Iranian Journal of Rainwater Catchment Systems

Online ISSN: 1531-2783 Print ISSN: 5970-2423

Application of flow distribution function to surface flow routing of the LAPSUS model

Masoud Eshghizadeh[1], Ali Talebi[*2], Mohammad Taghi Dastoorani[3]

1. Assistant Professor, Department of Agricultural and Natural Resources, University of Gonabad, Gonabad, Iran, and Former Ph.D. Student, Department of Watershed Management, Faculty of Natural Resources, Yazd University, Yazd, Iran. Email: m.eshghizadeh@gonabad.ac.ir
2. Professor, Department of Watershed Management, Faculty of Natural Resources, Yazd University, Yazd, Iran. Email: talebisf@yazd.ac.ir
3. Professor, Department of Watershed Management, Faculty of Natural Resources and Environment, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran. Email: dastorani@um.ac.ir

ARTICLE INFO

Article type:

Research Paper

Article history

Received: 27 September 2023

Revised: 16 November 2023

Accepted: 01 December 2023

Published online: 06 June 2024

Keywords:

Flow distribution function, Flow routing, LAPSUS model, Surface runoff

ABSTRACT

LAndscape ProcesS modeling atmUlti dimensions and scaleS (LAPSUS) model is one of the models that can calculate the multiple flow direction routing. In this model, according to the topography of the watershed, a constant value between 1 and 10 is defined as the convergence factor for the entire studied watershed. The value of this factor is considered constant through calibration or the values considered in previous studies. In this research, to solve the problem of constant convergence factor value, the flow distribution function was defined for this model. This study was conducted in five sub-catchments in the Kakhk experimental watershed located in the northeast of Iran in Gonabad county. In this research, the flow distribution function was defined instead of the convergence factor for the LAPSUS model. In this function, the slope parameter is used to model the effect of topographic characteristics on the flow distribution. In this way, the flow trending part in the LAPSUS model was developed by changing its programmed code in the C^{++} environment for the flow distribution function. Based on the calibration results, the best value of the convergence factor can be between 1 and 10. After applying the flow distribution function to the model, the value of the flow distribution function was calculated to be 6.3 for sub-catchment 4 and between 5.7 and 6.5 for other sub-catchments. The results of validation of the model outputs showed that the value of the coefficient of determination is 0.99 for runoff volume and 0.92 for erosion and sediment. Also, the amount of normalized RMSE was 3.5% for runoff and 5.5% for erosion and sediment. Based on the results, the flow distribution function can define the value of the convergence factor based on the topographic slope for the LAPSUS model. The value of the convergence factor can be defined for the model by entering the average slope of the watershed. Therefore, one of the main issues in the multiple flow direction routing was solved.

Citation: Eshghizadeh, M., Talebi, A., & Dastorani, M. T (2024). Application of flow distribution function to surface flow routing of the LAPSUS model. *Iranian Journal of Rainwater Catchment Systems*, 12(1), 89-101.

DOR: 20.1001.1.24235970.1403.12.1.5.8

Publisher: Iranian Rainwater Catchment Systems Association

© Author(s)

[*] **Corresponding author:** Ali Talebi
Address: Department of Watershed Management, Faculty of Natural Resources, Yazd University, Yazd, Iran.
Tel: +989134137010
Email: talebisf@yazd.ac.ir

[Downloaded from jircsa.ir on 2025-12-07]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1403.12.1.5.8]

Iranian Journal of Rainwater Catchment Systems
Online ISSN: 1531-2783 Print ISSN: 5970-2423

Application of flow distribution function to surface flow routing of the LAPSUS model

Masoud Eshghizadeh[1], Ali Talebi[*2], Mohammad Taghi Dastoorani[3]

1. Assistant Professor, Department of Agricultural and Natural Resources, University of Gonabad, Iran, and Former Ph.D. Student, Department of Watershed Management, Faculty of Natural Resources, Yazd University, Yazd, Iran. Email: m.eshghizadeh@gonabad.ac.ir
2. Professor, Department of Watershed Management, Faculty of Natural Resources, Yazd University, Iran. Email: talebisf@yazd.ac.ir
3. Professor, Department of Watershed Management, Faculty of Natural Resources and Environment, Ferdowsi University of Mashhad, Iran. Email: dastorani@um.ac.ir

EXTENDED ABSTRACT

Introduction: The direction of surface runoff is one of the most important characteristics of watersheds that is related to the topography of the surface watershed which shows itself in the form of a drainage network on the surface of the hydrography network. LAndscape ProcesS modeling atmUlti dimensions and scaleS (LAPSUS) model is one of the new models that can calculate surface flow routing. In this model, according to the topography of the watershed, a constant value between 1 and 10 is defined as the convergence factor for the entire studied watershed, which is used to calculate the trend of multidirectional flow. However, the determination and value of this factor is one of the most important problems of this model, which has been determined through calibration or the values considered in previous studies. In this research, the application of the LAPSUS model was investigated by defining the flow distribution function.

Methodology: This study was conducted in five sub-catchments in the Kakhk experimental watershed located in the northeast of Iran in Gonabad county. In this research, the flow distribution function was defined instead of the convergence factor for the LAPSUS model. In this function, the slope parameter is used to model the effect of topographic characteristics on the flow distribution. To determine the value of the convergence factor at different areas, the flow distribution function was defined for the LAPSUS model and replaced with the convergence factor. In this way, the flow trending part in the LAPSUS model was developed by changing its programmed code in the C^{++} environment for the flow distribution function. At first, the model calculates the value of the distribution function according to the average slope of each sub-catchment. Then, the value of this function was considered in trending calculations instead of the value of the convergence factor, and based on this value, the model determines the type of flow trending method (unidirectional or multidirectional) and calculates the value of the flow distribution ratio (Fi) for flow trending.

Results and Discussion: Based on the calibration results for sub-catchments 1, 2, 3, and 5, the best value of the convergence factor can be between 1 and 10. In sub-catchment 4, the best value for this factor was set to 6. After applying the flow distribution function to the model, the value of the flow distribution function was calculated to be 6.3 for sub-catchment 4 and between 5.7 and 6.5 for other sub-catchments. The results of validation of the model outputs showed that the value of the coefficient of determination is 0.99 for runoff volume and 0.92 for erosion and sediment. The value of the accuracy index for runoff outlets increased to 0.84 but decreased to 0.6 for erosion and sediment. Also, the amount of normalized RMSE was 3.5% for runoff and 5.5% for erosion and sediment.

Conclusion: By defining the flow distribution function that takes into account the slope of the surface topography, the multidirectional flow distribution algorithm has acceptable and close-to-reality results for the studied area. This function can define the convergence factor spatially by changing the topography slope for the multidirectional flow distribution algorithm. By defining the flow distribution function, by entering the average slope of the area, the value of the flow distribution function, which is equal to the same convergence factor, is

[*] **Corresponding author:** Ali Talebi
Address: Department of Watershed Management, Faculty of Natural Resources, Yazd University, Yazd, Iran.
Tel: +989134137010
Email: talebisf@yazd.ac.ir

[Downloaded from jircsa.ir on 2025-12-07]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1403.12.1.5.8]

ISSN (Online): 2783-1531 - ISSN (Print): 2423-5970

defined for the model. Therefore, one of the main issues in the discussion of trending multidirectional flow, which was the determination of the value of the convergence factor, was resolved. Therefore, this function can create a special feature for the LAPSUS model and develop this model.

Ethical Considerations

Data Availability Statement: The datasets are available upon a reasonable request to the corresponding author.

Funding: This research is the result of a Ph.D. Thesis, Yazd University, Iran.

Authors' contribution: Masoud Eshghizadeh: data curation, conceptualization, visualization, methodology, resources, software, formal analysis, validation, original draft, writing, Ali Talebi: conceptualization, methodology, investigation, validation, review and editing, supervision and Mohamad-Taghi Dastorani: conceptualization, investigation, validation, review and editing, supervision.

Conflicts of interest: The author of this paper declared no conflict of interest regarding the authorship or publication of this article.

