



تغییرات زمانی تولید جریان و فرسایش شیاری در خاک مارنی تحت شدت‌های مختلف باران

*علی‌رضا واعظی^۱ و مجید فرومدی^۲

^۱دانشیار گروه علوم خاک، دانشگاه زنجان، دانشجوی دکتری گروه علوم خاک، دانشگاه زنجان

تاریخ دریافت: ۹۵/۹/۱۷؛ تاریخ پذیرش: ۹۶/۲/۱۸

چکیده

سابقه و هدف: فرسایش شیاری، یکی از عوامل اصلی هدررفت خاک در سازندهای مارنی است. این سازندها بسیار حساس به فرآیندهای فرسایش آبی بوده و گستره نسبتاً بزرگی را در برخی حوزه‌های آبخیز مناطق خشک و نیمه‌خشک دربرمی‌گیرد. اطلاعات در مورد تغییرات زمانی فرسایش شیاری طی یک رخ‌داد بارندگی و تأثیر خصوصیات جریان بر آن می‌تواند در شناخت فرآیند فرسایش شیاری در دامنه‌ها کمک نماید. شدت تغییرات زمانی خصوصیات جریان و در نتیجه فرسایش شیاری ممکن است تحت‌تأثیر شدت باران قرار گیرد. از این‌رو این پژوهش با هدف بررسی تغییرات زمانی فرسایش شیاری و خصوصیات جریان در خاک مارنی تحت باران‌های با شدت متفاوت انجام شد.

مواد و روش‌ها: آزمایش در شش باران شبیه‌سازی شده با شدت متفاوت از ۱۰ تا ۶۰ میلی‌متر بر ساعت به مدت ثابت یک ساعت با سه تکرار در شرایط آزمایشگاهی انجام گرفت. نمونه‌های خاک از سازندهای مارنی در غرب زنجان برداشت شد و در فلومی به طول ۴ متر و عرض ۰/۹۴ متر و با شیب ۱۰ درصد ریخته شد. فرسایش شیاری در کنار خصوصیات جریان (دبی و غلظت جریان) در فاصله زمانی پنج دقیقه از آغاز رواناب در هر یک از باران‌های شبیه‌سازی شده مورد بررسی قرار گرفت. شدت فرسایش شیاری و خصوصیات جریان در برابر زمان به دست آمد و تفاوت‌ها بین شدت‌های بارندگی با استفاده از روش تجزیه واریانس تعیین شد.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که تفاوت‌های اساسی از نظر زمان آغاز جریان، دبی جریان، غلظت جریان و فرسایش شیاری بین شدت‌های بارندگی وجود دارد ($P < 0/0001$). جریان شیاری و فرسایش شیاری با افزایش شدت بارندگی سریع‌تر اتفاق افتاد. فرسایش شیاری طی زمان به شدت افزایش یافت و در زمان‌های پایانی (حدود ۴۵ دقیقه) به حد تقریباً ثابتی رسید. غلظت جریان نیز الگویی مشابه با فرسایش شیاری نشان داد. با این حال دبی جریان در زمان‌های پایانی افزایش چشم‌گیر پیدا کرد. در طی زمان ۴۵ دقیقه، اغلب ذرات فرسایش‌پذیر، طی بارندگی دچار فرسایش شدند و پس از آن، جریان‌های شدید اما با غلظت (رسوب) پایین در شیاریها مشاهده شد.

نتیجه‌گیری: به‌طورکلی این پژوهش نشان می‌دهد که با تغییر شدت باران، آستانه وقوع فرسایش شیاری و اوج آن طی بارندگی تغییر می‌یابد. همچنین روند تغییرات فرسایش شیاری طی بارندگی، با افزایش شدت بارندگی شدیدتر می‌کند. در زمان‌های اولیه بارندگی، وابستگی فرسایش شیاری به دبی جریان بیش‌تر است در حالی‌که در زمان‌های پایانی به‌دلیل انتقال بخش عمده ذرات فرسایش‌پذیر در زمان‌های قبل، الگوی تغییرات فرسایش شیاری شبیه به دبی جریان نیست.

