محمد خسروشاهی، دانشجوی دکتری جغرافیا
دانشگاه تربیت مدرس
شماره مقاله: ۴۳۵

بررسی کارایی چند فرمول تجربی مهم برای محاسبهٔ بیلان آبی در حوضه‌های آبخیز فاقد ایستگاه آب‌سنجی در مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران

M. Khosrow shahi, Geography doctoral candidate

Tarbiat Modarres University

Evaluation of some Practical formulas Efficiency for Wateryield Estimation of Watersheds in Arid & Semi -arid regions of Iran

In arid and semi-arid regions of Iran, the streams usually are temporary and the number of hydrometric station is not sufficient for estimating water yield. In different cases and many areas,we need to have adiquate knowledge about water yield of watersheds for different purposes. In most watershed projects in Iran,for obtaining the amount of runoff or deficiency of water flow, the Turc, Coutagne and other formulas are applied, while these formulas have not yet been considerd and recommended for all parts of Iran. The use of these models and formulas may bring about many difficulties or wrong calculations for project planners. Reliability of the mentioned models estimating run off in 29 basins located in north-east of Iran(Khorasan) were tested. The formula,application was not satisfactory except for ICAR (Indian Council Agricultural Research) formula, which was possible to utilize for watersheds up to 200 Km in area(se+25%), while the area of watershed was determind to be 1000Km.

مقدّمه

تعیین مقدار رواناب در یک حوضهٔ آبخیز از این نظر اهمیت دارد که به علت فقدان یا ناکافی بودن داده‌های آب سنجی بویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک، ارقام یا کمیتهایی که نمایانگر مقدار آبدهی حوضه‌های بالادست آنها باشد، در دست نیست. ارقامی که بطور مستقیم در طرحهای مربوط به مدیریت منابع آب حوضه‌ها موردنیاز است. لذا در حوضه‌های فاقد ایستگاه هیدرومتری باید در جستجوی راههایی بود که به نحوی تخمین مقدار رواناب را ممکن سازد.

کمبود آب در مناطق خشک و نیمه خشک به معنی عدم وجود آب در این مناطق نیست بلکه در بسیاری از مناطق امکانات بالقوه‌ای از منابع آب وجود دارد که می‌توان آنها را شناسایی کرده و مورد بهره‌برداری قرار داد.

بطورمثال مهار آبهای سطحی برای مقاصد کشاورزی، دامداری، ایجاد فضای‌سبز، پرورش ماهی، تغذیهٔ آبخوانها، احداث سدهای‌خاکی و امثال‌آن، نیازمند اطلاع از مقدار آب حوضه است.

از آن جا که بسیاری از حوضه‌های آبخیز در مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران به دلیل موقتی بودن رودخانه‌ها فاقد ایستگاه آب‌سنجی می‌باشند، کارشناسان و مجریان طرحها برای برآورد رواناب از مدلهای ارایه شده در سطح جهان (با ضرائب ثابت منطقه‌ای) استفاده می‌کنند که در پاره‌ای از موارد خطاهای قابل توجهی ایجاد می‌کند. در این تحقیق کارآیی فرمولهای تجربی مهم برای بخشی از مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران مورد بررسی قرار گرفته و قابلیّت استفاده از آنها آزمایش شده‌است.

هدف

اهداف این مقاله عبارتند از:

۱ـ بررسی و شناخت مهمترین مدلهای ارایه شده برای برآورد رواناب در سطح جهان.

۲ـ آزمایش روشهای موجود به منظور کارآیی آنها در مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران.

۳ـ تعیین ضرائب احتمالی به منظور اصلاح روشهای موجود برای دستیابی به برآوردهای دقیقتر رواناب در حوضه‌های آبخیز فاقد ایستگاه آب‌سنجی.

۴ـ توصیهٔ مناسبترین روشها برای برآورد رواناب در مناطق دارای مشابهت اقلیمی یا مناطق تحت مطالعه در سطح‌کشور.

سابقهٔ موضوع

برای برآورد رواناب روشهای مختلفی وجود دارد. از جمله آنها می‌توان از: روش تخمین رواناب از بارش، هیدروگراف واحد، استفاده از حوضه‌های مشابه، روش نفوذ، فرمولهای تجربی و سایر روشهای مشابه را نام برد. از میان این روشها معادلات تجربی آن هم معادلاتی که صرفاً دارای پارامترهای سهل‌الوصول اقلیمی نظیر بارندگی و درجه حرارت و برخی از خصوصیات فیزیکی حوضه آبخیر هستند، به دلیل سهولت عمل عدم نیاز به آزمایش کاربری آنها در مناطق مربوطه، عمومیّت بیشتری دارند.

تعدادی از فرمولهای تجربی که در ایران کاربرد بیشتری دارند، به شرح زیر می‌باشند:

۱ـ فرمول کوتاین[1]

کوتاین برای محاسبهٔ کمبود جریان در یک حوضهٔ آبخیز و در نهایت برآورد رواناب متوسط سالیانه فرمولی به صورت زیر ارایه نموده‌است.

$$D = P - \lambda P^2 \qquad \lambda = \frac{1}{0.8 + 0.14T} \qquad R = P - D = \lambda P^2$$

که در آن:

D = کمبود جریان (متر) P = متوسط بارندگی سالانه (متر)

T = متوسط درجه حرارت سالانه (°c) R = متوسط رواناب سالانه (متر)

این فرمول موقعی مصداق دارد که P بین $\frac{1}{2\lambda}$ و $\frac{1}{8\lambda}$ باشد. اگر P کمتر از $\frac{1}{8\lambda}$ باشد کمبود جریان مساوی بارندگی بوده و جریان سطحی وجود نخواهد داشت، برعکس اگر P بزرگتر از $\frac{1}{2\lambda}$ باشد، کمبود جریان مستقل از P بوده و به وسیله فرمول زیر محاسبه می‌شود:

$$D = 0.20 + 0.035T$$

1- Coutagne

۲ـ فرمول تورک[2]

تورک پس از بررسیهایی که در مورد ۲۵۴ حوضهٔ آبخیز در نقاط و اقلیمهای مختلف دنیا انجام داد موفق شد فرمول زیر را در سال ۱۹۵۵ پیشنهاد نماید.

$$D = P \frac{P}{\sqrt{0.9 + P^2 / L^2}}$$

در این فرمول P, D برحسب میلیمتر بیان می‌شوند.

