

برآورد رواناب با استفاده از مدل مخزن ساده در حوضه معرف رود دز

حجت اله آلاله^۱، محسن شفیعی نیا^۲، فاطمه بدیعی^۳

۱- گروه سازه‌های هیدرولیکی، واحد دزفول، دانشگاه آزاد اسلامی، دزفول، ایران

۲- گروه مهندسی سازه، واحد شوشتر، دانشگاه آزاد اسلامی، شوشتر، ایران

۳- دانشجوی دکتری مهندسی پزشکی - بیومکانیک، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۸۹/۴/۲۰

تاریخ پذیرش: ۱۳۸۹/۶/۸

چکیده

جریان آب‌های سطحی یا رواناب از جمله عوامل موثر در مطالعات و اجرای پروژه‌های آبی و حاکی در مناطق خشک و نیمه خشک می باشد. مدیریت سیلاب یکی از این عوامل تاثیر گذار بوده که ضمن مهار جریان های مخرب در استحصال این منابع تجدید شونده تاثیر بسزایی دارد. هدف از مطالعه حاضر برآورد میزان رواناب با مدل مخزن ساده در حوضه رودخانه دز در ایستگاه تله زنگ می باشد. در این پژوهش استفاده از مدل ریاضی میزومورا (۱۹۹۵) بمنظور شبیه سازی فرایند بارش - رواناب در یک حوضه استفاده شده و از اطلاعات شاخه های صعودی و نزولی هیدروگراف های حوضه استفاده شده است. مخزن آب شامل یک سطح مقطع عرض افقی بوده که تابعی از عمق آب می باشد و از شاخه فروکش هیدروگراف سیلاب محاسبه شود. همچنین کل عمق آب داخل مخزن و سرعت نفوذ آن که زمان تأخیر بین بارش و رواناب را کنترل می کنند، از شاخه صعودی هیدرو گراف جریان قابل محاسبه می باشند. این مدل در حوضه معرف رودخانه دز برای پیش بینی سیلاب به کار برده شده و نتایج حاصل از این پژوهش حاکی از آن است که هیدروگراف های محاسباتی و مشاهداتی با هم تطابق خوبی دارند. و رابطه بین بارش-رواناب در این مدل بصورت خطی می باشد. همچنین شیب منحنی فروکش برای جریان های مختلف زیر سطحی و زیرزمینی ثابت بوده لکن برای جریان های مختلف سطحی تغییر می یابد.

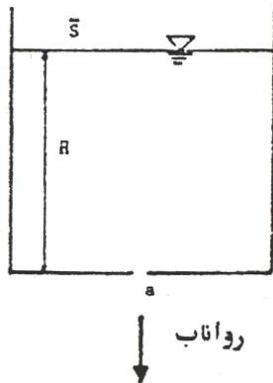
واژه های کلیدی: رواناب، مدل مخزن، رودخانه دز، هیدروگراف ۱۳

مقدمه

ابعاد طرحهای آبی در روی سیستم رودخانه ها تاثیر بسزایی دارد و تنها نمی توان به تخمین های ساده و با تقریب بالا متوسل شد و نیاز به بررسی و مطالعه دقیق در این مورد کاملاً محسوس است ارزیابی ابعاد محتمل سیلاب در طراحی تاسیسات هیدرولیکی یکی از عمده ترین مباحث علم هیدرولوژی را تشکیل می دهد. زمینه های بهره گیری از شیوه های مختلف امروزه گسترش فوق العاده ای یافته است. بنحوی که پیش بینی های لازم در جهت ایجاد ایمنی برای کلیه مستحدمات کشاورزی، صنعتی، حمل و نقل و غیره همه در گرو برآورد منطقی و متکی بر پایه های علمی و تجربی

مدیریت پایدار منابع آب تجدید شونده پشت سدها در مناطق خشک و نیمه خشک از اهمیت زیادی برخوردار است. لذا رواناب نیز نقش بسزایی در تامین منابع آب پشت سدها و تاسیسات آبی دارد که مطالعه این پدیده میتواند ضمن استحصال آب موردنیاز در مدیریت بهره برداری و نگهداری از تاسیسات نیز موثر می باشد. رواناب زمانی به وجود می آید که شدت بارندگی از ظرفیت نفوذ آب به داخل خاک بیشتر باشد. پیش بینی و برآورد میزان رواناب سطحی در فاصله های مورد نظر بطور مسلم در تصمیم گیری و تعیین

بطوریکه t زمان در q_0 و α پارامتری است که از اطلاعات مشاهداتی دبی رواناب بدست می آید.



شکل ۱- مخزن ساده

متاسفانه او درباره سه مولفه در منحنی فروکش و رابطه ی بین بارش و رواناب نتوانست بحث کند. Hasebe, Hino, خروجی رواناب را به سه قسمت تقسیم کردند، (جریان سطحی، جریان زیر سطحی، جریان زیر زمینی) و نتایج خوبی بدست آورد. آنها نشان دادند رابطه بین باران و رواناب، به صورت خطی هست. اگر خروجی رواناب به سه مولفه جریان تقسیم شود، بارندگی در یک حوضه، بصورت جریان سطحی و نفوذ و تراوش از میان مناطق اشباع شده و غیر اشباع نشده همانطور که در شکل (۲) نشان داده شده است، می باشد. جریان جویباری فرض می شود که از سه جریان سطحی و جریان زیر سطحی و جریان زیر زمینی تشکیل می شود. در این مطالعه یک حوضه به صورت یک مخزن آب ساده در نظر گرفته می شود که در آن سطح مقطع عرضی افقی از اطلاعات منحنی فروکش حوضه تعیین می شود، این یک مدل مفهومی ساده است که مقادیر پارامترهای مربوطه اساس فیزیکی دارند و مدل به آسانی برای پیش بینی رواناب استفاده می شود.

