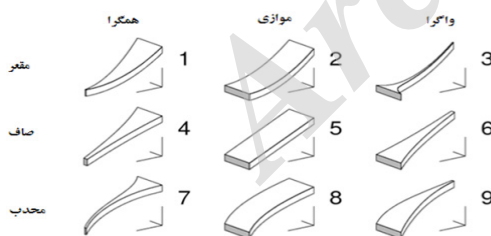


## گزارش فنی

## مقدمه

دامنه‌ها می‌توانند به عنوان عامل اصلی رواناب در حوضه‌ها مورد توجه قرار گیرند. چنانچه یک درک متقابل و بازخورد بین شکل‌های دامنه‌ها و فرآیندهای هیدرولوژیکی و رواناب دامنه به وجود آید می‌تواند برای مدیریت حوضه بسیار مفید و کار آمد باشد. مطالعات سال‌های اخیر نشان داده‌اند که علاوه بر شیب کف، شکل دامنه و انحنا شیب نقش مهمی در کنترل واکنش جریان زیر سطحی دارند. شکل دامنه ابزار موثری جهت بررسی تاثیر پیچیده توپوگرافی بر میزان رواناب و زمان پیمایش آن می‌باشد. تروخ و همکاران [۸] از طریق ترکیب سه پلان دامنه (هم‌گرا، واگرا و موازی) و سه نیم‌رخ طولی (محدب، صاف و مقعر) نه دامنه مختلف معرفی نمودند. هم‌چنین طالبی و همکاران [۵] با ارائه نه نوع دامنه فوق، نشان دادند که شیب‌های محدب و دامنه‌های واگرا عموماً پایدارتر از دیگر انواع دامنه‌ها هستند و شیب‌های مقعر و هم‌گرا کم‌ترین پایداری را دارند. مایر و کرامر [۳] اثر چهار نوع شیب، یعنی یکنواخت، محدب، مقعر و مرکب را در ایجاد فرسایش مورد مطالعه قرار دادند. نتایج نشان داده است که از شیب مقعر کم‌ترین مقدار خاک و از شیب محدب بیش‌ترین مقدار خاک از بین می‌رود. شیب‌های یکنواخت حد واسط می‌باشند.

در این تحقیق دامنه‌ها از لحاظ نیم‌رخ طولی صاف، مقعر و محدب و از لحاظ پلان به سه دسته هم‌گرا، موازی و واگرا طبقه‌بندی شده‌اند که در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱- نمایش سه بعدی انواع دامنه [۲]

Figure 1. Three dimensional schematic diagram of different types of hillslopes

بدین ترتیب در این مقاله سعی بر آن است تا با در نظر گرفتن مکانیسم جریان رواناب در دامنه‌های با توپوگرافی متفاوت، زمان شروع رواناب در آنها بررسی شود.

## تاثیر پلان و نیم رخ شیب بر آستانه شروع رواناب

نصرت الله امانیان<sup>۱</sup>، مهدی گرانیان<sup>۲</sup>، علی طالبی<sup>۳</sup> و محمدرضا هادیان<sup>۴</sup>  
 تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۱۱/۱۱ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۳/۱۰

## چکیده

اطلاع از زمان آغاز رواناب خاک کمک شایانی به تخمین رواناب و جریان سطحی، حجم رواناب و میزان تلفات خاک ناشی از یک بارش خواهد نمود. عوامل مختلفی در زمان شروع رواناب موثرند که در این میان توپوگرافی نقش ویژه‌ای دارد. در این تحقیق اثر شکل پلان دامنه (هم‌گرا، واگرا و موازی) و نیم‌رخ طولی (مقعر، محدب و صاف) روی زمان شروع رواناب بررسی شده است. برای بررسی شکل پلان دامنه از یک مدل آزمایشگاهی و تغییر هم‌زمان شکل پلان دامنه و نیم‌رخ طولی دامنه، نه دامنه متفاوت ایجاد شد. در نهایت پاسخ هر یک از دامنه‌ها نسبت به آستانه شروع رواناب مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که تغییر دامنه از حالت هم‌گرا به واگرا منجر به افزایش زمان آستانه شروع جریان سطحی و زیرسطحی می‌گردد. هم‌چنین تاثیر پلان دامنه بر آستانه شروع جریان سطحی و زیر سطحی خیلی مهم‌تر از اثر نیم‌رخ طولی دامنه است زیرا این پلان دامنه است که می‌تواند با تغییر حجم ذخیره در قسمت خروجی دامنه آستانه شروع جریان متفاوتی را در پلان‌های مختلف ایجاد کند. بدین ترتیب، در دامنه‌های واگرا و مقعر رواناب سطحی و زیر سطحی دیرتر و در دامنه‌های هم‌گرا و محدب زودتر از شکل‌های دیگر، رواناب شروع می‌گردد.