D = کمبود اشباع (میلیمتر) P = متوسط بارندگی سالانه (میلیمتر)

و مقدار L از رابطه زیر به دست می‌آید.

$$L = 300 + 25T + 0.05T^3 \qquad R = P - D$$

T = متوسط درجه حرارت سالانه (C°) R = متوسط رواناب سالانه (میلیمتر)

البته مقادیر عددی‌حاصله از این‌روش محاسبه تا اندازه‌ای تقریبی هستند، بنا به عقیدهٔ مؤلف انحراف مطلق بین اندازه‌های محاسبه شده و مقادیری که از راه‌سنجش مستقیم به دست می‌آیند، یعنی $e = D_m - D_c$ در حدود ارقام زیر است.

برای ۲۵۴ حوضه: $0 \quad e \quad 222$

برای ۵۵٪ حالات: $0 \quad e \quad 40$

انحراف نسبی $\frac{D_m - D_e}{D_e}$ برای ۴۳٪ مشاهدات کمتر از ۱۰٪ و در ۶۵٪ حالات به ۲۰٪ می‌رسد.

حوضهٔ موردمطالعه هرچه دارای اختصاصات هیدرولوژیکی استثنایی باشد مانند حوضه‌های خیلی کوچک و کوهستانی (پوشیده از برف و یخ) و مناطقی که یا بشدّت و یا خیلی کم تحت تاثیر نور آفتاب می‌باشند، انحرافات مزبور بیشتر است.

۳ـ فرمول خوزلا[3]

خوزلا در فرمول ارایه شده، درجه حرارت متوسط سالانه را به عنوان عاملی که نمایانگر

2- Turc 3- Khosla

تأثیر عوامل دیگری چون تبخیر، تعرّق، تابش آفتاب و سرعت باد بر روی تلفات آب است، مورد ملاحظه قرار داده و فرمول را به صورت زیر ارایه می‌دهد.

$$R = P - \frac{T}{3.74}$$

که در آن

R = رواناب متوسط سالانه (سانتیمتر)

P = بارندگی متوسط سالانه حوضه (سانتیمتر)

T = درجه حرارت متوسط سالانه (سانتیگراد)

خوزلا در سال ۱۹۶۰ نیز داده‌های درجه حرارت، بارندگی و رواناب را برای حوضه‌های مختلفی در هند و ایالات متحده امریکا تجزیه و تحلیل کرد تا یک ارتباط تجربی بین رواناب و بارندگی به دست آورد.

در این مطالعه دوره‌های برگشت یک ماهه در نظر گرفته شده و رابطه این عوامل برای رواناب ماهانه به صورت زیر است:

$$R_m = P_m - L_m \qquad L_m = 0.48T_m \rightarrow T_m > 4.5c^\circ$$

R_m = رواناب ماهانه به سانتیمتر زمانی که $R_m > 0^\circ$ باشد.

P_m = بارندگی ماهانه (سانتیمتر).

L_m = تلفات ماهانه (سانتیمتر).

T_m = حرارت متوسط ماهانه حوضه (سانتیگراد).

برای $T_m < 4.5°c$ کاهش L_m ممکن است بطور مشروط[۴] به صورت زیر فرض شود:

T°C	4.5	-1	-6.5	-12	-018
$L_m(C_m)$	2.17	1.78	1.52	1.25	1

این فرمول در تعداد زیادی از حوضه‌ها در هند آزمایش شده و برای محاسبهٔ بیلان آب سالانه به منظور استفاده در مطالعات مقدماتی نتایج مطلوبی داده‌است.

4- Provisonally

۴ـ فرمول جاستن

جاستن برای برآورد رواناب سالانه با استفاده از پارامتر بارندگی، درجه حرارت و شیب حوضه فرمولی به شکل زیر ارایه داد:

$$R = 0.284\, S^{0.155} \frac{P^2}{(1.8T + 32)}$$

R = رواناب سالانه (سانتیمتر). P = بارندگی سالانه (سانتیمتر).

T = متوسط حرارت سالانه (سانتیگراد). S = شیب حوضه آبخیز (درصد).

جاستن برای محاسبهٔ متوسط تقریبی شیب حوضه از رابطهٔ ساده زیر استفاده کرده‌است:

$$S = \frac{H_{Max} - H_{Min}}{\sqrt{A}}$$

H = ارتفاع به (کیلومتر). A = سطح حوضه به (کیلومترمربع).

این فرمول در حوضه‌های آبخیز ایالات متحده‌امریکا بکار رفته است.

۵ـ فرمول ICAR[5]

انجمن تحقیقات کشاورزی هند در حوضه‌های آبخیز کوچک برای برآورد رواناب سالانه فرمول دیگری ارایه داده‌است.

بخش حفاظت خاک این انجمن در سال ۱۹۷۱ در تعداد هفده زیرحوضه در ایالت Nilgiri Hills تجزیه و تحلیلهایی انجام داده و موفق به کشف روابطی بین ۹ خصوصیت مهم فیزیوگرافی این حوضه‌ها شده‌است و در نهایت فرمول خود را به صورت زیر پیشنهاد کرده است:

$$Q = \frac{1.511\, P^{1.44}}{T_m^{1.34} \times A^{0.0613}}$$

که در آن:

Q = رواناب سالانه (سانتیمتر) P = بارندگی سالانه (سانتیمتر)

A = مساحت حوضه (کیلومترمربع) T_m = حرارت متوسط سالانه (سانتیگراد)

5- Indian Council of Agricultural Research

کاربرد فرمولهای کوتاین و تورک برای به دست آوردن مقادیر تقریبی رواناب متوسط سالانه در چندین رودخانه موزامبیک جنوبی توسط D, olivera و Mimoso مورد بررسی قرار گرفته است. در مقالهٔ D, olivera ، فرمول کوتاین با ضرایب ابتدایی فرمول خطاهای خیلی بزرگی ایجاد کرده که برای کاهش مقدار خطا حوضه‌ها را به دو گروه تقسیم کرده و در نهایت مقدار λ به صورت زیر پیشنهاد شده‌است:

برای حوضه‌های با بارندگی ۴۵۰ تا ۶۵۰ میلیمتر $\lambda = 0.000050$

برای حوضه‌های با بارندگی بیشتر از ۶۵۰ میلیمتر $\lambda = 0.000140$

این پژوهشگران از فرمول تورک که در آن مقدار A برابر ۳۰۰ در نظر گرفته شده‌بود، در رودخانه‌های فوق استفاده کردند. این فرمول با مقدار ثابت فوق قابل استفاده نبود زیرا اختلاف به دست آمده از فرمول تورک در ۶۴٪ موارد بالاتر از ۰/۱ D اندازه‌گیری شده‌بود لذا از این موضوع نمی‌توانستند به عنوان یک قاعده کلی کاربردی استفاده کنند بنابراین سعی شد یک ضریب اصلاحی برای تابع بارندگی و همچنین درجه حرارت متوسط سالانه در هر حوضه پیدا شود.