پارامترهایی است که هر یک در محاسبه سیلاب و ابعاد آن مداخله دارند.

مطالعه حاضر به بررسی و برآورد رواناب در حوضه رود دز با مدل مخزن ساده اختصاص یافته است.

مروری بر تحقیقات گذشته

قسمت های صعودی و همچنین منحنی فروکش یک هیدروگراف حوضه آبخیز اطلاعات با ارزشی دارد که میتواند برای ایجاد یک مدل ریاضی حوضه استفاده شود [۱]. Linsely و همکاران (۱۹۵۸) و bras (۱۹۹۰) تعیین کردند که منحنی فروکش با یک معادله کاهش پارامتری به صورت بالا توصیف می شود.

$$q_t = q_0 K_r^t \quad (۱)$$

بطوریکه q_0 جریان در هر زمان، q_t جریان در زمان t و K_r پارامتری است که از منحنی فروکش تعیین می شود. Barnes (۱۹۴۰) پیشنهاد داد که منحنی فروکش را میتوان با سه خط مستقیم روی یک نمودار شبه لگاریتمی تقریب زد. Sugawara (۱۹۷۲) پاسخ حوضه آبخیز شبیه سازی شده بوسیله یک مدل مفهومی مخزن آب ارائه داد. مدل مخزن که در شکل ۱ نشان داده شده است سعی دارد تا فرایند بارش-رواناب را با استفاده از ترکیب چندین مخزن آب شبیه سازی میکند. مدل مخزن sugawara یک یا دو خروجی در دیواره مخزن آب برای شبیه سازی خروجی رواناب دارد. sugawara در پیش بینی خروجی رواناب از باران موفق شد اما این مدل نتوانست پدیده های فیزیکی را در مخزن تشریح کند و تعیین پارامترها در مدل فوق مشکل می باشد [۹]. Mizumura, Chiu (۱۹۸۵) مدل مخزن در ارتباط رواناب از باران و ذوب برف با یک فیلتر kalman به کار بردند [۶، ۸]. Shidawara (۱۹۷۲) مدل رواناب بارش با استفاده از منحنی فروکش پیشرفت داد. از معادله زیر برای تقریب منحنی فروکش استفاده کرد.

$$q_t = q_0 (t + t_0)^{-\alpha} \quad (۲)$$

رابطه (۹) بصورت زیر می‌توان نوشت:

$$-S\left(\frac{dh}{dt}\right) = \sqrt{2gh} \quad (10)$$

که در اینجا h, S به ترتیب، سطح مقطع و ارتفاع یا عمق آب اصلاح شده می‌باشند.

معادله منحنی فروکش یا برگشت هیدروگراف

بصورت زیر می‌باشد:

$$Q = C \exp\{-kt\} \quad (11)$$

که در آن C : دبی در زمان $t=0$ و k = ضریب

تخلیه یا کاهش که بستگی به خصوصیات فیزیکی

حوضه آبریز دارد. اگر بخواهیم مخزن حوضه را در

طبیعت مدل کند، باید تخلیه از مدل با تخلیه از

حوضه که همان شاخه نزولی یا منحنی فروکش

هیدروگراف می‌باشد، از یک معادله پیروی

کنند. همانطور که قبلاً گفته شد، دبی خروجی از

مخزن برابر است با:

$$Q = C_d a u = C_d a \sqrt{2g} \frac{h}{C_d^2 a^2} \Rightarrow Q = \sqrt{2gh} \quad (12)$$

و لذا پس از برابر قرار دادن معادله (۱۱) و (۱۲)

داریم: $\sqrt{2gh} = C \exp\{-kt\}$ و یا:

$$h = C^2 / 2g \exp\{-2kt\} \quad (13)$$

اگر S در معادله (۱۰) تابعی از h باشد ($S=f(h)$),

معادله (۱۰) بصورت زیر تغییر شکل می‌دهد:

$$-f(h) \frac{dh}{dt} = \sqrt{2gh} \quad (14)$$

و داریم $f(h) = \frac{\sqrt{2g}}{2k} \times \frac{1}{\sqrt{h}}$ با

فرض $A = \frac{\sqrt{2g}}{2k}$ داریم:

$$f(h) = A / \sqrt{h} \quad (15)$$

بنابراین شکل تابع $S=f(h)$ معین گردید. در رابطه

(۱۵)، A یک ضریب ثابت می‌باشد. شکل تابع $f(h)$

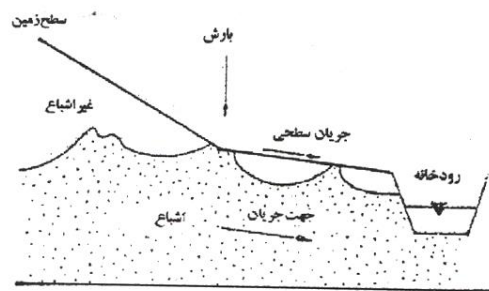
در شکل (۳) بیان شده است. با جایگذاری (۱۵) در

