



Applying Fourier and Wavelet Transforms to Extract Instantaneous Unit Hydrograph

A. Ghiami Bajgirani^{1*}, M.B. Sharifi²,
M.F. Maghrebi³ and A. Arefijamaal⁴

Abstract

This paper applies the discrete wavelet transform to decompose the instantaneous unit hydrograph (IUH) into low and high frequency bands. The fast Fourier transform exploits to extract IUH from observed rainfall – runoff data. It is estimated the oscillations of IUH by wavelet coefficients and coefficients that are close to zero are set to zero. The obtained result is a hydrograph with the information of low frequency that approximates the real IUH. Calibration criteria between observed and calculated hydrographs are used to select the best filter length in wavelet. In this research, it is demonstrated that wavelets introduced by Daubechies (1992) with filter length 6 is the best alternative in this study. The results have shown that the methodology is acceptable for the system identification of rainfall – runoff for small catchments.

Keywords: Instantaneous Unit Hydrograph, Fast Fourier Transform, Wavelet.

استفاده از تبدیلات فوریه و موجک برای استخراج هیدروگراف واحد لحظه‌ای

علی قیامی باجگیرانی^{۱*}، محمدباقر شریفی^۲،
محمود فغفور مغربی^۳ و علی اکبر عارفی جمال^۴

چکیده

در این مقاله از تبدیل موجک گسسته برای تجزیه هیدروگراف واحد لحظه‌ای (IUH) به باندهای فرکانس بالا و پایین استفاده می‌شود. از روش تبدیل فوریه سریع با استفاده از داده‌های بارش – رواناب مشاهده شده استخراج می‌گردد. نوسانات موجود در IUH توسط ضرایب موجک تخمین زده شده و ضرایبی که نزدیک به صفر هستند برابر صفر در نظر گرفته می‌شوند. نتیجه حاصل هیدروگرافی است که تقریبی از هیدروگراف واحد لحظه‌ای واقعی و حاوی اطلاعات فرکانس پایین است. معیارهای واسنجی بین هیدروگراف‌های مشاهده و محاسبه شده برای انتخاب بهترین طول فیلتر موجک به کار گرفته می‌شود. در این تحقیق نشان داده شده است که موجک‌های ارائه شده توسط Daubechies (1992) با طول فیلتر ۶ بهترین گزینه در شرایط مورد مطالعه است. نتایج نشان می‌دهد که روش ارائه شده در تشخیص هویت سیستم بارش – رواناب حوضه‌های کوچک قابل قبول است.

کلمات کلیدی: هیدروگراف واحد لحظه‌ای، تبدیل فوریه سریع، موجک.

تاریخ دریافت مقاله: ۱۶ بهمن ۱۳۸۷

تاریخ پذیرش مقاله: ۹ دی ۱۳۸۸

1- Ph.D. Student of Civil - Water and Hydraulic, Ferdowsi University of Mashad, Mashad, Email: l_gh50@stu-mail.um.ac.ir.

2- Assistant Professor, Department of Civil, Faculty of Eng., Ferdowsi University of Mashad, Mashad, Iran.

3- Associate Professor, Department of Civil, Faculty of Eng., Ferdowsi University of Mashad, Mashad, Iran.

4 Assistant Professor, Department of Mathematics, Tarbiat Moallem University of Sabzevar, Sabzevar, Iran.

*- Corresponding Author

۱- دانشجوی دکتری عمران- آب و هیدرولیک، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

۲- استادیار گروه عمران دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

۳- دانشیار گروه عمران دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

۴- استادیار گروه ریاضی، دانشگاه تربیت معلم سبزوار، سبزوار، ایران

*- نویسنده مسئول

۱- مقدمه

اولین بار (Sherman 1932) مفهوم هیدروگراف واحد را بیان کرد و آن را به عنوان هیدروگراف رواناب مستقیم حاصل از ۱ واحد بارش موثر که به طور یکنواخت و شدت ثابت در تداومی مشخص بر سطح حوضه باریده باشد، مطرح نمود. هنگامی که تداوم بارش به سمت صفر میل کند معادله انتگرالی حاکم بر سیستم خطی حوضه به صورت زیر است (Huthmann 1975):

$$y(t) = \int_0^t x(\tau)h(t-\tau)d\tau \quad (1)$$

که در آن $x(t)$ بارش، تابع $h(t)$ هیدروگراف واحد لحظه‌ای (IUH^1) و $y(t)$ دبی خروجی حوضه حاصل از انتگرال تلفیق^۲ معادله (۱) است. تابع $h(t)$ با روشهای همبستگی و یا تبدیلات ریاضی قابل تعیین است. روشهای همبستگی بر اساس روش حداقل مربعات عمل کرده در حالی که در روشهای تبدیل ریاضی، انتگرال تلفیق در قلمرو زمان به یک ضرب معمولی در قلمرو تبدیل به صورت زیر تغییر می‌یابد:

$$Y(k) = H(k)X(k) \quad (2)$$

k معرف قلمرو تبدیل بوده که به طور خاص در تبدیل فوریه معرف فرکانس است. در حالتی که هدف تعیین هویت سیستم است، $X(k)$ و $Y(k)$ معلوم و بنابراین $H(k)$ قابل محاسبه است. با تبدیل معکوس از $H(k)$ می‌توان $h(t)$ را تعیین نمود. (Levi and Valdes 1964) در یک روش نیمه گرافیکی از تبدیل فوریه هیدروگراف واحد لحظه‌ای را تعیین نمودند. دو مشکل اساسی روشهای تبدیل ریاضی و همبستگی، وجود اغتشاش و ابعاد منفی در IUH هستند. (Rao and Delleur 1971) با استفاده از تبدیل معکوس $H(k)$ توسط تبدیل کسینوسی فوریه، مسئله تعیین IUH را با شرایط اغتشاش بررسی نمودند. علت نوسانات، شیوه محاسبه و خطای موجود در اندازه گیری داده‌ها اعلام گردید. آنها استفاده از روش میانگین متحرک را جهت کاهش خطا در داده‌ها و نیز کاهش نوسانات در IUH پیشنهاد نمودند. (Chow 1988) فرض خطی بودن رابطه بارش موثر - رواناب مستقیم را دلیل دیگری بر وجود نوسانات در IUH بیان نمود.

اخیراً توجه خاصی به تبدیلات موجک در پردازش سیگنالهای گذرا و دارای اغتشاش در بخش‌های وسیعی از علوم مهندسی شده است. در تبدیلات موجک بر خلاف تبدیل فوریه، سیگنالها توأمان در دو بعد زمان و مقیاس بررسی می‌شوند. در عین حال طیف وسیعی از توابع (متعامد) به عنوان تابع موجک معرفی گردیده که انتخاب تابع موجک مطلوب را دشوار می‌سازد. (Chou and Wang 2002) هیدروگراف

واحد لحظه‌ای را توسط روش حداقل مربعات تعیین کردند و با استفاده از تبدیل موجک گسسته Haar و حذف ضرایب موجک نزدیک به صفر، نوسانات موجود در آن را کاهش دادند. با این وجود (Soman and Ramachandran 2005) استفاده از موجک Haar را در تحلیل سیگنالهای گذرا مناسب نمی‌دانند.

در این مقاله کوشش شده است که با استفاده از روش تبدیل فوریه سریع (FFT^3) هیدروگراف واحد لحظه‌ای حوضه تعیین گردد. همچنین به دلیل اینکه انتخاب شکل موجک همواره یکی از مشکلات اصلی در کاربرد آنها است، معیارهای واسنجی برای مقایسه بین هیدروگراف‌های مشاهده و محاسبه شده برای انتخاب موجک مناسب استفاده می‌گردد. برای انجام این مطالعه تعداد ۱۴ حادثه بارش - رواناب طی سالهای ۱۹۷۰-۱۹۷۷ از حوضه Walnut Gulch واقع در آریزونا شمالی آمریکا با مساحت ۸/۹۸ کیلومتر مربع انتخاب شده است (SWRC 2007). این حوضه دارای ۶ ایستگاه باران سنجی بوده (شکل ۱) که با توجه به کوچکی حوضه از روش تیسن برای تعیین هیستوگرام متوسط بارندگی در هر رگیار استفاده شده است. رواناب مستقیم به نحوی محاسبه شد که جریان پایه در طول هیدروگراف از مقدار اولیه Q_A تا مقدار نهایی $Q_m + Q_B = 0.01Q_m + Q_A$ به طور خطی افزایش یابد که Q_m دبی اوج هیدروگراف است (Rao and Delleur 1974). با توجه با ارتفاع رواناب مستقیم در حوضه، بارش موثر با فرض تلفات ثابت در طول بارندگی محاسبه می‌شود.

۲- تبدیل فوریه سریع

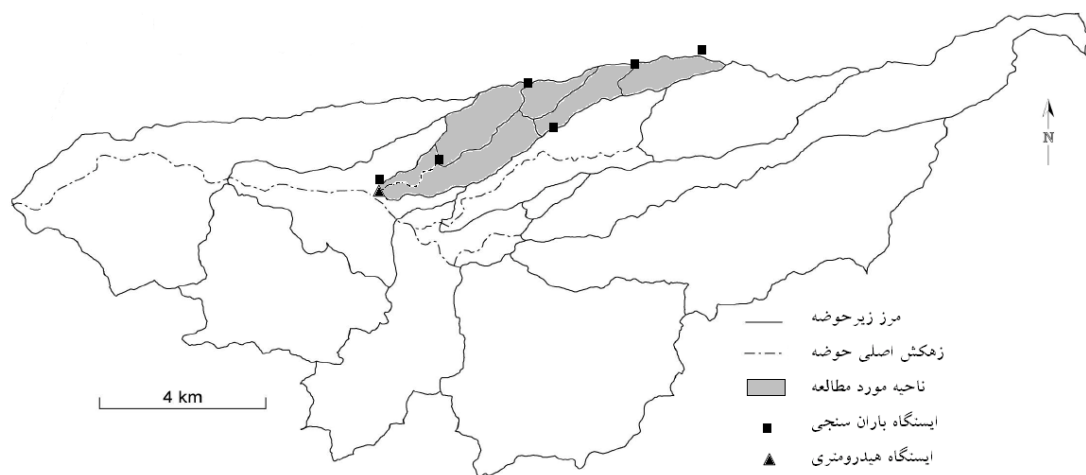
اگر f یک بردار از داده‌های بارش یا رواناب و دارای N عنصر باشد، تبدیل فوریه گسسته آن F ، به صورت زیر تعریف می‌شود (O'Flynn and Moriarty 1987):

$$F = W f \quad (3)$$

که همچنین به صورت زیر نیز بیان می‌گردد:

$$\bar{F} = W \bar{f} \quad (4)$$

که در آن تابع W به صورت زیر تعریف می‌شود:



شکل ۱- حوضه Walnut Gulch و محدوده مورد مطالعه (SWRC (2007).

