

مقدمه:

یکی از پایه‌های اساسی و دقیق برای درک و تحقیق پیرامون شرایط رطوبتی و یا خشکی اقلیمی هر ناحیه و یا حوضه آبریز در مفهوم بیلان آبی نهفته است^۱. بنابراین لازم است که از یک طرف میزان تلفات آب به شکل‌های مختلف و از جمله تبخیر و تعرق پتانسیل^۲ و از طرف دیگر میزان آب حاصل برای حاصل ناحیه و یا حوضه از طریق بارش‌های جوی تعیین گردد.

محققین براساس نیاز آبی جهت اهداف معین، تحقیقات ارزنده‌ای را در این زمینه انجام داده و روش‌هایی را با توجه به جنبه‌های مختلف و پارامترهای قابل اندازه‌گیری از عناصر اقلیمی ارائه نموده‌اند. به طوری که این موضوع یکی از بنیان‌های مطالعات اقلیمی جهان را با توجه به کاربردهای اساسی آن به ویژه در موارد مربوط به کشاورزی و سایر مصارف آبی شهری و صنعتی تشکیل می‌دهد^۳.

مطالعاتی که بر اساس تعیین تبخیر و تعرق ماهانه و سالانه انجام می‌شود علاوه بر اینکه میانگین درازمدت شرایط بیلان آبی را - با توجه به دریافت‌ها و تلفات آبی در یک ناحیه - تعیین می‌کند، تصویری از بیلان آبی سال‌های غیر عادی و نرمال را نیز ارائه می‌دهد که برطبق آن می‌توان شرایط ویژه اقلیمی هر ناحیه‌ای را مشخص نمود.

هرگونه برنامه‌ریزی در زمینه فعالیت‌های کشاورزی و صنعتی در سطح حوضه می‌بایست با شناخت کامل از شرایط آب و هوایی و بیلان آب اقلیمی انجام پذیرد. در این حوضه بروز خشکسالی در سال‌های اخیر، مساله تامین کسری نیاز آبی برای کشاورزی و بخش صنعت را تحت‌الشعاع قرار داده است.

در این مقاله به منظور بررسی وضعیت بیلان آب اقلیمی در حوضه آبریز کشف‌رود از روش تورنت ویت استفاده شده است. برطبق این روش علاوه بر تعیین بیلان آبی، می‌توان از آن به عنوان مبنای طبقه بندی اقلیمی برای هر ناحیه و یا حوضه آبریز استفاده نمود. محاسبات مربوط به بیلان آب با تکیه بر داده‌های هواشناسی ایستگاه‌های معرف و شاخص موجود در سطح حوضه آبریز مورد مطالعه انجام گرفته است.

۱- موقعیت و اختصاصات کلی حوضه:

محدوده مورد مطالعه شامل حوضه آبریز کشف‌رود می باشد که این حوضه بخشی از حوضه آبریز اصلی قره‌قوم بوده و از نظر موقعیت در شمال شرقی کشور و در شمال خراسان واقع شده است. حوضه مورد مطالعه بین $35^{\circ} - 38'$ تا $36^{\circ} - 05'$ عرض جغرافیایی و $58^{\circ} - 22'$ تا $61^{\circ} - 08'$ طول جغرافیایی واقع شده است (نقشه ۱). وسعت این حوضه آبریز ۱۶۹۷۰ کیلومتر مربع می‌باشد. عمده‌ترین رودخانه، کشف‌رود است که دارای شاخه‌های متعدد با آبدهی دائم و فصلی است. این رودخانه به‌طور مستقل فاقد جریان دائم بوده و جریان سیلاب‌های منطقه را تخلیه می نماید.

دشت مشهد به طول حدود ۱۷۰ کیلومتر بزرگترین دشت در حوضه آبریز قره‌قوم بوده و رودخانه کشف‌رود نیز زهکشی اصلی دشت مشهد در جهت شمال غرب به جنوب شرق است. در کشف‌رود ۹۰ درصد حوضه در ارتفاع کمتر از ۲۰۰۰ متر و فقط ۲ درصد مساحت آن بیش از ۲۵۰۰ متر ارتفاع دارد.

جریان‌های سطحی در حوضه آبریز کشف‌رود به دلیل مصارف کشاورزی و صنعتی از اهمیت زیادی برخوردار است. رژیم آبدهی اکثر رودخانه‌های سمت راست کشف‌رود، برفی- بارانی بوده و ذوب برف تا خرداد و تیر ادامه می‌یابد. میزان آبدهی سالانه رودخانه رادکان (ایستگاه امامزاده) در دوره شاخص ۵۶/۰، در فریزی

1- Strahler, A. N. and A. H. Strahler (2001)

2- Potential Evapotranspiration= PE

۳- جعفرپور، ابراهیم (۱۳۶۴)

(ایستگاه موشنگ) ۲/۰۴، در ارداک (ایستگاه بند ساروج) ۱/۲۳، در رودخانه شاندیز (ایستگاه سرآسیاب) ۰/۷، در رودخانه طوق (ایستگاه کرتیان) ۰/۶۳، کشف رود (ایستگاه النگ اسدی) ۱/۱۵ و در رودخانه کشف رود (ایستگاه پل خاتون) ۲/۳۹ متر مکعب در ثانیه بوده است.^۱ از نظر آبدهی ماهانه ایستگاه‌های رادکان، موشنگ، بندساروج و پل دختر، اردیبهشت و در سایر ایستگاه‌ها، فروردین پر آب‌ترین ماه سال می‌باشد.