[Downloaded from jircsa.ir on 2025-12-07]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1403.12.1.5.8]

[Downloaded from jircsa.ir on 2025-12-07]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1403.12.1.5.8]

Iranian Journal of Rainwater Catchment Systems
مجله علمی سامانه‌های سطوح آبگیر باران ایران
شاپا الکترونیکی: ۲۷۸۳-۱۵۳۱ شاپا چاپی: ۲۴۲۳-۵۹۷۰

کاربرد تابع توزیع جریان در روندیابی جریان سطحی مدل LAPSUS

مسعود عشقی‌زاده[۱]، علی طالبی[۲]*، محمدتقی دستورانی[۳]

۱. استادیار گروه مهندسی کشاورزی و منابع طبیعی، مجتمع آموزش عالی گناباد، گناباد، ایران و دانش‌آموخته دکتری، گروه آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه یزد، یزد، ایران. m.eshghizadeh@gonabad.ac.ir

۲. استاد، گروه آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه یزد، یزد، ایران. talebisf@yazd.ac.ir

۳. استاد، گروه آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران. dastorani@um.ac.ir

مشخصات مقاله

نوع مقاله:
پژوهشی

تاریخچه مقاله
دریافت: ۵ مهر ۱۴۰۲
بازنگری: ۲۵ آبان ۱۴۰۲
پذیرش: ۱۰ آذر ۱۴۰۲
انتشار برخط: ۱۶ خرداد ۱۴۰۳

واژه‌های کلیدی:
تابع توزیع جریان، جریان سطحی، روندیابی، مدل لاپسوس

چکیده

از جمله مدل‌هایی که قابلیت محاسبه روندیابی جریان سطحی چندجهته را دارند، مدل لاپسوس (LAPSUS) است. در این مدل با توجه به وضعیت توپوگرافی منطقه، یک مقدار ثابت، بین ۱ تا ۱۰ به‌عنوان عامل همگرایی برای کل منطقه مورد مطالعه تعریف می‌شود. مقدار این عامل از طریق کالیبراسیون و یا مقادیر در نظر گرفته شده در مطالعات قبلی، به‌صورت ثابت در نظر گرفته می‌شود. در این تحقیق با هدف رفع مشکل ثابت بودن مقدار عامل همگرایی، تابع توزیع جریان برای این مدل تعریف شد. این مطالعه در ۵ زیرحوضه در حوضه آزمایشی کاخک واقع در شمال شرق ایران و در شهرستان گناباد انجام شد. در این تحقیق تابع توزیع جریان به جای عامل همگرایی برای مدل لاپسوس تعریف شد. در این تابع برای مدل کردن اثر ویژگی‌های توپوگرافی بر توزیع جریان از پارامتر شیب استفاده شده است. بدین‌ترتیب قسمت روندیابی جریان در مدل لاپسوس با تغییر کد برنامه نویسی شده آن در محیط C^{++} برای تابع توزیع جریان توسعه داده شد. بر اساس نتایج حاصل بهترین مقدار عامل همگرایی می‌تواند بین ۱ تا ۱۰ باشد که پس از اعمال روش توسعه روندیابی مدل با تعریف تابع توزیع جریان برای مدل، مقدار تابع توزیع جریان برای زیرحوضه ۴ مقدار ۶/۳ و برای سایر زیرحوضه‌ها بین ۵/۷ تا ۶/۵ محاسبه شد. نتایج اعتبارسنجی خروجی‌های مدل، مقدار ضریب تبیین برای حجم رواناب را ۰/۹۹ و برای فرسایش و رسوب ۰/۹۲ نشان داد. هم‌چنین مقدار RMSE نرمال شده نیز برای رواناب ۳/۵ درصد و برای فرسایش و رسوب ۵/۵ درصد بوده است. بر اساس نتایج حاصل، تابع توزیع جریان توانایی تعریف مقدار عامل همگرایی را بر اساس شیب توپوگرافی برای مدل لاپسوس داشته و با وارد کردن شیب متوسط حوضه، مقدار عامل همگرایی است برای مدل قابل تعریف است. لذا یکی از مسائل اصلی در بحث روندیابی جریان چند جهته که تعیین مقدار عامل همگرایی بود، بر طرف شد.

استناد: عشقی‌زاده، مسعود، طالبی، علی، و دستورانی، محمدتقی. (۱۴۰۳). کاربرد تابع توزیع جریان در روندیابی جریان سطحی مدل LAPSUS. *سامانه‌های سطوح آبگیر باران*، ۱۲(۱)، ۸۹-۱۰۱.

DOR: 20.1001.1.24235970.1403.12.1.5.8

CC BY NC
© نویسندگان

ناشر: انجمن علمی سیستم‌های سطوح آبگیر باران ایران

* **نویسنده مسئول:** علی طالبی
نشانی: گروه آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه یزد، یزد، ایران.
تلفن: ۰۹۱۳۴۱۳۷۰۱۰
پست الکترونیکی: talebisf@yazd.ac.ir

[Downloaded from jircsa.ir on 2025-12-07]
[DOR: 20.1001.1.24235970.1403.12.1.5.8]

مقدمه

در مبحث روندیابی جریان سطحی، یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های حوزه‌های آبخیز که مربوط به توپوگرافی حوضه می‌شود، جهت جریان رواناب‌های سطحی است که به شکل شبکه زهکشی در سطح حوضه خود را نشان می‌دهد. این امر سبب شده است که تعیین جهت جریان رواناب‌های سطحی یکی از پارامترهای اساسی در مدل‌سازی هیدرولوژیکی و روندیابی جریان به‌شمار رود. بنابراین مدل رقومی ارتفاع[1] (DEM) جهت محاسبه روندیابی جریان یکی از ورودی‌های اصلی و پایه محسوب می‌شود (Pilesjö & Hasan, 2014).

از جمله مدل‌هایی که قابلیت محاسبه روندیابی جریان سطحی را دارد، مدل لاپسوس[2] (LAPSUS) است. این مدل یک مدل تحول چشم‌انداز[3] (LEM) دینامیک است. مدل‌های تحول چشم‌انداز نتایج حاصل از فعالیت فرآیندهای مختلف منجر به شکل‌گیری و تغییر شکل چشم‌انداز را بر روی یک مدل دیجیتال قابل به روزرسانی از چشم‌انداز مانند مدل رقومی ارتفاع (DEM) نشان می‌دهند (Schoorl et a;/. 2000, 2002).

این مدل برای اولین بار در سال ۲۰۰۱ میلادی در دانشگاه واخنینگن هلند توسط تیم تحقیقاتی Schoorl و Veldkamp معرفی و شروع به توسعه نمود. دبی در این مدل براساس بارش موثر محاسبه می‌شود. سپس این دبی به طرف پیکسل‌های پایین دست روندیابی می‌شود. بخش رسوب این مدل بر اساس معادله پیوستگی حرکت رسوب بنا شده است (Foster & Meyer, 1975; Kirkby, 1971). میزان انتقال رسوب با استفاده از ظرفیت حمل رسوب جریان از یک پیکسل به سایر پیکسل‌ها به‌صورت یک تابع از دبی جریان سطحی و مقدار شیب محاسبه می‌شود. پس از محاسبه دبی برای هر پیکسل شبکه، ابتدا ظرفیت حمل رسوب محاسبه می‌شود و سپس بر اساس آن میزان حمل رسوب از هر پیکسل برآورد می‌شود. با جمع این مقادیر در خروجی مورد نظر مقدار فرسایش و رسوب قابل محاسبه است.