۳- تحلیل موجک

موجک به عنوان موج کوچکی تعریف شده که انرژی آن در محدوده کوتاهی از زمان تمرکز یافته و ابزار مناسبی برای تحلیل سیگنالهای غیرایستا و گذرا می باشد. تبدیل موجک پیوسته (CWT^s), سیگنال $x(t)$ را به ضرایب موجک CWT_x^ψ تبدیل می کند (Kharate et al. (2007)

$$CWT_x^\psi(\tau, s) = \frac{1}{\sqrt{|s|}} \int x(t) \psi^* \left(\frac{t-\tau}{s} \right) dt \quad (9)$$

که در آن $\psi(t)$ تابع موجک مادر در قلمرو زمان است. τ عملگر انتقال و s عملگر مقیاس بوده که باعث می شوند تابع $\psi(t)$ ضمن حرکت در زمان، فشرده و یا باز شود. تغییرات مقیاس عکس فرکانس بوده به نحوی که مقیاس بزرگ معرف کوچک بودن فرکانس است. شباهت بیشتر هر بخش از سیگنال با تابع موجک، ضریب موجک بزرگتری را ایجاد خواهد کرد (Soman and Ramachandran (2005). در تبدیل موجک پیوسته باید مقیاسهای متفاوتی را در نظر گرفت و برای هر مقیاس انتگرال معادله (۹) را به روش عددی حل نمود. این عمل حجم محاسبات را افزایش داده و باعث تولید ضرایب اضافی و غیرضروری می گردد (Satish and Nazneen (2003).

تبدیل موجک گسسته نقاط ضعف تبدیل پیوسته را مرتفع ساخته ضمن اینکه گزینه مناسبی برای داده های گسسته محسوب می گردد. در تبدیل گسسته، تلفیق فیلترهای بالاگذر و پایین گذر با سیگنال در قلمرو زمان جایگزین حل عددی معادله (۹) جهت تجزیه سیگنال

$$W_N^k = e^{-2k\pi i / N}, \quad i = \sqrt{-1}. \quad (5)$$

اساس FFT بر این استوار است که اگر N توانی از ۲ باشد می توان بردار f را به طور متوالی به دو قسمت تقسیم و میزان محاسبات را از N^2 عملیات جمع و ضرب در معادله (۳) به $N/2 \log_2 N$ کاهش داد. برای این منظور اگر $F_1(k)$ و $F_2(k)$ تبدیل فوریه گسسته دو دنباله $f(2n)$ و $f(2n+1)$ باشند به نحوی که $f(n) = f(2n) + f(2n+1)$ آنگاه:

$$F(M) = F_1(k) \pm F_2(k) W_N^k \quad (6)$$

$$k = 0, 1, 2, \dots, \frac{N}{2} - 1$$

که $M = k$ برای علامت مثبت و $M = k + \frac{N}{2}$ برای علامت منفی در معادله (۶) به کار می رود.

یکی از کاربردهای اصلی FFT در شناسایی هویت سیستم^۴ است. معادله (۲) به صورت زیر قابل تغییر است:

$$H(K) = \frac{Y(k) X^*(k)}{|X(k)|^2} \quad (7)$$

در معادله (۷) کلیه تبدیلات از FFT قابل تعیین بوده و اندیس (*) معرف مزدوج مختلط است. در نهایت برای تعیین $h(t)$ از تبدیل معکوس استفاده می شود:

$$\bar{\mathbf{f}} = \mathbf{W}^{-1} \bar{\mathbf{F}} \quad (8)$$

و مقادیر کمتر از آستانه را در روشی موسوم به آستانه گذاری سخت^۷، معادل صفر در نظر گرفت (Donoho and Johnstone (1995).

در خصوص هیدروگراف واحد لحظه‌ای که برای یک رگبار ساده استخراج می‌شود، شکل هیدروگراف باید دارای روند افزایشی در بازوی بالارونده و روند کاهشی در بازوی پایین رونده باشد و هر گونه نوسان ناشی از خطاهای سیستم هیدرولوژیک حذف گردد. با توجه به اینکه نتیجه پیاپی عبور سیگنال از فیلتر پایین گذر، سیگنالی خواهد بود که دارای اطلاعات کمتری از فرکانس‌های بالا است، بنابراین شکل سیگنال در هر سطح از تجزیه هموارتر می‌گردد. بنابراین رسیدن به شکل عمومی هیدروگراف در صورتی امکان پذیر است که فقط ضرایب $\{x_{k_L}^{n-1}\}$ در ساخت مجدد سیگنال استفاده گردند.

