

## Increasing the accuracy of river network auto-extraction using Parflow and Priorityflow packages

Sadegh Dalfardi<sup>1,2</sup>  | Ali Ssalajegh<sup>1</sup>  | Ali Reza Moghadam Nia<sup>1</sup>  | Mohammad Danesh-Yazdi<sup>3</sup> | Hosein Hashemi<sup>4</sup>

1- Department of Reclamation of Arid and Mountainous Regions, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran

2- Faculty of Natural Resources, Jiroft University, Jiroft, Iran

3- Department of Civil Engineering, Sharif University of Technology, Tehran, Iran

4- Division of water resources engineering, Lund University, Lund, Sweden

Email: [salajegh@ut.ac.ir](mailto:salajegh@ut.ac.ir)

### Article Info

### Abstract

#### Article type:

Research Article

#### Article history:

Received: 14 December 2022

Received in revised: 18 March 2023

Accepted: 29 March 2023

Published online: 21 June 2023

#### Keywords:

*Connected River network,  
non-Diagonal connections,  
Topographic processing of digital  
elevation model.*

**Objective:** Accurate slope map and the governing river network of a basin are key inputs of hydrologic models. The purpose of this study was to investigate the effectiveness of the PriorityFlow tool in topographic data processing with the aim of improving slope map extraction in the eastern Faryab Basin. PriorityFlow is a tool in the R programming environment, which aims to generate the correct slope map and to form a network of continuous pathways that matches the observed river network. To process the digital elevation model and prepare the slope map, three input files were used, including the digital elevation model, the representative map of the watershed and the representative map of the observed river network. After producing the slope map using this package, the results were compared with the outputs obtained from other tools available in the Parflow hydrologic model. Specifically, the river network map related to the two slope maps were extracted by the Parflow model under the condition of very low permeability of the domain surface and compared with the observed river network of the basin. The results showed that the slope map generated by this tool, has led to the production of a more accurate river network that matches the real river network of the eastern Faryab basin. This tool is able to produce the slope map with enhanced accuracy and based on non-diagonal connections along the cell levels in the digital elevation models based on the algorithms, in which are used.

**Cite this article:** Dalfardi, S., Ssalajegh, A., Moghadam Nia, A.R., Danesh-Yazdi, M., Hashemi, H. (2023). Increasing the accuracy of river network auto-extraction using Parflow and Priorityflow packages. *Journal of Range & Watershed Management*, 76 (1), 61-75.  
DOI: <http://doi.org/10.22059/jrwm.2023.354127.1691>



© The Author(s).

Publisher: University of Tehran Press

## افزایش دقت استخراج خودکار نقشه شیب و شبکه رودخانه با استفاده از بسته پرایوریدی فلو<sup>۱</sup> و مدل پارفلو<sup>۲</sup>

صادق دلفاردی<sup>۱،۲</sup> | علی سلاجقه<sup>۱\*</sup> | علیرضا مقدم‌نیا<sup>۱</sup> | محمد دانش یزدی<sup>۳</sup> | حسین هاشمی<sup>۴</sup>

۱- گروه احیای مناطق خشک و کوهستانی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران

۲- دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه جیرفت، جیرفت، ایران

۳- دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شریف، تهران، ایران

۴- بخش مهندسی منابع آب، دانشگاه لوند، لوند، سوئد

رایانامه: [salajegh@ut.ac.ir](mailto:salajegh@ut.ac.ir)

### اطلاعات مقاله

### چکیده

#### نوع مقاله:

مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۹/۲۳

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۱۲/۲۷

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۱/۰۹

تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۰۳/۳۱

#### کلیدواژه‌ها:

ارتباطات غیر قطری،

پردازش توپوگرافی نقشه رقومی ارتفاع،

شبکه آبراهه پیوسته.

یکی از ورودی‌های اصلی مدل‌های هیدرولوژیکی نقشه شیب و متناسب آن نقشه شبکه آبراهه‌ای با دقت مناسب و بر اساس خصوصیات فیزیکی مدل مورد استفاده است. هدف از انجام این مطالعه، بررسی کارایی ابزار بسته priorityFlow در پردازش داده توپوگرافی با هدف بهبود استخراج نقشه شیب در حوضه فاریاب شرقی بوده است. بسته priorityFlow یک ابزار در محیط برنامه نویسی R است که هدف آن تولید نقشه شیب صحیح و تشکیل شبکه آبراهه‌های پیوسته و منطبق با شبکه آبراهه‌ای مشاهده‌ای است. برای پردازش نقشه رقومی ارتفاع و تهیه نقشه شیب، سه فایل ورودی شامل نقشه رقومی ارتفاع، نقشه معرف مرز حوزه آبخیز و نقشه معرف شبکه آبراهه‌های مشاهده‌ای منطقه مطالعاتی، مورد استفاده قرار گرفت. پس از تولید نقشه شیب با استفاده از این بسته، نتایج به دست آمده با خروجی‌های حاصل از سایر ابزارهای سنتی موجود در مدل هیدرولوژیکی پارفلو مقایسه شدند. به طور مشخص، نقشه شبکه آبراهه‌های مربوط به دو نقشه شیب توسط مدل پارفلو تحت شرایط نفوذپذیری بسیار کم سطح دامنه استخراج شدند و با شبکه آبراهه‌ای مشاهده‌ای حوضه مطالعه مقایسه شد. نتایج حاصل نشان داد که نقشه شیب تولیدی توسط ابزار بسته priorityFlow منجر به تولید شبکه آبراهه دقیق‌تر و منطبق بر شبکه آبراهه واقعی حوضه فاریاب شرقی شده است. همچنین، این بسته نرم افزاری قادر است نقشه شیب با دقت بهتر و بر پایه ارتباطات غیرقطری و در امتداد سطوح سلولی موجود در نقشه رقومی ارتفاع را در منطقه مطالعه تولید نماید.

**استناد:** دلفاردی، صادق، سلاجقه، علی، مقدم‌نیا، علیرضا، دانش یزدی، محمد، هاشمی، حسین (۱۴۰۲). افزایش دقت استخراج خودکار نقشه شیب و شبکه رودخانه با استفاده از بسته پرایوریدی

فلو و مدل پارفلو، نشریه مرتع و آبخیزداری، ۷۶(۱)، ۶۱-۷۵.

DOI: <http://doi.org/10.22059/jrwm.2023.354127.1691>



© نویسندگان.

ناشر: انتشارات دانشگاه تهران.

## ۱. مقدمه

یکی از اقدامات اولیه و ضروری در کاربردهای مرتبط با علوم هیدرولوژی، ژئومورفولوژی، فرسایش خاک و مدل‌های شبیه‌ساز تکامل سرزمین<sup>۱</sup>، یافتن مسیرهای جریان آب روی یک سطح و تهیه نقشه آن با استفاده از نقشه رقومی ارتفاع است (کوردونیر و همکاران<sup>۲</sup>، ۲۰۱۹). توسعه و آماده‌سازی نقشه‌های رقومی ارتفاع که مناسب برای استفاده در مدل‌های هیدرولوژیکی باشند، یک چالش طولانی‌مدت در هیدرولوژی بوده است. فرورفتگی‌های درون نقشه رقومی ارتفاع باعث اختلال در اتصال کامل مسیرهای جریان آب به سمت خروجی نقشه می‌گردند که شناسایی و از بین بردن این فرورفتگی‌ها یک فرایند کلیدی است که قبل از تجزیه و تحلیل‌های هیدرولوژیکی سطحی مورد نیاز است (وی و همکاران<sup>۳</sup>، ۲۰۱۹). اکثریت نواقص و فرورفتگی‌های موجود در هر نقشه رقومی ارتفاعی، غیرواقعی و در نتیجه خطاهای درون‌یابی در طی فرایند تولید در نقشه مذکور، کوتاه یا گرد کردن اعداد درون‌یابی شده و محدودیت دقت‌های مکانی انتخابی است (مارتز و گاربریتج<sup>۴</sup>، ۱۹۹۳). این فرورفتگی‌های غیرواقعی موجب عدم ثبت خطوط شکستگی (مانند برآمدگی‌ها و فرورفتگی‌های طبیعی)، عدم دقت مناسب شبکه‌بندی و عدم توانایی مدل‌های سطحی جهت نمایش ساختارهایی مانند پل‌ها و آبگذرها می‌شوند (لیندسی و دان<sup>۵</sup>، ۲۰۱۵؛ لیندسی و کرید<sup>۶</sup>، ۲۰۰۶؛ ریگر<sup>۷</sup>، ۱۹۹۸). بنابراین، پردازش صحیح نقشه رقومی ارتفاع و سپس اعمال روشی دقیق برای تهیه نقشه شیب ضروری است (ژو و همکاران<sup>۸</sup>، ۲۰۱۷).