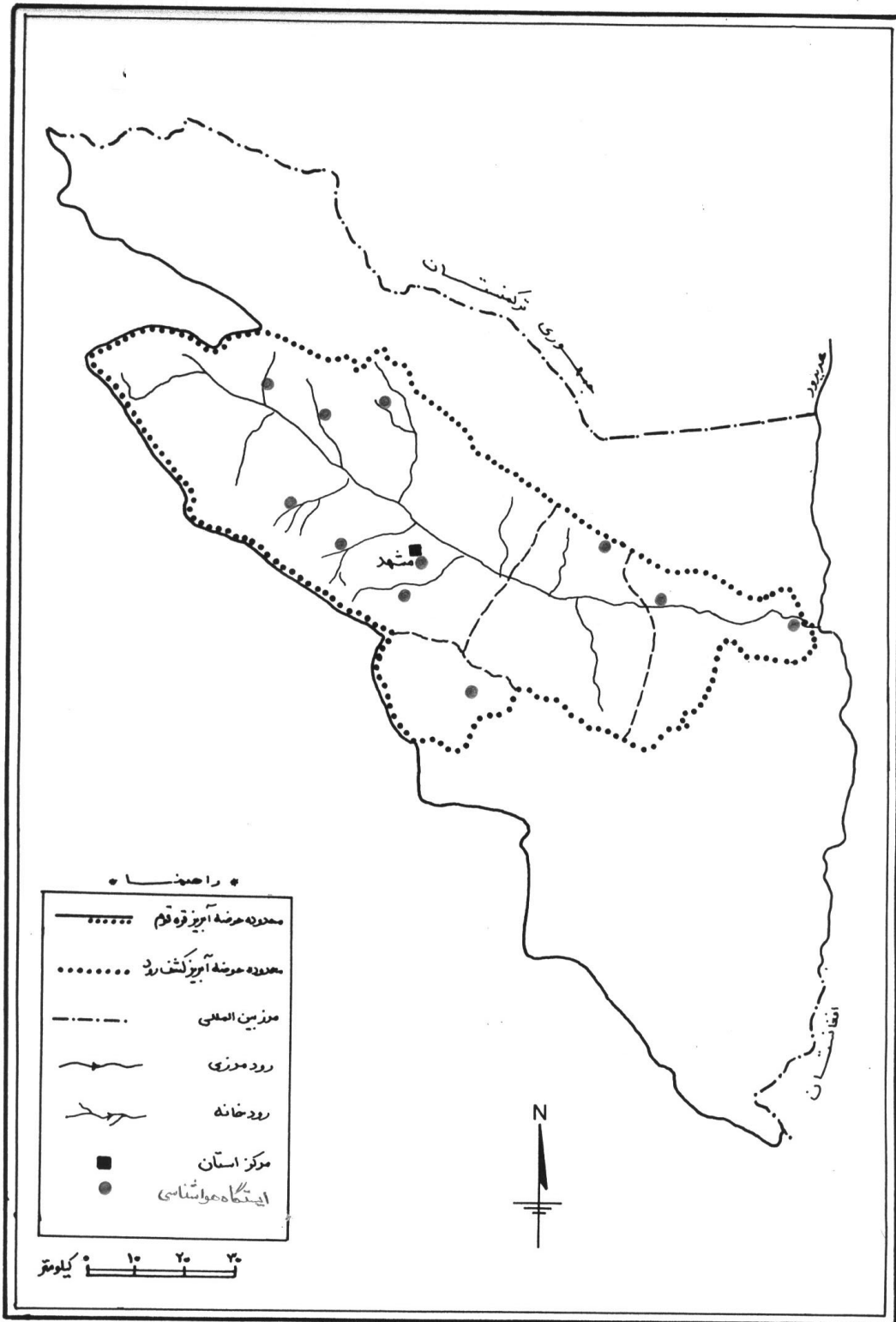
حوضه آبریز مورد مطالعه از نظر ذخایر آب‌های زیرزمینی در مقایسه با سایر مناطق استان خراسان، غنی است و سیستم غالب بهره‌برداری، چاه می‌باشد. از مجموع تخلیه سالانه منابع آب زیرزمینی حدود ۸۲ درصد از طریق چاه، ۱۶/۵ درصد از قنات و ۱/۵ درصد از چشمه‌ها انجام می‌گیرد. پتانسیل سفره آب زیرزمینی در این محدوده به تدریج رو به کاهش بوده و مخازن آن‌ها در اثر بهره‌برداری‌های بی‌رویه و غیر مجاز با کسری مواجه است. براساس بررسی‌های انجام گرفته، نوسانات عمق سطح سفره آب زیرزمینی در دوره مرطوب از شهریور یا مهر شروع شده و تا فروردین یا اردیبهشت ادامه دارد، در مقابل یک دوره خشک یا دوره بهره‌برداری از سفره آب زیرزمینی از اردیبهشت شروع گردیده و تا شهریور به مدت شش ماه ادامه می‌یابد. حداقل‌ها و حداکثرهای سطح آب زیرزمینی در سال‌های مختلف برابر نبوده و در حال نزول می‌باشد، که این موضوع بیانگر عدم وجود تعادل بین تخلیه و تغذیه در این آبخوان‌ها به دلیل اقلیم منطقه (نبود رودخانه‌های دائمی و پایین بودن سطح آب زیرزمینی در آبخوان‌ها و در نتیجه عدم وجود تبادلات آبی) از یک طرف و برداشت بی‌رویه از طرف دیگر می‌باشد.

۲- بررسی و تجزیه و تحلیل پارامترهای اقلیمی:

در این رابطه از آمار و اطلاعات ۱۱ ایستگاه اقلیمی (سینوپتیک، کلیماتولوژی و تبخیرسنجی و به‌عنوان معرف و شاخص استفاده شده است.^۲ طول دوره آماری با توجه به نوع ایستگاه و کیفیت آمار و اطلاعات اقلیمی بین ۱۵ تا ۱۴۰ سال منتهی به سال ۱۳۸۰ متغیر بوده است. انتخاب ایستگاه‌ها به گونه‌ای انجام گرفته تا از پراکنش نسبتاً مطلوبی در سطح حوضه برخوردار باشند و همچنین هر یک از ایستگاه‌های معرف بخشی از محدوده پیرامون خود را پوشش دهد. موقعیت ایستگاه‌ها در نقشه ۱ و مشخصات ایستگاه‌ها در جدول ۱ آورده شده است. میزان دمای سالانه از ۳/۹ درجه سانتی‌گراد در ایستگاه مارشک تا ۴/۱۶ درجه سانتی‌گراد در ایستگاه آق دربند در سطح حوضه متغیر است. مناطق واقع در دشت و شرق حوضه از دمای بیشتر و ارتفاعات شمال و جنوب حوضه از دمای کمتری برخوردار می‌باشند. در تمام ایستگاه‌های واقع در حوضه آبریز میانگین حداکثر دما در تابستان افزایش می‌یابد. این مساله حکایت از گرمای شدید به خصوص در بعد از ظهر و عمدتاً در سطح دشت دارد. در چنین شرایطی که با قطع دوره بارندگی همراه است و تبخیر و تعرق به حداکثر خود می‌رسد، شرایط خشکی فیزیکی شدت یافته و نیاز آبی محیط فزونی می‌گیرد.