(۱۴) و حل معادله برای عمق آب h داریم:

$$C_1 = \frac{C^2}{2g} \quad h = \frac{C^2}{2g} \cdot \exp\left\{-\sqrt{2g} \cdot \frac{t}{A}\right\}$$

نتیجه می‌شود:

$$h = C_1 \cdot \exp\left\{-\sqrt{2g} \cdot \frac{t}{A}\right\} \quad (16)$$



شکل ۲- تشریح مرحله‌ی بارش - رواناب

رابطه بین منحنی‌های فروکش و مدل مخزن

با توجه به شکل (۱) و نوشتن معادله برنولی بین

سطح مخزن و خروجی از کف مخزن داریم:

$$\left(\frac{P}{\gamma}\right)_s + \left(\frac{u^2}{2g}\right)_s + H = \left(\frac{P}{\gamma}\right)_0 + \left(\frac{u^2}{2g}\right)_0 + 0 \quad (3)$$

با فرض ناچیز بودن سرعت افت تراز سطح آب و

قرار دادن $\left(\frac{P}{\gamma}\right)_s = \left(\frac{P}{\gamma}\right)_0 = 0$ داریم:

$$u = \sqrt{2gH} \quad (4)$$

که در آن u = سرعت جریان خروجی از

مخزن H = ارتفاع آب داخل مخزن و g = شتاب

ثقل می‌باشد. اگر سطح مقطع روزنه خروجی a باشد،

دبی نظری خروجی از مخزن به صورت زیر خواهد بود:

$$Q = au = a\sqrt{2gH} \quad (5)$$

بالاخره اگر ضریب دبی خروجی را به C_d نشان

دهیم، دبی حقیقی خروجی از مخزن چنین خواهد بود:

$$Q = C_d a u = C_d a \sqrt{2gH} \quad (6)$$

با به کار بردن معادله پیوستگی بین سطح آب و

خروجی آب از مخزن داریم:

$$C_d a u = -\frac{d(\bar{S}H)}{dt} = -\bar{S} \frac{dH}{dt} \quad (7)$$

\bar{S} سطح مقطع مخزن

با فرض $h = C_d^2 a^2 H$

$$\frac{dh}{dt} = C_d^2 a^2 \frac{dH}{dt} \Rightarrow \frac{dH}{dt} = \frac{1}{C_d^2 a^2} \frac{dh}{dt} \quad (8)$$

پس از قرار دادن رابطه اخیر در رابطه (۷) و فرض

اینکه $S = \bar{S} / C_d^2 a^2$ خواهیم داشت:

$$C_d a u = -\frac{\bar{S}}{C_d^2 a^2} \frac{dh}{dt} = -S \frac{dh}{dt} \quad (9)$$

تراز کنونی آب برسد [۷]. بعبارت دیگر اگر ارتفاع ماکزیمم آب در مخزن را با h_{max} و ارتفاع کنونی را با h نمایش دهیم، زمان تأخیر برابر است با :

$$t_L = (h_{max} - h) / C_i \quad (21)$$

که در آن $C_i =$ سرعت نفوذ آب در مخزن می باشد. معادله پیوستگی برای حوضه بصورت زیر می باشد:

$$R(t - t_L) - Q(t) = \frac{dv}{dt} \quad (22)$$

که در اینجا $R(t - t_L)$ برابر کل بارش مازاد در حوضه در زمان $t - t_L$ می باشد. V حجم آب ذخیره شده در حوضه می باشد که می توان آن را به صورت زیر محاسبه نمود :

$$V = \int_0^h S dh = \int_0^h f(h) dh = 2A\sqrt{h} \quad (23)$$

اگر از رابطه (۲۲) انتگرال گیری کنیم، با توجه با اینکه $dv = sdh$ خواهیم داشت :

$$\int_t^{t+\Delta t} \{R(t - t_L) - Q(t)\} dt = \int_h^{h'} S dh \quad (24)$$

که در آن h, h' به ترتیب عمق های آب در زمان های $t, t + \Delta t$ می باشد. از بکار بردن معادلات (۱۰) و (۱۵) در معادله (۲۴) داریم :

$$\left[\frac{1}{\Delta t} \int_t^{t+\Delta t} R(t - t_L) dt - \frac{\sqrt{2gh'} + \sqrt{2gh}}{2} \right] \cdot \Delta t = \int_h^{h'} \frac{A}{\sqrt{h}} dh \quad (25)$$

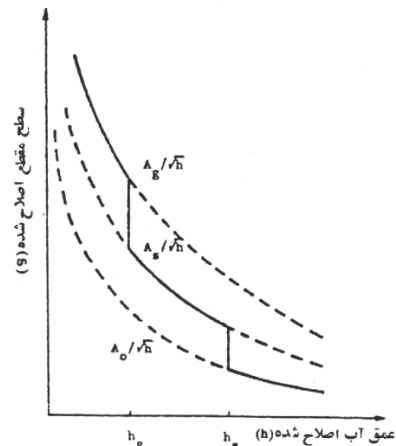
که در آن: $\int_t^{t+\Delta t} Q(t) dt = \frac{\Delta t}{2} (\sqrt{2gh'} + \sqrt{2gh})$ می باشد. اگر $\bar{R} = \frac{1}{\Delta t} \int_t^{t+\Delta t} R(t - t_L) dt$ باشد، معادله (۲۵) بصورت زیر در می آید:

$$\left[\bar{R} - \frac{\sqrt{2gh'} + \sqrt{2gh}}{2} \right] \cdot \Delta t = 2A(\sqrt{h'} - \sqrt{h}) \quad (26)$$

