ن. فیزیک زمین و فضا، جلد ۲۶، شماره ۲، (۱۳۷۹)، صفحهٔ ۷۱ - ۸۳

شبیه‌سازی بارندگی ـ رواناب در حوضه‌های آبریز دربند و گلابدره□

سعید مرید*، هادی میرابوالقاسمی** و هوشنگ قائمی***

چکیده

سیل عظیم حوزه‌های آبریز دربند و گلابدره در چهارم مرداد ماه سال ۱۳۶۶ و خسارات متعاقب آن به شمال شهر تهران، انگیزه‌ای بود برای بررسی این پدیده هیدرولوژیکی. نظر به کمبود داده‌های آب‌سنجی، با استفاده از پنج مدل شبیه‌سازی بارندگی ـ رواناب شامل: مدلهای استدلالی (CIA)، استدلالی جدید، HYMO, HEC1 و ماتریسی حداکثر گذر حجمی سیلاب به ازای دوره بازگشتهای ۲ تا ۱۰۰ سال برای ۲۳ زیر حوضه از حوضه آبریز دربند و ۱۰ زیر حوضه از حوضه آبریز گلابدره محاسبه شده و نتایج به دست آمده از جنبه‌های مختلف بررسی و تحلیل شده است. پس از بررسی کاستیها و تواناییهای هر کدام از مدلها، استفاده از مدل ماتریسی برای حوضه‌های یاد شده و حوضه‌های مشابه توصیه شده و بر اساس آن حداکثر گذر حجمی سیل ۱۳۶۶/۵/۴ تهران حدود ۳۵۶ مترمکعب در ثانیه تخمین زده شده است. علی‌رغم حجم این سیل، علت خسارات را تنها نباید در آن جستجو کرد و شاید علت اصلی ایجاد سیل و خسارات ناشی از آن را باید در توسعه شهری، ورود به حریم رودخانه و تغییر سیستم زهکشی طبیعی منطقه یافت.

کلید واژه‌ها: حوضه‌های آبریز دربند و گلابدره، گذر حجمی سیلاب، مدل ماتریسی و هیدروگراف

۱ مقدمه

حوضه‌های آبریز دربند و گلابدره مهمترین حوضه‌های آبریز واقع در شمال شهر تهران هستند و بخش مهمی از رواناب جاری شده بطرف تهران از این حوضه‌ها سرچشمه می‌گیرد. در چهارم مرداد ماه سال ۱۳۶۶ سیل بزرگی از این بخش از تهران جاری شد که از نظر وسعت و خسارتهای بر جای مانده استثنایی و غیر منتظره بود. در جریان این سیل علاوه بر تلفات جانی و تخریب ساختمانها و بخشهایی از مناطق مسکونی و تجاری زیر رسوبات حمل شده توسط سیل مدفون شد. این سیل که از آن به عنوان یکی از بزرگترین بلاهای طبیعی شهر تهران در قرن گذشته نام برده شده در اثر بارش در حوضه آبریزی تنها با وسعت کمتر از ۳۳ کیلومتر مربع بوجود آمد که استثنایی و غیر قابل انتظار بود. در مورد علت و حجم این سیل تحلیل‌ها، اظهار نظرها و حتی شایعات گوناگونی عنوان شده است. متاسفانه شدت این سیلاب به حدی بود که تمامی ایستگاههای آب‌سنجی موجود در مسیر سیلاب

□ این مقاله بخشی از مطالعات انجام شده در معاونت آبخیزداری وزارت جهاد سازندگی برای بررسی و کنترل سیلاب در حوضه آبریز دربند و گلابدره می‌باشد.

* دانشگاه تربیت مدرس، صندوق پستی ۴۸۳۸-۱۴۱۵۵، تهران.
** مهندسین مشاور آب و خاک تهران، صندوق پستی ۴۳۷۷-۱۳۵۸۵، تهران.
*** سازمان هواشناسی کشور، صندوق پستی ۴۶۱-۱۳۱۸۵، تهران.

منهدم شد و هیچگونه آماری از گذر حجمی سیلاب ثبت و ارایه نشد و تنها برآوردهایی بر اساس مقطع برداری و داغاب سیل انجام گرفت.

علیرغم اهمیت حوضه‌های آبریز بوجود آورنده سیل (دربند و گلابدره) و نزدیکی آن به شهر تهران، آمار کافی و مناسبی از مقادیر حداکثر لحظه‌ای سیلابهای اتفاق افتاده و هیدروگراف آنها در این حوضه‌ها در دسترس نمی‌باشد. به همین دلیل نگارندگان سعی کرده‌اند با استفاده از مدلهای شبیه‌سازی بارندگی ـ رواناب برآوردی از حجم سیلاب بوجود آمده ارایه کرده، توانایی این مدلها برای تخمین سیل این حوضه و همچنین امکان استفاده از آنها برای شرایط مشابه دیگر را بررسی و ارزیابی نموده و توصیه‌هایی برای انجام مطالعات مشابه ارایه نمایند.

برای انجام مطالعات حاضر حوضه آبریز دربند به ۲۳ زیر حوضه و حوضه آبریز گلابدره به ۱۰ زیر حوضه تقسیم شده و کلیه محاسبات برای هر کدام از زیر حوضه‌ها به تفکیک انجام شده است. این زیر حوضه‌ها به ترتیب با شماره ۱ تا ۲۳ برای گلابدره و شماره ۱ تا ۱۰ برای دربند مشخص شده‌اند و مساحت آنها در جدول ۱ و ۲ ارایه شده است. همچنین شکل ۱ موقعیت عمومی آنها را نشان می‌دهد.

۲ بررسیهای هیدرولوژیکی

با توجه به تخریب ایستگاههای آب‌سنجی موجود در مسیر سیلاب، برای تخمین برخی از مشخصه‌های هیدرولوژیکی سیلاب اتفاق افتاده (نظیر حداکثر لحظه‌ای گذر حجمی سیل) آمار بارندگی در ۱۸ ایستگاه از ایستگاههای موجود در منطقه طرح و حوضه‌های مجاور آن طی روزهای ۱۳۶۶/۵/۳ تا ۱۳۶۶/۵/۵ (جدول ۳) و همچنین هیتوگراف بارندگی در روز ۱۳۶۶/۵/۴ در ایستگاه نیاوران تهیه شد (شکل ۲). نکته قابل توجه در الگوی زمانی بارندگی ثبت شده برای این روز در آن است که بیش از ۷۵ درصد بارندگی در ۳۰ دقیقه اول باریده که به شدت در ایجاد هیدروگراف با اوج بالا موثر بوده است. با بهره‌گیری از این اطلاعات ارتفاع بارش در سطح حوضه آبریز در روز سیلاب معادل ۶۰ میلیمتر و مدت آن ۱۸۰ دقیقه برآورد گردید.