کلید واژه‌ها: آستانه شروع رواناب، شکل پلان، نیم‌رخ شیب

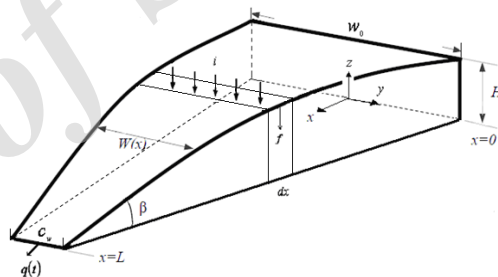
۱. نویسنده مسئول و استادیار دانشکده مهندسی عمران دانشگاه یزدپست الکترونیک: namanian@yazduni.ac.ir  
 ۲. دانش آموخته مهندسی عمران آب، دانشگاه یزد  
 ۳. استاد دانشکده مهندسی منابع طبیعی دانشگاه یزد  
 ۴. استادیار دانشکده مهندسی عمران دانشگاه یزد

## روش تحقیق

در این تحقیق از یک مدل آزمایشگاهی برای بررسی جریان زیرسطحی استفاده شده است. طراحی نیمرخ طولی و پلان شیب بر اساس مدل ایوانس [۱] انجام گرفت. به طوریکه طبق تحقیقات تروخ و همکاران [۸]، با تغییر هم‌زمان پلان و نیمرخ طولی دامنه، نه شکل مختلف ایجاد شد که این شکل‌ها در شکل (۱) نشان داده شده است. جهت بررسی شکل هندسی دامنه‌ها (هم‌گرا، واگرا و موازی) و نیمرخ طولی دامنه (صاف، محدب و مقعر) یک مدل سه بعدی هندسی از دامنه مورد نیاز است [۴]. برای معرفی تابع مناسبی که بتواند هندسه دامنه‌های مرکب را بخوبی نمایش دهد تا بتوان با ارتباط آن با عوامل هیدرولوژی به مدل کاملی از رابطه هیدرولوژیک-ژئومتری دست یافت، از روش تروخ و همکاران [۸] استفاده گردید (جدول ۱).

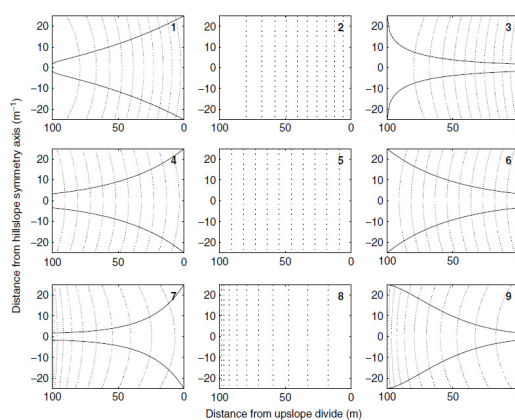
موقعیت خطوط مستقیم شیب و خطوط تراز در شکل (۳) نمایش داده شده است.