واژه‌های کلیدی: دبی جریان، ذرات فرسایش‌پذیر، سازند مارنی، شیاری، غلظت جریان

* مسئول مکاتبه: vaezi.alireza@gmail.com

مقدمه

فرسایش شیاری^۱ عبارت از جدا شدن و انتقال رسوب به وسیله جریان متمرکز آب در کانالی باریک و فرسایش‌پذیر است (۲). فرسایش شیاری در کنار تغییرات مکانی به تأثیر تغییرات زمانی نیز دچار می‌شود (۹، ۱۴). منظور از تغییرات زمانی فرسایش شیاری، تغییرات شدت هدررفت خاک از شیارها در زمان‌های مختلف طی سال است. تغییرات زمانی فرسایش شیاری تابع تغییرات محیطی، مانند پوشش گیاهی و رطوبت خاک و باران است (۴). گاهی تغییرات فرسایش شیاری به صورت فصلی است، به طوری که طی فصل زمستان به دلیل کاهش نفوذپذیری خاک (۱۰) و کاهش پوشش گیاهی (۴) مقدار فرسایش شیاری افزایش می‌یابد (۷). در کنار تغییرات زمانی فرسایش شیاری طی یک سال، مقدار این فرسایش از رخدادی به رخداد دیگر تغییر می‌کند (۵، ۶). موضوع دیگر آن که شدت وقوع فرسایش شیاری در دوره‌های زمانی مختلف طی بارندگی ممکن است متفاوت باشد (۹). الگوی تغییرات زمانی فرسایش شیاری طی یک رخداد ممکن است تحت تأثیر نوع خاک، شیب سطح و شدت بارندگی قرار گیرد. تاکنون مطالعات زیادی در مورد علل و عوامل مؤثر بر فرسایش شیاری در سراسر جهان انجام گرفته است که برای مثال می‌توان به مطالعات چن و همکاران (۲۰۱۴)، واعظی و وطنی (۲۰۱۴) و شن و همکاران (۲۰۱۶) اشاره کرد (۳، ۱۲، ۱۱) با این وجود مطالعات در مورد تغییرات زمانی فرسایش شیاری محدود می‌باشد. در این راستا اسدی و همکاران (۲۰۱۶) در پژوهشی با بررسی تغییرات دینامیک غلظت رسوب در فرسایش شیاری نشان دادند که غلظت رسوب در دقایق اولیه آزمایش زیاد بود و با

گذشت زمان کاهش یافته و به حالت پایدار رسید (۱). واعظی و همکاران (۲۰۱۷) در پژوهشی با بررسی اثر ضربه قطرات باران بر فرسایش آبی در هشت شدت باران نشان دادند که مقدار رواناب و هدررفت خاک با افزایش شدت باران افزایش یافت و همچنین با افزایش شدت باران سهم ضربه قطرات باران در مقدار رواناب و هدررفت خاک کاهش یافت (۱۳). بررسی پژوهش‌های پیشین نشان می‌دهد که فرسایش شیاری دچار تغییراتی از رخداد بارانی به رخداد دیگر و نیز تغییراتی طی فصول مختلف سال می‌شود. اطلاعات اندکی در مورد تغییرات زمانی فرسایش شیاری طی بارندگی به‌ویژه در منطقه نیمه‌خشک وجود دارد. از این رو پژوهش حاضر با هدف بررسی تغییرات زمانی فرسایش شیاری و رابطه آن با خصوصیات جریان در شدت‌های مختلف بارندگی در خاک مارنی منطقه نیمه‌خشک انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

