

تجزیه و تحلیل پدیده خشکسالی کشاورزی شهرستان فیروزکوه به روش موازنه آبی (اقتصاد آب)

دکتر عباسعلی ابونوری *

چکیده

خشکسالی¹ بعنوان یکی از پدیده‌های طبیعی متناوب منطقه‌ای، نامطمئن و غیرقابل پیش‌بینی، با ایجاد کمبود آب در هوا و خاک بر فعالیتهای اقتصادی و اجتماعی منطقه، در نتیجه کاهش تولیدات کشاورزی و غذائی، با ایجاد قحطی؛ بر نیروگاههای برآبی هر منطقه آسیب‌های جبران‌ناپذیری را وارد می‌کند. این مقاله تلاش می‌کند تا با استفاده از اقتصاد آب و توازن آبی، ایستگاه سینوپتیک فیروزکوه طی دوره ۱۵ ساله با برآورد تعداد دفعات وقوع خشکسالی، شدت آنها را نیز اندازه‌گیری کند. با بکارگیری روش بودجه آبی در منطقه مشخص شده است که فیروزکوه بطور متوسط در هر ۵ سال مواجه با یک پدیده خشکسالی حاد گردیده و یا احتمال وقوع این پدیده در این منطقه ۰/۲ می‌باشد و لازم است کشاورزان و یا زارعین منطقه باتوجه به وقوع این پدیده بگونه‌ای برنامه‌ریزی کنند که از آسیب‌پذیری بیشتر محصولشان جلوگیری شود. این منطقه در سال ۸۸-۱۳۸۷ مواجه با خشکسالی حاد گردیده و لو آنکه پیش‌بینی می‌شود که در اواخر سال ۱۳۸۸ از شدت وقوع این پدیده کاسته شده و با یک خشکسالی ملایم روبرو شود.

طبقه بندی JEL: Q51 ; Q54 ; Q57

واژه‌های کلیدی: خشکسالی؛ نزولات آسمانی؛ موازنه آبی؛ شاخص رطوبت؛ روش تورنت ویت.

* استادیار دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران مرکزی [نویسنده مسئول]

Email: aabounoori@yahoo.com

¹ Drought

شرایط نامطمئن، نامتجانس و نامتوازن محیطی و جوی نزولات آسمانی، از نظر زمانی و مکانی باعث می‌شود که هیچگاه مسئولین در منطقه فیروزکوه نتوانند به یک شیوه مشخص، منطقی و مطمئن به منظور دستیابی توسعه اقتصادی و کشاورزی مناسب دست یابند. با وجود آنکه پدیده خشکسالی در ایران و مناطقی که مستعد وقوع این پدیده می‌باشند؛ از جمله منطقه فیروزکوه که به یک منطقه نیمه خشک تبدیل گردیده است؛ باعث می‌شود که عملکرد و تولیدات کشاورزی و یا هرگونه فعالیت زراعی و کشاورزی و یا صنعتی مواجهه با پدیده ریسک و عدم اطمینان گردیده و امکان دستیابی مستمر به خودکفائی در تولیدات کشاورزی نیز غیرممکن به نظر برسد.

ماهیت پدیده خشکسالی باعث شده است که تاکنون یک تعریف کامل، جامع، عمومی و منطقی برای این پدیده بیان نشود، با وجود این، از نظر هواشناسی خشکسالی عبارتست از کاهش شدید میزان بارندگی و یا نزولات آسمانی در یک دوره زمانی نسبتاً زیاد؛ ولی از نظر متخصصین آب‌شناسی، خشکسالی زمانی رخ می‌دهد که سطح آبهای سطحی و زیرزمینی و میزان آبهای جاری از نظر دبی آبی کاهش یافته و سطوح آب‌چاهها و سفره آبهای زیرزمینی و حجم آب پشت سدها بطور محسوسی کاهش یابد. اندیشمندان علم کشاورزی معتقدند که پدیده خشکسالی باعث کاهش رطوبت در خاک و هوا، تشنگی محیطی و کاهش تولید و عملکرد محصولات کشاورزی می‌گردد. بالاخره، از نظر اقتصاددانان این پدیده باعث قحطی، گرسنگی، سوءتغذیه، افزایش مهاجرت، تحرکات شدید جمعیتی و اجتماعی، کاهش رفاه و افزایش آسیب‌های اجتماعی، جنگهای منطقه‌ای، تخریب سکونتگاهها و سفره آبهای زیرزمینی می‌گردد. بطور مسلم کاهش جریان دبی آبهای سطحی باعث آلودگی بیشتر مخازن آبها و کاهش کیفیت آنها نیز می‌گردد. (ابونوری، ۱۱، ۱۹۸۸). ساختار مقاله به این شرح است: پس از مقدمه، مبانی نظری مرور شده، در بخش روش‌شناسی ارائه شد و سپس نتایج تجربی آورده شده است. نتیجه گیری و پیشنهادات بخش پایانی مقاله را شکل می‌دهد.

۲- مبانی نظری

پدیده خشکسالی را می‌توان از دو روش یا دو دیدگاه به شرح زیر طبقه‌بندی نمود:
روش اول؛ خشکسالی از نظر شدت: تورنت ویت^۱ (۱۹۴۷، ۱۰۰-۸۷) وقوع پدیده خشکسالی را در چهار نوع به شرح زیر طبقه‌بندی می‌کند.

^۱ Thornthwaite

فصلنامه علمی پژوهشی مدل‌سازی اقتصادی شماره پنجم دانشگاه آزاد اسلامی واحد فیروزکوه
- خشکسالی دائم، که ویژگی آن شرایط آب و هوای خشک مانند صحرا و یا کویر است. رشد و نمو گیاهان پراکنده بوده و با این نوع پدیده کم‌آبی و خشکی عادت می‌کنند. همچنین فعالیت کشاورزی نیز بدون استفاده از سیستم‌آبیاری مصنوعی در تمامی فصول کشاورزی غیرممکن به نظر می‌رسد.

- خشکسالی فصلی، این نوع پدیده خشکسالی در شرایط آب و هوایی مرطوب ولی در فصل خشک رخ می‌دهد. در این مناطق زمان کشت و زرع محصولات بگونه‌ای با شرایط محیطی تطبیق داده شده است که مراحل رشد محصولات کشاورزی در فصل پرباران انجام گرفته و یا کشت محصولات کشاورزی در فصل خشک از طریق آبیاری مصنوعی انجام می‌گیرد.

- خشکسالی تصادفی، در مناطقی رخ می‌دهد که در آن مناطق میزان بارندگی نامنظم، نامطمئن و تصادفی باشند. علت اصلی وقوع این پدیده، نامنظم و یا تصادفی بودن میزان بارندگی از نظر زمانی در فصل بارندگی می‌باشد. احتمال وقوع این نوع خشکسالی تقریباً در همه مناطق وجود دارد، حتی در مناطقی که با خشکسالی فصلی مواجه می‌شوند. البته مشخصه ویژه وقوع این پدیده مربوط به مناطقی می‌شود که دارای شرایط آب و هوایی نیمه مرطوب و یا مرطوب باشند. وقوع این پدیده بسیار مخفیانه، نامنظم و غیرقابل پیش‌بینی است و به ندرت می‌توان زمان وقوع آن را پیش‌بینی نمود.

- خشکسالی ضمنی یا نامشهود، این نوع پدیده خشکسالی تقریباً در همه جا رخ می‌دهد، که البته بیشتر به شرایط آب و هوایی مرطوب مربوط می‌شود. خشکسالی نامشهود حتی در زمانی که در همه مناطقی که بطور دائم باران می‌بارد نیز به وقوع می‌پیوندد. زمانیکه میزان بارندگی قادر نیست رطوبت از دست رفته و یا آب تبخیر شده موجود در خاک یعنی تشنگی خاک را تأمین نماید، این میزان بارندگی در آن حد بحرانی قرار می‌گیرد که رشد گیاهان را متوقف ساخته و باعث کاهش تولید و عملکرد و افت کیفیت این نوع محصولات گردد. خشکسالی نامشهود را نمی‌توان به سادگی تشخیص داد، زیرا ظاهراً بارش کافی به نظر می‌رسد و گیاهان نیز بطور طبیعی در حال رشد می‌باشند، ولی به علت کاهش رطوبت خاک این میزان بارندگی‌ها قادر نیستند به اندازه کافی رطوبت از دست رفته خاک را جبران نموده و تشنگی خاک را تأمین نموده و حد مورد نیاز طبیعی خود را نیز جذب نمایند.