این تحقیق در شرایط آزمایشگاهی و با استفاده از یک دستگاه باران ساز (شکل ۴) انجام گرفت. خاک مورد استفاده در این آزمایش دارای بافت لومی شنی بوده که میزان نفوذپذیری آن به ۱۲ سانتی متر در ساعت می‌باشد. در تمام آزمایشات شدت بارندگی ثابتی (۱۰۰ میلی متر در ساعت) بر سطح دامنه اعمال شده است و به



شکل ۲- شکل سه بعدی یک دامنه

Figure 2. Three dimensional shape of hillslope



شکل ۳- نمایش خطوط تراز (با خطوط نقطه‌چین) و دو خط جدایی جریان (با خطوط پیوسته) در ۹ الگوی دامنه‌های مرکب [۵]

Figure 3. View of contour lines and slope dividers of nine different types of complex hillslopes

گونه‌ای تنظیم شده که بارش اعمال شده بر تمام سطح دامنه به طور یکنواخت پاشیده شود.

برای اینکه بتوان زمان شروع جریان سطحی و زیر سطحی را اندازه گیری کرد خروجی‌های پلات به گونه ای طراحی شده است که زمان خروج آب از هر یک از خروجی‌های جریان سطحی و زیر سطحی قابل مشاهده و اندازه‌گیری باشد. پس از آماده شدن محل آزمایش و تنظیم شیب و باران ساز مصنوعی، باران ساز روشن و بارش به سطح پلات اعمال شد. به محض مشاهده ریزش باران، کرنومتر روشن شده و با شروع خروج آب از نقطه خروجی‌ها، زمان یادداشت و به عنوان زمان شروع جریان سطحی و زیر سطحی منظور شد.

## جدول ۱- پارامترهای هندسی دامنه‌های مورد مطالعه

Table 1. Longitudinal and plan shape profiles of nine different hillslopes

شماره دامنه Profile No.	پروفیل طولی Longitudinal profile	شکل پلان Plan shape
1	مقعر	هم‌گرا
2	مقعر	موازی
3	مقعر	واگرا
4	صاف	هم‌گرا
5	صاف	موازی
6	صاف	واگرا
7	محدب	هم‌گرا
8	محدب	موازی
9	محدب	واگرا



شکل ۴- دستگاه باران ساز

Figure 4. Rainfall simulator apparatus

## نتایج و بحث:

شکل نیم‌رخ دامنه برآستانه شروع رواناب موثر است، زیرا در نیم‌رخ‌های مختلف میزان شیب در نقطه خروجی متفاوت است. در نتیجه میزان حجم آب مورد نیاز برای شروع رواناب نیز متفاوت خواهد بود. تاثیر این دو عامل است که می‌تواند آستانه رواناب متفاوتی در دامنه‌ها را ایجاد کند. تاثیر پلان دامنه بر آستانه شروع جریان سطحی و زیر سطحی خیلی بیشتر از اثر نیم‌رخ دامنه است، زیرا این پلان دامنه است که می‌تواند با تغییر حجم ذخیره در قسمت خروجی دامنه آستانه شروع جریان متفاوتی را در پلان‌های مختلف ایجاد کند.

براین اساس مشخص می‌شود که آستانه شروع رواناب علاوه بر متوسط زاویه شیب بستر از طریق خصوصیات توپوگرافی دامنه (نیم‌رخ طولی دامنه و شکل پلان دامنه) کنترل می‌شود. به طور کلی وقتی تابع عرض دامنه از حالت هم‌گرا به واگرا تغییر شکل می‌دهد، زمان آستانه شروع جریان سطحی و زیر سطحی افزایش می‌یابد، بدین معنی که در این دامنه‌ها دیرتر جریان شروع خواهد شد.










جدول ۲ زمان شروع جریان سطحی و زیر سطحی را در شیب‌های ۵ و ۲۰ درصد نشان می‌دهد. بر اساس نتایج به دست آمده، در دامنه‌های مقعر و واگرا بیش‌ترین تاخیر برای شروع رواناب وجود دارد. از طرفی در دامنه‌های هم‌گرا و محدب رواناب زودتر از همه انواع دامنه‌ها شروع می‌شود. شایان ذکر است این فرایند برای هر دو نوع جریان زیر سطحی و جریان سطحی صادق بوده است.