به منظور تحلیل سیلاب برای زیر حوضه‌ها به شرح زیر عمل شده است

ـ بر اساس آمار موجود و با استفاده از توزیع گامبل نوع I بارشهای با دوره بازگشت ۲ تا ۱۰۰ سال برای ایستگاههای منطقه محاسبه شده است (خدایی، ۱۳۷۶).

ـ با توجه به وجود باران سنج ثبات و باران سنج معمولی در ایستگاه نیاوران، نسبت ارقام گزارش شده دو باران سنج برای بارانهای مشترک محاسبه شده است.

ـ با استفاده از روش بل (مهدوی، ۱۳۷۱) و روابط همبستگی بارندگی ارتفاع، مقادیر بارندگیهای ۱۸۰ دقیقه برای زیر حوضه‌ها برآورد شده است (خدایی، ۱۳۷۶).

ـ توزیع زمانی بارندگیهای ۱۸۰ دقیقه توزیع زمانی بارندگی ثبت شده در ایستگاه نیاوران در نظر گرفته شده است که الگویی کاملا بحرانی است.

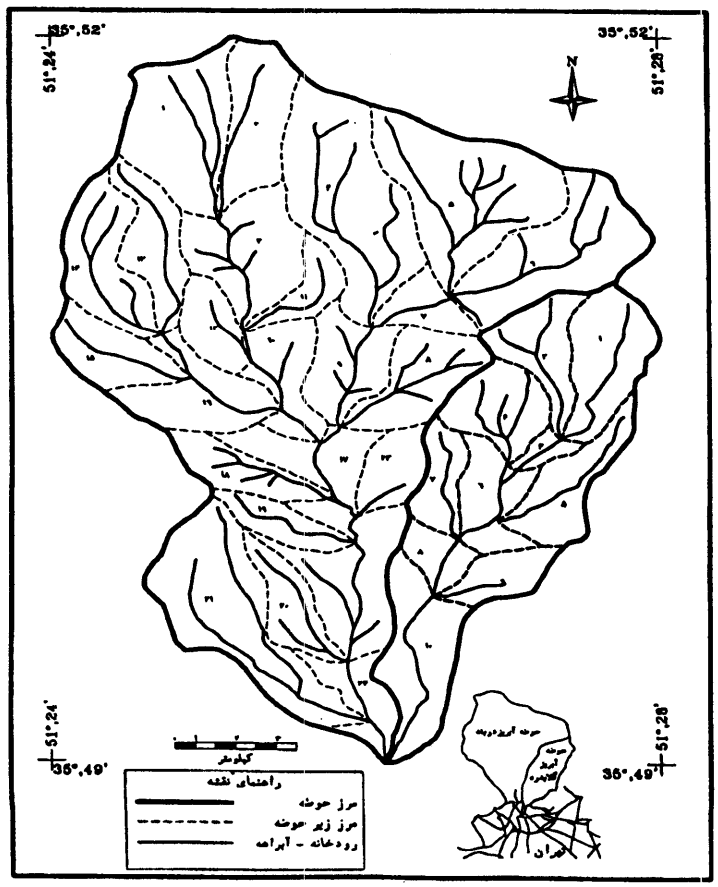
نتایج این محاسبات در جدول ۴ ارایه شده که نشان می‌دهد بارش ۱۸۰ دقیقه‌ای با دوره بازگشت ۲ تا ۱۰۰ سال از حدود ۱۷/۵ میلیمتر برای دوره بازگشت ۲ سال در زیر حوضه شماره ۲۰ از حوضه دربند تا حدود ۷۷/۴ میلیمتر برای دوره بازگشت

جدول ۱. سطح زیر حوضه‌ها در حوضه آبریز دربند (برحسب هکتار)

شماره زیرحوضه		۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲
سطح	زیرحوضه	۱۶۴/۸	۱۰۵/۵	۱۲۸/۷	۲۴۲/۳	۲۲۹/۶	۱۸۶	۴۳/۴	۱۰۰	۸۹/۷	۸۷/۴	۴۳	۴۸/۷
	تجمعی			۳۹۹				۴۵۹		۷۹۱	۹۵۲		
شماره زیرحوضه		۱۳	۱۴	۱۵	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹	۲۰	۲۱	۲۲	۲۳	
سطح	زیرحوضه	۸۶/۴	۱۱۴/۳	۷۸/۸	۹۴/۴	۲۱۵/۱	۶۴/۵	۴۳/۴	۵۹/۳	۲۱۲/۴	۵۷/۲	۵۱	
	تجمعی				۳۷۳/۹						۲۵۴۵/۹		

جدول ۲. سطح زیر حوضه‌ها در حوضه آبریز گلابدره (بر حسب هکتار)

