مجلة پژوهشي دانشگاه اصفهان (علوم پايه)
جلد بيست و نهم ـ شماره ۳ ـ سال ۱۳۸٦
صص ۸۰-٦۱

تفكيك مؤلفه‌هاي اصلي جريان در شاخه اصلي رودخانة زاينده رود و كاربردهاي آن

رامين ارفع نيا* و نوذر ساماني**
*گروه زمين شناسي ، دانشگاه آزاد اسلامي واحد خوراسگان
** گروه زمين شناسي دانشگاه شيراز

چكيده

جريان كلي رودخانة زاينده رود از دو مؤلفة اصلي جريان پاية كلي و رواناب مستقيم تشكيل يافته است. مؤلفة جريان پاية كلي خود از مؤلفه‌هاي فرعي جريان حاصل از تخلية سفره‌هاي آب زيرزميني، جريان سطحي حاصل از ذوب تدريجي برف و جريان ميان لايه اي تأخيري و همچنين مؤلفة رواناب مستقيم شامل رواناب سطحي، جريان حاصل از ذوب سريع برف و جريان ميان لايه اي سريع تشكيل گرديده است. براي تفكيك مؤلفه‌هاي اصلي جريان كلي با استفاده از داده‌هاي روزانة جريان رودخانه، از مدل رايانه اي"HYSEP" استفاده شده است كه با به كارگيري سه روش محدودة زماني ثابت، محدودة زماني جابجا شونده و حداقل موضعي مقادير هر يك از دو مؤلفة فوق را به صورت جداگانه ارائه مي‌دهد. از آنجا كه شدت سيلاب بستگي به حداكثر مقدار رواناب مستقيم و شدت خشكسالي بستگي به حداقل مقدار جريان پاية كلي دارد، با استفاده از اطلاعات بلند مدت مي‌توان شدت اين دو پديده را با دوره‌هاي بازگشت متفاوت بررسي نمود. بر اين اساس سيلابي با دبي جريان كلي برابر و يا بزرگتر از ۱۶۱/۰۵ ۹۶ متر مكعب بر ثانيه و رواناب مستقيم برابر و يا بزرگتر از ۹۶/۲۸ متر مكعب بر ثانيه هر ۱۹۶ سال و خشكسالي (كم آبي) با دبي جريان كلي كمتر از و يا برابر با ۱۶۹۶/۰۹ متر مكعب بر ثانيه و دبي جريان پاية كلي كمتر از و يا برابر با ۱۳/۸۳ متر مكعب بر ثانيه تقريباً هر ۱۶ سال اتفاق مي‌افتد.

واژه‌هاي كليدي: زاينده‌رود، تفكيك هيدروگراف، واناب مستقيم، جريان پايه كلي.

Separation of Main Components of Zayandehrud River Flow and It's Uses

R. Arfania*, N. Samani**

*Department of Geology, Islamic Azad University, Khorasgan branch

** Department of Geology,Shiraz University

Abstract

The Zayandehrud river total flow is composed of two main components, i.e. total base flow and direct runoff. The former component includes secondary components resulted from groundwater discharge, overland flow produced by slow melting of snow and delayed interflow. The later component (the direct runoff), consists of secondary components of surface runoff from precipitation, overland flow produced by prompt snow melting and rapid interflow. The separation of main components of total stream flow has been performed by "HYSEP" model on the basis of daily stream flow data. This software employs three methods (fixed interval, sliding interval and local minimum) to compute values of above-mentioned main components. Since the flood intensity related to maximum value of direct runoff and drought intensity related to minimum value of total base flow, both can be analyzed for different return period using Zayandehrud stream flow long term data. On the basis of obtained results, a flood with total stream flow equal or exceed to 161.05 cms and direct runoff equal or exceed to 96.28 cms arise every 196 years. On the other hand, a drought with total stream flow less than or equal to 16.09 cms and total base flow less than or equal to 13.83 cms occur every 16 years.

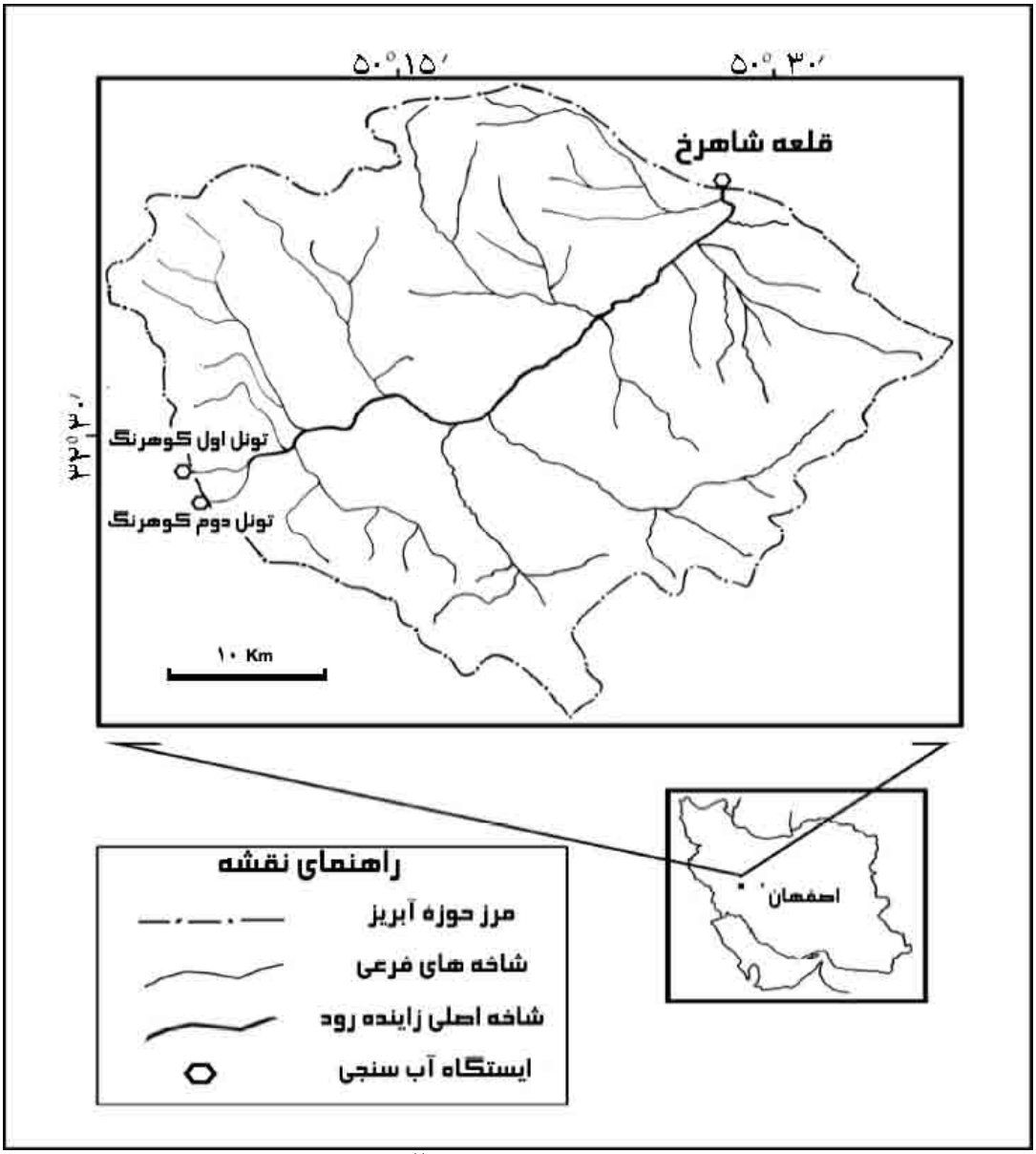
Keywords: Zayandehrud, Hydrograph separation, Direct runoff, Total base flow.

مقدمه

حوزة آبريز زاينـده رود متـشكل از چنـد زيـر حـوزه مي‌باشد كه از به هم پيوستن جريان‌هـاي خـارج شـده از آنها، رودخانة زاينده رود به عنـوان تخليـه كننـدة اصـلي حوزه شكل مي‌گيـرد (شـكل ١). ايـن رودخانـه يكـي از مهمترين رودخانه‌هاي مركزي ايران اسـت كـه در محـل ايستگاه آبسنجي قلعه شاهرخ به درياچة سـد زاينـده رود مي‌ريزد. داده‌هاي اين ايستگاه بـه صـورت دبـي متوسـط روزانه برداشت مي‌شود. همچنين تونـل‌هـاي انتقـال آب كوهرنگ ١ و٢ قـسمتي از آب سرچـشمه‌هـاي رودخانـة كارون رابه اين حوزه منتقـل مـي‌نماينـد. داده‌هـاي دبـي روزانة خروجي از اين دو تونل نيـز از سـال آبـي١٣٦١- ١٣٦٠ لغايت ١٣٧٥- ١٣٧٤ در دسترس مي‌باشد. بنابراين با استفاده از اين اطلاعات و در نظر گرفتن زمـان تـأخير در اتصال جريان‌هاي دو تونل مورد اشـاره، مـي‌تـوان بـه دبي متوسط روزانة جريـان تخليـه شـده از حوضـة بـالا دست سد زاينده رود در مدت پـانزده سـال آبـي دسـت يافــت و بــا اســتفاده از روش‌هــاي خودكــار تجزيــة هيدروگراف مؤلفه‌هاي جريان كلي را از يكديگر تفكيـك نمود. اين روش‌ها اغلب فاقد استقلال ذاتي مـي‌باشـند و تنهـا مـي‌تـوان ازآنهـا بـه عنـوان برنامـه‌هـاي رايانـه اي روش‌هاي ترسيمي كه قبلاً ابداع شده اند، ياد نمـود. اگـر چه تاكـنون برنامه‌هاي رايانـه اي متعددي بـراي تفكيـك مؤلفـه‌هاي هيـدروگراف رودخانه ارائـه شـده اسـت، در ايـن تحقيـق از مـدل رايانـه اي" HYSEP " كـه توسـط اسـلوتو و كـروس [١٥] تكميـل و در حـوزه‌هـاي آبريـز متعددي آزمايش شده، استفاده گرديده است.