بررسی و بازنگری روش‌های مختلف پردازش‌های توپوگرافی برای کاربردهای هیدرولوژیکی در مطالعات متعددی انجام گردیده است (کنی و همکاران<sup>۹</sup>، ۲۰۰۸؛ لیندسی، ۲۰۱۶). اکثر الگوریتم‌های به کار گرفته شده، مانند الگوریتم PriorityFlow، برای از بین بردن فرورفتگی‌ها به شیوه‌ای بهینه‌سازی شده‌اند که می‌توانند به نحو مؤثری در مجموعه داده‌های بزرگ نیز مورد استفاده قرار گیرند (کاندون و مکسول<sup>۱۰</sup>، ۲۰۱۹). با این وجود، تعداد لندکی از ابزارهای موجود برای تولید ورودی مورد نیاز برای مدل‌های عددی مبتنی بر تفاضل محدود وجود دارد که ممکن است بر خلاف ورودی ارتفاعی، نیازمند ورودی شیب در امتداد سطوح سلولی (حذف ارتباطات قطری و جایگزینی ارتباطات پله‌ای<sup>۱۱</sup> سلول‌های آبراهه‌ای) باشند. در این مطالعه، از بسته نرم‌افزاری بسته priorityFlow استفاده شده است که از اصلاح روش‌های قبلی و همچنین تکامل بسته PriorityFlow ایجاد شده تا چالش‌های مربوط به مدل‌های فیزیکی مانند پارفلو را مرتفع نماید (کاندون و مکسول، ۲۰۱۹). در واقع، محدودیت الگوریتم PriorityFlow در موارد با قدرت تفکیک مکانی پایین که ارتفاع سلول‌های شبکه‌ای در ماتریس معرف آبراهه، ممکن است نشان دهنده ارتفاع بستر رودخانه نباشند و شبکه زهکشی مورد نظر به دست نیاید، باعث توسعه روشی مانند بسته priorityFlow گردید تا از ایرادات روش‌های قبلی (مانند تکنیک القای آبراهه<sup>۱۲</sup> که هرچند ایجاد یک شبکه زهکشی پیوسته را تضمین می‌کند، اما ممکن است باعث ایجاد تغییرات زیاد در نقشه اولیه شود و باعث ایجاد ناسازگاری‌ها و مشکلات بعدی و یا ایجاد مسیرهای موازی گردد) جلوگیری گردد. در الگوریتم جدید با کاربرد متغیرهایی مانند شیب حداقل و حداکثر و مقادیر اندک<sup>۱۳</sup>، تغییرات زیاد در نقشه رقومی ارتفاع ایجاد نمی‌گردد. نقاط قوت این روش نسبت به روش‌های قدیمی شامل (۱) لحاظ کردن یک شبکه آبراهه‌ای از پیش تعیین شده برای استفاده در فرایند پردازش نقشه رقومی ارتفاع بر اساس اولویت دادن این شبکه

1 Landscape Evolution Models

2 Cordonnier etal

3 Wei etal

4 Martz&Garbrecht

5 Lindsay&Dhun

6 Lindsay&Creed

7 Rieger

8 Zhou etal

9 Kenny etal

10 Candon&Maxwell

11 Stair Stepping Connections

12 Stream Burning

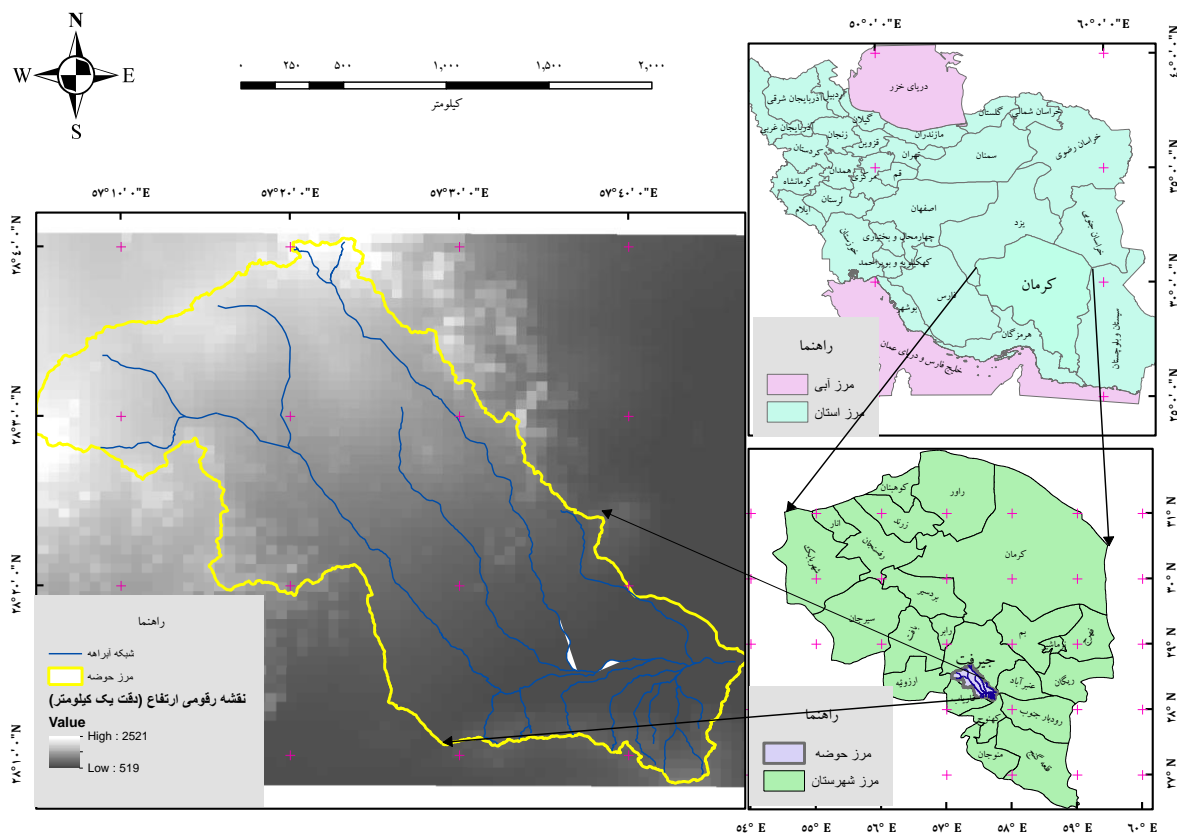
13 Epsilon

آبراهه‌ای؛ (۲) بهبود محاسبات شیب در امتداد شبکه جریان؛ (۳) اتخاذ گزینه‌هایی برای محاسبه شیب‌های عمود بر جهت جریان اولیه؛ و (۴) اتخاذ گزینه‌های سازگارتر برای تعریف زیرحوضه‌ها و اعمال شیب‌های در امتداد بازه‌های رودخانه برای این زیرحوضه‌ها است (کاندون و مکسول، ۲۰۱۹).