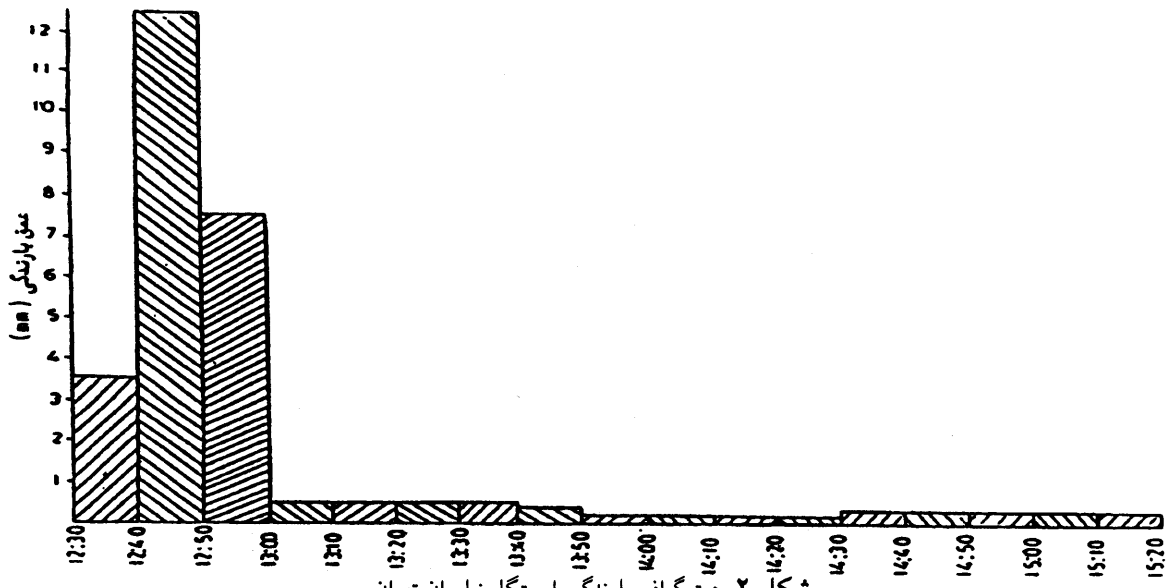
شماره زیر حوضه		۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰
سطح	زیر حوضه	۱۱۹/۵	۸۳	۱۵/۱	۸۴/۹	۸۲/۶	۷۰/۷	۵۰/۹	۳۶/۱	۴۷/۶	۱۳۰/۸
	تجمعی			۲۱۷/۶			۴۵۵/۸		۵۴۲/۸		۷۲۱/۲



شکل ۱. موقعیت عمومی و شبکه هیدروگرافی حوضه‌های آبریز دربند و گلابدره.

جدول ۳. آمار بارندگی روزهای سیلاب در ایستگاههای مختلف بر حسب میلیمتر

ردیف	ایستگاه / تاریخ	۶۶/۵/۳	۶۶/۵/۴	۶۶/۵/۵	جمع کل بارندگی	ملاحظات
۱	نیاوران	---	۲۹/۵	۲/۰	۳۱/۵	
۲	دانشگاه (آبهای سطحی)	۰/۵	۱۴/۵	۳۷/۵	۵۲/۵	
۳	فلسطین (وزارت نیرو)	---	۱۴/۶	۱۵/۲	۲۹/۸	
۴	آبان شمالی	---	۱۱/۰	۱۵/۷	۲۶/۷	
۵	یوسف آباد	۲/۲		۷/۵	۹/۷	نزدیک میدان ونک
۶	کن	---	---	۱/۰	۱/۰	
۷	تهران پارس	۱/۹	---	۱/۵	۳/۴	در محل تصفیه‌خانه شماره ۲
۸	مجتمع آموزشی	۴/۰	---	۱/۰	۵/۰	
۹	رودک	---	۲۴/۵	۵/۰	۲۹/۵	
۱۰	کمرخانی	۰/۵	۱۷/۰	---	۱۷/۵	
۱۱	امامه	۵/۵	۱۶/۰	۱/۰	۲۲/۵	
۱۲	راحت آباد	۳/۰	۱۲/۵	۳/۰	۱۸/۵	
۱۳	چشمه‌اعلاء (دماوند)	۳/۰	۴۹/۵	۱۶/۰	۶۸/۵	
۱۴	نارون	---	۱۵/۰	---	۱۵/۰	
۱۵	نیکنام‌ده	۱/۵	۱۸/۰	۲/۰	۲۱/۵	
۱۶	پلور	۵/۶	۱۸/۰	۱/۸	۲۵/۴	
۱۷	نساء	۲/۵	۴/۵	۲/۵	۹/۵	
۱۸	آسارا	---	۱۴/۵	۳/۰	۱۷/۵	



شکل ۲. هیتوگراف بارندگی ایستگاه نیاوران تهران

جدول ۴. مقادیر بارندگی‌های ۱۸۰ دقیقه‌ای با دوره بازگشتهای مختلف برای زیر حوضه‌های دربند و گلابدره (میلیمتر) (خدایی، ۱۳۷۶)

