

# بررسی رژیم هیدرولوژیکی رودخانهی فریزی (زیر حوضه کشف رود) و نقش آن در تغذیهی آبخوان دشت مشهد<sup>۱</sup>

دکتر سعداله ولایتی

دانشیار جغرافیا شهری دانشگاه فردوسی مشهد

صفورا شفیعا

کارشناس ارشد جغرافیا اصفهان

دکتر حسنعلی غیور

استاد جغرافیا طبیعی و اقلیم‌شناسی دانشگاه اصفهان

## چکیده

در این تحقیق، با استفاده از روش‌های آماری و نرم‌افزارهای موجود، روابط بین مؤلفه‌های اقلیمی و هیدرولوژیکی حوضه‌ی آبریز رودخانه‌ی فریزی بررسی شد. این پژوهش نشان می‌دهد که در حوضه‌ی مزبور، توزیع بارش زمستانه و بهاره، تحت تأثیر ارتفاع و موقعیت جغرافیایی است. همچنین رژیم هیدرولوژیکی رودخانه، تناوبی و متأثر از نوع و تغییرات فصلی برف و باران است که همزمان با شروع ذوب برف و رگبارهای بهاری طغیان می‌کند. تحلیل نقشه‌های تراز سطح آب زیرزمینی در محدوده‌ی مخروطه افکنه، گویای این مطلب است که سالانه، حجم قابل توجهی از آب سیلاب‌ها در آبخوانه‌ی پایین‌دست رودخانه نفوذ نموده آن‌را تغذیه می‌کند. با توجه به افت مستمر سطح آب زیرزمین منطقه و کسری مخزن، تغذیه‌ی مصنوعی و تقویت بیشتر پتانسیل زیرزمینی از سیلاب رودخانه الزامی است.

کلید واژه‌ها: هیدرولوژیک، رودخانه فریزی، آبخوان، مشهد.

## مقدمه

استقرار ایران در عرض میانه، دو پیامد مهم برای کشور ما به دنبال داشته است. نخست آن‌که به سبب حاکمیت پرفشار جنب حاره، بارش دریافتی ایران اندک است. دوم آن‌که، گسترش ایران بین مدار ۲۵ تا ۴۰ درجه‌ی شمالی، اقلیم نسبتاً گرمی بر

۱ - برگرفته از پایان‌نامه‌ی فوق لیسانس

ایران چیره ساخته است (مسعودیان، ۱۳۸۲: ۸۸). از این گذشته، تأثیر همزمان عرض جغرافیایی و ارتفاع بر تغییرات دما و بارش و پیچیدگی ناهمواری‌های ایران، تنوع اقلیمی مشخص در این کشور به وجود آورده است. در پاره‌ای موارد، انطباق زمانی حداقل بارش با حداکثر دما، و نامتناسب بودن فصل بارش در ایران، فشار زیاد ناشی از برداشت بی‌رویه را متوجه منابع آب اعم از سطحی و زیرزمینی نموده است. از سویی، تناوبی و فصلی بودن اکثر رودخانه‌های ایران، اهمیت آبخوان‌ها را، دو چندان کرده است. بررسی‌های انجام شده نشان می‌دهد که، تا دهه‌ی ۱۹۶۰، اکثر مناطق واقع در نواحی مرکزی ایران، به وسیله‌ی قنات احیاء و آبیاری می‌شدند. زیرا عمده‌ی آب این مناطق، از منابع زیرزمینی تأمین می‌شده است (غیور، ۱۳۷۰: ۱۱۶).

جهت روشن شدن نقش نوسانات اقلیمی در رفتارهای هیدرولوژیکی رودخانه‌ها و تأثیر آن بر آبخوان‌ها (سفره‌های زیرزمینی)، حوضه‌ی آبریز رودخانه‌ی فریزی به عنوان یکی از بزرگترین سرشاخه‌های کشف رود (ولایتی، ۱۳۷۰: ۵۸) با دارا بودن شرایط فوق‌الذکر، بررسی شده است.

### روش و اهداف تحقیق

در این پژوهش با استفاده از روش استقرایی و علی، مطالعات کتابخانه‌ای و کاوش‌های صحرایی به بیان روابط همبستگی میان مؤلفه‌هایی چون ارتفاع، بارش، دما، تبخیر و تأثیر آنها بر تغییرات هیدرولوژیکی رودخانه، پرداخته شد. اساس بررسی‌های انجام شده، داده‌های ۱۵ ایستگاه اقلیمی و یک ایستگاه هیدرومتری است.

جهت تحلیل اطلاعات مذکور، دو سیستم مختصات سطحی و شبکه طول و عرض جغرافیایی، برای منطقه تعریف شد. سیستم مسطحاتی، در محور طول‌ها بین (۳۱-۷) و محور عرض‌ها بین (۲۳-۴۵) بخش تقسیم گردید و به این ترتیب، سلول‌هایی به اندازه‌ی ۱×۱ کیلومتر، حاصل شد. مبنای تمامی محاسبات بعدی و ترسیم خطوط هم‌ارزش حوضه، ۱۳۲ گره دستگاه مختصات مسطحاتی و استفاده از روش میانبایی (KRIGING) در نرم افزار SURFER7 می‌باشد.

در پاره‌ای موارد، ترسیم نقشه‌ها به کمک نرم‌افزار R2V و فراخوان آن در SURFER انجام شد. تحلیل آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزارهای MINITAB، L.D.F HYFA و ترسیم نمودارها در نرم‌افزار EXCEL2002 انجام گرفته است.

### موقعیت حوضه‌ی مورد مطالعه

حوضه‌ی آبریز رودخانه‌ی فریزی، در دامنه‌های شمالی رشته‌کوه بینالود و در ۵۰ کیلومتری شمال‌غربی مشهد واقع است (شکل شماره‌ی ۱). طول جغرافیایی آن ۵۸ درجه و ۴۸ دقیقه تا ۵° و ۵۹° و عرض جغرافیایی آن ۲۰° و ۳۶ تا ۳۲° و ۳۶ می‌باشد. زهکش اصلی حوضه، رودخانه‌ی فریزی است که از بخش‌های جنوبی حوضه یعنی ارتفاعات بینالود، سرچشمه گرفته و در جهت شمال جریان دارد. رودخانه‌ی فریزی با طول ۴۵۱ کیلومتر، از دو سرشاخه به نام‌های پایه و فریزی تشکیل شده که پس از پیوستن به یکدیگر جریان اصلی فریزی را به وجود می‌آورند.

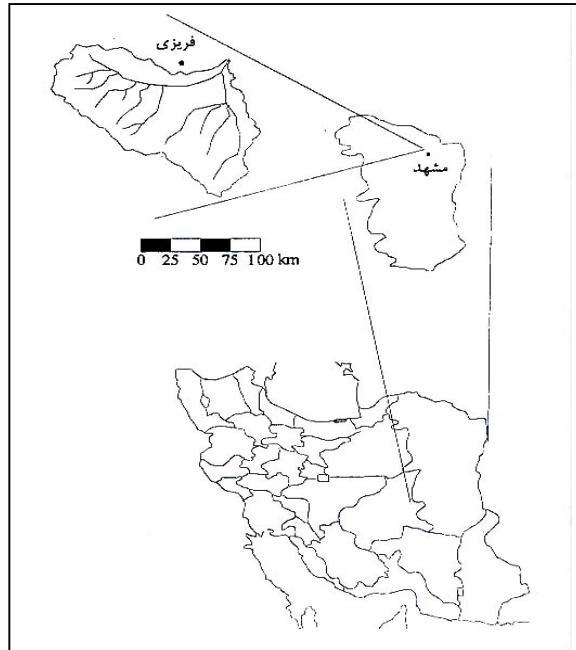
### خصوصیات فیزیکی حوضه

محیط حوضه ۷۵ کیلومتر و مساحت آن ۲۷۳ کیلومتر مربع می‌باشد. حداقل و حداکثر ارتفاع حوضه به ترتیب ۱۴۲۵ و ۳۰۹۲ متر و متوسط ارتفاع آن ۲۱۶۳ متر است. شیب حوضه ۱۱/۴۳ درصد و شیب آبراهه‌ی اصلی ۳/۴۸ درصد برآورده می‌شود. طول بلندترین آبراهه تا نقطه‌ی خروج، ۲۵ کیلومتر است و محاسبه‌ی زمان تمرکز حوضه، رقم ۴/۸۲ ساعت را نشان می‌دهد.

### زمین‌شناسی و ژئومورفولوژی حوضه

منطقه‌ی مورد مطالعه، از نظر زمین‌شناسی، بخشی از زون بینالود محسوب می‌شود که سن سنگ‌های بیرون‌زده‌ی آن تماماً مربوط به دوران دوم زمین‌شناسی (دوره‌ی ژواراسیک) است (نبوی، ۱۳۵۵). از نظر لیتولوژی، سازندهای فیلیت مشهد، کشف رود، چمن‌بید، مزدوران و رسوبات دوران چهارم در آن به چشم می‌خورند. عمده‌ترین رسوبات موجود در منطقه، شیل و فیلیت خاکستری تیره است که ۲۱۳ کیلومترمربع از حوضه را به خود اختصاص می‌دهد.

روی آن لایه‌های مارنی - رسی حاوی زغال‌سنگ و آهک‌های نخودی روشن همراه با دولومیت قرار دارند (سازمان زمین‌شناسی کشور، ۱۳۵۳، شیت ک، ۴).