١-١) جـريـان كـلـي رودخـانـة زاينده رود

جريان كـلي رودخانة زاينده رود در زمان خــروج از حوزه بالا دست سد زاينده رود (در محـل ايـستگاه قلعـه شاهرخ)، از شش مؤلفـة عمده تـشكيل گــرديده اسـت. مؤلفـه‌هاي جريان كلي هر كدام از مبدأ حركت خـود در يك مسيـر جـداگـانه شروع به حركت كـرده و با تـأخير زماني متـفاوتي بـه جـريان رودخانـه مـي‌پيــوندند. ايـن شش مؤلـفة اصلي جريان كلي رودخانه عبارتنــد از [١٨ و ١٩] :



شكل١- نقشة شاخه اصلي و شاخه‌هاي فرعي در حوزة آبريز زاينده رود (قبل از سد زاينده رود)

١-١-١) رواناب سطحي حاصل از بارش (Surface runoff)

رواناب سطحي عبارت است از مقدار آبي كه پس از هر بارندگي از طريق آبراهه‌ها و مسيل‌ها به جريان اصلي رودخانه مي‌پيوندد و از حوزه خارج مي‌گردد. مشخصة اصلي اين جريان، حركت آني و بلافاصله پس از بارش روي سطح زمين است. تأثير اين مؤلفه بر دبي خروجي از حوزه پس از آغاز بارش به سرعت قابل مشاهده است و همچنين پس از گذشت زمان نسبتاً كوتاهي از اتمام بارندگي مقدار اين مؤلفه به شدت

كـاهش مي‌يابد [٤].

١-١-٢) جريان ميان لايه اي **(Interflow)** يا زير سطحي **(Subsurface flow)**

قسمتي از آب بارش يافته پـس از نفـوذ در لايـه‌هـاي سطحي، موجب مي‌شود كه لايه‌هاي فوقاني خاك موقتاً به حالت اشباع درآيد. در اين حالت آب نفوذي در لايه‌هـاي سطحي خاك در جهت شيب زمين و با مؤلفة افقـي نـسبتاً بزرگي شروع به حركـت كـرده و در قـسمت‌هـاي پـايين دست حوزه به آبهاي سطحي مي‌پيوندد. اين حركت اصولاً در ميان لايه‌هاي خاك و يا در سـطح مـشترك ميـان لايـة خاك و لاية سنگي زيرين روي مي‌دهـد. در هـر صـورت هيچگونه ارتباطي ميـان ايـن مـؤلفه از جـريان كـلي و ذخـيرة آب زيرزمينـي وجود ندارد. جـريان ميـان لايـه اي خـود بـه دو مؤلفـة جريـان ميـان لايـه اي سـريـع (Prompt interflow) وجـريان ميـان لايـه اي تأخيري(Delayed interflow) تقسيم مي‌گردد [٣].

١-١-٣) جريـان حاصـل از تخليـة آبهـاي زيرزمينـي **(Groundwater discharge)**

اگر در منطقـه اي مقـدار ذخيـرة سـفره‌هـاي آزاد فوقـاني آنچنان افزايش يابد كه سطح آب درآن سفره‌ها بالاتر از سطح آب در جريان‌هاي سطحي قرار گيرد، مقداري از ذخيـرة ايـن سفره‌ها در كانال‌هاي سطحي مرتبط، تخليه و موجب افـزايش دبـي خروجي از حوزه مي‌گردد. ايـن مؤلفـه از جريـان كلـي جريان حاصل از فـروكش آبهـاي زيرزمينـي (Groundwater recession) نيز ناميده مي‌شود [٢].

١-١-٤) جريـان حاصـل از ذوب بـرف **(Snowmelt flow)**

تدريجي بودن فراينـد ذوب بـرف و آزاد شـدن آب از ذخيرة برف و همچنين بلند مدت بودن تـأثير آن بـر دبـي خروجي از حوزه، رفتار و ويژگي‌هاي اين مؤلفه از جريان كلي را به جريان حاصل از تخلية آبهاي زيرزميني نزديـك مي‌نمايد. بنابراين جريان حاصل از ذوب برف را مي‌تـوان به دو بخش عمدة ذوب تدريجي(Slow Snowmelt)، كـه افزايش در مؤلفة جريان حاصل از تخـلية آبهاي زيرزميني را در پي دارد و بر اثر عواملي نظير افـزايش آرام دمـاي هوا، تشعشعات خورشـيدي و ميعـان بخـار آب در سـطح تـودة بـرف ايجـاد مـي‌گـردد، و ذوب سـريع (prompt snowmelt)، كه موجب افزايش در مؤلفة رواناب سـطحي حاصل از بارندگي مي‌گردد و بر اثر عواملي نظيـر ريـزش باران با درجه حرارت بالا و افـزايش ناگهـاني دمـاي هـوا ايجاد مي‌شود، تقسيم نمود [١١].

١-١-٥) ذخيرة ساحلي **(Bank storage)**

در دوره‌هـاي پـرباران و هنـگامي كـه سـطح آب در رودخانه بالاتر از سطح سفره‌هاي آب زيرزميني مجـاور قـرار مي‌گيرد، حجمـي از آب رودخانـه بـا نفـوذ در كنـاره هـا، در مجاورت رودخانه ذخيره مي‌گردد. اين ذخيره در ابتـداي هـر دورة كم آب (خشك) و هنگامي كـه سـطح آب در رودخانـه افت مي‌كنـد و پـايين تـر از سـطح سـفره‌هـاي مجـاور قـرار مي‌گيرد، موجب تغذية رودخانه مي‌گردد [١١].

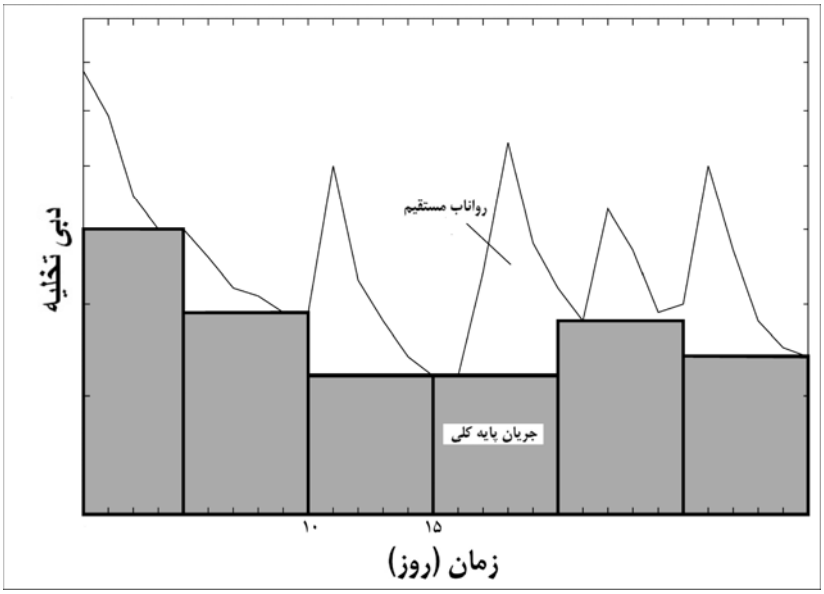
١-١-٦) بـارش مـستقيم روي رودخانـه **(Channel precipitation)**

اين مؤلفه قسمتي از جريان كلـي اسـت كـه از بـارش مستقيم روي رودخانه حاصل مي‌گردد. اگر چه مقدار ايـن مؤلفه نسبتاً اندك است ولي بـراي رودخانـه‌هـاي عـريض قابل صرف نظر كردن نيست.

٢) موارد و روش ها

٢-١) روش‌هاي تفكيك هيدروگراف جريان كلي رودخانه

از آنجا كه شدت سيلاب بستگي به حداكثر مقدار رواناب مستقيم و شدت خشكسالي بستگي به حداقل مقدار جريان پاية كلي دارد، با استفاده از اطلاعات بلند مدت رودخانه مي‌توان شدت اين دو پديده را در دوره‌هاي بازگشت متفاوت بررسي نمود. علي رغم كوشش هايي كه تاكنون براي تجزية جريان كلي رودخانه



شكل ٢- روش محدودة زماني ثابت براي تفكيك مؤلفة جريان پاية كلي از رواناب مسستقيم [١٥]

صورت گرفته است، به علت عدم وجود روش هايي كه دقيقاً به تفكيک تمامي مؤلفه‌هاي جريان كلي بيانجامد، برخي از هيدرولوژيست‌ها جريان كلي رودخانه را تنها به دو مؤلفة اساسي جريان پاية كلي (Total base flow) كه مؤلفة جريان پايه (Baseflow) و مؤلفة تدريجي ذوب برف را شامل مي‌گردد (مؤلفة جريان پايه خود شامل جريان حاصل از تخلية آبهاي زيرزميني، ذخيرة ساحلي و جريان ميان لايه اي تأخيري مي‌باشد) و رواناب مستقيم (Direct runoff) كه شامل مؤلفه‌هاي رواناب سطحي، ذوب برف سريع، جريان ميان لايه اي سريع و بارش مستقيم روي رودخانه مي‌باشد، تقسيم نموده اند [٥و٩و١٢]. براي تفكيك اين دو مؤلفه مي‌توان روش هايي را كه در آنها از محدودة زماني*2N براي تر سيم منحني جدايش هيدروگراف استفاده مي‌گردد، به كار گرفت [١٥]. براي بدست آوردن اين محدودة زماني، ابتدا زمان پايه (N) بر اساس رابطة زير محاسبه مي‌گردد [٣]:

در اين معادله :

$$N = A^{0.2} \qquad [1]$$

N = زمان پاية رواناب مستقيم بر حسب روز

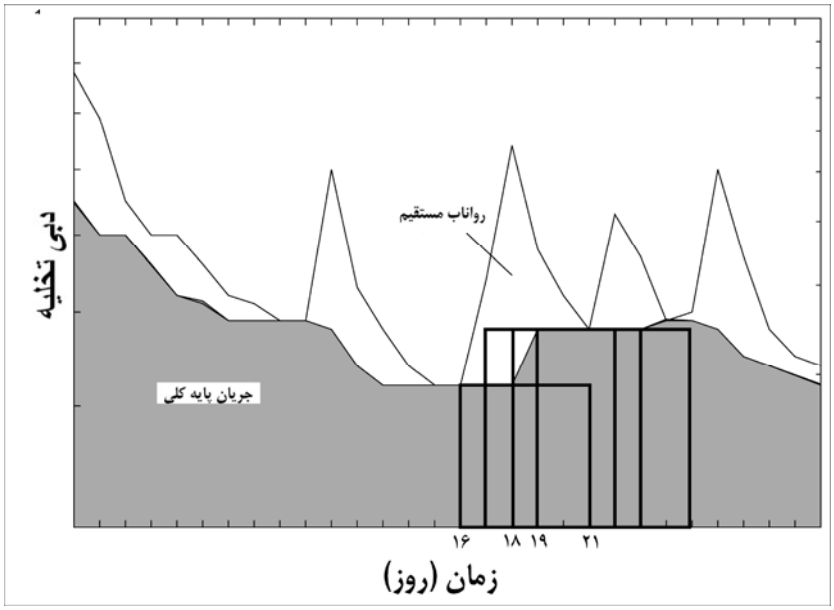
A = مساحت حوزة آبريز در بالادست ايستگاه آب سنجي بر حسب مايل مربع

سپس نزديكترين عدد صحيح به 2N به عنوان مقدار *2Nدر نظر گرفته مي‌شود. بر طبق مطالعاتي كه روي حوزه‌هاي آبريز مختلف انجام گرفته است، در صورتي كه

مقدار*2N در محدودة دو عدد صحيح ١١ تا ٣ قرار گيرد نتايج به دست آمده در مقايسه با ديگر روش‌ها بسيار دقيق خواهد بود [٥]. اين روش‌ها عبارتند از :

٢-١-١) روش محدودة زماني ثابت **(Fixed–Interval Method)**

در اين روش كمترين دبي در هر محدودة زماني *2Nبه عنوان دبي جريان پاية كلي براي تمامي روزهاي آن محدوده در نظر گرفته مي‌شود. براي مثال در شكل ٢ (با فرض اين كه *2N برابر با ٥ مي‌باشد) در محدودة



شكل٣- روش محدودة زماني جابجا شونده براي تفكيك مؤلفة جريان پاية كلي از رواناب مستقيم [١٥]

زماني روز دهم تا پانزدهم، حد اقل دبي، در روز پانزدهم اتفاق افتاده است و اين مقدار به عنوان دبي جريان پاية كلي براي هر پنج روز در نظر گرفته مي‌شود و بدين ترتيب منحني جدايش هيدروگراف جريان كلي به دست خواهدآمد .

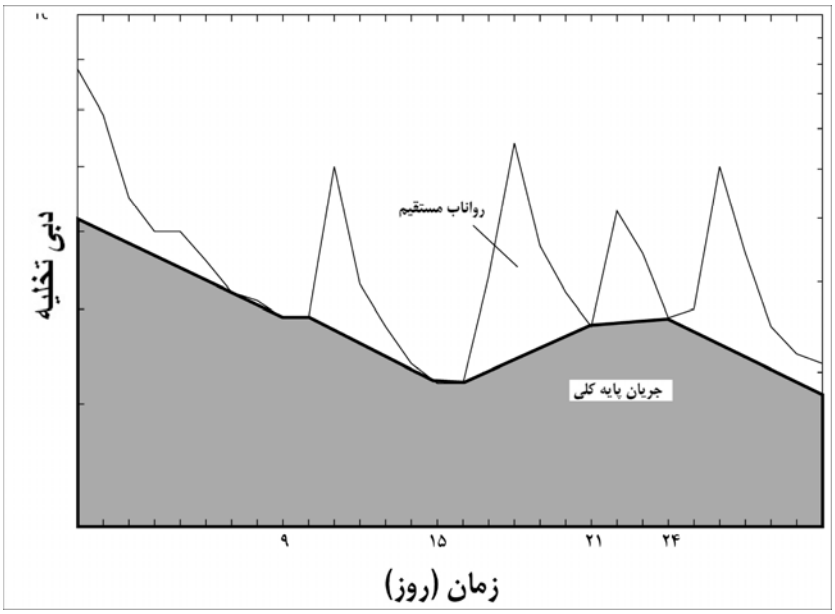
٢-١-٢) روش محدوده زماني جابجا شونده **(Sliding–Interval Method)**

در اين روش براي تعيين دبي جريان پاية كلي متعلق به يك روز معين، حداقل دبي در محدودة زماني [0.5(2N*-1)] روز قبل و بعد از آن روز در نظر گرفته مي‌شود. براي مثال در شكل ٣ (با فرض اين كه *2N برابر با ٥ مي‌باشد)، براي تعيين جريان پاية كلي در روز هجدهم، حداقل دبي در روزهاي شانزدهم تا بيستم در نظر گرفته مي‌شود(حد اقل دبي، در روز شانزدهم اتفاق افتاده است) و براي تعيين جريان پاية كلي در روز نوزدهم، حداقل دبي در روزهاي هفدهم تا بيست ويكم در نظر گرفته مي‌شود(حد اقل دبي، در روز بيست ويكم اتفاق افتاده است). با اتصال نقاطي كه بدين ترتيب تعيين شده است، منحني جدايش هيدروگراف بدست مي‌آيد.

٢-١-٣) روش حداقل موضعي **(Local–Minimum Method)**

در اين روش ابتدا بررسي مي‌شود كه آيا دبي جريان

در يك روز معين در مقايسه با دبي جريـان در [0.5(2N*-1)] روز قبل و بعد از آن واجد حداقل مقدار مي‌باشـد، يـا خير. در صورت مثبت بودن جواب، نقطه اي كـه دبـي آن روز را بر روي هيدروگراف رودخانه مشخص مـي‌نمايـد، در نـظر گرفـته مي‌شود و در غير اينصورت آن روز حذف و عـمليات بـراي روز بعدي تكرار مي‌گردد. براي مثال در شكل ٤ (با فرض اين كه 2N* برابر با ٥ مي‌باشـد)، دبـي حداقل موضعي در روزهاي نهم، پانزدهم، بيست و يكم و بيست و چهارم رخ داده است. پس از انجام اين عمليـات براي تمامي روزها، با اتصال نقاط مشخص شـده بـر روي هيدروگراف، منحني جدايش هيدروگراف ترسيم مي‌شود.



شكل٤- روش حداقل موضعي براي تفكيك مؤلفة جريان پاية كلي از رواناب مستقيم [١٥]

٢-٢) مدل رايانه اي به كـار گرفتـه شـده در تفكيـك هيدروگراف رودخانة زاينده رود

مـــدل رايانـــه اي " HYSEP " (Hydrograph Separation) با استفاده از روش‌هاي ارائه شده توسط پتي جان و هنينگ [٥] در سـال ١٩٧٩ مـيلادي، هيـدروگراف كلي جريان رودخانه را به دو مؤلفـة اصـلي جريـان پايـة كـلي و رواناب مستقيم تفكيك مي‌كند. اين مدل تـــوسط توسـط اسـلوتو و كـروس [١٥] در سـال ١٩٩٦ مـيلادي انتشار يافت و در حوزه‌هاي متعـددي در جنـوب شـرقي ايالت پنسيلوانيا، از جملـه حـوزة آبريـز رودخانـة فـرنچ كريک (French Creek) به كار گرفته شد و نتـايج حاصـل از آن با نتايج به دسـت آمـده از تحقيقـات قبلـي كـه بـا استفاده از روش دستي انجام شده بود مقايـسه گرديـد و بدين ترتيب كارايي آن مورد تأييد قرار گرفت. برنامة اين مـدل بـه زبـان " FORTRAN 77 " نوشـته و همچنـين فايل‌هـاي حـاوي برنامـه‌هـاي گرافيكـي، جهـت ترسـيم نمودارها در آن گنجانده شده است. اطلاعات مـورد نيـاز اين برنامه عبارت از دبي روزانه (بر حسب فوت مكعـب برثانيه) رودخانه اي كه به صورت طبيعـي و بـدون تـأثير سد و يا هرگونه تنظيم كنندة ديگري، موجبات تخلية آب حوضة آبريز را فراهم مي‌آورد و مساحت حوضـة آبريـز در بالادست ايستگاه آبـسنجي (بـر حـسب مايـل مربـع)

مي‌باشد. در اين مدل رايانه اي آرايش قابل قبول براي داده ها، قالب "WATSTORE" (Standard U.S.G.S National Water Data Storage & Retrieval System) مي باشد [١٥]. اين قالب كه بر اساس قالب كلي "ASCII" تنظيم گرديده، از ٨٠ ستون تشكيل شده است. در اين آرايش هر ستون واجد يك شمارة كد و متعلق به يكي از انواع داده‌هاي مورد نياز براي راه اندازي برنامه مي‌باشد.