در نتیجه عمق آب در زمان $t + \Delta t$ یعنی h' برابر است با :

$$h' = \left[\frac{\bar{R}\Delta t + 2A\sqrt{h} - \Delta t\sqrt{gh/2}}{2A + \Delta t\sqrt{g/2}} \right]^2 \quad (27)$$

بدیهی است عمق آب برای هر مولفه رواناب در زمان $t + \Delta t$ برابر است با :



شکل ۳- رابطه بین سطح مقطع اصلاح شده (s) و عمق آب اصلاح شده (h)

با مقایسه معادله های (۱۶) و (۱۳) داریم:

$$2K = \frac{\sqrt{2g}}{A} \quad (17)$$

معادله (۱۷) رابطه بین ضریب A و ضریب کاهش یا تخلیه K و یا به معنی دیگر رابطه بین مدل و حوضه آبریز می باشد. مقدار A را می توان از منحنی برگشت یا فروکش برای هر بخش ویژه مورد نظر تعیین نمود، بنابراین:

$$2K_0 = \frac{\sqrt{2g}}{A_0} \quad (18)$$

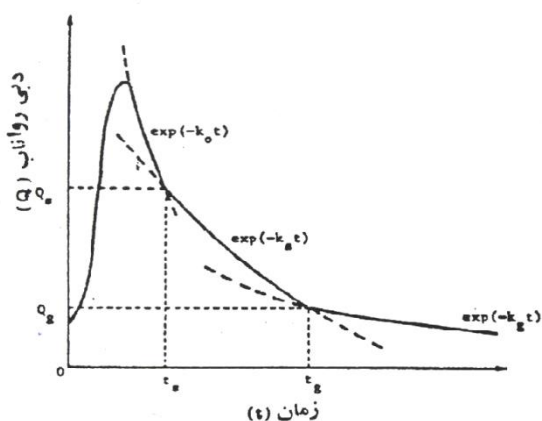
$$2K_s = \frac{\sqrt{2g}}{A_s} \quad (19)$$

$$2K_g = \frac{\sqrt{2g}}{A_g} \quad (20)$$

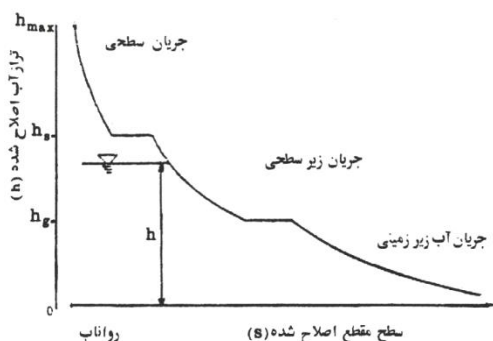
زیرنویس (o) مخصوص جریان سطحی (overland flow)، (s) مخصوص جریان زیر سطحی یا زیر لایه ای (subsurface flow)، (g) مخصوص جریان زیر زمینی (ground-water flow) می باشد.

ساختار مدل و روش محاسبات

در این مدل زمان تأخیر بین بارش و رواناب را بصورت زیر تعریف می کنیم. زمان تأخیر (t_L)، مدت زمانی است که در آن تراز آب از ماکزیمی مقدار خود تا



شکل ۴- نمایش پارامترهای Q_g, Q_s, K_g, K_s, K_o



شکل ۵- رابطه‌ی بین سطح مقطع اصلاح شده (S) و تراز آب اصلاح شده (h)

رابطه بین بارش و رواناب

اگر رابطه‌ی بین بارش و رواناب برای استفاده از مدل مخزن آب در نظر بگیریم، با جایگذاری آب ذخیره‌ی حوضه (۲۳) و معادله‌ی پیوستگی (۲۲) معادله‌ی زیر بوجود می‌آید.

$$R(t - t_1) - Q(t) = \tau A (d\sqrt{h}/dt) \quad (35)$$

از معادلات (۱۲) و (۱۷) و (۳۵) می‌توان نوشت:

$$R(t - t_1) - Q(t) = (I/k)(dQ/dt) \quad (36)$$

اگر k و t_1 ثابت باشند، $Q(t)$ یک معادله دیفرانسیل خطی می‌باشد. ضریب ثابت k از منحنی فروکش جریان رواناب بدست می‌آید. با وجود اینکه ضریب فروکش k وابسته به هر مؤلفه است، معادله دیفرانسیل (۳۶) خطی است. بنابراین رابطه‌ی بین بارش ملازاد و رواناب خطی می‌باشد.

$$h \geq h_s$$

$$h' = \left[\frac{2\bar{R}\Delta t + 4A_o\sqrt{h} - \Delta t\sqrt{2gh}}{4A_o + \Delta t\sqrt{2g}} \right]^2 \quad (28)$$

$$h_s \geq h \geq h_g$$

$$h' = \left[\frac{2\bar{R}\Delta t + 4A_s\sqrt{h} - \Delta t\sqrt{2gh}}{4A_s + \Delta t\sqrt{2g}} \right]^2 \quad (29)$$

$$h_g \geq h$$

$$h' = \left[\frac{2\bar{R}\Delta t + 4A_g\sqrt{h} - \Delta t\sqrt{2gh}}{4A_g + \Delta t\sqrt{2g}} \right]^2 \quad (30)$$