در مورد مطالعات صورت گرفته با مدل لاپسوس که روندیابی جریان سطحی بر اساس الگوریتم توزیع جریان چند جهته بوده است، می‌توان به مطالعه Buis و Veldkamp (۲۰۰۸) اشاره کرد که مدل لاپسوس را برای نمایش توزیع مکانی آب در یک اقلیم مدیترانه‌ای کم باران مورد بررسی قرار دادند. نتایج آنان نشان داد که حوضه‌ها پاسخ‌های متفاوتی به وقایع رگباری دارند که ناشی از خصوصیات مختلف سطح مخصوصاً پوشش گیاهی است. Lesschen و همکاران (۲۰۰۹) نیز رواناب و فرسایش را برای یک حوضه نیمه خشک بر اساس اتصال هیدرولوژیکی در چند مقیاس مکانی مختلف با مدل لاپسوس مدل‌سازی نمودند. اتصال هیدرولوژیکی اتصال با واسطه آب درون یا بین عناصر چرخه هیدرولوژیکی است یا به بیان ساده‌تر مسیر پیوسته آب و مواد موجود در آن از لحظه ورود به سطح حوزه به‌وسیله بارش تا جریان خروجی از آن است. نتایج حاصل نشان داد توزیع مکانی پوشش گیاهی و تراس‌های کشاورزی تاثیر مهمی بر روندیابی جریان دارد. هم‌چنین Keesstra و همکاران (۲۰۱۴) مدل لاپسوس را در مقیاس زمانی روزانه برای کاربرد در حوضه‌های متوسط (۲۰ تا ۲۰۰ کیلومتر مربع) مورد بررسی قرار دادند. نتایج روندیابی آن‌ها نشان داد که مدل لاپسوس بطور قابل اعتمادی می‌تواند دبی پیک را پیش‌بینی نماید. Gorp و همکاران (۲۰۱۴) نیز به‌منظور شبیه‌سازی پاسخ رودخانه به مسدود شدن مسیر آن و ایجاد سدهای طبیعی، برای دوره‌های بلند مدت مورد پایش قرار دادند. آن‌ها برای این منظور مدل لاپسوس را برای محاسبه رواناب، فرسایش و رسوبگذاری که قادر است گودشدگی‌های واقعی را در نظر گیرد، به‌کار گرفته شد. آن‌ها نتیجه گرفتند که موانعی که سال‌ها قبل به‌وجود آمده می‌تواند امروزه بر روندیابی و الگوی آبراهه‌ها و شبکه زهکشی تاثیر نماید. از جدیدترین تحقیقات انجام شده بر روی بررسی الگوریتم توزیع جریان چند جهته در مقیاس حوزه آبخیز با استفاده از مدل لاپسوس می‌توان به مطالعه عشقی‌زاده و همکاران (۲۰۱۹) اشاره نمود. آن‌ها جریان‌های سطحی ایجاد شده بر اثر ۳۴ واقعه منجر به سیلاب طی سال‌های ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۸ را با استفاده از این مدل در مقیاس حوزه آبخیز شبیه‌سازی کردند. نتایج آن‌ها نشان داد، روندیابی جریان چند جهته که توسط مدل لاپسوس صورت گرفته است با دقت بالایی قادر به شبیه‌سازی حجم کل جریان خروجی در مقیاس حوضه است. Anand و همکاران (۲۰۲۰) کاربرد روندیابی جریان چند جهته و برتری آن نسبت به جریان تک جهته در فرسایش را از طریق محاسبات عددی نشان دادند. هم‌چنین، Parente و همکاران (۲۰۲۳)، از مدل لاپسوس برای پیش‌بینی فرسایش خاک پس از آتش‌شوزی در یکی از زیرحوزه‌های آبخیز پرتغال استفاده نمودند. نتایج آن‌ها نشان داد، این مدل روش مناسبی برای تشخیص مناطقی که نیاز به مداخله برای کنترل فرسایش قبل از توسعه آن دارند، است.

در مدل LAPSUS پس از محاسبه دبی براساس بارش موثر، این دبی به طرف پیکسل‌های پایین‌دست دامنه بر اساس الگوریتم جریان چند جهته روندیابی شده و مقدار تجمعی آن برای هر پیکسل سطح شبکه محاسبه می‌شود. در این الگوریتم از یک مقدار ثابت برای عامل

[1] Digital Elevation Model
[2] LAndscape ProcesS modelling atmUlti dimensions and scaleS
[3] Landscape Evolution Model

[Downloaded from jircsa.ir on 2025-12-07]
[DOR: 20.1001.1.24235970.1403.12.1.5.8]

همگرایی (p) استفاده می‌شود. این مقدار با توجه به مقیاس مورد مطالعه (دامنه، حوضه) و شرایط غالب توپوگرافی منطقه مورد مطالعه (شیب و همگرا و واگرایی جریان) تنها یک مقدار بین ۱ تا ۱۰ در نظر گرفته می‌شود. هنگامی‌که مقدار این عامل برابر با ۱ باشد توزیع جریان بر اساس الگوریتم جریان چند جهته خواهد بود. اما هنگامی‌که مقدار این عامل از ۱۰ بیش‌تر باشد، توزیع جریان بر اساس الگوریتم جریان تک جهته محاسبه می‌شود. با افزایش شیب، مقدار این عامل از ۱ به سمت بی‌نهایت می‌تواند افزایش یابد. (Baartman et al., 2012; Buis & Veldkamp, 2008; Holmgren, 1994; Schoorl, 2002; Temme et al., 2006; Temme, & Veldkamp, 2009). با تعریف مقدار عامل همگرایی، امکان به‌کارگیری هر دو نوع روندیابی جریان سطحی (جریان تک جهته یا چند جهته) برای سطح حوضه وجود دارد. مقدار عامل همگرایی کاملاً وابسته به توپوگرافی سطحی بوده و رابطه بین شیب و توزیع جریان را نشان می‌دهد (Hasan et al., 2011; Qin et al., 2007; Pilesjö et al., 1998; Quinn et al., 1991).

در الگوریتم توزیع جریان چند جهته با افزایش مقدار عامل همگرایی نوع روندیابی از جریان چند جهته به سمت جریان تک جهته تغییر می‌یابد. اما در مدل لاپسوس مقدار عامل همگرایی که تعیین کننده نوع روش روندیابی تک جهته یا چند جهته است به‌صورت یک مقدار ثابت برای عامل همگرایی (p) تعریف می‌شود. این مقدار از مقادیر تعیین شده در مطالعات مختلف و معمولاً با توجه به وضعیت توپوگرافی حوضه و یا بر اساس واسنجی تعیین می‌شود. به‌همین علت معمولاً تعیین مقدار این عامل برای حوضه‌های مختلف می‌تواند یکی از مسائل و سردرگمی‌های کاربران برای این مدل باشد. در مطالعات مختلف برای بر طرف ساختن این مشکل معمولاً از مقادیر یکسانی در حوضه-های مختلف استفاده شده است. این امر سبب شده تا شرایط توپوگرافی حوضه‌های مختلف برای روندیابی به‌صورت یکسان در نظر گرفته شود. درنتیجه این مقدار ثابت نمی‌تواند اثرات مکانی شرایط توپوگرافی را در حوضه‌های مختلف روی توزیع جریان مدل کند (Qin et al., 2007). برای غلبه بر این مشکل Qin و همکاران (۲۰۰۷)، تابع توزیع جریان (f(e)) را بجای عامل همگرایی معرفی نمودند. در این تابع برای مدل کردن اثر ویژگی‌های توپوگرافی بر توزیع جریان از پارامتر شیب استفاده شده است. بر اساس مطالعات Qin و همکاران (۲۰۰۷) حداکثر شیب در جهت پایین‌دست مناسب‌ترین نماینده برای نشان دادن اثر شرایط توپوگرافی مکانی بر توزیع جریان در هر دو توزیع جریان تک جهته و چند جهته است.

با وجود معرفی تابع توزیع جریان توسط Qin و همکاران (۲۰۰۷)، تاکنون این تابع برای مدل لاپسوس استفاده نشده است و این مدل از همان مقادیر ثابت برای روندیابی جریان آب و رسوب در حوزه‌های آبخیز استفاده می‌کند. از نوآوری‌های این تحقیق، تعریف و به‌کارگیری تابع توزیع جریان Qin و همکاران (۲۰۰۷)، برای اولین بار در مدل لاپسوس با ایجاد تغییر در کد C^{++} آن است. در این تحقیق تلاش شده است با معرفی تابع توزیع جریان برای این مدل، مشکل ثابت بودن عامل همگرایی در روش روندیابی مدل لاپسوس بر طرف شود، به‌نحوی که بتوان با ورود شیب حوضه به مدل، محاسبات روندیابی جریان مدل انجام گیرد.

