازندگی)

مدل ریاضی نفوذ در کرت‌های شیب‌دار دست نخورده

• علی رضایی

عضو هیئت علمی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان زنجان (نویسنده مسئول)

تاریخ‌دریافت: مرداد ماه ۱۳۸۶ تاریخ‌پذیرش: مهر ماه ۱۳۸۸

تلفن تماس نویسنده مسئول: ۰۹۱۲۱۴۱۸۲۸۰

Email: rezaei_ali@hotmail.com

چکیده

شناخت عامل های اثرگذار بر رابطه بارش و رواناب موجب بهینه‌سازی مدل‌های ریاضی برای تحلیل پدیده مذکور می‌گردد. بدین خاطر ابتدا در ۸۰ کرت آزمایشی ماتریس ضریب همبستگی بین ضریب رواناب و تعدادی از عوامل محیطی یعنی از نظر پستی و بلندی شامل طول کرت و درصد شیب، از نظر خاک شامل درصد رس، درصد لای، درصد ماسه، هدایت الکتریکی، اسیدیته، ضریب سختی، درصد سنگریزه، درصد لاشبرگ و مجموع درصد سنگریزه و لاشبرگ و از نظر پوشش گیاهی شامل درصد تاج پوشش، درصد مواد آلی مورد بررسی قرار گرفت. در مرحله بعد در ۷۷ و بعد در ۷۵ کرت دو واقعه بارندگی دراز مدت با تداوم بیش از ۲۴ ساعت و با شدت متوسط ۱/۵ میلی‌متر بر ساعت انتخاب شده و مدل ریاضی منحنی نفوذ تجمعی در رابطه با طول کرت در جهت شیب و بر مبنای رگرسیون تهیه گردید. سپس مدل بدست آمده با استفاده از داده‌های یک دسته کرت با شرایط یکسان و تنها با طول‌های متفاوت و برای مقادیر بارش ۳۸/۲ و ۳۴/۸ میلی‌متر مورد آزمون قرار گرفت. نتیجه آنکه با افزایش طول کرت عمق نفوذ تجمعی افزایش پیدا کرده ولی شدت اثرگذاری اندازه طول کرت در میزان نفوذ تجمعی با افزایش طول کرت کاهش پیدا کرده است. در نهایت بعد از طول حدود ۲۲ متر، روند منحنی عمق نفوذ تجمعی با اندازه طول کرت و در جهت شیب غالب تقریباً تبدیل به یک روند خطی با شیب بسیار ضعیف می‌گردد.

کلمات کلیدی: طول کرت، نفوذ تجمعی، مدل ریاضی، بارش – رواناب

www.SID.ir

Agronomy Journal (Pajouhesh & Sazandegi) No:91 pp: 10-18

Mathematical infiltration model in steep undisturbed plots.

By: A. Rezaei, Scientific Member of Agricultural and Natural Resources Research Center of Zanjan Province (Corresponding Author; Tel: +989121418280)

The survey of effective factors on rainfall-Runoff relations cause to improve Mathematical models to analysis that phenomena. For this reason, first of all at 80 experimental plots the correlation matrices among runoff coefficient and some other environmental factors conclude from the topography: plot's length and slop percentage, from the soil: clay, silt, sand all percentage, EC, pH, Strength coefficient, gravel percentage and sum of gravel and litter percentage and from the vegetation cover: canopy and organic matter have been surveyed. In the next step at 77 and after 75 plots two rainfall single events with duration of more than 24h and average intensity of 1.5 mm/h selected and mathematical model of accumulated infiltration with relation to plot's length based on regression prepared. After, the prepared model tested by a group of plots with equal condition except length and rainfall depth of 38.2 and 34.8mm. The result is that by increasing the plot's length the accumulated infiltration depth added but the intensity of effectiveness of plot's length on accumulated infiltration depth decrease with increasing length of plot and finally after nearly 22m length the variation of the curve of accumulated infiltration depth with plot's length roughly convert to a linear variation with light gradient.

Key words: Accumulated infiltration, Mathematical model, Plot's length, Rainfall-runoff.