تعداد روزهای یخبندان در ایستگاه مارشک (ارتفاع ۱۸۷۰ متر) به ۱۲۱ روز می‌رسد. در مناطق واقع در دشت این تعداد به بین ۷۰ تا ۸۰ روز در سال در نوسان بوده است. روزهای یخبندان در ارتفاعات از مهر ماه تا اردیبهشت و در مناطق دشت از مهر ماه (به‌طور نسبتاً ضعیف) و به ندرت تا فروردین ادامه داشته است.

با توجه به میزان رطوبت نسبی در ایستگاه‌های واقع در حوضه آبریز مشخص می‌گردد که در حدوده مشهد با شروع فصل پائیز متوسط نم نسبی رو به افزایش بوده و در مهر ماه به ۴۶ و در آبان به ۶۰ و در آذر به ۷۲ درصد می‌رسد. میانگین سالانه این پارامتر در مشهد ۵۱ درصد و میانگین سالانه حداقل و حد اکثر به ترتیب ۴۲ و ۷۱ درصد بوده است.



نقشه ۱

موقعیت حوضه آبریز کشف رود در حوضه آبریز اصلی

جدول ۱- مشخصات ایستگاه‌های معرف و شاخص در حوضه آبریز کشف رود

ردیف	نام ایستگاه	حوضه رودخانه	مشخصات جغرافیایی			نوع ایستگاه	
			عرض دقیقه درجه	طول دقیقه درجه	ارتفاع (متر)		
۱	مشهد	کشف رود	۱۶	۳۶	۵۹	۹۸۵	سینوپتیک
۲	گلمکان	کشف رود	۲۸	۳۶	۵۹	۱۳۰۰	سینوپتیک
۳	طرق کرتیان	طرق	۱۰	۳۶	۵۹	۱۳۰۰	کلیماتولوژی
۴	آق دربند	کشف رود	۵۹	۳۵	۵۰	۵۸۰	کلیماتولوژی
۵	النگ اسدی	کشف رود	۱۵	۳۶	۴۸	۹۰۰	تبخیرسنجی
۶	مارشک	کارده	۴۹	۳۶	۳۲	۱۸۷۰	تبخیرسنجی
۷	زشک	شاندیز	۲۰	۳۶	۱۲	۱۸۸۰	تبخیرسنجی
۸	ارداک	ارداک	۴۳	۳۶	۲۳	۱۳۱۰	تبخیرسنجی
۹	رادکان	رادکان	۴۸	۳۶	۰۰	۱۲۱۰	تبخیرسنجی
۱۰	مزدوران	کشف رود	۰۹	۳۶	۳۲	۹۲۰	تبخیرسنجی
۱۱	فرهادگرد	سنگ بست	۴۵	۳۵	۴۳	۱۵۰۰	تبخیرسنجی

بررسی آمار سرعت و جهت باد در محدوده مورد مطالعه مشخص نمود که هوای آرام در ماه‌های مختلف سال در ایستگاه سینوپتیک مشهد بین ۳/۴۶ تا ۹/۷۴ درصد است و به طور متوسط در مقیاس سالانه ۲/۵۷ درصد از حالات را شامل می‌شود. این وضعیت در ایستگاه سینوپتیک گلمکان بین ۴/۳۷ تا ۲/۵۶ درصد در ماه‌های سال نوسان داشته و درصد سالانه آن نیز ۱/۴۶ درصد برآورد شده است. جهت باد غالب در مشهد از شمال غرب به جنوب شرق و در گلمکان به شمال غرب است. حداکثر میانگین سرعت‌های باد در مشهد از ۶ متر بر ثانیه متجاوز نبوده در حالی که در گلمکان بین ۱۱ تا ۱۶ متر بر ثانیه نیز به ثبت رسیده است. آرام‌ترین بادهای سال در مشهد مربوط به آبان با ۹/۷۴ درصد و در گلمکان نیز ۲/۵۶ درصد برآورد شده است. شدیدترین بادهای لحظه‌ای با دوره برگشت پنجساله مربوط به اسفند با ۱/۱۵ متر بر ثانیه بوده است.

رژیم بارندگی حوضه، با دو حداکثر زمستانه و بهاره به‌وسیله یک دوره خشک و گرم طولانی که حدود پنج ماه از سال طول می‌کشد از یکدیگر جدا شده‌اند. بیشترین میزان بارندگی ماهانه در ایستگاه‌های مشهد، مزدوران، ارداک، النگ اسدی، رادکان، زشک و آق دربند ۵۱ درصد و در دگر مناطق بیش از ۴۰ درصد بارش در فصل زمستان اتفاق می‌افتد.

حداکثر بارندگی در نواحی شمال غرب و جنوب غرب مشهد با بیش از ۵۰۰ میلی‌متر و حداقل آن در ناحیه شرق حوضه به کمتر از ۲۰۰ میلی‌متر می‌رسد. حجم ریزش‌های جوی در حوضه‌های آبریز کشف رود بالغ بر ۸۳۵/۴۹۲۶ میلیون متر مکعب برآورد گردیده که حدود ۲/۴۰ درصد آن مربوط به حوضه‌های آبریز رودخانه‌های واقع در دامنه‌های شمالی ارتفاعات بینالود بوده است.

انحراف بارندگی در ایستگاه النگ اسدی با ۸/۴۷ کمترین میزان و در ایستگاه طرق کرتیان با ۹/۸۷ بیشترین مقدار بوده است. بیشترین تغییرپذیری بارندگی مربوط به ایستگاه طرق کرتیان با ۴/۳۴ درصد می‌باشد. این ضریب برای سایر ایستگاه‌های بین ۲۳ تا ۳۲ درصد متغیر است.