## ۲. مواد و روش‌ها

### ۲-۱. منطقه مورد مطالعه

محدوده مطالعاتی فاریاب شرقی بخشی از حوضه غربی جازموریان در جنوب غربی دشت جیرفت است که بین طول‌های جغرافیایی  $57^{\circ}1'$  و  $57^{\circ}48'$  شرقی و عرض‌های جغرافیایی  $28^{\circ}8'$  تا  $28^{\circ}40'$  شمالی قرار گرفته است (شکل ۱). این محدوده از شمال به کوه بانه هور، در جنوب به ارتفاعات سرگریج، از شرق و جنوب شرق به رودخانه هلیل و از غرب به کوه عالی چوغان محدود می‌شود. وسعت محدوده مطالعاتی فاریاب شرقی ۱۷۴۲ کیلومتر مربع و دشت آبرفتی ۵۰۲ کیلومتر مربع و شیب عمومی دشت شمال غرب به جنوب شرق و شرق منطقه است. همانطور که در شکل (۷) مشاهده می‌گردد شیب قسمت‌های دشتی و خروجی حوضه در بیشتر سلول‌ها صفر و شیب متوسط دشت حدود ۵ درصد است. رودخانه‌های فصلی گرفتو و گسک چوغان که از ارتفاعات شمالی سرچشمه گرفته در شرق منطقه به رودخانه هلیل رود می‌ریزند (زاینده‌رودی، ۲۰۲۰). هدف از انجام این تحقیق، بررسی و مقایسه دقت مدل پارفلو و بسته بسته priorityFlow برای تهیه نقشه شیب متناسب با نیاز مدل پارفلو برای پیش‌بینی‌های دقیق‌تر هیدرولوژیکی بر مبنای این ورودی است.



شکل ۱. شکل و موقعیت حوضه مورد مطالعه در کشور و استان کرمان

## ۲-۲. روش تحقیق

در این مطالعه، روش Downwinding\_workflow از بسته نرم‌افزاری بسته priorityFlow برای پردازش نقشه رقومی ارتفاع و محاسبه نقشه‌های شیب در دو جهت محورهای x و y و متناسب با شرایط مرزی انتخابی در مدل پارفلو (رواناب سطحی<sup>۱</sup>) مورد استفاده قرار گرفت (کاندون و مکسول، ۲۰۱۹). در این شرایط مرزی شیب بستر برابر شیب اصطکاک است و محاسبه شیب برای هر سلول و با در نظر گرفتن مرکز هر سلول<sup>۲</sup> است. برای این منظور، نیاز به سه فایل ورودی به صورت ماتریس‌های دوبعدی در امتداد محورهای x و y شامل (۱) نقشه رقومی ارتفاع، (۲) یک فایل معرف آبراهه‌ای<sup>۳</sup> که سلول‌های آبراهه‌ای موجود در حوضه را نشان می‌دهند، و (۳) فایل معرف حوضه<sup>۴</sup> است که سلول‌های واقع در محدوده حوضه را از سلول‌های موجود در نقشه رقومی ارتفاع که خارج محدوده حوضه قرار می‌گیرند جدا می‌کند. برای تهیه ماتریس نقشه رقومی ارتفاع باید این نکته رعایت گردد که سلول با مختصات ۱×۱ نشان‌دهنده گوشه پایین سمت چپ و سلول با مختصات nx×ny (برای فاریاب شرقی ۶۰×۷۰) نشان‌دهنده گوشه بالای سمت راست نقشه رقومی ارتفاعی اولیه است. بر طبق این بسته نرم‌افزاری، برای پردازش نقشه رقومی ارتفاع و محاسبه شیب، گزینه محدوده نامنظم ۵ با لحاظ نقشه معرف شبکه آبراهه از پیش تعیین شده و مرز حوضه استفاده گردید. روش انجام مطابق جداول ۱ تا ۸ تشریح گردیده است. فاکتورهای موجود در جدول ۱ بر اساس شرایط فیزیکی حوضه فاریاب شرقی مانند شیب و ارتفاع و همچنین بر اساس قدرت تفکیک مکانی ۱ کیلومتر و آزمودن همه گزینه‌های ممکن در محدوده مناسب (آزمون و خطا) و نهایتاً انتخاب بهینه‌ترین گزینه انتخاب گردیده است. در مناطق مسطح برای ایجاد حداقل یک اختلاف بین سلول‌های سطحی، یک مقدار اندک (ε) تعریف شده است (جدول ۱). تنظیمات شیب و مقیاس‌گذاری آن و نیز جلوگیری از تغییرپذیر کردن زیاد و غیر معمول شیب از طریق تعیین سه مقدار شیب حداکثر، حداقل و همچنین یک فاکتور مقیاس که نشان‌دهنده حداکثر نسبت جهت جریان ثانویه به اولیه است، انجام گردید (جدول ۱). برای پردازش سلول‌های رودخانه به منظور تهیه نقشه‌های شیب (riv\_method)، به دلیل عدم تغییر یا تغییرپذیری اندک شیب متوسط آبراهه‌ها در هر زیرحوضه، مقدار ۲ انتخاب گردید؛ بدین معنی که شیب‌های متوسط زیرحوضه‌ها برای سلول‌های رودخانه در نظر گرفته شد. mrg\_th برای تعیین آستانه حداقل تعداد سلول‌ها برای ادغام زیرحوضه‌های کوچک در تجزیه و تحلیل‌های مربوط به زیرحوضه‌ها تعریف می‌گردد.

جدول ۱. پارامترهای مورد نیاز برای اجرای روش Downwinding\_workflow

ردیف	فاکتور	مقدار
۱	ep	۰/۰۱
۲	maxslope	۰/۵
۳	minslope	۰/۰۰۰۰۱
۴	scale	۰/۵
۵	sub_th	۳۰
۶	riv_th	۱۵
۷	riv_method	۲
۸	mrg_th	۰
۹	dx	۱۰۰۰
۱۰	dy	۱۰۰۰
۱۱	runname	EastFar2

- 1 Overland flow
- 2 Cell-centered
- 3 Observed Stream Mask Map
- 4 Basin Mask Map
- 5 Irregular domain

در این مرحله طبق دستورات جدول (۲)، فایل‌های مورد نیاز ورودی در حوضه فاریاب شرقی فراخوانی شده و به صورت ماتریس ذخیره و سپس تعداد سلول‌ها در جهت محور  $x$  و  $y$  تعیین و نهایتاً رسم گردیده‌اند (شکل ۲).

جدول ۲. فراخوانی و رسم فایل‌های مورد نیاز جهت اجرای بسته نرم‌افزاری

ردیف	دستور	توضیحات
۱	<code>FARDEM1=read.table("fardem2.txt",sep=" ",nrows=60)</code>	خواندن فایل نقشه ارتفاعی حوضه
۲	<code>FARDEM=as.matrix(FARDEM1)</code>	ذخیره فایل نقشه رقمی به صورت ماتریس دوبعدی
۳	<code>FARriver.mask1=read.table("far_masstr2.txt",sep=" ",nrows=60)</code>	فراخوانی فایل معرف شبکه آبراهه حوضه
۴	<code>FARriver.mask=as.matrix(FARriver.mask1)</code>	ذخیره فایل معرف شبکه آبراهه‌ها به صورت ماتریس دو بعدی
۵	<code>FARwatershed.mask1=read.table("farbasinmask2.txt", sep=" ",nrows=60)</code>	خواندن فایل معرف حوضه
۶	<code>FARwatershed.mask=as.matrix(FARwatershed.mask1)</code>	ذخیره فایل معرف حوضه به صورت ماتریس دو بعدی
۷	<code>nx=nrow(FARDEM)</code>	مشخص کردن تعداد سلول‌ها در جهت محور $x$
۸	<code>ny=ncol(FARDEM)</code>	مشخص کردن تعداد سلول‌ها در جهت محور $y$
۹	<code>image.plot(FARDEM)</code>	نمایش ماتریس نقشه رقمی
۱۰	<code>image.plot(FARriver.mask)</code>	نمایش ماتریس معرف شبکه آبراهه‌های حوضه
۱۱	<code>image.plot(FARwatershed.mask)</code>	نمایش ماتریس معرف حوضه

در زیر نمودارهای شماره ۱ و ۴ شکل (۲) نقشه ارتفاعی حوضه در دو حالت دو بعدی و سه بعدی جهت مشخص شدن توپوگرافی حوضه، وضعیت شبکه آبراهه‌های مشاهده‌ای و وضعیت محدوده حوضه نشان داده شده است. با توجه به مقیاس مکانی انتخابی و وضعیت دشتی و کم شیب بودن حوضه، شبکه آبراهه‌ای به صورت مستقیم و دستی و با حرکت روی آبراهه‌های مشاهده‌ای در نرم‌افزار گوگل ارث<sup>۱</sup> ترسیم گردید تا دقت قابل قبول برای محاسبات شبیه‌سازی بعدی به دست آید.

