

ارزیابی پدیده خشکسالی کشاورزی شهر شیراز به روش تورنت ویت

عباسعلی ابونوری^۱

چکیده

پیش بینی زمان وقوع و برآورد شدت و نوسانات وقوع خشکسالی در جلوگیری از اصابت ها و تخریب‌های اقتصادی و اجتماعی از اهمیت زیادی برخوردار است. این تحقیق تلاش می‌کند تا با استفاده از روش بودجه آبی تورنت ویت، وضعیت تعادل آبی ایستگاه سینوپتیک شیراز را برای مدت ۵۸ سال (۲۰۰۹-۱۹۵۱ میلادی و یا ۱۳۸۷-۱۳۳۰ شمسی) متوالی را بررسی نموده و با برآورد تعداد دفعات وقوع پدیده خشکسالی، شدت آنها را نیز اندازه‌گیری کند. روش بودجه آبی تورنت-ویت با استفاده از پارامترهای متعدد عوامل طبیعی مانند درجه حرارت، سرعت باد، درخشش و تابش خورشید، بافت و ساختار و یا چگالی خاک در ذخیره سازی آب، رطوبت خاک، تبخیر و تعرق، دوره رشد گیاهان و عمق ریشه آنها و سابقه و پیشینه بارندگی منطقه به منظور برآورد پدیده خشکسالی بکار گرفته شده است. با بکارگیری این روش نشان داده شده است که در هر دوره میزان کمبود و یا مازاد آب درچه ماههائی از سال وجود داشته و با تعیین شاخص خشکی و انحراف معیار آن از میانگین متوسط، مشخص شده است که ایستگاه شیراز در هر ده سال حداقل ۳ بار مواجه با پدیده خشکسالی گردیده و از سال ۲۰۰۰ میلادی به بعد بر تعداد دفعات وقوع آن افزوده شده است، به گونه‌ای که این منطقه از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۹ میلادی ۳۵ بار تحت تأثیر این پدیده قرار گرفته است که تعداد ۵ بار مورد اصابت خشکسالی حاد و حادثترین آن مربوط به سال ۲۰۰۱ بوده و سال ۲۰۰۸ نیز این پدیده با شدت کمتر مجدداً تکرار شده است.

واژه های کلیدی: برنامه خشکسالی، تبخیر و تعرق بالقوه و بالفعل سازگار و ناسازگار، موازنه آبی، شاخص رطوبت، روش تورنت ویت، Q_{57} ، Q_{54} ، Q_{51}

بیان مسأله:

خشکسالی پدیده‌ای طبیعی و مستمر اقلیمی است که بطور معمول در تمامی مناطق دنیا رخ می‌دهد ولی ویژگی‌ها، نوع و شدت آنها از یک منطقه با منطقه دیگر متفاوت است. پدیده خشکی مربوط به مناطق کم باران و کویری است ولی پدیده خشکسالی در مناطق مربوط و نیمه مرطوب و یا نیمه خشک رخ می‌دهد که در این صورت یک بلائی طبیعی تلقی می‌شود که در نتیجه آن میزان بارندگی کاهش یافته ولی درجه حرارت و شدت تبخیر و تعرق در رطوبت خاک و هوا افزایش می‌یابد. (Abounoori)

