بررسي عوامل مؤثر در تعيين آستانه شروع رواناب در مناطق خشك و نيمه خشك كشور به كمك استفاده از شبيه‌سازي و داده‌هاي بارش- رواناب[1]

فرود شريفي[2] شبنم صفارپور[3] سيد علي ايوب زاده[4] جعفر وكيل پور[5]

چكيده

در اين مطالعه براي بررسي عوامل مؤثر در تعيين آستانه شروع رواناب از يك بارانساز قابل حمل و مدل **AWBM** استفاده شده است. با استفاده ازبارانساز، بارش در شدت‌ها و مدت‌هاي مختلف در مناطق مطالعاتي شبيه‌سازي و آستانه شروع رواناب در هر آزمايش اندازه‌گيري شده است. با استفاده از مقادير اندازه‌گيري شده مدلي براي محاسبه آستانه شروع رواناب به كمك ارتفاع و شدت بارش و ويژگي‌هاي مختلف عرصه شامل درصد رس، درصد شن، درصد پوشش و درصد شيب توسعه داده شد. آستانه شروع رواناب پيش بيني مدل پيشنهادي، همبستگي ۹۸درصد با آستانه شروع رواناب اندازه‌گيري شده دارد. نتايج آزمايشات شبيه‌ساز باران نشان داد كه متغيرهاي موثر در تعيين آستانه شروع رواناب به ترتيب اهميت عبارتند از: ارتفاع بارش، شدت بارش، درصد پوشش، درصد شن، درصد رس و درصد شيب (با ثابت بودن رطوبت اوليه).

در مرحله بعد براي مقايسه نتايج شبيه‌ساز باران ومدل‌هاي شبيه‌سازي بارش-رواناب از مدل كامپيوتري **AWBM** در حوزه هاي كسيليان، كارده، امامه، ليقوان، كن و كامه استفاده شد. مقايسه نتايج به‌دست آمده از مدل و شبيه‌ساز باران نشان داد كه آستانه شروع رواناب در مدل وشبيه‌ساز باران نيز به ترتيب به عوامل ارتفاع بارش، درصد پوشش، درصد شن، درصد رس، درصد شيب و شدت بارش بستگي دارد. نتايج رواناب و پارامترهاي محاسبه شده توسط مدل، نشان داد كه اين مدل به‌خوبي مي‌تواند آستانه شروع رواناب ورواناب خروجي از هر حوزه را محاسبه كند.

واژه‌هاي كليدي: *آستانه شروع رواناب، شبيه‌ساز باران، مدل غير خطي، مدل شبيه‌سازي بارش-رواناب **AWBM**.*

---

[1] -تاريخ دريافت ۸۱/۱۱/۲۶، تاريخ پذيرش: ۸۲/۴/۳۰

[2] - استاديار پژوهشكده حفاظت خاك و آبخيزداري كشور (**E-mail: FS1338@yahoo.com**)

[3] - كارشناسي ارشد آبخيزداري

[4] - استاديار دانشگاه تربيت مدرس

[5] - مربي گروه مهندسی عمران دانشگاه امام حسين (ع)

مقدمه

با تمركز و تبديل هرز آب‌ها به سيلاب سالانه خسارات جاني و مالي فراواني به مراكز صنعتي، شهري و روستايي وارد مي‌شود. وقوع سيلاب سبب شستشو و انتقال خاك‌هاي حاصلخيز سطحي و فرسايش بيش از حد طبيعي خاك مي‌شود. ورود خاك‌هاي فرسايش يافته همراه با جريان طغياني رودخانه ها درسدها، سبب رسوبگيري و پر شدن مخازن سدها مي‌شود(زرگر،١٣٧٤). برآورد دقيق‌تر آستانه شروع رواناب نه تنها مي‌تواند منجر به برآوردهاي دقيق‌تر سيل طراحي و كاهش هزينه‌هاي ايمن‌سازي و خسارت سيل شود بلكه در استفاده بهينه و مديريت نزولات جوي و مسايل زيست محيطي نيز حايز اهميت است. در اين تحقيق آستانه شروع رواناب به مقداري از بارش اطلاق گرديده كه خاك سطحي را به مرحله اي از رطوبت مي‌رساند كه بعد از آن رواناب آغاز مي‌شود.

با تعيين آستانه شروع رواناب توسط شبيه‌ساز باران و مدل شبيه‌سازي بارش-رواناب و مقايسه آنها با هم در صورت دستيابي به مشابهت قابل قبول مي‌توان با سرعت و دقت بيشتر و هزينه كمتر مقدار بارشي را كه سبب آغاز رواناب در شرايط مختلف مي‌شود، تخمين زد. پس از آگاهي از آستانه شروع رواناب در هرمنطقه با استفاده از روش‌هاي مناسب مي‌توان براي كاهش حجم سيلاب‌ها، كاهش هزينه خسارات سيل و فرسايش، كنترل فرسايش تشديد شونده و استفاده بهتر از نزولات برنامه‌ريزي نمود.

در اين تحقيق با هدف ارزيابي آستانه شروع رواناب توسط مدل و شبيه‌ساز باران پاسخ به سؤالات زير مد نظر بوده است.