شکل ۱: موقعیت حوضه آبریز رودخانه‌ی فریزی در استان خراسان

از نظر ژئومورفولوژی، تنوع چندانی در حوضه مشاهده نمی‌شود و تنها واحد ماکروژئومورفولوژی آن کوهستان است. بررسی ژئومورفیک منطقه، در دو بخش تحولات مورفودینامیک و مورفوکلیماتیک صورت گرفته است. پدیده‌های مورفودینامیک آن شامل گسل‌ها، چین‌خوردگی‌ها و پرتگاه‌ها و مورفوکلیماتیک آن شامل واریزه‌ها و حرکات دامنه‌ای، اشکال ناشی از فرسایش دیفرانسیل مانند تافونی‌ها، دره‌های فرسایشی، مآندرهای پادگانه‌های آبرفتی و مخروطه‌افکنه است (زمردیان، ۱۳۷۸: ۲۳۶-۲۴۴).

### آب و هوا

در معرفی عوامل سازنده و کنترل‌کننده‌ی اقلیم یک منطقه، اکثر اقلیم‌شناسان بر چهار عامل ترکیبات جو، میزان دریافت انرژی خورشید، الگوی توزیع کمربند فشار و موقعیت جغرافیایی، تأکید دارند (علیزاده، ۱۳۸۰: ۳۳۲).

از میان عوامل فوق، توده‌های هوایی که در نتیجه‌ی حرکت سیستم‌های فشار، در تنوع آب و هوای شمال خراسان نقش دارند، عبارتند از: توده‌ی هوای سرد قطبی و توده‌ی هوای مرطوب غربی (جغرافیای استان خراسان، ۱۳۸۲: ۹).

در اوایل پاییز، پرفشار سیبری گسترش یافته و شمال شرقی ایران را فرا می‌گیرد و مانع ورود سیستم‌های غربی به این ناحیه، می‌گردد. به دلیل این‌که هوای سردسیری از دره‌ها و گذرگاه‌های شمال شرقی وارد ایران می‌شود، موجب ثبت دماهای پایین در ایستگاه‌هایی چون مشهد و سبزوار شده و از آنجایی‌که در اکثر ایام سال در لایه‌های پایینی تروپوسفر استقرار دارد، تعداد روزهای برفی را در این مناطق به ۲۱ روز می‌رساند.

در اواخر دوره‌ی سرد همزمان با گرمایش تدریجی هوا، این پرفشار عقب‌نشینی کرده و راه را برای ورود توده‌های غربی باز می‌کند (وجدانی، ۱۳۷۵: ۳۰). از این‌رو در مشهد و نواحی اطراف آن، باران بهمن و اسفند، بیشتر از سایر ماه‌ها به ثبت رسیده است (علیزاده، ۱۳۸۰: ۳۷۵).

جهت شناخت تأثیر شرایط فوق در منطقه‌ی مورد مطالعه، تغییرپذیری مکانی مؤلفه‌های بارش، دما و تبخیر، برآورد گردیده‌اند.

## بارش

### تغییرات سالانه

به منظور بررسی وضعیت سالانه‌ی بارش در حوضه از داده‌های پانزده ایستگاه موجود در منطقه استفاده شده است. مرتفع‌ترین ایستگاه، زشک با ارتفاع ۱۸۸۰ متر و کم‌ارتفاع‌ترین آنها، ایستگاه اندروخ، با ارتفاع ۱۱۲۰ متر از سطح دریا می‌باشند (جدول شماره‌ی ۱).

جدول ۱: ارتفاع و بارش سالانه‌ی ایستگاه‌ها

نام ایستگاه	اخلمد	رداک	اندروخ	آبدفق‌ریزی	دولت‌آباد	رادکان	زشک	سد طرق	سرآسیاب
ارتفاع m	۱۴۸۰	۱۳۱۰	۱۱۲۰	۱۳۸۰	۱۵۱۰	۱۲۱۰	۱۸۸۰	۱۲۳۰	۱۲۸۰
بارش سالانه	۲۶۸/۵	۲۴۴/۸	۲۹۱/۶	۲۴۲/۴	۲۷۴/۸	۲۲۳/۸	۳۲۶/۵	۲۷۵/۸	۲۵۹/۷

نام ایستگاه	باراریه	طاغون	عیش‌آباد	قدیرآباد	مارشک	گلمکان
ارتفاع m	۱۵۶۰	۱۴۹۵	۱۳۹۰	۱۱۷۵	۱۸۷۰	۱۴۵۰
بارش سالانه	۳۲۱	۲۸۳/۴	۲۶۵/۵	۲۲۱/۸	۳۵۸/۶	۲۳۱/۱

جهت تعیین روند تغییرات بارش در منطقه به برقراری همبستگی بین مؤلفه‌های ارتفاع و بارش اقدام و رابطه‌ای به شرح زیر حاصل شد :

$$P=88.97+0.13H$$

(رابطه‌ی ۱)

$$r = 0.74 \quad r^2 = 54.9\% \quad r^2_{(adj)} = 51.4\%$$

در رابطه‌ی فوق :

P : بارندگی سالانه (mm)      H : ارتفاع از سطح دریا (m)

همان‌طور که ملاحظه می‌شود، ضریب اطمینان در رابطه‌ی فوق ۵۵ درصد است. علت آن این است که، بازه‌ی ارتفاعی حوضه، محدوده‌ای بین ۱۴۲۵ تا ۳۰۹۲ متر را در برمی‌گیرد، در حالی که ارتفاع ایستگاه‌ها بین ۱۱۲۰ تا ۱۸۸۰ متر است. بنابراین در رابطه‌ی فوق، ارتفاعات بالاتر از ۱۸۸۰ متر منظور نشده‌اند. از سویی بارش علاوه بر ارتفاع، تابعی از طول (X) و عرض جغرافیایی (Y) نقاط نیز هست. بنابراین با افزودن موقعیت ایستگاه‌ها به محاسبات، رابطه‌ی همبستگی دیگری به شرح زیر حاصل شده است:

(رابطه‌ی ۲)

$$P=87.8+0.343x-0.343x-0.319Y+0.13H$$

$$r = 0.80 \quad r^2 = 62.7\% \quad r^2_{(adj)} = 52.6\%$$

#### توزیع مکانی بارندگی

بررسی رابطه‌ی فوق نشان می‌دهد که، طول، عرض و ارتفاع، ۶۳ درصد از تغییرات مکانی بارش را در حوضه‌ی مورد نظر توجیه می‌کند. به کمک این رابطه، نقشه‌ی خطوط همباران حوضه رسم (شکل ۲) و نتایج زیر حاصل شد :

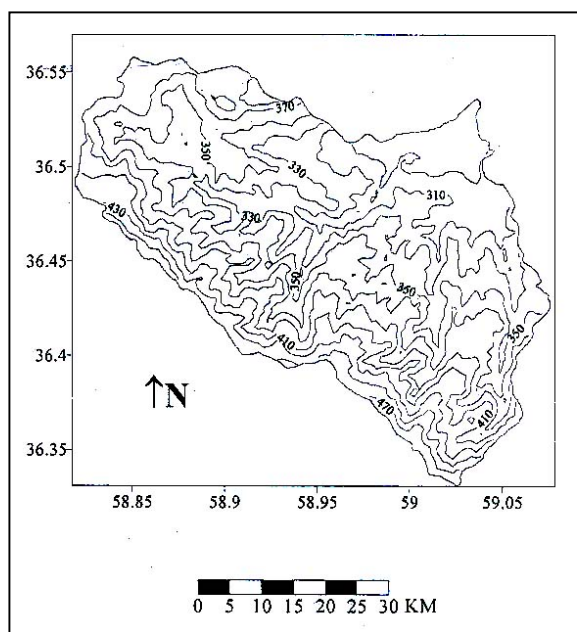
توزیع مکانی بارش منطقه نشان می‌دهد که حداقل بارندگی ۲۷۷ میلی‌متر و حداکثر آن ۴۸۰ میلی‌متر بوده و میانگین وزنی آن رقم ۳۷۲/۵۱ میلی‌متر را نشان می‌دهد. از لحاظ تغییرات مکانی، با حرکت از شرق و شمال شرق، به طرف غرب و جنوب غرب به ازای هر ۱۰ کیلومتر، بارندگی به میزان ۳/۲ میلی‌متر، افزایش می‌یابد. تغییرات عمودی بارش، در این مدل، ۱۳۰ میلی‌متر، به ازای هر کیلومتر افزایش ارتفاع است و این بدان معناست که تأثیر ارتفاع ۴۰۰ بار بیشتر از تأثیر موقعیت جغرافیایی نقاط است.

### توزیع زمانی بارندگی

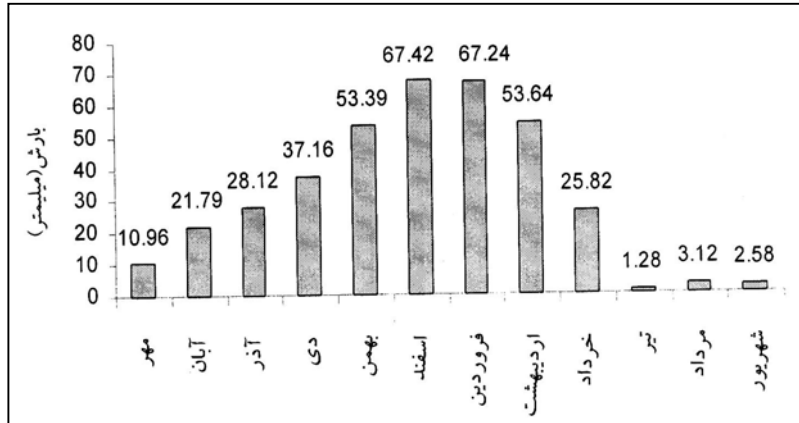
توزیع ماهانه و فصلی بارش در حوضه نشان می‌دهد که رژیم بارش در منطقه، زمستانه - بهاره بوده و حداکثر و حداقل آن به ترتیب در ماه‌های اسفند (۶۷/۴۲ میلیمتر) و تیر (۱/۲۸ میلیمتر) و فصل‌های زمستان (۴۳٪) و بهار (۳۹٪) نازل می‌شود (شکل ۳ و ۴).