حوضه آبریز		دوره بازگشت						
		۲	۵	۱۰	۲۰	۲۵	۵۰	۱۰۰
دربند	۱	۲۵/۸	۳۹/۸	۴۹/۰	۵۷/۷	۶۰/۵	۶۸/۹	۷۷/۴
	۲	۲۵/۸	۳۹/۸	۴۹/۰	۵۷/۷	۶۰/۵	۶۸/۹	۷۷/۴
	۳	۲۵/۶	۳۹/۶	۴۸/۷	۵۷/۳	۶۰/۱	۶۸/۵	۷۶/۹
	۴	۲۵/۶	۳۹/۶	۴۸/۶	۵۷/۳	۶۰/۰	۶۸/۵	۷۶/۸
	۵	۲۵/۷	۳۹/۷	۴۸/۸	۵۷/۵	۶۰/۳	۶۸/۷	۷۷/۱
	۶	۲۵/۷	۳۹/۷	۴۸/۸	۵۷/۵	۶۰/۲	۶۸/۷	۷۷/۱
	۷	۲۵/۷	۳۹/۷	۴۸/۸	۵۷/۵	۶۰/۳	۶۸/۷	۷۷/۱
	۸	۲۱/۲	۳۲/۹	۴۰/۵	۴۷/۷	۵۰/۰	۵۷/۰	۶۳/۹
	۹	۲۵/۱	۳۸/۷	۴۷/۶	۵۶/۱	۵۸/۸	۶۷/۰	۷۵/۲
	۱۰	۲۴/۳	۳۷/۶	۴۶/۲	۵۴/۴	۵۷/۰	۶۵/۰	۷۲/۹
	۱۱	۲۴/۶	۳۸/۰	۴۶/۷	۵۵/۰	۵۷/۷	۶۵/۸	۷۳/۸
	۱۲	۲۲/۳	۳۴/۵	۴۲/۴	۵۰/۰	۵۲/۴	۵۹/۷	۶۷/۰
	۱۳	۲۵/۶	۳۹/۵	۴۸/۶	۵۷/۳	۶۰/۰	۶۸/۴	۷۶/۸
	۱۴	۲۵/۴	۳۹/۳	۴۸/۳	۵۶/۹	۵۹/۶	۶۸/۰	۷۶/۳
	۱۵	۲۴/۵	۳۸/۰	۴۶/۷	۵۵/۰	۵۷/۶	۶۵/۷	۷۳/۷
	۱۶	۲۴/۲	۳۷/۵	۴۶/۱	۵۴/۳	۵۶/۹	۶۴/۹	۷۲/۸
	۱۷	۲۳/۸	۳۶/۹	۴۵/۳	۵۳/۴	۵۵/۹	۶۳/۸	۷۱/۶
	۱۸	۱۹/۷	۳۰/۶	۳۷/۶	۴۴/۳	۴۶/۴	۵۲/۹	۵۹/۴
	۱۹	۲۰/۳	۳۱/۵	۳۸/۷	۴۵/۶	۴۷/۸	۵۴/۵	۶۱/۱
	۲۰	۱۷/۵	۲۷/۰	۳۳/۲	۳۹/۱	۴۱/۰	۴۶/۷	۵۲/۴
	۲۱	۱۷/۹	۲۷/۷	۳۴/۰	۴۰/۱	۴۲/۰	۴۷/۹	۵۳/۷
	۲۲	۲۲/۷	۳۵/۱	۴۳/۲	۵۰/۹	۵۳/۳	۶۰/۸	۶۸/۲
	۲۳	۱۸/۹	۲۹/۲	۳۵/۹	۴۲/۳	۴۴/۳	۵۰/۵	۵۶/۷
	۱	۲۴/۱	۳۷/۳	۴۵/۹	۵۴/۰	۵۶/۶	۶۴/۶	۷۲/۴
گلابدره	۲	۲۰/۳	۳۱/۵	۳۸/۷	۴۵/۶	۴۷/۸	۵۴/۵	۶۱/۱
	۳	۲۴/۰	۳۷/۲	۴۵/۷	۵۳/۹	۵۶/۴	۶۴/۳	۷۲/۲
	۴	۲۱/۳	۳۳/۰	۴۰/۶	۴۷/۸	۵۰/۱	۵۷/۱	۶۴/۱
	۵	۱۹/۳	۲۹/۹	۳۶/۷	۴۳/۳	۴۵/۳	۵۱/۷	۵۸/۰
	۶	۲۱/۸	۳۳/۸	۴۱/۵	۴۸/۹	۵۱/۲	۵۸/۴	۶۵/۶
	۷	۱۹/۳	۲۹/۹	۳۶/۷	۴۳/۳	۴۵/۳	۵۱/۷	۵۸/۰
	۸	۲۱/۳	۳۳/۰	۴۰/۵	۴۷/۸	۵۰/۰	۵۷/۱	۶۴/۰
	۹	۲۱/۰	۳۲/۶	۴۰/۰	۴۷/۱	۴۹/۴	۵۶/۳	۶۳/۲
	۱۰	۲۰/۲	۳۱/۳	۳۸/۵	۴۵/۳	۴۷/۵	۵۴/۱	۶۰/۷

۱۰۰ سال در زیر حوضه شماره ۱ و ۲ از حوضه دربند متغیر بوده و عموما در هر زیر حوضه، بارش با دوره بازگشت ۱۰۰ سال معادل ۳ برابر بارش با دوره بازگشت ۲ سال می‌باشد.

برای تهیه هیدروگراف سیل حوضه در مرداد سال ۱۳۶۶، با استفاده از روش اشنایدر[1] هیدروگراف واحد حوضه‌های آبریز تهیه شد و با بهره‌گیری از روش توصیه شده توسط اداره حفاظت خاک آمریکا (SCS, 1972) برای محاسبه افت بارندگی و همچنین استفاده از روش ماتریسی[2] که توضیح آنها در ادامه خواهد آمد، هیدروگراف سیل حوضه‌های دربند و گلابدره ساخته شده است.

ویژگیها و اطلاعات فیزیوگرافیک حوضه که مورد نیاز برای محاسبه هیدروگراف واحد هستند نیز با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی و با دقت قابل قبولی محاسبه شده است.

برای هیدروگراف واحد حوضه آبریز گلابدره، زمان تاخیر معادل ۰/۴۶ ساعت، زمان رسیدن به اوج ۰/۷۶ ساعت و اوج هیدروگراف واحد معادل ۱/۹۳ متر مکعب در ثانیه و حداکثر سیلاب برای حوضه‌های دربند و گلابدره نیز به ترتیب معادل ۲۶۱ و ۸۷ مترمکعب در ثانیه برآورد شده است. هیدروگراف سیل در حوضه‌های آبریز دربند و گلابدره در شکل ۳ ارایه شده است.

علاوه بر روش فوق، داده‌های مربوط به حداکثر سیلابهای لحظه‌ای حوضه‌های آبریز از جنبه آماری تحلیل و بررسی شده است. حداکثر سیلابهای لحظه‌ای در ایستگاههای آب سنجی حوضه‌هااز حدود سال ۱۳۵۱ به بعد ثبت شده ولی در میان داده‌های ثبت شده پراکندگی زیادی وجود دارد و تنها آمار ایستگاههای پس قلعه و دربند پاپا از قدمت و انسجام قابل قبولی برخوردار می‌باشند که از آنها برای تحلیل فراوانی سیلاب استفاده شده است.

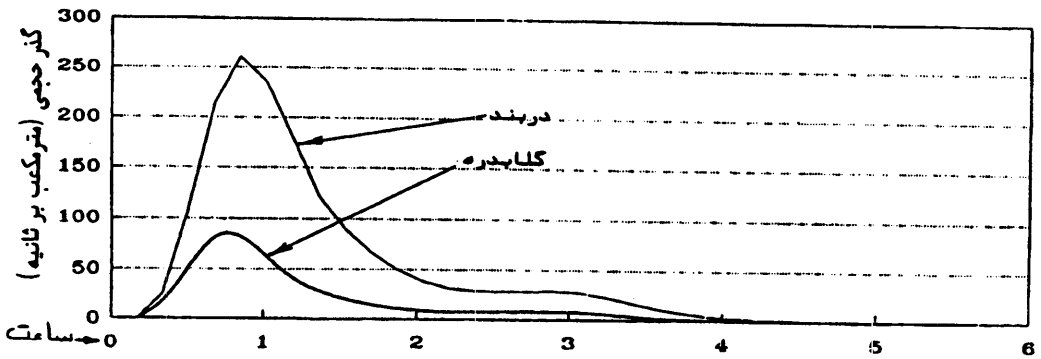
برای کامل کردن آمار ایستگاهها از روش همبستگی بین داده‌های آنها استفاده شد و به کمک آزمونهای برازش، نظیر مجذور کا و کلموگرف ـ اسپیرنوف ، توزیع لوگ پیرسون به عنوان بهترین برازش برای تحلیل سیلابها انتخاب گردید و گذر حجمی سیلاب در این ایستگاهها برای دوره‌های بازگشت ۲ تا ۵۰۰ سال برآورد شد که نتایج حاصل در جدول ۵ ارایه شده است.