### ۲-۲-۱. پردازش نقشه رقمی ارتفاع

#### ۲-۲-۱-۱. ایجاد صف جهت پردازش سلول‌ها

سه سلول شبکه آبراهه‌ای که پایین‌ترین ارتفاع را داشته و روی مرز خروجی حوضه قراردارند به عنوان اولین سلول‌های صف<sup>۲</sup> معرفی و به عنوان مرز<sup>۳</sup> در دستور `InitQueue` قرار می‌گیرند. شکل (۳) موقعیت سلول‌های آبراهه‌ای واقع شده در روی مرز خروجی حوضه را که به عنوان صف اولیه معرفی گردیده‌اند نشان می‌دهد (سلول‌های قرمز رنگ).

#### ۲-۲-۱-۲. پیمایش (Traverse) در امتداد شبکه آبراهه

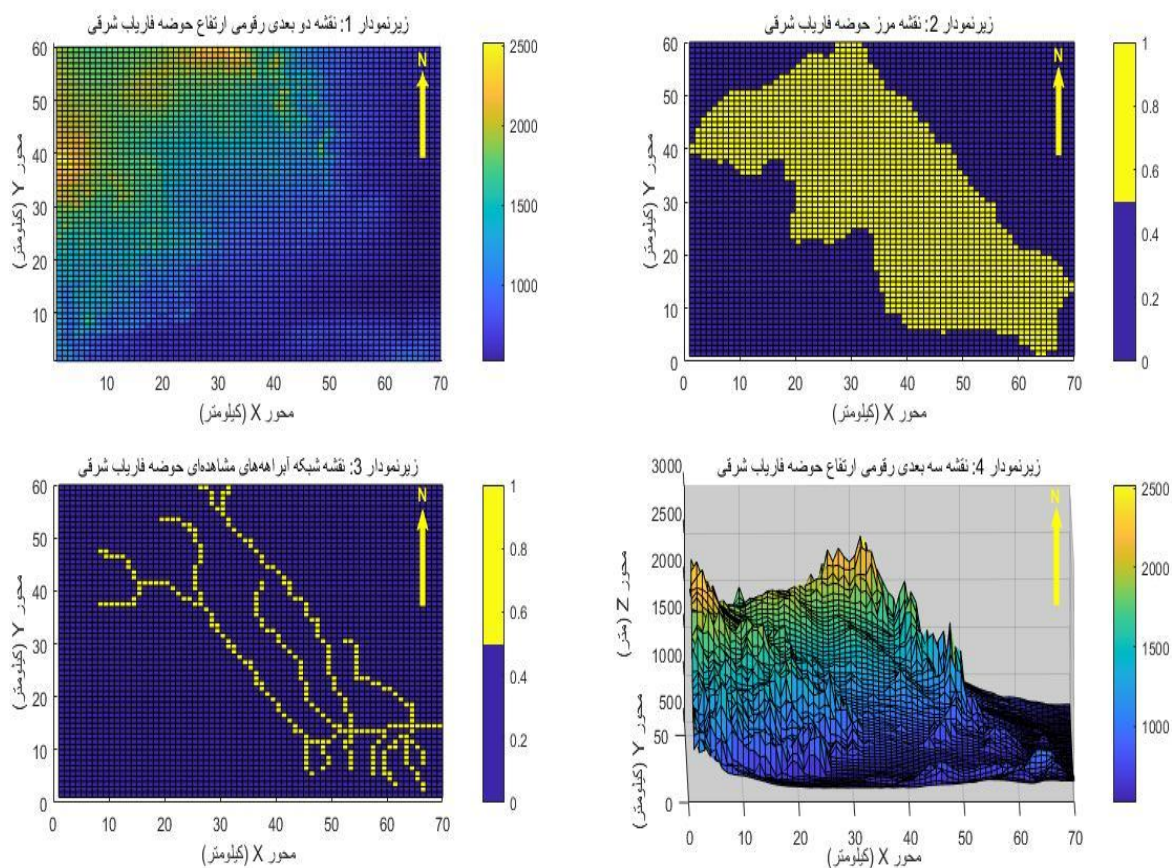
سلول‌ها ابتدا از نظر اتصال ۴ جهته (بدون در نظر گرفتن اتصالات قطری) مورد بررسی قرار گرفته و فرورفتگی‌ها و ناهمواری‌های آنها برطرف می‌گردد. با توجه به لزوم ارتباط ۴ جهته، برای اجرای مدل پارفلو (شیب‌ها در امتداد سطوح سلول‌ها مورد محاسبه قرار می‌گیرد)،

1 Google Earth

2 Queue

3 Borders

در حین پیمایش اتصال قطری<sup>۱</sup> سلول‌های آبراهه‌ای مورد بررسی و در صورت لزوم، اصلاح می‌گردد.

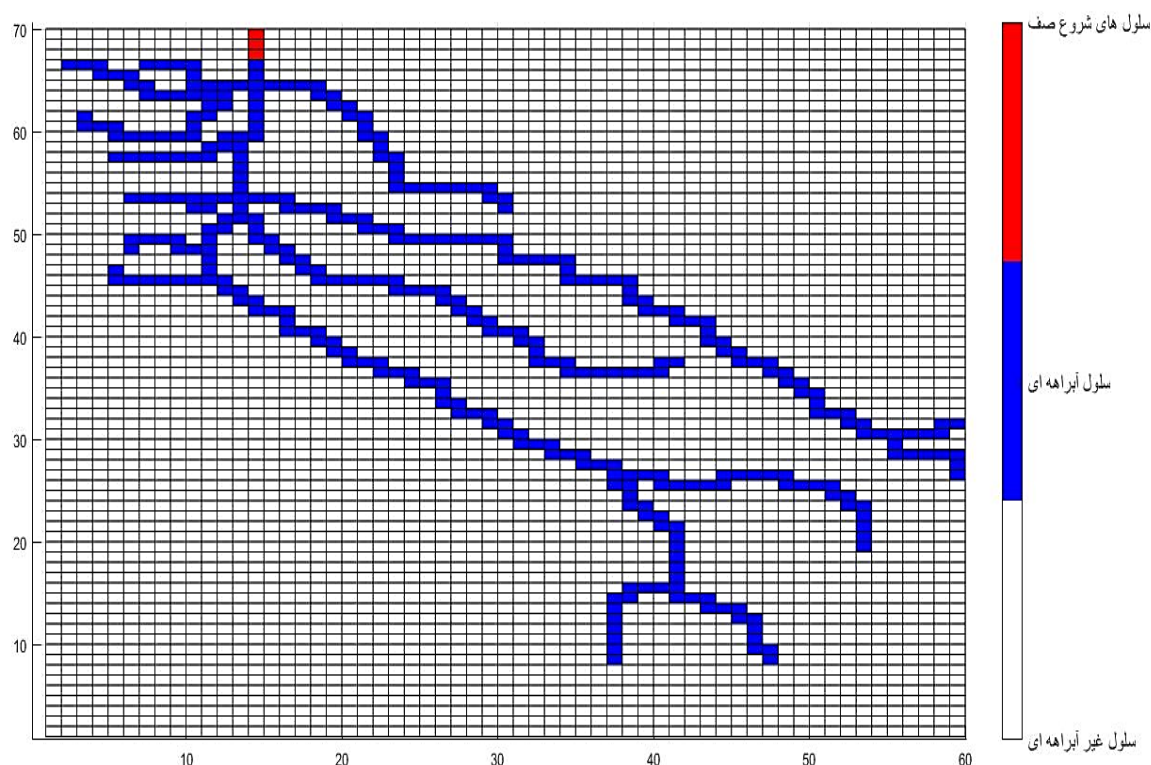


شکل ۲. نقشه رقومی ارتفاع (دو و سه بعدی)، شبکه آبراهه و مرز حوضه فاریاب شرقی. در زیرنمودار ۳ اتصالات قطری و عدم وجود شبکه زهکشی پیوسته مشاهده می‌گردد.