براساس تئوری ارائه شده و موجک‌هایی که توسط Daubechies (1992) ارائه شده است مراحل کار در شکل ۳ نمایش داده شده است. پس از تعیین تعداد لازم IUH، آنها را بر اساس هم زمانی دبی اوج روی هم قرار داده و متوسط گیری از آنها انجام می‌گیرد. سپس IUH متوسط گیری شده توسط فیلترهای متفاوت از موجک‌های db_N هموار سازی شده و برای شناخت بهترین نتیجه از معیارهای واسنجی استفاده می‌گردد. این معیارها در روابط (۱۳) تا (۱۵) ارائه شده است.

$$EQ_p = \frac{\hat{q}_p - q_p}{q_p} 100 \quad (13)$$

$$ET_p = \hat{T}_p - T_p \quad (14)$$

$$CE = 1 - \frac{\sum_{t=1}^N [q(t) - \hat{q}(t)]^2}{\sum_{t=1}^N [q(t) - \bar{q}]^2} \quad (15)$$

در این روابط EQ_p مقدار خطا در دبی اوج، ET_p مقدار خطا در زمان دبی اوج و CE معیار کارائی در انتخاب طول فیلتر است. همچنین q_p و \hat{q}_p به ترتیب دبی مشاهده و محاسبه شده و \bar{q} متوسط دبی‌های مشاهده شده در طی یک حادثه بارش - رواناب هستند. هر چه مقادیر EQ_p و ET_p کمتر باشد (در حالت ایده آل برابر صفر) مطلوب تر بوده و حداکثر مقدار مطلوب CE برابر یک است. پس از انتخاب بهترین IUH از مرحله واسنجی، صحت آن در چند حادثه دیگر بارش - رواناب بررسی می‌گردد.

می‌گردد. برای این منظور سیگنال گسسته $\{x_k^n\}$ از یک فیلتر پایین گذر (F) با دنباله $\{f_k\}$ عبور داده شده تا فرکانس‌های پایین در سیگنال تحلیل گردند (شکل ۲). ضرایب تولید شده $\{x_{k_L}^{n-1}\}$ در این مرحله ضرایب مقیاس نامیده شده که n معرف سطح تجزیه سیگنال است (Chou and Wang (2002).

$$x_{k_L}^{n-1} = \sum_{j=-\infty}^{\infty} f_{2k-j} x_j^n \quad (10)$$

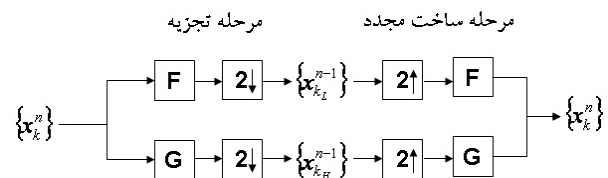
همین عملیات توسط فیلترهای بالا گذر (G) با دنباله $\{g_k\}$ برای تحلیل فرکانس‌های بالا انجام می‌گیرد و ضرایب تولید شده $\{x_{k_H}^{n-1}\}$ ضرایب موجک نامیده می‌شوند (Chou and Wang (2002):

$$x_{k_H}^{n-1} = \sum_{j=-\infty}^{\infty} g_{2k-j} x_j^n \quad (11)$$

در هر دو حالت طی عملیات تلفیق، تعداد داده‌های دنباله $\{x_k^n\}$ به نصف تقلیل می‌یابد. برای ساخت مجدد سیگنال $\{x_k^n\}$ ، با افزودن صفر بین عناصر دنباله‌های فیلتر شده، طول آنها دو برابر شده و سپس از همان فیلترهای بالاگذر و پایین گذر عبور داده می‌شوند:

$$x_k^n = \sum_{j=-\infty}^{\infty} f_{2j-k} x_{j_L}^{n-1} + \sum_{j=-\infty}^{\infty} g_{2j-k} x_{j_H}^{n-1} \quad (12)$$

(Daubechies (1992) قیودی که لازم است توسط فیلترهای بالاگذر و پایین گذر ارضا شود را ارائه نمود که منجر به حل همزمان یک سری معادلات غیرخطی برای تعیین دنباله‌های $\{f_k\}$ و $\{g_k\}$ می‌گردد. موجک‌هایی که وی بر اساس طول فیلترها $(2N)$ ارائه نمود به صورت db_N نمایش داده می‌شود. عملیات تجزیه می‌تواند مجدداً برای ضرایب مقیاس $\{x_{k_L}^{n-1}\}$ ادامه یابد. تجزیه متوالی سیگنال به این صورت را آنالیز چند ریزه گی^۶ (MRA) می‌نامند.



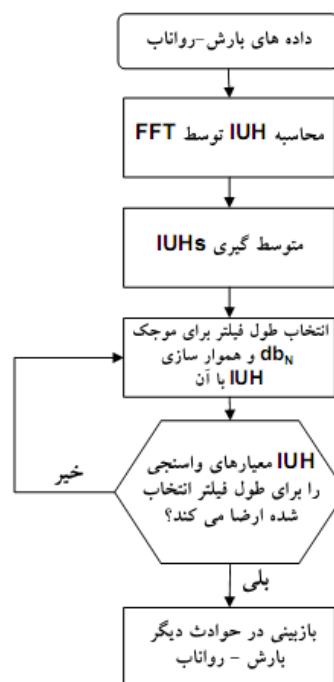
شکل ۲- مراحل تجزیه و ساخت مجدد سیگنال Daubechies (1992)

تعداد سطوح تجزیه به ماهیت اغتشاش و $\log_2 L$ بستگی داشته که L تعداد نقاط داده در سیگنال است. برای کاهش نوسانات در سیگنال، می‌توان آستانه‌ای را برای ضرایب موجک $\{x_{k_H}^{n-1}\}$ انتخاب

بارش موثر خود تلفیق شده و هیدروگراف‌های رواناب مستقیم با مقادیر مشاهده شده مقایسه گردید که نتایج آن در ستونهای ۴ تا ۶ جدول ۱ ارائه شده است. این جدول نشان می‌دهد که متوسط مقادیر EQ_p ، ET_p و CE به ترتیب برابر $۲/۵۳$ ، $۰/۳۳$ دقیقه و ۹۶ درصد رضایت بخش بوده و FFT توانسته به خوبی هیدروگراف‌های واحد لحظه‌ای هر حادثه را تخمین بزند.