استفاده از مقادیر جدید ضرایب، اختلافات بین D محاسبه شده و D اندازه‌گیری شده را تا سطح قابل قبولی کم می‌کند.

Eduardo-Basso در مقاله‌ای ضمن برشمردن فرمولهای خوزلا، کوتاین، تورک و سایرین می‌گوید:

کاربرد این متدها با روشهای ثابت جهانی، گاه باعث خطاهای بزرگی می‌شود. بنابراین باید کاربرد آنها به استفادهٔ منطقه‌ای محدود شود.

بهترین توصیه این است که روشهای موجود در سایر نقاط به کار گرفته شوند و نتایج به دست آمده با مقادیر اندازه‌گیری شده در محل تحت مطالعه، مقایسه شوند.

موقعیت منطقهٔ موردمطالعه (استان خراسان)

استان خراسان به وسعت تقریبی ۳۱/۷ میلیون هکتار، بزرگترین استان ایران و تقریباً $\frac{1}{5}$

وسعت کل کشور را تشکیل می‌دهد. این استان بین عرض جغرافیایی °۳۰ و ′۳۱ تا °۳۸ و ′۱۷ شمالی و طول جغرافیایی °۵۵ و ′۲۸ تا °۶۱ و ′۱۴ قرار دارد. وجود رشته کوهها و طرز قرار گرفتن آنها در استان و از طرفی وجود دشت کویر در غرب، بیابان لوت در جنوب، نمکزار خواف و هامون در شرق، کویر نمک در مرکز و بیابان قره‌قوم در شمال (در کشور ترکمنستان) باعث شده تا قسمت وسیعی از آن جزء مناطق خشک و بیابانی محسوب شود. به استثنای مناطق شمالی و ارتفاعات، بقیهٔ نقاط استان دارای آب و هوای بیابانی گرم می‌باشند. در نتیجه آب در این استان از ارزش و اهمیت بسیار بالا و حیاتی برخوردار است. بطورکلی استان خراسان به ۶ حوضهٔ آبخیز تقسیم می‌شود که وضعیت آنها در جدول شماره ۱ نشان داده شده‌است.

جدول شماره ۱: وضعیت اقلیمی حوضه‌های آبخیز شش‌گانه استان خراسان

نام حوضهٔ آبخیز	مساحت (میلیون‌هکتار)	آب و هوا	میزان بارندگی (میلی‌متر)
اترک	۱/۷	بری‌تامدیترانه‌ای	۲۲۰ تا ۷۰۰
صحرای قره‌قوم	۴/۷	خشک‌وبیابانی‌تامدیترانه‌ای‌ونیمه‌خشک	۱۷۶ تا ۳۳۰
کویرمرکزی	۷	خشک تا نیمه خشک	۱۶ تا ۳۳۰
کویرنمک	۴/۳	خشک تا نیمه خشک	۱۰۰ تا ۲۷۰
شرق‌ایران (نمکزارخواف‌وهامون)	۵/۲	خشک و بیابانی	۱۵۰ تا ۴۰۰
کویرلوت	۸/۸	خشک و بیابانی	۱۰۰ تا ۳۰۰

روش مطالعه

شناسایی حوضه‌ها

معمولاً در حوضه‌های آبخیز بزرگ از رواناب موجود، در کشاورزی، دامداری، باغبانی، پرورش ماهی و سایر مصارف استفاده می‌شود. بنابراین مقدار آب اندازه‌گیری شده در محل ایستگاه که معمولاً در خروجی حوضه قرار دارد گویای مقدار واقعی رواناب حوضه نخواهد بود. لذا برای رفع و حذف این عوامل کوشش شد تا از حوضه‌های کوچک و کوهستانی به عنوان

حوضه‌های مشابه نمونه استفاده شود. بدین منظور پس از بررسی لیست کلیهٔ حوضه‌های آبخیز استان، موجود در ادارهٔ مطالعات آبهای سطحی (وزارت نیرو)، تعداد ۴۰ حوضه که دارای آمار طبیعی رواناب بود، شناسایی شد.

امّا چون هدف این بود که حداکثر مساحت حوضه از ۱۰۰۰ کیلومترمربع بیشتر نباشد، ناچار تعدادی از حوضه‌ها که وسعت بیشتری داشتند، حذف شدند و در نهایت تعداد آنها به ۳۵ حوضه رسید.

پایهٔ زمانی انتخاب شده

پس از بررسی دوره‌های برداشت آمار ایستگاهها از بدو تأسیس تا زمان مطالعه، مشخّص شد که آمار موجود تعداد ۶ حوضه ناقص و خیلی کوتاه است بطوری که بازسازی آنها ممکن نیست. لذا ایستگاههای مذکور نیز از جمع حوضه‌ها حذف شدند که در نهایت تعداد حوضه‌های باقی مانده به ۲۹ حوضه رسید.

از آن جا که دوره‌های برداشت آمار در ایستگاههای موردمطالعه متفاوت بود سعی شد یک دورهٔ زمانی مشترک برای کلیه ایستگاهها در نظر گرفته شود، تا علاوه بر همزمان شدن داده‌ها، بازسازی نواقص آماری نیز ممکن باشد.

در این گونه مطالعات علاوه بر این که تعداد ایستگاههای اندازه‌گیری دبی باید در حدّ مناسبی باشد، هر قدر طول سالهای آماری نیز بیشتر باشد، نتایج قابل اعتمادتری به دست می‌آید. سالهای آماری ناقص تا آن جا که اصول بازسازی آمار اجازه داد از طریق رگرسیون و طرق دیگر تکمیل و تطویل شد و در نهایت تعداد ۱۵ سال (۵۴ ـ ۵۳ تا ۶۸ ـ ۶۷) به عنوان دورهٔ زمانی پایه انتخاب شد. این دوره نزدیکترین دورهٔ زمانی ممکن به زمان مطالعه بود. حوضه‌های موردمطالعه بر روی نقشه‌های ۱ : ۲۵۰۰۰۰ ایران‌شناسایی و پس از بستن مرز حوضه‌ها، حداقل و حداکثر ارتفاع حوضه تعیین و از میانگین این دو، ارتفاع متوسط حوضه نیز مشخص شد. بدیهی است دقت کار در این مرحله تا حد زیادی به دقّت نقشه‌های مورداستفاده بستگی داشت.