مقدمه

بررسی پدیده بارش و رواناب یکی از موضوعات مهم مورد بحث در علوم خاک و آب، بویژه در هیدرولوژی می‌باشد. ایجاد رواناب زمانی است که شدت بارش بر شدت نفوذ فائق آید. با شناخت بهتر روابط بین نفوذ آب در خاک و بارش امکان مدل نمودن این پدیده حاصل می‌شود. در مدل‌های کامپیوتری مربوط به علوم مهندسی آب و آبخیزداری انجام مطالعه روابط بارش – رواناب در مقیاس سطح و یک حوزه آبخیز انجام می‌گیرد که لزوماً بر مبنای معادلات ریاضی ساخته می‌شوند. بررسی مدل ریاضی نفوذ در رابطه با اثر طول دامنه می‌تواند در ساخت بهتر مدل‌های کامپیوتری از نوع هیدرولوژیکی توزیعی[1] بویژه از نظر انتخاب اندازه شبکه‌بندی حوزه‌های آبخیز مفید واقع شود (۱۳). مشخصه‌های مربوط به عوامل ژئومرفولوژی و اقلیمی از جمله هایتوگراف بارندگی (۵)، عمق خاک، رطوبت پیشین و شکل منحنی نفوذ نسبت به زمان در حالت های ایستابی[2] و غیر ایستابی مهمترین عامل های اثرگذار بر مقدار رواناب تولیدی از هر واقعه بارندگی هستند (۱۲). اما آنچه که بر پیچیدگی موضوع می‌افزاید بررسی و مدل نمودن منحنی نفوذ در مقیاس سطح است. بدلیل آنکه با تغییر دادن مقیاس از یک نقطه (۲۰ الی ۱۰۰ سانتیمتر مربع) به یک سطح (افزایش طول شیب) ضریب هدایت هیدرولیکی و به عبارتی ظرفیت نفوذ نهائی دچار تغییر می‌گردد، هر چند که تغییر مساحت استوانه مضاعف هم در تعیین سرعت نفوذ در یک نقطه دخالت دارد (۱۴). همچنین حتی با ثابت فرض نمودن ضریب هدایت هیدرولیکی (در مقیاس سطح)، تغییر طول شیب نیز مدل ریاضی نفوذ در مقیاس سطح را که موضوع مقاله حاضر می‌باشد، تحت تاثیر قرار خواهد داد. بطوری که Chaplot و Bissonnais (۲۰۰۳) در تحقیقات خود دریافتند که هر چند بررسی های عددی زیادی در رابطه با اثر عوامل مختلف بر میزان نفوذ صورت گرفته ولی تحلیل‌های قابل توجهی در ارتباط با روابط و اثرات متقابل آنها انجام نشده است (۴). نامبردگان در کرت های با طول ۱ و ۵ متری و بر روی شیب های ۴ و ۸ درصد و با شدت های بارندگی ۱/۵ الی ۳۰ میلی‌متر بر ساعت، اثر این عوامل را بر روی میزان رواناب و رسوب تحت شرایط طبیعی و آزمایشگاهی بررسی کرده و دریافتند که ضریب رواناب دارای رابطه مثبت با هر سه عامل مزبور می‌باشد. همچنین افرادی در گذشته در ارتباط با تحلیل رابطه بارش و رواناب بمانند Horton (۱۹۴۰)، Philip (۱۹۵۷) و ... مدل ریاضی منحنی نفوذ را در یک نقطه و در شرایط وجود ضخامتی از آب در سطح خاک و با سطح افقی، برای خاک های غیر کوبیده شده ارائه نموده‌اند (۶، ۱۱). در بیشتر مدل‌های کاربردی تحلیل بارش رواناب از مدل ریاضی ارائه شده برای تعیین مقدار نفوذ در یک نقطه و در شرایط ایستابی استفاده شده است. هدف این تحقیق بررسی رابطه ویژگی های فیزیکی خاک، اندازه طول کرت، پوشش گیاهی و مقدار بارندگی نسبتاً پیوسته با تداوم بیش از ۲۴ ساعت با عمق نفوذ تجمعی آب در خاک برای تبیین فرآیند نفوذ در شرایط واقعی و ارائه مدل ریاضی نفوذ در مقیاس سطح و برای بارش های طولانی مدت با شدت متوسط و کم است.

مواد و روش ها

مواد آزمایشی و داده‌های مورد استفاده بر گرفته از طرح تحقیقاتی "تحقیق و بررسی در زمینه عوامل فرسایش خاک در مراتع استان خراسان" می‌باشد (۱). این طرح در ناحیه به نام شکر کلات نادری در ۱۰۰ کیلومتری شمال‌شرقی شهرستان مشهد از سال ۱۳۷۵ به مدت چهار سال در قالب ۸۰ کرت اجرا شده و جمعاً به تعداد ۴۵ واقعه بارندگی[3] منجر به تولید رواناب ثبت شده است. در این تحقیق برای امتناع از خطاهای موجود تنها بارندگی‌های با عمق بیشتر از ۱ میلی‌متر و به تعداد ۳۷ واقعه استفاده

Archive of SID

شد (جدول ۲). برای رسیدن به عوامل اصلی اثرگذار بر مقدار نفوذ، ابتدا ضریب رواناب با تقسیم عمق رواناب (جمع آوری شده در بشکه‌ها) به عمق بارش اندازه‌گیری (از طریق باران‌نگار) به عنوان معرفی از مقدار نفوذ در هر کرت محاسبه شد. برای جلوگیری از تأثیر هایتوگراف و رطوبت پیشین در تغییرات عمق نفوذ تجمعی و نزدیک شدن به سرعت نفوذ نهائی از وقایع بارندگی انفرادی طولانی مدت بیش از ۲۴ ساعت برای ساخت و آزمون مدل ریاضی نفوذ تجمعی استفاده گردید. سپس با استفاده از نرم‌افزار آماری SPSS ماتریس همبستگی بین متغیرها تهیه و نسبت به تشخیص و استخراج متغیر(های) مستقل اقدام شد. متغیرهای مورد بررسی در هر کرت عبارت از عوامل محیطی می‌باشند. این عوامل از نظر پستی و بلندی شامل طول کرت و درصد شیب، از نظر خاک شامل درصد رس، درصد لای، درصد ماسه، هدایت الکتریکی، اسیدیته، ضریب سختی (۳)، درصد سنگریزه و مجموع درصد سنگریزه و لاشبرگ و از نظر پوشش گیاهی شامل درصد تاج پوشش، درصد مواد آلی و درصد لاشبرگ است (۱).