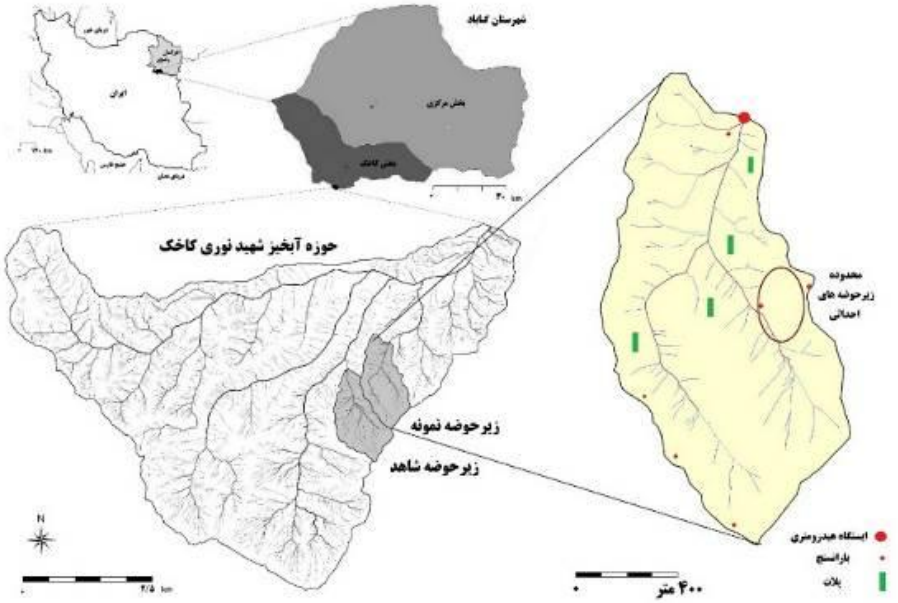
مواد و روش تحقیق

محدوده مورد مطالعه

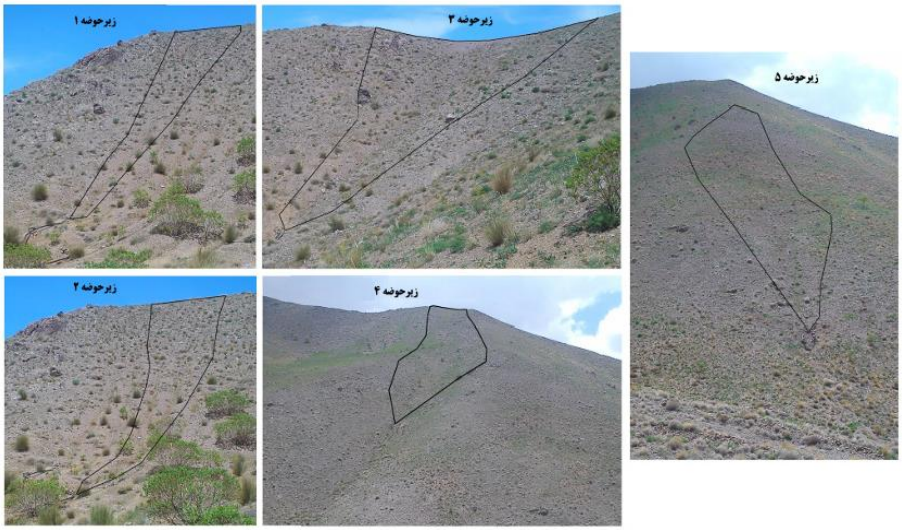
اجرای این مطالعه در حوضه نمونه کاخک که یکی از زیرحوضه‌های حوزه آبخیز شهید مهدی نوری کاخک شهرستان گناباد و جزء طرح ملی حوضه‌های معرف و زوجی کشور است؛ انجام شد. این حوضه در فاصله ۳۵ کیلومتری جنوب شهر گناباد در خراسان رضوی واقع شده است. و بین طول‌های "۵۷ '۳۵°۵۸ الی "۳۵ '۳۶°۵۸ شرقی و عرض‌های "۰۶ '۰۴°۳۴ الی "۰۶ '۰۵ °۳۴ شمالی قرار دارد. مساحت این حوضه ۱۰۶/۵ هکتار است (Eshghizadeh et al., 2018). شکل ۱ موقعیت جغرافیایی-سیاسی حوضه نمونه و شکل ۲ زیرحوضه‌های مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

[Downloaded from jircsa.ir on 2025-12-07]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1403.12.1.5.8]



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی محل انجام تحقیق
Figure 1- Geographical location of the research site



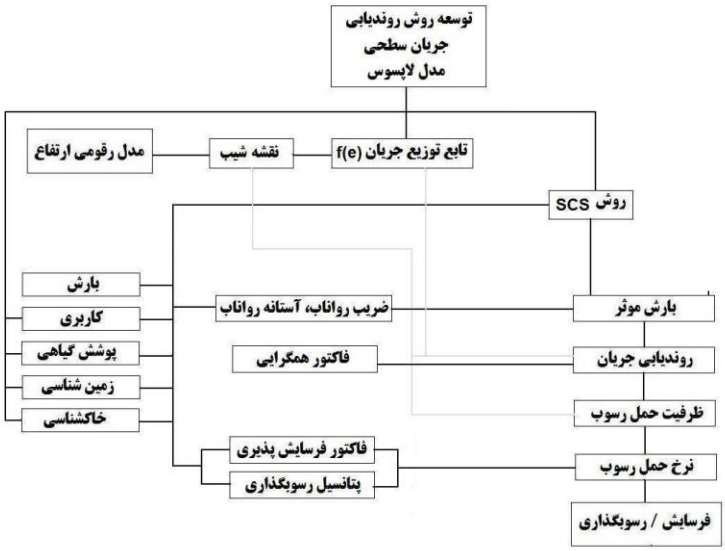
شکل ۲- زیرحوضه‌های مورد مطالعه در مدل توسعه داده شده لاپسوس
Figure 2- The studied sub-catchments for the developed LAPSUS model

روش کار

ورودی‌های اصلی و پایه مدل لاپسوس شامل مدل رقومی ارتفاع، مقدار ارتفاع بارندگی، ضریب رواناب، عامل همگرایی، ضرایب m و n مربوط به توان جریان در روندیابی جریان سطحی و عامل فرسایش‌پذیری (K_{es}) و عامل پتانسیل رسوبگذاری (P_{es}) است که به‌صورت کد برنامه نویسی شده در محیط C^{++} برای اجرای مدل تعریف شده‌اند. مقادیر هر یک از عاملهای همگرایی، توان جریان، فرسایش‌پذیری و پتانسیل رسوبگذاری بر اساس نتایج حاصل از واسنجی برای زیرحوضه‌های ۱، ۲، ۳، ۴ و ۵ تعیین شد. شکل ۳ نمودار جریانی مراحل کار برای اجرا و توسعه بخش روندیابی مدل لاپسوس را نشان می‌دهد.

به‌منظور اجرا و به‌کارگیری این مدل، ۵ زیرحوضه کوچک با مساحت بین ۴۰۰ تا ۴۰۰۰ مترمربع در حوضه نمونه در نظر گرفته شد (شکل ۲). مقادیر فرسایش و رسوب و حجم جریان خروجی در آن‌ها برای ۱۷ واقعه رگباری طی سال‌های ۱۳۹۳ و ۱۳۹۴ دقیقاً اندازه‌گیری شده است. جدول ۱ مشخصات هر یک از زیرحوضه‌های مورد بررسی در حوضه زوجی کاخک را نشان می‌دهد. جدول ۲ مقادیر مشاهداتی فرسایش و رسوب و حجم جریان را در هر یک از زیرحوضه‌های مورد مطالعه نشان می‌دهد.

[Downloaded from jircsa.ir on 2025-12-07]
[DOR: 20.1001.1.24235970.1403.12.1.5.8]



شکل ۳- نمودار جریانی روش کار برای توسعه روش روندیابی مدل لاپسوس

Figure 3- Flow chart of the working method for the development of the trending method of LAPSUS model

جدول ۱- مشخصات هر یک از زیرحوضه‌های مورد بررسی در حوضه زوجی کاخک (Eshghizadeh et al., 2018)

Table 1- Specifications of the studied sub-catchments in Kakhk experimental watershed (Eshghizadeh et al., 2018)

Sub-catchment	Max.Elevation (m)	Min.Elevation (m)	Area (m^2)	Mean Slope (%)	Landuse	Vegetation type	Soil Texture	Geology
1	2112.1	2080.5	502	53	Range	Herb-Shrub	Sandy loam	Shemshak
2	2110.6	2078.4	462	53				
3	2120.8	2094.4	963	61				
4	2225.5	2134.3	4098	59				
5	2170.2	2082.7	2484	58				

جدول ۲- مقادیر مشاهداتی رواناب و فرسایش در هر یک از زیرحوضه‌های مورد بررسی

Table 2- Observational values of runoff and erosion in each of the studied sub-catchments