روش دوم: طبقه‌بندی خشکسالی از نظر نوع

خشکسالی از نظر علم هواشناسی¹

از نظر علم هواشناسی، خشکسالی در مناطق مختلف متفاوت است. در ارتباط با این موضوع

¹ Meteorological Drought

بتس¹ (۱۹۳۵) می گوید پدیده خشکسالی زمانی رخ می دهد که میزان بارندگی سالیانه کمتر از ۷۵ درصد مقدار نرمال آن در سال باشد. سازمان هواشناسی انگلستان² از نظر هواشناسی پدیده خشکسالی را به شرح زیر طبقه بندی نموده است:

الف - خشکسالی مطلق به دوره ای اطلاق می شود که حداقل ۱۵ روز متوالی هر روز کمتر از ۰/۰۱ اینچ باران بیارد.

ب - خشکسالی بخشی در دوره ای رخ می دهد که حداقل ۲۹ روز (و یا بیشتر از ۲۸ روز) متوالی میانگین بارندگی روزانه بیشتر از ۰/۰۱ اینچ نشود، و

ج - خشکسالی مقطعی به دوره ای گفته می شود که پانزده روز متوالی، روزی بیشتر از ۰/۰۴ اینچ باران نیاریده باشد.

در استرالیا توسط سازمان هواشناسی این کشور روشی هدفمند در شناخت پدیده خشکسالی انجام گرفته است. این سازمان اعلام می دارد که این پدیده را براساس می نیمم آب مورد نیاز در منطقه می توان شناخت و خشکسالی زمانی رخ می دهد که میزان بارندگی در یک دوره مشخص کمتر از می نیمم آب مورد نیاز در آن منطقه باشد.

خشکسالی از نظر هیدرولوژیکی³

در صورتیکه خشکسالی هواشناسی استمرار یابد به خشکسالی آبی و یا هیدرولوژیکی تبدیل می شود. ویژگی این پدیده، خشک شدن آبهای سطحی و در نتیجه خشک شدن مخازن و ذخایر آبهای پشت سدها، دریاچه ها، جویبارها و رودخانه ها و توقف جریان چشمه سارها و بالاخره باعث کاهش وافت شدید سفره آبهای زیر زمینی می گردد.

پالمر⁴ (۱۹۶۵) معتقد است که خشکسالی هیدرولوژیکی، عبارتست از کاهش جریان آبهای جاری و دریاچه ها، سطح مخازن آب سدها، تهی شدن ذخایر رطوبت خاک، افت سطح سفره های آبهای زیر زمینی، و کاهش مستمر و متوالی جریان آبهای زیر زمینی. در نتیجه تغییرات غیرطبیعی میزان نزولات آسمانی، کل سیستم هیدرولوژیکی یک منطقه به شدت آسیب می پذیرد. در عین حال در مناطقی که از سیستم کاریز جهت آبیاری استفاده می شود، در نتیجه کاهش جریان آب این کاریزها؛ از نظر زمین شناسی کاهش فشار و دبی کاریزها، باعث تخریب کانال های آبرسانی این کاریزها گردیده و امکان احیاء مجدد آنها بسیار پرهزینه خواهد بود.

¹ Bates

² Met. Off, London, 1936

³ Hydrological Drought

⁴ Palmer

فصلنامه علمی پژوهشی مدلسازی اقتصادی شماره پنجم دانشگاه آزاد اسلامی واحد فیروزکوه
به منظور تشخیص خشکسالی هیدرولوژیکی لازم است تراز و موازنه آبی (بودجه آبی) هر
منطقه را با توجه به جریان اضافی و یا کمبود بارندگی و مازاد برتراوشات در بکارگیری مؤثر
میزان بارندگی را در بودجه آبی آن منطقه اندازه گیری نمود.

خشکسالی کشاورزی¹

خشکسالی کشاورزی زمانی رخ می دهد که میزان بارندگی و رطوبت موجود در خاک تا آن
اندازه کافی نباشد که در فصل رشد گیاهان، سلامتی رشد گیاهان را در مرحله بلوغ و خوشه
دهی تهدید نموده، بگونه ای که این میزان کاهش شدید رطوبت در خاک، محصولات
کشاورزی به شدت صدمه دیده و یا درحالت پژمردگی رشد کنند (انديا، ۱۹۷۶)²

در کشورهایی که تولید محصولات کشاورزی آنها به تغییرات آب و هوایی و میزان بارندگی
فصلی آنها بستگی دارد، پدیده خشکسالی نه تنها متناوب و سیکلی و یا دوره ای می باشد، بلکه
توليدات کشاورزی نیز به همین ترتیب بی ثبات، متناوب و دچار پدیده ریسک و عدم
اطمینان می گردند (هابیل بولها و همکاران، ۲۰۰۹)³

هرشفیلد و دیگران (۱۹۷۲)⁴ معتقدند که ولأ اثرات عمده پدیده خشکسالی کشاورزی در
اتلاف محصولات کشاورزی است بدون آنکه به جریان آبی منطقه آسیب جدی وارد کند.
درحقیقت اثرات این نوع خشکسالی ممکن است در کوتاه مدت آنقدر سخت و طاقت فرسا
باشد که محصولات کشاورزی و مراتع را آسیب برساند ولو آنکه باعث افت شدید و قابل
ملاحظه ای در سفره آبهای زیرزمینی و یا جریان آبهای جاری و رودخانه ها و بطورکلی،
انباشتگی و تراکم متمادی و پی در پی کاهش نزولات آسمانی و باعث کاهش شدید جریان
آبهای جاری و یا دبی آبی رودخانه های شود.

در هر حال هر نوع مطالعه در ارتباط با پدیده خشکسالی کشاورزی به نوع محصولات
کشاورزی، عمیق بودن ریشه محصول، مشخصه ونوع خاک و عوامل طبیعی که بر عرضه و
تقاضای رطوبت موجود در خاک و هوای آن منطقه تأثیر می گذارد، بستگی دارمهم ولأ وقوع
پدیده خشکسالی کشاورزی زمانی واقعیت می یابد که نیاز محصولات کشاورزی به آب شدت
یافته و مقدار این نیاز غیر قابل پیش بینی بوده و اگر سیستم آبیاری مجهز در منطقه وجود نداشته
باشد، تولید محصولات کشاورزی در این منطقه به شدت صدمه می بینند.

در این تحقیقمد تا به خشکسالی کشاورزی توجه شده است که به روش بودجه آبی در
منطقه موردنظر بررسی شده است.

¹ Agricultural Drought

^۹ Govt. of India

^{۱۰} Hambilbolha, & other

^{۱۱} Hershfield & others

۳- روش شناسی

ابتدا لازم است شرایط فیزیولوژیکی، آب و هوایی و نوع خاک در تحلیل پدیده خشکسالی منطقه را مورد بررسی قرار داد. با توجه به اینکه پدیده خشکسالی یک پدیده نامنظم و نامطمئن جوی است، تاکنون روشی منظم و سیستماتیک برای شناسایی و تخمین این پدیده وجود ندارد. در عین حال در ارتباط با بررسی این پدیده ولاً از پارامترهای نظیر میزان متوسط بارندگی، تغییرات میزان بارندگی، دوره وجودی آب، شدت تبخیر نزولات آسمانی، رطوبت موجود در خاک و غیره، استفاده می‌شود که مهمترین این روش‌ها، نتایج تورنت ویت (۱۹۵۷)^۱، پن من (۱۹۶۳)^۲ و پالمر (۱۹۶۵)^۳ و دیگران می‌باشد (ناگانا، ۱۹۷۹)^۴. بطور خلاصه، تکنیکها و یا روش‌های موجود در تحلیل پدیده خشکسالی به شرح زیر می‌باشد:

۳-۱- روش آماری

در این روش با به کار گیری اطلاعات و آمار و ارقام موجود میزان بارندگی و یا نزولات آسمانی در هر منطقه استفاده می‌شود که مهمترین عامل وقوع پدیده خشکسالی، کمبود میزان بارندگی تشخیص داده می‌شود.