٣-٢) كاربردهاي جدايش مؤلفه‌هاي اصلي جريان كلي رودخانه

موارد استفاده از نتايج حاصل از تفكيك جريان كلي رودخانه به دو مؤلفه اصلي آن در زمينه‌هاي مختلف و به خصوص در مديريت منابع آب بسيار گسترده مي‌باشد. برخي از اين موارد عبارت است از [١٤] :

- ترسيم منحني تفكيك جريان پاية كلي از رواناب مستقيم در هيدروگراف جريان كلي رودخانه.
- محاسبه متوسط مؤلفة جريان پاية كلي و رواناب مستقيم در هر سال.
- محاسبه و ترسيم تابع توزيع تجمعي (Cumulative distribution function) جريان كلي و مؤلفه جريان پاية كلي آن. لازم به توضيح است كه اين تابع، درصد زماني (احتمال) وقوع مقادير كمتر از يك مقدار مشخص و يا برابر با آن را در يك دورة معين، براي متوسط سالانة عمق جريان كلي و متوسط سالانة عمق جريان پاية كلي، بيان مي‌نمايد، و در حقيقت مي‌توان آن را به عنوان يك منحني فراواني (Frequency curve) در نظر گرفت [٦]. براي تعيين اين توابع، ابتدا مقادير متوسط سالانة عمق جريان كلي و جريان پاية كلي به صورت جداگانه، از مقادير كمتر به بيشتر مرتب مي‌گردد. سپس با استفاده از رابطة زير مي‌توان احتمال وقوع مقادير كمتر و يا برابر با يك مقدار معين را در يك دورة زماني مشخص (در اين تحقيق پانزده سال) محاسبه نمود.

$$P = m/(n+1) = 1/T$$

در اين رابطه :

P= درصد زماني (احتمال) وقوع مقادير كمتر و يا برابر، در يك دورة زماني مشخص

m= مرتبة عددي (Order number) دادة مورد نظر در سري مرتب شده

N= تعداد كل داده ها

T= دورة بازگشت

- ترسيم منحني تداوم جريان (Flow duration) براي جريان كلي رودخانه و مؤلفه رواناب مستقيم تخمين زده شده. براي ترسيم اين منحني، ابتدا داده‌هاي مربوط به هر جريان، به صورت جداگانه و از بزرگ به كوچك مرتب مي‌گردد. سپس با استفاده از رابطة زير، احتمال و يا درصد زماني وقوع مقادير بزرگتر يا مساوي با يك مقدار معين، محاسبه مي‌گردد.

$$P = m/n = 1/T \qquad [٣]$$

٣) نتايج و بحث

٣-١) تفكيك جريان پاية كلي از رواناب مستقيم

٣-١-١) ترسيم منحني تفكيك هيدروگراف رودخانة زاينده رود

اين منحني، روي هيدروگراف جريان كلي رودخانه در مقياس نيمه لگاريتمي، به طور جداگانه براي هر سال آبي و در يك دورة پانزده ساله، از سال آبي ١٣٦١- ١٣٦٠ لغايت ١٣٧٥- ١٣٧٤ با استفاده از سه روش محدودة زماني ثابت، محدودة زماني جابجا شونده و حداقل موضعي ترسيم گرديد كه به عنوان نمونه، در شكل ٥

براي سال ١٣٧٣-١٣٧٢ نمايش داده شده است. -١-٢)

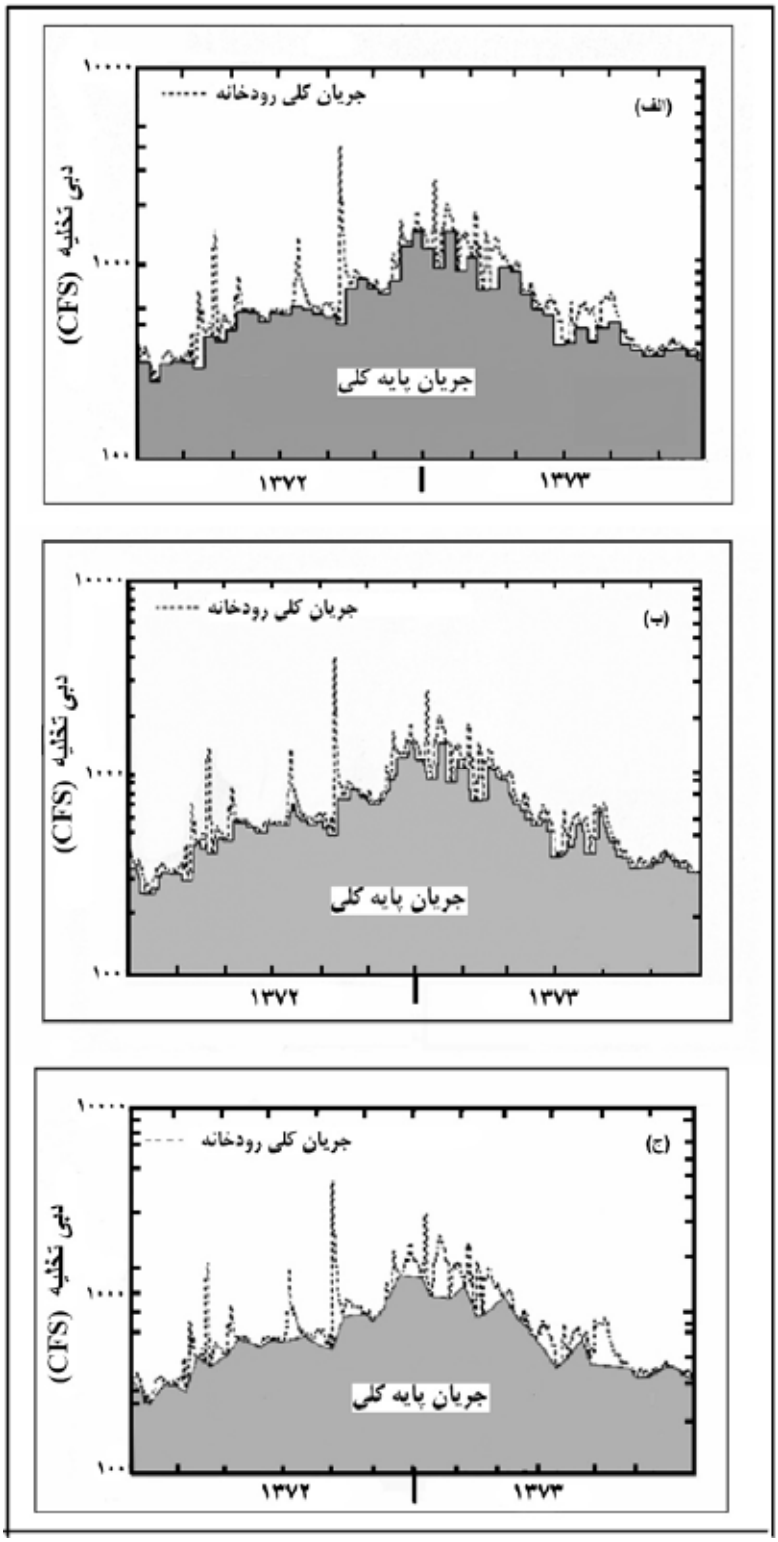
ميانگين سالانة جريان پايـة كلـي و روانـاب مـستقيم رودخانة زاينده رود

نتايج ميـانگين سـالانة بـه دسـت آمـده از سـه روش محدودة زماني ثابـت، محـدودة زمـاني جابجـا شـونده و حداقل موضعي، براي مؤلفة جريان پاية كلـي و روانـاب مستقيم رودخانة زاينده رود در دورة پـانزده سـالة مـورد مطالعه قرار گرفتـه و در شـكل ٦ ارائـه شـده اسـت. بـا مقايسة نتايج سالانة بدست آمده از اين سه روش مي‌توان دريافت كه اختلاف ميان اين روش‌ها نسبتاً كم و همـواره كمتر از١٠ % و در ٨٠ % مـوارد كمتـر از ٦ % مـي‌باشـد (شكل٧). اختلاف ميان نتايج بلنـد مدت (پانزده سالــه) جريـان پايةكلي رودخانة زاينده رود كه با استفاده از سـه روش فوق بدست آمـده اسـت، بـسيار نـاچيز و همـواره كمتر از ٢/٧ % مي‌باشد (شكل ٨). به هـر حـال بيـشترين اختلاف، بين نتايج حاصل از روش‌هاي محـدودة زمـاني ثابت و حداقل موضعي ديده مي‌شود و نتـايج حاصـل از روش محدودة زماني جابجا شونده، نـسبت بـه دو روش ديگر واجد اختلاف كمتري مي‌باشد. بنـابراين اسـتفاده از نتـايج ايـن روش بـراي پـيش بينـي شـدت سـيلاب و خشكسالي نسبت به دو روش ديگر مناسب تـر بـه نظـر مي‌رسد.