١- مقدار تأثير پارامترهاي پوشش، خاك، ارتفاع و شدت بارش و ساير عوامل قابل اندازه‌گيري در تعيين آستانه شروع رواناب چقدر است؟

٢- حد آستانه شروع رواناب اندازه‌گيري شده چقدر با مقادير شبيه‌سازي شده مشابهت دارد؟

در زمينه تحقيقات مشابه انجام شده مي‌توان به موارد زير اشاره نمود:

كارنيلي (١٩٩٣) در ٤ حوزه در آريزوناي آمريكا با شبيه‌سازي رواناب روزانه مشاهده كرد كه آستانه شروع رواناب تابعي از متوسط بافت خاك هر حوزه است و خاك‌هاي رسي كمترين آستانه و خاك‌هاي شني بالاترين آستانه شروع رواناب را دارند و نتيجه گرفت كه در حوزه‌هاي جنوب غربي آمريكا مقدار رطوبت و آب خاك اثر مهمي در توليد رواناب دارد. پونس و شتي (١٩٩٥) از بارش سالانه و يك مدل بيلان آبي براي شبيه‌سازي تغييرات رواناب و آب پايه در چند حوزه آمريكا، آفريقا، كانادا و هند استفاده كردند. نتايج اين بررسي نشان داد كه آستانه شروع رواناب بستگي به اقليم دارد و مقدار آستانه درمناطق نيمه خشك بيشتر ازمناطق نيمه مرطوب است بر اين اساس آنها نتيجه گيري كردند كه حداكثر رواناب بسته به اقليم فرق مي كند و مقدار آن در مناطق نيمه خشك بيش از مناطق مرطوب فصلي است.

مارتينز و همكاران (١٩٩٨) درمناطق نيمه خشك مديترانه‌اي اسپانيا نحوه توليد و عوامل موثر بر رواناب را در حوزه‌هاي كوچك بررسي كرده. در اين بررسي از دو گروه خاك با عكس العمل‌هاي هيدرولوژيكي متفاوت استفاده شد. نتايج اين بررسي نشان داد كه خاك‌هاي ريز بافت با نفوذپذيري كم و مواد آلي كم، ضريب رواناب بالاتر و آستانه شروع رواناب كمتري از خاك‌هاي درشت بافت با نفوذپذيري بيشتر و مواد آلي متوسط دارند. از سوي ديگر اثر ويژگي‌هاي بارش بر عكس العمل هيدرولوژيك خاك متفاوت مي‌باشد. شدت بارش پارامتر عمده كنترل كننده رواناب در حوزه‌هاي با بافت خاك ريزدانه، نفوذپذيري كم و پوشش گياهي تنك بود در حالي‌كه در خاك‌هاي درشت بافت‌تر، نفوذپذير و با پوشش گياهي متراكم‌تر مجموع بارش با رواناب ارتباط بيشتري داشت. كركباي (٢٠٠١) مطالعه‌اي روي ويژگي‌هاي خاك و اثر آن روي فرسايش آبي و اثر پستي و بلندي‌هاي كوچك را در ايجاد رواناب با توجه به آستانه شروع رواناب بررسي كرد و نتيجه گرفت كه ويژگي‌هاي خاك مثل پستي و بلندي‌هاي كوچك و شكل خاكدانه در مقدار و الگوي مكاني رواناب موثر است.

كاربرد و انواع شبيه‌سازهاي باران متناسب با شرايط

كشور قبلا توسط ثقفيان (۱۳۸۱) بررسي گرديده است. همچنين انواع و كاربرد مدل‌هاي رايانه‌اي شبيه‌سازي فرايندهاي طبيعي در حوزه هاي آبخيز و چگونگي انتخاب آنها توسط شريفي(۱۹۹۷) مورد نقد و بررسي قرارگرفته است.

مواد و روش‌ها

در بخش اول اين تحقيق با استفاده از داده‌هاي بارش و رواناب اندازه‌گيري شده توسط بارانساز، آستانه شروع رواناب اندازه‌گيري شد. سپس براي بررسي مطابقت آستانه شروع رواناب به‌دست آمده از آزمايش‌هاي صحرايي بارانساز با نتايج به‌دست آمده از طريق شبيه‌سازي كامپيوتري و به‌منظور بررسي در سطح وسيع ترمدلAWBM نسخه ۲۰۰۲ درتعدادي از حوزه هاي معرف (امامه، كسيليان، ليقوان، كارده، كامه و كن) به‌كار گرفته شد و نتايج به‌دست آمده از آستانه شروع رواناب تحليل گرديد.

در آزمايش‌هاي شبيه‌ساز باران از يك شبيه‌ساز باران قابل حمل (طهماسبي، ۱۳۸۱). با ويژگي‌هاي زير استفاده شد:

اين شبيه‌ساز اجمالا به‌شرح زير بوده است : شبيه‌ساز باران از نوع فشاري به ابعاد ٤ متر مربع (۲*۲m)، ارتفاع ۱/۵-۳ متر (ارتفاع دستگاه قابل تغيير است)، قدرت پمپاژ ژنراتور ۲/۵ اسب بخار، قطر لوله انتقال آب از رودخانه ۲ اينچ، طول لوله انتقال آب از رودخانه ۲۰ متر، ارتفاع مكش پمپ ۳ متر و دبي موتور پمپ پنج ليتر در ثانيه، تأمين آب مورد نياز بارانساز با استفاده موتور پمپ و مخزن و لوله انتقال بوده است. شكل (۱) محل انجام آزمايشات شبيه‌ساز باران و شكل (۲) شبيه‌ساز باران را نشان مي دهد.

در هر بار آزمايش بارانساز، در شدت‌ها و مدت‌هاي مختلف (مدت‌هاي ۱۵، ۳۰، ٦۰ و۱۲۰دقيقه و شدت‌هاي ۸ تا ٤۰ ميلي‌متر در ساعت) روي ۲۰ كرت آزمايشي در خاك‌ها، پوشش‌ها و شيب‌هاي مختلف (پوشش ۲۰ تا ۷۰درصد و شيب ۲۰ تا ٦۰درصد) شبيه‌سازي باران انجام شده و رواناب توليدي هر كرت اندازه‌گيري شد (شدت‌ها و مدت‌هاي بارش‌هاي طراحي شده بر اساس سوابق بارش‌هاي منطقه از بارش‌هاي۲۰-۱۵ ساله درنظر گرفته شده است).