از نظر هواشناسی خشکسالی عبارت از کاهش شدید میزان بارندگی و یا نزولات آسمانی در یک دوره زمانی نسبتاً زیاد است. این پدیده از نظر موقعیت جغرافیائی و شرایط جوی از منطقه‌ای به منطقه دیگر و از یک فصل به فصل دیگر متفاوت است. سازمان هواشناسی بریتانیا (۱۹۳۶) معتقد است که خشکسالی مطلق عبارت است از یک دوره زمانی مستمر ۱۵ روزه که میزان بارندگی آن در هیچ یک از این روزها بیشتر از یکصدم اینچ نشود. «هولمز»^۱ معتقد است از نظر کشاورزان پدیده خشکسالی باعث کاهش رطوبت خاک و هوا گردیده و باعث می‌شود که میزان تولیدات و عملکرد و کیفیت محصولات کشاورزی کاهش یابد. اصولاً بخش کشاورزی بدلیل وابستگی شدید به ذخیره رطوبت خاک اولین بخشی خواهد بود که متأثر از پدیده خشکسالی می‌گردد. با استمرار پدیده خشکی طی دوره‌های متوالی؛ چنانچه کمبود بارش ادامه یابد، رطوبت خاک به سرعت تخلیه شده و اتکاء مردم به سایر منابع آبی نظیر مخازن و دریاچه‌ها، چشمه‌سارها و مخازن آبهای زیرزمینی به شدت افزایش یافته تا این کمبود آب را جبران نمایند. با توجه به اینکه پدیده خشکسالی یک پدیده اقتصادی و اجتماعی نیز می‌باشد، وقوع این پدیده باعث قحطی، گرسنگی، سوء تغذیه انسانها و جانوران، افزایش آفت‌ها و بیماریها، افزایش مهاجرت‌ها، (انسانها، جانوران)، کاهش رفاه، سطح بهداشت عمومی، افزایش آسیب‌های اجتماعی، تخریب سکونتگاهها و مخازن آبهای زیرزمینی و صنایعی که به آب نیروگاههای آبی وابسته می‌باشند، می‌گردد.

«شانتز»^۲ در یک نظر کلی معتقد است که پدیده خشکسالی به میزان رطوبت موجود در خاک و هوای منطقه بستگی دارد. این پدیده زمانی آغاز می‌گردد که رطوبت خاک تا آن اندازه کاهش یابد که گیاهان و نباتاتی که در مرحله رشد بیشتر از حد نرمال و طبیعی آب مورد نیاز خود را از دست می‌دهند، نتوانند مجدداً از طریق هوا و میزان بارندگی جذب نمایند. به همین دلیل پدیده خشکسالی فقط به شرایطی اطلاق نمی‌شود که میزان بارندگی متوقف شود، بلکه به شرایطی اطلاق می‌شود که ریشه گیاهان دیگر قادر نباشند آب مورد نیاز خود را از طریق رطوبت خاک جذب نمایند. «تنهیل»^۳ چنین نتیجه می‌گیرد که خشکسالی و ترسالی یا طغیان آب دوروی یک سکه می‌باشند که در دو حد نهائی شرایط آب و هوایی قرار می‌گیرند. همچنان- که پدیده خشکسالی یک شرایط حدی بحرانی نوسانات کم آبی را بوجود می‌آورد، در مقابل ترسالی و یا طغیان آب نیز حد دیگر بحران پر آبی را در منطقه ایجاد می‌کند. در همین زمینه «سوبرمینیوم»^۴ معتقد است که پدیده خشکسالی یک تهدید واقعی بر تولیدات محصولات کشاورزی و غذائی انسانها محسوب می‌شود. وی معتقد است که خشکسالی یک پدیده پیچیده می‌باشد که شدت آن به میزان نزولات آسمانی، زمان و توزیع مکانی آن، شدت تبخیر رطوبت نزولات در هوا و خاک و سایر عوامل آبی و هیدرولوژیکی بستگی دارد. در عین حال «تورنت ویت»^۵ می‌گوید: که قطع متناوب میزان بارندگی و یا قطع کامل آن در یک دوره خاص نشان دهنده خشکسالی نیست. وی اظهار می‌دارد که پدیده خشکسالی به دوره‌ای از خشکی و یا نیازمندی به بارندگی و کمبود آب اطلاق می‌شود، بخصوص اینکه اینگونه خشکی از نظر آب و هوایی آنقدر شدید باشد که مانع رشد نباتات و گیاهان زراعی بر روی خاک گردد. به بیان دیگر پدیده خشکسالی به شرایطی اطلاق می‌شود که میزان آب مورد نیاز برای نفوذ در خاک و یا تبخیر مستقیم توسط خاک از مقدار آب موجود در آن بیشتر باشد. پدیده خشکسالی زمانی بر

۱ . Holmes

۲ . Shantz

۳ . Tannehill

۴ . Subrahmanyam

۵ . Thornthwaite

اوضاع مسلط می‌شود که میزان نزولات آسمانی آن قدر کافی نباشد تا از نظر بیولوژیکی و فیزیولوژیکی بر شرایط عادی زندگی انسانها و سایر جانداران و جانوران آسیب برساند.