نمونه‌برداری خاک و تعیین ویژگی‌های آن: خاک مورد بررسی در سازندهای مارنی در غرب حوزه آبخیز زنجان‌رود واقع زنجان با مختصات جغرافیایی ۴۸ درجه و ۴ دقیقه طول شرقی و ۳۶ درجه و ۵۸ دقیقه عرض شمالی انتخاب شد. میانگین بارندگی سالانه ۳۱۵ میلی‌متر و اقلیم منطقه نیمه‌خشک می‌باشد. حدود ۸ تن خاک از دامنه تحت فرسایش شیاری تهیه شد و پس از عبور از الک ۶ میلی‌متر در آزمایشگاه مورد تجزیه قرار گرفت. خاک مارنی دارای بافت رسی و از نظر شیمیایی دارای ویژگی آهکی-گچی و شور بود (جدول ۱).

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مارنی مورد مطالعه در غرب استان زنجان.

Table 1. Physical and chemical properties of marl soil studied in west of Zanjan province.

میانگین Mean	ویژگی شیمیایی Chemical property	میانگین Mean	ویژگی فیزیکی Physical property
6.35	EC (dS.m ⁻¹) هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر)	0.17	Sand (%) شن (درصد)
0.63	OM (%) ماده آلی (درصد)	40.01	Silt (%) سیلت (درصد)
26.14	CaCO ₃ .2H ₂ O (%) آهک (درصد)	59.82	Clay (%) رس (درصد)
12.30	CaSO ₄ .2H ₂ O (%) گچ (درصد)	1.04	Bulk density (g.cm ⁻³) جرم مخصوص ظاهری (گرم بر سانتی‌مترمکعب)

نتایج و بحث

تفاوت زمانی متغیرهای جریان بین شدت‌های باران: نتایج نشان داد که باران‌های با شدت کم‌تر از ۳۰ میلی‌متر بر ساعت فرسایش‌زا نبودند. نتایج تجزیه واریانس تفاوت زمانی متغیرهای جریان (زمان آغاز، دبی و غلظت جریان) در سایر باران‌ها نشان داد که تفاوتی معنی‌دار بین شدت‌های باران از نظر تمام متغیرهای جریان وجود دارد ($P < 0.0001$) (جدول ۲). افزایش شدت باران از یک‌سو به دلیل افزایش محتوای رطوبتی خاک، منجر به کاهش بیش‌تر نفوذ آب باران و در نتیجه تولید سریع رواناب و افزایش دبی آن می‌شود. از سوی دیگر با افزایش شدت باران، تخریب خاک‌دانه‌ها افزایش یافته و ذرات حساس بیش‌تری در معرض انتقال قرار می‌گیرند. در پژوهشی واعظی و وطنی (۲۰۱۴) نیز نشان دادند که میزان هدررفت خاک در شیارها در اوایل بارندگی کم بوده و با گذشت زمان به دلیل انتقال ذرات فرسایش‌پذیر، هدررفت خاک در شیارها بیش‌تر شده و غلظت رواناب افزایش پیدا می‌کند (۱۲).

تعیین تغییرات زمانی متغیرهای جریان و فرسایش شیار: برای بررسی مقدار متغیرهای جریان و فرسایش شیار یک دستگاه فلوم به طول ۴ متر و عرض ۹۴ سانتی‌متر و یک دستگاه شبیه‌ساز باران به طول ۴/۵ متر و به عرض ۱۰۰ سانتی‌متر و ارتفاع ۱۸۰ سانتی‌متر طراحی و ساخته شد. آزمایش در شش شدت باران (۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰، ۵۰ و ۶۰ میلی‌متر بر ساعت) با سه تکرار با مجموع ۱۸ واحد آزمایشی انجام گرفت. در فاصله زمانی پنج دقیقه، به مدت یک ساعت رواناب و رسوب حاصل از هر شیار در ظروفی معین جمع‌آوری شد. دبی جریان بر اساس حجم جریان تولید شده طی بارندگی به مدت زمان وقوع جریان به دست آمد (۱۲). غلظت جریان از نسبت مقدار رسوب بر حجم مخلوط در هر بازه زمانی ۵ دقیقه‌ای به دست آمد. مقدار فرسایش شیار بر اساس مقدار رسوب هر شیار، مساحت شیار و مدت وقوع جریان تعیین شد.