با داشتن h' و اینکه $Q = \sqrt{2gh'}$ ، دبی رواناب از رابطه‌ی زیر بدست می‌آید:

$$Q' = \sqrt{2gh'} = \frac{2K\bar{R}\Delta t + Q(2 - k\Delta t)}{2 + k\Delta t} \quad (31)$$

و بالاخره دبی برای هر مؤلفه‌ی رواناب در زمان $t + \Delta t$ برابر است با:

$$Q' = \frac{2k_o\bar{R}\Delta t + Q(2 - k_o\Delta t)}{2 + k_o\Delta t} \quad ; Q \geq Q_s \quad (32)$$

$$Q' = \frac{2k_s\bar{R}\Delta t + Q(2 - k_s\Delta t)}{2 + k_s\Delta t} \quad (33)$$

$$; Q_s \geq Q \geq Q_g$$

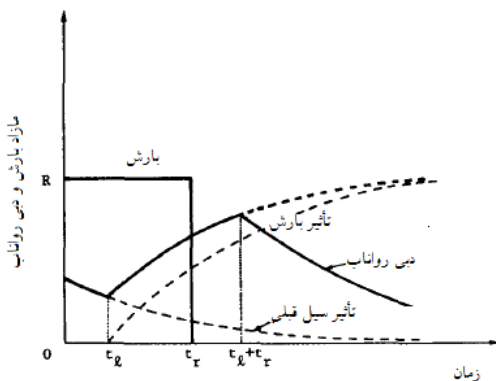
$$Q' = \frac{2k_g\bar{R}\Delta t + Q(2 - k_g\Delta t)}{2 + k_g\Delta t} \quad ; Q_g \geq Q \quad (34)$$

همانطور که قبلاً گفته شد، در روابط فوق زیر نویسه‌های g, s, o به ترتیب برای جریانهای سطحی، زیر سطحی و زیر زمینی بکار برده شده است. در شکل (۴) پارامترهای Q_g, Q_s, K_g, K_s, K_o نشان داده شده اند. باید توجه داشته باشیم که عموماً $k_g \leq k_s \leq k_o$ می‌باشد. همچنین در شکل (۵) رابطه‌ی بین سطح مقطع اصلاح شده (S) و تراز آب اصلاح شده نشان داده شده است. به شرط اینکه دبی رواناب اولیه معلوم باشد، با بکار بردن روابط (۲۷) الی (۳۴) دبی رواناب برای زمانهای متوالی محاسبه می‌شود.

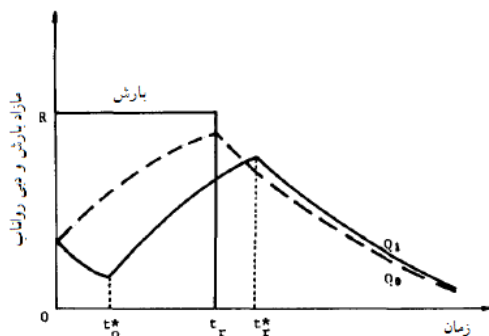
$$Q_1 = Q \Big|_{t=t_r^*} \exp(-k(t-t_r^*)); \quad (44)$$

$t \geq t_r^*$
 که در این معادلات $Q \Big|_{t=t_r^*} = [h_{max} - \{Q \Big|_{t=t_r^*}\} / \lambda] / c_1$ و $t_r^* = [h_{max} - \{Q \Big|_{t=t_r^*}\} / \lambda] / c_1$ است.

حل مرتبه صفر و اول بصورت شماتیکی در شکل (۷) نشان داده شده است. اگر ضرایب فروکش K_g, K_s, K_o بصورت یکسان و زمان تأخیر برای عمق‌های متفاوت آب در مخزن ثابت در نظر گرفته شود، معادله پیوستگی همانطور که در معادله (۳۶) نشان داده شده است، خطی می باشد. بنابراین غیرخطی‌های ظاهری که در هیدروگراف رواناب دیده می شود، در اثر مقادیر مختلف برای ضرایب فروکش و زمان‌های تأخیر متفاوت برای عمق‌های متغیر آب ایجاد شده است.



شکل ۶- رابطه بین بارش و رواناب



شکل ۷- حل مرتبه صفر و اول معادله (۳۵)

اگر زمان تأخیر t_1 برای عمق‌های متفاوت ثابت فرض شود، حل معادله ی (۳۶) بصورت زیر بدست می آید (شکل ۶).

$$Q(t) = Q \Big|_{t=t_1} \exp(-kt); \quad t \leq t_1 \quad (37)$$

$$Q(t) = \exp(-kt) \left[\int_{t_1}^t kR(t-t_1) \exp(k\tau) d\tau + Q \Big|_{t=t_1} \right]; \quad (38)$$

$$t_1 \leq t \leq t_1 + t_r$$

$$Q(t) = Q \Big|_{t=t_1+t_r} \exp(-k(t-t_1-t_r)); \quad (39)$$

$$t \geq t_1 + t_r$$

که در آن $K = \frac{\sqrt{2g}}{2A}$ و مدت زمان بارش t_r می باشد. اگر در معادله (۳۸) بارش مازاد R را ثابت در نظر بگیریم، معادل بصورت زیر خواهد شد:

$$Q(t) = [1 - \exp(-k(t-t_1))]R + Q \Big|_{t=t_1} \exp(-kt) \quad (40)$$

عبارت اول و دوم در معادله (۴۰) به ترتیب نشان دهنده‌ی تأثیر بارش کنونی و پیشین می باشد. با وجود اینکه، معادله (۳۶) خطی در نظر گرفته می شود، ولی شامل چهار پارامتر k_g, k_s, k_o و t_1 می باشد. این چهار پارامتر یک هیدروگراف تغییر شکل یافته را ایجاد می کنند که در آن با افزایش زمان شیب قسمت صعودی و منحنی فروکش به ترتیب تندتر و ملایم تر می شود.