كرت‌هاي مورد مطالعه ۲۰ كرت طبيعي و دست نخورده بوده و انتخاب كرت‌ها به‌طور تصادفي بوده است.جدول (۱) ويژگي‌هاي كرت‌هاي آزمايشي را نشان مي دهد. در اولين بار آزمايش شبيه‌ساز قبل از شروع اولين آزمايش رطوبت اوليه خاك اندازه‌گيري شده و به‌دليل انجام آزمايشات در فصل خشكي رطوبت در پايين‌تر از رطوبت پژمردگي بوده است. اين رطوبت در شرايط آزمايش به‌طور متوسط ۱۵ درصد حجمي بوده و ظرفيت زراعي نيز به‌طور متوسط ۲۹۰ ميلي‌متر در هر متر عمق خاك بوده است. اطلاعات تفصيلي‌تر در منبع (صفارپور، ۱۳۸۱) در دسترس مي‌باشد. اندازه‌گيري شيب كرت‌ها توسط تراز بنايي و خط كش ۲ متري بوده است و شيب‌هاي به‌دست آمده شيب متوسط غالب است. بافت خاك هر كرت توسط آزمايشگاه تعيين شده و بافت خاك، بافت غالب كرت است. براي اندازه‌گيري پوشش گياهي كرت‌ها، درصد پوشش كرت توسط پلات در جايي‌كه تقريباً ميانگين كرت باشد در نظر گرفته شده است.در اين مطالعه ۵۱ بارش مصنوعي توسط شبيه‌ساز باران ايجاد شده است. پس از ايجاد بارش‌ها در شدت و مدت معين در كرت‌ها، رواناب ايجاد شده از هر كرت در انتهاي هر آزمايش در بانكت اندازه‌گيري مي‌شود.

در قسمت بررسي مدل، از مدل AWBM2002(شريفی، ۱۹۹۹) كه مدل كامپيوتري بيلان آبي براي شبيه‌سازي بارش-رواناب است، استفاده شده است. اين مدل، يك مدل جريان سطحي اشباع است كه از بارش روزانه و ساعتي و تبخير متوسط ماهانه براي محاسبه رواناب استفاده مي كند. به‌طور كلي دو تئوري براي توليد رواناب وجود دارد: ۱- تئوري هورتون(هورتون، ۱۹۹۳) كه براساس آن زماني رواناب پديد مي آيد كه شدت بارش از شدت نفوذ بيشتر شود.

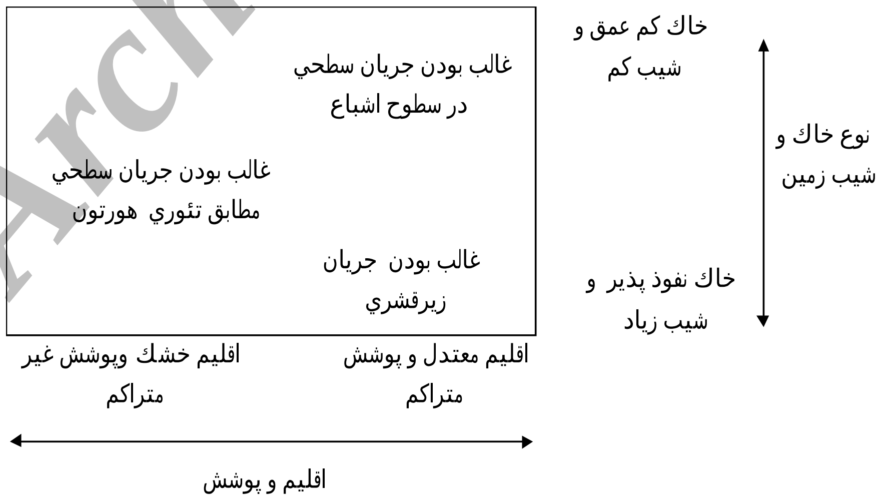
۲- تئوري جريان سطحي اشباع [1] كه بر اساس اين تئوري وقتي خاك از آب اشباع شود، و ظرفيت خاك سطحي پر

---

[1] -Saturation Overland Flow

جدول١- ويژگي‌هاي كرت‌هاي آزمايشات شبيه‌ساز باران

شماره کرت	شيب کرت (درصد)	پوشش گياهي (درصد)	بافت خاك	سطح کرت (m^2)
١	٧	٢٥	C-L	٦٠
٢	٨	١٠	Si-C-L	٦٠
٣	٥	٥٠	C-L	٦٠
٤	٥٢	٥٥	C	٦٠
٥	٥٢	٤٨	C-L	٤٨
٦	٣٣	٤٠	C	٦٠
٧	٣٤	٥٥	C	٦٣
٨	٣٨	٥٥	C	٦٤
٩	٣٨	٦٠	C	٦٠
١٠	٥٦	٧٠	C	٤٢
١١	١٨	٤٥	C	٦٠
١٢	١٢	٣٠	C-L	٤٨
١٣	٣٦	٤٠	C	٦٠
١٤	٣٦	٤٠	S-C-L	٦٠
١٥	٤٦	٤٠	C-L	٦٠
١٦	٣٢	٤٠	C-L	٦٠
١٧	٥	١٠	S	٦٠
١٨	٥	١٢	S	٦٠
١٩	٥	١٢	S	٦٠
٢٠	٧٠	٩٠	C-L	٦٠



شكل٣- تصوير كلي تاثير اقليم، خاك، شيب و پوشش گياهي در به‌وجود آمدن رواناب

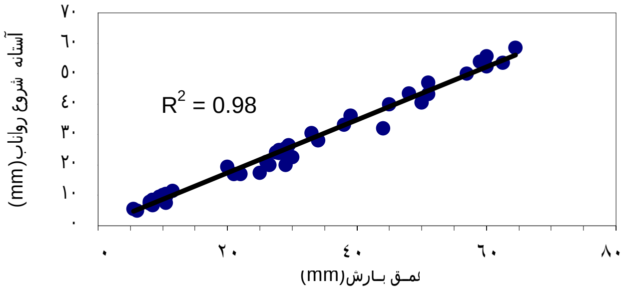
شود رواناب پديد مي آيد. شكل (۳) تصوير كلي تاثير اقليم، خاك، و شيب و پوشش گياهي را در به‌وجود آمدن رواناب نشان ميدهد(شریفی، ۱۹۹۷).مدل AWBM بر اساس تئوري جريان سطحي اشباع حاصل شده و با مدل‌هايي كه از روش هورتون استفاده مي كنند متفاوت است، لذا مقدار تاثير پارامتر نفوذ در پارامترهاي سطوح جزيي توليد كننده رواناب (C,A) ديده شده است. مزيت‌هاي مدل AWBM بر ساير مدل‌هاي شبيه‌سازي بارش-رواناب عبارتست از:

۱- داده‌هاي مورد نياز مدل به سهولت در دسترسند، ۲- مدل سه پارامتره است (پارامترهاي مربوط به سطوح جزيي و ظرفيت‌هاي مربوطه، دبي پايه و ثابت تخليه) و در رودخانه هاي فصلي كه آب پايه ندارد، مدل يك پارامتره مي‌شود، ۳- ساختار مدل نسبتاً ساده است (شریفی، ۱۹۹۳و بوهتون، ۱۹۹٦)، ٤- اين مدل رواناب را در زمان‌هاي مختلف از مناطق مختلف محاسبه مي‌كند.

مدل AWBM سه ظرفيت ذخيره C_3، C_2،C_1 دارد. وقتي باران مي بارد اول ظرفيت C_1 ، بعد C_2 و در نهايت C_3 پر مي‌شود، يعني C_1 كوچكترين ظرفيت ذخيره است. وقتي C_1 پر شد، سرريز مي‌كند و رواناب در مكان‌هايي با آن ظرفيت آغاز مي‌شود، در حالي كه ساير سطوح جزيي عكس العملي نشان نمي دهند. لذا ظرفيت C_1 كمترين آستانه شروع رواناب (منظور از آستانه شروع رواناب همان ظرفيت ذخيره اوليه و نفوذ تا آن زمان است) دربخشي از سطح حوزه است كه سطح آن با A_1 مشخص مي‌شود. C_1 كوچكترين ظرفيت ذخيره است و در مدل C_1 كوچكتر از C_2 و C_2 كوچكتر از C_3 و C_3 بزرگترين ظرفيت ذخيره سطحي است. C_1 مناطق با قابليت نفوذ و ذخيره كمتر و توليد رواناب بيشتر مثل مناطق صخره اي يا مناطقي كه زودتر اشباع مي شوند، C_2 با ظرفيت نفوذ و ذخيره بيشتر از C_1 وتوليد رواناب كمتري از C_1 وC_3 سطوح با حداكثر نفوذ، حداكثر ذخيره و حداقل رواناب در يك حوزه مي‌باشد. A_3، A_2، A_1 سطوح متناظر با ظرفيت‌هاي ذخيره C_3، C_2، C_1 مي‌باشند.

نتايج

پس از به‌دست آوردن آستانه شروع رواناب با استفاده از شبيه‌ساز باران، تهيه مدلي براي محاسبه آستانه شروع رواناب مورد نظر بوده است. براي به‌دست آوردن رابطه‌اي بين آستانه شروع رواناب به‌عنوان متغير تابع و متغيرهاي مستقل ارتفاع بارش، شدت بارش، ارتفاع رواناب، درصد رس، درصد شن، درصد پوشش گياهي و درصد شيب ابتدا بايد مشخص شود كه آستانه با كداميك از اين متغيرها بيشترين همبستگي را نشان ميدهد. به اين منظور در مرحله اول بررسي چشمي نمودارهاي نمايش متغيرها نسبت به آستانه رواناب مد نظر قرار گرفت. نمودارهاي به‌دست آمده نشان مي دهد كه آستانه شروع رواناب بيشترين همبستگي را با ارتفاع بارش دارد. يك نمونه از نمودارهاي نمايش دهنده اين همبستگي در شكل (٤) آمده است.



شكل ٤- رابطه بين ارتفاع بارش - آستانه شروع رواناب

اثر هر يك از متغيرهاي ارتفاع بارش، شدت بارش، ارتفاع رواناب، درصد رس، درصد شن، درصد پوشش گياهي و درصد شيب در ايجاد آستانه شروع مورد بررسي قرار گرفت و نتايج آن در جدول (٢) منعكس شده. باتوجه به اين جدول مشخص مي‌شود كه متغيرهاي موثر در آستانه شروع رواناب به ترتيب اهميت عبارتند از: ارتفاع بارش، شدت بارش، درصد پوشش، درصد شن، درصد رس و درصد شيب.

١- بررسي رابطه همبستگي خطي بين متغيرها

براي بررسي رابطه رگرسيوني خطي بين متغير تابع در اين تحقيق و متغيرهاي اندازه‌گيري شده از رابطه كلي (١) استفاده و ضريب به‌دست آمده در رابطه (٢) و ضرايب همبستگي بين آستانه شروع رواناب و متغيرهاي شدت بارش، ارتفاع بارش، درصد رس، درصد شن، درصد پوشش گياهي و درصد شيب نيز در جدول (٢) منعكس گرديده.

$$y=m_{١}x_{١}+m_{٢}x_{٢}+\dots+b \qquad (١)$$

با استفاده از اين تابع رابطه خطي (٢) بين متغيرتابع آستانه شروع رواناب و و متغيرهاي مستقل شدت بارش، ارتفاع بارش، درصد رس و درصد شن خاك، درصد پوشش گياهي و درصد شيب به‌دست مي آيد:

$$y=-٠/٠٦x_{١}+٠/٨٩x_{٢}+٠/٠٢٣x_{٣}+٠/٠٢x_{٤}+٠/٠٥x_{٥}+٠/٠٢x_{٦}-٢/٣٤ \qquad (٢)$$