### حداکثر بارش ۲۴ ساعته

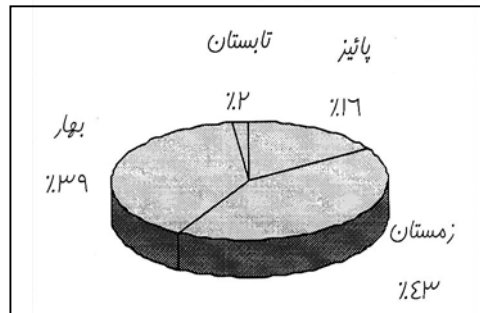
بررسی باران‌های ۲۴ ساعته، در دوره‌ی برگشت‌های مختلف، با توجه به آمارهای ثبت شده‌ی ایستگاه آب‌د فریزی انجام شد. در این رابطه، ابتدا باران‌های ۳۰ دقیقه‌ای، یک‌ساعته و ۶ ساعته، با استفاده از روابط موجود (علیزاده، ۱۳۷۸ : ۱۷۶) محاسبه و سپس نسبت آنها به بارش‌های ۲۴ ساعته برآورد گردید آنگاه به کمک نرم‌افزار I. D. F، مقادیر ارتفاع و شدت بارندگی در دوره‌ی برگشت‌های مختلف محاسبه و در پایان، منحنی شدت - مدت باران‌های ۲۴ ساعته رسم و در شکل ۵ آمده است. محاسبه‌ی شدت - مدت و دوره‌ی تناوب رگبارها و سیلاب‌ها در مطالعات هیدرولوژیکی حوضه، به‌ویژه در رابطه با بررسی‌های آبخیزداری و سدسازی حائز اهمیت فراوان است.



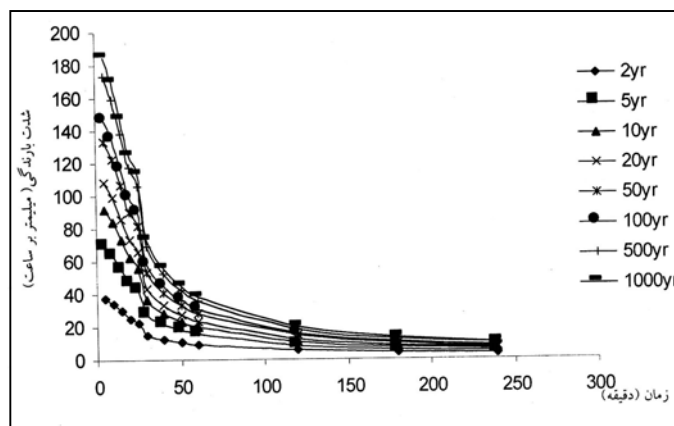
شکل ۲: نقشه‌ی خطوط هم‌باران سالانه حوضه



شکل ۳: نمودار توزیع ماهانه‌ی بارش در حوضه



شکل ۴: توزیع فصلی بارش در حوضه



شکل ۵: منحنی شدت - مدت باران‌های ۲۴ ساعته



## دما

دما، به عنوان نمایه‌ای از شدت گرما، یکی از عناصر اساسی شناخت وضعیت هواست. با توجه به دریافت نامنظم انرژی خورشید توسط زمین، دمای هوا در سطح زمین دارای تغییرات زیادی است که به نوبه‌ی خود، سبب تغییرات دیگری در سایر عناصر هواشناسی می‌شود. در حوضه‌ی آبریز فریزی، به‌علت محدود بودن منطقه، مهم‌ترین عامل در این زمینه، ارتفاع حوضه از سطح دریاست که در زیر بررسی شده است.

## دمای سالانه

در مطالعات حرارتی حوضه از آمار ۷ ایستگاه ثبت دما در منطقه استفاده شده است (جدول ۲). همان‌طور که مشاهده می‌شود، بازه‌ی ارتفاعی ایستگاه‌ها بین ۱۱۷۵ متر (قدیرآباد) تا ۱۸۸۰ متر (زشک) متغیر است. از این رو در مطالعه‌ی این مؤلفه، با در نظر گرفتن ارقام ارتفاعی ایستگاه‌ها، معادله‌ی گرادیان دمای سالانه‌ی حوضه، به شرح زیر برآورد گردید:

جدول ۲: ارتفاع ایستگاه و میانگین ۳۰ ساله‌ی دما

نام ایستگاه	ارداک	باراریه	زشک	سد طرق	قدیرآباد	گلمکان	مارشک
ارتفاع m	۱۳۱۰	۱۵۶۰	۱۸۸۰	۱۲۳۰	۱۱۷۵	۱۴۵۰	۱۸۷۰
دمای سالانه	۱۳/۴۸	۱۲/۰۸	۱۰/۳۰	۱۴/۰۴	۱۳/۹۸	۱۲/۸۱	۹/۸۴

## (رابطه‌ی ۳)

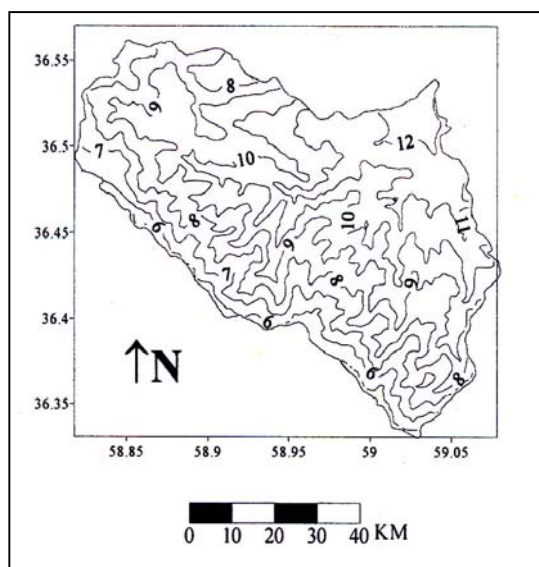
$$T = 21.1 - 0.00587H$$

$$r = -0.99 \quad r^2 = 98.5\% \quad r^2_{(adj)} = 98.2\%$$

در رابطه‌ی فوق:

T: بارندگی سالانه (C) H: ارتفاع از سطح دریا (m)

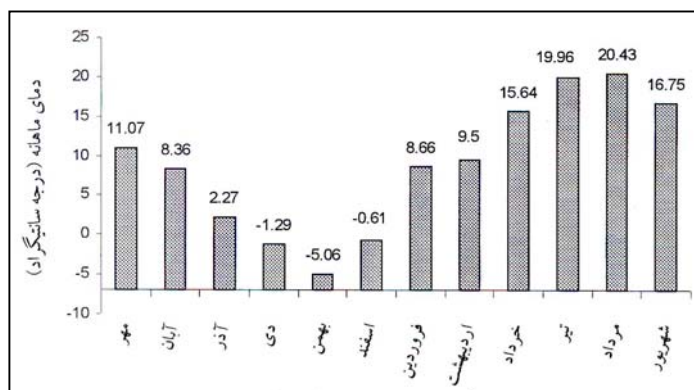
توجه به رابطه‌ی فوق مشخص می‌کند که، به ازای هر ۱۰۰۰ متر افزایش ارتفاع، ۵/۸ درجه‌ی سانتی‌گراد، از میزان دما کاسته می‌شود. به کمک رابطه‌ی فوق و استفاده از روش میانبایی، نقشه‌ی خطوط همدمای حوضه رسم شد (شکل ۶). بررسی این نقشه نشان می‌دهد که، دمای حوضه بین ۳/۴۹ تا ۱۲/۳۰ درجه‌ی سانتیگراد در نوسان بوده و متوسط وزنی حرارت حوضه، ۸/۹ درجه‌ی سانتی‌گراد است.



شکل ۶: نقشه‌ی خطوط همدمای حوضه

## توزیع ماهانه دما

بررسی تغییرات ماهانه دما در حوضه‌ی مورد مطالعه، از طریق برقراری روابط همبستگی بین ارتفاع و دمای ماهانه ایستگاه‌ها محاسبه گردید. سردترین و گرمترین ماه‌ها در حوضه، به ترتیب ماه‌های بهمن (۵/۰۶- درجه سانتی‌گراد) و مرداد (۲۰/۴۳ درجه سانتی‌گراد) هستند (شکل ۷). همچنین در فاصله‌ی ماه‌های آذر تا اسفند، بخش‌هایی از حوضه زیر پوشش برف و یخ قرار دارد. سطوح پوشیده از برف در ماه‌های آذر ۸۰/۶ درصد، دی ۶۷/۳ درصد، بهمن ۹۸/۶ درصد و در اسفند ۵۶/۶ درصد می‌باشند.



شکل ۷: نمودار توزیع ماهانه دما در حوضه

### رطوبت نسبی

گرچه بخار آب، بخش بسیار کوچکی از ترکیبات جو را به خود اختصاص می‌دهد، با این حال، نقش بسیار مهمی در بیلان گرما و پدیده‌های مختلف جوی بر عهده دارد (علیزاده، ۱۳۸۰: ۳۷۵). از این رو در این بخش، نظری گذرا بر وضعیت رطوبت نسبی در منطقه‌ی مورد مطالعه خواهیم داشت.