در مرحله ی بعد، دبی رواناب را موقعی که زمان تأخیر ثابت نباشد محاسبه می کنیم. با فرض اینکه زمان تأخیر برابر صفر است، دبی رواناب بصورت زیر بدست می آید:

$$Q_s(t) = [1 - \exp(-kt)]R + \exp(-kt) Q \Big|_{t=t_1} \quad (41)$$

معادله بالا را حل مرتبه صفر در نظر می گیریم و مدت زمانی که آب از سطح بالایی به سطح کنونی در مخزن می رسد، بدست می آوریم، حل مرتبه اول بصورت زیر است:

$$Q(t) = Q \Big|_{t=t_0^*} \exp(-kt); \quad t \leq t_0^* \quad (42)$$

$$Q_1(t) = R[1 - \exp(-k(t-t_0^*))] + Q \Big|_{t=t_0^*} \exp(-k(t-t_0^*))$$

$$t_0^* \leq t \leq t_r^* \quad (43)$$

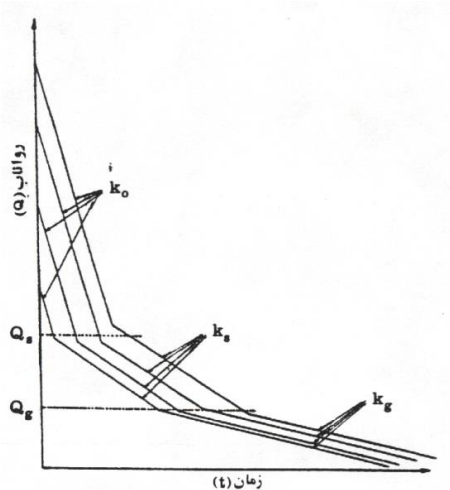
مواد و روش ها

برای شروع کار با مدل در ابتدا باید پارامترهای آن محاسبه شود. برای محاسبه پارامترها از منحنی‌های فروکش یا برگشت (recession curves) مشاهده ای در حوضه استفاده می شود. هرگاه شاخه نزولی یا منحنی برگشت هیدروگراف را بر روی کاغذ نیمه لگاریتمی ترسیم کنیم، این منحنی تقریباً به سه خط راست با شیب‌های متفاوت قابل تقسیم است. شیب این خطوط به ترتیب از بالا ضرائب تخلیه جریان سطحی (k_o) جریان زیر سطحی (k_s) و جریان زیر زمینی (k_g) می باشند. هرگاه تعدادی از این منحنی‌ها را در یک کاغذ نیمه لگاریتمی رسم کنیم خواهیم دید که شیب این منحنی‌ها تقریباً یکسان بوده و خطوط تقریباً با هم موازی هستند بخصوص در قسمت جریان زیر زمینی و جریان زیر سطحی، چرا که این ضرائب از خصوصیات فیزیکی حوضه بوده و مستقل از بارش می باشند. مطالب فوق در شکل (۸) بطور شماتیک نشان داده شده است. همانطور که در شکل (۸) مشاهده می شود، دبی رواناب در محل تغییر شیب از جریان سطحی به زیر زسطحی، Q_s و دبی رواناب در محل تغییر شیب از جریان زیر سطحی به زیرزمینی، Q_g را مشخص می سازد. با میانگین گرفتن از تعدادی از منحنی‌های برگشت مقدار Q_g ، Q_s بدست می آید. ارتفاع اولیه آب در تانک، h_o بیانگر مقدار ارتفاع آب باقیمانده از بارش قبل می باشد. اما مقدار آبی که در منطقه غیر اشباع حوضه ذخیره شده است در این مدل در نظر گرفته نمی شود. زمان تأخیر (t_L) در هر لحظه از رابطه (۲۱) قابل محاسبه می باشد. برای بدست آوردن h_{max} و C_i موجود در رابطه مذکور، ابتدا هیدروگراف را بدون زمان تأخیر محاسبه می کنیم. در شکل (۹) نمونه ای از هیدروگراف محاسبه شده بدون زمان تأخیر و هیدروگراف مشاهده ای نشان داده شده است. فرض کنید که زمان تأخیر هیدروگراف در دبی اوج و یک دبی دلخواه و معلوم مانند Q^* به ترتیب برابر t_1 و t_2 باشد اگر h_p ، h_*