جدول ۲- تجزیه واریانس تأثیر تغییرات زمانی بر دبی جریان، غلظت جریان و فرسایش شیاری در شدت‌های مختلف باران.

Table 2. The variance analysis effect of temporal variations on flow discharge, flow concentration and rill erosion in the rainfall different intensities.

معنی داری Significance	میانگین مربعات Mean of squares	درجه آزادی Degrees of freedom	منبع تغییرات Variation resource
0.000	64.67	3	زمان آغاز جریان Flow start time
0.000	1.48×10^{-11}	3	دبی جریان Flow discharge
0.000	2.56×10^{-4}	3	غلظت جریان Flow concentration
0.000	3.92×10^{-6}	3	فرسایش شیاری Rill erosion

آمریکا نشان دادند که طی رخداد‌های باران مقدار تولید رواناب نیز به دلیل افزایش محتوای رطوبتی خاک افزایش یافت (۱۵). در پژوهش حاضر تخریب خاک‌دانه‌های سطح و تشکیل اندوده سطحی عاملی دیگر بود که در شدت‌های بالا تأثیر زیادی بر تولید جریان و افزایش دبی جریان گذاشت. بررسی الگوی تغییرات غلظت جریان در بازه‌های زمانی ۵ دقیقه در شدت‌های باران نشان داد که با گذشت زمان، غلظت جریان روند افزایشی داشت اما از دقیقه ۴۵ به بعد تقریباً در همه شدت‌های باران مقدار آن دچار کاهش شد یا به روندی ثابت رسید. علت این موضوع افزایش زیاد مقدار رواناب و در مقابل عدم تغییرات چشم‌گیر در فرسایش شیاری در اواخر بارندگی بود (شکل ۱ ب).

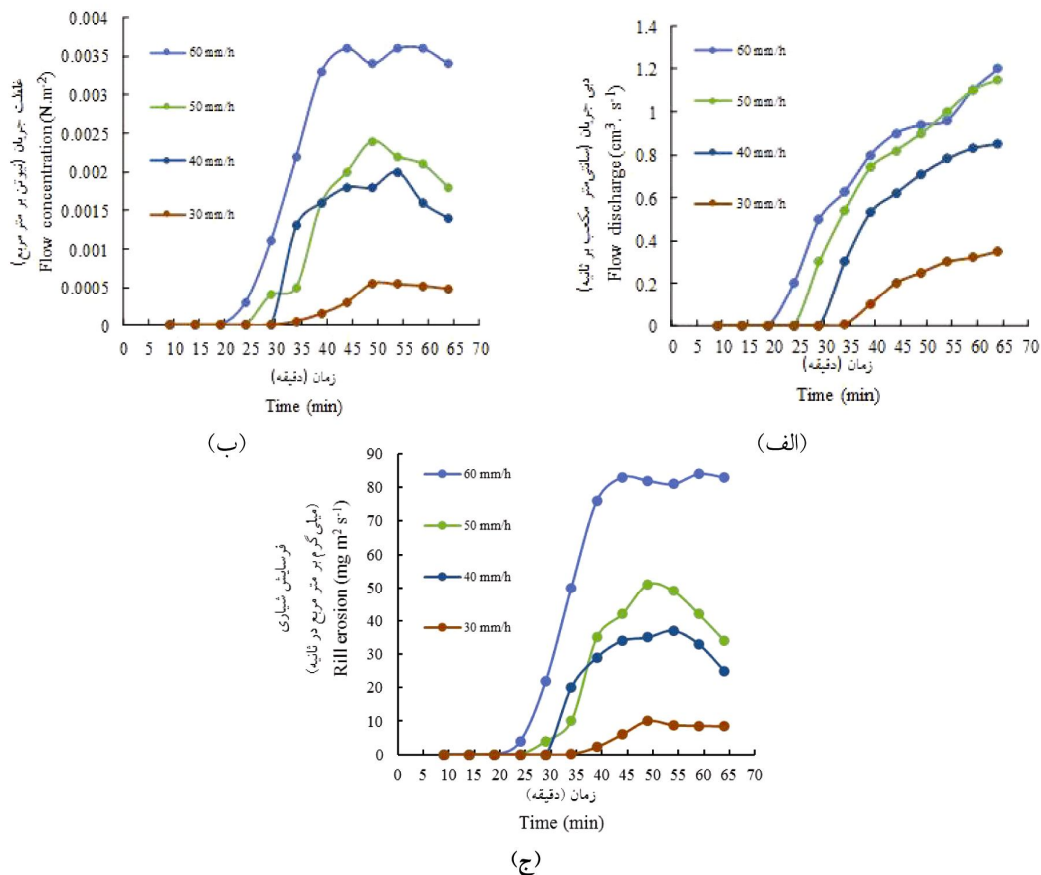
بررسی الگوی تغییرات زمانی فرسایش شیاری نشان داد که با افزایش شدت باران، زمان آغاز فرسایش شیاری کاهش یافت (شکل ۱ ج). هم‌چنین در اوایل بارندگی، هدررفت خاک در شیارها کم بود و با گذشت زمان با انتقال ذرات فرسایش‌پذیر، هدررفت خاک افزایش یافت. روند افزایش شدت