برای بررسی رابطه همبستگی معنی‌دار بین ضریب رواناب بعنوان معرفی از میزان نفوذ تجمعی و تعدادی از عوامل محیطی مورد اشاره از ماتریس همبستگی استفاده شد. ضمناً از وارد نمودن داده‌های کرت های فاقد عمق رواناب در محاسبات اجتناب گردید. وقایع بارندگی مورد بررسی از نوع باران بوده و عمق آنها کمینه برابر با یک و بیشینه برابر ۵۴/۲ میلی متر است. اما برای رسیدن به متغیر یا متغیرهای مستقل اثرگذار در معادله نفوذ ابتدا با بررسی عمق‌های بارندگی‌های انفرادی، دو واقعه بارندگی از نوع باران با عمق بارش ۵۴/۲ و ۵۳ میلی‌متر و با مدت بارش (متناوب)[۴] به ترتیب ۳۶ و ۲۹ ساعت انتخاب شدند. علت انتخاب این دو واقعه به این خاطر است که تقریباً در تمام کرت ها رواناب ایجاد شده و حالت سرعت نفوذ نهائی آب در خاک نیز اتفاق افتاده و شدت متوسط بارندگی در هر دو تقریباً یکسان است (شدت متوسط برابر با ۱/۵ میلی متر بر ساعت). سپس مجدداً برای هر واقعه بارندگی انتخابی، ماتریس ضریب همبستگی بین ۱۴ متغیر محیطی ذکر شده محاسبه شد.برای آزمون مدل بدست آمده به تعداد دو دسته کرت انتخاب شدند. هر یک از این دو دسته کرت‌های انتخابی دارای تمام عوامل اندازه‌گیری شده یکسان بجز طول کرت بوده و در تولید معادله ۱۱ مشارکت نداشته‌اند. دسته اول شامل کرت های شماره ۴۶، ۴۷، ۴۸، ۴۹ و ۵۰ و دسته دوم شامل کرت های ۵۸، ۵۹، ۶۰، ۶۱ و ۶۲ می‌باشد (۱). در هر یک از این دو دسته داده‌ها طول کرت ها ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰ و ۲۵ متر است. مقدار بارش‌های انفرادی انتخابی ۳۸/۲ و ۳۴/۸ میلی متر با شدت متوسط به ترتیب ۱/۷ و ۱/۶ میلی متر بر ساعت می‌باشد.

مدل ریاضی نفوذ

در مدت زمان مربوط به یک واقعه بارش انفرادی، بخشی از باران در زمین نفوذ کرده و در صورت غلبه شدت بارندگی بر شدت نفوذ، بخشی دیگر نیز در سطح زمین جاری می‌شود[۵]. مدل ریاضی نفوذ این دو حالت در یک نقطه با همدیگر متفاوت است و در زمانی که شدت بارندگی کمتر از سرعت نفوذ است عمق نفوذ برابر با عمق بارش (و تبخیر و تعرق واقعی) و در غیر آن کمتر از عمق بارش خواهد بود. مدل ریاضی ظرفیت نفوذ نهائی در شرایط بدون محدودیت منبع رطوبتی (غلبه شدت بارندگی به شدت نفوذ) با استفاده از معادله گرین-امپت (۸) به صورت زیر است (معادله ۱). زمان لازم تا مرحله رسیدن به تشکیل یک لایه اشباع در سطح خاک[۶] از معادله ۲ و مقدار نفوذ تجمعی توسط رابطه شماره ۳ یعنی بر مبنای معادله ساده شده هورتون) ۱۰) بدست می‌آید.

$$i_c = K\frac{(S_f + I)}{I} \qquad (۱)$$

$$t_p = \frac{KS_f}{r(r-K)} \qquad (۲)$$

$$I = Kt + \frac{\frac{P}{t} - K}{-kt+1}e^{-kt+1} \qquad (۳)$$

که در آنها:

i_c= ظرفیت نفوذ یا سرعت نفوذ در شرایط عدم وجود محدودیت عمق آب برای نفوذ، K = ضریب هدایت هیدرولیکی اشباع، S_f = عامل ذخیره-مکش[۷]، I = عمق نفوذ تجمعی، t = زمان از مرحله شروع نفوذ (بارش)، t_p = زمان از شروع نفوذ (بارندگی) تا مرحله رسیدن به مرحله غلبه شدت بارندگی بر شدت نفوذ آب در خاک، r = شدت بارندگی، P = عمق بارش انفرادی.

نتایج

وضعیت اجمالی کرت های مورد استفاده بیانگر آن است که دامنه متغیرهای محیطی مورد استفاده در بیشتر موارد از حد خوبی برخوردار است. بطوری که جز مقدار اسیدیته خاک سایر متغیرهای دارای دامنه وسیع هستند. اما میانگین متغیرها برای طول های مختلف کرت در بیشتر مواقع بهم دیگر نزدیک هستند (جدول ۱). بیشترین فراوانی واقایع بارندگی مربوط به بارش های کوتاه مدت بوده به نحوی که در ۶۵ درصد موارد عمق بارندگی های مورد استفاده در این تحقیق کمتر از ۱۰ میلی متر است (جدول ۲). همچنان که از جدول ۳ بر می‌آید ضریب رواناب با عامل های سنگریزه، لاشبرگ و سنگریزه، درصد تاج پوشش گیاهی، درصد مواد آلی، ضریب سختی و طول کرت دارای ضریب همبستگی معنی‌دار منفی در سطح یک درصد خطا و با میزان شن دارای ضریب همبستگی معنی‌دار مثبت در سطح پنج درصد خطا می‌باشد. سایر متغیرها هم بجز عامل عمق بارش، در بیشتر موارد دارای همبستگی معنی‌دار با همدیگر هستند. بطوری که تعداد فراوانی ضریب همبستگی معنی‌دار آنها از ۱۴ مورد، کمینه ۶ و بیشینه ۱۱ می‌باشد. لذا با توجه همبستگی متغیرها بهم دیگر و با توجه به جداول ماتریس همبستگی ۴ و ۵ مشخص می‌شود که در مقدار بارندگی برابر با ۵۴/۲ میلی متر جدول ۴ میزان همبستگی معنی‌دار ضریب رواناب با یک عامل کاهش مشابه جدول ۳ شامل عامل های سنگریزه، لاشبرگ و سنگریزه، تاج پوشش گیاهی، مواد آلی، ضریب سختی و طول کرت بوده ولی در جدول ۵ به سه عامل یعنی تاج پوشش گیاهی، مواد آلی و طول کرت کاهش پیدا کرده است. از آنجا که پنج مورد از عامل های مذکور (سنگریزه، لاشبرگ و سنگریزه، تاج پوشش گیاهی، مواد آلی، ضریب سختی) نیز با عوامل دیگر دارای همبستگی معنی‌دار بوده اما در مقابل طول کرت که در جدول ۳ دارای فراوانی همبستگی برابر با ۱۲ می‌باشد