۳-۲- روش غیر آماری

در این روش از پارامترهای درجه حرارت، میزان رطوبت و مقدار نزولات آسمانی در هر منطقه استفاده می‌شود. تکنیکهای غیر آماری نیز یک روش کمی برای تعیین و یا تخمین پدیده خشکسالی محسوب می‌شود.

گاسن (۱۹۵۵)^۵ معتقد است که براساس شاخص رطوبت می‌توان پدیده خشکسالی را بررسی نمود، این شاخص، خالص میزان بارندگی ماهیانه (برحسب میلی‌متر) را با دو برابر میزان متوسط درجه حرارت ماهیانه (برحسب سانتی‌گراد) مقایسه نموده و می‌گوید که این پدیده زمانی رخ می‌دهد که $P < 2T$ و یا میزان بارندگی کمتر از دو برابر درجه حرارت گردد.

۳-۳- روش موازنه (بودجه) آبی

^{۱۲} Thornthwaite

^{۱۳} Penman

^{۱۴} Palmer

^{۱۵} Naganna

^{۱۶} Gausson

فصلنامه علمی پژوهشی مدلسازی اقتصادی شماره پنجم دانشگاه آزاد اسلامی واحد فیروزکوه

در این روش از مقدار موجودی آب، رطوبت خاک استفاده می‌شود که توسط تورنت ویت و دیگران (۱۹۴۷)^۱ معرفی شده است. با وجود آنکه تکنیک آماری دارای ماهیت کمی است ولی از یک ضعف محیطی و فیزیولوژیکی برخوردار است و نمی‌توان آنرا برای تمامی مناطقی که دارای آب و هوای متفاوتی برخوردارند، بطور یکسان بکار برد؛ در حالیکه تکنیک غیر آماری کاملاً دارای ماهیت کمی و قابل قبول بوده و در هر شرایطی خاص می‌توان آنرا مورد استفاده قرار داد، اساس این دو روش بر پایه برقراری و تحلیل ارتباط بین درجه حرارت و میزان نزولات آسمانی می‌باشد. از طرف دیگر، بر طبق نظریه موازنه آبی، پدیده خشکسالی زمانی رخ می‌دهد که میزان آب مورد نیاز که از طریق بارندگی و رطوبت خاک حاصل می‌گردد، بیشتر از مقدار آبی باشد که از طریق نزولات آسمانی و شدت تبخیر آن تأمین می‌شود. بنابراین در تحلیل موازنه آبی شاخص کاهش رطوبت، خشکی و تشنگی خاک و هوا از اهمیت زیادی برخوردار است (ناگانا، ۱۹۷۹)^۲. تورنت ویت (۱۹۷۴)^۳ معتقد است که در تجزیه و تحلیل پدیده خشکسالی تنها با بکارگیری میزان بارندگی نمی‌توان به نتیجه واقعی رسید، بدون آنکه به موازنه آبی یا بودجه آبی منطقه و اهمیت نقش آن در ایجاد رطوبت خاک و حیات گیاهان و نباتات که به آن وابسته می‌باشند توجه نمود. حتی توقف کامل بارندگی در یک منطقه نمی‌تواند نشانه وقوع پدیده خشکسالی در آن منطقه باشد. تولیدات کشاورزی در هر منطقه کاملاً به پوشش موازنه آبی که به عرضه آب (نزولات آسمانی) و تقاضای آب (تبخیر و رطوبت) بستگی دارد، مورد بررسی قرار گیرد.

در هر حال در این مقاله تلاش شده با استفاده از شاخص‌های حاصل از مراحل محاسباتی بودجه آبی شدت و نوسانات وقوع پدیده خشکسالی در ایستگاه منتخب فیروزکوه تعیین گردد. مهمترین شاخص، شاخص خشکی (I_a) تورنت ویت می‌باشد که توسط سوبرامنیوم و سوبرامنین (۱۹۶۴)^۴ اصلاح شده است.

تورنت ویت ارتباط نزدیکی را بین میانگین ماهیانه دمای هوا (T)^۵ و فعل و انفعالات یا عمل و عکس‌العمل تبخیر بالقوه (PE)^۶ برقرار نموده است.

با توجه به اینکه بطور کامل مقدار PE را نمی‌توان برآورد نمود، با وجود این، فرمول عمومی روش اولیه تورنت ویت برای تعیین فعل و انفعالات تبخیر و تعریق بالقوه (PE) عبارتست از:

^{۱۷} Thornthwaite & others

(۱)

^{۱۸} Naganna

^{۱۹} Thornthwaite

^{۲۰} Subrahmanyam & Subramanian

^{۲۱} Temperture (T)

^{۲۲} Potential Evapotranspiration

$$PE^* (\text{Cm/month}) = 1/6 \left(\frac{1 \cdot T}{I} \right)^a$$

جائیکه؛

PE^* = فعل و انفعالات تبخیر و تعریق بالقوه ماهیانه ناسازگار به سانتی‌متر برپایه ۱۲ ساعت روزانه و ۳۰ روز ماه می‌باشد که به منظور تصحیح این شاخص، با توجه به طول واقعی روز در ساعت (h) و تعداد روز در ماه (N) به شکل زیر سازگار (PE) می‌شود. یعنی:

$$PE = PE^* \left(\frac{h}{12} \right) \left(\frac{N}{30} \right) \quad (2)$$

T = میانگین ماهیانه دمای هوا برحسب سانگی‌د، $^{\circ}\text{C}$

I = شاخص حرارت سالیانه برای هر ایستگاه هواشناسی می‌باشد که با جمع ارزش ۱۲ ماه در سال تعیین می‌شود. یعنی:

$$i = \left(\frac{T}{5} \right)^{1/514}, I = \sum_{n=1}^{12} i_n \quad (3)$$

a = یک متغیر اختیاری ثابت است که از یک منطقه به منطقه دیگر متفاوت است و یک رابطه غیرخطی از شاخص حرارت می‌باشد که بطور تقریبی می‌توان آنرا به شکل زیر تعیین نمود.

$$a = 675 \times 10^{-9} I^3 - 771 \times 10^{-7} I^2 + 1792 \times 10^{-5} I + 49239 \times 10^{-5} \quad (4)$$

می‌باشد که یک خط T در مقابل PE بین Log-Log بنابر این؛ معادله تورنت ویت یک رابطه مستقیمی است که در دامنه

$$(PE^* = 13/5, T = 26/5), (PE^* = 1/6, T = \frac{I}{10}) \quad (5)$$

ترسیم می‌شود.

همچنانکه تورنت ویت خاطر نشان می‌کند که این معادله کاملاً از ظرافت روابط ریاضی مبرا است. در سال ۱۹۵۵ تورنت ویت و مادر روش ۱۹۴۸ تورنت ویت را اصلاح نموده‌اند. تورنت ویت در بکارگیری ابزار روش موازنه آبی شاخص دیگری را بکار می‌برد که بتوان منطقی‌تر و مؤثرتر در بکارگیری طبقه‌بندی شرایط آب و هوایی استفاده نمود، به شرح زیر:

$$I_a = \frac{WD}{WN} \times 100 = \frac{WD}{PE} \times 100 \quad (6)$$

I_a = شاخص خشکی¹، عبارتست از درصد نسبت میزان کل کمبود سالیانه آب (WD)² به مقدار کل آب مورد نیاز سالیانه (WN)³ از فعل و انفعالات تبخیر بالقوه (PE)، یعنی:

I_h = شاخص تری⁴ عبارتست از درصد نسبت میزان کل ذخیره سالیانه آب (WS)⁵ به مقدار کل آب مورد نیاز سالیانه (WN) از فعل و انفعالات تبخیر بالقوه (PE)، یعنی:

$$I_h = \frac{WS}{WN} \times 100 = \frac{WS}{PE} \times 100 \quad (7)$$

I_m = شاخص رطوبت (خالص)⁶، عبارتست از تفاوت بین I_a و I_h به شکل زیر می‌باشد،

$$I_m = I_h - 0.6I_a \quad (8)$$

شاخص رطوبت تجدیدنظر شده یا اصلاح شده تورنت ویت و مادر به شکل زیر می‌باشد:

$$I_m = 100 \left(\frac{WS - WD}{PE} \right) \quad (9)$$

$$WS = P - AE, \quad WD = PE - AE$$

و یا:

$$I_m = \left(\frac{P - AE - PE + AE}{PE} \right) = 100 \left(\frac{P}{PE} - 1 \right)$$

و یا:

$$I_m = 100 \left(\frac{P}{PE} - 1 \right)$$

شاخص رطوبتی که با مقایسه آب مورد نیاز در یک منطقه با رطوبت و یا آب موجود و یا کمبود آن بخش اساسی در این طبقه‌بندی می‌باشد. بگونه‌ای که اگر P

¹ Aridity Index

² Water Deficit (WD)

³ Water Need (WN)

⁴ Humidity Index

⁵ Water Surplus (WS)

⁶ Moisture Index

فصلنامه علمی پژوهشی مدل‌سازی اقتصادی شماره پنجم دانشگاه آزاد اسلامی واحد فیروزکوه
دقیقاً برابر با PE باشد در تمامی مراحل آب موردنیاز با آب موجود برابر می‌باشد که
در این صورت نه کمبود آب و نه مازاد آب وجود داشته و شرایط آب و هوایی نه
مرطوب است و نه خشک.

در این تحقیق آمارهای موردنیاز از منابع اولیه و ثانویه موجود در بولتن‌های دولتی سازمان
هواشناسی کشور ایران^۱ (۲۰۰۹) استفاده شده است. با توجه به ایستگاه موردنظر (فیروزکوه)
متوسط بارندگی ماهیانه و درجه حرارت برای سالهای ۱۳۸۳-۱۳۸۸ برای مدت ۱۵ سال
متوالی انتخاب شده است و سایر محاسبات عددی و نموداری توسط محقق انجام شده است.

۴- نتایج

نظریه تعادل و یا توازن آبی در یک دوره بلندمدت مترادف سیکل هیدرولوژیکی
است. پروژه موازنه آبی شرایط مقدار آب موجود در یک منطقه موردنظر را در یک
دوره موردنظر برپایه آنالیز ترکیبی توازن نهاده (درآمد یا عرضه)، ستاده (خروجی یا
نیاز) و ذخیره (اندوخته) عناصر اقتصاد آب در سیستم فضا- خاک- هوا را مورد
بررسی قرار می‌دهد. در این پروژه پارامترها و ابزارهایی مانند نزولات آسمانی (P)،
فعل و انفعالات تبخیر و تعریق (E) به صورت بالقوه (PE) و بالفعل (AE) مازاد آب
(WS)، کمبود آب (WD) در نتیجه تغییر ذخیره آب و آبهای جاری تغییر می‌کند.
به‌منظور تعیین پروسه موازنه طبیعی آبی متوسط ماهیانه عرضه آب (P)، نزولات
آسمانی) و تقاضای طبیعی آب (PE)، تبخیر و تعریق بالقوه) برای ایستگاه مورد نظر
یعنی رامسر از سازمان هواشناسی کل کشور محاسبه شده است.

جدول ۱، مراحل مختلف محاسبه توازن آبی را برای ایستگاه سینوپتیک فیروزکوه برای سال
منتخب، ۲۰۰۰ میلادی و یا ۱۳۷۹ شمسی را نشان می‌دهد.^۲ فیروزکوه در طول جغرافیایی
۵۲°۵۰' و عرض جغرافیایی ۳۵°۵۵' مستقر بوده و ظرفیت ذخیره‌سازی آب در این منطقه معادل
۲۰۰ میلی‌متر در نظر گرفته شده است. (سوبرمینیم، ۵۸، ۱۹۸۲)^۳. تمامی ارزش‌های جدول ۱
برحسب میلی‌متر و درجه حرارت برحسب سانتی‌گراد آورده شده است.

در آن T درجه حرارت برحسب سانتی‌گراد، i شاخص گرمایی، UPE تبخیر و تعریق
ناسازگار PE و APE تبخیر و تعریق سازگار، P نزولات آسمانی، APWL تراکم بالقوه آب

^۱ Iran Meteorological Organization, I.M.O

^۲ مراحل محاسبه توازن آبی برای ۱۵ سال متوالی یعنی دوره ۲۰۰۹-۱۹۹۴ برای هر سال بطور مجزا محاسبه شده تا شاخص خشکی
Ia تعیین گردد. سال ۲۰۰۰ براساس متوسط نزولات آسمانی بعنوان سال نرمال در نظر گرفته شده است.

^۳ Subrahmanyam

فصلنامه علمی پژوهشی مدلسازی اقتصادی شماره پنجم دانشگاه آزاد اسلامی واحد فیروزکوه
 از دست رفته توسط خاک، St. ظرفیت ذخیره سازی آب توسط خاک، ΔSt تغییر در ظرفیت
 ذخیره سازی آب توسط خاک، AE تبخیر و تعریق طبیعی یا واقعی محیط هوا و خاک، WD
 کمبود آب (یا کمبود رطوبت)، WS مازاد آب (یا مازاد رطوبت) می باشند.
 جدول ۱: موازنه آبی ایستگاه فیروزکوه برای سال ۲۰۰۰

اقدام	ژانویه J	فوریه F	مارس M	آوریل A	می M	ژوئن J	جولای J	آگوست A	سپتامبر S	اکتبر O	نوامبر N	دسامبر D	سالانه An
TC'	-۳/۲	-۸/۱	۱/۸	۱۱/۲	۱۵/۲	۱۷/۲	۱۹/۸	۱۹/۹	۱۶/۹	۸/۹	۱/۸	-۰/۸	۸/۴
i	-	-	۰/۲	۳/۴	۵/۴	۶/۵	۸	۸/۱	۶/۳	۲/۴	۰/۲	-	۴۰/۵
UPE	-	-	۶/۴	۵۰/۸	۷۱/۹	۸۲/۸	۹۷/۱	۹۷/۷	۸۱/۱	۳۹/۱	۶/۴	-	
PE	-	-	۶/۶	۵۵/۴	۸۷	۱۰۰/۲	۱۱۹/۴	۱۱۳/۳	۸۳/۵	۳۷/۹	۵/۵	-	۶۰۸/۸
P	۸۰	۵۹/۲	۲۵/۵	۶/۵	۰	۷	۱۰/۷	۵	۶/۸	۲۵/۴	۱۱/۸	۵۰/۳	۲۸۸/۲
P-PE	۸۰	۵۹/۲	۱۸/۹	-۴۸/۹	-۸۷	-۹۳/۲	-۱۰۸/۷	-۱۰۸/۳	-۷۶/۷	-۱۲/۵	۶/۳	۵۰/۳	-۳۲۰/۶
APWL				-۴۸/۹	-۱۳۵/۹	-۲۲۹/۱	-۳۳۷/۸	-۴۴۶/۱	-۵۲۲/۸	-۵۳۵/۳			
St	۲۰۰	۲۰۰	۲۰۰	۱۵۶	۱۰۰	۶۳	۳۶	۲۱	۱۴	۱۳	۱۹/۳	۲۰۰	
ΔSt	۰	۰	۰	-۴۴	-۵۶	-۳۷	-۲۷	-۱۵	-۷	-۱	۶/۳	۱۸۰/۷	
AE	-	-	۶/۶	۵۰/۵	۵۶	۴۴	۳۷/۷	۲۰	۱۳/۸	۲۶/۴	۵/۵	۰	۲۶۰/۵
WD	-	-	۰	۴/۹	۳۱	۵۶/۲	۸۱/۷	۹۳/۳	۶۹/۷	۱۱/۵	۰	۰	۳۴۸/۳
WS	-	-	۱۸/۹	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱۸/۹