تفاوت زمانی فرسایش شیاری بین شدت‌های باران: نتایج نشان داد که تفاوتی معنی‌دار بین شدت‌های باران از نظر تغییرات زمانی فرسایش شیاری وجود دارد ($P < 0.0001$) (جدول ۲). این موضوع به دلیل نقش مهم شدت باران در افزایش تأمین آب در سطح خاک در بازه‌های زمانی ۵ دقیقه و در نتیجه تولید رواناب بیش‌تر در شیارها بود. تغییرات میزان ذرات قابل انتقال در سطح نیز عاملی دیگر بود که موجب تفاوت بین باران‌ها از نظر تغییرات زمانی فرسایش شیاری شد.

الگوی تغییرات زمانی متغیرهای جریان و فرسایش شیاری: بررسی الگوی تغییرات مقدار دبی جریان در بازه‌های زمانی ۵ دقیقه‌ای در شدت‌های مختلف باران نشان داد که با افزایش شدت باران، دبی جریان در همه شدت‌ها روند افزایشی داشت و مقدار آن در شدت‌های بالاتر بیش‌تر بود که علت این موضوع به دلیل حجم بالای باران دریافتی خاک در شدت‌های بالا بود که باعث افزایش مقدار رواناب در این شدت‌ها شد (شکل ۱ الف). در پژوهشی ویلیامز و همکاران (۲۰۰۴) با بررسی خاک‌های منطقه تگزاس

تدریجی داشت و در لحظات پایانی به حد تقریباً ثابتی رسید. بررسی‌های لی‌یو و همکاران (۲۰۱۱) نشان داد که در آغاز بارندگی به دلیل پایین بودن رطوبت خاک، سرعت نفوذ آب به خاک بالا و مقدار رواناب کم می‌باشد (۸).

هدررفت خاک در شیارها در زمان‌های اولیه بارندگی در اغلب شدت‌ها زیاد بود و در شدت‌های بالاتر بارتر بود. با این حال در ادامه بارندگی به دلیل انتقال بخش عمده ذرات فرسایش‌پذیر در زمان‌های اولیه، افزایش شدت هدررفت خاک در شیارها روندی



شکل ۱- رابطه بین زمان و دبی جریان (الف)، غلظت جریان (ب) و فرسایش شیاری (ج) در شدت‌های مختلف باران در خاک مارنی.