جدول ۴: ارتفاع، رطوبت نسبی و تبخیر پتانسیل سالانه‌ی ایستگاه‌ها

نام ایستگاه	ارداک	باراریه	زشک	سد طرق	قدیرآباد	گلمکان	مارشک
ارتفاع m	۱۳۱۰	۱۵۶۰	۱۸۸۰	۱۲۳۰	۱۱۷۵	۱۴۵۰	۱۸۷۰
رطوبت نسبی	۱۹/۵۲	۲۷/۳۲	۴۳/۱۰	۳۷/۰۹	۳۲/۶۱	۲۹/۰۲	۴۵/۰
تبخیر سالانه	۱۷۵۶/۶۵	۱۷۶۵/۸۵	۱۶۷۹/۶۸	۱۸۸۹/۵۵	۳۱۲۴/۶۱	۱۵۰۸/۱۶	۲۱۶۳/۸۵

بر اساس بررسی‌های انجام شده بر روی آمار ۷ ایستگاه موجود در داخل و اطراف حوضه (جدول ۴) و برقراری رابطه‌ی همبستگی به مؤلفه‌های مؤثر بر رطوبت نسبی، مدلی خطی به شرح زیر حاصل شد:

(رابطه‌ی ۴)

$$RH=251-0.0586 H+0.0671P-12.1T$$

$$r = 0.80 \quad r^2=62.3\% \quad r^2_{(adj)} = 24.6\%$$

با قرار دادن مقادیر هر یک از عناصر فوق، میزان رطوبت نسبی حوضه، ۴۱/۵۷ درصد برآورد می‌گردد.

### تبخیر

پدیده‌ی تبخیر، نقش عمده‌ای در انتقال انرژی و وقوع فرآیندهای اقلیمی سطح زمین داشته که خود، تحت تأثیر عواملی چون دما، بارش، باد، تابش خورشید، رطوبت جو، سطح تبخیر و... قرار دارد. محاسبه‌ی تبخیر در حوضه‌های آبریز، در رابطه با آب‌های سطحی و منابع آب زیرزمینی حائز اهمیت فراوان است (ولایتی، ۱۳۷۴: ۶۴). از این رو در این بخش به بررسی تبخیر پتانسیل در حوضه‌ی آبریز فریزی می‌پردازیم:

### تبخیر پتانسیل سالانه

همانند آنچه برای دما صورت گرفت، بین مقادیر ارتفاع و تبخیر ایستگاه‌ها بر اساس داده‌های جدول ۴، رابطه‌ی همبستگی برقرار و بهترین همبستگی بین پارامترهای مذکور، به صورت خطی حاصل شد.

(رابطه‌ی ۵)

$$E_{pot} = 1909 - 0.045H$$

$$r = 0.17 \quad r^2 = 0.3\% \quad r^2_{(adj)} = 0.0\%$$

در رابطه‌ی فوق؛

$E_{pot}$ : تبخیر پتانسیل (mm)      H: ارتفاع از سطح دریا (m)

از آنجا که ضریب همبستگی ( $r=0/17$ ) و ضریب اطمینان ( $r^2=0/3\%$ ) بسیار پایین است، لذا نمی‌توان بر روی آن تحلیل انجام داد، به همین دلیل، با منظور کردن سایر عوامل دخیل در تبخیر، یعنی درجه‌ی حرارت (T) و رطوبت نسبی (RH) رابطه‌ی جدیدی برقرار و میزان تبخیر ( $E_{pot}$ ) به شرح زیر محاسبه گردید:

(رابطه‌ی ۶)

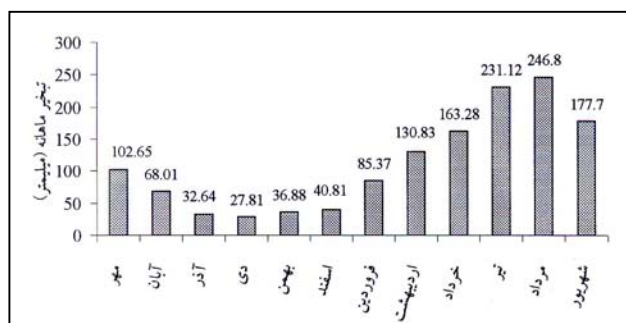
$$E_{pot} = 21451 + 9.73 RH - 926 T - 5.67 H$$

$$r = 0.96 \quad r^2 = 91.5\% \quad r^2_{(adj)} = 82$$

دقت در رابطه‌ی فوق مشخص می‌کند که دما، رطوبت نسبی و ارتفاع ۹۲ درصد تبخیر را در حوضه، توضیح می‌دهند. بهبود ضریب همبستگی نیز بیانگر تأثیر عوامل مذکور بر پدیده‌ی تبخیر است. اکنون با قرار دادن مقادیر محاسبه شده‌ی هر یک از مؤلفه‌های موجود در مدل فوق، میانگین تبخیر پتانسیل سالانه‌ی حوضه، ۱۳۵۱ میلی‌متر برآورده می‌شود.

توزیع ماهانه‌ی تبخیر در حوضه

همانند آنچه برای دما انجام شد، تبخیر ماهانه‌ی حوضه نیز، از طریق برقراری روابط همبستگی بین ارتفاع و تبخیر ماهانه‌ی ایستگاه‌ها محاسبه و در شکل شماره‌ی ۸ انعکاس یافته است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، حداقل و حداکثر تبخیر به ترتیب در ماه‌های دی (۲۷/۸۱ میلی‌متر) و مرداد (۲۴۶/۸۰ میلی‌متر) صورت می‌گیرد.



شکل ۸: نمودار توزیع ماهانه‌ی تبخیر در حوضه

**تبخیر و تعرق پتانسیل سالانه (روش پنمن)**

با توجه به این که بخش اعظم مساحت حوضه (۸۱ درصد)، دارای پوشش مرتعی است، لازم است، وضعیت تبخیر و تعرق پتانسیل نیز، در حوضه بررسی شود، که برای این منظور از روش پنمن بهره گرفته‌ایم. پنمن برای محاسبه‌ی تبخیر و تعرق معادله‌ی زیر را پیشنهاد می‌کند (علیزاده، ۱۳۷۸: ۲۱۰).

(رابطه‌ی ۷)

$$ETP = \left[ \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} Rn + \frac{\gamma}{\Delta + \gamma} (0.27)(1 + 0.00U_2)(es - ed) \right]$$

در رابطه‌ی فوق:

$\Delta$ : شیب منحنی فشار بخار اشباع ( $mb/^\circ C$ )  $\gamma$ : ضریب رطوبتی

Rn: تابش خالص (mm/d)  $U_2$ : سرعت باد در ارتفاع ۲ متری

es: فشار بخار اشباع (mb) ed: فشار بخار آب (mb)

همان‌طور که ملاحظه می‌شود برای محاسبه‌ی تبخیر و تعرق در این روش می‌بایست پارامترهای نسبتاً زیادی در دست باشند که بعضی با عدد و برخی به صورت روابط ریاضی، توصیف شده‌اند. از میان پارامترهای فوق، مؤلفه‌های تابش خالص (Rn) و سرعت باد در ارتفاع ۲ متری ( $U_2$ ) به ترتیب، بر اساس شکل ۹ و بررسی‌های انجام شده در ایران (کاوایی، ۱۳۷۹: ۱۳۴) به صورت میانگین برای کل حوضه، برآورد گردید. سایر مؤلفه‌ها، به کمک روابط موجود محاسبه شده است (جدول شماره‌ی ۴). آنگاه بر اساس اطلاعات جدول ۴ و در نظر گرفتن مؤلفه‌های مؤثر بر تبخیر، اقدام به برآزش مدل چند متغیره‌ی تبخیر نمودیم و بهترین همبستگی به شرح زیر، برقرار شد:

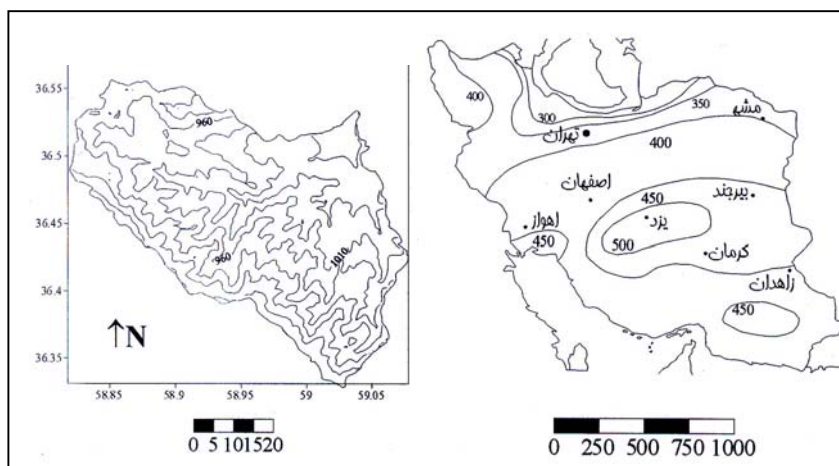
(رابطه‌ی ۸)