Archive of SID

www.SID.ir

در جـداول ۴ و ۵ بـه فراوانی یک کاهش پیدا کرده اسـت. پس تنها متغیر محیطی مسـتقل اثر گذار بر ضریب رواناب همـان طول کرت در ارتباط با وقایع بارش های انتخابی است.

بر اسـاس داده‌های مربوط به بارش‌های انتخابی، معادله ریاضی رابطه طول کرت با عمق نفوذ تجمعی بدسـت آمده است (منحنی متوسط در شکل ۱ و معادله ۴ با ضریب همبسـتگی در سطح خطای یک درصد). در ادامه و با فـرض ناچیز بودن مقدار تبخیر و تعرق برای بارشهای انفرادی، رابطه بیلان آب بصـورت سـاده در قالب معادله ۵ لحاظ شده و بـا تلفیق معادلات ۴ و

جدول ۱- ویژگی های اجمالی کرت های آزمایشی استفاده شده

دامنه تغییرات	طول کرت m	شیب٪	سنگریزه ٪	لاشبرگ ٪	لاشبرگ و سنگریزه	تاج پوشش ٪	رس ٪	شن ٪	لای ٪	٪ مواد آلی	هدایت الکتریکی mmhos/cm	اسیدیته	ضریب سختی	تعداد کرت
بیشینه	۵	۶۵	۸۰	۱۲	۸۳	۷۰	۳۱/۵	۷۰	۳۰/۵	۳/۳	۸	۸	۹	۲۰
کمینه		۱۴	۰	۰	۰	۰	۹	۴۵	۱۹/۵	۰/۸	۱,۱	۷/۲	۰/۹	
میانگین		۳۵/۷۵	۱۵/۵	۳/۵۵	۱۹	۳۴/۵	۱۵/۸۵	۵۸/۹	۲۵/۲	۱/۴۲	۳/۱	۷/۵	۳/۴	
بیشینه	۱۰	۶۵	۸۰	۱۲	۸۴	۸۰	۳۱/۵	۶۶	۸۲/۴	۳/۳	۷	۸	۹	۲۶
کمینه		۱۰	۰	۰	۰	۰	۹	۵/۶	۱۹/۵	۰/۸	۰/۳	۷/۲	۰/۶	
میانگین		۳۴/۷۵	۱۱/۱۵	۲/۳	۱۳/۴۵	۳۰/۲	۱۶/۹	۵۴/۳۵	۲۸/۷۴	۱/۴۹	۳/۱۵	۷/۵۵	۳/۳	
بیشینه	۱۵	۶۰	۷۸	۱۳	۷۹	۶۹	۲۳	۷۰	۸۲/۴	۳/۳	۸	۷/۹	۹	۱۵
کمینه		۱۰	۰	۰	۰	۷	۱۰	۵/۵	۱۹/۵	۰/۹	۱	۷/۲	۰/۹	
میانگین		۳۵/۵	۱۱/۵	۴/۵	۱۶	۴۴/۷	۱۵/۸	۵۱/۵	۳۲/۷	۱/۷	۳/۳	۷/۵	۳/۸	
بیشینه	۲۰	۶۵	۸۰	۱۲	۸۱	۶۸	۱۹/۵	۷۰	۸۲/۴	۳/۳	۷	۷/۸	۹	۱۲
کمینه		۱۰	۰	۰	۰	۱	۱۰	۵/۵	۱۹/۵	۰/۸	۱/۲	۷/۲	۰/۶	
میانگین		۴۱/۷	۱۴/۷	۳/۲۵	۱۷/۹	۳۸/۴	۱۵/۱۳	۴۹/۸	۳۵/۱۲	۱/۵	۳/۵	۷/۵	۴	
بیشینه	۲۵	۳۰	۸۱	۱	۸۲	۶۹	۱۵	۶۴/۵	۳۰/۵	۱/۶	۷	۷/۵	۹	۲
کمینه		۲۵	۰	۱	۱	۱۸	۱۴	۵۴/۵	۲۱/۵	۱/۳	۱/۷	۷/۲	۰/۹	
میانگین		۲۷/۵	۴۰/۵	۱	۴۱/۵	۴۳/۵	۱۴/۵	۵۹/۵	۲۶	۱/۴۵	۴/۳۵	۷/۳۵	۵	