Figure 1. The relationship between time and flow discharge (a), flow concentration and rill erosion (c) in rainfall different intensities in a marl soil.

افزایش می‌یابد. از سوی دیگر افزایش شدت باران موجب تخریب بیش‌تر ساختمان خاک می‌گردد که در کنار کاهش بیش‌تر نفوذپذیری خاک منجر به تولید ذرات حساس بیش‌تری می‌شود. فرسایش شیاری در شدت‌های باران دچار تغییرات زمانی آشکاری بود. با گذشت زمان بارندگی به دلیل افزایش دبی جریان، غلظت جریان و در نتیجه فرسایش شیاری افزایش

نتیجه‌گیری کلی

این پژوهش نشان داد که روند تغییرات زمانی فرسایش شیاری طی بارندگی در شدت‌های مختلف باران مشابه نیست. شدت تغییرات زمانی فرسایش شیاری با افزایش شدت بارندگی افزایش می‌یابد. با افزایش شدت باران به دلیل افزایش محتوای رطوبتی خاک، نفوذپذیری کاهش یافته و در نتیجه دبی جریان

فرسایش شیاری را پیش‌بینی کرد و فرساینده‌ترین باران‌های منطقه از نظر فرسایش شیاری را بر مبنای شدت و مدت آن‌ها تشخیص داد.

می‌یابد. به‌طورکلی این مطالعه نشان می‌دهد که پیش‌بینی تغییرات زمانی فرسایش شیاری وابسته به آگاهی از شدت بارندگی می‌باشد. با آگاهی از شدت بارندگی، می‌توان زمان تولید بیش‌ترین جریان آب و

منابع

1. Asadi, H., Aligoli, M., and Gorji, M. 2017. Dynamic changes of sediment concentration in rill erosion at field experiments. *J. Water Soil Sci.* 20: 78. 125-139. (In Persian)
2. Bagnold, R.A. 1966. An approach to the sediment transport problem from general physics. US Geological Survey Paper. 422-1, Washington.
3. Chen, X.Y., Zhao, Y., Mo, B., and Mi, H.X. 2014. An improved experimental method for simulating erosion processes by concentrated channel flow. *Plos one*.9: 6. p.e99660.
4. Dunjo, G., Pardini, G., and Gispert, M. 2004. The role of land use-land cover on runoff generation and sediment yield at a microplot scale, in a small Mediterranean catchment. *J. Arid Environ.* 57: 99-116.
5. Franti, T.G., Laflen, J.M., and Watson, D.A. 1985. Soil erodibility and critical shear under concentrated flow. *American Society of Agricultural Engineers.* 42: 329-335.
6. Jain, M.K., Kothyari, U.C., and RangaRaju, K.G. 2004. A GIS based distributed rainfall-runoff model. *J. Hydrol.* 299: 107-135.
7. Lili, M., Bralts, V.F., Yinghua, P., Han, L., and Tingwu, L. 2008. Methods for measuring soil infiltration: State of the art. *Inter. J. Agric. Biol. Engin.* 1: 1. 22-30.
8. Liu, H., Lei, T.W., Zhao, J., Yuan, C.P., Fan, Y.T., and Qu, L.Q. 2011. Effects of rainfall intensity and antecedent soil water content on soil infiltrability under rainfall conditions using the run off-on-out method. *J. Hydrol.* 396: 1. 24-32.
9. Merz, R., Bloschl, G., and Parajka, J. 2006. Spatiotemporal variability of event runoff coefficients. *J. Hydrol.* 331: 591-604.
10. Sadeghi, S.H.R., Mohammadpour, K., and Dianatytilaki, G.E. 2010. Temporal variability of runoff coefficient in the summer pastures of Kadir, Proceedings of the 6th National Conference of Science and Watershed Engineering and 4th National Conference of Erosion and Sediment, 28-29 April, Tehran, Iran. 52-60. (In Persian)
11. Shen, H., Zheng, F., Wen, L., Han, Y., and Hu, W. 2016. Impacts of rainfall intensity and slope gradient on rill erosion processes at loessial hillslope. *Soil and Tillage Research.* 155: 429-436.
12. Vaezi, A.R., and Gharehdaghi, H. 2013. Quantification of rill erosion development in Marl soils of Zanjanroud watershed in North West of Zanjan, Iran. *J. Water Soil.* 27: 5. 872-881. (In Persian)
13. Vaezi, A.R., Ahmadi, M., and Cerda, A. 2017. Contribution of raindrop impact to the change of soil physical properties and water erosion under semi-arid rainfalls. *Science of the Total Environment.* Pp: 1-11.
14. Vaezi, A.R., Bahrami, H.A., Sadeghi, S.H.R., and Mahdian, M.H. 2008. Spatial variations of runoff in a part of calcareous soils of semi-arid region in northwest of Iran. *J. Agric. Sci. Natur. Resour.* 15: 5. 56-65. (In Persian)
15. Williams, B.M., Martinez-Mena, S., and Deeksb, L. 2004. Exponential distribution theory and aggregate erosion. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 6: 382-391.