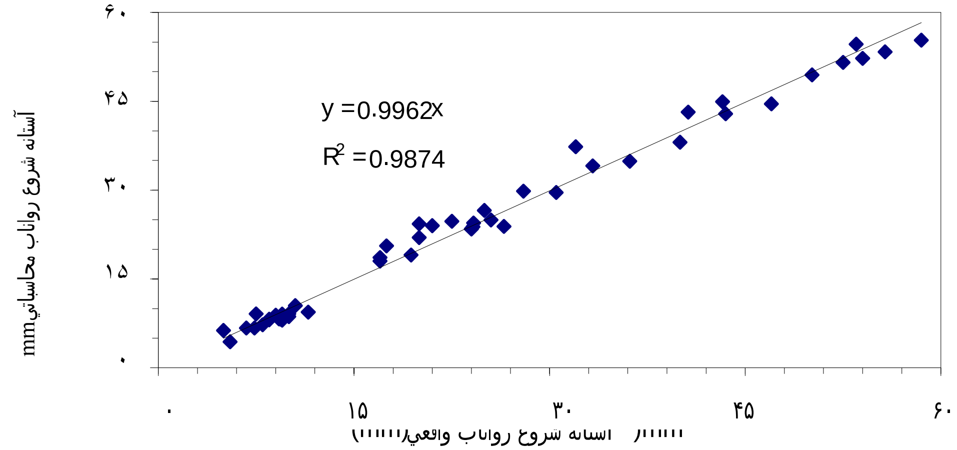
جدول ٢- ضرايب همبستگي بين آستانه شروع رواناب و متغيرهاي شدت بارش، ارتفاع بارش، درصد رس، درصد شن، درصد پوشش گياهي و درصد شيب (تعداد نمونه: **n=٥١**)

		شدت بارش	ارتفاع بارش	سطح آستانه	رس %	شن%	پوشش%	شيب %
شدت بارش	ضریب همبستگی	١	٠/٥٦٦**	٠/٥٦٠**	-٠/٢٣٣	٠/١٧٥	٠/٠٠١	-٠/١٩٢
	سطح معنی داربودن	٠/٠	٠/٠	٠/٠	٠/٠٥	٠/٠١١	٠/٤٩٧	٠/٠٨٩
ارتفاع‌بارش	ضریب همبستگی	٠/٥٦٦**	١	٠/٩٩٢**	-٠/١٠٦	٠/١٣٩	-٠/١٨١	-٠/٠٢٣
	سطح معنی داربودن	٠/٠	٠/٠	٠/٠	٠/٢٣	٠/١٦٦	٠/١٠٢	-٠/٤٢١
سطح آستانه	ضریب همبستگی	٠/٥٦٠**	٠/٩٩٢**	١	-٠/٠٨٥	٠/١١٩	-٠/١٢٧	-٠/٠٠٩
	سطح معنی داربودن	٠/٠	/٠/٠	٠/٠	٠/٢٧٥	٠/٢٠٣	٠/١٨٨	٠/٤٨٣
رس %	ضریب همبستگی	-٠/٢٣٣*	-٠/١٠٦	-٠/٠٨٥	١	-٠/٩٦٣**	٠/٤٥١**	٠/٤١٩**
	سطح معنی داربودن	٠/٠٥	٠/٢٣	٠/٢٧٥	٠/٠	٠/٠	٠/٠	-٠/٠٠١
شن %	ضریب همبستگی	٠/١٧٥	٠/١٣٩	٠/١١٩	-٠/٩٦**	١	٠/٤٥٣**	-٠/٣١١*
	سطح معنی داربودن	٠/١١	٠/١٦٦	٠/٢٠٣	٠/٠	٠/٠	٠/٠	٠/٠١٣
پوشش %	ضریب همبستگی	٠/٠٠١	-٠/١٨١	-٠/١٢٧	٠/٤٥١**	-٠/٤٥**	١	٠/٦١٤**
	سطح معنی داربودن	٠/٤٩٧	٠/١٠٢	٠/١٨٨	٠/٠	٠/٠	٠/٠	٠/٠
شيب %	ضریب همبستگی	-٠/١٩٢	-٠/٠٢٨	-٠/٠٠٦	٠/٤١٩**	-٠/٣١١	٠/٦١٤**	١
	سطح معنی داربودن	٠/٠٨٩	٠/٤٢١	٠/٤٨٣	٠/٠٠١	٠/٠١٣	٠/٠	٠/٠

** ضریب همبستگی در سطح ٠/٠١٠ معنی دارد *ضریب همبستگی در سطح ٠/٠٥معنی دارد

در اين معادله y آستانه شروع رواناب، $x_{١}$ شدت بارش، $x_{٢}$ ارتفاع بارش، $x_{٣}$ درصد رس، $x_{٤}$ درصد شن، $x_{٥}$ درصد پوشش گياهي و $x_{٦}$ درصد شيب است.

با توجه به نتايج حاصل از رابطه (٢) و با استفاده از داده‌هاي اندازه‌گيري شده آستانه شروع رواناب نمودار بين آستانه شروع رواناب واقعي و آستانه شروع رواناب محاسباتي در شكل (5) نشان داده شده است.



شکل ۵- رابطه آستانه شروع رواناب محاسباتي و آستانه شروع رواناب واقعي

۲- بررسي رابطه همبستگي غير خطي بين متغيرها

براي به‌دست آوردن رابطه رگرسيوني بين متغير تابع و متغيرهاي مستقل ابتدا روش رگرسيون خطی به‌کار گرفته شد. آزمون‌هاي به‌عمل آمده روي تركيب‌هاي مختلف براي يافتن رابطه منطقي بين متغير آستانه شروع رواناب[1] و متغيرهاي مستقل شدت بارش، ارتفاع بارش، درصد رس خاك ، درصد شن خاك ، درصد پوشش گياهي و درصد شيب نشان داد كه دو متغير ارتفاع بارش و درصد پوشش بيشترين وزن را در پيش بيني آستانه شروع رواناب بخود اختصاص داده اند. رابطه رگرسيوني غير خطي در جداول (۳و٤) آمده است.