Event	Rainfall in 24 hours (mm)	Micro sub-catchment									
		1		2		3		4		5	
		Runoff (lit)	Erosion (gr)	Runoff (lit)	Erosion (gr)	Runoff (lit)	Erosion (g)	Runoff (lit)	Erosion (gr)	Runoff (lit)	Erosion (gr)
4.23.2014	4.8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5.1.2014	2.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5.3.2014	12	80.5	42	50	16	210	64	9	0.2	10.3	2
5.6.2014	9.5	52.5	44	41	17.3	172	87	7.6	0.5	9	3.4
5.8.2014	1.8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10.18.2014	1.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11.1.2014	18	211.4	151	19.9	49	396.1	400.7	13.4	3	34.4	19.5
11.2.2014	3.4	8.1	27	0	0	1.6	2	1.3	0.2	4	2
11.5.2014	45	540	216	450	90	2100	840	55.8	6	117.5	71
11.6.2014	19	66.5	143	1.1	6	752.2	379	2.8	1.5	13.7	9
11.26.2014	14.5	15.8	59	0.3	4	13.8	17	5	2.2	2.7	3
1.10.2015	16.5	71.6	114	0	0	457.9	310	0	0	0	0
2.21.2015	100	209	187	15.5	41	1774.5	720	117	7	20.5	18.4
3.23.2015	16.3	134	138	22.5	26.7	456	460	24	3.4	30	13.7
4.19.2015	12.7	55.5	64	6.2	11.3	134	137	19	2.2	16.5	6
5.9.2015	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5.11.2015	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

[Downloaded from jircsa.ir on 2025-12-07]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1403.12.1.5.8]

تابع توزیع جریان

در روندیابی جریان متعدد درصد دبی خارج شده از یک پیکسل به هر یک از پیکسل های پایین دست مجاور با استفاده از یک عامل وزنی مشخص، برای هر جهت محاسبه می‌شود. این نسبت در هر جهت از رابطه ۱ محاسبه می‌شود (Freeman, 1991; Holmgren, 1994; Pilesjö & Hasan, 2014; Talebi et al., 2014):

$$Fi = \frac{(\tan\beta)_i^p}{\sum_{j=1}^{\max 8}(\tan\beta)_j^p} \quad (۱)$$

Fi نسبت جریان در جهت i که بین ۰ تا ۱، β زاویه شیب بین پیکسل مرکزی و پیکسل پایین‌دست در جهت i، P عامل همگرایی، i و j جهت اصلی و فرعی جریان به پیکسل‌های مجاور می‌باشند.

Qin و همکاران (۲۰۰۷)، تابع توزیع جریان (f(e)) را به‌جای عامل همگرایی معرفی نمودند. در این تابع برای مدل کردن اثر ویژگی‌های توپوگرافی بر توزیع جریان از پارامتر شیب استفاده شده است. هنگامی‌که حداکثر شیب پایین‌دست زیاد باشد، بایستی مقدار تابع f(e) زیاد بوده تا امکان مدل کردن جریان همگرا وجود داشته باشد. اگر حداکثر شیب پایین‌دست کم باشد باید مقدار تابع f(e) کم بوده تا امکان مدل کردن جریان واگرا وجود داشته باشد. با توجه به این موارد یک تابع خطی به‌صورت زیر امکان معرفی هر دو شرایط را خواهد داشت (Qin et al., 2007).

$$f(e) = \frac{e - e_{\min}}{e_{\max} - e_{\min}} \times (P_u - P_l) + P_l \quad (۲)$$

$f(e)$ = مقدار تابع توزیع جریان

e = مقدار تانژانت زاویه شیب متوسط

P_u = حد بالای تابع که برابر با حداکثر مقدار عامل همگرایی (p) است که نشان دهنده شرایط همگرایی جریان سطحی است.

P_l = حد پایینی تابع که برابر با حداقل مقدار عامل همگرایی (p) است که نشان دهنده شرایط واگرایی جریان سطحی است.

$e_{\max}$ = مقدار تانژانت حداکثر زاویه شیب

$e_{\min}$ = مقدار تانژانت حداقل زاویه شیب

تعیین حد بالا و پایین تابع، بر اساس دامنه مقادیر عامل همگرایی (p) برای مدل‌سازی جریان واگرا و همگرا، بین ۱ و ۱۰ تعیین می‌شود (Freeman, 1991; Holmgren, 1994; Pilesjö & Hasan, 2014; Quinn et al., 1991; Schoorl, 2002; Temme et al., 2006; Qin et al., 2007; Buis & Veldkamp, 2008; Baartman et al., 2012). Qin و همکاران (۲۰۰۷) با در نظر گرفتن حد بالا و پایین تابع f(e)، حداکثر و حداقل مقدار شیب را به‌ترتیب ۴۵ و صفر درجه تعیین نموده‌اند. زیرا هنگامی‌که مقدار شیب ۴۵ درجه یا بیش‌تر باشد، مقدار تابع برابر با حد بالای P_u یعنی ۱۰ بوده و در شرایط هموار و شیب صفر درجه مقدار تابع برابر با حد پایین P_l یعنی ۱ است. بر این اساس شکل نهایی تابع توزیع جریان به‌صورت رابطه ۳ می‌تواند خلاصه شود: (Qin et al., 2007)

$$f(e) = 9 \times \min(e,1) + 1 \quad (۳)$$

$f(e)$ = مقدار تابع توزیع جریان

$\min(e,1)$ = حداقل مقدار بین مقادیر e و ۱

e = مقدار تانژانت زاویه شیب متوسط

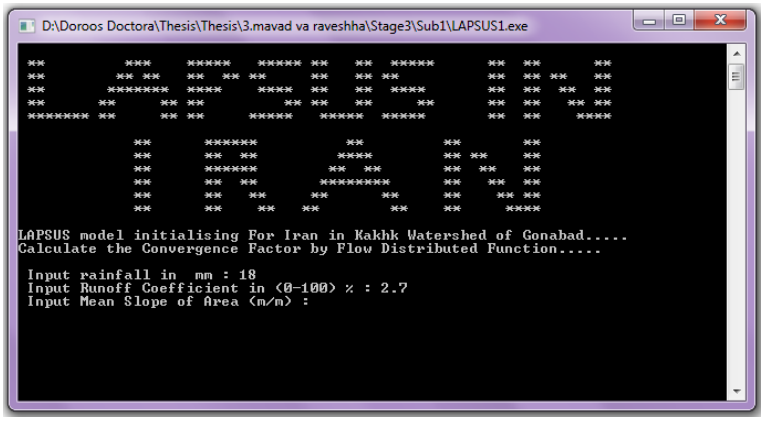
بدین ترتیب مقدار f(e) به جای عامل (p) در معادله توزیع جریان چند جهته مدل لاپسوس جایگزین شده و تبدیل به رابطه ۴ می‌شود (Qin et al., 2007).

$$Fi = \frac{(\tan\beta)_i^{f(e)}}{\sum_{j=1}^{\max 8}(\tan\beta)_j^{f(e)}} \quad (۴)$$

سپس کد برنامه نویسی شده مدل در محیط C^{++} به‌صورتی تغییر داده شد تا با ورود اطلاعات شیب متوسط حوضه توسط کاربر، مدل مقدار تابع توزیع جریان را محاسبه نموده و برابر با عامل همگرایی در محاسبات روندیابی جریان قرار دهد (شکل ۴).

[Downloaded from jircsa.ir on 2025-12-07]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1403.12.1.5.8]



شکل ٤- صفحه اجرای مدل پس از تغییر کد C^{++} برای ورود اطلاعات شیب جهت محاسبه مقدار تابع توزیع جریان در مدل لاپسوس

Figure 4- Model execution page after changing the C^{++} code for entering slope information to calculate the value of the flow distribution function in the LAPSUS model

با تعریف تابع توزیع جریان برای روش روندیابی جریان در مدل لاپسوس، مدل برای هر یک از رخدادهای به وقوع پیوسته برای هر یک از زیرحوضه‌ها اجرا شد. برای صحت‌سنجی، نتایج حاصل از خروجی مدل با مقادیر مشاهداتی هر رخداد ثبت شده برای زیرحوضه‌ها مورد مقایسه قرار گرفت. برای این منظور از چهار معیار ضریب تبیین، نش-ساتکلیف، شاخص صحت و RMSE نرمال شده، استفاده شد.