«هوشکی»^۱ نشان داده است که پدیده خشکسالی یک وضعیت غیر نرمال آب و هوایی را بوجود می‌آورد، دوره‌ای در آن حد طولانی که کمبود آب در این مدت بطور جدی توازن طبیعی آبی در منطقه را برهم زده و باعث نابودی محصولات کشاورزی و کاهش ذخایر منابع آبی و غیره گردد. بالاخره «هویت»^۲ نیز می‌گوید: زمانیکه مقدار تقاضای آب شیرین در قلمرو یک منطقه در حال توسعه بیشتر از مقدار نرمال موجود گردد، پدیده خشکسالی آغاز می‌گردد. با استناد به این نظریه در دو منطقه که از نظر شرایط اقلیمی و آب و هوایی کاملاً مشابه یکدیگرند، اگر با کمبود آب مواجه شوند، ممکن است یک منطقه به علت عدم وجود امکانات پیشرفته آبیاری و آبرسانی قادر نباشد با پدیده کم آبی مقابله نموده و مواجه با خسارتهای جبران ناپذیر گردد، ولی منطقه‌ای دیگر از امکانات پیشرفته اقتصادی و آبیاری برخوردار باشد قادر خواهد بود که از هر قطره آب موجود در منطقه استفاده بهینه نموده و از خسارتهای حاصل از این کم آبی و یا خشکسالی مقابله نماید. بنابراین، از نظر کلی مقابله با پدیده خشکسالی علاوه بر اینکه به شرایط اقتصادی هر منطقه بلکه به امکانات موجود در بهینه‌یابی بکارگیری منابع آبی نیز بستگی دارد.

این تحقیق تلاش می‌کند به کمک روش «تورنت ویت» با محاسبه موازنه و یا بودجه آبی منطقه شیراز بر اساس شرایط عرضه و تقاضای آب تعداد دفعات و شدت پدیده خشکسالی را مورد بررسی قرار دهد.

هدف این تحقیق نحوه بکارگیری روش بودجه آبی تورنت ویت به منظور تجزیه و تحلیل عرضه و تقاضای طبیعی و واقعی آبی هر منطقه و اندازه‌گیری شدت و نوسانات پدیده خشکسالی در ایستگاه سینوپتیک شیراز است. بطور مسلم تعادل آبی هر منطقه بر رطوبت خاک و هوای منطقه تأثیر گذارده و بر تولیدات و عملکرد محصولات کشاورزی، گیاهان و سایر جانوران منطقه نیز تأثیر می‌گذارد. البته هدف این تحقیق تنها معرفی روش بکارگیری «موازنه آبی تورنت ویت» می‌باشد که می‌توان برای سایر ایستگاههای سینوپتیک هر منطقه بکار برد.

در نهایت این تحقیق تلاش می‌کند علاوه بر تشریح نحوه بکارگیری روش بودجه آبی به سئوالی مبنی بر اینکه آیا با پارامترهای موجود می‌توان وقوع پدیده خشکسالی در هر منطقه را برآورد نمود، پاسخ داده و شدت و حدت آنرا اندازه‌گیری کرد؟ فرضیه این تحقیق نیز در پی آن است که توضیح دهد: «شدت وحدت وقوع پدیده خشکسالی در منطقه شیراز در حال افزایش است».

روش تحقیق:

در این تحقیق تلاش گردیده است با استفاده از پارامترهای مراحل محاسباتی بودجه آبی شدت و نوسانات وقوع پدیده خشکسالی در ایستگاه منتخب شیراز بررسی شود. یکی از مهمترین پارامترهای حاصل از بکارگیری این روش، شاخص خشکی (I₃) می‌باشد که توسط تورنت ویت معرفی شده و بعدها توسط «سوبرمنییم و سوبرا منین»^۳ اصلاح شده که در این تحقیق نیز از این روش اصلاح شده استفاده شده است. آمارهای مورد نیاز از منابع اولیه و ثانویه موجود در بولتن‌های دولتی سازمان هواشناسی کل کشور استخراج شده است. در این بولتن‌ها تنها پارامترهای متوسط بارندگی ماهیانه و درجه حرارت برای سالهای ۲۰۰۹-۱۹۵۱ میلادی انتخاب شده و سایر محاسبات عددی توسط محقق انجام شده است.