برای برآورد میزان بارندگی در حوضه‌ها، ابتدا ایستگاههای باران‌سنجی و کلیماتولوژی با

توجه به طول و عرض جغرافیایی و ارتفاع آنها در مناطق مطالعاتی، روی نقشه‌های ۱:۲۵۰۰۰۰ پیاده و سعی شد برای دقّت بیشتر و تعیین تأثیر احتمالی میکروکلیمای محلی و جبهه‌های هوایی، برای هر منطقه گرادیان بارندگی و حرارتی جداگانه‌ای محاسبه شود. پس از بررسی ایستگاههای فوق،دورهٔ زمانی مشترک با ایستگاههای اندازه‌گیری دبی انتخاب شد. ایستگاههای باران‌سنجی از نظر قدمت و طول دورهٔ برداشت آمار نسبت به ایستگاههای هیدورمتری در وضعیت بهتری قرار داشتند.

کار بازسازی آمار در سالهای ناقص انجام و در نهایت روابط رگرسیون بارندگی و دما برای مناطق موردمطالعه معرفی شد (جدول شماره ۲).

جدول شمارهٔ ۲: روابط رگرسیونی ارتفاع با بارندگی و درجه حرارت در مناطق موردمطالعه

نام‌منطقه	رابطه‌رگرسیون‌بارندگی	سطح اشتباه	رابطه‌رگرسیون دمایی	سطح اشتباه
نیشابور	P= -20.5 + 0.224H	%1	T= 22.13 - 0.006H	%1
تربت‌حیدریه و فریمان	P= 13.94 + 0.162H	%1	T= 20.24 - 0.0057H	%1
بجنورد- درونگر	P= 105.8 + 0.144H	%1	T= 18.4 - 0.0052H	%1
مشهد و چناران	P= 62.5 + 0.145H	%1	T= 18.88 - 0.0054H	%1

T = متوسط درجه حرارت سالانه به سانتیگراد P = متوسط بارندگی سالانه به میلی‌متر

H = ارتفاع از سطح دریا به متر

نتایج

با استفاده از روابط معرفی شده در جدول فوق، بارندگی و متوسط دمای سالانه در ۲۹ حوضه مورد مطالعهٔ برآورد و پس از جایگزینی در فرمولهای پیش‌گفته رواناب حوضه محاسبه شد. نتیجهٔ محاسبات با میانگین ارتفاع رواناب مشاهده شده در طول دورهٔ زمانی پایه که قبلاً تعیین شده‌بود، مقایسه گردید.این قیاس در چهار دامنه؛ ۱۵%±، ۱۰%±، ۲۵%±، ۲۰%± رواناب اندازه‌گیری شده به منظور ارزیابی بهترین روش انجام شد (جدول شماره ۳).

جدول شمارهٔ ۳: تطبیق رواناب اندازه‌گیری شده و محاسبه شده با روشهای مختلف

دامنه	±10%	±15%	±20%	±25%
کوتاین	۱	۴	۷	۸
تورک	۲	۶	۹	۱۰
ICAR	۲	۱۵	۱۸	۲۰
جاستن	۷	۱۱	۱۱	۱۲
خوزلا	۰	۰	۰	۱

هرچند در جدول بالا فرمولهای ICAR و جاستن نسبت به سایر فرمولها بهتر جواب می‌دهند ولی پراکنش آنها را در سطح ۲۹ حوضه نمی‌توان تعیین کرد.

با استفاده از جدول فوق فقط می‌توان برتری روشها را نسبت به یکدیگر مقایسه کرد ولی نتیجه علمی فرمولها در سطح ۲۹ حوضه مشخص نیست بنابراین سعی شد در صورت امکان دسته‌بندی مناسبی براساس یکی از سه پارامتر بارندگی، درجه حرارت و مساحت حوضه انجام شود. پس از بررسیهای لازم، دسته‌بندی مناسبی که بتوان قابلیت کارایی فرمولها را مشخص کرد، براساس مساحت حوضه صورت گرفت.

معمولاً عوامل مؤثر بر مقدار رواناب کاملاً از یکدیگر مستقل نیستند. اگر مساحت حوضه را به عنوان یک عامل پایدار در طول زمان در نظر بگیریم، اغلب سایر عوامل محیطی با مساحت حوضه و با یکدیگر مرتبط خواهند بود. به عنوان مثال مقدار باران در یک حوضه بستگی به مختصات جغرافیایی داشته و میزان آن با مساحت حوضه تغییر می‌کند. بنابراین بین عوامل اقلیمی و توپوگرافیک همبستگی وجود دارد. عوامل توپوگرافیک مانند طول و شیب آبراهه، ارتفاع متوسط حوضه و تراکم زهکشی اغلب با یکدیگر و با مساحت حوضه ارتباط دارند. همچنین دبی سیلابها و حجم رواناب بطور مستقیم به مساحت حوضه بستگی دارد.

با توجه به موارد فوق پایه و اساس تقسیمات و دسته‌بندی رواناب در این تحقیق برمبنای مساحت حوضه صورت می‌گیرد.

۱ـ حوضه‌های تا مساحت ۲۰۰ کیلومترمربع

همانگونه که در شکل شماره ۱ نشان داده‌شده‌است. در این قسمت بهترین نتیجه را فرمول ICAR ارایه داده بطوری که در دامنهٔ ۲۵±٪ درصد، رواناب برآورد شده در ۱۰۰٪ حوضه‌ها با رواناب مشاهده شده هماهنگ است. البته انجمن تحقیقات کشاورزی هند این فرمول را برای حوضه‌هایی با مساحت ۱۰۰ کیلومترمربع پیشنهاد کرده‌است.

بعد از آن فرمول جاستن قرار دارد که در این دو فرمول علاوه بر پارامترهای حرارت و بارندگی به ترتیب عوامل مساحت و شیب حوضه نیز به کار رفته‌اند.

در این مورد فرمولهای کوتاین و تورک حداکثر در ۱۰ حوضه و فرمول خوزلا تنها در یک حوضه کاربرد داشته‌اند.

۲ـ حوضه‌های با مساحت بیش از ۲۰۰ کیلومترمربع (۲۰۰ تا ۱۰۸۰ کیلومترمربع)

در این حوضه‌ها فرمول تورک و سپس فرمول کوتاین تطابق بیشتری داشته‌اند. فرمول ICAR و جاستن حداکثر در ۱۰٪ حوضه‌ها و فرمول خوزلا در هیچکدام از حوضه‌ها جواب نداده‌است. (شکل شماره ۲).