۳ بررسی مدلهای شبیه‌سازی بارندگی ـ رواناب

مدلهای شبیه سازی بارندگی ـ رواناب از جمله ابزارهایی هستند که برای برآورد رواناب در حوضه‌های فاقد آمار به کار گرفته می‌شوند. نمونه‌های مختلفی از این مدلها تاکنون ارایه شده و بعضی از آنها قدمتی طولانی دارند. از جمله این مدلها می‌توان به مدل CIA تهیه شده توسط Emil Kuichling (وایزمن[3] و همکاران، ۱۹۸۶)، مدل HYMO (A & M University, 1986) و HEC1 (USACE, 1990) اشاره کرد. علاوه بر این مدلها، مدلی تحت عنوان مدل ماتریسی (وایزمن و همکاران، ۱۹۸۶) می‌باشد که برای این تحقیق مورد استفاده قرار گرفته‌اند.

در مدلهای بارندگی ـ رواناب چگونگی انطباق فراوانی سیلاب و بارندگی اهمیت دارد ولی کمتر مورد توجه قرار گرفته است. در این مدلها حداکثر سیلاب لحظه‌ای و یا هیدروگراف سیل با استفاده از مقدار بارندگی و برخی از ویژگیهای فیزیکی حوضه

1. Snyder's method 2. Matrix method
3. Viessman



شکل ۳. هیدروگراف سیل حوضه‌های آبریز دربند و گلابدره در ۱۳۶۶/۵/۴

جدول ۵. نتایج برآورد سیلابهای لحظه‌ای در ایستگاهها (متر مکعب در ثانیه)(مرید، ۱۹۷۶)

دوره بازگشت (سال)	۲	۵	۱۰	۲۰	۵۰	۱۰۰	۵۰۰
ایستگاه اوسون (پس‌قلعه)	۱/۲	۴/۲۱	۱۰/۶	۲۶/۸	۹۱/۶	۲۴۴	۲۱۳۰
ایستگاه آبشار (پس‌قلعه)	۱/۲۲	۴/۶۱	۱۱/۸	۲۹/۵	۹۷/۹	۲۴۲	۱۹۸۰
ایستگاه رستوران پاپا (دربند)	۵/۰۲	۱۷/۸	۴۰/۲	۸۵/۷	۲۲۲	۴۳۳	۲۱۰۰

برآورد می‌شود و برای محاسبه سیلابهای با دوره بازگشت متفاوت از بارندگیهای با همان دوره بازگشت در مدل استفاده می‌گردد. بدین‌ترتیب از آنجاییکه ویژگیهای فیزیکی یک حوضه آبریز ثابت در نظر گرفته می‌شود، تغییرات رواناب با دوره بازگشتهای متفاوت تنها تابعی از روند تغییرات بارندگی با همان دوره‌های بازگشت خواهد بود. حال آنکه در بسیاری موارد چنین وضعیتی با واقعیت همخوانی نخواهد داشت. به عنوان مثال چنانچه تغییرات بارندگی با دوره بازگشت ۲ تا ۱۰۰ سال حدود ۳ برابر باشد، رواناب با دوره بازگشت ۲ تا ۱۰۰ سال نیز همین نسبت تغییر را نشان خواهد داد که همیشه اینگونه نمی‌باشد، بخصوص در حوضه‌هایی با سطوح کوچک این ویژگی خطی کمتر حاکم می‌باشد[1]. یکی از روشهای توصیه شده برای مرتفع کردن این اشکال، تغییر دادن ضریبهای افت رواناب برای دوره بازگشتهای متفاوت است. نظیر آنچه در مورد روش جدید مدل استدلالی (وایزمن و همکاران، ۱۹۸۶) توضیح داده شده است.

در اغلب مدلهای به کار گرفته شده در این تحقیق برای محاسبه ضریب افت رواناب از عامل‌شماره منحنی (CN) استفاده می‌شود (SCS, ۱۹۷۲). بر این اساس با توجه به آخرین توصیه‌های ارایه شده در زمینه ضرایب افت و همچنین نظر کارشناسی نگارندگان، ضریب CN حوضه‌ها برای دوره بازگشتهای ۲، ۵، ۱۰، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ به ترتیب ۸۰، ۸۱، ۸۳، ۸۵، ۸۷ و ۹۰ تخمین زده شده و نتایج قابل قبولی نیز ارایه کرده است. هرچند این مورد می‌تواند موضوع یک تحقیق

1. Khosa, R., Indian Institute of technology, Delhi (Presonal Communication)

جدول ۶. محدوده تغییرات ضریب C به ازای دوره بازگشت در زیر حوضه‌ها

دوره بازگشت بر حسب سال		۲	۵	۱۰	۲۵	۵۰	۱۰۰
دربند	کمترین	۰/۳	۰/۳۳	۰/۳۶	۰/۳۹	۰/۴۳	۰/۴۷
	بیشترین	۰/۳۳	۰/۳۶	۰/۳۹	۰/۴۳	۰/۴۷	۰/۵۱
گلابدره	کمترین	۰/۲۹	۰/۳۲	۰/۳۵	۰/۳۸	۰/۴۲	۰/۴۶
	بیشترین	۰/۳۲	۰/۳۵	۰/۳۸	۰/۴۲	۰/۴۶	۰/۵

مستقل قرار گیرد.

در مدل CIA که به مدل استدلالی هم معروف شده حداکثر گذر حجمی سیلاب با استفاده از رابطه زیر محاسبه می‌شود (علیزاده، ۱۳۷۸)

$$Q = \frac{1}{360} CIA \qquad (۱)$$

در این رابطه Q گذر حجمی سیلاب بر حسب متر مکعب در ثانیه، C ضریب افت رواناب، I شدت بارندگی در مدت زمان تمرکز حوضه بر حسب میلیمتر و A سطح حوضه آبریز بر حسب هکتار است.