منبع: یافته‌های محقق (P و T از سازمان هواشناسی کشور ایران)

در منطقه فیروزکوه (در سال ۲۰۰۰ میلادی) در ماه جولای تبخیر و تعریق بالقوه (میلی متر
 $PE=119/4$) $108/7$ میلی متر بیشتر از میزان نزولات آسمانی (میلی متر $P=10/7$) می باشد؛ در
 حالیکه میزان آب بالقوه از دست رفته توسط خاک به شکل رطوبت در واقع معادل 27
 میلی متر می باشد. در شرایط عادی تبخیر و تعریق نمی تواند بیشتر از حد نرخ بالقوه رطوبت
 موجود در خاک باشد تا در حد مطلوب تبخیر و تعریق گردد. در شرایطی که میزان نزولات
 آسمانی بیشتر از میزان تبخیر و تعریق بالقوه باشد، در این صورت رطوبت موجود در خاک
 کافی بوده و تبخیر و تعریق بالقوه معادل مقدار واقعی و طبیعی آن خواهد بود، بگونه ای که
 تبخیر و تعریق بطور نامرئی انجام می گیرد. زمانیکه میزان نزولات آسمانی کمتر از تبخیر و
 تعریق بالقوه باشد، در این صورت تبخیر و تعریق واقعی و طبیعی برابر است با میزان نزولات
 آسمانی بعلاوه هر میزان رطوبت ذخیره شده در خاک که تبخیر یا تعریق شده است.
 کمبود و یا مازاد میزان رطوبت و یا آب را می توان به راحتی از مراحل محاسباتی بودجه آبی
 محاسبه نمود. کمبود آب (WD) از تفاوت تبخیر و تعریق بالقوه و مازاد آب (WS) زمانی

فصلنامه علمی پژوهشی مدلسازی اقتصادی شماره پنجم دانشگاه آزاد اسلامی واحد فیروزکوه
رخ می‌دهد که میزان نزولات آسمانی افزایش یافته که در این صورت ظرفیت یا مخازن
رطوبت موجود در خاک پر از آب شهید و کاملاً تشنگی خاک و هوا بر طرف خواهد شد.
در فیروزکوه در سال ۲۰۰۰، متوسط ماهیانه درجه حرارت از $3/2$ - درجه سانتی‌گراد در
ماه ژانویه تا بیشترین درجه $19/9$ درجه سانتی‌گراد در ماه آگوست تغییر می‌کند. مقدار PE
کاملاً به درجه حرارت وابسته است از کمترین میزان $5/5$ ¹ میلی‌متر در ماه نوامبر به بالاترین
میزان خود $119/4$ میلی‌متر در ماه جولای می‌رسد. مقدار PE بطور ناگهانی در فصل بهار از
میزان $6/6$ میلی‌متر در ماه مارس تا میزان $119/4$ میلی‌متر در ماه ژوئن رسیده و سپس در فصل
پائیز از $83/5$ میلی‌متر در ماه سپتامبر کاهش می‌یابد تا ماه نوامبر (حتمالاً دسامبر) به $5/5$
میلی‌متر می‌رسد.

میزان کل آب مورد نیاز در شرایط طبیعی در این دوره معادل $608/8$ میلی‌متر در سال می‌باشد.
میزان نزولات آسمانی، یا عرضه آب، در طول ماههای سال ۲۰۰۰ از نوسانات زیادی برخوردار
بوده است. متوسط میزان نزولات کل در این دوره معادل $288/2$ میلی‌متر بوده است که
در تمامی ماههای سال بطور پراکنده توزیع شده است که بطور متوسط در هر ماه معادل 24
میلی‌متر بوده است. کمترین میزان بارندگی مربوط به فصل تابستان و پائیز به میزان صفر
میلی‌متر در ماه می تا 5 میلی‌متر در ماه آگوست در نوسان می‌باشد. بیشترین بارندگی مربوط به
فصل زمستان می‌باشد که معادل 80 میلی‌متر در ماه ژانویه می‌باشد. مقایسه ماهیانه P و PE
نشان می‌دهد که این دو هیچگاه معادل یکدیگر نخواهند بود. میزان نزولات آسمانی در فصل
پائیز و زمستان نسبتاً زیاد ولی در فصل تابستان بسیار کم بوده است فقط در ماه مارس
میزان نزولات $25/5$ میلی‌متر می‌باشد که بیشتر و بالاتر از مقدار مورد نیاز (PE= $6/6$)
جهت تبخیر و تعریق می‌باشد که در خاک ذخیره می‌شود که بیشتر از ظرفیتی است که خاک
در این شرایط به آن نیاز دارد (یعنی مقدار آبی که از نظر ساختار و فشار و جاذبه زمین بطور
طبیعی در خاک نفوذ می‌کند). بعد از آنکه خاک به ظرفیت کامل خود رسیده باشد، هر میزان
بارندگی دیگر نیاز به تبخیر و تعریق نداشته و بعنوان مازاد در نهایت به صورت آبهای جاری
جریان می‌یابد. میزان مازاد آب فقط در ماه مارس معادل $18/9$ میلی‌متر می‌باشد که کل مازاد
آب در سال ۲۰۰۰ برای این ایستگاه سینوپتیک می‌باشد. بطور کلی $288/2$ میلی‌متر از $608/8$
میلی‌متر آب مورد نیاز در این سال توسط نزولات آسمانی تأمین می‌شود. در ماههای ژانویه تا
مارس و سپس در ماه دسامبر، میزان میانگین نزولات بیشتر از نیاز بالقوه طبیعی به آب است.
در این دوره خاک منطقه فیروزکوه از نظر ذخیره آب به ظرفیت کامل (200 میلی‌متر) می‌رسد.
ماه آوریل، اولین ماهی است که نیاز طبیعی آب در منطقه بطور ناگهانی افزایش می‌یابد و این

¹ در ماههای ژانویه و فوریه درجه حرارت منفی بوده و منفی بودن PE مفهوم خاصی را از نظر خشکسالی توجیه نمیکند.

فصلنامه علمی پژوهشی مدلسازی اقتصادی شماره پنجم دانشگاه آزاد اسلامی واحد فیروزکوه

نیازمندی در نهایت بیشتر از میزان عرضه آب توسط نزولات آسمانی می‌گردد، بگونه‌ای که این میزان نزولات و عرضه آب دیگر قادر نخواهد بود که میزان نیاز آب را تأمین نموده و به میزان $48/9$ - میلی‌متر در ماه آوریل (میلی‌متر $48/9 - PE = P$) می‌رسد. مقداری از این نیاز طبیعی به آب، مقدار آب ذخیره شده در سطح خاک (میلی‌متر $\Delta St = 44$ تغییر در ذخیره خاک) می‌باشد که در نهایت میزان $4/9$ میلی‌متر ($48/9 - 44 = 4/9$) آن توسط عرضه نزولات آسمانی تأمین نشده و یا در خاک ذخیره نمی‌گردد. این مقدار آب مورد نیاز کمبود آب در این ماه را نشان می‌دهد. در ماه ژوئن نیز $108/7$ میلی‌متر از آب مورد نیاز توسط مقدار بارش آسمانی تأمین نخواهد شد. از آنجائیکه مقدار آب موجود در خاک کاسته شده و خاک خشک‌تر و تشنه‌تر می‌شود، مقدار آب به میزان 27 میلی‌متر کمتر از آب مورد نیاز در خاک می‌باشد که این میزان آب از سطح بالائی و روی خاک کاسته شده تا عرضه آب مورد نیاز را تأمین نماید میزان کمبود آب در این ماه معادل $81/7$ میلی‌متر خواهد بود.