٣-٢) ارزيابي نتايج بدست آمده با استفاده از تخمـين تغذية سفره‌هاي آب زيرزميني

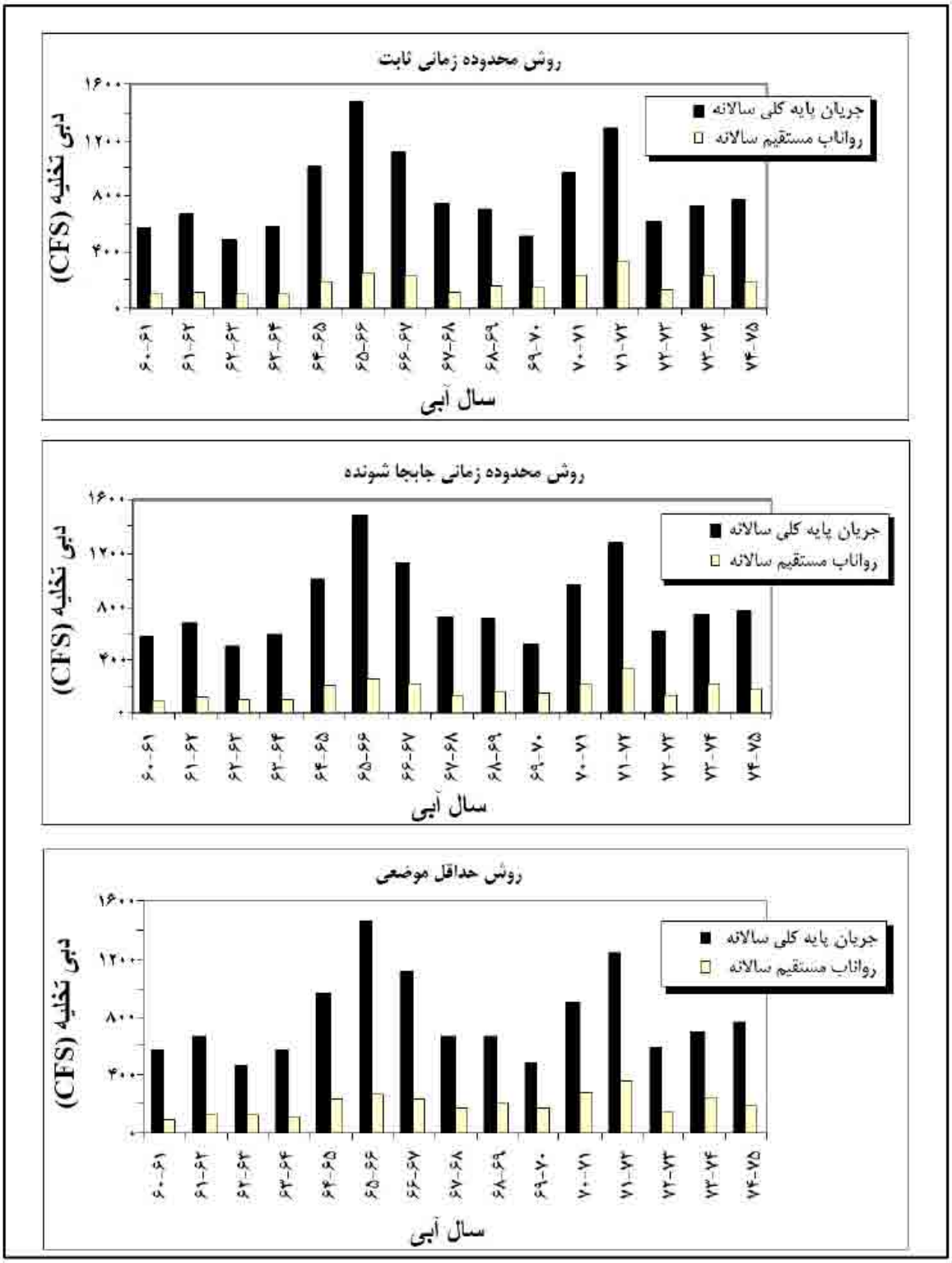
يكي از سازنده‌هاي اصلي مؤلفـة جريـان پايـه كلـي، جريان حاصل از تخليه سفره‌هـاي آب زيرزمينـي اسـت. مقدار اين جريان ارتباط مستقيم با ميزان تغذية سفره‌هاي آب زيرزميني دارد و با افزايش ذخيره در سـفره‌هـاي آب زيرزميني مرتبط با رودخانه، مؤلفـة جريان پايـه كلـي آن رودخانه نيز افزايش مي‌يابد. بنابراين براي ارزيـابي نتـايج به دست آمده از برنامة HYSEP، مي‌توان از مدل تحليلـي تخمـين تغذيـة سـفره‌هـاي آب زيرزمينـي كـه توسـط "رورابوف" در سـال ١٩٦٤ مـيلادي ارائـه شـده اسـت، استفاده كرد [٧ و ٨]. در اين مـدل (كـه از آن بـا عنـوان مدل و يا روش "RORA" نيز ياد مي‌گردد) بـا اسـتفاده از هيـدروگراف رودخانـه، حجـم تغذيـة سـفره‌هـاي آب زيرزمينـــي مـــرتبط بـــا آن رودخانـــه تعيـــين مي گردد. روش به كار گرفته شـده در ايـن مـدل، روش جابجايي منحني فروكش است. بـا اسـتفاده از ايـن روش مي‌توان مقدار تغذية سفره‌هاي آب زيرزمينـي را در هـر دوره كـه جريـان رودخانـه نقطـة اوجـي را پـشت سـر مي‌گذارد، تخمين زد. در اين مدل فرض بر اين است كـه رودخانه مرز تخلية سيستم جريان آب زيرزميني مي‌باشـد [١٧].

اين روش اساساً بر پايـة جابجـايي روبـه بـالاي منحنـي فروكش جريان حاصل از تخليه آبهاي زيرزميني (جريـان آب زيرزميني)، بر اثر رخداد تغذيه سـفره‌هـاي آب قـرار دارد. بنـابراين تنهـا قـسمت هـايي از هيـدروگراف يـك رودخانه مورد توجه قرار مي‌گيرد كه به طور كامل نـشان دهندة جريان حاصل از تخلية سـفره‌هـاي آب زيرزمينـي باشد[٩] .بر طبق تعريف مدت زماني كه بايـد از زمـان رسيدن هيدروگراف به نقـطة اوج سپـري گردد تا جريان

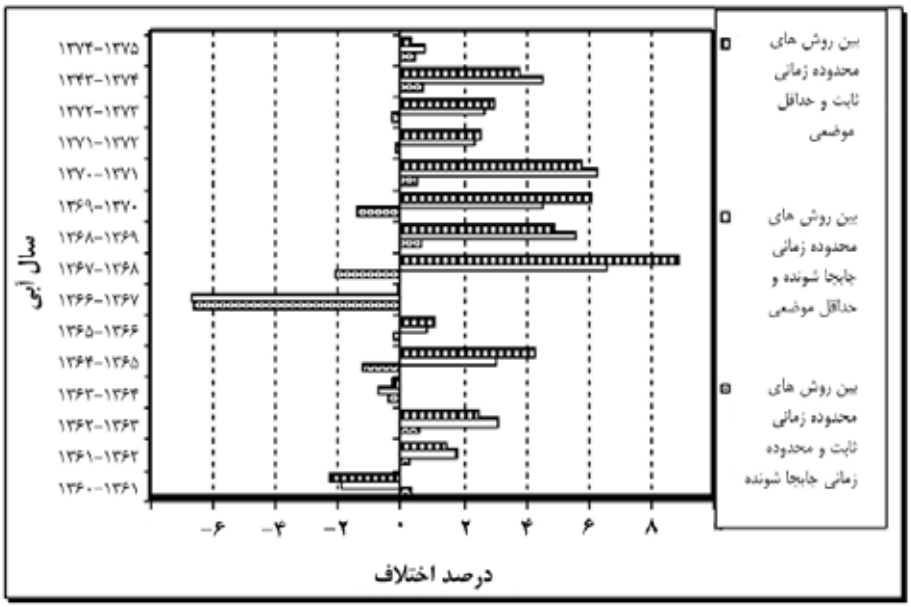


شكل ۵- تفكيك هيدروگراف جريان كلي رودخانة زاينده رود به سه روش محدودة زماني ثابت (الف)، محدودة زماني جابجا شونده (ب) و حداقل موضعي (ج) براي سال آبي ۱۳۷۳-۱۳۷۲

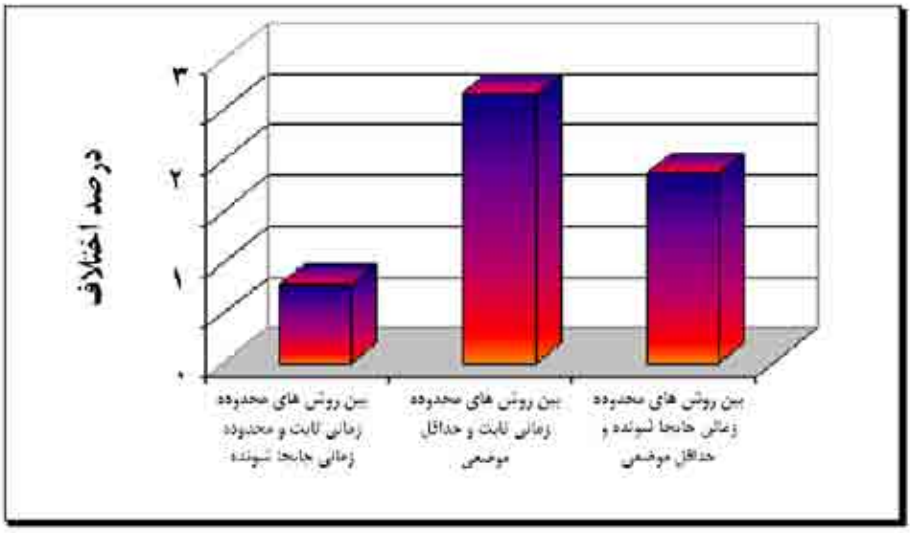
(براي تبديل به سيستم متريک: $ft^3/s * ۰/۰۲۸۳۲ = m^3/s$)



شكل ٦- ميـانگين سالانـة نتايج بدست آمده از سه روش محدودة زماني ثابت، محدودة زماني جابجا شونده و حداقل موضعي، براي مؤلفة جريان پاية كلي و رواناب مستقيم رودخانة زاينده رود در يك دورة پـانـزده سـالـه (براي تبديل به سيستم متريک: m3/s = ٠/٠٢٨٣٢ * ft3/s)



شكل ۷- مقايسة اختلاف ميان نتايج سالانة به دست آمده از سه روش محدودة زماني ثابت، محدودة زماني جابجا شونده و حداقل موضعي براي مؤلفة جريان پاية كلي رودخانة زاينده رود



شكل ۸- مقايسة اختلاف ميان مجموع نتايج پانزده سالة به دست آمده از سه روش محدودة زماني ثابت، محدودة زماني جابجا شونده و حداقل موضعي براي مؤلفة جريان پاية كلي رودخانة زاينده رود

رودخانه به طور كامل توسط جريان حاصل از تخليـة سفره‌هاي آب زيرزميني تـأ مـين گـردد را زمـان بحرانـي مي‌نامند. يك رخداد تغذيه پتانسيل تخلية آبهاي زيرزمينـي يا V (حجم آبي كه در صورت وجود زمان كـافي و بـدون تأثير رخداد تغذية ديگري مي‌تواند به طور طبيعي از سفره زهكش شود) را افزايش خواهد داد كه از رابطة زير قابـل محاسبه مي‌باشد[۲] :

$$V = \frac{Q.K}{2.3026}$$

در اين معادله Q، دبي تخلية سفره‌هـاي آب زيرزمينـي در زمان اوليه (به شرط بزرگتر بودن از زمان بحرانـي) وK ،شاخص فروكش جريان آب زيرزمينـي مـي‌باشـد. زمـان بحراني (t_c) را مي‌توان از رابطة زير به دست آورد[۱۰] :

$$t_c = 0.2144K$$

از آنجا كه پس از رخداد تغذيه (همزمان با نقطـة اوج) و با گذشت زمان بحراني، تقريباً نيمي از حجم آب ذخيره شده، زهكش و از مخزن خـارج مي‌گردد، پتانسيل تخليـة آبهاي زيرزميني در زمان بحراني پـس از وقـوع دبـي اوج جريان در رودخانه، تقريباً برابر با نصف حجـم كلـي آبـي مي‌باشد كه موجـب تغذيـة آب زيرزمينـي مـرتبط بـا آن رودخانه گرديده است [١٦]. بنابراين اگر مقادير Q_2 يا دبي جريان رودخانه در صورت رخداد دورة تغذية جديـد، بـا گذشت زمان بحراني از وقوع دبي اوج جريان رودخانـه و Q_1 يا دبي جريان رودخانـه در صـورت عـدم وقـوع دورة تغذية جديد و در همان زمان در دسترس باشد، مـي‌تـوان حجم آب تغذيه شدة حاصل از دورة تغذيه را در سيـستم سفره‌هاي آب زيرزميني از رابطة زير تخمين زد [۱۳].