برای رسیدن به یک IUH بدون نوسان، ابتدا تمامی آنها بر اساس دبی اوج در زیر هم قرار گرفته و سپس از آنها میانگین‌گیری می‌شود. شکل ۴ هیدروگراف متوسط‌گیری شده را نشان می‌دهد که دبی اوج آن برابر $۱۶/۹۰ \text{ cms/mm}$ است.

در این شکل دیده می‌شود که هیدروگراف متوسط‌گیری شده دارای مقادیر منفی و شکل آن نوسان دارد. برای حذف نوسانات، موجکهای نوع db_N برای $N = 1, 2, \dots, 10$ (با طول فیلتر ۲ تا ۲۰) در نظر گرفته می‌شود. با توجه به اینکه IUH متوسط‌گیری شده دارای ۲۶۸ نقطه داده است، بنابراین حداکثر تا ۸ سطح ($\log_2 268$) قابل تجزیه است. در هر سطح از تجزیه، IUH می‌تواند مجدداً توسط ضرایب مقیاس تقریب زده شود. نتایج به طور موردی برای db_3 در شکل ۵ و در ۴ سطح اولیه نشان داده شده است. در این شکل ملاحظه می‌گردد که با افزایش سطح تجزیه از Q_p کاسته شده ولیکن IUH هموارتر می‌گردد. این هیدروگراف‌ها حاوی اطلاعات فرکانس کم بوده و روند کلی تغییرات را نشان می‌دهند.



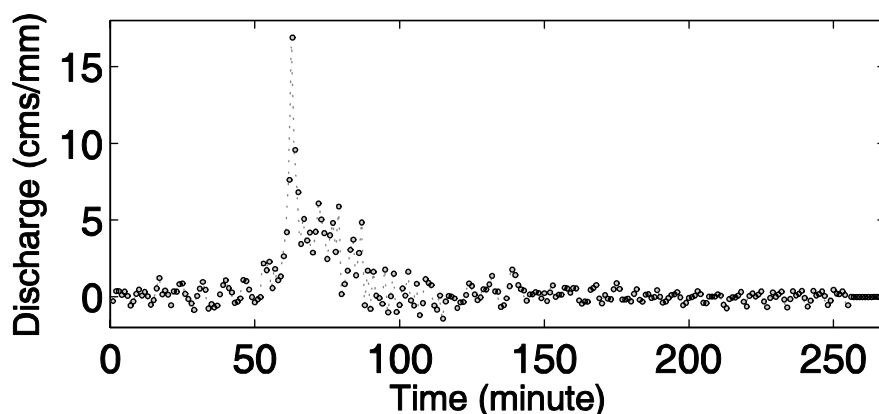
شکل ۳- مراحل استخراج هیدروگراف واحد لحظه‌ای توسط MRA و FFT

۴- بررسی نتایج

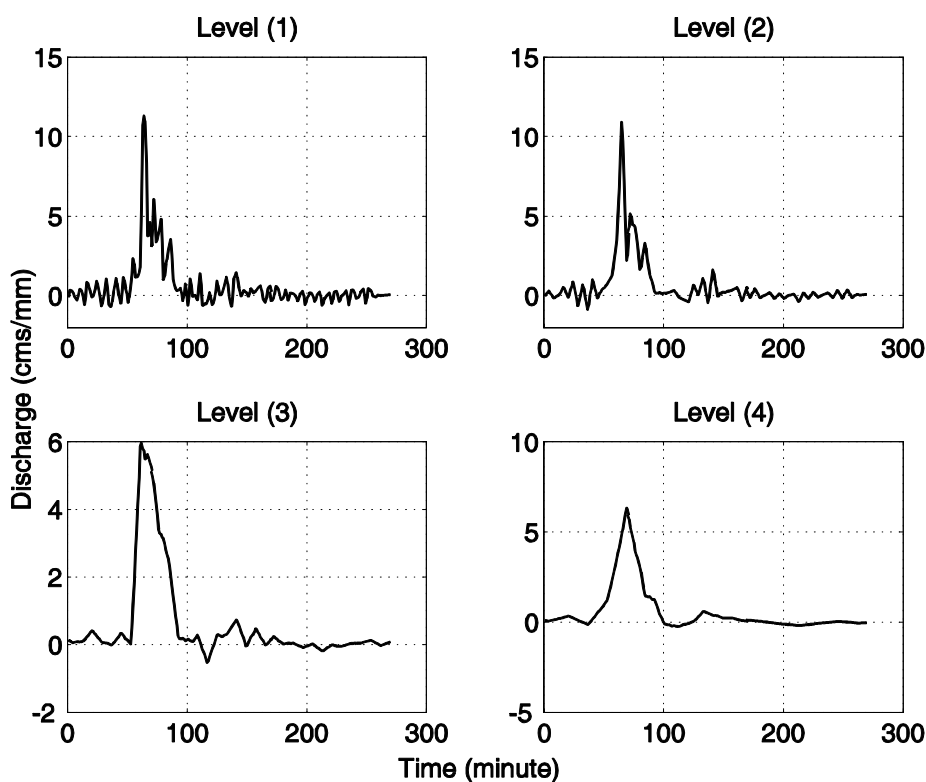
جدول ۱ نتایج حاصل از استخراج IUH توسط روش FFT برای ۹ حادثه را نشان می‌دهد که مقادیر متوسط ارزیابی‌ها در ردیف آخر ارائه شده است. ستونهای ۲ و ۳ مقادیر دبی اوج Q_p و زمان وقوع آن T_p برای هر IUH می‌باشند. تفاوت مقادیر Q_p و T_p در ۹ حادثه نشان دهنده این است که فرضیات خطی بودن روابط بارش - رواناب منجر به عدم یگانگی IUH می‌گردد. در مرحله بعد هر IUH