نتایج و بحث

برای تعیین مقدارعامل همگرایی در سطوح مختلف، تابع توزیع جریان برای مدل لاپسوس تعریف و جایگزین عامل همگرایی شد. بدین ترتیب قسمت روندیابی جریان در مدل لاپسوس با تغییر کد برنامه نویسی شده آن در محیط C^{++} برای تابع توزیع جریان توسعه داده شد. بدین ترتیب مدل در ابتدا با توجه به شیب متوسط هر زیرحوضه، مقدار تابع توزیع را محاسبه می‌نماید. سپس مقدار این تابع در محاسبات روندیابی به جای مقدار عامل همگرایی در نظر گرفته شد و مدل بر اساس این مقدار نوع روش روندیابی جریان (تک جهته یا چند جهته) را تعیین نموده و برای روندیابی جریان مقدار نسبت توزیع جریان (Fi) را محاسبه می‌نماید. بر اساس نتایج حاصل از واسنجی برای زیرحوضه-های ۱، ۲، ۳ و ۵ بهترین مقدار عامل همگرایی می‌تواند بین ۱ تا ۱۰ بوده و با تغییر مقدار عامل همگرایی تفاوتی در خروجی حاصل نمی-شد. اما در زیرحوضه ۴ بهترین مقدار برای این عامل مقدار ۶ تعیین شد. پس از اعمال روش توسعه روندیابی مدل با تعریف تابع توزیع جریان برای مدل، مقدار تابع توزیع جریان برای زیرحوضه ۴ مقدار ۶/۳ و برای سایر زیرحوضه‌ها بین ۵/۷ تا ۶/۵ محاسبه شد. جدول ۳ بهترین مقادیر عامل همگرایی و مقادیر تابع توزیع جریان را برای زیرحوضه‌ها نشان می‌دهد. این نتایج قابلیت زیاد تابع توزیع جریان جهت محاسبه مقدار عامل همگرایی را نشان می‌دهد.

جدول ۳- بهترین مقادیر عامل همگرایی و مقادیر تابع توزیع جریان در زیرحوضه‌ها

Table 3- The best values of the convergence factor and the values of the flow distribution function in the sub-catchments

	Best values of the convergence factor	Values of the flow distribution function
Sub-catchment 1	1 - 10	5.7
Sub-catchment 2	1 - 10	5.8
Sub-catchment 3	1 - 10	6.5
Sub-catchment 4	6	6.3
Sub-catchment 5	1 - 10	6.2

با افزایش مقدار شیب و کانالیزه شدن بیشتر جریان، جریان سطحی در آبراهه‌ها تمرکز پیدا کرده و نوع روندیابی به سمت جریان تک جهته حرکت می‌نماید. بنابراین هر چه جریان به سمت کانالیزه شدن و متمرکز شدن در آبراهه‌ها حرکت کند مقدار عامل همگرایی بیش‌تر بوده تا روندیابی جریان از نوع تک جهته یا همگرا باشد (Schoorl et al., 2001; Quinn et al., 1991). بنابراین در مناطق کوهستانی و حوضه‌های موجود در این مناطق که معمولاً پر شیب هستند مقدار این عامل نیز از ۱ بیش‌تر خواهد بود. در مدل لاپسوس جهت روندیابی

[Downloaded from jircsa.ir on 2025-12-07]
[DOR: 20.1001.1.24235970.1403.12.1.5.8]

جریان این ویژگی در نظر گرفته شده و کد برنامه نویسی شده مدل به نحوی نوشته شده است که با توجه به تغییرات شیب ناشی از اختلاف ارتفاع پیکسل‌های مجاور، خود مدل نوع روندیابی جریان را بین روش روندیابی جریان تک جهته و روندیابی جریان چند جهته تعیین نماید. در این صورت در حوضه‌هایی که تغییرات شیب در آن‌ها مشخص است، مانند زیرحوضه‌های ۱، ۲، ۳ و ۵ که دارای آبراهه‌ها و کانال‌های زهکشی مشخص در سطح خود می‌باشند، مدل خود نوع روندیابی جریان را تک جهته تعیین می‌نماید. به همین خاطر در زیرحوضه‌های ۱، ۲، ۳ و ۵ با دادن مقادیر مختلف عامل همگرایی خروجی رواناب تغییری نمی‌نماید و مقدار عامل همگرایی می‌تواند مقداری بین ۱ تا ۱۰ را به خود اختصاص دهد. اما در حوضه‌ها و سطوحی که تغییرات شیب و کانالیزه شدن بارز و مشخص نیست، و این امر سبب می‌شود، جریان سطحی در جهت شیب به سمت نقطه خروجی متمرکز شود، مدل بر اساس مقدار عامل همگرایی نوع روندیابی جریان را تعیین می‌نماید. این وضعیت در زیرحوضه ۴ به‌خوبی مشهود بوده لذا در این مورد حتماً لازم است مقدار عامل همگرایی مناسب حوضه برای مدل وارد گردد. لذا تعیین مقدار مناسب عامل همگرایی برای مدل لازم است. با تعریف تابع توزیع جریان برای مدل، نیاز به تعیین مقدار عامل همگرایی برای حوضه‌های مختلف بر طرف شد.

نتایج اعتبارسنجی خروجی‌های مدل نشان داد مقدار ضریب تبیین برای حجم رواناب ۰/۹۹ و برای فرسایش و رسوب ۰/۹۲ است که نسبت به نتایج مدل اولیه که ضریب رواناب را در مدل اعمال نمود، برای رواناب تفاوتی نداشته است اما برای رسوب مقدار ۰/۰۵ کاهش داشته است. مقدار شاخص صحت نیز برای خروجی‌های رواناب به مقدار ۰/۸۴ افزایش داشته است اما برای رسوب به ۰/۶ کاهش یافته است. اما در هر صورت نشان دهنده دقت قابل قبول خروجی‌های مدل پس از توسعه روش روندیابی جریان است. جدول ۴ مقادیر ضریب تبیین، نش-ساتکلیف، شاخص صحت و RMSE نرمال شده را نشان می‌دهد. شکل ۵ نسبت مقادیر رواناب برآوردی مدل توسعه داده شده و مقادیر مشاهداتی را نشان می‌دهد. شکل ۶ نسبت مقادیر فرسایش و رسوب برآوردی مدل توسعه داده شده و مقادیر مشاهداتی را نشان می‌دهد. جدول ۵ مقادیر رواناب سطحی و فرسایش و رسوب محاسبه شده توسط مدل توسعه داده شده لاپسوس را برای رخدادهای منجر به رواناب در زیرحوضه های مورد مطالعه نشان می‌دهد.

جدول ٤- مقادیر ضریب تبیین، نش-ساتکلیف، شاخص صحت و nRMSE بر روی خروجی‌های مدل لاپسوس پس از توسعه روش روندیابی جریان

Table 4- Coefficient of determination, Nash-Sutcliffe, accuracy index, and nRMSE values on the outputs of the LAPSUS model after the development of flow routing method

	Runoff	Erosion and Sedimentation
Coefficient of determination	0.99	0.92
Nash-Sutcliffe	0.94	0.89
Accuracy index	0.84	0.60
nRMSE (percent)	3.5	5.5

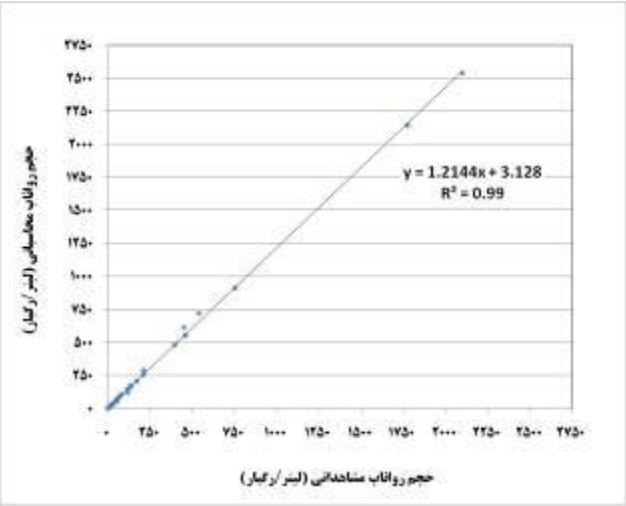
جدول ٥- مقادیر رواناب سطحی و فرسایش و رسوب برآورد شده توسط مدل لاپسوس پس از توسعه روش روندیابی جریان مدل برای رخدادهای مورد بررسی

Table 5- Surface runoff, erosion, and sedimentation values estimated by the LAPSUS model after the development of the flow routing method for the investigated events