جدول۲- فراوانی وقایع بارندگی مورد استفاده

عمق بارندگی mm	فراوانی	درصد
۱ الی ۱۰	۲۴	۶۵
۱۰ الی ۲۰	۸	۲۲
۲۰ الی ۳۰	۱	۳
۳۰ الی ۴۰	۲	۵
۴۰ الی ۵۰	۰	۰
۵۰ الی ۶۰	۲	۵
جمع	۳۷	۱۰۰

www.SID.ir

جدول ۳- ماتریس همبستگی تعدادی از عاملهای محیطی باهم‌دیگر

	٪ضریب رواناب	٪شیب	٪ سنگریزه	٪ لاشبرگ	لاشبرگ و سنگریزه	٪ تاج پوشش	٪ رس	٪شن	درصد لای	٪ مواد آلی	هدایت الکتریکی	اسیدیته	ضریب سختی	طول کرت	عمق بارش mm
ضریب رواناب ٪	۱														
شیب ٪	نه	۱													
سنگریزه ٪	××م	م ××	۱												
لاشبرگ ٪	نه	م ××	م××	۱											
لاشبرگ و سنگریزه	م ××	م ××	××	م ××	۱										
تاج پوشش ٪	م ××	م ××	م××	××	م××	۱									
رس ٪	نه	××	م××	××	م××	××	۱								
شن ٪	×	م ××	××	م××	××	م××	م××	۱							
درصد لای	نه	××	م××	××	م××	××	نه	م××	۱						
مواد آلی٪	م ××	م ××	م××	××	م××	××	××	م××	××	۱					
هدایت الکتریکی	نه	××	م××	م××	م××	××	××	م××	××	××	۱				
اسیدیته	نه	م ××	××	م××	××	م××	م××	××	م××	م××	م××	۱			
ضریب سختی	م ××	نه	××	م××	××	م××	م××	م××	××	××	م××	××	۱		
طول کرت	م ××	××	××	نه	××	××	م××	م××	××	×	××	م××	××	۱	
عمق بارش mm	نه	نه	نه	نه	نه	نه	نه	نه	نه	نه	نه	نه	نه	نه	۱
فراوانی موارد معنی‌دار	۷	۱۱	۱۱	۹	۹	۸	۶	۷	۶	۹	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۰

××: معنی‌دار بودن در سطح ٪۱، ×: معنی‌دار بودن در سطح ٪۵، م: وجود همبستگی منفی، نه: فاقد همبستگی

۵ معادلـــه ۶ حاصل شده کـــه با جایگذاری آن در معادله ۳ مدل نهائی نفوذ تجمعی نتیجه شده است (معادله ۷).

$$P = I + R \qquad (۵)$$

$$P = I + aPL^{-0.9051} \qquad (۶)$$

$$\frac{R}{P} = a\,L^{-0.9051} \Rightarrow R = a \times P\,L^{-0.9051} \qquad (۴)$$

www.SID.ir

جدول۴- ماتریس همبستگی عوامل موثر بر نفوذ برای بارش ۵۴/۲ میلیمتر

	ضریب رواناب٪	شیب٪	سنگریزه ٪	لاشبرگ ٪	لاشبرگ و سنگریزه	تاج پوشش ٪	رس ٪	شن ٪	درصد لای	٪ مواد آلی	هدایت الکتریکی	اسیدیته	ضریب سختی	طول کرت	عمق بارش mm
ضریب رواناب ٪	۱														
شیب ٪	نه	۱													
سنگریزه٪	× م	م ×	۱												
لاشبرگ٪	نه	نه	م ×	۱											
لاشبرگ و سنگریزه	م ×	م ×	××	نه	۱										
تاج پوشش ٪	م ××	م ××	م ××	××	م ×	۱									
رس ٪	نه	نه	م ××	نه	م ××	نه	۱								
شن ٪	نه	نه	××	م ××	××	م ××	م ×	۱							
درصد لای	نه	نه	م ×	××	نه	××	نه	م ××	۱						
مواد آلی٪	م ××	م ×	م ×	××	نه	××	نه	م ××	××	۱					
هدایت الکتریکی	نه	نه	م ××	نه	م ××	نه	نه	نه	نه	نه	۱				
اسید یته	نه	نه	××	م ××	××	م ×	م ×	××	م ××	م ×	م ××	۱			
ضریب سختی	م ××	نه	××	نه	××	نه	م ××	نه	نه	×	م ××	×	۱		
طول کرت	م ××	نه	نه	نه	نه	نه	نه	نه	نه	نه	نه	نه	نه	۱	
فراوانی موارد معنی‌دار	۶	۴	۱۰	۵	۶	۵	۳	۵	۴	۷	۲	۹	۶	۱	۱

××: معنی‌دار بودن در سطح ٪۱، ×: معنی‌دار بودن در سطح ٪۵، م: وجود همبستگی منفی، نه: فاقد همبستگی

$$I = \frac{K t + (\frac{aPL^{-0.9051} - K}{t(-k t + 1)})e^{-k t}}{1 - \frac{e^{-k t+1}}{t(-k t + 1)}} \qquad (۷)$$

کـه در آنها: R= عمق رواناب، L= طول کـرت به متر، a= ضریب با مقدار متوسط ۱۷ و حد بالائی حدود ۹۰ (شکل ۱)

حـال برای آزمون کارکرد معادله ۷، بجای بکارگیری مسـتقیم معادله مزبور از اختلاف نفوذ تجمعی آن به شکل کلی معادله ۸ استفاده شده است. سپس بر اساس معادله مذکور و داده‌های مشاهداتی تهیه شده برای آزمون، اختـلاف نفوذ تجمعی برای طول های مختلف کرت ها (در قالب معادله ۸) محاسبه شده است.