جدول ۱- نتایج حاصل از استخراج IUH با استفاده از روش FFT

تاریخ (میلادی)	۱	۲	۳	۴	۵	۶
	Q_p (cms/mm)	T_p (min)	EQ_p (%)	ET_p (min)	CE	
۷۰/۸/۱۰	۲۶/۶۲	۶۳/۰	-۰/۱۸	۰/۰	۱/۰۰	
۷۰/۹/۸	۱۳/۱۵	۱۲/۰	-۰/۰۲	۰/۰	۱/۰۰	
۷۱/۷/۲۳	۹/۴۱	۴/۰	۰/۲۹	۰/۰	۱/۰۰	
۷۱/۷/۲۴	۱۲/۲۶	۳۱/۰	۰/۰۰	۲/۰	۱/۰۰	
۷۱/۸/۱۲	۱۳/۱۲	۲۸/۰	۰/۱۶	۰/۰	۱/۰۰	
۷۳/۷/۲۷	۲۴/۹۹	۳/۰	-۱/۷۰	۰/۰	۰/۹۷	
۷۵/۷/۱۲	۲۴/۱۸	۱۰/۰	۱۰/۲۷	۰/۰	۰/۹۵	
۷۷/۸/۱۵	۱۶/۷۴	۸/۰	۰/۵۹	۰/۰	۰/۹۹	
۷۷/۹/۲۶	۱۱/۶۸	۴۸/۰	۹/۵۴	۱/۰	۰/۷۳	
متوسط (مطلق)	۱۶/۹۱	۲۳/۰	۲/۵۳	۰/۳۳	۰/۹۶	



شکل ۴- IUH متوسط گیری شده که از ۹ حادثه استخراج شده است.



شکل ۵- ساخت مجدد IUH متوسط گیری شده در ۴ سطح توسط ضرایب مقیاس

جدول ۱ تلفیق گردید تا هیدروگراف رواناب محاسبه شده برای این حوادث استخراج گردد. تلفیق بارندگی با IUH توسط فرم گسسته معادله (۱) انجام می‌گیرد. معیارهای واسنجی برای مقایسه هیدروگرافهای محاسبه و مشاهده شده به کار گرفته شدند که مقادیر متوسط آنها برای ۹ حادثه در جدول ۲ ارائه شده است. جدول ۲ نشان می‌دهد که تغییر طول فیلتر تأثیر کمی در مقدار خطای دبی اوج داشته و حداکثر تغییرات آن $4/18$ بین db_1 و db_2 است. میزان تغییرات در خطای زمان دبی اوج بیشتر بوده و از $3/22$ - در

مقایسه بین سایر فیلترها نشان می‌دهد که تجزیه در سطح ۴، هیدروگراف واحد لحظه‌ای بدون نوسانی را تولید می‌نماید. بنابراین در این سطح و برای هر طول فیلتر، IUH استخراج گردید که جمعاً ۱۰ نوع از این هیدروگرافها تولید شد. برای اینکه حجم رواناب ناشی از IUH برابر واحد گردد، ابعاد هیدروگرافها با توجه به نسبت مساحت حوضه به حجم رواناب تولیدی از IUH تنظیم شدند. همچنین از مقادیر منفی صرفنظر و هر IUH از محدوده تغییرات مثبت آن به دست آمد. در مرحله بعد IUHها به طور جداگانه با ۹ حادثه بارش

جدول ۳- ارزیابی IUH حاصل از db_3 در ۵ حادثه بارش -

رواناب

۴	۳	۲	۱
CE	ET_p	EQ_p	تاریخ (میلادی)
۰.۵۰	۷/۰۰	-۸/۹۸	۷۱/۸/۱۰
۰/۳۵	۱۸/۰۰	-۵/۸۹	۷۵/۷/۱۷
۰/۸۸	-۹/۰۰	۸/۰۷	۷۱/۸/۱۸
۰/۹۲	۳/۰۰	-۳۹/۰۰	۷۴/۱۰/۲۲
۰/۸۰	-۷/۰۰	-۳۸/۶۳	۷۴/۸/۱
۰/۶۹	۸/۸	۲۰/۱۱	متوسط (مطلق)