$$R = \frac{2(Q_2 - Q_1).K}{2.3026}$$

در اين رابطه:

R= مقدار(حجم) تغذية سفره‌هاي آب زيرزميني بر اثـر رخداد يك دورة تغذية معين

Q_1= دبي تخلية آبهـاي زيرزميني در زمان بحرانـي بـر روي منحني فروكش جريان قـبل از دورة تغذيه

Q_2= دبي تخلية آبهاي زيرزميني در زمـان بحرانـي بـر روي منحني فروكـش جريان پس از اتمام آن دورة تغذيه

K= شاخص فروكش جريان حاصل از تخلية سفره‌هاي آب زيرزميني

به طور كلي در اين روش، حجم آب تغذيـه شـده در سيستم سفره‌هاي زيرزمينـي، در دو مرحلـة جداگانـة زيـر تخمين زده مي‌شود[۱۳] :

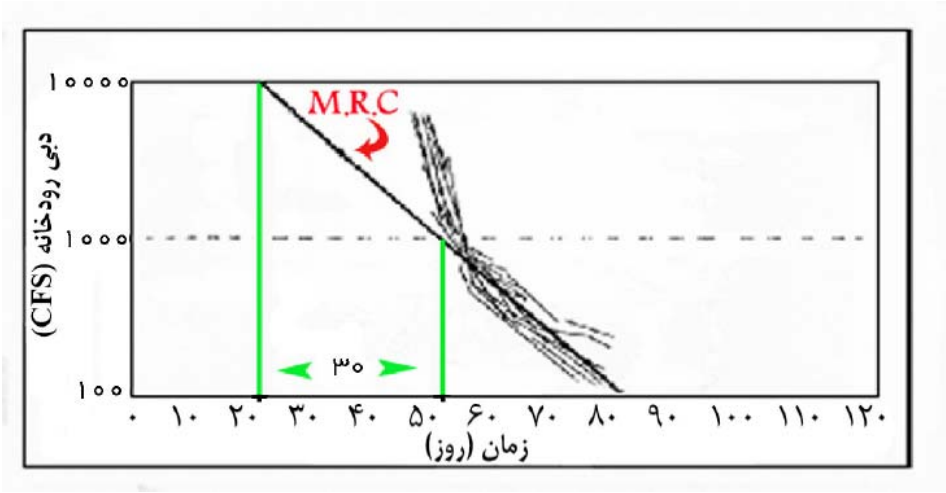
الف- ترسيم منحني فروكش غالب: منحني فـروكش غالـب واجـد ميـانگيني از ويژگـي‌هـاي چنـدين منحنـي فروكش منفرد مي‌باشد. براي ترسيم منحني فروكش غالب آب زيرزميني از روش بر روي هم قرار دادن منحنـي‌هـاي فروكش جريان، استفاده گرديده اسـت. مزيـت ايـن روش كنترل چشمي در هنگـام ترسـيم منحنـي فـروكش غالـب جريان آب زيرزميني مي‌باشد[۱].

ب- محاسبة حجم تغذية سفره‌هاي آب زيرزميني: بـــراي محاسـبة مقـدار تغذيـه در روش دسـتي، ابتـــدا شاخص فـروكش (K) با اسـتـــفاده از منحنـي فـــروكش غـالب تعيين و سپس زمان بحـراني محـاسبه مي‌شـود. مهمترين و حساس ترين مرحله در روش دستي تخمين مقـدار تغذيـه، ترسـيم ادامـة هـر يـك از منحنـي‌هـاي فـروكش جريـان بـر روي هيـدروگراف رودخانـه در مقياس نيمه لگاريتمي مي‌باشد.

۳-۱- نتايج حاصل از تخمين تغذية سفره‌هاي آب زيرزميني

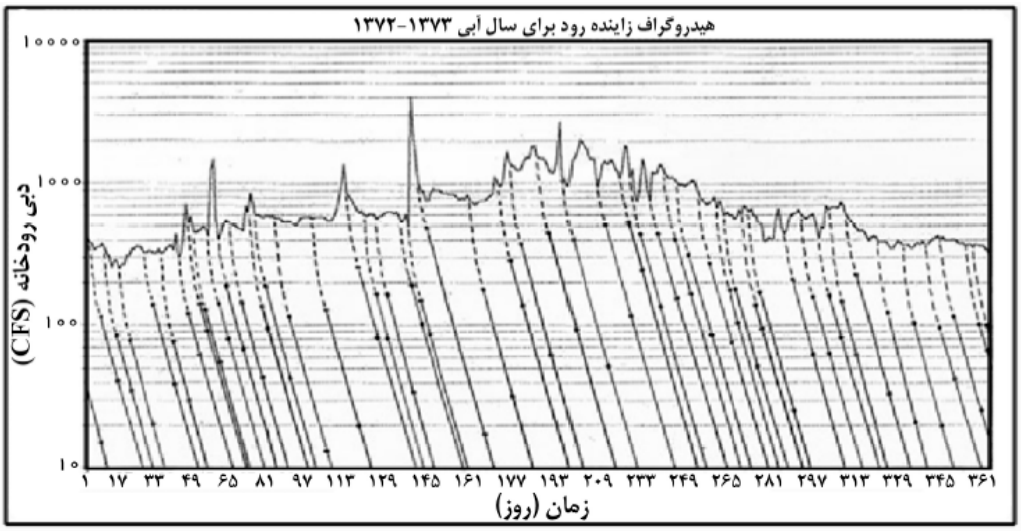
براي ترسيم منحني فروكش غالـب جريـان آب زيرزمينـي براي رودخانة زاينده رود با استفاده از روش بـر روي هـم قرار دادن منحني‌هاي متعلق به دوره‌هاي مختلف فـروكش جريان، و به جهت اجتناب از خطـاي حاصـل از تبخيـر و ذوب بـرف، مناسـب تـرين دوره‌هـاي فروكـشي كـه در ماههاي آبان، آذر، دي و بهمن يك دورة زماني هشت ساله

(از سال ١٣٦٦ هجري شمسي تا سال١٣٧٣ هجري شمسي) رخداده، انتخاب شده و پس از انتقال و انطباق منحني‌هاي منفرد فروكش جريان، منحني فروكش غالب براي مؤلفة جريان پاية رودخانة زاينده رود رسم گرديده است (شكل٩). با استفاده از اين منحني، شاخص فروكش(K) براي جريان حاصل از تخلية سفره‌هاي آب زيرزميني مرتبط با جريانات سطحي حوزة آبريز زاينده رود برابر با ٣٠ روز تعيين گرديد. براي محاسبة مقدار تغذيه در روش دستي، با استفاده از شاخص فروكش جريان آب زيرزميني (K)، زمان بحراني براي حوزة زاينده رود برابر با ٦/٤ روز محاسبه گرديده است. سپس با استفاده از روش جابجايي منحني فروكش يا روش "رورابوف"، ادامة هر يك از منحني‌هاي فروكش جريان بر روي هيدروگراف رودخانة زاينده رود در مقياس نيمه لگاريتمي ترسيم گرديده است (شكل١٠). پس از ترسيم ادامة تمامي منحني‌هاي فروكش جريان كلي رودخانه، براي هر يك از نقاط اوج به صورت جداگانه مقادير Q_1 (دبي جريان بر روي منحني فروكش قبل از نقطة اوج در زمان بحراني پس از وقوع نقطة اوج بر حسب فوت مكعب بر ثانيه) وQ_2 (دبي جريان بر روي منحني فروكش بعد از نقطة اوج در زمان بحراني پس از وقوع نقطة اوج بر حسب فوت مكعب بر ثانيه) تعيين (شكل١١) و حجم



شكل ٩- انطباق منحني‌هاي منفرد فروكش و ترسيم منحني فروكش غالب براي مؤلفة جريان پاية رودخانة زاينده رود

(براي تبديل به سيستم متريک: **m3/s = ٠/٠٢٨٣٢ * ft3/s**)



شكل ۱۰- ترسيم ادامة هر يك از منحني‌هاي فروكش جريان بر روي هيدروگراف رودخانه در مقياس نيمه لگاريتمي
(براي تبديل به سيستم متريک: **m3/s = ۰/۰۲۸۳۲ * ft3/s**)

آب اضافه شده به ذخيرة سفره (بر حسب فوت مكعب) بر اثر وقوع اين دورة تغذيه با استفاده از رابطة زير تخمين زده مي‌شود.