۳- بررسی بیلان آب اقلیمی:

محاسبه بیلان آب نواحی مختلف یکی از جدیدترین اشکال اقلیم‌شناسی امروزه را تشکیل می‌دهد و

در حقیقت یکی از جنبه‌های کاربرد اقلیم‌شناسی به شمار می‌رود. برای بررسی بیلان آبی اقلیمی در حوضه آبریز کشف‌رود از روش تورنت‌ویت استفاده شده است. تورنت‌ویت دانشمند اقلیم‌شناس آمریکایی که تحقیقات او در مقیاس جهانی مورد توجه عیق محققین قرار گرفته است، جهت تعیین بیلان آبی روشی را بر اساس آن میزان طول روز، زاویه تابش خورشوی و میزان دما و به منظور تعیین مهمترین عنصر بیلان آبی یعنی تبخیر و تعریق پتانسیل ابداع نموده است^۱. علاوه بر این پارامتر میزان گنجایش رطوبتی خاک که بر اساس آن میزان نیاز آبی محاسبه می‌گردد، باید برای ناحیه و یا حوضه مورد مطالعه معین گردد.

با توجه به وسعت و گستردگی حوضه آبریز کشف‌رود و اختلاف ارتفاعی که در سطح حوضه مشاهده می‌شود، سعی گردیده تا انتخاب ایستگاه‌ها جهت محاسبه بیلان آبی از نظر پراکندگی به نحوی باشد که در نهایت بخش وسیعی از منطقه را تحت پوشش قرار دهد. بر این اساس تعداد ۷ ایستگاه انتخاب و بیلان آب اقلیمی آن‌ها به‌طور جداگانه محاسبه و تجزیه و تحلیل گردیده است.

جهت محاسبه بیلان پابی ایستگاه‌های حوضه مورد مطالعه، در ابتدا داده‌های مربوط به دما و بارندگی ماهانه و سالانه آن‌ها استخراج و سپس با استفاده از روابط تورنت‌ویت میزان تبخیر و تعریق پتانسیل ماهانه و سالانه برآورد گردیده است. محاسبه کمبود آب^۲ و مازاد آب^۳ از مهمترین پارامترهای روش مزبور می‌باشد. زیرا این دو فاکتور در برنامه‌های کشاورزی به خصوص در مناطق خشک و نیمه خشک حایز اهمیت است. در محاسبه بیلان آبی اقلیمی یکی از نکات مهم انتخاب ارتفاع حداکثر آبی است که جهت تشکیل ذخیره رطوبت خاک در آن جمع می‌گردد. بنابراین به‌نظر تورنت‌ویت خاک زمانی از آب اشباع می‌شود که میزان رطوبت درون آن و یا ذخیره آب در آن از ۱۰۰ میلی‌متر تجاوز کند. بر این اساس در حوضه آبریز مورد مطالعه مقدار کل آب قابل استفاده خاک تا عمق ۷۰۰ میلی‌متری برابر با ۱۰۰ میلی‌متر در نظر گرفته شده است.

نتایج مربوط به پارامترهای بیلان آب اقلیمی حاصل از کاربرد این روش، در سطح حوضه آبریز مورد مطالعه (۷ ایستگاه نمونه) در جدول‌های ۲ تا ۸ آورده شده است.

درصد تبخیر و تعرق پتانسیل در دوره گرم سال یعنی در ماه‌های ژوئن (خرداد)، ژوئیه (تیر) و اوت (مرداد) نسبت به تبخیر و تعرق سالانه همسانی رژیم بری تابستانی را نسبت به شرایط حرارت مؤثر برهم می‌زند، از این رو با شدت گرفتن تبخیر و تعرق و یا قطع بارندگی کمبود شدیدی از نظر میزان آب مشاهده می‌گردد. میزان بارندگی از دسامبر (آذر) تا مارس (اسفند) در بیشتر مناطق بیش از تبخیر و تعرق پتانسیل بوده که این شرایط برای بعضی مناطق تا آوریل (فروردین) ادامه می‌یابد. بیشترین میزان تبخیر و تعرق پتانسیل سالانه در سطح حوضه آبریز کشف‌رود مربوط به ایستگاه آق‌در بند با ۹۳۹ میلی‌متر بوده است. میزان PE در مناطق کوهستانی و مرتفع حوضه کاهش می‌یابد، به‌طوری که در مارشک میزان PE سالانه به ۶۰۲/۴ میلی‌متر و در زشک به ۶۴۹/۷ میلی‌متر رسیده است. بنابراین با افزایش ارتفاع، میزان بارندگی نیز افزایش یافته و میزان تبخیر و تعرق پتانسیل کاهش نشان می‌دهد.

کمبود آب از ژوئن (خرداد) و در بعضی مناطق از مه (اردیبهشت) شروع و تا نوامبر (آبان) ادامه داشته است. این شرایط برای مناطق واقع در دشت دوام بیشتری دارد و در ارتفاعات میزان کمبود آب کاهش نشان می‌دهد. بیشترین میزان کمبود آب در سطح حوضه مورد مطالعه طی فصل تابستان برآورد گردیده است. کمبود آب سالانه در آق‌در بند ۶۸۳/۵ میلی‌متر می‌باشد.

از بررسی وضعیت بیلان آب از نظر اقلیمی در سطح حوضه مشخص می‌گردد که به موازات کاهش

بارندگی و افزایش دما، میزان تبخیر و تعرق پتانسیل به شدت فزونی یافته و کمبود شدیدی از نظر نیاز آب در دوره گرم سال مشاهده می‌شود. به طوری که مجموع تبخیر و تعرق ماه‌های تابستان و یا به مفهومی دیگر میزان تمرکز تابستانی تبخیر و تعرق بین ۵۲/۷ تا ۵۶/۳ درصد میزان کل سالانه بوده است. این امر مسایل متعددی را برای این حوضه به دنبال دارد. کمبود آب به خصوص در ماه ژولای (تیر) حایز اهمیت بوده و لزوم آبرسانی و آبیاری را برای محصولات زراعی ضروری می‌سازد. از ژوئن (خرداد) ذخیره آب در خاک به موازات کاهش بارندگی و افزایش میزان تبخیر و تعرق حاصله از دمای زیاد، رو به کاهش گذاشته و به مدت شش ماه از دسامبر (آذر) تا مه (اردیبهشت) ذخیره آب در خاک در نتیجه تأثیر عوامل اقلیمی شروع می‌گردد. فقر خاک از نظر ذخیره آب در اواخر بهار و تمام تابستان و اوایل پاییز، لزوم سیستم آبیاری مطلوب و قابل اجرا را در این حوضه ضروری می‌نماید.