$$ETP = 2002 - 213T - 5.46RH - 0.291H$$

$$r = 0.99 \quad r^2 = 99.8\% \quad r^2_{(adj)} = 99.6\%$$

جدول ۴: مؤلفه‌های تبخیر و تعرق پتانسیل سالانه‌ی ایستگاه‌ها در روش پنمن

نام ایستگاه	$\Delta$	$\gamma$	Rn	$U_2$	es	ed	Etp (mm/day)	Etp (mm)
ارداک	۱/۰۱	۰/۵۷	۳/۰۲	۲/۱۷	۱۵/۴۶	۳/۰۲	۳/۳۷	۱۲۲۹/۲۸
باراریه	۰/۹۳	۰/۵۵	۳/۸۶	۲/۱۷	۱۴/۱۱	۵/۸۶	۳/۱۱	۱۱۳۷/۱۰
زشک	۰/۸۴	۰/۵۳	۵/۴۱	۲/۱۷	۱۲/۵۴	۳/۴۱	۲/۷۳	۹۹۶/۳۶
سد طرق	۱/۰۴	۰/۵۷	۵/۹۵	۲/۱۷	۱۶/۰۴	۵/۹۵	۳/۱۴	۱۱۴۴/۹۴
قدیرآباد	۱/۰۴	۰/۵۸	۵/۲۱	۲/۱۷	۱۵/۹۷	۵/۲۱	۳/۲۳	۱۱۷۹/۰۴
گلمکان	۰/۹۷	۰/۵۶	۴/۳۰	۲/۱۷	۱۴/۸۰	۴/۳۰	۳/۱۵	۱۱۵۰/۷۸
ارشک	۰/۸۲	۰/۵۳	۵/۴۸	۲/۱۷	۱۲/۱۶	۵/۴۸	۲/۷۵	۱۰۰۵/۲۶



شکل ۹: میانگین سالانه‌ی شدت تابش خورشید (کاوینانی، محمدرضا، ۱۳۷۹: ۱۱)

شکل ۱۰: نقشه تبخیر و تعرق پتانسیل حوضه به روش پنمن

رابطه‌ی فوق بیانگر این مطلب است که، در حوضه‌ی مورد مطالعه، ۹۹ درصد تبخیر و تعرق، به وسیله‌ی دما، رطوبت نسبی و ارتفاع توجیه می‌شود. با استفاده از مدل حاصل و تلفیق نقشه‌های ارتفاع، دما و رطوبت نسبی، نقشه‌ی تبخیر و تعرق پتانسیل حوضه ترسیم (شکل ۱۰) و میانگین وزنی آن برای حوضه، ۹۵۶/۰۸ میلی‌متر، برآورد گردید.

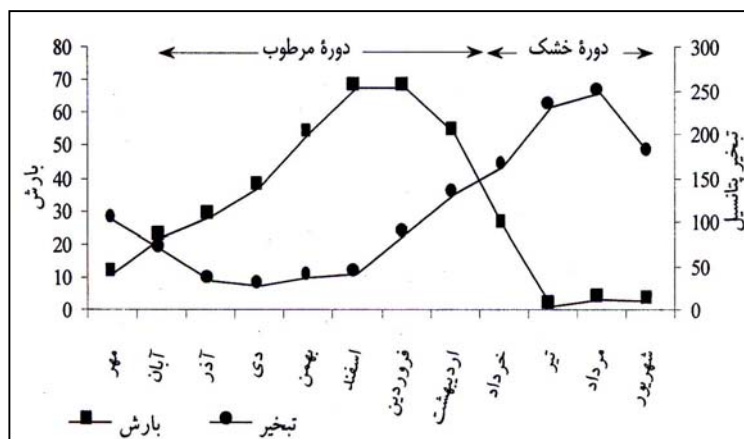
#### اقلیم و طبقه‌بندی آن

در بخش پایانی مطالعات آب و هواشناسی، اقلیم منطقه نیز تعیین شد. بسیاری از متخصصان هوا و اقلیم‌شناسی، بر حسب نوع و اهداف مختلف، یک یا چند عامل اقلیمی را در نظر گرفته و آن را پایه و اساس طبقه‌بندی قرار داده‌اند. یک سیستم طبقه‌بندی اقلیمی، مجموعه قواعدی است که با به‌کارگیری آنها، مناطق مختلفی که از بعضی لحاظ دارای خصوصیات مشترک هستند، از یکدیگر تفکیک شده و در یک طبقه قرار داده می‌شوند. در طبقه‌بندی اقلیمی حوضه‌ی مورد مطالعه از دو روش تورنت وایت و آمبرژه، استفاده شده است.

#### نمودار اقلیمی تورنت وایت

تورنت وایت طبقه‌بندی اقلیم‌ها را بر اساس دو عامل عرضه‌ی آب به وسیله‌ی نزولات جوی و مقدار تقاضای آب برای تبخیر- تعرق، بنا نهاده است. در این روش، آب و هوایی مرطوب است که در آن بارندگی بیش از تبخیر باشد و مقدار تبخیر به مراتب

بیش از تبخیر باشد. در سیستم طبقه‌بندی اقلیمی تورنت وایت جهت سهولت عمل، به جای تبخیر- تعرق، مقدار تبخیر از تشت مورد استفاده قرار می‌گیرد (علیزاده، ۱۳۷۸: ۲۳۹-۲۴۰).



شکل ۱۱: نمودار اقلیمی تورنت وایت

اقلیم نمای آمبرژه

آمبرژه برای تعیین اقلیم یک منطقه، رابطه‌ی زیر را پیشنهاد می‌کند (علیزاده، ۱۳۷۸: ۲۴۴)

(رابطه‌ی ۹)

$$Q_2 = \frac{2000 P}{M^2 - m^2}$$

در رابطه‌ی فوق:

$Q_2$ : ضریب اقلیمی آمبرژه

$p$ : بارندگی سالانه (mm)

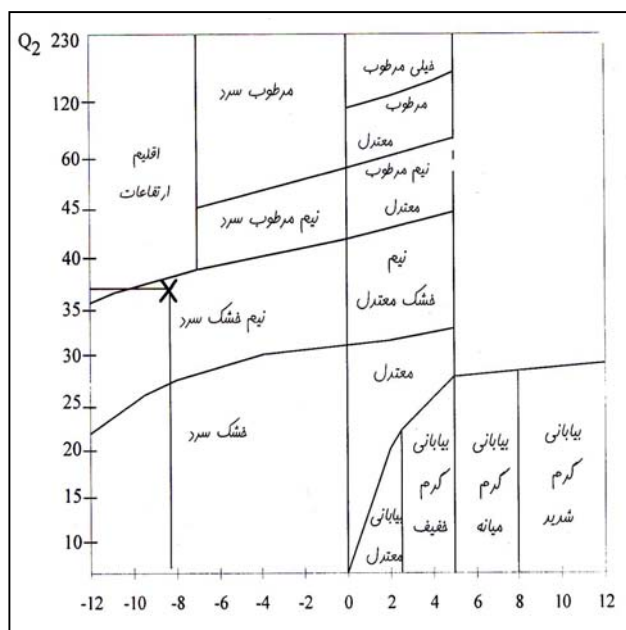
$M$ : متوسط حداکثر دما در گرمترین ماه سال (°K)

$m$ : متوسط حداقل دما در سردترین ماه سال (°K)

با توجه به رابطه فوق و محاسبه مقادیر متوسط حداکثر و حداقل دما، به ترتیب در ماه‌های بهمن و مرداد به میزان  $m = -۸/۴$  و  $M = ۲۷/۲۴$  درجه سانتی‌گراد، ضریب اقلیمی آمبرژه در حوضه مورد بحث، به شرح زیر برآورد می‌شود:

$$Q_2 = \frac{2000 \times 372.51}{300.242^2 - 264.60^2} \quad Q_2 = 37.01$$

اکنون با در نظر گرفتن مقدار محاسبه شده ضریب فوق ( $Q_2 = 37.0$ ) و  $m = ۸/۴$  °C، نوع اقلیم منطقه بر روی اقلیم نمای آمبرژه (شکل ۱۲) نیم خشک سرد تعیین می‌گردد.



شکل ۱۲: اقلیم نمای آمبرژه

### منابع آب

#### آب‌های سطحی (رودخانه‌ی فریزی)

در مناطق خشک تا نیمه‌خشک با توجه به شرایط خاص بارندگی، آب باران‌هایی که از آبخیزهای طبیعی و مصنوعی، دامنه تپه‌ها و کوهستان‌ها جمع‌آوری می‌شود، می‌تواند منبع جدید آب با کیفیت خوب باشد (کردوانی، ۱۳۷۳: ۹۸). از این رو لازم است، با تمهیداتی از قبیل مدیریت صحیح، اجرای طرح‌های آبخیزداری و... از آب آنها برای مصارف مختلف استفاده کرد. در این مناطق اغلب آب‌های زیرزمینی از آب‌های سطحی اهمیت بیشتری می‌یابند. در مطالعات هیدرولوژیکی حوضه‌ی آبریز فریزی، پس از بررسی رژیم رودخانه، به شناسایی وضعیت آب‌های زیرزمینی دشت نیز پرداخته شده است.

#### رژیم ماهانه رودخانه

محاسبات مربوط به رواناب در منطقه‌ی مورد مطالعه، با استفاده از آمار ثبت شده‌ی ایستگاه موشنگ (جدول شماره‌ی ۵) انجام شده است. بر اساس بررسی‌های انجام شده، متوسط دبی سالانه‌ی رودخانه‌ی فریزی، ۲/۱۴ متر مکعب بر ثانیه است.