Event	Rainfall (mm)	Sub-catchment 1		Sub-catchment 2		Sub-catchment 3		Sub-catchment 4		Sub-catchment 5	
		Runoff (L)	Erosion/ Sediment (gr)	Runoff (L)	Erosion/ Sediment (gr)	Runoff (L)	Erosion/ Sediment (gr)	Runoff (L)	Erosion/ Sediment (gr)	Runoff (L)	Erosion/ Sediment (gr)
1	4.8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	2.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	12	108	39	68	8.3	254	190	9.4	0.3	106	1.6
4	9.5	70	34	44.2	8.2	208	217	7.5	0.5	11.2	3
5	1.8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	1.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	18	283	89	27	12.3	480	470	14	2	42.6	11.7
8	3.4	10.9	13.2	0	0	2	11	1.3	0.2	5	1.3
9	45	722	119	611	33	2540	812	53	4	146	39
10	19	89	62	1.2	3	909	583	3	1	16.8	5
11	14.5	21.4	40	0.5	2	17	99	5.7	1.5	4.3	1
12	16.5	95.2	64	0	0	553	494	0	0	0	0
13	100	282	89	18.8	11	2142	769	118	5	29.6	8
14	16.3	179	77.5	30.7	13	552	494	25.6	3	33.7	9.3
15	12.7	74	45	8.8	6	163	246	20	1.5	18.8	5
16	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

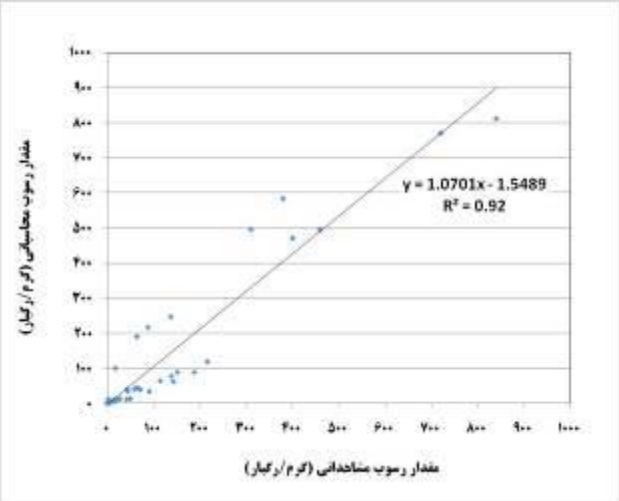
[Downloaded from jircsa.ir on 2025-12-07]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1403.12.1.5.8]



شکل ۵- نسبت مقادیر رواناب برآوردی مدل لاپسوس و مشاهداتی پس از توسعه روش روندیابی جریان

Figure 5- Estimation of surface runoff values of LAPSUS model after development of flow routing method and observational values



شکل ٦- نسبت مقادیر فرسایش و رسوب برآوردی مدل لاپسوس پس از توسعه روش روندیابی جریان و مقادیر مشاهداتی

Figure 6- Estimation of erosion and sedimentation values of the LAPSUS model after the development of the flow routing method and observational values

از مزایای مهم مدل لاپسوس به‌کارگیری روندیابی جریان با استفاده از الگوریتم توزیع جریان چند جهته است. روندیابی جریان چند جهته شرایط توپوگرافی طبیعی سطح زمین را در نظر گرفته و در شبیه‌سازی حرکت جریان به سمت پایین‌دست به طبیعت سطح زمین نزدیک‌تر است. در این تحقیق با تعریف تابع توزیع جریان که شیب توپوگرافی سطی را در نظر می‌گیرد، سبب شد که الگوریتم توزیع جریان چند جهته نتایج قابل قبول و نزدیک به واقعیتی برای منطقه مورد مطالعه داشته باشد. نتایج این تحقیق نیز همانند مطالعات Qin و همکاران (۲۰۰۷) صحت عملکرد این تابع را در روندیابی جریان و قابلیت آن در تعیین نوع روندیابی جریان در مناطق مختلف را تایید نمود. با توجه به ماهیت ریاضی این تابع، از نظر تئوری نیز مقدار این تابع قادر به محاسبه و تعیین نوع جریان روندیابی تک جهته و چند جهته است.

نتایج حاصل همانند نتایج Claessens و همکاران (۲۰۰۹) و Temme و همکاران (۲۰۱۱) کارایی مدل لاپسوس را برای شبیه‌سازی رواناب و فرسایش با در نظر گرفتن توزیع جریان متعدد تایید نمود. این نتایج همانند نتایج Baartman و همکاران (۲۰۱۲) و (۲۰۱۳) قابلیت برآورد فرسایش و رسوب در مقیاس‌های مختلف دامنه و زیرحوضه را نشان داد. Keesstra و همکاران (۲۰۱۴) نیز قابلیت بالای مدل لاپسوس را توانایی آن برای روندیابی جریان متعدد با استفاده از تعریف عامل همگرایی می‌دانند که در این تحقیق روشی مناسب برای تعیین مقدار این عامل بر اساس شیب ارائه شد. Schoorl و همکاران (۲۰۱۴) از بنیان‌گذاران این مدل، قابلیت بالای این مدل را امکان

[Downloaded from jircsa.ir on 2025-12-07]
[DOR: 20.1001.1.24235970.1403.12.1.5.8]

اعمال اصلاحات و توسعه بخش‌های مختلف آن می‌داند که دراین تحقیق بخش روندیابی آن با جایگزین کردن تابع توزیع جریان به جای عامل همگرایی، این قابلیت را نشان داد. این تابع توانایی تعریف عامل همگرایی را به‌صورت مکانی با تغییر شیب توپوگرافی برای الگوریتم توزیع جریان چند جهته تعریف نماید. لذا در این الگوریتم، عامل شیب تعیین کننده مقدار عامل همگرایی است، به‌طوری‌که هر چه شیب پیکسل اصلی در جهت جریان نسبت به شیب پیکسل های مجاور بیش‌تر شود، مقدار p (عامل همگرایی) بیش‌تر خواهد بود و با افزایش مقدار آن، روندیابی جریان از حالت جریان چند جهته به جریان تک جهته تغییر خواهد یافت. با تعریف تابع توزیع جریان، با وارد کردن شیب متوسط حوضه، مقدار تابع توزیع جریان که برابر با همان عامل همگرایی است برای مدل تعریف می‌شود.

نتیجه‌گیری

نتایج اجرای مدل توسعه داده شده لاپسوس برای زیرحوضه‌های تحت مطالعه نشان داد این مدل قادر است به خوبی محاسبات لازم برای محاسبه رواناب و فرسایش در سطح حوضه‌ها را با تابع توزیع جریان اجرا نماید. این تابع می‌تواند جایگزین عامل همگرایی در مدل لاپسوس شده و با وارد کردن مقدار شیب، مشکل تعیین مقدار آن را که باید بر اساس واسنجی یا مطالعات قبلی و به‌صورت ثابت برای مدل تعریف می‌شد را حل نماید. بنابراین ارائه این تابع و تعریف آن در کد برنامه مدل، یکی از مسائل اصلی در بحث روندیابی جریان چند جهته در مدل لاپسوس را که تعیین مقدار عامل همگرایی بود، بر طرف نمود. در کد اصلاح شده مدل، مقدار شیب متوسط حوضه به‌عنوان ورودی برا یمدل لاپسوس تعریف شد. با این وجود، در این تحقیق مقدار شیب بصورت متوسط برای مدل باید وارد شود. این امکان در مطالعات بعدی وجود دارد که مقدار شیب بصورت توزیعی برای مدل از طریق تعریف مدل رقومی ارتفاعی برای مدل و محاسبه شیب در هر پیکسل سطح حوزه آبخیز برای مدل تعریف شود. لازمه این کار اصلاح کد مدل لاپسوس و اضافه کردن محاسبات شیب و تعریف این مقادیر محاسبه شده به‌عنوان ورودی برای محاسبه تابع توزیع جریان در هر پیکسل است. اما یکی از چالش‌های اصلی در این مسیر، پیچیده شدن برنامه‌نویسی آن و حجم زیاد محاسبات برای مساحت‌های بزرگ خواهد بود.

ملاحظات اخلاقی

دسترسی به داده‌ها: داده‌ها و نتایج استفاده شده در این پژوهش از طریق مکاتبه با نویسنده مسئول در اختیار قرار خواهد گرفت.

حمایت مالی: این پژوهش حاصل رساله دکتری دانشکده منابع طبیعی و کویرشناسی دانشگاه یزد بوده است.

مشارکت نویسندگان: **مسعود عشقی‌زاده:** مدیریت داده‌ها، مفهوم‌سازی، تجسم، روش کار، منابع، نرم‌افزار، تحلیل، اعتبارسنجی، پیش‌نویس اصلی، نگارش. **علی طالبی:** مفهوم‌سازی، روش کار، بررسی، اعتبارسنجی، بررسی و ویرایش، نظارت و **محمدتقی دستورانی:** مفهوم‌سازی، بررسی، اعتبارسنجی، بررسی و ویرایش، نظارت.