مقدار AE یا میزان واقعی و طبیعی آب از دست رفته، زمانیکه میزان بارندگی بیشتر از PE باشد، معادل AE خواهد بود. در حقیقت AE میزان تمامی آبی است که بطور طبیعی خاک و گیاهان منطقه به آن نیاز دارند، که از دست رفته باشد. در حالیکه متوسط PE در فیروزکوه معادل $608/8$ میلی‌متر در سال می‌باشد، مقدار طبیعی آب از دست رفته یا تبخیر و تعریق فقط معادل $260/5$ میلی‌متر در سال می‌باشد. که در نتیجه مقدار کمبود آب معادل $348/3$ میلی‌متر می‌باشد. در واقع فقط مقدار $348/3$ میلی‌متر آن از طریق تبخیر و تعریق را از دست می‌دهد و مازاد سالیانه آب باید معادل $18/9$ میلی‌متر باشد.

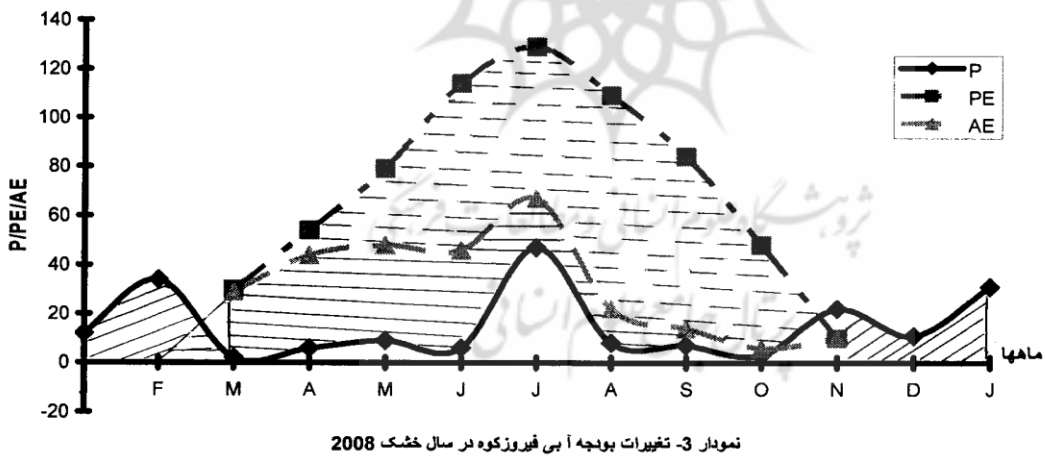
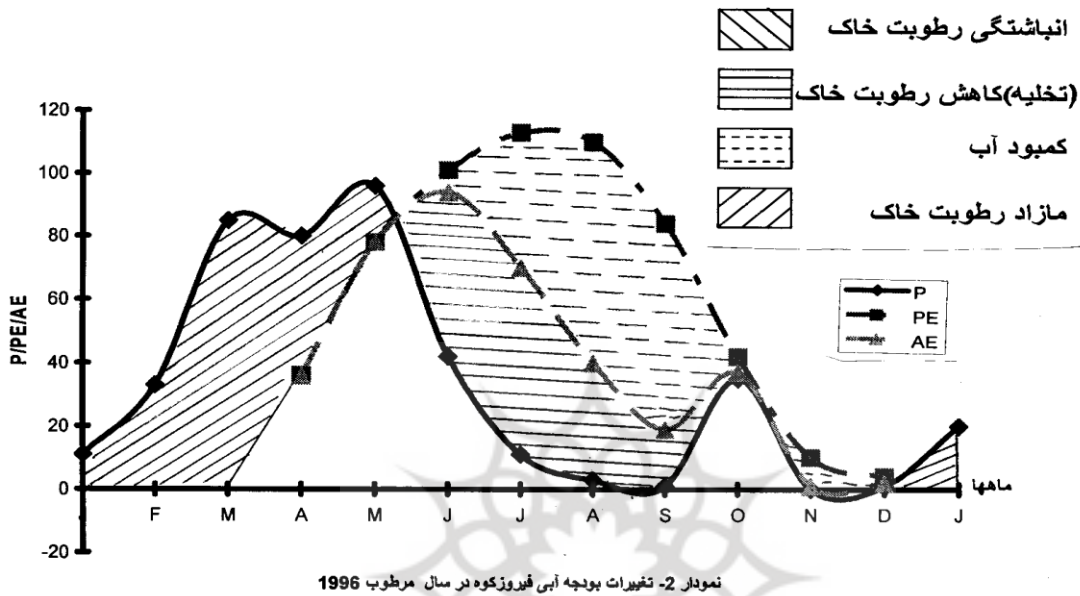
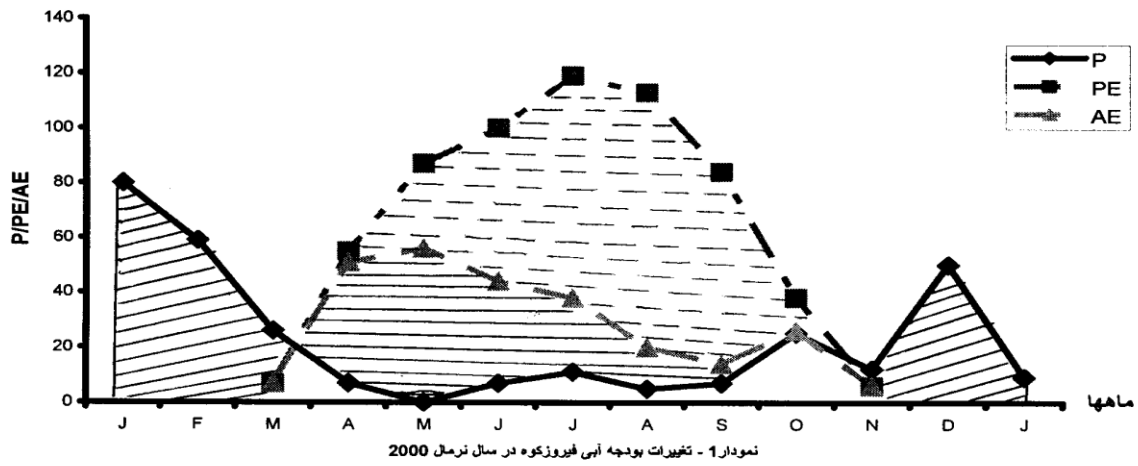
همچنین می‌توان نشان داد که در سال 2000 در فیروزکوه $I_h = 3/2$ و $I_a = 57/2$ و $-31/2 = I_m$ درصد می‌باشد که به منظور تشخیص نوع خشکسالی بکار می‌رود که از نوع حاد خواهد بود. به همین ترتیب با محاسبه و مقایسه بودجه آبی سالهای مختلف در فیروزکوه این نتیجه حاصل می‌شود که طی سالهای 1994 تا 2008 بیشترین مازاد آب مربوط به سال 1999 می‌باشد که معادل $127/7$ میلی‌متر در سال و کمترین میزان مازاد آب مربوط به سال 2008 می‌باشد که معادل صفر میلی‌متر بوده است. در حالیکه بیشترین نزولات آسمانی مربوط به سال 1996 با $398/2$ میلی‌متر و کمترین میزان بارندگی مربوط به سال 2008 معادل $166/6$ میلی‌متر خواهد بود. همچنین بیشترین میزان کمبود آب مربوط به سال 2008 معادل $37/8$ میلی‌متر و کمترین میزان کمبود آب مربوط به سال 1996 میلادی معادل $200/7$ میلی‌متر بوده است.

نمودارهای 1 الی 3 بودجه آبی را به ترتیب برای سالهای نرمال (2000)، مرطوبترین سال (1996) و خشک‌ترین سال (2008) را براساس سه پارامتر PE و AE نشان می‌دهد. این نمودارها بودجه آبی در ماههای مختلف برای فیروزکوه که با کمبود و یا مازاد آب روبرو

فصلنامه علمی پژوهشی مدلسازی اقتصادی شماره پنجم دانشگاه آزاد اسلامی واحد فیروزکوه می شود را نشان میدهد. چنانکه مشاهده گردد، مَثلاً در سال ۲۰۰۰ در فاصله ماههای مارس تا نوامبر بعلت پائین بودن نزولات آسمانی و بالا بودن PE و AE کمبود آب معادل ۳/۳۴۸ میلی متر را در این منطقه و برای این سال ایجاد می کند و در این دوره تخلیه رطوبت خاک در ماه می به اوج خود می رسد. سال ۲۰۰۸ که بعنوان کم باران ترین و یا خشک ترین سال در نظر گرفته شده است، هیچگونه مازاد آب ایجاد نشده در مرطوب ترین (۱۹۹۶) در فاصله ماههای ژانویه تا می معادل ۶۱/۲ میلی متر مازاد آب ایجاد گردد و از ماه می به بعد به شدت از نزولات آسمانی کاسته شده و در ماه سپتامبر به حداقل (۰/۶ میلی متر) خود می رسد و لوآنکه در ماه نوامبر این میزان بارندگی به صفر نیز خواهد رسید. در عین حال در همین سال (۱۹۹۶) در فاصله زمانی می تا سپتامبر خاک منطقه تشنه تر و تخلیه رطوبت خاک انجام گرفته و منطقه به میزان ۲۰۰/۷ میلی متر مواجه با کمبود آب می گردد که مربوط به ماههای ژوئن تا اکتبر می باشد.