سـپس بین اختلاف طول کرت ها با توان (۰/۹۰۵۱-) و اختلاف نفوذ تجمعی نظیر با برازش یک معادله درجه دوم با عرض از مبداء صفر، ضریب همبستگی برابر با ۰/۳۲۹۰۹ شده که در سطح ۵ درصد خطا معنی‌دار است (شکل ۲).

$$I_1 - I_2 = \Delta(L_1^{-0.9051} - L_2^{-0.9051}) \qquad (۸)$$

$I_1 - I_2$ = اختـلاف میزان عمق نفوذ تجمعی به ترتیب در کرت با طول کوچکتـر (L_1) و بزرگتـر (L_2) برای هر مدت زمانـی مورد نظر، Δ = مقدار ثابت برای هر مدت زمانی مورد نظر که برابر است با ،

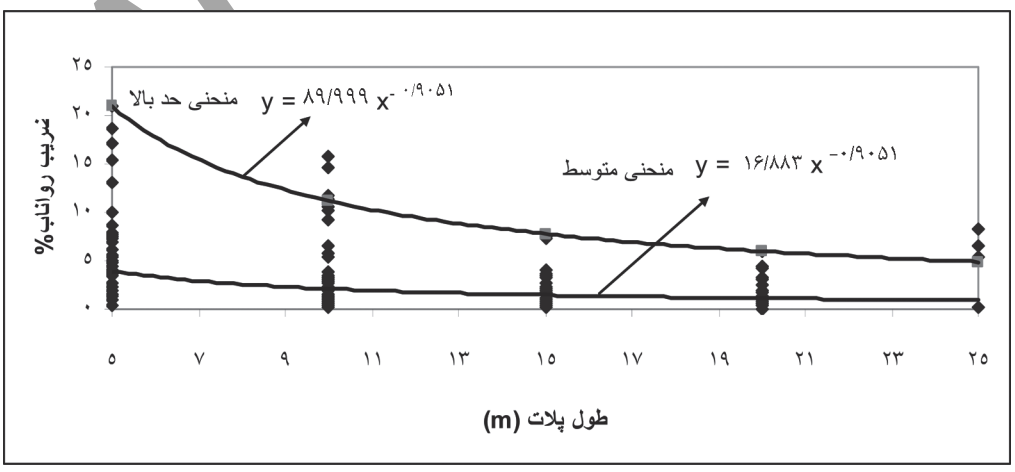
$$\frac{a P e^{-k t}}{t - k t^2 - e^{-k t+1}}$$

www.SID.ir

جدول ۵- ماتریس همبستگی عوامل موثر بر نفوذ برای بارش ۵۳ میلیمتر

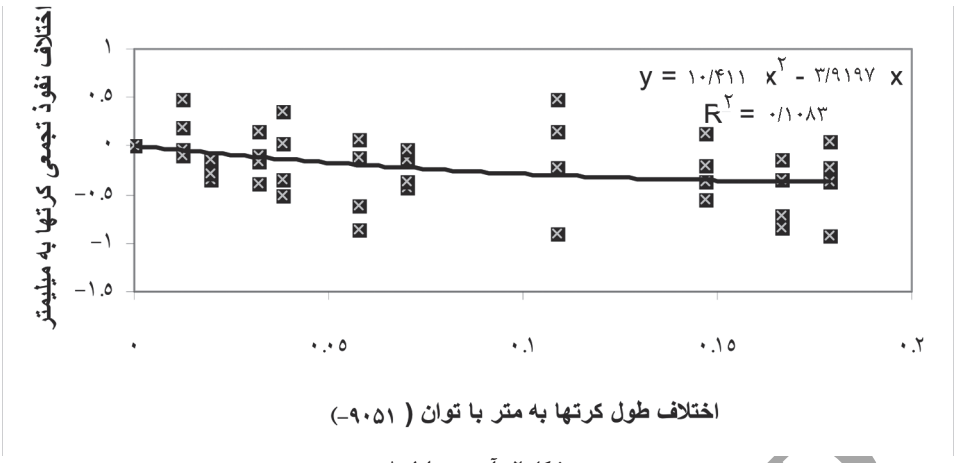
	ضریب رواناب٪	شیب٪	سنگریزه ٪	لاشبرگ ٪	لاشبرگ و سنگریزه	تاج پوشش ٪	رس ٪	شن ٪	درصد لای	٪ مواد آلی	هدایت الکتریکی	اسیدیته	ضریب سختی	طول کرت	عمق بارش mm
ضریب رواناب ٪	۱														
شیب ٪	نه	۱													
سنگریزه ٪	نه	م ×	۱												
لاشبرگ ٪	نه	نه	نه	۱											
لاشبرگ و سنگریزه ٪	نه	م ×	××	نه	۱										
تاج پوشش ٪	م ××	م ×	م ×	××	م ×	۱									
رس ٪	نه	نه	م ××	نه	م ××	نه	۱								
شن ٪	نه	نه	××	م ××	××	م ××	م ×	۱							
لای ٪	نه	نه	نه	××	نه	××	نه	م ××	۱						
مواد آلی٪	م ×	نه	م ×	××	نه	××	نه	م ××	××	۱					
هدایت الکتریکی	نه	م ×	م ××	نه	م ××	×	نه	نه	نه	نه	۱				
اسید یته	نه	نه	××	م ××	××	م ××	م ×	××	م ××	م ×	م ××	۱			
ضریب سختی	نه	نه	××	نه	××	نه	م ××	نه	نه	×	م ××	×	۱		
طول کرت	م××	نه	نه	نه	نه	نه	نه	نه	نه	نه	نه	نه	نه	۱	
فراوانی موارد معنی‌دار	۳	۴	۸	۵	۶	۵	۳	۵	۳	۶	۴	۹	۶	۱	۱