برای این‌که بتوان اثر شیب دامنه را بر آستانه شروع رواناب مشاهده کرد از دو نمودار مقایسه‌ای شکل‌های ۵ و ۶ استفاده شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود افزایش شیب باعث کاهش زمان شروع جریان سطحی و زیر سطحی در هر نه دامنه می‌شود. از طرفی مقایسه زمان شروع رواناب در شیب‌های کم (۵ درصد) نسبت به شیب‌های زیاد (۲۰ درصد)، نشان می‌دهد که هر چه شیب دامنه افزایش می‌یابد، اختلاف زمان شروع رواناب سطحی و زیر سطحی نیز زیادتر می‌شود، به‌طوری‌که برای مثال اختلاف مقدار حداقل و حداکثر زمان شروع رواناب سطحی در شیب ۵ درصد ۱۱/۲ و ۱۵/۶ دقیقه بوده، در حالیکه این مقدار در شیب ۲۰ درصد به ترتیب ۰/۱ و ۳۲ دقیقه می‌باشد.

جدول ۲- زمان شروع جریان در دامنه‌های مختلف (دقیقه)  
Table 2. Flow initiation time of different types of hillslopes (minutes)










الف) جریان سطحی در شیب ۵ درصد

### a) surface flow at 5% slope

	12.3		14.1		15.6
	12.9		14.6		15.1
	11.2		12.7		14.7










ب) جریان زیر سطحی در شیب ۵ درصد

### b) sub-surface flow at 5% slope

	3		5.2		6
	4.1		4.3		5.5
	2.4		3.1		3.9










ج) جریان سطحی در شیب ۲۰ درصد

### c) surface flow at 20% slope

	3.9		6.9		9.8
	2.4		4.6		7
	2.3		4.7		5.9

د) جریان زیر سطحی با شیب ۲۰ درصد

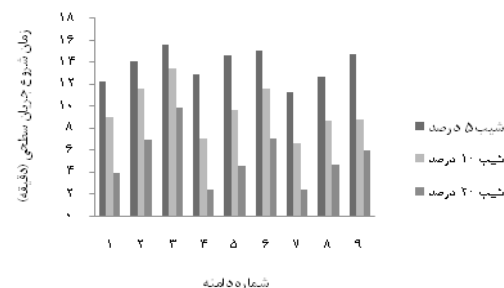
### d) sub-surface flow at 20% slope

	1.1		2		3.2
	0.5		1		1.7
	0.1		0.3		0.5



شکل ۶- مقایسه زمان شروع جریان زیر سطحی در شیب‌های ۵، ۱۰ و ۲۰ درصد

Figure 6. Comparison of sub-surface flow initiation of 5, 10 and 20 percent slopes



شکل ۵- مقایسه زمان شروع جریان سطحی در شیب‌های ۵، ۱۰ و ۲۰ درصد

Figure 5. Comparison of surface runoff initiation of 5, 10 and 20 percent slopes

## نتیجه گیری

تحقیق ارائه شده در این مقاله بر اساس یک مدل آزمایشگاهی است که جهت بررسی ارتباط بین شکل هندسی دامنه و آستانه شروع جریان سطحی و زیر سطحی می باشد. مدل آزمایشگاهی مورد استفاده اثرات توپوگرافی روی ذخیره اشباع ناشی از شکل پلان دامنه و نیم رخ طولی دامنه را در نظر می گیرد و به واسطه تغییر این دو پارامتر (پلان و نیم رخ طولی) شرایط هیدرولیکی و هیدرولوژیکی این نه دامنه محاسبه می شود. این مدل نتایج مطالعات دیگر محققین را در زمینه ژئومتری یا هندسه شیب بر ذخیره اشباع دامنه را تعمیم و گسترش می دهد و همچنین اثبات شد که این نه دامنه رفتار کاملاً متفاوتی از نظر آستانه شروع رواناب از خود نشان می دهند.

اثر شیب یکی دیگر از عواملی است که می تواند آستانه رواناب، زمان تمرکز و زمان تخلیه را تغییر دهد. اثر شیب بر روی تمام نه دامنه اثر مشابهی دارد به این صورت که با افزایش شیب، زمان آستانه شروع رواناب در هر نه دامنه کاهش می یابد، یعنی در زمان کوتاهی آستانه شروع رواناب خواهیم داشت. اثر شیب در تمام می دامنه ها نیز باعث کاهش زمان تمرکز می شود.