در ارتباط با مازاد آب می‌توان بدین مطلب اشاره نمود که تقریباً در اکثر مناطق به جز در محدوده ایستگاه رادکان به مدت یک تا سه ماه اضافه آب موجود است. هرچند که در بعضی از مناطق میزان مازاد آب رقم ناچیزی را نشان می‌دهد. به طور کلی مازاد آب مربوط به فوریه (بهمن) تا آوریل (فروردین) است. بیشترین مازاد آب در محدوده رشک با ۹۲/۲ میلی‌متر در سال بوده است. نسبت مازاد آب در طی اسفند و فروردین به حداکثر میزان افزایش می‌یابد. در این شرایط جریان سطحی^۱ تا حدودی شکل می‌گیرد. در شرایط کشاورزی منطقه بارش‌های زمستان از لحاظ ذخیره آب در نواحی کوهستانی و بالابردن سطح آب زیرزمینی واجد اهمیت است. زیرا این موضوع منبع اصلی جریان‌های سطحی بهاری و اوایل تابستان است و در این بین پوشش برفی در محافظت کشت‌های پاییزی نقش بسیار مهم ایفا کرده و از سرمازدگی دانه‌های غلات درون خاک ممانعت به عمل می‌آورد.

جدول ۲ - بیلان آب اقلیمی در ایستگاه مشهد به روش تورنت ویت

شرح	Jan دی	Feb بهمن	Mar اسفند	Apr فروردین	May اردیبهشت	Jun خرداد	Jul تیر	Aug مرداد	Sep شهریور	Oct مهر	Nov آبان	Dec آذر	Year سالانه
دمای متوسط ماهانه T (C)	۰/۸	۲/۸	۷/۹	۱۴/۵	۱۹	۲۴/۲	۲۶	۲۴/۲	۱۹/۶	۱۳/۹	۸/۹	۳/۶	۱۳/۸
تبخیر و تعرق پتانسیل PE (m.m)	۰/۶	۴	۲۲/۳	۵۸/۷	۹۷/۷	۱۴۰/۴	۱۵۹	۱۳۴/۶	۸۷/۱	۴۹	۲۲/۳	۵/۷	۷۸۱/۴
بارش ماهانه P (m.m)	۳۹/۴	۳۴/۹	۵۸/۹	۴۷/۸	۲۷/۶	۳/۴	۱/۱	۰/۲	۱/۸	۱۴/۲	۱۸/۹	۲۸/۸	۲۷۷
آب ذخیره در ST خاک (m.m)	۶۱/۹	۹۲/۸	۱۰۰	۸۹/۱	۱۹	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۲۳/۱	
تبخیر و تعرق واقعی AE (m.m)	۰/۶	۴	۲۲/۳	۵۸/۷	۹۷/۷	۲۲/۴	۱/۱	۰/۲	۱/۸	۱۴/۲	۱۸/۹	۵/۷	۲۴۹/۴
کمبود آب WD (m.m)	۰	۰	۰	۰	۰	۱۱۸	۱۵۷/۹	۱۳۴/۴	۸۵/۳	۳۴/۸	۳/۴	۰	۵۲۳/۸
مازاد آب WS (m.m)	۰	۰	۲۹/۴	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۲۹/۴
جریان سطحی RO (m.m)	۰	۰	۲۴/۲	۱۴/۷	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۲۹/۴

در محاسبه بیلان آب اقلیمی به روش تورنت ویت پارامترهای مربوط به آب ذخیره در خاک (ST) تبخیر تعرق واقعی (AE)، کمبود آب (WD)، مازاد آب (WS) و جریان سطحی (RO) به صورت زیر تعیین و برآورد گردیده است.

الف- تعیین آب ذخیره در خاک ST

ابتدا آب باقی مانده در خاک مربوط به ماه‌های خشک از جدول گنجایش رطوبتی خاک استخراج گردیده و برای اولین ماه مرطوب، عدد مربوط به آخرین ماه خشک را با اولین ماه مرطوب جمع می‌کنیم. اگر ذخیر آبی خاک در ماهی بیش از گنجایش رطوبتی خاک باشد، همان گنجایش رطوبتی خاک نوشته می‌شود. البته به استثنای موادی که دمای متوسط ماهانه زیر ۱- درجه سانتیگراد است.

ب - تعیین میزان تبخیر تعرق واقعی AE

در ماه‌هایی که بارش بیشتر از تبخیر و تعرق بالقوه ($P > PE$) است مقدار تبخیر و تعرق بالفعل با میزان تبخیر و تعرق بالقوه برابر است ($AE = PE$). در ماه‌هایی که بارش کمتر از تبخیر و تعرق بالقوه ($P < PE$) است مقدار تبخیر و تعرق بالفعل برابر است با مجموع بارش و قدر مطلق میزان تغییرات ماه به ماه ذخیره رطوبتی خاک.

ج - تعیین میزان کمبود آب D

میزان کمبود آب ماهانه از طریق فرمول $D = PE - AE$ محاسبه می‌شود. اگر میزان تبخیر و تعرق بالفعل (AE) مساوی یا بیشتر از میزان تبخیر و تعرق بالقوه (PE) باشد میزان کمبود آب برابر صفر می‌شود.

د- تعیین میزان مازاد آب

در هر ماه که خاک به حد اشباع رسیده باشد و ذخیره آبی خاک معادل گنجایش رطوبتی خاک باشد مازاد آب وجود داشته و میزان آن برای اولین ماه مرطوب از فرمول $S = P - (PE + \Delta ST)$ و برای سایر ماه‌های مرطوب از فرمول $S = P - PE$ محاسبه می‌شود.