××: معنی‌دار بودن در سطح ٪۱، ×: معنی‌دار بودن در سطح ٪۵، م: وجود همبستگی منفی، نه: فاقد همبستگی



شکل ۱- رابطه بین طول کرت و ضریب رواناب

www.SID.ir



شکل ۲- آزمون معادله ۸

بحث و نتیجه گیری

با توجه به نتایج بدست آمده در جدول ۳ بررسی نفوذ آب در خاک در حالت نقطه‌ای (در مساحت حدود ۱۰۰-۱۰ سانتیمتر مربع) متفاوت از بررسی آن در مقیاس یک سطح بزرگتر (کرت) بوده و تعداد عوامل اثرگذار بر مقدار نفوذ افزایش می‌یابد. بطوری که در تحقیق حاضر، متنوع بودن مقدار و تداوم بارش جدول ۲ عوامل مستقل اثر گذار بر مقدار نفوذ (عمق رواناب) یعنی سنگریزه معرفی از شن و ضریب سختی، تاج پوشش گیاهی معرفی از مواد آلی و لاشبرگ و نهایت طول کرت در جهت شیب تعیین نموده در صورتیکه بر مبنای جداول ۴ و ۵ اثرگذاری عوامل مذکور نیز تنها به طول کرت خلاصه (و متغیرهای دیگر بی‌اثر) شده است. لذا لزوماً مدل‌های ریاضی نفوذ در حالت نقطه‌ای برای استفاده در مقیاس یک کرت و در نهایت در مقیاس یک زیرحوزه برای بررسی های هیدرولوژی جریان سطحی قابل استفاده نبوده و باید مورد اصلاح قرار گیرند. اگر در حال حاضر این معادلات مورد استفاده قرار می‌گیرند به معنی آن است که خطای ایجاد شده توسط اعمال ضرایبی مورد تصحیح قرار می‌گیرد و یا توسط متغیرهای دیگری پوشانده می‌شود. از طرف دیگر برای رسیدن به یک مدل ریاضی نفوذ در مقیاس یک سطح و با خطای اندک متغیرهای متعددی تاثیر دارند که ناچاراً بایستی برای سادگی مدل از تعداد متغیرها کاسته شود. اما در تحقیق حاضر و با توجه به لحاظ نمودن دو واقعه بارش طولانی مدت و نزدیک شدن به حد سرعت نفوذ نهائی و فاصله گرفتن از مراحل اولیه نفوذ بیشتر عوامل اثر گذار بر مقدار و سرعت نفوذ، اثر مستقل خود را از دست داده و تنها طول کرت است که در شرایط بارش های دراز مدت وابستگی به سایر متغیرها نداشته و تاثیر معنی‌دار مثبت بر مقدار نفوذ دارد. این یافته نشان می‌دهد که در مقیاس یک کرت و با قبول همگنی سایر عوامل در همه کرت ها تنها تغییر طول کرت با عث بهم خوردگی همگنی در بین کرت ها شده و دارای اثر معنی‌دار مثبت بر مقدار نفوذ تجمعی و در نتیجه سرعت متوسط نفوذ بوده و ضریب رواناب را کاهش می‌دهد. اما آنچه که از شکل ۱ بر می‌آید نشان می‌دهد که میزان اثرگذاری اندازه طول کرت در میزان نفوذ تجمعی با افزایش طول کرت کاهش پیدا کرده و بعد از طول حدوداً ۲۲ متر تقریباً شبیه به یک روند خطی با شیب ضعیف می‌گردد. این طول بدست آمده منطبق بر طول کرت های استاندارد تعریف شده توسط ویشمایر و اسمیت در مدل جهانی فرسایش خاک می‌باشد (۳). در مقابل با کاهش اندازه طول کرت، روند تغییرات ضریب رواناب به صورت غیر خطی و در جهت مثبت بوده و رفتار منحنی نفوذ به حالت نقطه‌ای و مشابهت با معادله‌های سنتی نفوذ نزدیکتر می‌شود. اما نکته دیگر در تعارض قرار گرفتن این اظهارنظر با یافته‌های Chaplot و Bissonnais (۲۰۰۳) است که با افزایش طول کرت از یک متر به پنج متر میزان ضریب رواناب افزایش داشته و به عبارت دیگر میزان نفوذ تجمعی و یا سرعت نفوذ کم شده است. متاسفانه نامبردگان توضیحی در توجیه این پدیده اعلام ننموده‌اند. ولی به نظر نگارنده الگوی منحنی نفوذ تجمعی از حالت نقطه‌ای به حالت سطح (کرت) و در شرایط وقوع بارش طبیعی منطقاً بایستی منطبق با معادله ۸ باشد. چرا که با افزایش طول کرت فرصت ایستائی رواناب[۸] نقطه‌ای ایجاد شده بر روی سطح کرت از پائین دست کرت (نقطه خروج) به طرف بالادست آن (در جهت خلاف شیب) زیاد شده و در نتیجه عمق نفوذ افزایش می‌یابد. این اظهارنظر توسط داده‌های آزمایشات Liu و همکاران (۲۰۰۱) نیز که اثر طول کرت بر عمق رواناب سالانه را بر روی شیب های تند و لسی در کشور چین و در سه منطقه مختلف اندازه‌گیری کرده‌اند، تا حدودی تائید می شود. همچنین نتایج حاصل از آزمون معادله نفوذ بدست آمده (معادله ۸) نیز گویای صحت یافته‌ها مبنی بر کاهش اختلاف نفوذ تجمعی برای افزایش طول کرت است با توجه به اینکه عرض از مبدا آن نیز برابر با صفر است. بطوری که با افزایش اختلاف طول کرت ها با توان (۰/۹۰۵۱-) به بیش از ۰/۱۷۵ متر در شکل ۲، نسبتاً تغییرات اختلاف نفوذ تجمعی به موازی محور اختلاف طول ها در می‌آید و این به معنی کم رنگ شدن تاثیر طول کرت در افزایش عمق نفوذ تجمعی پس از یک حد معین است. بطوری که این مقدار طول کرت در حدود ۳۰-۲۵ متر برآورد می‌شود و این مقدار معادل اندازه شبکه‌های درشت در مدل‌های توزیعی هیدرولوژیکی است (۱۳). اما علت محدود شدن تاثیر گذاری اندازه طول کرت در افزایش