تأثیر پلان دامنه بر آستانه شروع جریان سطحی و زیر سطحی خیلی بیشتر از اثر نیم رخ دامنه است زیرا این پلان دامنه است که می تواند با تغییر حجم ذخیره در قسمت خروجی دامنه آستانه شروع جریان متفاوتی را در پلان های مختلف ایجاد کند.

## منابع

1- Evans, I.S. 1980. An integrated system of terrain analysis and slope mapping. *Zeitschrift für Geomorphologie*. Supplementband, 36, 274-295.

2- Hilberts, A. Van Loon, E. Troch, P. and Paniconi, C. 2004. The hillslope -storage Boussinesq model for non-constant bedrock slope. *J. Hydrol.*, 291, 160-173.

3- Meyer, L. D., and Kramer, L. A. 1969. Erosion equations predict land slope development, *Agric. E ng.*, 50, 522-523.

4- Sabzevari, T. Talebi, A. Ardakanian, R. and Shamsai, A. 2009. A steady-state saturation model to determine (the subsurface travel time( STT in complex hillslopes. *Hydrol. Earth. Syst. Sci.* 14, 1-10, doi:10.5194/hess-14.

5- Talebi, A. Troch, P. and Uijlenhoet R. 2008a. A steady-state analytical hillslope stability model for complex hillslopes, *Hydrological Processes*, 21, doi:10.1002/hyp.6881

6- Talebi, A. Uijlenhoet, R. and Troch, P. 2008b. A low-dimensional physically based model of hydrologic control of shallow landsliding on complex hillslopes. *Earth Surf. Process. Landforms*. 33, Doi: 10.1002/esp.1648

7- Talebi A., Hajabolghasemi R., Amanian N., Hadian MR. 2016, Physically-based modeling of sheet erosion (detachment and deposition processes) in complex hillslopes, *Hydrological Processes*.

8- Troch, P. Van Loon, and Hilberts, A. 2002. Analytical solution to hillslope -storage kinematic wave equation for subsurface flow” *Adv. Water Resour.* 25, 637-649.

*Abstract (Technical Note)***The Effect of Plan and Slope Profile on Runoff Initiation Threshold**N. Amanian<sup>1</sup>, M. Geranian<sup>2</sup>, A. Talebi<sup>3</sup> and M. Reza Hadian<sup>4</sup>

Received: 2016/01/31 Accepted : 2017/05/31

Knowledge of initiation of soil runoff is important in estimating surface runoff, volume of runoff and losses from a rainfall event over soil surfaces. Many parameters in the beginning of runoff are effective which topography is a major influencing parameter. The plan shape is an important parameter which affects the run-off initiation which has been investigated in this research. In order to investigate the effect of the plan shape, a three dimensional geometric model is required. Calculating the run-off appearance in hillslopes leads to measuring the time that the run-off starts, as well as surface water flow and the amount of runoff and sediment movement. A laboratory research is conducted to investigate the effects of plan shape which are divergent, parallel, and convergent on time of run-off initiation. The results showed that the nine complex hillslopes have a different runoff initiation threshold. As well, when the plan shape changes from convergent to divergent, the time of runoff initiation of surface and subsurface flow increases. This means that in the convergent hillslopes, runoff starts later. Also, the effect of plan shape is more important than profile curvature for starting runoff. Thus, in the divergent and concave hillslopes, runoff is started posterior than convergent and convex hillslopes.

**Keywords:** *Runoff initiation threshold, Plan shape, Slope profile*

---

1. Assistant Professor of Civil Engineering Department, Faculty of Engineering, Yazd University.

Corresponding author Email: namanian@yazd.ac.ir

2. Post Graduate Student of Civil Engineering Department, Faculty of Engineering, Yazd University

3. Professor of Watershed Management Engineering, Faculty of Natural Resources, Yazd University.

4. Assistant Professor of Civil Engineering Department, Faculty of Engineering, Yazd University