جدول ۵: رواناب، دبی و بارش در دوره‌ی ۳۰ ساله در ایستگاه موشنگ

ماه‌ها	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	میانگین سالانه
دبی m <sup>3</sup> /s	۰/۶۴	۰/۷۴	۰/۷۱	۰/۶۸	۰/۹۶	۲/۸۴	۶/۸۴	۶/۷۹	۳/۰۴	۱/۰۸	۰/۶۳	۰/۴۵	۲/۱۴
ارتفاعات رواناب mm	۶۰/۷	۷۱/۲	۶۱/۳	۶/۴۵	۹/۱۰	۲۶/۰۳	۶۷/۰۱	۶۶/۵۲	۳۹/۷۸	۱۰/۵۸	۶/۱۷	۴/۴۱	۳۴۶/۸۴
حجم رواناب M.m <sup>3</sup>	۱/۶۷	۱/۹۱	۱/۸۴	۱/۷۷	۲/۴۸	۷/۳۵	۱۸/۳۲	۱۸/۱۸	۸/۱۴	۲/۸۸	۱/۶۸	۱/۲۱	۶۷/۴۳
بارش سالانه mm	۱۰/۹۶	۳۱/۷۹	۲۸/۱۲	۳۷/۱۶	۵۲/۳۹	۶۷/۳۲	۶۷/۲۴	۵۲/۶۴	۲۵/۸۲	۱/۲۸	۳/۱۲	۲/۵۷	۳۷۳/۵۱

همچنین، بیشترین و کمترین دبی به ترتیب در ماه‌های فروردین (۶/۸۴ متر مکعب بر ثانیه) و شهریور (۰/۴۵ متر مکعب بر ثانیه) صورت می‌گیرد که می‌توان مطابقت آن را با ماه‌های پرباران و کم‌باران سال به وضوح مشاهده کرد. به منظور گویا شدن روابط بین نزولات جوی و دبی حوضه، رابطه‌ی همبستگی بین این دو پارامتر برقرار و مدل زیر حاصل شد:

(رابطه‌ی ۱۰)

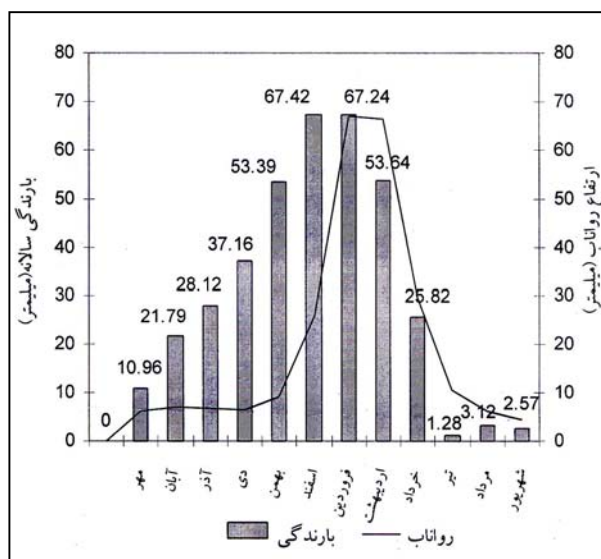
$$Q = 1.23 + 0.621p$$

$$r = 0.67 \quad r^2 = 43.8\% \quad r^2_{(adj)} = 38.2\%$$

در رابطه‌ی فوق:

Q: دبی (m<sup>3</sup>/s)      P: بارندگی سالانه (mm)

همان‌طور که مشاهده می‌شود، ضریب همبستگی (r=0.67) و ضریب اطمینان (r<sup>2</sup>=43.8%) خیلی بالا نیست. علت آن را می‌توان در نزولات جوی جامد (برف) جستجو کرد، که در فصل زمستان باریده و تأثیر خود را در فصل گرم سال، بر رواناب گذاشته است. نمودار شکل ۱۳ که بر اساس ارقام بارش و ارتفاعات رواناب ترسیم شده نیز گویای همین مطلب است. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که رژیم رودخانه در ارتفاعات، برفی بوده و عمدتاً تحت تأثیر ریزش‌های زمستانه قرار گرفته و در بهار سیلابی می‌شود.



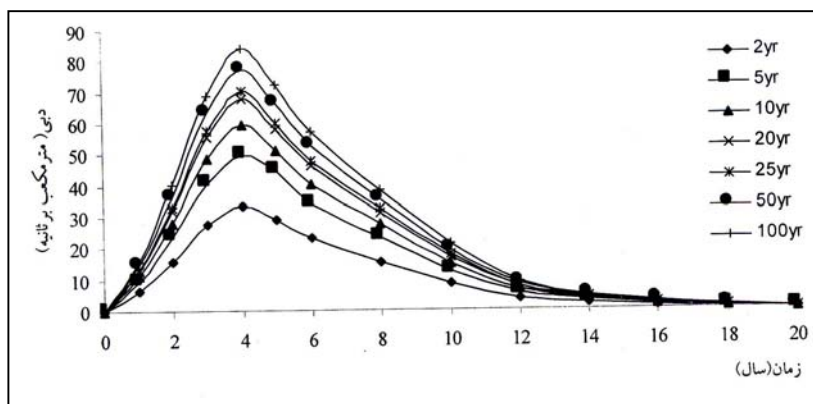
شکل ۱۳: هیدروگراف و هایتوگراف حوضه

#### برآورد سیلاب حوضه

به منظور برآورد میزان سیلاب رودخانه در دوره‌ی برگشت‌های مختلف، که در اجرای پروژه‌های عمرانی مورد استفاده واقع می‌شود، مطابق آنچه در رابطه با باران‌های ۲۴ ساعته صورت گرفت، مقادیر حداکثر سیلاب‌های رودخانه برآورد و آنگاه، با توجه به مقدار  $C.N=85$ ، استخراج نسبت‌های محاسبه شده‌ی  $T/T_p$ ،  $Q/Q_p$  در روش S.C.S و استفاده از نرم‌افزار I.D.F مقادیر سیلاب‌های رودخانه در دوره برگشت‌های مختلف محاسبه گردید (قزوینیان، ۱۳۷۲: ۶۹). جهت برآورد مقدار C.N خصوصیات پوششی حوضه از لحاظ میزان نفوذپذیری و سطح پوشش مؤثر هر یک مورد بررسی قرار گرفت و ارقام جدول ۷ حاصل شد. باتوجه به جدول مذکور، مقدار C.N برای حوضه آبریز فریزی به میزان  $C.N=85$  محاسبه شده است. در پایان، بر اساس ارقام حاصل، هیدروگراف سیلاب رودخانه در دوره‌ی برگشت‌های مختلف، رسم گردید (شکل ۱۴).

جدول ۶: تعیین میانگین وزنی در حوضه‌ی آبریز فریزی

شماره‌ی منحنی	درصد مساحت مؤثر	میزان نفوذپذیری	گروه
۶۵	۳	۷/۵-۱۱/۵	A
۷۶	۱۹	۳/۸-۷/۵	B
۸۸	۷۸	۱/۳-۳/۸	C



شکل ۱۴: هیدروگراف رودخانه در دوره‌ی برگشت‌های مختلف

دقت در نمودار مذکور، مشخص می‌کند که دبی ۵ساله، ۵۰ساله و ۱۰۰ ساله سیلاب به ترتیب ۴۹/۸۲ مترمکعب بر ثانیه، ۷۰/۲۲ مترمکعب بر ثانیه، ۷۷/۴۲ متر مکعب بر ثانیه و ۸۳/۹۴ متر مکعب بر ثانیه می‌باشند.

#### رسوبدهی رودخانه

رودخانه‌ها به‌ویژه در حالت طغیانی، با بار رسوبات مختلف، همراهند. رسوبات غیر محلول رودخانه را به بار معلق و بار بستر تقسیم می‌کنند. این رسوبات نشان‌دهنده‌ی میزان فرسایش و حمل مواد بوده و به‌ویژه در مطالعات مربوط به احداث سد، حائز اهمیت فراوانند. زیرا موجب پر شدن سدهای مخزنی می‌شوند. همچنین جنس رسوب و اندازه‌ی آن در بررسی آب‌های زیرزمینی اهمیت می‌یابند.

به همین منظور در بررسی میزان رسوبدهی رودخانه، از ۹۰ نمونه رسوب برداشت شده در دبی‌های حداقل ۰/۱۶۲ مترمکعب بر ثانیه و حداکثر ۱۱/۴۲ مترمکعب بر ثانیه، استفاده شده است (قزوینیان، ۱۳۷۲: ۷۳).

بر اساس ارقام حاصل از آنالیز نمونه‌های برداشت شده، بین دبی رودخانه و دبی رسوب، رابطه‌ی همبستگی به شرح زیر برقرار شد:

(رابطه‌ی ۱۱)

$$Q_s = 69.34 Q_w^{1.238}$$

$$r = 0.61 \quad r^2 = 78\% \quad r^2_{(adj)} = 76\%$$

در رابطه‌ی مذکور:

$$Q_s: \text{دبی رسوب (m}^3/\text{s)} \quad Q_w: \text{دبی رودخانه (m}^3/\text{s)}$$

اکنون با استفاده از رابطه‌ی فوق می‌توان میزان رسوبدهی رودخانه را در دبی‌های مختلف برآورد کرد. برای مثال، در ماه فروردین که دبی رودخانه (۶/۸۴ متر مکعب بر ثانیه) در بالاترین مقدار خود قرار دارد، میزان بار رسوبی رودخانه ۷۴۹٫۵ تن در روز و هنگامی که دبی رودخانه، در حداقل به سر می‌برد (شهریورماه ۰/۴۵ متر مکعب بر ثانیه)، حجم رسوبدهی آن، ۲۵/۸ تن در روز و به‌طور متوسط، مقدار رسوبدهی رودخانه برای میانگین دبی حوضه، ۱۷۷/۸۴ تن در روز خواهد بود. در این صورت روشن است که رودخانه فریزی رودخانه‌ایست با رسوبات زیاد که لازم است در احداث سد به آن توجه شود.