به منظور دستیابی اهداف تحقیق لازم است روشهای متعدد موجود مورد آزمون قرار گرفته تا منطقی‌ترین و مطمئن‌ترین روش انتخاب گردد. شاید تا کنون روشی منظم و سیستماتیک برای شناسایی و تشخیص پدیده خشکسالی در کشور بکار گرفته نشده باشد؛ ولی تا کنون مهمترین روشهای شناخته شده روش تورنت ویت (Thornthwaite)، پن من (Penman)، پالمر (Palmer) و دیگران (Naganna) باشد.

۱ . Huschke

۲ . Hoyt

۳ . Subrahmanyam and Subramanian

روش آماری:

در این روش از اطلاعات و آمارهای موجود میزان بارندگی در یک دوره خاص (ماه، فصل و یا سال) استفاده می‌شود. زیرا مهمترین منبع تأمین آب در تحلیل پدیده خشکسالی میزان نزولات آسمانی در دوره مورد نظر می‌باشد. اصولاً در این روش انحراف از معیار از میانگین میزان بارندگی با توجه به ده دوره متوالی کمترین میزان بارندگی مورد استفاده قرار می‌گیرد تا معیار کمی وقوع این پدیده اندازه‌گیری شود.

روش غیر آماری:

در این روش علاوه بر پارامتر میزان بارندگی، درجه حرارت، میزان رطوبت در منطقه نیز به کار گرفته می‌شود. البته به کمک تکنیکهای غیر آماری نیز می‌توان به روش کمی پدیده خشکسالی را اندازه‌گیری نمود. در ارتباط با کارگیری این تکنیک، «بگنوس و گاسن»^۱ معتقدند که یک ماه خشک زمانی است که متوسط میزان بارندگی (P) کمتر از دو برابر متوسط درجه حرارت در آن ماه می‌باشد؛ یعنی، خشکسالی زمانی رخ می‌دهد که $P < 2T$ باشد؛ جاییکه P برحسب میلی متر و T برحسب سانتی گراد است.

روش موازنه (بودجه) آبی:

در این روش علاوه بر پارامترهای روش آماری و غیر آماری؛ از پارامترهای مقدار آب موجود در خاک و هوا نیز استفاده می‌شود، که توسط «تورنت ویت و دیگران» بکار گرفته شده است. این روش نسبت به دو روش دیگر از پارامترهای استفاده شده است که در تحلیل پدیده خشکسالی کشاورزی از کاربرد بیشتری برخوردار است. طبق نظریه موازنه آبی، پدیده خشکسالی زمانی رخ می‌دهد که میزان آب مورد نیازی که از بارندگی و رطوبت خاک حاصل می‌گردد، بیشتر از مقدار آبی باشد که از طریق نزولات آسمانی و شدت تبخیر آن را تأمین می‌کند. بنابراین در تحلیل موازنه آبی شاخص رطوبت خاک نسبت به پارامترهای دیگر از اهمیت بیشتری برخوردار است. «تورنت ویت» معتقد است: رطوبت خاک در منطقه در حیات گیاهان و نباتات از اهمیت زیادی برخوردار است. زیرا تنها توقف کامل بارندگی در یک منطقه نمی‌تواند مستقیماً نشانه وقوع پدیده خشکسالی در هر منطقه باشد. به بیان دیگر تولیدات کشاورزی در هر منطقه کاملاً به پوشش موازنه آبی که به عرضه آب (نزولات آسمانی) و تقاضای آب (تبخیر و رطوبت) بستگی دارد. اساس بکارگیری روش موازنه آبی وابسته به زمان و یا مناطقی می‌شود که میزان بارندگی بیشتر از شدت تبخیر بالقوه باشد و مازاد رطوبتی که توسط خاک جذب می‌شود بیشتر از ظرفیت خاک بوده و مابقی به صورت آب جاری جریان می‌یابد، و زمانیکه مقدار بارندگی کمتر از شدت تبخیر بالقوه باشد، خاک قسمتی از رطوبت خود را که قبلاً جذب نموده است را از دست می‌دهد. معمولاً خاکهای رسی و رسوبی برای مدتی طولانی تر رطوبت خود را نگه می‌دارند ولی خاکهای شنی قدرت کمتری در نگه‌داری آب و رطوبت دارند. بنابراین، گیاهانی که در خاکهای رسی کاشته می‌شوند، در مواجهه با پدیده خشکسالی مقاوم تر بوده ولی گیاهانی که در خاکهای شنی کاشته می‌شوند، نیاز بیشتری به آبیاری و یا بارندگی دارند.