تعیین ضریب اصلاحی

به منظور اصلاح و توسعهٔ کاربرد فرمولهای کوتاین، تورک و خوزلا سعی شد یک ضریب اصلاحی در منطقه موردمطالعه تعیین شود. از این رو ابتدا نسبت رواناب محاسبه شده به رواناب اندازه‌گیری شده تعیین و سپس با استفاده از این نسبت که بنام α (آلفا) نامیده شد و همچنین مساحت حوضه‌ها، نقاط تجربی روی کاغذ میلیمتری تعیین و معادلهٔ بهترین خط برازش داده شده از طریق رگرسیون به صورت زیر به دست آمد:

$$\frac{R_c}{R_m} = \alpha \qquad \alpha = 0.395 + 0.00166A$$

A = مساحت حوضه به کیلومترمربع

ضریب همبستگی در معادله فوق مساوی 0.892 و در سطح ۱٪ مصداق دارد.

لازم به توضیح است چون در فاصله بین ۶۲۰ تا ۱۰۸۰ کیلومتر مربع تنها دو حوضه قرار گرفته است و پس از تعیین نقاط تجربی، این دو حوضه با سایر حوضه‌ها هماهنگی نداشتند لذا

از محاسبات حذف و کار با ۲۷ حوضه و تا مساحت ۶۲۰ کیلومترمربع ادامه یافت. بنابراین مقدار α برای ۲۷ حوضه تعیین و در نهایت فرمول کوتاین به صورت زیر اصلاح شد:

$$R = \frac{\lambda P^2}{0.395 + 0.00166A}$$

با واردکردن ضریب اصلاحی در فرمول کوتاین درصد موفقیت از ۲۲٪ به ۷۸٪ افزایش یافت (در دامنه ۲۵٪ ±) مقدار α برای فرمول تورک به طریق پیش گفته به صورت زیر به دست آمد.

$$\alpha = 0.37 + 0.00129A$$

ضریب همبستگی در معادلهٔ فوق برابر 0.803 و در سطح ۱٪ مصداق دارد.

با واردکردن ضریب اصلاحی، فرمول تورک به صورت زیر اصلاح شد.

$$R = \frac{P - D}{0.37 + 0.00129A}$$

R = رواناب به میلی‌متر P = بارندگی به میلیمتر

A = مساحت حوضه به کیلومترمربع D = کمبود رواناب

با استفاده از فرمول اصلاح شدهٔ تورک، درصد موفقیت از ۳۰٪ به ۷۰٪ افزایش یافت.

ضریب اصلاحی برای فرمول خوزلا نیز به همین روش تعیین شد و معادلهٔ خط رگرسیون به صورت زیر به دست آمد.

$$\alpha = 1.548 + 0.00828A$$

ضریب همبستگی در معادلهٔ فوق برابر 0.918 و در سطح ۱٪ مصداق دارد.

$$R = \frac{3.74P - T}{5.79 + 0.031A}$$

R = رواناب به سانتیمتر P = بارندگی به سانتیمتر A = مساحت حوضه به کیلومترمربع

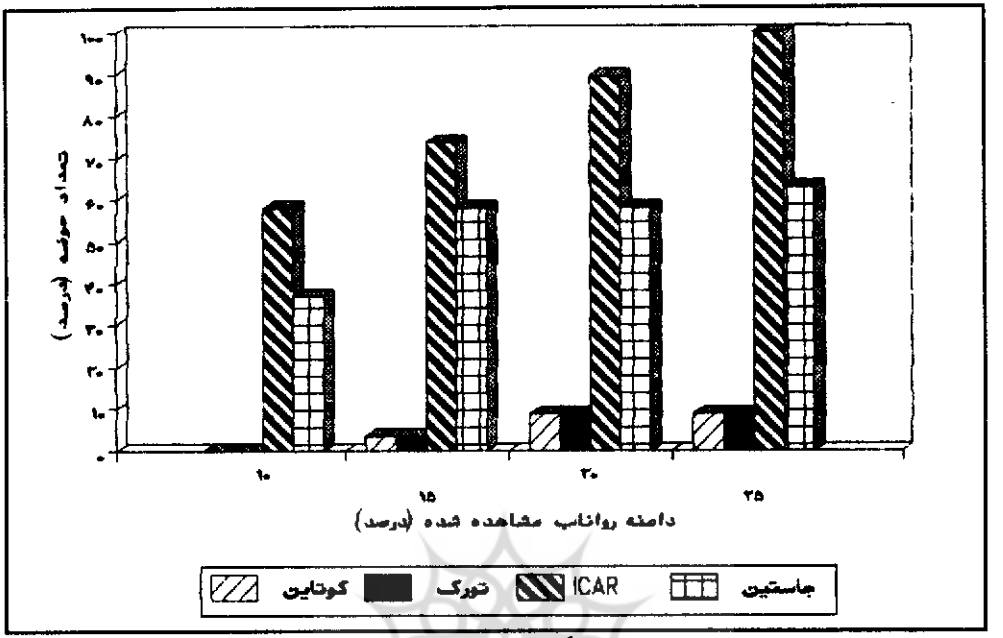
بااستفاده ازفرمول اصلاح شدهٔ خوزلا درصد موفقیت از صفر به ۸۲٪ رسید (شکل شمارهٔ ۳).

مقایسهٔ ارقام را در حالت عادی و اصلاح شده نشان می‌دهد.

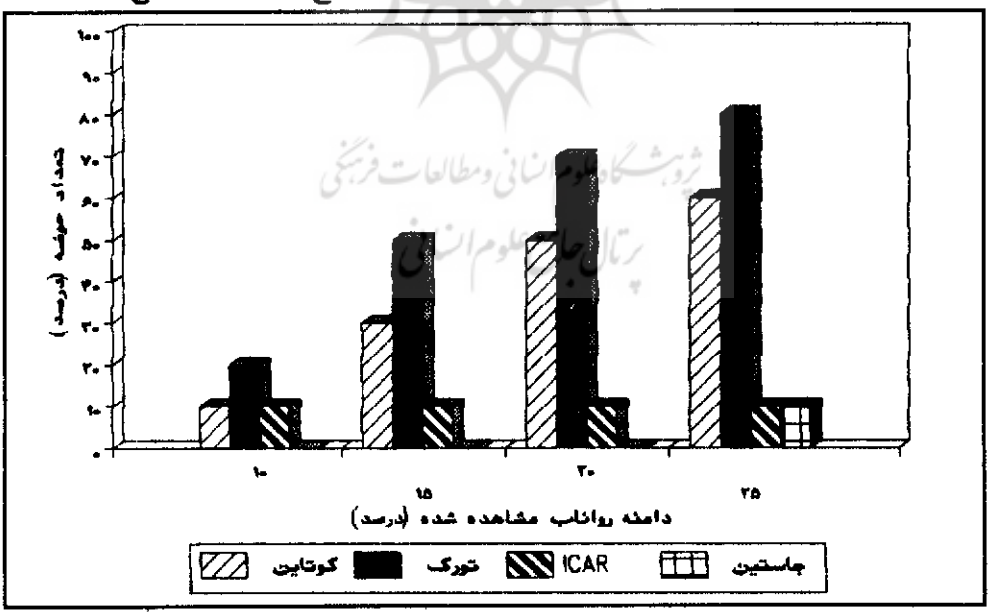
همچنین جدول شمارهٔ ۴ مقایسه‌رواناب‌تطبیق‌یافته‌رادرحالت‌عادی‌واصلاح‌شده نشان‌می‌دهد.