همانگونه که اشاره شد در رابطه فوق ضریب افت رواناب برای بارشهای با دوره بازگشت متفاوت، یکسان در نظر گرفته می‌شود. در سالهای اخیر روش جدیدی برای محاسبه ضریب (C) ارایه شده که دوره بازگشت سیلاب را در محاسبه این ضریب دخالت می‌دهد (ویزمن و همکاران، ۱۹۸۶). رابطه ارایه شده برای این روش عبارتست‌از

$$C = 7.2\times10^{-7} CN^3 T^{0.05} \left[(0.01CN)^{0.06}\right] \alpha \left[0.001CN^{1.48}\right] \beta \left[(P+1)/2\right] \qquad (۲)$$

$$\alpha = -S^{0.2} \quad و \quad \beta = 0.15 - 0.1I$$

که در آن CN شماره منحنی، T دوره بازگشت بر حسب سال، I شدت بارندگی بر حسب اینچ در ساعت و S شیب حوضه بر حسب درصد است.

محدوده تغییرات ضریب C بر اساس دوره بازگشت در زیر حوضه‌های تحت مطالعه در جدول ۶ ارایه شده که نشان می‌دهد این ضریب برای دوره بازگشتهای ۲ تا ۱۰۰ سال بین حدود ۰/۱۷ تا ۰/۱۸ افزایش یافته است.

در مدل HYMO شبیه‌سازی بارندگی ـ رواناب با استفاده از اطلاعات بارندگی، هیدروگراف واحد بدون بعد و ویژگیهای فیزیوگرافی حوضه آبریز انجام شده و مدل ارقام سیل و هیدروگراف آنرا به عنوان خروجی ارایه می‌کند. این مدل برای حوضه‌های آبریز کوچک با وسعت حدود ۸۰ تا ۴۰۰۰ هکتار که فاقد ایستگاه آب‌سنجی مناسب می‌باشند طراحی شده و در آن برخی از ضرایب مورد نیاز با بکارگیری تعدادی رابطه تجربی محاسبه می‌شود. نتیجه بررسیهایی که در زمینه ارزیابی تواناییها و محدودیتهای کاربرد این مدل انجام شده نشان داده‌اند استفاده از این مدل برای حوضه‌های آبریز کوچک مناسب و مطلوب بوده است.

مدل HEC1 عکس‌العمل رواناب سطحی یک حوضه آبریز در مقابل بارندگی را شبیه‌سازی می‌کند. در این مدل حوضه آبریز سیستمی متشکل

از تعدادی مولفه هیدرولوژیکی مرتبط با هم (نظیر رواناب سطحی، جریان آبراهه‌ای، تعداد مخزن و ...) در نظر گرفته شده که هر کدام یکی از مشخصه‌های فرآیند بارندگی ـ رواناب در کوچکترین واحد تعریف شده ـ زیر حوضه ـ را ماتریسی، بارندگی مازاد در واحدهای زمانی مشخص بر اساس الگوی توزیع زمانی بارش محاسبه می‌شود و مقادیر به دست آمده در عرض هیدروگراف واحد مربوط به همان واحد زمانی ضرب شده و در نهایت هیدروگراف سیلاب

جدول ۷. کمترین و بیشترین مقدار حداکثر سیلاب لحظه‌ای در زیرحوضه‌ها (مترمکعب در ثانیه)

حوضه آبریز	مدل	دوره بازگشت ۲ سال				دوره بازگشت ۱۰۰ سال			
		کمترین		بیشترین		کمترین		بیشترین	
		زیرحوضه	دبی	زیرحوضه	دبی	زیرحوضه	دبی	زیرحوضه	دبی
	منطقی	۱۱	۴/۵۶	۱۷	۱۰۵/۸	۱۱	۹/۵۴	۲۲	۲۱۱/۴۵
	منطقی جدید	۱۱	۱/۹۵	۲۲	۴۴/۶	۱۱	۶/۳۵	۲۲	۱۵۲/۸
دربند	ماتریسی	۲۰	۰/۰۵	۱۷	۵/۸	۲۰	۱۲/۸۵	۱۷	۳۳۲/۱۷
	HEC1	۲۰	۰/۰۴	۹ و ۶	۱/۸	۱۹	۱۰/۱	۱۷	۴۱۸/۹
	HYMO	۲۰	۰/۰۸	۱۷	۱۰/۴	۲۳	۲/۸۵	۱۷	۴۲۳
	منطقی	۷	۴/۵۳	۹	۳۴/۳	۷	۱۰/۱	۹	۷۶
	منطقی جدید	۷	۱/۹	۹	۱۳/۹	۷	۶/۶	۹	۴۸
گلابدره	ماتریسی	۷	۰/۰۹	۳	۱/۳	۷	۱۶/۲	۸	۹۸/۳
	HEC1	۷	۰/۰۹	۹	۱/۸	۷	۱۰/۹	۹	۱۱۰/۹
	HYMO	۷	۰/۰۱	۸	۱/۵	۷	۴/۹	۹	۱۱۶

مشخص می‌نمایند. برای تحلیل عکس‌العمل سیل در مقابل هر کدام از این مولفه‌ها مجموعه‌ای از ضرایب و روابط ریاضی مورد استفاده قرار می‌گیرد و در نهایت هیدروگراف سیل در محل مورد نظر توسط مدل ارایه می‌شود. یکی از روشهای به کار گرفته شده در مدل HEC1 برای شبیه‌سازی بارندگی ـ رواناب استفاده از هیدروگراف واحد بارندگی با توزیع زمانی مشخص و اعمال ضرایب افت رواناب می‌باشد که در این تحقیق از آن استفاده شده است.

برای شبیه‌سازی سیلاب با استفاده از روش ساخته می‌شود (ویزمن و همکاران، ۱۹۸۶). و بر مبنای اصول این روش برنامه کامپیوتری نیز تهیه و بکار گرفته شده است.

۴ بررسی و ارزیابی نتایج به دست آمده از مدلهای شبیه‌سازی بارندگی ـ رواناب

با استفاده از مدلهای شبیه‌سازی بارندگی ـ رواناب، مقادیر حداکثر سیلاب لحظه‌ای برای دوره بازگشتهای ۲، ۵، ۱۰، ۲۰، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ سال برای ۲۳ زیرحوضه حوضه آبریز دربند و ۱۰ زیرحوضه حوضه آبریز گلابدره به تفکیک محاسبه

شده و نتایج مدلها با هم مقایسه شده‌اند که تنها به قسمتی از آنها اشاره می‌گردد.