Gorgan University of Agricultural
Sciences and Natural Resources

J. of Water and Soil Conservation, Vol. 24(1), 2017
<http://jwsc.gau.ac.ir>

Short Technical Report

Temporal variation of runoff production and rill erosion in a marl soil under different rainfall intensities

*A.R. Vaezi¹ and M. Foroumadi²

¹Associate Prof., Dept. of Soil Science, University of Zanjan,

²Ph.D. Student, Dept. of Soil Science, University of Zanjan

Received: 12/07/2016; Accepted: 05/08/2017

Abstract

Background and Objectives: Rill erosion is a major factor of soil loss in the marl formations. The marl formations are very susceptible to water erosion processes and cover a wide area in some watersheds in arid and semi-arid regions. Knowledge of temporal variation of rill erosion and effect of during a rainfall event can provide information on the mechanism of rill erosion in the hillslopes. The rate of temporal variation of flow characteristics and rill erosion can be affected by the rainfall intensity. Therefore, this study was conducted to the study of temporal variation of flow characteristics and rill erosion in a marl soil under different simulated rainfalls.

Materials and Methods: A laboratory experiment was carried out using six simulated rainfall intensities ranging from 10 mm h⁻¹ to 60 mm h⁻¹ with three replications. Soil samples were collected from the marl formations in west of Zanjan and separately putted to a flume with 4 m in length and 0.94 m in width putted on 10% slope. Rill erosion and flow characteristics (discharge and concentration) were measured at 5-min from starting flow/ runoff in each rainfall intensity. Rate of rill erosion and flow characteristics versus rainfall duration was obtained and differences among the different rainfall intensities were computed using the variance analysis method.

Results: Results indicated that there are substantial differences in the flow starting time, flow concentration and rill erosion among the rainfall intensities ($P < 0.001$). Rill flow and erosion rapidly occurred with increasing rainfall intensity. Rill erosion increased speedily during rainfall and reached to approximately constant value in the last times (about 45 min). The flow concentration appeared also a similar trend with the rill erosion, while flow discharge showed an increasing trend in the last times. Most of erodible particles were eroded during 45 min from rainfall and after this time, large flows containing lower concentration/sediment were observed in the rills.

Conclusion: The study revealed that the threshold and pick time of rill erosion were strongly varied during rainfall. The variation trend of rill erosion during rainfall increases with increasing the rainfall intensity. Rill erosion temporally varies during rainfall. Rill erosion is strongly dependent on the flow discharge in initial times of rainfall, while in the last times its trend is very different from flow discharge.

Keywords: Flow discharge, Erodible particles, Marl formation, Rill, Flow concentration

* Corresponding Author; Email: vaezi.alireza@gmail.com