#### کیفیت آب رودخانه

همانقدر که مطالعه‌ی جنبه‌ی کمی آب اهمیت دارد، جنبه‌ی کیفی آن نیز مهم است، زیرا کیفیت آب نوع مصرف آن را تعیین می‌کند که لازم است به آن توجه شود (ولایتی، ۱۳۷۴: ۲۹۷).

کیفیت آب رودخانه بر اساس نمونه‌های برداشت شده توسط مهندسیین مشاور ستیران در سال ۱۳۷۲ بررسی و نتایج زیر گزارش گردیده است (جدول ۷).

جدول ۷: مقادیر حداقل، میانگین و حداکثر عناصر شیمیایی آب

عوامل	مقادیر	حداقل	متوسط	حداکثر
دبی		۰/۱۶۵	۲/۸	۸/۸۹۲
اسیدیته	PH	۶/۸	۷/۶	۸/۶
هدایت الکتریکی	EC*10 <sup>6</sup>	۶۳۰	۳۵۷/۷	۲۳۰
باقیمانده خشک	T.D.S	۱۲۹	۲۲۰	۷۴۸
کلر	Cl <sup>-</sup>	۰/۲	۰/۵	۱/۳
مجموع آنیون‌ها	SUM <sup>-AN</sup>	۱/۲	۳/۸	۶/۵
سدیم	Na <sup>+</sup>	۰/۱	۱/۲	۴/۳۵
مجموع کاتیون‌ها	SUM <sup>+CA</sup>	۲/۲۵	۳/۸	۷/۶۵
نسبت جذب سدیم	SAR	۳/۷	۱/۱	۱۰/۰۸

همان‌طور که مشاهده می‌شود، عناصر و مواد مؤثر در کیفیت آب، در دبی‌های مختلف، متفاوت است. برای مثال هدایت الکتریکی آب هنگامی که دبی رودخانه، در

حداکثر مقدار خود به‌سر می‌برد، ۲۳۰ میکروموس بر سانتی‌متر و زمانی که دبی رودخانه در حداقل خود است، ۶۳۰ موس بر سانتیمتر می‌باشد. همچنین مجموع کاتیون‌ها و آنیون‌ها روندی مشابه را از خود نشان می‌دهند. تغییرات مقدار جذب سدیم نیز در جدول مذکور چشمگیر است. بدین معنا که مقدار آن وقتی دبی در حداکثر خود باشد، رقم ۱۰/۰۸ و در مواقع حداقل دبی، رقم ۳/۷ نشان می‌دهد. میزان هدایت الکتریکی آن درجه‌ی ۲ و میزان جذب سدیم (SAR) آن درجه‌ی ۱ است. به‌طور کلی، آب رودخانه برای مصارف شرب و کشاورزی، بسیار مناسب است. زیرا مقدار جذب سدیم آن در حد پایینی قرار داشته و هدایت الکتریکی آن از ۲۵۰ تا ۷۵۰ میکروموس بر سانتیمتر متغیر است.

#### منابع زیرزمینی

به‌طوری که قبلاً نیز اشاره شده، آب‌های زیرزمینی در استان خراسان به‌طور اعم و در حوضه‌ی آبریز فریزی به‌طور اخص، نقش بیشتری نسبت به آب‌های سطحی دارد. رودخانه‌ی فریزی، یکی از مخروطه‌افکنه‌های بزرگ دشت مشهد را در پای ارتفاعات جنوبی دشت تغذیه می‌کند. از آنجا که دشت مشهد بیش از ۲۳ سال است که با افت سطح آب زیرزمینی مواجه است، لذا نقش سیلاب رودخانه‌ی فریزی و اقداماتی که در خصوص تغذیه‌ی مصنوعی آن صورت گرفته، حائز اهمیت فراوان است که در زیر به آن اشاره می‌شود:

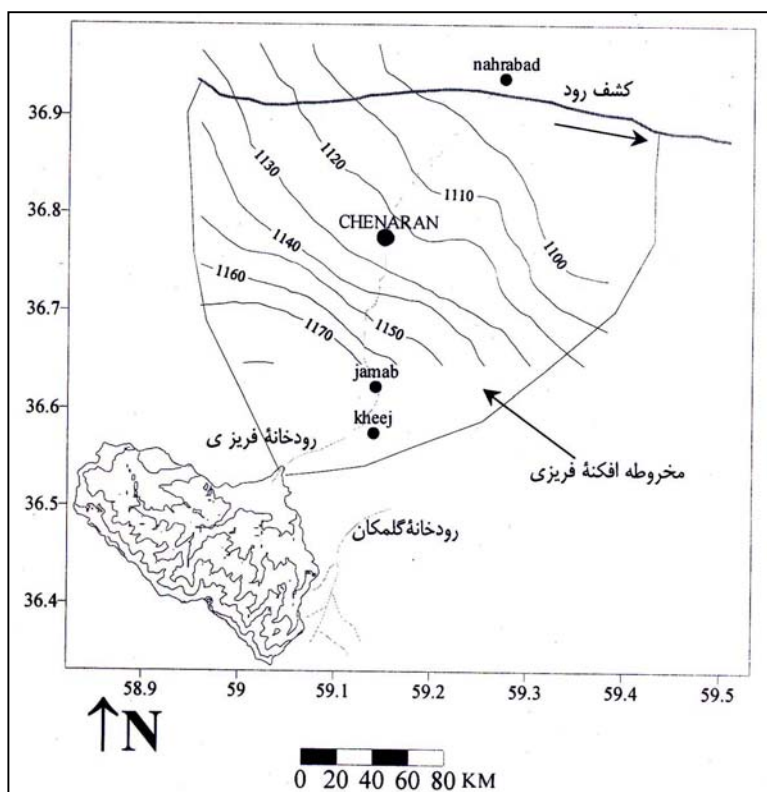
#### نقشه‌ی تراز سطح آب

به‌منظور مشخص کردن جهت‌جریان آب زیرزمینی و نقش تغذیه‌کنندگی رودخانه‌ی فریزی، نقشه‌های تراز سطح آب زیرزمینی در محدوده‌ی مخروطه‌افکنه‌ی فریزی در شکل ۱۵ آمده است. همان‌طور که در شکل مشاهده می‌شود، ارتفاع سطح آب زیرزمینی در ابتدای مخروطه‌افکنه، ۱۱۷۰ متر و در قاعده‌ی آن ۱۱۰۰ متر از سطح دریاست. بدین ترتیب حرکت آب زیرزمینی از نقطه‌ای با ارتفاع زیاد به‌طرف نقطه‌ی کم‌ارتفاع صورت می‌گیرد. همچنین، مسیر رودخانه عمود بر خطوط هم‌پتانسیل می‌باشد. این امر مؤید تغذیه شدن آبخوان توسط رودخانه‌ی فریزی است.

#### افت موضعی سطح آب زیرزمینی

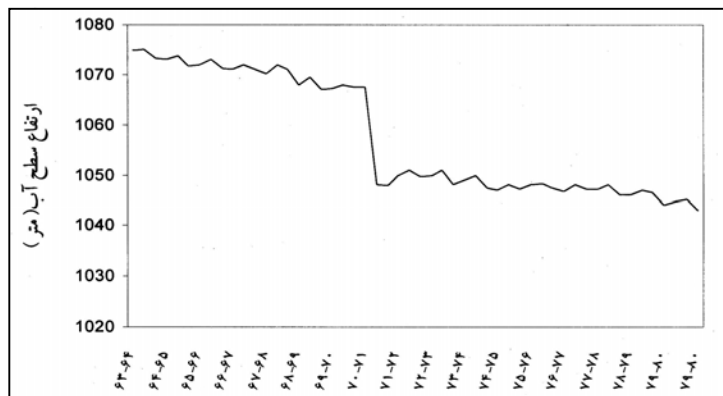
بررسی نوسان آب در چاه‌های پیژومتری حفر شده در محدوده‌ی دشت مشهد و مخروطه‌افکنه‌ی فریزی (هیدروگراف آب زیرزمینی. شکل ۱۶) نشان می‌دهد که از سال

۱۳۶۴ تا ۱۳۸۰، صرف نظر از سال آبی ۷۴-۷۳، سطح آب در چاه‌های پیژومتری<sup>۱</sup> (ولایتی، ۱۳۷۰: ۲۱۲) افت داشته است (مدیریت آبخیزداری جهاد کشاورزی خراسان، ۱۳۷۲: ۵۶) به گونه‌ای که، در نیمه‌ی اول دهه‌ی ۱۳۶۰ بهره‌برداری از مخازن زیرزمینی در این دشت، ممنوع اعلام شده است (ولایتی، ۱۳۷۰: ۴۲۰). براساس گزارشات منتشره، در فاصله‌ی سال‌های مذکور، با اجرای پروژه‌ی تغذیه‌ی مصنوعی، اقداماتی در جهت بهبود سطح آب و کسری حجم مخزن آبخوان صورت گرفته است. همان طوری که در شکل ۱۷ نیز مشاهده می‌شود، سطح آب در سال ۱۳۷۲، از ۱۰۳۶/۷۱ متر به ۱۰۴۹/۹۹، در سال ۱۳۸۰ رسیده است.