جدول ۳. تعریف سه سلول خروجی آبراهه‌ای جهت صف بندی در امتداد آبراهه‌ها

ردیف	دستور	توضیحات
۱	borders=FARriver.mask	تعریف شبکه‌های آبراهه‌ای به عنوان مرزها
۲	borders[1]<0	تبدیل مقادیر ۱ مربوط به سلول‌های آبراهه‌ای به مقادیر صفر
۳	borders[14,68:70]<-1	تبدیل مقادیر خروجی شبکه آبراهه به مقادیر ۱ (صف اولیه)
۴	init=InitQueue(FARDEM,initmask=FARriver.mask, domainmask=FARwatershed.mask,border=borders)	تشکیل صف جدید بر اساس صف اولیه و شبکه آبراهه





شکل ۳. موقعیت سلول‌های اولیه تعریف شده جهت شروع پیمایش در امتداد آبراهه‌ها

جدول ۴. پیمایش سلول‌ها جهت اصلاح اولیه و محاسبه تغییرات ایجادشده در نقشه ارتفاعی اصلی

ردیف	دستور	توضیحات
۱	<code>trav1=StreamTraverse(FARDEM,mask=FARriver.mask,init\$queue,init\$marked,basins=init\$basins,printstep=F,epsilon=ep</code>	پیمایش سلول‌ها جهت بررسی و حذف اتصالات قطری
۲	<code>diff=trav1\$dem-FARDEM</code>	محاسبه تغییرات ایجادشده در نقشه ارتفاع اولیه بعد از اصلاح اولیه

### ۲-۱-۲ جستجوی بیشتر جهت تشخیص سلول‌های با اتصال قطری<sup>۱</sup>

بررسی جهت تشخیص سلول‌های اصلاح نشده مرحله قبلی طبق جدول (۵) با دقت ادامه یافت. این عمل تا آنجا ادامه پیدا می‌کند که دیگر هیچ شاخه سلولی با اتصال قطری در سلول‌های آبراهه‌ای وجود نداشته باشد.

در این مرحله علاوه بر فایل معرف شبکه آبراهه‌ای، از فایل‌های به دست آمده از مرحله قبلی شامل شاخه‌های سلولی با اتصال قطری به عنوان صف جدید، گام‌های سلولی (Step) نشان‌دهنده شماره سلول در مسیر روند پیمایش<sup>۲</sup>، فایل ماتریسی نشان‌دهنده جهت با اعداد

1 Orphan Branches

2 Step



۱ تا ۴ (به ترتیب جنوب، سمت چپ، شمال و سمت راست) و نهایتاً فایل زیرحوضه‌ها<sup>۱</sup> که همه سلول‌های اصلاح‌شده با عدد یک مشخص شده‌اند، استفاده گردید.

#### جدول ۵. پیدا کردن اتصالات قطری و تصحیح آنها

ردیف	دستور	توضیحات
۱	orphan=FindOrphan(trav1\$dem,FARriver.mask,trav1\$marked)	جستجوی اتصالات قطری بر اساس نقشه اصلاح‌شده اولیه
۲	trav2=StreamTraverse(trav1\$dem,mask=FARriver.mask,queue=orphan\$queue,marked=trav1\$marked, step=trav1\$step, direction=trav1\$direction, basins=trav1\$basins, printstep=T, epsilon=ep)	پیمایش مجدد جهت از بین بردن اتصالات قطری پیداشده و ایجاد اتصالات پله‌ای

#### ۲-۲-۱-۴. استفاده از سلول‌های آبراهه‌ای پردازش‌شده (شبکه کامل آبراهه) به عنوان مقادیر اولیه یا مرزی جهت ایجاد صف‌بندی جدید

ابتدا سلول‌های مرزی اطراف محدوده فاریاب شرقی با استفاده از فایل معرف محدوده حوضه، استخراج گردید و سپس با ادغام این سلول‌های مرزی با سلول‌های پیمایش و پردازش‌شده، یک صف بندی جدید به وجود آمد.

#### جدول ۶. تعریف مرز جدید بر اساس ترکیب مرز حوضه و شبکه آبراهه‌ها با یکدیگر و تشکیل صف جدید

ردیف	دستور	توضیحات
۱	borderT=GetBorder(FARwatershed.mask)	انتخاب سلول‌های مرزی حوضه به عنوان مرز اولیه
۲	RivBorder=borderT+trav1\$marked	ترکیب مرز اولیه و سلول‌های تصحیح شده آبراهه‌ای مرحله قبلی
۳	RivBorder[RivBorder>1]=1	تبدیل سلول‌های با مقادیر بزرگتر از ۱ به مقدار ۱
۴	init=InitQueue(trav1\$dem,border=RivBorder)	ایجاد یک صف جدید بر اساس نقشه ارتفاعی اصلاحی و مرزهای جدید تعریف‌شده

#### ۲-۲-۱-۵. پردازش سلول‌های اطراف آبراهه‌ها با استفاده از سلول‌های آبراهه‌ای به عنوان مرز

با استفاده از فایل‌های ماتریس جهت، سلول‌های پردازش‌شده<sup>۲</sup>، و همچنین نقشه ارتفاعی اصلاح‌شده همراه با فایل‌های مرزها و صف‌های جدید ایجاد شده در مرحله قبلی، پیمایش و پردازش در امتداد این صف‌های جدید انجام گرفت.

#### جدول ۷. پیمایش جهت تصحیح سلول‌های غیرآبراهه‌ای

ردیف	دستور	توضیحات
۱	travHS=D4TraverseB(trav1\$dem,init\$queue,init\$marked,direction=trav1\$direction,basins=trav1\$basins,step=trav1\$step,epsilon=ep,mask=FARwatershed.mask,nchunk=200,printflag=F,printstep=T) #irregular boundary	پیمایش در امتداد صف جدید بر اساس مرز جدید جهت تصحیح سلول‌های غیرآبراهه‌ای

#### ۲-۲-۲. محاسبه شیب‌ها

نقشه شیب مطابق جدول (۸) برای حوضه فاریاب شرقی به دست آمد.

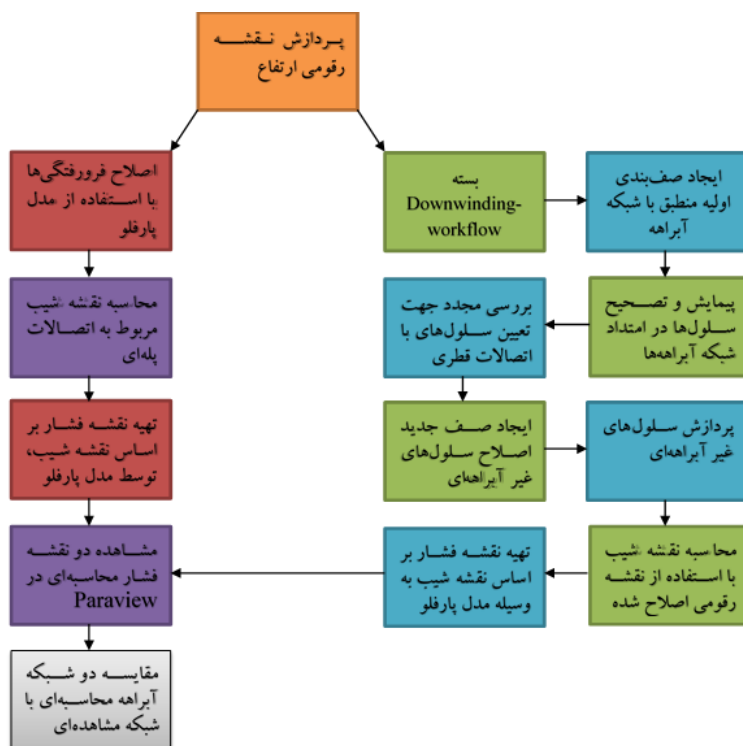
جدول ۸. محاسبه شیب‌های منطقه بر اساس زیرحوضه‌ها