توجه به این نمودارها کشاورزان را قادر می سازد تا اطلاعات لازم در مورد میزان کمبود آب در ماههای مختلف هر سال را در اختیار داشته تا دوره کاشت و داشت و برداشت محصولات کشاورزی را با این دوره ها هماهنگ ساخته و از وقوع پدیده ریسک و عدم اطمینان جلوگیری بعمل آید.





به کمک مراحل بودجه آبی می توان اطلاعات لازم را جهت تعیین شاخص خشکی در هر منطقه دست یافت. داشتن اطلاعات لازم در مورد شدت و یا نوسانات خشکسالی و مدت

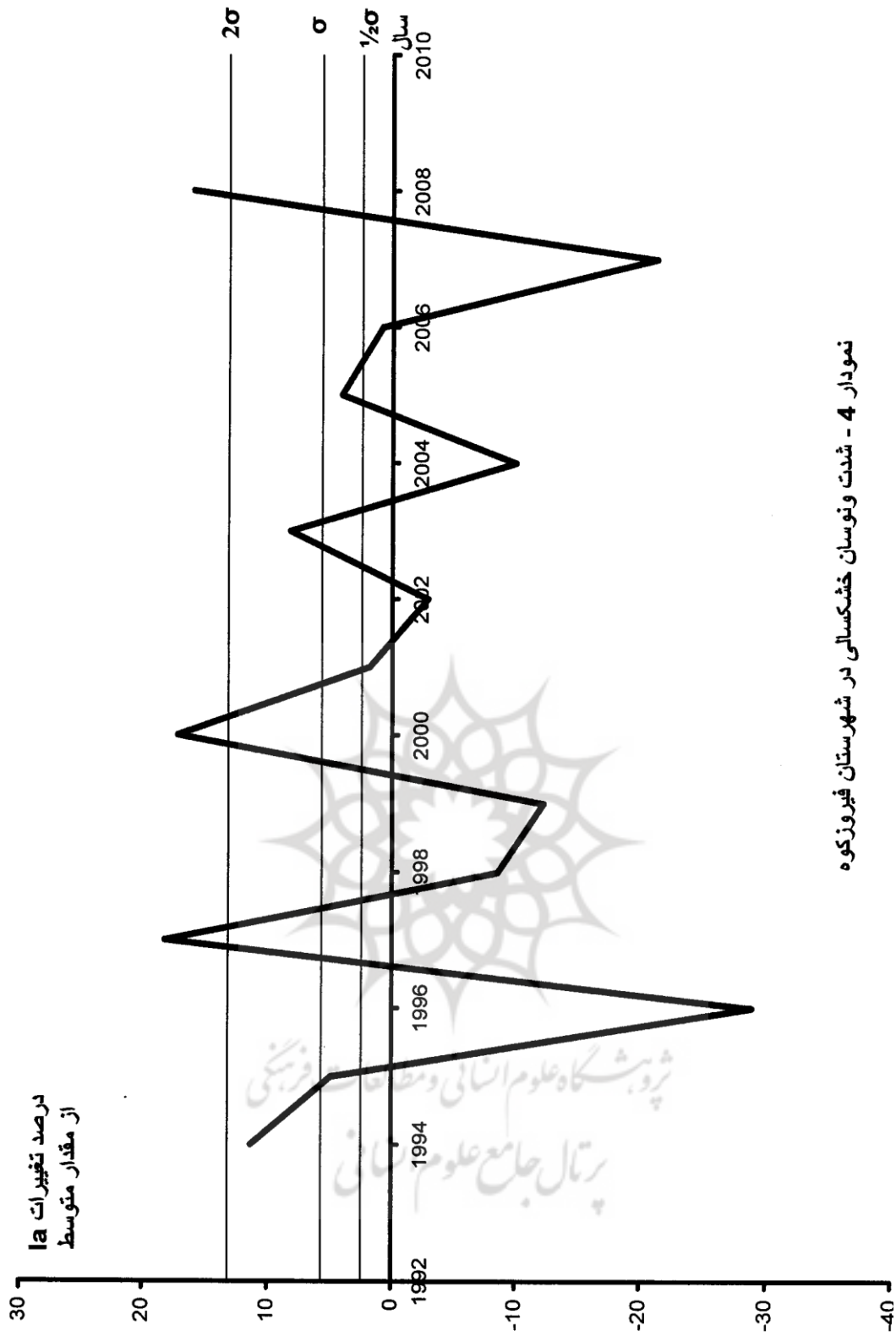
فصلنامه علمی پژوهشی مدل‌سازی اقتصادی شماره پنجم دانشگاه آزاد اسلامی واحد فیروزکوه
 وقوع و یا میزان صدمه‌ای که ایجاد می‌کند، در برنامه‌ریزی‌های اقتصاد کشاورزی و
 هیدرولوژیکی از اهمیت زیادی برخوردار است.

سوبرمنیم (۱۹۸۲) معتقد است که نوسانات و یا شدت وقوع خشکسالی نه تنها به میزان کل
 نزولات آسمانی و فعل و انفعالات تبخیر و تعریق هر منطقه بستگی دارد، بلکه دامنه توزیع
 فصلی پارامتر اولی یعنی، P از اینکه چه میزان قادر است دومی یعنی پارامتر PE را تأمین
 نماید نیز از اهمیت زیادی برخوردار است. به منظور تحلیل واقعی تر نوسانات و شدت وقوع
 پدیده خشکسالی در ایستگاه فیروزکوه با استفاده از نتایج حاصل از پارامترهای توازن بودجه
 آبی دامنه جدول ۲، تعیین شدت وقوع و نوسانات پدیده خشکسالی براساس شاخص
 خشکسالی I_a در نظر گرفته شده است.

جدول ۲: طبقه‌بندی شدت خشکسالی

شدت خشکسالی	انحراف I_a از میانگین
ملایم	کمتر از $\frac{1}{2} \sigma$
سخت	$\frac{1}{2} \sigma - \sigma$
شدید	$\sigma - 2\sigma$
حاد	بیشتر از 2σ

در این جدول I_a شاخص خشکی که به روش تورنت ویت و پارامترهای موازنه آبی تعیین
 می‌گردد. این شاخص عبارتست از نسبت کمبودسالیانه رطوبت به آب مورد نیاز سالیانه
 می‌باشد، σ نیز عبارتست از انحراف معیار شاخص خشکی طی دوره مورد مطالعه خواهد بود.
 در این مقاله با استفاده از معیار انحراف معیار سالیانه شاخص خشکی در مقایسه با میانگین
 متوسط آن چهره واقعی وقوع پدیده خشکسالی در منطقه را در اندازه و شدت‌های متفاوت
 بین سالهای ۲۰۰۹-۱۹۹۴ میلادی را برای منطقه فیروزکوه نشان می‌دهد.
 نتیجه مطالعه به کمک نمودار ۴ نشان داده شده است.