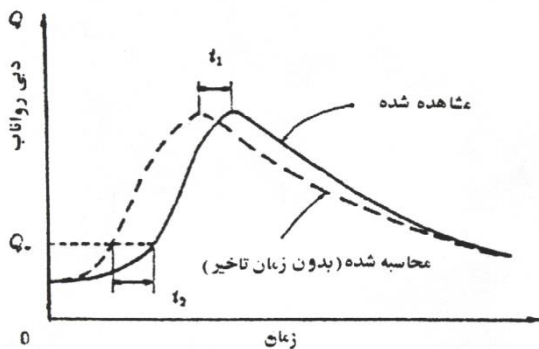
به ترتیب عمق آب مخزن در دبی اوج و دبی دلخواه و معلوم Q^* باشند، با فرض ثابت بودن می توان C_i می توان نوشت :

$$t_1 = \frac{h_{max} - h_p}{C_i} \quad (45)$$

$$t_2 = \frac{h_{max} - h_*}{C_i} \quad (46)$$



شکل ۸- نمایش شماتیک منحنی‌های فروکش در کاغذ نیمه لگاریتمی



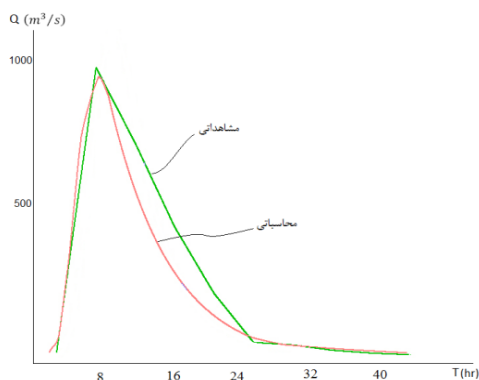
شکل ۹- محاسبه زمان تأخیر هیدروگراف

با حل همزمان دو معادله (۴۵) و (۴۶) می توان C_i و h_{max} را محاسبه نمود. با معلوم بودن C_i و h_{max} زمان تأخیر را در هر لحظه از رابطه (۲۱) می توان محاسبه نمود. همچنین محاسبه دقیق زمان تأخیر در هر لحظه از حل معادله پیوستگی بصورت زیر انجام می شود:

$$\int_0^{t-t_L} R(\tau) d\tau = \int_{h_o}^{h(t)} S dh + \int_0^t Q_{obs}(\tau) d\tau \quad (47)$$

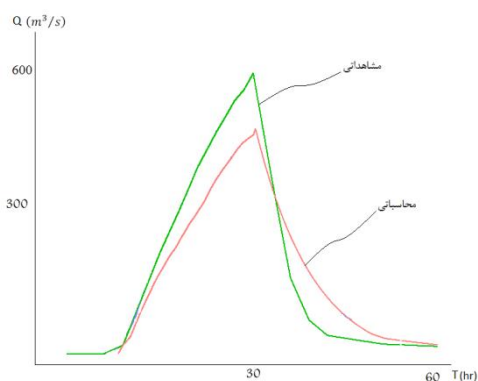
برای مقایسه ۳ سیل در تاریخ های ۱۳۴۴ (شکل ۱۰) و ۱۳۴۶ (شکل ۱۱) و ۱۳۷۰ (شکل ۱۲) در نظر گرفته شده است. این سیل ها به این علت در این تحقیق استفاده شده اند که از بزرگ ترین و موثرترین سیل های اخیر رود دز می باشند.

در سیل سال ۱۳۴۴ مقادیر Q_g, Q_s, K_g, K_s, K_o به ترتیب برابر ۰/۱۳۱، ۰/۹، ۰/۰۲۱، ۰/۳۸۰ و ۹۰ می باشند.



شکل ۱۰- سیل در سال ۱۳۴۴

در سیل سال ۱۳۴۶ مقادیر Q_g, Q_s, K_g, K_s, K_o به ترتیب برابر ۰/۲، ۰/۱۱، ۰/۰۵، ۰/۱۵۰ و ۷۰ می باشند.



شکل ۱۱- سیل در سال ۱۳۴۶

در سیل سال ۱۳۷۰ مقادیر Q_g, Q_s, K_g, K_s, K_o به ترتیب برابر ۰/۱۸۴، ۰/۱۱۳، ۰/۰۴۶، ۰/۲۳۰ و ۸۰ می باشند.

که در آن: $Q_{obs}(t)$ = دبی مشاهده‌ای، $h(t) = Q_{obs}(t)^2 / 2g$ و $h_o = Q_{obs}(o)^2 / 2g$ می باشد. برای بدست آوردن بارش مزاد $R(t)$ از آمار بارش مشاهده‌ای $R_{obs}(t)$ می توان از معادله زیر استفاده نمود:

$$t_r R_{LOSS} = \int_0^{t_r} R_{obs}(t) dt - \int_0^{t_r} \{Q(t) - Q_{stationary}\} dt \quad (48)$$

در رابطه فوق: t_r = زمانی که دبی رواناب به دبی پایه قبل می رسد (دبی رواناب ثابت می شود)، R_{LOSS} = تلفات ثابت بارش، $Q_{stationary}$ = دبی رواناب جریان پایه ثابت و t_r = مدت زمان بارش می باشد. بالاخره بارش مزاد $R(t)$ را در هر زمان پی از بدست آوردن R_{LOSS} از رابطه (۴۸) می توان از رابطه زیر محاسبه نمود:

$$R(t) = R_{obs} - R_{LOSS} \quad (49)$$

بارش مزادی که از رابطه (۴۹) بدست می آید باید در محاسبات دبی رواناب بکار رود. اگر بارش مزاد منفی شود، محاسبات تلفات بارش باید مجدداً انجام شود تا مقدار مزاد در فاصله زمان صفر تا t_r مثبت یا صفر شود.