تضاد منافع نویسندگان: نویسندگان این مقاله اعلام می‌دارند که هیچ‌گونه تضاد منافعی در خصوص نگارش و انتشار مطالب و نتایج این پژوهش ندارند.

سپاس‌گزاری: بدین‌وسیله از همکاری صمیمانه کارشناسان محترم سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری کشور، دفتر حوضه‌های معرف و زوجی و اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری خراسان رضوی و شهرستان گناباد قدردانی می‌شود.

منابع

۱- عشقی زاده، مسعود، طالبی، علی، دستورانی، محمد تقی، و عظیم‌زاده، حمیدرضا (۱۳۹۸). بررسی الگوریتم توزیع جریان چندجهته در مقیاس حوزه آبخیز با استفاده از مدل LAPSUS. مهندسی و مدیریت آبخیز، ۱۱(۴)، ۸۲۹–۸۳۹. **doi: 10.22092/ijwmse.2018.101511.1021**

۲- طالبی، علی، عشقی‌زاده، مسعود، دستورانی، محمد تقی، و عظیم‌زاده، حمیدرضا (۱۳۹۵). کاربرد مدل LAPSUS در برآورد رواناب و رسوب در حوضهٔ زوجی کاخک شهرستان گناباد. اکوهیدرولوژی، ۳(۱)، ۱۰۷–۱۱۹. **doi: 10.22059/ije.2016.59194**

References

1- Anand, Sh. K., Hooshyar, M., & Porporato, M. (2020). Linear layout of multiple flow-direction networks for landscape-evolution simulations. *Environmental Modelling and Software*, 133, 104804. doi.org/10.1016/j.envsoft.2020.104804.

2- Baartman, J. E. M., Van Gorp, W., Temme, A. J. A. M., & Schoorl, J. M. (2012) Modelling sediment dynamics due to hillslope–river interactions: incorporating fluvial behaviour in landscape evolution model LAPSUS. *Earth Surface Processes and Landforms*, 37, 923-935. doi: 10.1002/esp.3208

3- Baartman, J. E. M., Temme, A. J. A. M., Veldkamp, T., Jetten, V. G. & Schoorl, G. M. (2013). Exploring the role of rainfall variability and extreme events in long-term landscape development. *Catena*, 109, 25–38. doi:10.1016/j.catena.2013.05.003

[Downloaded from jircsa.ir on 2025-12-07]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1403.12.1.5.8]

4- Buis, E., & Veldkamp, A. (2008) Modelling dynamic water redistribution patterns in arid catchments in the Negev Desert. *Earth Surface Processes and Landforms*, 33(1), 107-122. doi: 10.1002/esp.1531
5- Claessens, L., Schoorl, J. M., Verburg, P. H., Geraedts, L. & Veldkamp, A. (2009) Modelling interactions and feedback mechanisms between land use change and landscape processes. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 129(1-3), 157-170. doi: 10.1016/j.agee.2008.08.008
6- Eshghizadeh, M., Talebi, A. & Dastorani, M. T. (2018) A modified LAPSUS model to enhance the effective rainfall estimation by SCS-CN method. *Water Resources Management*, 32(10), 3473–3487. doi: 10.1007/s11269-018-2002-9
7- Eshghizadeh, M., Talebi, A., Dastorani, M. T. & Azimzadeh, H. (2019) Study of multiple flow direction algorithm in watershed scale by LAPSUS model. *Journal of Watershed Engineering and Management*, 11(4), 829–839. doi: 10.22092/ijwmse.2018.101511.1021. [In Persian]
8- Foster, G.R. & Meyer, L. D (1975) Mathematical simulation of upland erosion by fundamental erosion mechanics. In: Anonymous (Ed.), Present and Perspective Technology for Predicting Sediment Yields and Sources. Proceedings of the Sediment Yield Workshop, Oxford 1972, United States Department of Agriculture, Washington, DC, 190–207.
9- Freeman, T. G. (1991) Calculating catchment area with divergent flow based on a regular grid. *Computers & Geosciences*, 17(3), 413-422. doi: 10.1016/0098-3004(91)90048-I
10- Gorp, W. V., Temme, A. J. A. M., Baartman, J.E.M., & Schoorl, J. M. (2014). Landscape evolution modelling of naturally dammed rivers. *Earth Surface Processes and Landforms*, 39, 1587–1600. doi: 10.1002/esp.3547
11- Hasan A., Pilesjö P. & Persson A. (2011). Estimating surface flow over digital elevation models using a new improved form-based algorithm. River Basin Management VI, 146, 201-211.
12- Holmgren, P. (1994) Multiple flow direction algorithms for runoff modelling in grid based elevation models: An empirical evaluation. *Hydrological processes*, 8, 327-334. doi.org/10.1002/hyp.3360080405
13- Keesstra S. D., Temme A. J. A. M., Schoorl J. M., & Visser, S. M. (2014) Evaluating the hydrological component of the new catchment-scale sediment delivery model LAPSUS-D. *Geomorphology*, 212, 97-107. doi.org/10.1016/j.geomorph.2013.04.021
14- Kirkby, M. J. (1971). Hillslope process-response models based on the continuity equation. *Institute of British Geographers, Specification Publication*, 3, 15-30.
15- Lesschen, J. P., Schoorl, J. M., Cammeraat, L. H. (2009) Modelling runoff and erosion for a semi-arid catchment using a multi-scale approach based on hydrological connectivity. *Geomorphology*, 109, 174–183. doi.org/10.1016/j.geomorph.2009.02.030
16- Qin, C., Zhu, A. X., Pei, T., Li, B., Zhou, C., & Yang, L. (2007). An adaptive approach to selecting a flow-partition exponent for a multiple-flow-direction algorithm. *International Journal of Geographical Information Science*, 21(4), 443-458. doi.org/10.1080/13658810601073240
17- Quinn, P., Beven, K., Chevallier, P. & Planchon, O (1991). The prediction of hillslope flow paths for distributed hydrological modelling using digital terrain models. *Hydrological Processes*, 5, 59-79. doi.org/10.1002/hyp.3360050106
18- Parente, J., Nunes, J. P., Baartman, J., & Föllmi, D. (2023). Testing simple approaches to map sediment mobilisation hotspots after wildfires, *International Journal of Wildland Fire*, 32(6), 886-902. doi:10.1071/WF22145
19- Pilesjö, P., & Hasan, A. (2014). A triangular form-based multiple flow algorithm to estimate overland flow distribution and accumulation on a digital elevation model. *Transactions in GIS*, 18(1), 108-124. doi.org/10.1111/tgis.12015
20- Pilesjö, P., Zhou, Q., & Harrie, L. (1998). Estimating flow distribution over digital elevation models using a form-based algorithm. Geographic Information Sciences, 4(1-2), 44-51. doi.org/10.1080/10824009809480502
21- Schoorl, J. M., Sonneveld, M. P. W., & Veldkamp, A. (2000). Three-dimensional landscape process modelling: the effect of DEM resolution. *Earth Surface Processes and Landforms: The Journal of the British Geomorphological Research Group*, *25*(9), 1025-1034. doi.org/10.1002/1096-9837(200008)25:9<1025::AID-ESP116>3.0.CO;2-Z
22- Schoorl, J. M. (2002). Addressing the multi-scale Lapsus of landscape. Ph.D. Thesis, Wageningen University.
23- Talebi, A., Eshghizadeh, M., Dastorani, M. T., & Azimzadeh, H. R. (2014). Watershed measures impacts on surface runoff routing by use of multiple flow direction algorithm. *Iranian Journal of Ecohydrology*, 1(2), 83-97. doi: 10.22059/ije.2016.59194 [in Persian].
24- Temme, A. J., Schoorl, J. M., & Veldkamp, A. (2006). Algorithm for dealing with depressions in dynamic landscape evolution models. *Computers & Geosciences*, *32*(4), 452-461. doi:10.1016/j.cageo.2005.08.001
25- Temme, A. J. A. M., & Veldkamp, A. (2009). Multi-process late Quaternary landscape evolution modelling reveals lags in climate response over small spatial scales. *Earth Surface Processes and Landforms*, 34(4), 573-589.doi: 10.1002/esp.1758

[Downloaded from jircsa.ir on 2025-12-07]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1403.12.1.5.8]