نمودار 4 - شدت و نوسان خشکسالی در شهرستان فیروزکوه

جدول ۳: فراوانی و شدت وقوع خشکسالی در هر دوره (۵ ساله)، فیروزکوه

حادثه	شدید	سخت	ملايم	نوع خشکسالی / دوره
۱ (۱۹۹۷)	۱ (۱۹۹۴)	۱ (۱۹۹۵)	—	۱۹۹۴-۹۸
۱ (۲۰۰۰)	۱ (۲۰۰۳)	—	۱ (۲۰۰۱)	۱۹۹۹-۲۰۰۲
۱ (۲۰۰۸)	—	۱ (۲۰۰۵)	۱ (۲۰۰۶)	۲۰۰۴-۲۰۰۸

منبع: یافته محقق

نمودار ۴ نشان می‌دهد در ایستگاه فیروزکوه با متوسط شاخص خشکسالی $I_a=48/8$ درصد و انحراف معیار $\sigma=6/6$ روبرو می‌باشد و طی دوره مورد مطالعه (۱۵ ساله) با ۹ خشکسالی متفاوت روبرو شده است که از نظر شدت دو مورد ملايم، دو مورد سخت، دو مورد شدید و سه مورد حاد بوده است. تراکم این نوع پدیده خشکسالی این منطقه را تبدیل به منطقه نیمه خشک تبدیل نموده است. سال ۱۹۹۶ که پر باران‌ترین سال طی دوره مطالعه می‌باشد، به خاطر تقاضای شدید آب با خشکسالی ملايم روبرو گردیده و این میزان بارندگی تمامی تقاضای آب در این منطقه را تأمین ننموده و باعث شده است که سال بعد یعنی سال ۱۹۹۷ این منطقه با خشکسالی حاد روبرو گردد. حادترین نوع خشکسالی نیز مربوط به سال ۱۹۹۷ می‌باشد که شاخص خشکی آن $I_a=18/2$ درصد بوده و کمترین شاخص خشکی مربوط به سال ۱۹۹۶ می‌باشد که معادل $I_a = -28/9$ درصد بوده است.

در جدول ۳ تعداد دفعات خشکسالی و شدت آن در دوره‌های ۵ ساله طی ۱۵ سال متوالی نشان می‌دهد. چنانکه مشاهده می‌گردد، فیروزکوه در هر ۵ سال یک بار مورد اصابت خشکسالی حاد قرار گرفته است و یا احتمال وقوع این پدیده در این منطقه ۰/۲ برای هر ۵ سال با شدت‌های مختلف خواهد بود. با توجه به وقوع خشکسالی حاد در سال ۲۰۰۸ می‌توان پیش‌بینی نمود که این منطقه در سال ۲۰۰۹ میلادی (۱۳۸۸ شمسی) احتمالاً "مواجه با وقوع خشکسالی با شدت ملايم خواهد بود.

۵- نتیجه‌گیری

طول دوره و ادامه پدیده خشکسالی از نظر شدت و یا نوسانات آن بطور انفرادی توأمأ در نهایت تأثیر کمبود آب را بر شرایط اقتصادی و اجتماعی هر منطقه را نشان می‌دهد. طی دوره

فصلنامه علمی پژوهشی مدلسازی اقتصادی شماره پنجم دانشگاه آزاد اسلامی واحد فیروزکوه
۱۵ساله (۲۰۰۸-۱۹۹۴) منطقه فیروزکوه، در هر ۵ سال مواجه با پدیده خشکسالی حاد می‌گردد
و علت وقوع این پدیده توزیع نامناسب نزولات آسمانی و بالا بودن نسبی PE در این منطقه
می‌باشد. نمودارهای تغییرات بودجه آبی نشان می‌دهد که این منطقه در دامنه ماههای می تا
اکتبر و یا در فاصله ماههای اردیبهشت تا شهریور مواجه با کمبود آب می‌گردد که این فاصله
زمانی را می‌توان به فعالیت کشاورزی دیم مطابقت داد و یا در دوره‌ای که میزان نزولات
وجود دارد اقدام به ذخیره آب نمود تا در دوره کم‌آبی از آبهای ذخیره شده استفاده نمود.
بنابراین به کمک مراحل بودجه آبی هر منطقه می‌توان نوع فعالیت کشاورزی با دوره کم‌آبی
هم‌آهنگ نمود تا میزان تولید و عملکرد محصولات کشاورزی دچار آسیب‌های جدی نشود. در
عین حال با وجود آنکه منطقه فیروزکوه یک منطقه نیمه خشک طبقه‌بندی می‌شود (با توجه
به شاخص‌های موجود در پروسه بودجه آبی تورنت ویت) ولی امکان تخمین پدیده خشکسالی
از نظر شدت و دوره قابل پیش‌بینی خواهد بود.



پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
رتال جامع علوم انسانی

منابع و مأخذ

- Abounoori, A.A. 1988 "Agricultural Development in Drought-Prone Areas of Iran, Ph.D. Thesis Sub.S.V. Univ. in India.
- Bates, C.G. 1935, Possibilities of Shelter-belt planting in the Plains region, pp.201, U.S. Forest Service.
- Gaussen, H. 1955, Theorie et classification des climates. et de microclimates VIII, Congr. Int. Bot. Paris, Section 7 et 8. pp.125-30.

- فصلنامه علمی پژوهشی مدل‌سازی اقتصادی شماره پنجم دانشگاه آزاد اسلامی واحد فیروزکوه
- *Government of India, 1976, Report of the National Commission on Agriculture, Vol. V, p. 35.*
 - *Habilbolha, Salami, Naser Shahnooshi, Kenneth J. Thomson, 2009, The economic impacts of drought on the economy of Iran: Ecological Economics, pp. 1032-1039.*
 - *Hershfield, D.M., Braken Siek, D.L., Comer, G.H. 1972. "Some Measures of Agricultural Drought", in "Floods and Droughts", Proc. of the 2nd Inter. Symp. In "Hydrology" (eds.). E.F.Schlitz, V.A.Koelzer, and K. Mahmood, Fort Colling, Colorado, U.S.A., pp.491-502.*
 - *Iran Meteorological Organization, 2009.*
 - *Met. off., London, 1936, British Rainfall 1935, Air Ministry, London.*
 - *Michael Mc Kernan, 2003, Drought, Conference paper view.*
 - *Naganna, C. 1979, "Delimiting Drought-Prone Areas in Karnataka and the Mitigation Strategy", in Hydrological Aspects of, Droughts, Intern. Symp. vol. 1, IIT, New Delhi, India, pp. 486-490.*
 - *Office for coordination of Humanitarian Affairs (OCHA), 2000, United Nations Technical Mission on the Drought Situation in the Islamic Republic of Iran. (http://www.reliefweb.int/ochaunep/edr/Iran_drought.pdp).*
 - *Palmer, W.C. 1956, Drought in Western Kansas, Weekly Weather and Crop Bull, U.S., W.B. Vol.63, No. 4, pp. 7-80.*
 - *Palmer, W.C. 1965, Meteorological droughts, Weather Bureau Research Paper No. 45, U.S. Dept. of Commerce, Washington. D.C. Bur. p. 58.*
 - *Penman, H.L. 1963, Vegetation and Hydrolog, Commonwealth, Bur, Soil. Sci., (Gt. Brit) Tech., 53. P. 124*
 - *Subrahmanyam, V.P. 1982, Water Balance and its Applications, Andhra Univ. Inida.*
 - *Subrahmanyam, V.P., and Subramanien, A.R., 1964, Application of Water-Balance Concepts for a climatic study of Drought in South India", Ind. J. Met. and Geophys. vol. 15, No.3, pp. 393-402.*

فصلنامه علمی پژوهشی مدل‌سازی اقتصادی شماره پنجم دانشگاه آزاد اسلامی واحد فیروزکوه

- *Thornthwaite, C.W. 1948, "An Approach Towards a Rational Classification of Climate", Geographical Review, Vol. 38, pp. 55-94.*
- *Thornthwaite, C.W. and Mather 1955, 1957, The Water Balance , Publications in Climatology, Vol. 8, No. 1, 1955, Drexel Institute of Technology, Laboratory of Climatology , Centerton, N.J. 104.pp, and Vol. 10, No.3.*
- *Wilhite, D.A. 2005, Drought Water Crises, Tayler and Francis Group, CRC Press, pp. 431.*