میزان کمترین و بیشترین مقدار حداکثر سیلابهای برآورد شده برای دوره بازگشتهای ۲ تا ۱۰۰ سال با استفاده از مدلهای مختلفی که در بخش قبل به آنها اشاره گردید و برای زیرحوضه‌های مختلف در جدول ۷ ارایه شده است که نشان می‌دهد حداکثر گذر حجمی لحظه‌ای سیلاب در مدل استدلالی بین ۴/۵ تا ۲۱۱/۵ متر مکعب در ثانیه در زیرحوضه‌های دربند و ۴/۵ تا ۷۶ متر مکعب در ثانیه در زیرحوضه‌های گلابدره، برای مدل استدلالی جدید این ارقام بین ۱/۹۵ تا ۱۵۲/۸ مترمکعب در ثانیه در زیرحوضه‌های دربند و ۱/۹ تا ۴۸ متر مکعب در ثانیه در زیرحوضه‌های گلابدره، در مدل ماتریسی بین ۰/۰۵ تا ۳۳۲/۲ متر مکعب در ثانیه در زیرحوضه‌های دربند و ۰/۰۹ تا ۹۸/۳ مترمکعب در ثانیه در زیرحوضه‌های گلابدره می‌باشد. در مدل HEC1 بین ۰/۰۴ تا ۴۱۸/۹ مترمکعب در ثانیه در زیرحوضه‌های دربند و ۰/۰۹ تا ۱۱۱ مترمکعب در ثانیه در زیرحوضه‌های گلابدره و در مدل HYMO بین ۰/۰۸ تا ۴۲۳ مترمکعب در ثانیه در زیرحوضه‌های دربند و ۰/۰۱ تا ۱۱۶ مترمکعب در ثانیه در زیرحوضه‌های گلابدره متغیر بوده است.

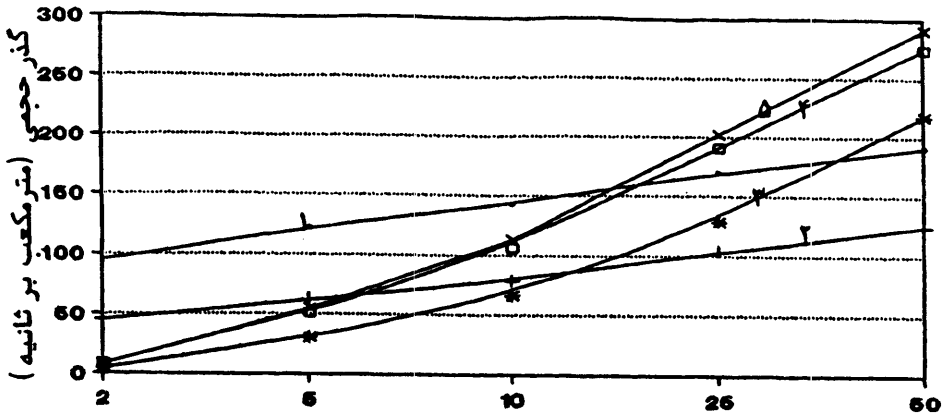
همچنین این مدلها سیلاب صد ساله حوضه آبریز گلابدره را بین ۴۴ تا ۱۱۰ مترمکعب در ثانیه و حوضه آبریز دربند را بین ۱۵۳ تا ۴۱۵ مترمکعب در ثانیه برآورد کرده‌اند که نتایج حاصل در جدول ۸ ارایه شده است.

نمودار تغییرات حداکثر گذر حجمی لحظه‌ای سیلاب به ازای دوره بازگشتهای ۲ تا ۱۰۰ سال در زیرحوضه‌های شماره ۱۰ و ۲۲ از حوضه‌های آبریز گلابدره و دربند در شکلهای ۴ و ۵ ارایه شده است. این نمودارها روند کلی تغییر سیلاب به ازای دوره بازگشتهای مختلف در مدلهای به کار گرفته شده را نشان می‌دهند و از آنها می‌توان نتیجه گرفت که رقمهای به دست آمده از مدلهای منطقی و منطقی جدید، از دوره بازگشت ۲ تا ۱۰۰ سال بصورت خطی تغییر کرده و افزایش می‌یابند در صورتیکه در سه مدل دیگر این روند خطی نبوده و شیب تغییرات نیز بیشتر می‌باشد. همچنین در حوضه آبریز دربند رقمهای بدست آمده از مدلهای HEC1 و HYMO نزدیک به هم و هم‌روند می‌باشند و در هر دو حوضه رقمهای برآورد شده به ازای دوره بازگشتهای پایین در مدل استدلالی و استدلالی جدید بیشتر از سایر مدلها بوده و بخصوص مدل استدلالی رقمهای بیشتری نسبت به سایر مدلها ارایه کرده است.

رقمهای برآورد شده برای ضریب C در مدل استدلالی جدید کمتر از سایر مدلها بوده و یکی از محدودیتهای مدل استدلالی نیز این است که این

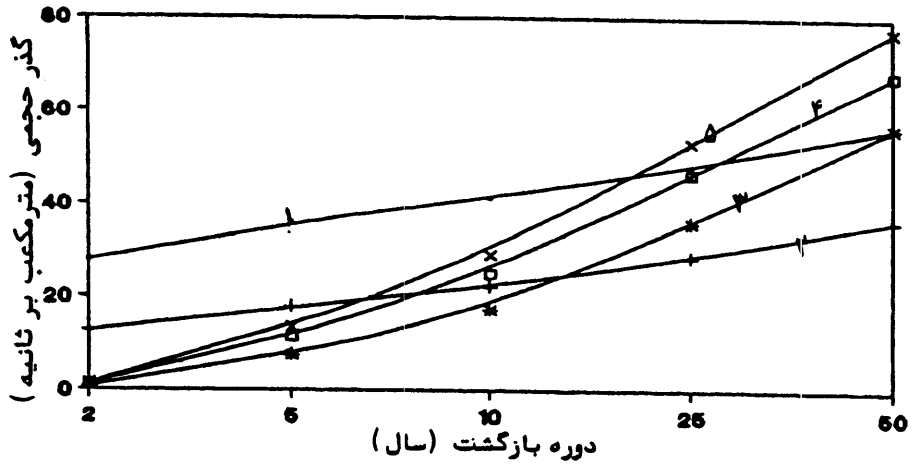
جدول ۸. حداکثر سیلاب لحظه‌ای با دوره بازگشت صد سال در حوضه‌های آبریز (مترمکعب در ثانیه)

مدل	HYMO	HEC1	ماتریسی	استدلالی جدید	استدلالی
گلابدره	۱۱۰	۱۰۱	۸۹	۴۴	۶۲
دربند	۴۱۰	۴۱۵	۳۴۷	۱۵۳	۲۱۱



۱- منطقی ۲- منطقی جدید ۳- ماتریسی ۴- HEC1 ۵- HYMO

شکل ۴. تغییرات حداکثر گذر حجمی لحظه‌ای سیلاب در زیر حوضه شماره ۲۲ دربند.