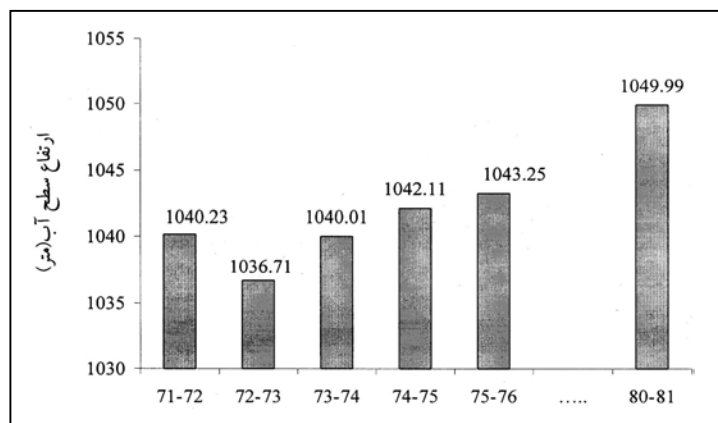


شکل ۱۵: منحنی تراز سطح آب زیرزمینی در محدوده‌ی مخروطه افکنه‌ی فریزی

۱- چاه‌های پیژومتری، چاه‌هایی هستند که برای اندازه‌گیری و مطالعه‌ی نوسانات سطح آب زیرزمینی، تا برخورد به سطح ایستابی و کمی پایین‌تر از آن، با قطر دهانه‌ی محدود (حدود ۸ اینچ) حفر می‌شوند.



شکل ۱۶: آبنمود (هیدروگراف) آب زیرزمینی دشت مشهد



شکل ۱۷: تغییرات ارتفاع آب درچاه پیژومتری نزدیک به حوضچه‌های تغذیه

### نتیجه‌گیری

حاصل مطالعات انجام شده در حوضه‌ی آبریز رودخانه‌ی فریزی، به منظور بررسی رژیم هیدرولوژیکی رود و نقش آن در تغذیه‌ی آبخوان دشت مشهد، به شرح زیر از نظر می‌گذرد. بر اساس ارزیابی‌هایی که بر روی بیش از ۳۰۰۰ داده‌ی مشاهده شده انجام گرفته، مشخص شده است که میانگین بارندگی حوضه،  $۳۷۲/۵۱$  میلیمتر است و از شرق و شمال شرق، به طرف غرب و جنوب غرب، افزایش می‌یابد. همچنین، تغییرات عمودی بارش،  $۱۳۰$  میلیمتر، به ازای هر کیلومتر افزایش ارتفاع است. بررسی توزیع ماهانه‌ی بارش بیانگر زمستانه - بهاره بودن رژیم بارندگی در حوضه است.

متوسط حرارت حوضه، ۸/۹ درجه‌ی سانتی‌گراد است که به‌صورت زنگوله‌ای از مهر تا فروردین، افزایش می‌یابد. افت آهنگ دمای حوضه، ۵/۸ درجه‌ی سانتی‌گراد به ازای هر ۱۰۰۰ متر افزایش ارتفاع است.

بر اساس مدل چند متغیره‌ی تبخیر، میانگین تبخیر پتانسیل سالانه‌ی حوضه، ۱۳۵۱ میلی‌متر برآورد می‌شود که در مقایسه با رقم محاسبه شده‌ی تبخیر و تعرق پتانسیل به روش پنمن (۹۵۶/۰۸ میلی‌متر)، تفاوت مشهودی دارد. متوسط دبی سالانه‌ی رودخانه‌ی فریزی، ۲/۱۴ متر مکعب بر ثانیه است. بیشترین و کمترین دبی به ترتیب در ماه‌های فروردین (۶/۸۴ متر مکعب بر ثانیه) و شهریور (۰/۴۵ متر مکعب بر ثانیه) صورت می‌گیرد که می‌توان مطابقت آن‌را با ماه‌های پرباران و کم‌باران سال به وضوح مشاهده کرد. از این‌رو، رودخانه تحت تأثیر برف‌های زمستانی و رگبارهای بهاری، طغیانی شده و شدت طغیان‌ها به ویژه توسط رگبارهای بهاری تقویت می‌شود. بررسی کیفیت آب مشخص می‌کند که، آب رودخانه برای مصارف شرب و کشاورزی، بسیار مناسب است. زیرا مقدار جذب سدیم آن در حد پایینی قرار داشته و هدایت الکتریکی آن از ۲۵۰ تا ۷۵۰ میکروموس بر سانتیمتر متغیر است.

دقت در نقشه‌ی تراز سطح آب دشت مشهد، با توجه به عمود بودن مسیر رودخانه بر خطوط هم پتانسیل بیانگر نقش مؤثر رودخانه در تغذیه‌ی آبخوان منطقه است. افت مستمر سطح آب زیرزمینی که در آبنمود (هیدروگراف) آن مشاهده می‌شود، نشان‌دهنده‌ی اضافه برداشت از آبخوان طی دهه‌های گذشته می‌باشد، که با اجرای طرح‌های تغذیه‌ی مصنوعی می‌توان از سیلاب‌ها، در جهت تغذیه‌ی بیشتر آبخوانه استفاده کرد. گزارشات منتشر شده در فاصله‌ی سال‌های ۱۳۷۲ تا ۱۳۸۰، (به ترتیب از ۱۰۳۶/۷۱ متر به ۱۰۴۹/۹۹) مؤید همین مطلب است.



### منابع و مآخذ

- ۱- زمردیان، محمدجعفر. (۱۳۷۸). «مطالعه هیدرومورفودینامیک‌های دامنه شمالی بینالود و کاربرد آن در مدیریت محیط». تز دکتری. دانشگاه تهران.
- ۲- سازمان جهاد کشاورزی خراسان. (۱۳۷۸). «پروژه کنترل و پخش سیلاب جم‌آب». چناران.
- ۳- سازمان زمین‌شناسی کشور تهیه شده توسط شرکت نفت. (۱۳۵۲). نقشه زمین‌شناسی مشهد. شیت ک - ۴.
- ۴- شفیعا، صفورا. (۱۳۷۲). «رژیم هیدرولوژیکی رودخانه فریزی و نقش آن در تغذیه‌ی آبخیز دشت مشهد». دانشگاه آزاد نجف‌آباد، دکتر سعیدالله ولایتی، پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد.
- ۵- علیزاده، امین. (۱۳۷۸). «هیدرولوژی کاربردی». انتشارات دانشگاه امام رضا، چاپ یازدهم.
- ۶- علیزاده، امین و دیگران. (۱۳۸۰). «هوا و اقلیم‌شناسی». انتشارات دانشگاه امام رضا، چاپ چهارم.
- ۷- غیور، حسنعلی. (۱۳۷۰). «بررسی قنات در ایران». فصلنامه‌ی تحقیقات جغرافیایی، شماره‌ی ۲۳.
- ۸- قزوینیان، محمدرضا؛ حسن حسینی برآبادی. (۱۳۷۲). «گزارش هیدرولوژی و سازه حوضه آبریز فریزی». شرکت سهامی آب منطقه‌ای خراسان.
- ۹- کاویانی، محمدرضا. (۱۳۷۹). «ارزیابی پتانسیل انرژی خورشید در ایران». مجله‌ی پژوهشی دانشکده‌ی ادبیات، دانشگاه اصفهان.
- ۱۰- کاویانی، محمدرضا. (۱۳۸۰). «توربین‌های بادی و ارزیابی پتانسیل انرژی باد در ایران». مجله‌ی پژوهشی دانشکده‌ی ادبیات، دانشگاه اصفهان.
- ۱۱- کردوانی، پرویز. (۱۳۷۳). «مناطق خشک». ج اول. چاپ سوم. انتشارات دانشگاه تهران.
- ۱۲- مدیریت آبخیزداری جهاد کشاورزی خراسان. (۱۳۷۳). پروژه کنترل و پخش سیلاب جم‌عاب. چناران. سازمان جهاد کشاورزی استان خراسان.
- ۱۳- مسعودیان، سیدابوالفضل. (۱۳۸۱). «تحلیل ساختاری دمای ماهانه‌ی ایران». مجله‌ی پژوهشی دانشکده ادبیات دانشگاه اصفهان.
- ۱۴- مهندسین مشاورستیران. (۱۳۷۲). مرحله‌ی دوم مطالعات سد فریزی. گزارش تأمین آب شهر مشهد. شرکت سهامی آب منطقه‌ای خراسان.
- ۱۵- نبوی، م. ح. (۱۳۵۵). «دیباچه‌ی بر زمین‌شناسی ایران». انتشارات سازمان زمین‌شناسی ایران. انتشارات سازمان زمین‌شناسی کشور.
- ۱۶- وجدانی، هما. (۱۳۷۵). «آب و هوای ایران». جزوه‌ی درسی دوره‌ی کارشناسی. دانشگاه آزاد نجف‌آباد.

- ۱۷- ولایتی، سعداله. (۱۳۷۴). «جغرافیای آب‌ها و مدیریت منابع آب». چاپ اول. انتشارات دانشگاه مشهد.
- ۱۸- ولایتی، سعداله؛ سعید توسلی. (۱۳۷۰). «منابع و مسایل آب استان خراسان». چاپ اول. انتشارات آستان قدس رضوی.
- ۱۹- ولایتی، سعداله؛ سعید توسلی. (۱۳۶۵). «خلاصه‌ای از منابع و مسایل آب خراسان». سازمان آب منطقه‌ای خراسان ( امور مطالعات منابع آب).