جدول‌شمارهٔ ۴: مقایسه‌رواناب‌مشاهده‌شده‌ومحاسبه‌شده‌در حالت‌عادی واصلاح شده دردامنه ۲۵ ±٪

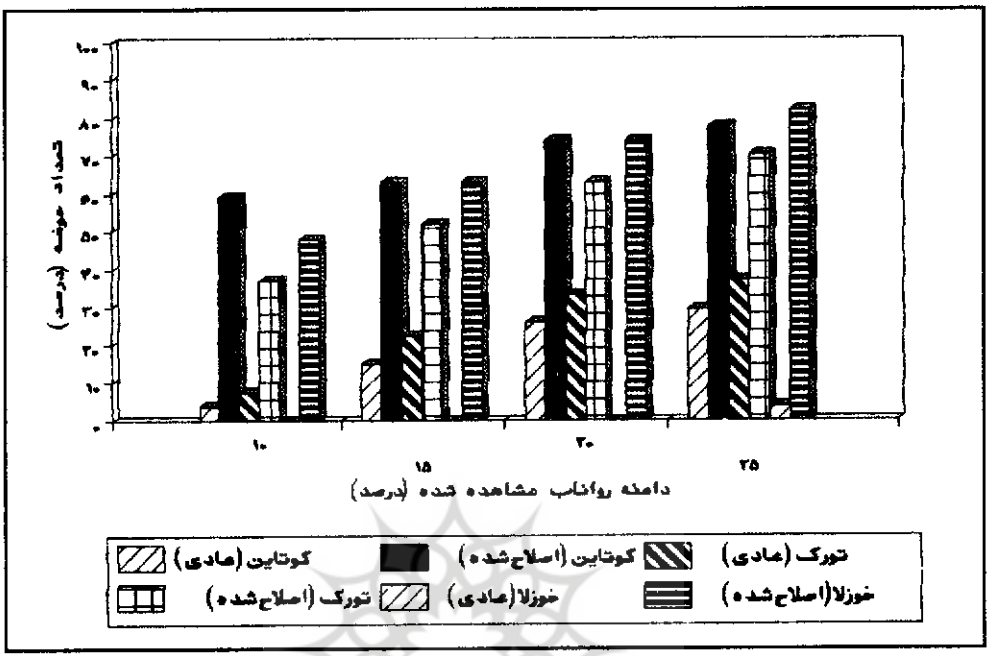
ردیف	رودخانه	ایستگاه	مشاهده‌شده (cm)	حالت عادی			حالت اصلاح شده			مساحت Km2
				کوتاین	تورک	خوزلا	کوتاین	تورک	خوزلا	
۱	خروکوچک	کمرسوراخ	۳۰	۱۳/۳	۱۴/۳	۴۹/۷	۲۹/۵	۳۴/۶	۲۷/۲	۳۳/۲
۲	خرم دره	دولت آباد	۳۲/۹	۱۱/۷	۱۱/۱	۴۱	۲۵/۳	۲۶/۲	۲۱/۷	۴۱
۳	خروبزرگ	چشمه‌علی	۲۹/۸	۱۵/۶	۱۵/۸	۵۱/۳	۳۲	۳۵/۵	۲۵/۳	۵۷/۶
۴	زشک	زشک	۲۸/۸	۱۱/۵	۱۰/۹	۴۰/۹	۲۳	۲۴/۲	۱۹/۸	۶۲/۵
۵	بردو	غارشیشه	۱۶/۷	۸/۴	۷/۲	۳۷/۲	۱۶/۵	۱۵/۷	۱۷/۶	۶۸/۲
۶	جاغرق	بندگلستان	۱۳/۹	۷/۴	۶	۳۵	۱۴/۲	۱۲/۸	۱۶/۱	۷۵
۷	شصت دره	صنوبر	۲۰	۸/۶	۷/۵	۳۷/۲	۱۶	۱۵/۶	۱۶/۵	۸۵
۸	رویین	عراقی	۱۷/۸	۹/۵	۸/۶	۳۹/۶	۱۷/۱	۱۷/۴	۱۶/۹	۹۶/۲
۹	طاغون	طاغون	۱۸/۳	۱۳	۱۲/۷	۴۷/۹	۲۳	۲۵/۳	۲۰	۱۰۲/۴
۱۰	خرو	مجموع‌درود	۱۷	۱۲/۵	۱۲/۱	۴۷/۲	۲۱/۷	۲۳/۷	۱۹/۳	۱۰۹
۱۱	دهبار	حصار	۱۳/۷	۶/۸	۵/۴	۳۳/۸	۱۱/۷	۱۰/۵	۱۳/۶	۱۱۳
۱۲	مابان	حصار	۱۰/۷	۶/۴	۴/۸	۳۳	۱۱	۹/۳	۱۳/۲	۱۱۳/۵
۱۳	قلندرآباد	کلاته‌رحمان	۱۱/۶	۷/۵	۶/۲	۳۵/۹	۱۲/۸	۱۱/۹	۱۴/۳	۱۱۵/۶
۱۴	درکش	درکش	۱۴/۷	۱۲/۹	۱۲/۴	۵۰	۲۲	۲۳/۸	۱۹/۹	۱۱۵/۷
۱۵	بار	اریه	۱۶/۶	۱۰/۸	۹/۹	۴۴/۸	۱۸/۲	۱۸/۹	۱۷/۷	۱۱۹
۱۶	طرق	کرتیان	۱۲	۵/۳	۳/۲	۳۰/۷	۸/۴	۵/۸	۱۱/۲	۱۴۴
۱۷	فاروبرومان	عیش‌آباد	۱۶/۳	۱۲/۵	۱۲/۱	۴۷/۳	۱۹	۲۱	۱۶/۷	۱۵۸/۴
۱۸	شیرآباد	شیرآباد	۱۷/۵	۱۴/۸	۱۵	۵۲/۶	۱۸/۷	۲۵/۵	۱۷/۸	۱۶۸/۹
۱۹	شاندیز	سرآسیاب	۱۱/۲	۵	۳/۳	۳۲/۹	۶/۹	۵/۳	۱۰/۳	۱۹۹
۲۰	رادکان	امام زاده	۶/۸	۵/۸	۴/۱	۳۱/۸	۷/۳	۶	۹	۲۳۸
۲۱	فریمان	باغ‌عباس	۷/۸	۷/۲	۵/۸	۳۵	۸/۳	۷/۹	۸/۹	۲۸۵/۹
۲۲	فریزی	موشنگ	۱۸/۶	۸/۸	۷/۸	۳۷/۳	۹/۷	۱۰/۲	۹/۱	۳۰۶
۲۳	لاین‌سو	سنگ‌دیوار	۵/۷	۶/۷	۵	۳۴/۵	۶	۵/۳	۶/۶	۴۳۹/۴
۲۴	قلجق	برزو	۸/۳	۹/۸	۹	۴۰	۸/۴	۹	۷/۲	۴۸۷
۲۵	ارداک	بندساروج	۶/۳	۸/۴	۷/۳	۳۶/۶	۶/۷	۷	۶/۲	۵۱۹/۷
۲۶	کارده	محل سد	۵/۷	۷/۸	۶/۷	۳۴/۹	۶	۶/۳	۵/۸	۵۴۱
۲۷	کارده	اندرخ	۵	۷/۱	۵/۷	۳۴/۴	۵	۴/۹	۵/۱	۶۱۸/۲
۲۸	درونگر	سنگ‌سوراخ	۵/۷	۶/۹	۵/۳	۳۵	-	-	-	۹۱۸/۸
۲۹	قوزقانچای	حاتم‌آباد	۵/۶	۶/۵	۴/۸	۳۴/۱	-	-	-	۱۰۸۱