ه - تعیین میزان جریان سطحی RO

مطالعات مختلف نشان داده است که در یک حوضه آبریز وسیع در حدود ۵۰ درصد از مازاد آب در هر ماه به طور واقعی در سطح زمین جاری می‌شود و مابقی آن در حوضه آبریز نگهداری شده و جریان سطحی در ماه‌های بعدی را فراهم می‌آورد. البته میزان نگاهداری ۵۰ درصد مازاد آب در حوضه‌های آبریز کوچکتر و یا در دوره‌هایی کمتر از یک ماه ممکن است تغییر کند.

۴ - نسبت عناصر هیدرو اقلیم

در بررسی و تجزیه و تحلیل بیلان آب در محدوده مورد مطالعه علاوه بر پارامترهای مربوط به بیلان آب اقلیمی، نسبت‌های عناصر هیدرو اقلیم نیز در یک منطقه و همچنین مقایسه مناطق مختلف با یکدیگر اهمیت بسزایی دارد. بدین لحاظ در جدول ۱۰ نسبت عناصر هیدرو اقلیم محاسبه و ارائه گردیده است. بر این اساس با افزایش ارتفاع در حوضه، نسبت بارندگی به تبخیر و تعرق پتانسیل، افزایش می‌یابد. به طوری که این نسبت در مارشک ۰/۶۰۴ و در آق دربند ۰/۲۹۴ بوده است. میزان کمبود آب به بارندگی نیز در مناطقی که از نظر شرایط اقلیمی نامساعدتر و از آب و هوای خشک‌تر برخوردار می‌باشند، ($\frac{P}{PE}$) دارای نسبت بیشتری بوده است، در این رابطه می‌توان به ایستگاه آق دربند با نسبت ۲/۴۷۹ اشاره نمود. نسبت مازاد آب به بارندگی نیز رابطه مستقیم با افزایش ارتفاع دارد، این نسبت در مناطق کوهستانی و مرتفع حوضه رقم بالاتری را داشته است.

جدول ۹ - پارامترهای بیلان آب اقلیمی در ایستگاه‌های نمونه حوضه آبریز کشف رود

ایستگاه	شاخص رطوبت	درصد کمبود نسبت به نیاز آبی	درصد مزاد نسبت به نیاز آبی	کمبود آب (میلی متر)	مازاد آب (میلی متر)	بارندگی (میلی متر)	درصد نیاز تابستانی	نیاز آبی (میلی متر)
مشهد	-۶۸/۳	۶۸/۳	۳/۸	۵۳۳/۸	۲۹/۴	۲۷۷	۵۵/۵	۷۸۱/۴
گلمکان	-۶۱/۵	۶۳/۶	۱/۸	۴۱۹	۱۱/۶	۲۵۴	۵۴/۶	۶۶۱/۴
طرق کرتیان	-۶۵/۶	۷۰/۲	۴/۶	۵۵۵/۹	۳۶/۴	۲۸۸	۵۴/۹	۷۹۱/۷
آق دربند	-۷۰/۶	۷۲/۷	۲/۲	۶۸۳/۵	۲۰/۲	۲۷۵/۷	۵۵/۹	۹۳۹
مارشک	-۳۹/۶	۵۴/۴	۱۴/۸	۳۲۷/۷	۸۹/۴	۳۶۴/۱	۵۳/۴	۶۰۲/۴
زشک	-۴۵/۸	۶۰	۱۴/۲	۳۸۹/۲	۹۲/۲	۳۵۲/۷	۵۴/۲	۶۴۹/۷
رادکان	-۶۵/۱	۶۵/۸	۰	۴۷۰/۷	۰	۲۴۴/۱	۵۴/۲	۷۱۵/۱

جدول ۱۰ - نسبت های عناصر هیدرواقلیم در ایستگاه‌های حوضه آبریز کشف رود

ایستگاه	$\frac{P}{PE}$	$\frac{WD}{P}$	$\frac{WS}{P}$	$\frac{WP}{PE}$	$\frac{WS}{PE}$
مشهد	۰/۳۵۴	۱/۹۲۷	۰/۱۰۶	-/۶۳۸	۰/۰۳۷
گلمکان	۰/۳۸۴	۱/۶۴۹	۰/۰۴۵	-/۶۳۳	۰/۰۱۷
طرق کرتیان	۰/۳۶۳	۱/۹۳	۰/۱۲۶	-/۷۰۲	۰/۰۴۵
آق دربند	۰/۲۹۴	۲/۴۹۷	۰/۰۷۳	-/۷۲۸	۰/۰۲۲
مارشک	۰/۶۰۴	۰/۹۰	۰/۲۴۵	-/۵۴۳	۰/۱۴۸
زشک	۰/۵۴۲	۱/۱۰۳	۰/۲۶۱	-/۵۹۹	۰/۱۴۱
رادکان قدیرآباد	۰/۳۴۱	۱/۹۲۸	۰	-/۶۵۸	۰

۵ - تعیین نوع اقلیم

تورنت ویت در سال ۱۹۳۱ اولین طبقه‌بندی اقلیمی خود را برای آمریکای شمالی و در سال ۱۹۳۳ برای تمامی دنیا ارائه نمود. در این طبقه‌بندی او درجه تأثیر بارندگی ($\frac{P}{E}$) و راندمان دما را در نظر گرفت. درجه تأثیر بارندگی به صورت نسبت بارندگی به تبخیر ($\frac{P}{E}$) و مجموع آنها در طی سال به صورت شاخص (P-E) و مجموع خارج قسمت ($\frac{T}{E}$) را در طی سال به نام شاخص (T-E) نامید که از فرمول‌های متعدد به دست می‌آید.^۱

بنابراین در سال ۱۹۴۸ تورنت ویت طبقه‌بندی اقلیم را براساس مفهوم تبخیر و تعرق پتانسیل پیشنهاد نمود. وی ویژگی اقلیم هر ایستگاه و یا ناحیه‌ای را بر مبنای تعیین چهار شاخص بسیار مهم پایه‌گذاری کرده است.^۲ شاخص‌های مورد نظر در این سیستم طبقه‌بندی عبارتند از:

- ۱- شاخص نمناکی^۳
- ۲- شاخص حرارت موثر^۴
- ۳- تغییرات فصلی رطوبت موثر^۵
- ۴- تغییرات فصلی حرارت موثر^۶

3- Moisture
5- Seasonal variation of effective moisture

۱ - فریفته، جمشید (۱۳۶۶)
۲ - جعفرپور، ابراهیم (۱۳۶۴)
4- Thermal efficiency
6- Seasonal variation of thermal efficiency

۱- شاخص نمناکی

در سال ۱۹۵۵ شاخص نمناکی جدیدی توسط تورنتویت برای تعیین حدود اقلیم نیمه مرطوب خشک، نیمه خشک و خشک ارائه و شاخص سنجش قبلی کنار گذاشته شد. شاخص نمناکی در هر ناحیه بر اساس

$$I_m = \frac{100S - 100D}{PE}$$

روش یاد شده از طریق فرمول زیر تعیین می‌گردد:

در این فرمول I_m شاخص نمناکی، S مجموع مازاد آب در ماه‌های مختلف، D مجموع کمبود آب در ماه‌های مختلف و PE مجموع تبخیر و تعریق پتانسیل سالانه است.

بر اساس کاربرد فرمول فوق، ایستگاه‌های مشهد، آق دریند، النگ اسدی و مزدوران دارای شرایط اقلیمی خشک (E) و ایستگاه‌های گل‌مکان، طرق کرتیان، مارشک، زشک، ارداک، رادکان و فرهادگرد از اقلیم نیمه خشک (D) برخوردار می‌باشند (جدول ۱۱).

۲- شاخص حرارت موثر:

تورنتویت از مقدار انرژی موجود در اقلیم یک ناحیه که برای تبخیر و تعرق پتانسیل مصرف می‌شود نیز برای طبقه‌بندی اقلیم استفاده نموده است. بنابراین میزان تبخیر و تعرق پتانسیل سالانه به عنوان تعیین شاخص حرارت موثر در نظر گرفته شده است. بر طبق ای شاخص تمام ایستگاه‌های دارای شرایط حرارتی مزوترمال (معتدل) بوده که مزدوران از نوع درجه سوم، مشهد، طرق، آق دریند، النگ اسدی، ارداک و رادکان از درجه دوم و گل‌مکان، مارشک، زشک و فرهادگرد از درجه اول می‌باشند.

۳- تغییرات فصلی رطوبت موثر:

در اقلیم خشک شاخص تغییرات فصلی رطوبت موثر بر اساس فرمول زیر تعیین می‌گردد:

$$I_h = \frac{100s}{n}$$

بر اساس فرمول مربوطه تمام ایستگاه‌ها بدون مازاد آب یا با مازاد آب بسیار کم (d) در زمستان و بهار هستند.

۴- تغییرات فصلی حرارت موثر:

شاخص تابستانی حرارت موثر که بر مبنای درصد تمرکز تابستانی تبخیر و تعرق پتانسیل تعیین شده و از آن به نام تمرکز تابستانی حرارت موثر نیز نام برده می‌شود، برای شناخت میزان بری بودن به کار می‌رود. از این نظر تمام ایستگاه‌های محدوده مورد مطالعه دارای رژیم حرارتی نرمال به مزوترمال از درجه سوم (b3) می‌باشند.

نتیجه گیری:

بیان آب اقلیمی در اغلب نواحی حوضه نشان می‌دهد که در دوره سرد سال با افزایش بارندگی، مازاد آب نیز روند افزایشی خواهد داشت. این فاکتور بر کیفیت منابع آب سطحی به خصوص رد سرشاخه‌ها تاثیر گذارده و باعث کاهش محدودیت‌های کیفی آب گردیده است. بنابراین افزایش محدودیت‌ها و تقلیل کیفیت آب در انتهای دشت‌ها و نواحی خروجی دیده می‌شود، با اجرای طرح‌های انتقال آب از شاخه‌ها به مناطق پایین دست می‌توان حداکثر بهره‌برداری از منابع به خصوص در دوره‌های مواجه با کمبود آب را به عمل آورد. شرایط آب و هوایی حوضه مورد بحث را اقلیم‌های خشک و نیمه خشک تشکیل می‌دهد، بنابراین عدم

وجود جریان‌های سطحی دائمی و افت سطح آب‌های زیرزمینی به دلیل کمبود آب در طی چندین ماه از سال، استفاده و بهره‌برداری از منابع آب موجود در سازندهای سخت آهکی را ضروری می‌نماید. با توجه به کاهش جریان‌های سطحی از فروردین تا شهریور و کمبود آب در طی دوره گرم سال، خطر افزایش غلظت آلاینده‌ها در آب، در سطح حوضه بیشتر می‌شود. این شرایط در حاشیه رودخانه کشف رود از غرب به شرق تشدید می‌گردد که موجبات کاهش کیفیت آب را به دنبال دارد. بنابراین برنامه‌ریزی به‌منظور کنترل عوامل آلوده کننده آب مانند کارگاه‌های صنعتی در اطراف این رودخانه‌ها ضروری به‌نظر می‌رسد. در سطح حوضه آبریز مورد مطالعه مناطق مستعد به لحاظ طبیعی باعث گردیده تا شهر مشهد و نواحی کوهستان‌های اطراف آن از جاذبه‌های فراوان توریستی برخوردار گردد. این ویژگی تا حدودی به شرایط آبی هوایی و دسترسی به منابع آب کافی به لحاظ بارش مناسب و بیلان آبی قابل قبول فراهم گردیده است. هرگونه تغییر کاربری در راستای تامین نیازهای توریست‌ها و مسافری می‌بایست با در نظر گرفتن امکانات و پتانسیل‌های منابه آب انجام گیرد.