ردیف	دستور	توضیحات
۱	area=drainageArea(trav1\$direction, printflag=F)	محاسبه مساحت‌های شبکه زهکشی
۲	subbasin=CalcSubbasins(travHS\$direction, mask=FARwatershed.mask, area, riv_th=sub_th, merge_th=0)	محاسبه زیرحوضه‌ها
۳	rivers=area	رودخانه‌ها برابر مساحت زهکشی قرار می‌گیرد
۴	rivers[area<riv_th]=0	مساحت‌های زیر آستانه زهکشی حذف می‌گردد
۵	rivers[area>=riv_th]=1	بقیه مساحت‌ها لحاظ می‌گردد
۶	slopesUW=SlopeCalcUP(dem=travHS\$dem,mask=FARwatershed.mask, direction=travHS\$direction, dx=dx, dy=dy, secondaryTH=0.1, maxslope=maxslope, minslope=minslope, river_method=riv_method, rivermask=rivers, subbasin=subbasin\$subbasins)	محاسبه شیب سازگار با شرایط مرزی Overlandflow

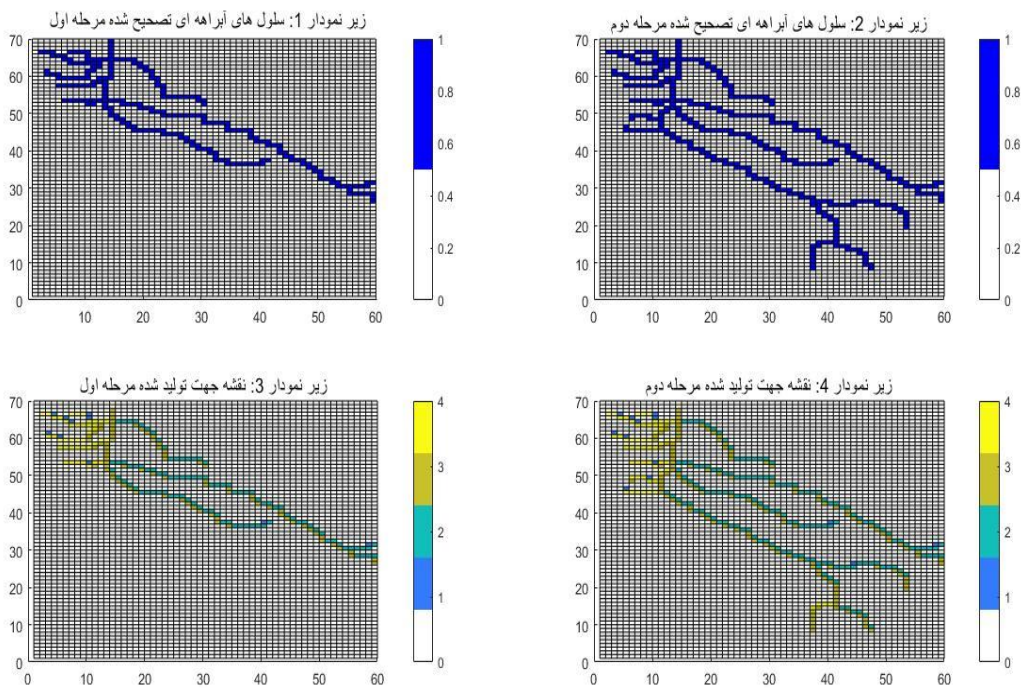
علاوه بر این، برای مقایسه و بررسی دقت نقشه شیب به دست آمده، اقدام به تهیه نقشه شیب در دو جهت محور  $x$  و  $y$  با استفاده از مدل پارفلو نیز گردید. ابتدا با دو دستور `pfillflats` و `ppfitfilldem` و با استفاده از همان نقشه رقومی ارتفاع خام استفاده شده در روش قبلی، سلول‌های مسطح و همچنین فرورفتگی‌های موجود در این نقشه اصلاح گردید و نقشه شیب در دو جهت  $x$  و  $y$  با استفاده از دو دستور `pfslopeyD4` و `pfslopexD4` مورد محاسبه قرار گرفت. سپس با استفاده از نقشه‌های شیب به دست آمده از دو روش، میزان فشار در سلول‌های مختلف به وسیله مدل پارفلو به دست آمد و مورد مقایسه قرار گرفت. در این راستا یک بارش با شدت زیاد روی حوضه اعمال و میزان نفوذ پذیری بسیار کم جهت تشکیل سریع شبکه آبراهه‌ها لحاظ و سپس مدل، جهت درک این موضوع که آیا شبکه آبراهه‌ای محاسبه‌ای بر اساس نقشه شیب منطبق بر شبکه آبراهه‌ای مشاهده‌ای می‌باشد یا خیر، اجرا گردید. در نتیجه این اجرا، یک فایل خروجی فشار به دست آمد. پس از بررسی این نقشه فشار در نرم‌افزار پاراویو<sup>۱</sup>، شبکه آبراهه‌ها مشاهده گردید. خلاصه مراحل انجام کار در قالب یک روندنما برای درک بهتر روند اجرای کار در شکل (۴) آورده شده است.

### ۳. یافته‌های پژوهش

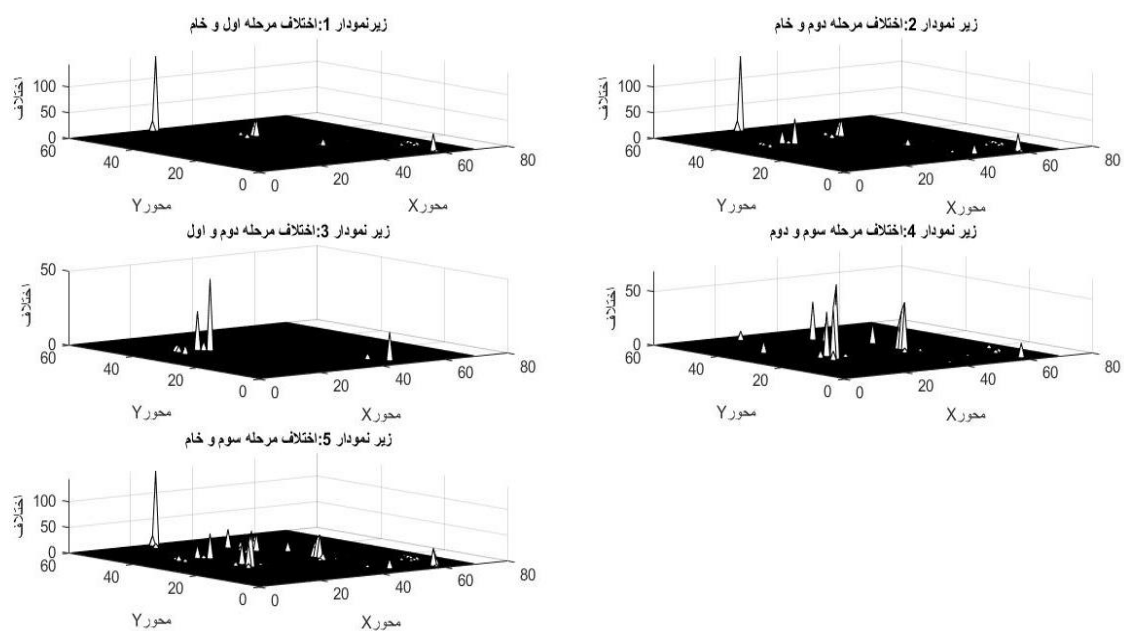
نتایج مرحله اول پیمایش، حدود ۶۳/۶ درصد پردازش و تصحیح در سلول‌های آبراهه‌ها را نشان می‌دهد (شکل (۶)، زیر نمودار ۱). همانطور که در شکل (۶) و پردازش انجام شده در مرحله اول مشخص است، تصحیحات انجام شده امکان زهکشی کامل را به وجود آورده است و کل سلول‌های موجود در این شاخه‌ها دارای ارتباط چهار وجهی می‌باشند و آب توسط آنها به راحتی از نقطه خروجی به بیرون حوضه هدایت می‌شود. نقشه جهت به دست آمده در این مرحله نیز در شکل (۶) (زیر نمودار ۳) نشان داده شده است که برای تعیین مسیر حرکت آب مورد استفاده قرار گرفت. بر طبق شکل (۶) (زیر نمودار ۲) نتایج به دست آمده از مرحله دوم، مشخص است که پس از انجام این مرحله ۱۰۰ درصد سلول‌های آبراهه‌ای تصحیح گردیده‌اند و بنابراین، کل شبکه زهکشی به صورت کامل آب را از سطح حوضه تخلیه می‌نماید (می‌توان از مقایسه شکل (۵) (زیر نمودار ۲) و شکل (۲) (زیر نمودار ۳) به این موضوع دست یافت). زیر نمودارهای ۳ و ۴ در شکل (۵) نقشه جهت به دست آمده از مراحل اول و دوم تصحیح را نشان می‌دهند. در شکل (۶) تمام مراحل پردازش و اصلاحات انجام گرفته در نقشه رقومی ارتفاع در مراحل مختلف قابل مشاهده می‌باشد. اختلاف مراحل اول و دوم تنها در سلول‌های آبراهه‌ای صورت گرفته است، اما در مرحله سوم، پردازش‌ها در سلول‌های غیر آبراهه‌ای صورت گرفته است (تعریف مرز و صف جدید جهت پردازش سلول‌های غیر آبراهه‌ای).