Archive of SID

میـزان نفـوذ تجمعی به یک حـد معین ناشـی از تبدیل حالـت ورقه‌ای به حالـت جویباری بوده و بعـد از آن تنها افزایش ارتفاع آب در داخل جویچه‌ها اسـت که تا حـدودی در افزایش سـرعت نفوذ اثر می‌گـذارد. ضمناً می‌توان پراکندگـی زیاد داده‌هـا در شکل های ۱ و ۲ را ناشـی از خطای اندازه‌گیری در عملیـات صحرائـی و همچنین عـدم همگنی کامل کرت هـا (جزء طول) در داخل هر دسـته از کرت هـا اعلام نمود. نتیجه آنکه طـول دامنه یکی از عامل های اثر گذار بر منحنی نفوذ تجمعی بوده و محدود نمودن اندازه شبکه مدل‌های هیدرولوژیکی توزیعی به اندازه ۳۰ متر و یا کمتر مورد توصیه است. ضمناً در این نوع مدل‌های هیدرولوژیکی و برای بارش های کوتاه مدت (کمتر از ۲۴ ساعت) باید تاثیر سایر عامل ها برای مدل نمودن روابط بارش و رواناب لحاظ شود.

سپاسگزاری

بدین‌وسـیله از آقای دکتر عبدالصالح رنگ آور و همکاران محترمشـان که داده‌های خام مورد اسـتفاده در این مقالـه را تولید و در قالب یک گزارش نهائی طرح تحقیقاتی منتشر نموده‌اند، تشکر و قدردانی می‌نماید.

پاورقی ها

1- Distributed Hydrological models

2- Ponding

3- Single event

۴- منظور بارشی است که در مدت بارش دارای نوسان شدت بارندگی و بعضاً برابر با صفر بوده است.

5- Over land flow

6- Time of Ponding

7- Storage-Suction Factor

8- Run off

منابع مورد استفاده

۱- رنـگ آور، ع.، غفوریان، ر. انگشـتری ح. و گزانچیان، غ. (۱۳۸۳) گزارش نهائی طرح تحقیقاتی: تحقیق و بررسـی در زمینه عوامل فرسایش خاک در مراتع استان خراسـان، انتشـارات مرکز تحقیقات حفاظت خـاک و آبخیـزداری، تهران، ۲۲۵ صفحه.

۲- رفاهی، ح.، (۱۳۸۲) فرسـایش آبی و کنترل آن، انتشارات دانشگاه تهران، ۶۷۱ صفحه.

۳- فیض‌نیا، س.، (۱۳۷۴) مقاومت سنگ مادر در مقابل فرسایش در اقالیم مختلف ایران، مجله منابع طبیعی ایران، شماره ۴۷، دانشگاه تهران.

4- Chaplot, V. A. M., Bissonnais, Y. L. (2003) Runoff Features for Interrill Erosion at Different Rainfall Intensities, Slope Lengths, and Gradients in an Agricultural Loessial Hillslope. *J. Soil Science Society of America Journal* 67: 844–851.

5- D'Odorico P., S. F., R. R., (2005) Potential for landsliding: Dependence on hyetograph characteristics. *J. Journal of American Geophysical Union*: ?.

6- Horton, R. E., (1940) An approach towards a physical meaning of infiltration capacity. *Soil Science Society of America Proc*. 5: 399-417.

7- Liu, B. Y., Nearing, M. A. Shi, P. J. Jia, Z. W. (2000) Slope Length Effects on Soil Loss for Steep Slopes. *Soil Science Society of America Journal* 64: 1759-1763.

8- Morel-Seytoux, H. J. and Khanji, J. (1974) Derivation of an equation of infiltration. J. Water Resour. Res., 10, (4): 795-800.

9- Morel-Seytoux, H. J., Physical A and Stochastic Description of Infiltration in a Large-Scale Hydrologic Model. *J. Hydrology Days Publications*.

10- Morel-Seytoux, H. J., (1988) Recipe for simple but physically based modeling of the infiltration and local runoff process. Proc. 8th HYDROLOGY DAYS, *Hydrology Days Publications:* 226-247.

11- Philip, J. R, (1957) The theory of infiltration: Sorptivity and algebraic infiltration equations. *J. Soil Science* 84: 257-264.

12- Smith, R. E., Smettem, K. R. J. Broadbridge, P. and Woolhiser, D.A. (2005) Infiltration Theory for Hydrology Applications. *Water Resources Monograph*, V. 15.

13- Vivoni, E. R., Ivanov, V. Y. Bras R. L. and Entekhabi, D. (2005) On the effects of triangulated terrain resolution on distributed hydrologic model response. *J. Hydrology Processes,* 19: 2101–2122.

14- Wuest, S. B., (2005) Bias in Ponded Infiltration Estimates Due to Sample Volume and Shape. *J. Vadose Zone Journal* 4: 1183-1190.

Archive of SID

www.SID.ir