جدول ۳- آناليز متغيرها در معادله رگرسيوني غير خطي

	درجه آزادی	مجموع مربعات خطا	متوسط مربعات خطا
ضريب همبستگی	۱۳	۴۰۶۵۸	۳۱۲۷
باقيمانده	۳۸	۱۶۰	٤/۲
Uncorrected Total	۵۱	۴۰۸۱۷	
Corrected Total	۵۰	۱۲۵۵۰	
$R^{۲}$ =۱ (Residual SS / Corrected SS) =— ۰/۹۸۷			

با توجه به ضرايب به‌دست آمده يادشده رابطه رگرسيوني غير خطي به‌صورت زير مي باشد :

$$_{۱۲}+A^{۱۱A}{}_{٦}X_{۱۰}+A^{۹A}{}_{۵}X_{۸}+A^{۷A}{}_{٤}X_{٦}+A^{۵A}{}_{۳}X_{٤}+A^{۳A}{}_{۲}X_{۲}+A^{۱A}{}_{۱}X\cdot Y=A \quad (۳)$$

با قرار دادن ضرايب و توان‌هاي محاسبه شده در جدول (۵) در معادله (۳) معادله مذكور به‌صورت معادله (٤) در مي‌آيد:

$$Y=-۰/۰۱X_{۱}{}^{۰/۹۳}+۰/۸۸X_{۲}-۹/٦۲X_{۳}{}^{-۹/۷}+۰/۹۹x_{٤}{}^{۰/۲۱}-۱۳/۹X_{۵}{}^{-۰/٤۲}+X_{٦}{}^{-۰/۰۵}+۰/۱٤ \quad (٤)$$

در اين معادله y آستانه شروع رواناب، $X_{۱}$ شدت بارش، $X_{۲}$ ارتفاع بارش، $X_{۳}$ درصد رس، $X_{٤}$ درصد شن، $X_{۵}$ درصد پوشش گياهي و $X_{٦}$ درصد شيب است. مقايسه نتايج

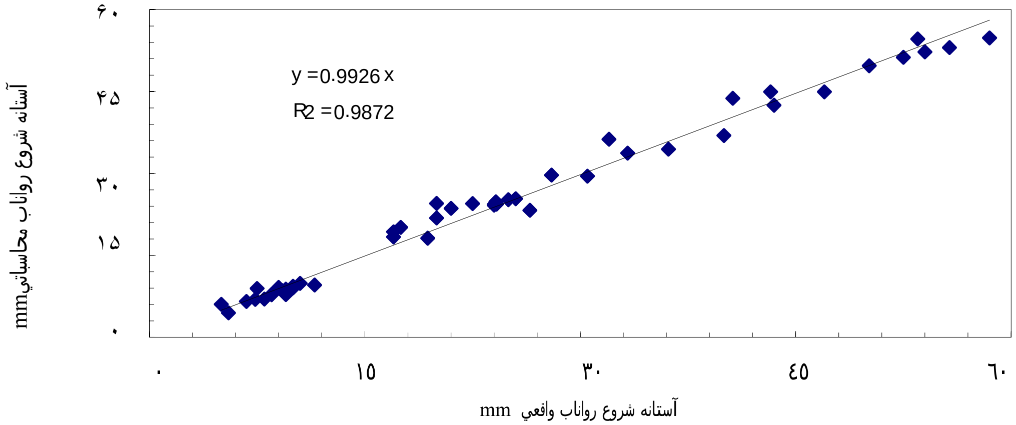
جدول ٤- ضرايب معادله رگرسيوني غير خطي و حدود اطمينان آنها

حدود سطح اعتماد ٩٥%		حد خطاي استاندارد	تخمين	پارامتر
حد بالا	حد پايين			
٣/٠١٣	-٣/٠٣٤	١/٤٩	١٠	A٠
٦٩/٢٦١	٦٧/٤٠٦	٣٣/٧٥	٩٢٧	A١
١/٥٦	٢٠٣٧٧٩٤١٣	٠/٣٣٤	٨٨١	A٢
١/١٧٢	٨٢٧٠٦٦٥٠٢	٠/٠٨٥٤	١	A٣
١٢٧٩٧٢٣٠٨	-١٢٧٩٧٢٣٢٧	٦٣٢١٥١١٨	٩/٦٩	A٤
٨٩٢٧٦٠٦	-٨٩٢٧٦٢٥	٤٤١٠٠١٨	٩/٦٩	A٥
٢٢٤/٨	-٢٢٢/٨١	١١٠/٥	٩٨٨	A٦
٢٨/٥٨	-٢٨/١٥	١٤	٢١٤	A٧
١٦/٧٨	-٤٤/٥١	١٥	١٣/٨٦	A٨
٢/١٠	-٢/٩٤	١/٢٥	٤٢	A٩
١٠٩٠/٤	-١٠٨٨/٣٩	٥٣٨	١	A١٠
٦٥/١٧	-٦٥/٢٧	٣٢/٢	٥١	A١١
١١٤٦/٨	-١١٤٦/٥٣	٥٦٦/٤	١٣٨	A١٢

به‌دست آمده از رابطه (٤) و داده‌هاي اندازه‌گيري و آستانه شروع رواناب، در شکل (٦) نشان داده شده است.

شکل (٦) ضريب همبستگي آستانه شروع رواناب محاسباتي و آستانه شروع رواناب واقعي را برابر ٠/٩٨ نشان مي دهد و اين به اين معنا است که معادله (٤) آستانه شروع رواناب واقعي را به‌خوبي شبيه‌سازي مي‌کند.