شکل ۴. روند نمای مراحل انجام تحقیق

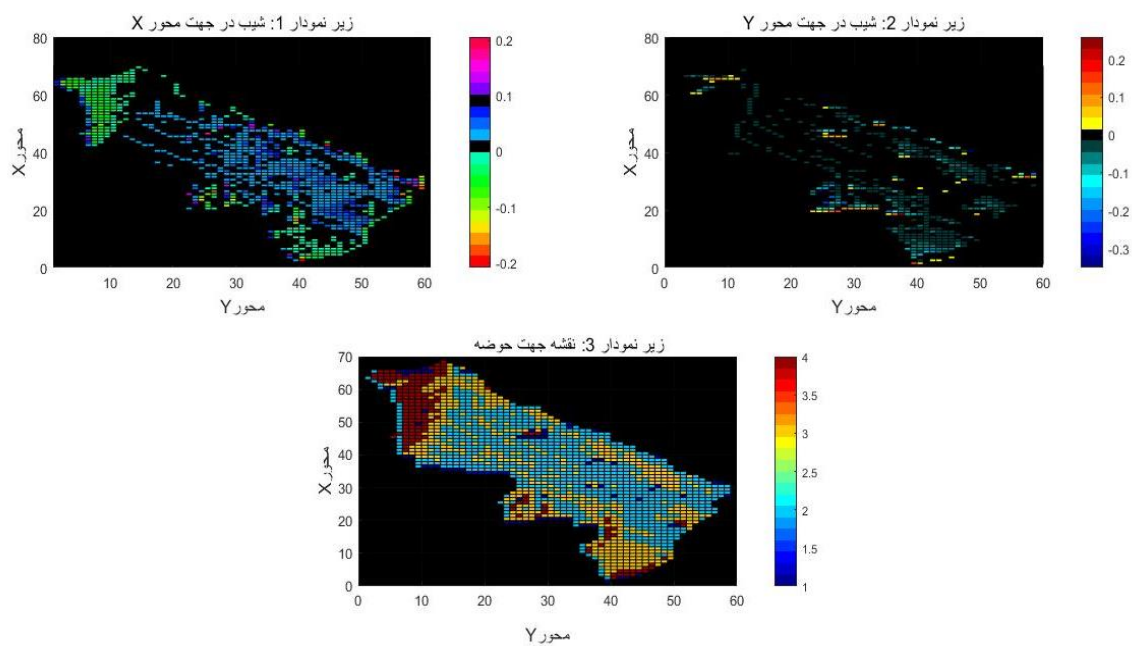


شکل ۵. نتایج حاصل از مراحل اول و دوم پیمایش و نقشه‌های شیب تولید شده در هر مرحله. همگی سلول‌های پردازش شده دارای ارتباطات غیر قطری و شبکه زهکشی پیوسته می‌باشند.



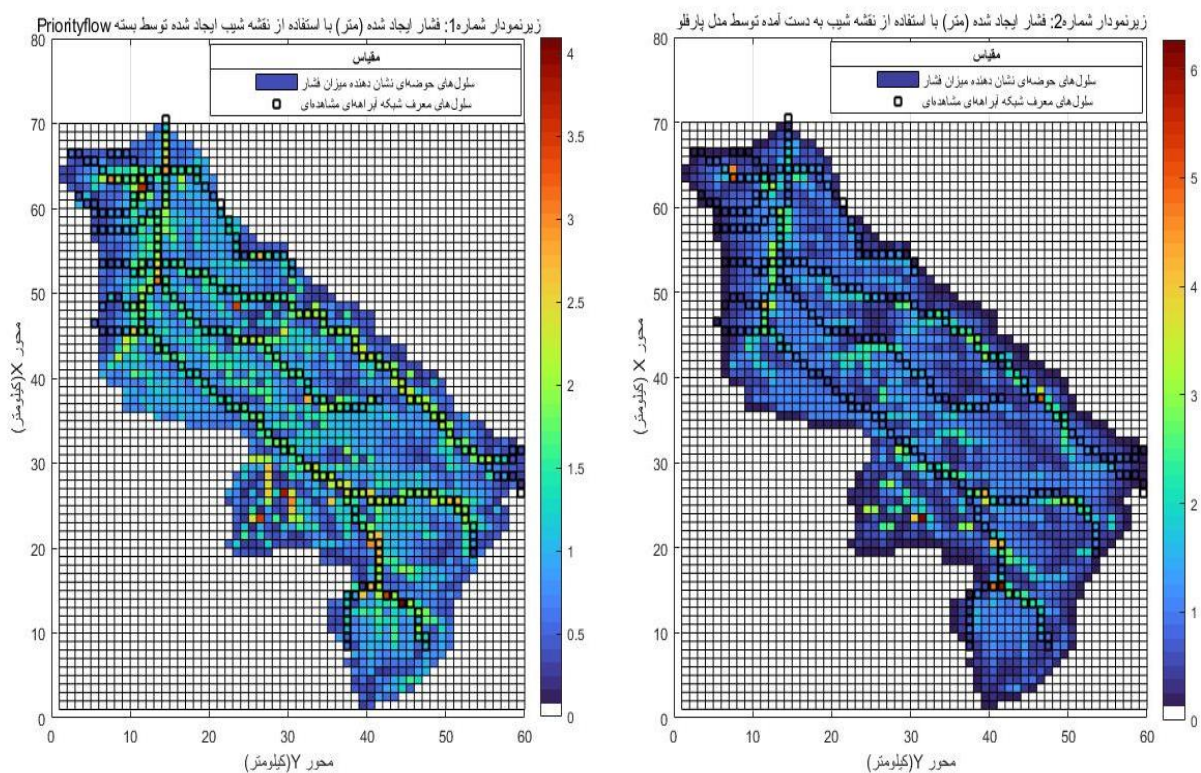
شکل ۶. مقایسه بین نقشه‌های ارتفاعی پردازش شده در هر مرحله با یکدیگر و نقشه خام

نهایتاً نقشه شیب‌های نهایی در دو جهت محور  $x$  و  $y$  مورد محاسبه قرار گرفت تا بتواند به عنوان ورودی مناسب محاسبات هیدرولوژیکی مورد استفاده قرار گیرد (شکل ۷) زیر نمودارهای ۱ و ۲).



شکل ۷. نقشه شیب به دست آمده در دو جهت محور  $x$  و  $y$  همراه با نقشه جهت کل حوضه

در شکل (۸) شبکه آبراهه محاسبه شده از دو روش مختلف با شبکه آبراهه مشاهده‌ای در قدرت تفکیک مکانی ۱ کیلومتر مقایسه شده است. مشاهده می‌گردد که شبکه آبراهه‌ای بر اساس شیب به دست آمده از ابزارهای مدل پارفلو انطباق قابل قبولی با شبکه آبراهه‌ای مشاهده‌ای ندارد و آبراهه‌های محاسبه‌ای الگوی مناسبی نیز به سمت خروجی نشان نمی‌دهند (شکل (۸)، زیرنمودار ۲).



شکل ۸. مقایسه شبکه آبراهه مشاهده‌ای و محاسبه‌ای.