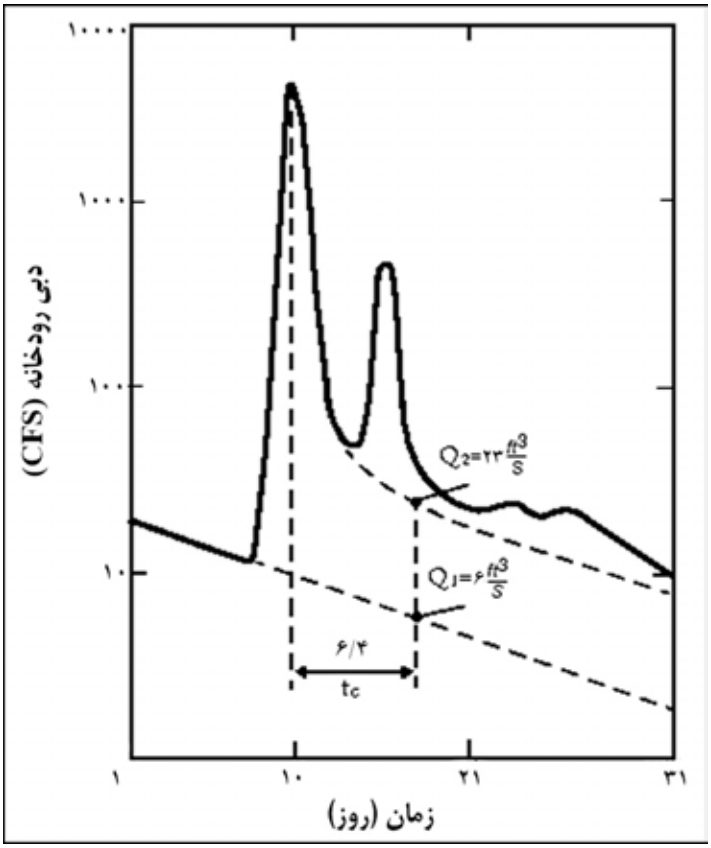
$$V = \frac{2(Q_2 - Q_1).k}{2.3026}86400$$

براي تخمين مقدار تغذية سفره‌هاي آب زيرزميني مرتبط با رودخانة زاينده رود و يا سرشاخه‌هاي آن در حوزة آبريز زاينده رود در دوره‌هاي زماني يك ساله، مجموع نتايج به دست آمده از هر يك از رخدادهاي تغذية اي كه در آن سال روي داده، محاسبه و با در نظر گرفتن مساحت حوزة آبريز زاينده رود نتايج كلي براي هر سال، بر حسب واحد طول ارائه گرديده است (شكل۱۲). مقايسة نتايج به دست آمده از بكارگيري برنامة رايانه اي" (با استفاده از روش محدودة زماني جابجا شونده) در مورد جريان پاية كلي رودخانة زاينده رود و همچنين مقدار تغذية كلي سفره‌هاي آب زيرزميني مرتبط با اين رودخانه كه با استفاده از روش دستي "RORA" تخمين زده شده است، اين هماهنگي را به وضوح نشان مي‌دهد (شكل‌هاي ۱۲ و ۱۳).

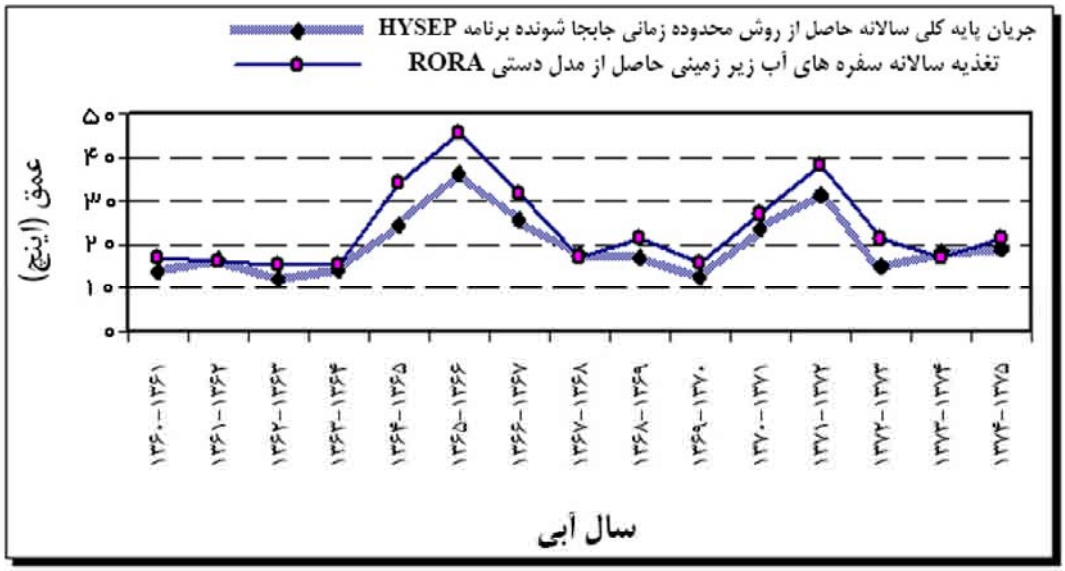
۳-۲) پيش بيني شدت سيلاب و خشكسالي با دوره‌هاي بازگشت متفاوت

۳-۲-۱) محاسبه تابع توزيع تجمعي جريان كلي رودخانة زاينده رود و مؤلفه جريان پاية كلي آن

بر اساس اطلاعات به دست آمده از روش محدودة زماني جابجا شونده، ابتدا محاسبة توزيع تجمعي جريان كلي و مؤلفة جريان پاية كلي آن صورت گرفت و سپس تابع توزيع تجمعي آنها ترسيم گرديد (شكل۱٤). اين تابع، احتمال وقوع مقادير كمتر و يا برابر با يك دبي معين را

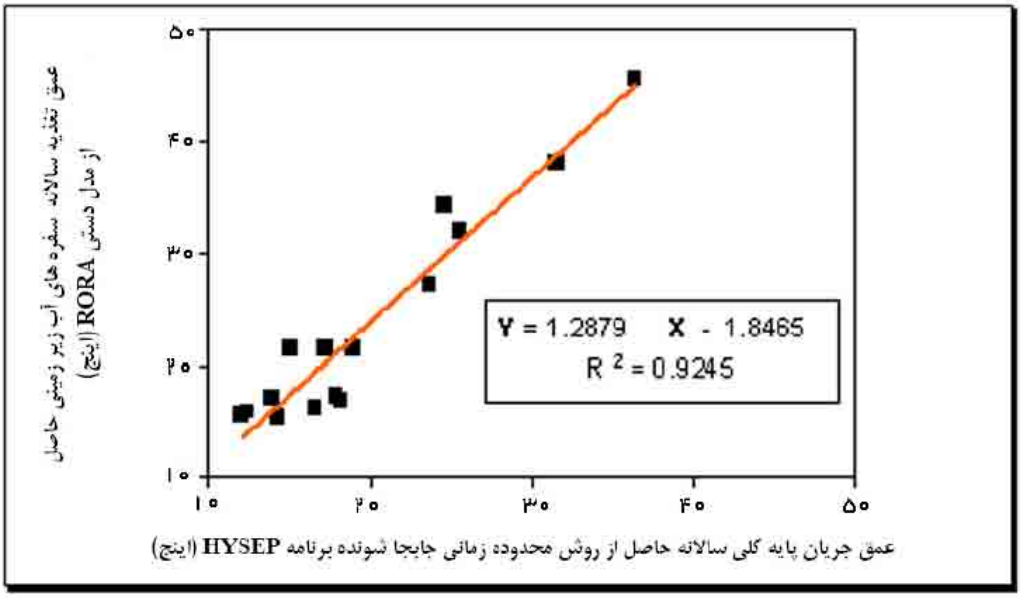


شكل ١١- طرحي از مراحل اجراي دستي تخمين مقـدار تغذيه بر اثـر وقـوع دبي اوج بر روي هيدروگراف، با استفاده از مدل تحليلي "**RORA**"



شكل١٢- مقايسة نتايج بدست آمده از برنامة "**HYSEP**" و روش دستي "**RORA**"

(براي تبديل به سيستم متريک: **mm** = ٢٥/٤ * **in.**)

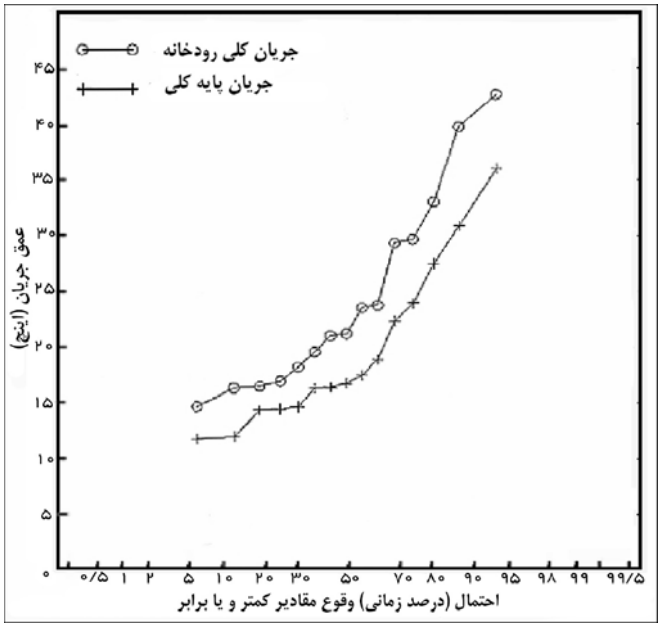


شكل ۱۳- بررسي هماهنگي ميان مقادير به دست آمده براي جريان پاية كلي و تغذية كلي در سال‌هاي مشابه
(براي تبديل به سيستم متريک: mm = ۲۵/٤ * in.)

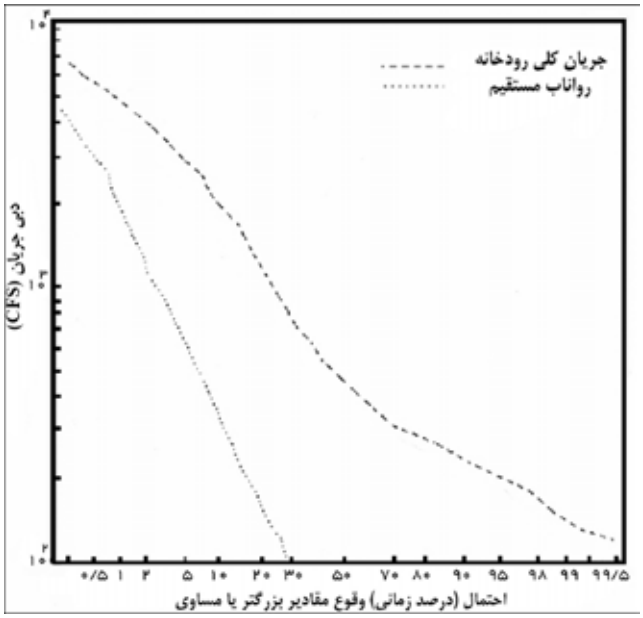
HYSEP" بيان مي‌نمايد. بنابراين با معكوس كردن اين درصد زماني، مي‌توان به دورة بازگشت براي رخداد مقادير كمتر و يا برابر با آن دبي مشخص نيز دست يافت. با توجه به اين كه جريان رودخانه در دوره‌هاي بدون باران تماماً توسط مؤلفة جريان پاية كلي تأمين مي‌گردد، براي پيش بيني شدت خشكسالي با دوره‌هاي بازگشت متفاوت، مي‌توان از تابع توزيع تجمعي براي مؤلفة جريان پاية كلي استفاده نمود.