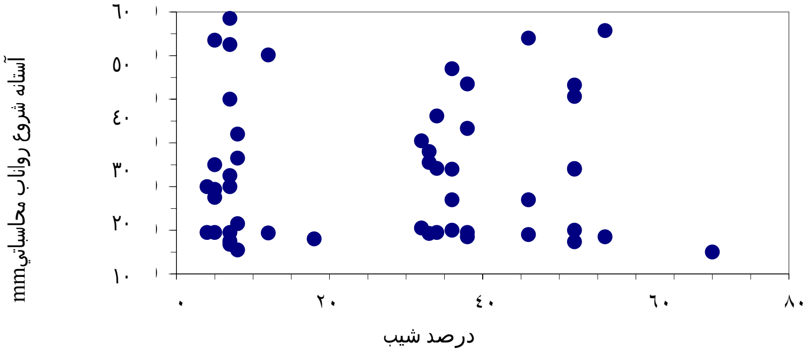
در ادامه اين تحقيق و به‌منظور فراهم کردن شرايط مقايسه چگوني شکل گيري آستانه شروع رواناب در مقياس بزرگتراز نتايج شبيه‌سازي مدل AWBM2002 استفاده شد. نتايج اين بخش به تفصيل در مقاله اي مجزا منعکس مي‌باشد (شريفي و صفارپور، ١٣٨٢). خلاصه نتايج مدل در حوزه‌ها در جدول (٦) ارايه شده است.



شکل ٦- رابطه آستانه شروع رواناب محاسباتي و آستانه شروع رواناب واقعي

جدول ٦- خلاصه نتايج به‌دست آمده از حوزه ها با استفاده از مدل **AWBM2002**

رديف	نام حوزه	%R١	%A٣	%A٢	%A١	Cav mm	C3 mm	C2 mm	C1 mm	BFI %	K
١	كسيليان	٠/٨٩	٣٩/٣	٥٠/١	١٠/٦	٧٩/١	١٢٢	٦١	٦	٠/ ٤٦	٠/٩٦٦
٢	كارده	٠/ ٦٠	٦٠/٢	٦	٣٣/٨	١٩	٢٩	١٥	١	٠/ ٦٣	٠/٩٨٦
٣	امامه	٠/ ٦٧	٢٦/٨	٣٠/٤	٤٢/٨	٦	١٠	٦	٤	٠/ ٦٣	٠/٩٩٣
٤	ليقوان	٠/ ٦٦	١٧/ ٧	٣٨/٤	٤٣/٩	١٨/١	٤٥	٢٤	٢	٠/ ٦٣	٠/٩٣٦
۵	كن	٠/ ٤٢	٨/٨	٢٩/٦	٦١/١	٢٠	٨٠	٤٠	١	٠/ ٦٣	٠/٩٢٩
٦	كامه	٠/٥٢	٠/ ٧	١/١	٩٨/٢	٢/٣	١٩	١٧	٢	٠/ ٦٣	٠/٩٨٦



شكل ٧- رابطه بين درصد شيب و آستانه شروع رواناب

بحث و نتيجه گيري

دراين تحقيق با استفاده از يك شبيه‌ساز باران قابل حمل روي ٢٠ كرت آزمايشي كه درصد شيب، نوع خاك و درصد پوشش متفاوتي داشته اند، در شدت‌ها و مدت‌هاي متفاوت حجم رواناب و آستانه شروع رواناب اندازه‌گيري شده است.

به‌منظور تعيين اثر هر يك از متغيرهاي اندازه‌گيري شده روي آستانه شروع رواناب در ابتدا نمودار رابطه بين آستانه شروع رواناب و هر يك از اين متغيرها به‌دست آمد. بر اساس نتايج اين تحقيق آستانه شروع رواناب بيشترين همبستگي را با ارتفاع بارش و كمترين همبستگي را با درصد شيب دارد. نتيجه اين تحقيق با نتايج حاصله از روش مدلينگ انجام شده در استراليا مطابقت داشته (بوهتون، ١٩٩٠) و مي‌تواند عليرغم روش و مقياس و مكان متفاوت تحقيق با تكميل در تحقيقات بعدي برخي از مباني ارتباط پارامترهاي رياضي مدل را با فيزيك جريان تعريف و تبيين نمايد. مقايسه نتايج آستانه شروع رواناب به‌دست آمده از مدل و شبيه‌ساز باران نشان مي‌دهد كه هر دو اين روش‌ها نتايج مشابهي ارائه مي‌دهند و آستانه شروع رواناب بستگي به عوامل زير دارد :

١- اقليم : نتايج مدل و شبيه‌ساز باران نشان مي‌دهد كه هر چه اقليم مرطوب‌تر و بارش بيشتر باشد (مانند حوزه‌هاي كسيليان و امامه) آستانه شروع رواناب بيشتر است و برعكس.

٢- پوشش گياهي : نتايج مدل و شبيه‌ساز باران نشان مي‌دهد كه بعد از اقليم موثرترين پارامتر در تعيين آستانه شروع رواناب پوشش گياهي است و در اقليم‌هاي مشابه (مانند حوزه‌هاي كامه و كارده) مقدار پوشش گياهي در مقدار رواناب موثر است.

٣- خاك: نتايج نشان مي‌دهد كه هر چه خاك نفوذپذيرتر و عميق‌تر باشد آستانه شروع رواناب هم بالاتر است (در اقاليم مرطوب پوشش گياهي بيشتر، خاك عميق تر ونفوذپذيري بيشتر است).

٤- شيب: همان‌طوركه كه نتايج منعكس شده در جدول(٢) شكل (٧) و نتايج مدل و شبيه‌ساز باران نشان مي‌دهد كم اثرترين متغير در تعيين آستانه شروع رواناب شيب است.

پيشنهادها

براي تكميل و تعميم نتايج اين تحقيق ضروري است موضوعات زير مورد توجه محققين ديگر قرار گيرد.

۱- استفاده از شبيه‌ساز باران در مناطق و اقاليم مختلف و تعيين عكس العمل هيدرولوژيكي خاك‌هاي مختلف پس از كاليبراسيون شبيه‌ساز باران با بارش‌هاي واقعي؛

۲- به‌كارگيري شبيه‌ساز باران در سطوح با شرايط فيزيكي و پوشش‌ها و رطوبت پيشين متغير به‌منظور بررسي و تعميم نتايج اين مطالعه در استخراج رابطه عمومي‌تر؛

۳- استفاده همزمان از شبيه‌ساز باران و لايسيمتر براي تفكيك مقادير رطوبت پيشين، تبخير، نفوذ و آستانه شروع رواناب.