جدول ۱۱ - خصوصیات تیپ‌های اقلیمی در حوضه آبریز کشف رود به روش تورنت ویت

ایستگاه	تیپ اقلیمی	تیپ اقلیمی	حرارت مؤثر	شاخص نمناکی	تمرکز تابستانی
مشهد	EB ₂ 'db ₃	خشک	معتدل	بدون مازاد آب یا با مازاد آب بسیار کم	بری میانی خفیف
گلمکان	DB ₁ 'db ₃	نیمه خشک	معتدل	بدون مازاد آب یا با مازاد آب بسیار کم	بری میانی خفیف
طرق کرتیان	DB ₂ 'db ₃	نیمه خشک	معتدل	بدون مازاد آب یا با مازاد آب بسیار کم	بری میانی خفیف
آق دربند	EB ₂ 'db ₃	خشک	معتدل	بدون مازاد آب یا با مازاد آب بسیار کم	بری میانی خفیف
النگ اسدی	EB ₂ 'db ₃	خشک	معتدل	بدون مازاد آب یا با مازاد آب بسیار کم	بری میانی خفیف
مارشک	DB ₁ 'db ₃	نیمه خشک	معتدل	بدون مازاد آب یا با مازاد آب بسیار کم	بری میانی خفیف
زشک	DB ₁ 'db ₃	نیمه خشک	معتدل	بدون مازاد آب یا با مازاد آب بسیار کم	بری میانی خفیف
ارداک	DB ₂ 'db ₃	نیمه خشک	معتدل	بدون مازاد آب یا با مازاد آب بسیار کم	بری میانی خفیف
رادکان	DB ₂ 'db ₃	نیمه خشک	معتدل	بدون مازاد آب یا با مازاد آب بسیار کم	بری میانی خفیف
مزدوران	EB ₃ 'db ₃	خشک	معتدل	بدون مازاد آب یا با مازاد آب بسیار کم	بری میانی خفیف
فرهادگرد	DB ₁ 'db ₃	نیمه خشک	معتدل	بدون مازاد آب یا با مازاد آب بسیار کم	بری میانی خفیف

طبق جدول ۱۱ بر اساس روش تورنت ویت، تیپ‌های اقلیمی در سطح حوضه آبریز مورد مطالعه از نوع خشک و نیمه‌خشک بوده است. به لحاظ شاخص نمناکی می‌توان مازاد آب بسیار کم و همچنین شرایط بدون مازاد آب را در نظر گرفت. عمدتاً شرایط اقلیمی خشک در مناطق مرکزی و شرق حوضه آبریز از گسترش بیشتری برخوردار است. در این رابطه می‌توان به نواحی هم‌چون مشهد، آق دربند، النگ اسدی و مزدوران اشاره نمود.

منابع:

- ۱- سازمان آب منطقه‌ای خراسان، اطلاعات آماری ایستگاه‌های تبخیرسنجی دوره ۸۰-۱۳۵۰ صفحات مربوط به ایستگاه‌های مورد مطالعه.
- ۲- سازمان هواشناسی کشور، سال‌نامه‌های هواشناسی، سال‌های ۸۰-۱۳۴۸.
- ۳- سازمان آب منطقه‌ای خراسان، مرکز آمار بخش آب‌های سطحی سال ۱۳۷۹.
- ۴- سازمان آب منطقه‌ای خراسان، مرکز آمار بخش آب‌های زیرزمینی سال ۱۳۷۹.
- ۵- جعفرپور، ابراهیم، ۱۳۶۴، مطالعه اقلیمی خشکی و خشک‌سالی‌ها و بیابان آبی نایین تا کرمان، موسسه جغرافیا دانشگاه تهران.
- ۶- جعفرپور، ابراهیم، ۱۳۶۴، مطالعات اقلیم، مطالعات طرح تغییر محور مجتمع فولاد مبارکه جلد ۵.
- ۷- بای‌بوردی، محمد، ۱۳۵۶، اصول مهندسی آبیاری، جلد اول، روابط آب و خاک انتشارات دانشگاه تهران.
- ۸- فریفته، جمشید، ۱۳۶۶، سیستم‌های طبقه بندی اقلیمی، مرکز تحقیقات مناطق کویری و بیابانی ایران، تهران.
- ۹- سازمان آب منطقه‌ای خراسان، ۱۳۷۹، گزارش فیزیوگرافی حوزه قره‌قوم، امور آب استان.
- ۱۰- نقشه‌های توپوگرافی حوضه آبریز کشف‌رود با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰، سازمان جغرافیایی وزارت دفاع.
- ۱۱- ولایتی، سعدالله - توسلی، سعید، ۱۳۷۰، منابع مسایل آب استان خراسان، انتشارات آستان قدس رضوی، مشهد.
- ۱۲- علیزاده، امین، ۱۳۸۱، اصول هیدرولوژی کاربردی، انتشارات آستان قدس رضوی، مشهد.
- ۱۳- علیجانی، بهلول، کاویانی محمدرضا، ۱۳۸۱، مبانی آب و هواشناسی، انتشارات سمت.
- ۱۴- علیزاده، امین، ۱۳۷۹، گزارش نهایی طرح پژوهش تبخیر- تعرق پتانسیل گیاه مربع (ET) در ایستگاه‌های سینوپتیک ایران.
- ۱۵- نادری، نادر، علیزاده، امین و همکاران، ۱۳۷۸، مقایسه روش‌های مختلف برآورد تبخیر - تعرق پتانسیل با داده‌های لایستی‌متری در مشهد، سازمان هواشناسی کشور، نیوار شماره ۴۱.
- 16- Thorntwaite. C. W. (1985) [Introduction to Aride Zone Climatology]. Climatoloty and Microclimatology UNESCO.
- 17- Thorntwaite. C. W., and Mather, J. R. (1975) [the water balance.] pub. In Climatology.8:1-104. Lab. Of Climatology. Centeron, N. J.
- 18- Strahler, A. N. and A. H. Strahler. (2001). [Elements of physical Geography. John Wiley and sons. Inc.
- 19- Barry, R. G. and R. J. Chorley, 2001, Atmosphere, weather and climate. Methuer and coltd, London.
- 20- Mahdavi, M., 1987, Technical, Report on A statistical, Analysis of the Climate in yhe Margin of the Dasht-E-Kawir, Central, Iran: Acase study of the Kashan Meteorolglcal statian, Iran Desevt Research center, Publication No:18.
- 21- Shih, S. F. Data, Requirement for Evapotrans piration Estimation, Journal of Irrigation and Drainage, Vol. 110, 1984.