در این مقاله برای مقایسه دبی محاسباتی و دبی مشاهداتی، حوضه رودخانه دز به عنوان حوضه معرف انتخاب شده است. که از نظر جغرافیایی حوضه رودخانه دز بین $34^{\circ} 48'$ تا $34^{\circ} 31'$ عرض شمالی محدود است.

حوضه ابریز رودخانه دز کلاً در شیبهای جنوبی غربی سلسله ارتفاعات زاگرس واقع شده است. مساحت کل حوضه بالغ بر ۲۱۷۲۰ کیلومتر مربع و طول محیط آن ۹۰۰ کیلومتر است و متوسط ارتفاع حوضه ۱۶۷۶ متر میباشد. حدود ۳۷ درصد کل حوضه در دره های پهن و گسترده دامنه ای زاگرس و جلگه های ناهموار میان کوهستان های زاگرس حدود ۵۵ درصد مجموعه مساحت را تشکیل می دهند، بنابراین قسمت اعظم حوضه، کوهستانی است [۳]. برای میانگین بارش از روش چند ضلعی تیسن استفاده شده است.

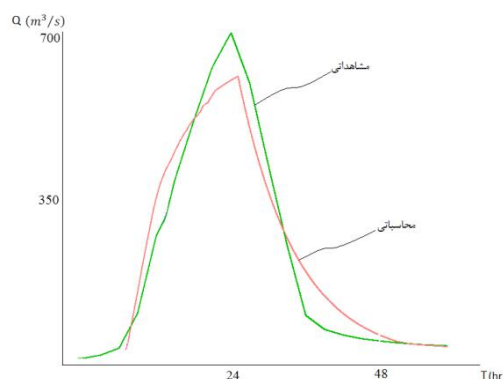
در حوضه می باشد شیب منحنی فروکش اغلب برای قسمت های زیر سطحی و زیرزمینی در جریان های متفاوت ثابت می باشد ولی منحنی فروکش برای جریان سطحی بصورت قابل ملاحظه برای یک سیل نسبت به سیل تغییر می یابد. این بدین معنا است که سطح جزئی منبع که جریان سطحی را تولید می کند برای هر جریان همیشه مکان یکسانی ندارد، بعلاوه با بارش های متفاوت تغییر می کند.

۴- با توجه به اشکال ۱۱، ۱۰ و ۱۲ مشاهده می شود که هیدروگراف های محاسباتی و مشاهداتی با هم تطابق خوبی دارند.

۵- ساعت پیک بطور متوسط در مدل مخزن نسبت به روش CN به ساعت پیک مشاهده ای نزدیک تر است. [۲]

۶- دبی پیک بطور متوسط در مدل مخزن نسبت به روش CN به ساعت پیک مشاهده ای نزدیک تر است. [۲]

۷- در مدل مخزن ساده با افزایش شدت بارندگی به میزان حجم سیلاب افزوده میشود در صورتی که با افزایش Q_s, Q_g از مقدار حجم رواناب کاسته می شود.



شکل ۱۲- سیل در سال ۱۳۷۰

نتایج و بحث

در این مقاله نتایج زیر بدست آمده :

۱- دبی رواناب پیش بینی شده بوسیله این مدل به جز در موارد با دبی های بالا تطابق مناسبی با داده های مشاهده شده دارد.

۲- مشاهده می شود رابطه بین بارش و رواناب در این مدل خطی می باشد غیر خطی بودن ظاهری بین بارش و رواناب بخاطر تاخیر بین بارش و رواناب می باشد.

۳- ویژگیهای فیزیکی زهکشی یک حوضه که توسط قسمت صعودی و منحنی فروکش یک هیدروگراف رواناب مشخص می شود برای پیش بینی رواناب بسیار مهم است و بیانگر پدیده بارش و رواناب

منابع

- ۱- علیزاده ، امین(۱۳۷۷)"اصول هیدرولوژی کاربردی" دانشگاه امام رضا (ع) مشهد
- ۲- زرگران، علی رضا(۱۳۸۷)"بررسی و مقایسه روش های تعیین رواناب سطحی و تعیین CN" پایان نامه کارشناسی ارشد ، دانشگاه آزاد دزفول
- ۳- ظهورزرگر ، غلامرضا(۱۳۷۴)"راندمان آبیاری و بهینه سازی مصرف در حوضه رودخانه دز" پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید عباس پور
- ۴- موسوی ندوشنی، سید سعید. میرهادی، سیدمحمد حسین.(۱۳۶۸) "مدل ریاضی رواناب به روش تانک مدل" مجموعه مقالات اولین کنفرانس هیدرولوژی ایران
- ۵- سینگ ،وی تی. نجفی، محمد رضا(۱۳۸۱) "سیستم های هیدرولوژیکی (مدل سازی بارندگی - رواناب)" دانشگاه تهران

6- Lee, YH, and sing, V.P (1999). "Tank model using Kalman filter", Journal of Hydraulic eng, Vol.4, No. 4, ASCE, pp. 344-349.

- 7- Mizumura, K. (1995), "Runoff-Prediction by simple tank model using recession curves", Journal of Hydraulic Eng., Vol.121, No.11, ASCE, pp.812-818.
- 8- Mizumura, K. and Chiu, C.L., (1985). "Prediction of combined snowmelt and rainfall-runoff", Journal of Hydraulic Eng. Vol.111, No.2, ASCE, PP.179-193.
- 9- Sugawara, M. (1979), "Automatic calibration of the tank model", Hydrological Science-Bulletin-des Hydrologiques, pp. 375-388.