شكل ۱- يك نمونه ازمحل انجام آزمايشات شبيه‌ساز باران

شکل ۲-تصویر شبیه‌ساز باران مورداستفاده

منابع

۱-زرگر، ا. ۱۳۷٤. بررسي تأثير بارندگي، پاره‌اي از ويژگيهاي هندسي و مديريت اراضي بر مقدار رواناب كل آبخيز، انتشارات موسسه تحقيقات جنگلها و مراتع، ص٤٨ .

۲-ثقفيان، بهرام، ۱۳۸۱. بررسي و تعيين معيارهاي ساخت باران ساز آزمايشگاهي متناسب با شرايط اقليمي كشور، گزارش طرح تحقيقاتي مركز تحقيقات حفاظت خاك و آبخيزداري كشور.

۳-طهماسبي، رمضان، ۱۳۸۱. جمع آوري آب باران وسيله اي كاربردي براي طراحي سيستم هاي حفاظت و بهره برداري از آب، پايان‌نامه دكتري رشته آبياري و زهكشي دانشگاه آزاد اسلامي، واحد علوم وتحقيقات-تهران.

٤-صفارپور، شبنم، ۱۳۸۱. شبيه‌سازي و تخمين آستانه شروع رواناب با استفاده از داده‌هاي اندازه‌گيري و مدل‌كامپيوتري، پايان‌نامه كارشناسي ارشد مهندسي آبخيزداري، دانشگاه تربيت مدرس.

۵-شريفي، فرود و شبنم صفارپور. ۱۳۸۲. ارزيابي مدل رايانه‌اي AWBM2002 در حوزه هاي آبخيز كشور، مجله پژوهش و سازندگي (زير چاپ).

6-Boughton, W. C. 1987b. Evaluating Partial Areas of Watershed Runoff, Journal of Irrigation and Drainage Engineering, Vol. 113 No 3, pp 356-366.

7-Boughton, W. C. 1990. Systematic Procedure for Evaluating Partial Areas of Watershed Runoff, Journal of Irrigation and Drainage Engineering Vol. 116, No 1 Jan-Feb 1990, p 83-98.

8-Henderson, A. 2000. RUNOFF THRESHOLD, The Amount of Runoff Needed over an Area to Initiate Flooding is the Threshold Runoff (WWW.nws.noaa.gov/oh/hrl /nwrfs_man ml/ffgrunof. htm).

9-Karnieli, A.and J. Ben-Asher. 1993. A Daily Runoff Simulation in Semi-arid Watersheds Based on Deficit Calculations. J. Hydrology 149: 9-25.

10-Kirkby, M. 2001. Modeling the Interactions Between Soil Surface Properties and Water. Elsevier Catena 89-102 (www.elsevier.com/locate/catena).

11-Martinez, M.1998. Factors Influencing Surface Runoff Generation in a Mediteranean Semi-arid Environment: Chicamo Watershed Spain. 12(5): 741-745.

12-Ponce, V.M. and A.V. Shetty. 1995. A Conceptual Model of Catchments Water Balance: 2 Application of Runoff and Base flow Modeling. J. Hydrology 173:41-50.

13-Sharifi F 1999. The AWBM Model, A Practical Tool for Design and Research, Second Jointed Workshop on Management of Flood, Soil Erosion and Landslide, Watershed Management Deputy (MJC) and JICA.

14-Sharifi F 1997. An Investigation into Rainfall-runoff Process Modelling Aiming at Estimating Runoff from Ungauged Catchments, 8th International Conference on Rainwater Catchment Systems (ICRCS), 21-25 April 1997. page 500-516, Tehran, Iran.

15-Sharifi, F and Boyd, M.J 1994. A Comparison of the SFB and AWBM Rainfall-Runoff Models. 25th Congress of The International Association of Hydrologeologists International Hydrology &

Water Resources Symposium of The Institution of Engineers, Australia. SYDNEY 21-25 November, The Institution of Engineers, Australia, pp. 491-494 (National Conference Publication No. 94/15).

An Investigation of Factors Affecting Runoff Generation In Arid and Semi-Arid Area Using Simulation and Rainfall Runoff Data

F. Sharifi[1] **Sh. Safarpour**[2] **S. A. Ayoubzadeh** [3] **J.Vakilpour**[4]

Abstract

One of the most important problems in watershed basins is flash runoff which causes sever damages to industrial, urban, and rural areas. Therefore, use of methods, which can utilize short-term data and estimate the runoff threshold as well as water yield of a catchment, is of paramount importance.

In this study, in order to ascertain the runofft hreshold in Latian watershed, a portable rainfall simulator was employed. With use of the rainfall simulator, different rainfall intensities with different durations were simulated and the runoff threshold in each experiment measured. Analysis of rainfall simulator data indicated that the effective variables in ascertaining runoff threshold, in order of importance are: rainfall depth, rainfall intensity, vegetation cover, clay and sand percentae as well as slope. A non-linear model was developed for calculating runoff threshold using obtained data. The coefficient of relation between measured runoff threshold and the one estimated by developed model is 0.98.

In the next stage of the study, a comparison between rainfall simulator data and data obtained from rainfall-runoff simulation models was made. AWBM model was employed using obtained data from Kasilian, Kardeh, Amameh, Lighvan, Kan and Kameh. Results of runoff as well as estimated parameters with model showed that AWBM could satisfactorily be used to calculate runoff threshold as well as output runoff in each basin. Results also showed that runoff threshold obtained through the model and that through rainfall simulators are comparable and depend on: rainfall depth, rainfall intensity, vegetation cover, clay and sand percentage and slope respectivley.

Keywords: Runoff threshold, Rainfall simulator, Non-linear model, AWBM Rainfall-runoff simulation model, Latian, Iran.

---

[1] *-Assistant Professor In Research, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute*

[2] *-Senior Expert of Watershed Mangement*

[3] *-Assistant professor, Tarbiat Modarres University*

[4] *-Instructor of Civil Engineering Department, Emam Hossein University*