شکل شماره ۱: تطبیق رواناب اندازه‌گیری شده و محاسبه شده با استفاده از فرمولهای مختلف با اختلاف ۱۰ تا ۲۵٪ (در حوزه‌های آبخیز تا سطح ۲۰۰ کیلومترمربع)



شکل شماره ۲: تطبیق رواناب اندازه‌گیری شده و محاسبه شده با استفاده از فرمولهای مختلف با اختلاف ۱۰ تا ۲۵٪ (حوزه‌های آبخیز با مساحت ۲۰۰ تا ۱۰۸۰ کیلومترمربع)



شکل شماره ۳: مقایسه رواناب محاسبه شده با استفاده از فرمولهای مختلف در حالت عادی و اصلاح شده در حوزه‌های آبخیز تا سطح ۶۵۰ کیلومترمربع

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

بحث و نتیجه‌گیری

بررسی نتایج به دست آمده از به‌کارگیری فرمولهای تجربی معرفی شده در حوضه‌های آبخیز خراسان نکاتی را روشن می‌نماید که اهم آنها عبارتند از:

۱ـ بیشتر این فرمولها فقط در مناطقی که استخراج شده‌اند کاربرد دارند. لذا قبل از به کارگیری آنها در مناطق دیگر، بهتر است در چند حوضهٔ مشابه نمونه آزمایش شده و پس از اطمینان از صحت کاربرد آنها در حوضه‌های موردمطالعه، از آنها استفاده شود. این مطلب را Mimosoloureira, D, oliveramartens در سال ۱۹۷۳ هنگام استفاده از فرمولهای کوتاین و تورک در رودخانه‌های موزامبیک جنوبی نیز اظهار داشته‌اند.

همچنین Edvardo Basso در سال ۱۹۷۲ در مقاله‌ای ضمن بر شمردن فرمولهای خوزلا، کوتاین، تورک و سایرین می‌گوید: کاربرد این متدها با ضرائب ثابت جهانی، گاه باعث خطاهای بزرگی می‌شود. بنابراین باید کاربرد آنها به استفادهٔ منطقه‌ای محدود شود. K. subramanya نیزاین مطلب را در سال ۱۹۸۴ متذکر شده‌است.

۲ـ مطابق نتایج به دست آمده از بررسی کلی فرمولها، با توجه به این که فرمول ICAR در چهار دامنهٔ تعیین شده در حوضه‌های تا سطح ۲۰۰ کیلومتر مربع بیشترین و بهترین تطابق را نسبت به سایر فرمولها داشته است لذا در حوضه‌های فاقد ایستگاه اندازه‌گیری تا سطح مذکور، در منطقه مورد مطالعه کاربرد این فرمول مورد تأیید است.

۳ـ با توجه به این که روش اصلاح شدهٔ کوتاین برای حوضه‌های با مساحت ۲۰۰ تا ۶۲۰ کیلومتر مربع در ۹۰٪ موارد با اختلاف ۱۰٪ رواناب اندازه‌گیری شده نتایج قابل قبولی ارایه داده‌است، بنابراین برای حوضه‌های با مساحت فوق استفاده از این فرمول پیشنهاد می‌شود. (حوضه‌های بزرگتر از ۴۰۰ کیلومترمربع، نتایج به دست آمده از فرمول تورک در حالت عادی نسبت به فرمول کوتاین به واقعیت نزدیکتر است.)

۴ـ حوضه‌های موردمطالعه در استان خراسان اغلب کوهستانی بوده و متوسط بارندگی سالانه آنها از ۳۳۰ میلیمتر تا ۵۵۰ میلیمتر می‌رسد. بنابراین استفاده از فرمولهای پیشنهادی در مناطق مشابه بلامانع به نظر می‌رسد. ولی برای به کار بردن آنها در سایر مناطق نیمه‌خشک ایران، توصیه می‌شود که نتایج، حداقل در چند حوضه دارای ایستگاه اندازه‌گیری کنترل شده و پس از اطمینان از صحت کاربرد آنها، نسبت به برآورد رواناب حوضه‌های فاقد ایستگاه هیدرومتری اقدام شود.

۵ـ بدیهی است هرگز نمی‌توان انتظار داشت که این روشها به نتایج بسیار دقیقی منجر شوند ولی چنان که در تمام دنیا مرسوم است، در موارد کمبود داده‌ها از این روشها استفاده می‌شود بنابراین ارقام رواناب برآورد شده با این روشها را می‌توان برای تخمینهای اوّلیه در طرحهای جامع به کار گرفت و برای رسیدن به ارقام دقیقتر پارامترهای دیگری را که در رواناب مؤثرند در فرمولها وارد کرد.

منابع و مآخذ

۱ـ احمدی، سروش، «کیادخت، کاربرد اطلاعات ماهواره‌ای لندست در بررسی و مطالعه حوضه آبخیز کویر نمک (بجستان)»، **مجموعه مقالات جغرافیا** (شماره ۴) از انتشارات آستان قدس رضوی، ۱۳۶۷.