۳-۲-۲) ترسيم منحني تداوم جريان براي جريان كلي رودخانة زاينده رود و مؤلفه رواناب مستقيم آن

براي ترسيم منحني تداوم جريان، ابتدا احتمال (درصد زماني) وقوع مقادير بزرگتر يا مساوي با يك مقدار معين، براي مقادير مختلف جريان كلي رودخانة زاينده رود و مؤلفه رواناب مستقيم آن، بر اساس نتايج به دست آمده از روش محدودة زماني جابجا شونده، محاسبه و سپس منحني تداوم جريان كلي و مؤلفه رواناب مستقيم آن بطور جداگانه و در مقياس نيمه لگاريتمي ترسيم مي‌گردد (شكل۱۵). همچنين مي‌توان با معكوس كردن اين درصد زماني، به دورة بازگشت براي رخداد مقادير بيشتر و يا برابر با آن دبي مشخص نيز دست يافت. با توجه به اينكه قسمت اعظمي از جريان سيلابي رودخانه در دوره‌هاي پر باران توسط مؤلفة رواناب مستقيم ايجاد مي‌گردد، جهت پيشبيني شدت سيلاب با دوره‌هاي بازگشت متفاوت، مي‌توان از منحني تداوم جريان براي مؤلفة رواناب مستقيم استفاده نمود.



شكل١٤- تابع توزيع تجمعي براي مقادير متوسط سالانة جريان كلي رودخانةزاينده رود و مؤلفـه جريان پاية كلي آن بر اساس روش محدودة زماني جابجا شونده (براي تبديل به سيستم متريک: **mm** = ٢٥/٤ * **in.**)



شكل١٥- منحني‌هاي تداوم جريان براي جريان كلي رودخانة زاينده رود و مؤلفه رواناب مستقيم آن بر اساس نتايج به دست آمده از روش محدودة زماني جابجا شونده (براي تبديل به سيستم متريک: **m3/s** = ٠/٠٢٨٣٢ * **ft3/s**)

٤) نتيجه‌گيري

با توجه به مطالب ذكـر شـده، جريـان كلـي رودخانـة زاينده رود به دو مؤلفة اصـلي روانـاب مـستقيم و جريـان پاية كلي تفكيك گرديد كه بـا اسـتفاده از مـدل رايانـه اي "HYSEP" و به سه روش محدودة زماني ثابت، محـدودة

زماني جابجا شونده و حداقل موضعي انجام پـذيرفت. بـه طور كلي با تفكيك جريان پايـة كلـي از روانـاب مـستقيم رودخانة زاينده رود، نتايج زير بدست آمد:

الف) هيدروگراف رودخانـة زاينـده رود بـا توجـه بـه شرايط اقليمي اين حوزه و اطلاعات موجود تنها مي‌توانـد به دو مؤلفه اصلي جريـان پايـة كلـي و روانـاب مـستقيم تفكيك گردد. اگر چه مؤلفة اصلي جريان پاية كلي خود از دو مؤلفة جريان تخلية آبهاي زيرزمينـي، جريـان سـطحي حاصـل از ذوب تـدريجي بـرف و جريـان ميـان لايـه اي تأخيري و ذخيرة ساحلي و همچنين مؤلفة اصلي روانـاب مستقيم از بخش‌هاي روانـاب سـطحي جريـان حاصـل از ذوب سريع برف، جريـان ميـان لايـه اي سـريع و بـارش مستقيم روي رودخانه تشكيل يافته است.

ب) متوسط سـالانة دبـي روانـاب مـستقيم رودخانـة زاينده رود (براي يك دورة پانزده ساله)٤/٩٩١ متر مكعب بر ثانيه تخمين زده مي‌شود.

ج) متوسط سالانة دبي جريـان پايـة كـلي رودخانـة زاينده رود (براي دورة پانزده ساله) ٢٠/٣٨٦ متـر مكعـب بر ثانيه تخمين زده مي‌شود.

د) بـه طور متـوسط، جـريـان پـاية كـلي ٨٢/٤ % از جريان كلـي رودخانـة زاينـده رود را تـشكيل مـي‌دهـد و باقيماندة جريان كلي رودخانه توسط مؤلفة رواناب مستقيم تأمين مي‌گردد.

هـ) با توجه به منحني تـداوم مؤلفـة روانـاب مـستقيم رودخانة زاينده رود در يك دورة زماني پانزده سـاله، تنهـا در ٠/٥١% از اوقات مقدار جريان كلي رودخانه بيـشتر از و يا برابر با ١٦١/٥٠ و مقدار رواناب مستقيم بيشتر از و يا برابر با ٩٦/٢٨ متر مكعب بر ثانيه است. بنابراين سيلابي با دبي جريان كلي رودخانه برابر و يـا بزرگتـر از ١٦١/٠٥ و مؤلفة رواناب مـستقيم برابـر و يـا بزرگتـر از ٩٦/٢٨ متـر مكعب بر ثانيه هر ١٩٦ سال يك بار اتفاق خواهد افتاد.

و) با توجه به منحني تابع توزيع تجمعي مؤلفة جريان پاية كلي رودخانة زاينده رود در يـك دورة زمـاني پـانزده ساله و با توجه به مساحت حوزة آبريز زاينده رود (١٤٢٧ كيلومتر مربع)، تنها در ٦/٣ % از اوقات مقدار جريان كلي رودخانه كمتر از و يا برابر با ١٦/٠٩و مقدار مؤلفة جريـان پاية كلي كمتر از و يا برابر با ١٣/٨٣ متر مكعـب بـر ثانيـه است. بنابراين خشكسالي (كم آبي) بـا دبـي جريـان كلـي رودخانه كمتر از و يا برابر با ١٦/٠٩و دبـي مؤلفـة جريـان پاية كلي كمتر از و يا برابر با ١٣/٨٣ متر مكعـب بـر ثانيـه تقريباً هر ١٦ سال يك بار اتفاق خواهد افتاد.

منابع

1- j. G., Arnold, P. M. Allen, R. Muttiah, and G. Bernhardt. Automated baseflow separation and recession analysis techniques. Ground Water, V.33, No. 6, pp. 1010-1018, (1995).

2- B. S. , Barnes, The structure of discharge recession curves. Transactions of American Geophysical Union, v. 20, pp. 721-725, (1939).

3- V.T., Chow, Handbook of applied hydrology. McGraw-Hill, New York, NY., (1964).

4- R. K., Linsley, Kohler, M. A., and Paulhus, J. L. H., Hydrology For Engineers, 3rd ed., McGraw-Hill, New York, (1982).

5- W.A., Pettyjohn, and R. Henning, Preliminary estimate of ground-water recharge rate, related streamflow and water quality in Ohio, Ohio State University Water Resources Center Project Completion Report Number 552, 323 p., (1979).

6- H.C., Riggs, The base-flow recession curve as an

indicator of ground water: International Association of Scientific Hydrology Publication 63, pp. 352-363, (1963).
7- M.I., Rorabaugh, Estimating changes in bank storage and ground-water contribution to streamflow: International Association of Scientific Hydrology, Publication 63, pp. 432-441, (1964).
8- M.I., Rorabaugh, and Simons, W.D., Exploration of methods relating ground water to surface water, Columbia River basin--second phase: U.S. Geological Survey Open-File Report, 62 p., (1966).
9- A. T., Rutledge, Methods of using streamflow records for estimating total and effective recharge in the Appalachian Valley and Ridge, Piedmont , and Blue Ridge physiograghic provinces. In : Hotchkiss, W. R. and A. I. Johnson (eds.), Regional aquifer systems of the U. S., Aquifer of the Southern and Eastern States. 27th Annual conference of American Water Resources Assoc., New Orleans, LA, 1991. AWRA Monograph Series 17, pp.59-73 , (1992).
10- A. T., Rutledge, Computer programs for describing the recession of groundwater discharge and for estimating mean groundwater recharge and discharge from streamflow records. U. S. Geological Survey, Water Resources Investigations Report 93-4121, (1993).
11- A. T., Rutledge, and C. C. Daniel III. Testing an automated method to estimate groundwater recharge from streamflow records. Ground Water, V. 32, No. 2, pp. 180-189, (1994).
12- A. T., Rutledge, Model - estimating ground-water recharge and hydrograph of ground-water discharge to a stream. U. S. Geological Survey, Water Resources Investigations Report 97-4253, 29 p., (1997).
13- A. T., Rutledge, Considerations for use of the "RORA" model to estimate ground-water recharge from streamflow records. U. S. Geological Survey, Water Resources Investigations Report 00-165, (2000).
14- R. A., Sloto, A computer method for estimating ground-water contribution to streamflow using hydrograph-separation techniques. U.S. Geological Survey, Water Resources Investigations Report 90-4076, 83 p., (1991).
15- R. A., Sloto, and M. Y. Crouse, HYSEP: A computer program for streamflow hydrograph separation and analysis. U. S. Geological Survey, Water Resources Investigations Report 96-4040, (1996).
16- L. M., Tallaksen, A review of baseflow recession analysis. J. of Hydrology, V. 165, pp. 349-370, (1995).
17- H., Wittenberg, and M. Sivapalan, Watershed groundwater balance estimation using streamflow recession analysis and baseflow separation. J. of Hydrology, V. 219, pp. 20-33, (1999).
18- V. M., Yevjevich, Fluctuations of wet and dry years. Colorado State University, Fort Collins, Hydrol. Paper, No. 1 pp. 18-20, (1963).
19- Y. B., Zecharias, and W. Brutseart, Recession characteristics of groundwater outflow and baseflow in mountainous watersheds. Water Resources Research, V. 24, No. 10, pp. 16-29, (1988).