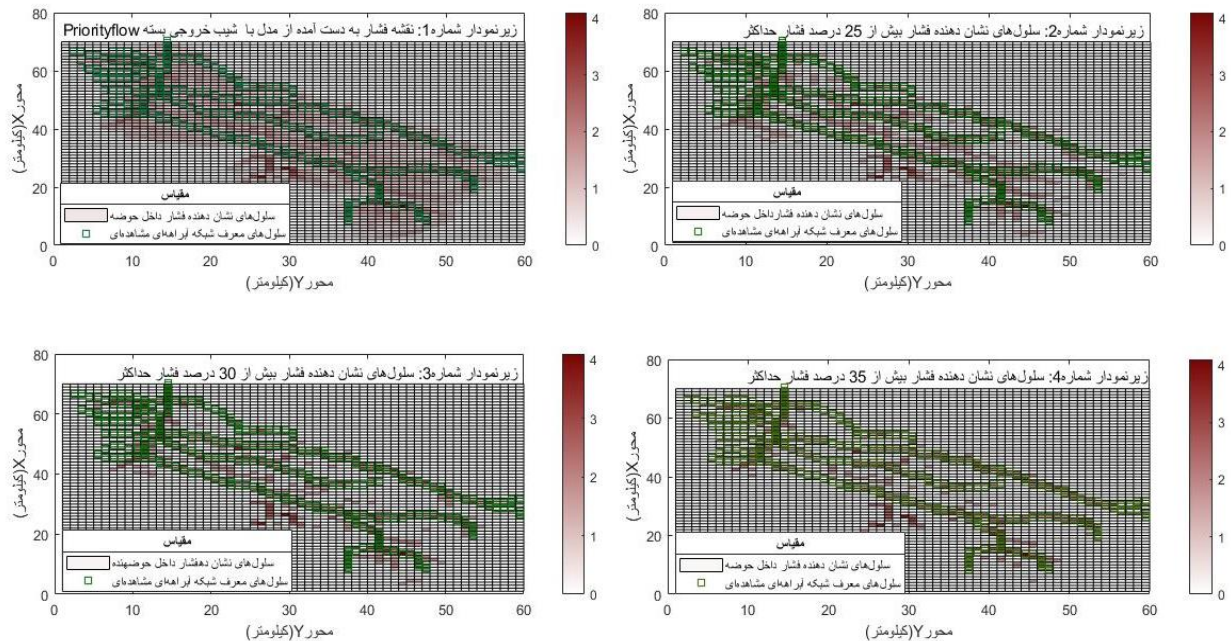
زیرنمودار ۱ با استفاده از شیب به دست آمده توسط بسته priorityFlow و زیرنمودار ۲ با استفاده از شیب به دست آمده توسط ابزارهای سنتی مدل پارفلو به دست آمده است.

جهت درک بهتر روند تغییرات مقادیر فشار و تشخیص موقعیت سلول‌های با فشار بیشتر، ابتدا نقشه فشار اصلی (بر اساس شیب محاسباتی توسط بسته priorityFlow) و سپس نقشه فشار بالای ۲۵، ۳۰ و ۳۵ درصد فشار حداکثر رسم گردیده است و مشاهده می‌گردد که فشارهای بالاتر بیشتر مربوط به سلول‌های آبراهه‌ای می‌باشند و سلول‌های غیر آبراهه‌ای طبق شبکه مشاهداتی به تدریج با افزایش فشار حذف می‌شوند (شکل ۹).

#### ۴. بحث و نتیجه گیری

در این مطالعه با استفاده از دو روش، یکی با استفاده از بسته نرم‌افزاری بسته priorityFlow و دیگری استفاده از کدهای داخلی مدل پارفلو، اقدام به تهیه دو نقشه شیب گردید. شیب‌های به دست آمده از هر دو روش جهت تهیه نقشه فشار و کنترل وضعیت شبکه زهکشی به صورت جداگانه و با پارامترهای یکسان توسط مدل پارفلو مورد استفاده قرار گرفت. طبق نتایج به دست آمده، نقشه فشار خروجی و





شکل ۹. نقشه فشار خروجی اصلی بر اساس نقشه شیب انتخابی و همچنین نقشه فشارهای بیش از ۲۵، ۳۰ و ۳۵ درصد فشار حداکثر برای تعیین موقعیت سلول‌های با فشارهای بزرگتر و تطبیق با سلول‌های آبراهه‌های مشاهده‌ای

شبکه آبراهه‌ای مطابق با آن بر اساس شیب بسته نرم افزاری بسته priorityFlow دارای دقت بالاتری بود و انطباق بالایی با شبکه آبراهه‌ای مشاهده‌ای داشت. اما شبکه زهکشی بر اساس فایل شیب به دست آمده از کدهای داخلی مدل پارفلو، آبراهه‌های ممتد و پیوسته‌ای ایجاد نکرد. به نظر می‌رسد که دلیل اصلی این مشاهده، وجود مناطق با شیب بسیار کم و در نتیجه تشکیل غیر آسان شبکه زهکشی به ویژه در دقت مکانی یک کیلومتر انتخابی بوده است. با توجه به اینکه دقت پیش‌بینی‌های مدل‌های هیدرولوژیکی به استفاده از ورودی‌های دقیق و منطبق با نیازهای مدل وابسته است، بنابراین نیاز است تا قبل از استفاده از مدل‌های هیدرولوژیکی، از شرایط مورد نیاز مدل و همچنین دقت این ورودی‌ها برای حصول نتایج دقیق‌تر اطمینان حاصل گردد. نتایج این تحقیق نشان داد که بسته بسته priorityFlow با توجه به وجود گزینه‌های متعددی که منطبق بر شرایط محیطی مختلف می‌باشند و حتی در دقت‌های مکانی پایین و مناطق با نواحی مسطح قادر است ورودی با دقت مناسب برای مدل پارفلو ایجاد نماید. نتایج این تحقیق یافته‌های کاندون و مکسول را که ذکر کردند انتخاب روش‌های مختلف پردازش‌های توپوگرافیک روی شبیه‌سازی‌های هیدرولوژیکی و نتایج آن اثر دارد و نتایج‌شان نشان داد که این بسته نرم افزاری شبکه زهکشی دقیق‌تری را نسبت به روش‌های دیگر تشکیل می‌دهد، تایید می‌کند.

## References

- Condon, L.E. & Maxwell, R.M., (2019), Modified priority flood and global slope enforcement algorithm for topographic processing in physically based hydrologic modeling applications, *Computers & Geosciences*, 126, 83-73.
- Cordonnier, G., Bovy, B., & Braun, J., (2019), A versatile, linear complexity algorithm for flow routing in topographies with depressions, *Earth Surf. Dynam.*, 7(2), 562-549.
- Kenny, F., Matthews, B., & Todd, K., (2008), Routing overland flow through sinks and flats in interpolated raster terrain surfaces, *Computers & Geosciences*, 34(11), 1430-1417.

- Lindsay, J. & Dhun, K., (2015), Modelling surface drainage patterns in altered landscapes using LiDAR, *International Journal of Geographical Information Science*, 0, .15-1
- Lindsay, J.B. & Creed, I.F., (2006), Distinguishing actual and artefact depressions in digital elevation data, *Computers & Geosciences*, 32(8), 1204-1192.
- Lindsay, J.B., (2016), Efficient hybrid breaching-filling sink removal methods for flow path enforcement in digital elevation models, *Hydrological Processes*, 30(6), 857-846.
- Martz, L.W. & Garbrecht, J., (1993), Automated extraction of drainage network and watershed data from digital elevation models, *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 29(6), 908-901.
- Rieger, W., (1998), A phenomenon-based approach to upslope contributing area and depressions in DEMs., *Hydrological Processes*, 12, 872-857.
- Wei, H., Zhou, G., & Fu, S., (2019), Efficient Priority-Flood depression filling in raster digital elevation models, *International Journal of Digital Earth*, 12(4), 427-415.
- Zayandehroody, E., (2020), Extension report of ground water resources prohibition in Jiroft and East Faryab (In Persian).
- Zhou, G., Liu, X., Fu, S., & Sun, Z., (2017), Parallel identification and filling of depressions in raster digital elevation models, *International Journal of Geographical Information Science*, 31(6), 1078-1061.