۲ـ جلالی، حسین، «بررسی سیلابهای ایران»، **مجموعه مقالات اوّلین کنفرانس هیدرولوژی ایران**، ۱۳۶۸.

۳ـ جلالی، حسین، «معیارانتخاب طراحی از دید ایمنی سدها»، **مجموعه مقالات اوّلین کنفرانس هیدرولوژی ایران**، ۱۳۶۸.

۴ـ جهانی، عباسقلی، «استانداردکردن مطالعات هیدرولوژی درایران»، **مجموعه مقالات اوّلین کنفرانس هیدرولوژی ایران**، ۱۳۶۸.

۵ـ حائری، سیدمحسن، **اصول طرح سدهای خاکی** (گروه مهندسین عمران و صنایع)، ۱۳۶۳.

۶ـ حسین، **سیدعلی** ز دیگران، **مطالعات هواشناسی دشت نیشابور و جلگه رخ**، امور مطالعات منابع آب استان خراسان (جلد اوّل)، ۱۳۶۷.

۷ـ سازمان برنامه و بودجه خراسان، **آمارنامه استان خراسان**، ۱۳۶۵.

۸ـ سالنامه‌ها و آمارنامه‌های جریان آب و بارندگی، وزارت نیرو.

۹ـ سبحانی، هوشنگ، **جزوه درسی آمار و احتمالات**، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران.

۱۰ـ صدقی، حسین، **اصول مهندسی هیدرولوژی**، جلد اوّل **هیدرومتئورولوژی**، (ترجمه) ازانتشارات وزارت‌نیرو، ۱۳۶۳.

۱۱ـ کردوانی، پرویز، **مسایل و منابع آب در ایران**، انتشارات دانشگاه تهران، چاپ دوم، ۱۳۶۸.

۱۲ـ کوچکی، عوض، علیزاده، امین، **اصول زراعت در مناطق خشک**، (ترجمه) جلد اوّل، نوشتهٔ آی ـ آرنون، ۱۳۶۵.

۱۳ـ کیانی، علامحیدر، پژمان، علی‌اکبر، **احیاء منابع طبیعی خراسان در یک برنامه ۱۰ ساله**، اداره کل منابع طبیعی خراسان، ۱۳۶۷.

۱۴ـ معتمد، احمد، «مسایل زمین‌شناسی لوت»، نشریهٔ شماره ۱۱، مؤسسه جغرافیا دانشگاه تهران، ۱۳۵۳.

۱۵ـ **مطالعات هواشناسی طرح آبخیزداری سد کارده**، دانشگاه مشهد، جلد اوّل، ۱۳۶۵.

۱۶ـ **مطالعات هیدرولوژی طرح آبخیزداری سد کارده**، دانشگاه مشهد، جلد دوم، ۱۳۶۵.

۱۷ـ موحد دانش، علی‌اصغر، «روشهای محاسبه بیلان آبی»، (ترجمه) نشریه شمارهٔ ۱۷، انتشارات یونسکو، ۱۳۶۱.

۱۸ـ موحد دانش، علی‌اصغر، فاخری، احمد، «مدل‌بندی سیلابهای منطقه‌ای در شرق دریاچه ارومیه»، **مجموعه مقالات اوّلین کنفرانس هیدرولوژی ایران**، ۱۳۶۸.

۱۹ـ موسوی حرمی، سیدرضا، آدابی، محمدحسین، «ژئومورفولوژی شرق حوضه کپه‌داغ»، **مجموعه مقالات سمینار جغرافی** (شماره ۱)، انتشارات آستان‌قدس رضوی، ۱۳۶۴.

۲۰ـ موسوی، هیراد، سپاسخواه، علیرضا، «تخمین دبی ماکزیمم روزانه در حوزه‌های آبریز فاقد آمار در استان فارس»،

مجموعه مقالات اوّلین کنفرانس هیدرولوژی ایران، ۱۳۶۸.

۲۱ـ مهدی، محمد، جزوات درس هیدرولوژی عمومی و هیدرولوژی کاربردی، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران.

۲۲ـ میرباقری، پیشوایی، «تحلیل داده‌های هیدرولوژیک در محاسبه حجم مخازن»، مجموعه مقالات اوّلین کنفرانس هیدرولوژی ایران.

۲۳ـ نجمایی، محمد، هیدرولوژی مهندسی، جلد اوّل، انتشارات دانشگاه علم و صنعت، ۱۳۶۹.

۲۴ـ نقشه‌های توپوگرافی $\frac{1}{25,000}$ سازمان زمین‌شناسی کشور.

۲۵ـ ولایتی، سعداله، «منابع آب زیرزمینی شهر مشهد»، مجموعه مقالات سمینار جغرافی (۱)، انتشارات آستان قدس رضوی، ۱۳۶۴.

۲۶ـ ولایتی، سعداله، «منابع و مسایل آب زیرزمینی دشت نیشابور»، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی شماره ۸، انتشار آستان قدس رضوی، ۱۳۶۷.

27- Edvardo Basso,"Methodology for assessing Hydrological characteristics in data scaree Areas",. ***Studies and reports in Hydrology,*** vol 2, No. 16, 1978.

28- D'olivera and Mimoso, L."Application of Coutagne's and Turc formulas to the Southern Mozambique River".. ***Design of water Resources Projects with inadequate data,*** vol 2 No. 16 ,1978.

29- Gray. Donald, M,. "Hand book of the Principles of Hydrology", ***Canadian National committee for the international Hydrological Decade,*** No. 8, 1970.

30- Miklos, Domokos and Jeno. Sass. "Longterm waterbalances for subctchments and Partial National Areas in the Danube basin". ***Journal of Hydrology,*** 112, 1990.

31- Modi, P. N. Dr. ***Irrigation water Resources and water Power***, Standard bookhouse Delhi 6,1988.

32- Mutreja, K. N. ***Applied Hydrology*** - TaTa - McGrawhill, 1986.

33- Pillgrim. D. H. I. Cordery and B. C. Barom ."Effects of catchment size on runoff relationship". ***Journal of Hydrology,*** 58, 1982.

34- Robert L. Smith." Utilizing climatic Data to appraise potential water yield". ***Design of water resources project with inadequate Data,*** vol. 2, 1978.

35- Subramanya, K. ***Engineering Hydrology***. TaTa Mc Grawhill publishing Company limited NewDehil, 1984.

36- Temes, J. R. Professor. Callege Madrid." New Models of frequency law of **run off starting** from Precipitation". ***Design of water Resources Project with inadequate data,*** vol. 2, 1978.

37- Wilson. E. M. ***Engineering Hydrology***. Third Edition, 119-120, 1989.