۵- خلاصه و نتیجه گیری

در این مقاله با استفاده از تبدیل فوریه سریع، هیدروگراف واحد لحظه‌ای حوضه استخراج گردید. هیدروگراف‌های به دست آمده نوسانی بوده که این امر به دلیل فرض خطی بودن بارش - رواناب در تئوری هیدروگراف واحد است. همچنین تغییرات بستر آبراه‌ها و فرسایش پذیری حوضه باعث می‌گردند که مشخصه‌های اصلی IUH از حادثه‌ای به حادثه دیگر متفاوت باشند. با توجه به نوسانی بودن هیدروگراف‌های به دست آمده، از تئوری موجک‌ها جهت حذف نوسانات استفاده شد. چون انتخاب فیلتر مناسب برای موجک همواره یکی از مشکلات اساسی استفاده از آنها است، بنابراین این انتخاب به گونه‌ای صورت پذیرفت که حداکثر انطباق بین هیدروگراف‌های مشاهداتی و محاسباتی در مرحله واسنجی به وجود آید. روش ارائه شده در این مقاله برای انتخاب موجک باعث می‌گردد تا موجک با در نظر گرفتن قیود واسنجی انتخاب شود و تصمیم‌گیری را برای انتخاب بهترین گزینه از بین گزینه‌های متفاوت آسان سازد. دیده شد که معیار کارائی تابعی از معیار خطا در زمان دبی اوج بوده و بنابراین در انتخاب نوع فیلتر مناسب برای موجک، معیار کارائی حذف گردید. با انتخاب طول فیلتر از مرحله واسنجی، کلیه اطلاعات فرکانس بالا حذف و هیدروگراف نوسانی توسط اطلاعات فرکانس کم در آن تقریب زده شد. نتایج بدست آمده از این مطالعه مشخص نمود که تبدیل فوریه سریع و تئوری موجک‌ها ابزار مناسبی برای استخراج هیدروگراف واحد لحظه‌ای و تحلیل حوادث سیلاب هستند. همچنین معادله حاکم بر تعیین IUH در روش تبدیل فوریه سریع، قابل درک و دارای سرعت بالا در محاسبات است.

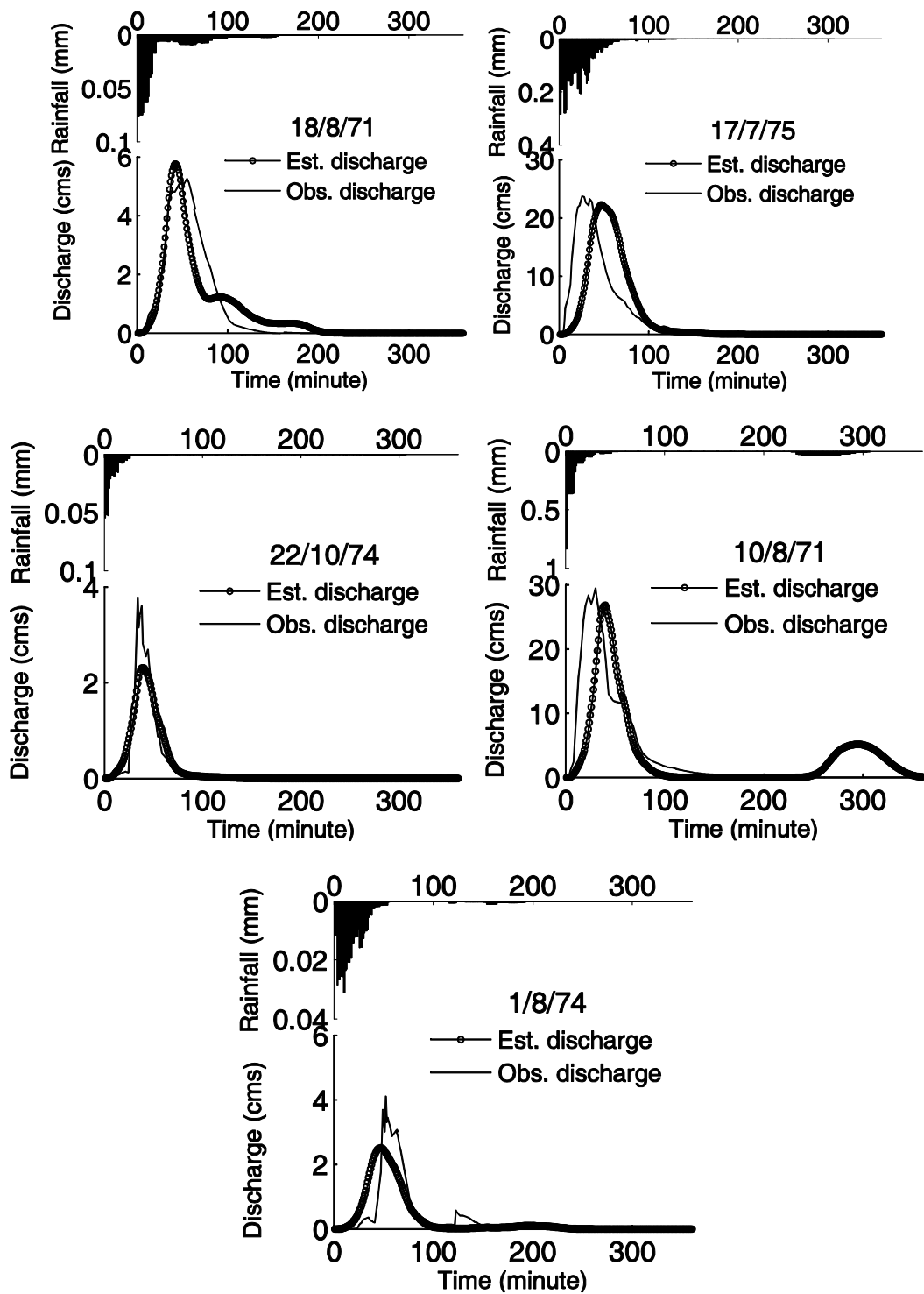
db_3 تا ۳۶/۶۷ در db_1 دیده می‌شود. چون ضریب کارائی تابعی از میزان جابجایی هیدروگراف محاسبه شده نسبت به هیدروگراف مشاهده شده است، بنابراین میزان خطا در ET_p تأثیر مستقیم بر روی ضریب کارائی دارد. همانطوری که در جدول دیده می‌شود در db_3 و db_9 که میزان ET_p حداقل است، مقادیر CE حداکثر است. بنابراین به علت وابستگی ضریب کارائی به خطای زمان دبی اوج، موجک مناسب با توجه به EQ_p و ET_p تعیین گردید. بر این اساس با توجه به جدول ۲، هیدروگراف واحد لحظه‌ای حاصل از db_3 به عنوان بهترین گزینه انتخاب و در ۵ حادثه بارش - رواناب دیگر بررسی شدند. با توجه به مقدار خطای متوسط ۳/۲۲- در ET_p ، هیدروگراف‌های محاسبه شده در ۵ حادثه اخیر به همین میزان به سمت راست جابجا می‌گردند. نتایج در جدول ۳ ارائه شده و همانطور که ملاحظه می‌شود تصحیح خطای ET_p از مرحله قبل اثر مناسبی را بر روی مقادیر ET_p و CE در این مرحله داشته است.