۱- منطقی ۲- منطقی جدید ۳- ماتریسی ۴- HEC1 ۵- HYMO

شکل ۵. تغییرات حداکثر گذر حجمی لحظه‌ای سیلاب در زیر حوضه شماره ۱۰ گلابدره.

مدل تنها رقم حداکثر سیلاب لحظه‌ای را ارایه کرده و هیدروگراف سیل را به صورت مستقل ارایه نمی‌کند.

نتایج بدست آمده از مدلهای HEC1، HYMO و مدل ماتریسی هماهنگی بیشتری با یکدیگر داشته‌اند. در میان این مدلها، مدل HYMO برای حوضه‌های آبریز کوچکتر از ۸۵ هکتار رقمهای کمتری را ارایه کرده و رقمهای برآورد شده از مدل ماتریسی نیز نسبت به مدل HEC1 تفاوت قابل ملاحظه دارد. به عنوان مثال برای زیر حوضه شماره ۲۳ از حوضه آبریز دربند گذر حجمی حداکثر سیلاب با دوره بازگشت ۱۰۰ سال با استفاده از سه مدل HYMO، HEC1 و ماتریسی به ترتیب ۲/۹، ۱۰/۶ و ۱۹ متر مکعب در ثانیه

برآورد شده است. به عقیده نگارندگان در تخمین سیلاب این حوضه‌ها مدل HYMO توانایی کمتری داشته و ارقام مدل ماتریسی نیز مقداری بیش از انتظار می‌باشد.

برای حوضه‌های آبریز با سطح ۸۵ تا ۲۰۰ هکتار نتایج بدست آمده از سه مدل تا حدودی هماهنگ و هم روند شده و برای حوضه‌های بزرگتر از ۲۰۰ هکتار نتایج بدست آمده تفاوت فاحشی با یکدیگر نشان نمی‌دهند ولی تخمین‌های مدل ماتریسی کمتر از دو مدل دیگر بوده است.

در مجموع نگارندگان برای استفاده در حوضه آبریز دربند و گلابدره استفاده از مدل ماتریسی را توصیه می‌نمایند، (با در نظر گرفتن این نکته که برای حوضه‌های کوچکتر از ۸۵ هکتار این مدل تا حدودی محدودیت دارد). بر اساس نتیجه بدست آمده از این مدل اوج سیل اتفاق افتاده در مرداد سال ۱۳۶۵ بعد از پیوستن رودخانه‌های دربند و گلابدره معادل ۳۵۶ مترمکعب در ثانیه برآورد شده است.

۵ نتیجه‌گیری

این مقاله با دو هدف عمده تدوین شده است

۱ ـ ارزیابی تواناییها و محدودیتهای تعدادی از مدلهای شبیه‌سازی بارندگی ـ رواناب برای برآورد هیدروگراف سیلاب در حوضه‌های آبریز فاقد اندازه‌گیری.

۲ ـ تخمین حداکثر گذر حجمی سیلاب اتفاق افتاده در چهارم مرداد ماه سال ۱۳۶۶ در بخشهایی از شهر تهران.

در مورد اول بکارگیری سه مدل HEC1 و HYMO و ماتریسی و عملکرد بهتر مدل ماتریسی را برای منطقه طرح نشان می دهد و ارزیابی و قضاوتهای کارشناسی انجام شده در این زمینه نشان داده که این مدلها برای تخمین حجم و هیدروگراف سیلاب با استفاده از شبیه‌سازی بارندگی ـ رواناب از توانایی لازم برخوردار بوده‌اند.

در مورد دوم حداکثر گذر حجمی سیل ذکر شده حدود ۳۵۶ مترمکعب در ثانیه تخمین زده شده که در مقایسه با خسارتهای بر جای مانده از آن و بخصوص منطقه خسارت دیده ـ شهر تهران ـ رقم قابل توجهی نمی‌باشد. به عبارتی گذر حجمی سیلاب در حد استثنایی و غیر قابل کنترل نبوده بلکه علت اصلی بروز سیل و خسارتهای ناشی از آن را باید در عاملهای جنبی و بخصوص دخالتهای بشر در تغییر سیستم زهکشی طبیعی منطقه جستجو کرد و به دنبال چاره‌جویی بود.

تشکر و قدردانی

از مساعدتها و همکاریهای مهندسین مشاور آب خاک تهران برای در اختیار گذاردن منابع و امکانات سخت‌افزاری و نرم‌افزاری و همچنین استادان گرامی آقای دکتر لگاسه از دانشگاه لاوال آقایان دکتر پراشه و دکتر مادراموتو از دانشگاه مک‌گیل کانادا که طی بازدیدهایشان از حوضه‌های آبریز دربند و گلابدره نظرات سودمندی ارایه کرده‌اند تشکر و قدردانی می‌شود.

منابع

خدایی، ا.، ۱۳۷۶، گزارش مطالعات هواشناسی حوضه آبریز گلابدره: شرکت خدمات مهندسی جهاد، معاونت آبخیزداری وزارت جهاد سازندگی.

علیزاده، ا.، ۱۳۷۸، اصول هیدرولوژی کاربردی: انتشارات آستان قدس رضوی.

مرید، س.، ۱۳۷۶، گزارش مطالعات هیدرولوژی حوضه آبریز گلابدره: شرکت خدمات مهندسی جهاد، معاونت آبخیزداری وزارت جهاد سازندگی.

مهدوی، م.، ۱۳۷۱، هیدرولوژی کاربردی: انتشارات دانشگاه تهران.

SCS National Engineering Handbook, 1972, Section 4, Hydrology, USA.

Texas A & M University, 1986, HYMO user Manual.

USACE, 1990, HEC1, User Manual, Ver 4.0.

Viessman, W., Lewis, G.L., and Knapp, J.W., 1986, Introduction to Hydrology: IEP, NewYork.