جدول ۲- متوسط مقادیر ارزیابی IUH برای فیلترهای متفاوت

در ۹ حادثه بارش - رواناب

۴	۳	۲	۱
CE	ET_p	EQ_p	db_N
۰/۱۷	۳۶/۶۷	۲۹/۲۸	$db_1 \approx Haar$
۰/۳۰	-۱۷/۱۱	۲۵/۱۰	db_2
۰/۴۸	-۳/۲۲	۲۶/۸۸	db_3
۰/۴۲	-۷/۲۲	۲۷/۲۳	db_4
۰/۳۴	-۱۴/۸۹	۲۶/۰۵	db_5
۰/۱۴	۳۵/۰۰	۲۷/۱۱	db_6
۰/۳۸	-۱۰/۱۱	۲۶/۷۶	db_7
۰/۳۴	-۱۴/۷۸	۲۶/۶۲	db_8
۰/۴۳	-۵/۶۷	۲۷/۶۹	db_9
۰/۳۷	-۱۱/۲۲	۲۶/۵۷	db_{10}

شکل ۶ تغییرات هیدروگراف مشاهداتی در مقابل محاسباتی را برای ۵ حادثه اخیر نشان می‌دهد. همانطور که دیده می‌شود انطباق قابل قبولی بین هیدروگراف‌ها وجود داشته و روش اتخاذ شده را مناسب نشان می‌دهد. در عین حال به دلیل اینکه جریان‌های کم که ناشی از بارش‌های سبک بوده به نحوه محاسبه تلفات بارندگی حساستر هستند، مقادیر دبی اوج در شکل‌های ۶ (ج) و (د) کمتر برآورد گردیده است.



شکل ۶- بررسی IUH هموار شده توسط db_3 در ۵ حادثه بارش - رواناب

6- Multi-resolution Analysis
7- Hard-thresholding

پی نوشتها

۷- مراجع

Chou, C., and Wang, R. (2002), "On-Line estimation of unit hydrograph using the wavelet-based LMS

- 1- Instantaneous Unit Hydrograph
- 2- Convolution
- 3- Fast Fourier Transform
- 4- System Identification
- 5- Continues Wavelet Transform

- Method and Noise Control by Digital Filtering*, Indian Water Resources Research Centre, TR/20.
- Rao, R. A., and Delleur, J. W. (1974), "Instantaneous unit hydrographs, peak discharges and time lags in urban basins," *hydrological Sciences Bulletin*, 6, pp. 185-198.
- Satish, L., and Nazneen, B. (2003), "Wavelet-based denoising of partial discharge signals buried in excessive noise and interference," *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, 10, pp. 354-367.
- Sherman, L. K. (1932), "Streamflow from rainfall by the Unit-Graph method," *Engineering New Record*, 108, pp. 501-505.
- Soman, K. P., and Ramachandran, K. I. (2005), *Insight into Wavelets: From Theory to Practice*, Prentice Hall of India.
- SWRC (Southwest Watershed Research Center) – ARS (Agricultural Research Service) – USDA (United States Department of Agriculture), (2007), Southwest Watershed Research Center & WALNUT GULCH Experimental Watershed, ww.ars.usda.gov.
- algorithm," *Hydrological Science J*, 47(5), pp. 721-737.
- Chow, V. T., Maidment, D. R., and Mays, L. W. (1988), *Applied Hydrology*, McGraw-Hill Series in Water Resources and Environmental Engineering.
- Daubechies, I. (1992), *Ten Lectures on wavelets*, SIAM.
- Donoho, D. L., and Johnstone, I. M. (1998), "Attempting to unknown smoothness via wavelet shrinkage," *Annual Statistic*, 90, pp. 1200–1224.
- Huthmann, G. (1975) "Short-term forecasting of streamflow with the aid of multiple frequency response functions," *IAHS*.
- Kharate, G. K., Patil, V. H., and Bhale, N. L. (2007), "Selection of mother wavelet for image compression on basis of nature of image," *J Multimedia*, 2, pp. 44-51.
- Levi, E., and Valdes, R. (1964), "A method for direct analysis of hydrographs," *J Hydrology*, 2, pp. 182-190.
- O' Flynn, M., and Moriarty, E. (1987), *Linear systems: Time Domain and Transform Analysis*, Wiley.
- Rao, A., and Delleur, J. W. (1971), *The Instantaneous Unit Hydrograph: It's Calculation by the Transform*