«پالمر»^۲ نیز در تحلیل پدیده خشکسالی به روش بودجه آبی هر منطقه از تغییرات رطوبت خاک و تبخیر و تعرق استفاده نموده است. در هر حال وی در سال ۱۹۶۸ م. نیز شاخصی را طراحی نموده است که یک روش کمی در تعیین شدت خشکسالی کشاورزی بوده است. این شاخص ترکیبی از میزان بارندگی و سایر پارامترهای اقلیمی بوده است.

مهمترین متغیرها و پارامترهای بکارگرفته شده در این تحقیق به منظور استفاده از روش بودجه آبی عبارتست از: میزان نزولات آسمانی، تبخیر و تعرق بالقوه و بالفعل سازگار و ناسازگار، رطوبت خاک، ذخیره مخازن خاک و یا حداکثر میزان آب قابل ذخیره شدن در خاک منطقه شیراز از نظر فیزیولوژیکی و یا ساختار خاک و غیره می‌باشد. با توجه به روشهایی که تاکنون در ارتباط با نحوه پدیده خشکسالی در اختیار می‌باشد، روش «کوپن»^۳ و روش تورنت ویت از نظر کاربردی از عمومیت بیشتری برخوردار است، که در این تحقیق از روش اصلاح شده تورنت ویت استفاده شده است.

۱ . Bagnouls and Gaussen

۲ . Palmer

۳ . Koppen

تورنت ویت در آخرین روش^۱ (۱۹۵۷) با تأکید بر عامل میزان رطوبت در هر منطقه و با تقاضای آب مورد نیاز که آن را فعل و انفعالات تبخیر و تعرق (PE) نامیده است و کاربرد آن در توسعه شاخص رطوبت به منظور طبقه‌بندی شرایط آب و هوایی مورد استفاده قرار داده است. وی با مقایسه آب و هوای مورد نیاز به منظور تأمین تقاضای آب و آب و هوایی که آب مورد نیاز را عرضه می‌کند (میزان نزولات آسمانی، P) در هر ماه و یا هر روز ایجاد توازن آبی شرایط آب و هوایی جهت تجزیه تحلیل اینکه شرایط آب و هوایی باعث ایجاد هوای مرطوب و یا هوای خشک می‌شود اقدام نموده است. تورنت ویت ارتباط نزدیکی را بین میانگین ماهیانه دمای هوا (T) و فعل و انفعالات یا عمل و عکس العمل تبخیر و تعرق بالقوه (PE)^۲ برقرار نموده است. در عین حال که نمی‌توان دقیقاً و بطور کامل مقدار PE را در هر منطقه برآورد نمود، با این در بسیاری از مناطق برای برآورد PE از روش تورنت ویت (۱۹۴۷) استفاده می‌کنند. فرمول عمومی برای تعیین فعل و انفعالات تبخیر و تعرق بالقوه (PE) عبارتست از:

$$PE^* (Cm/month) = 1/6 \left(\frac{10T}{I} \right)^a$$

* PE = فعل و انفعالات تبخیر و تعرق بالقوه ماهیانه ناسازگار به سانتی متر بر پایه ۱۲ ساعت روزانه و ۳۰ روز ماه می باشد که به منظور اصلاح این شاخص، با توجه به طول واقعی روز در ساعت (h) و تعداد روز در ماه (N) به شکل زیر سازگار (PE) می‌شود، یعنی:

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

T = میانگین ماهیانه دمای هوا بر حسب سانتی گراد، °C

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

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

a = یک متغیر اختیاری ثابت است که از یک منطقه به منطقه دیگر متفاوت است و یک رابطه غیر خطی از شاخص حرارت می باشد که بطور تقریبی می توان آنرا به شکل زیر تعیین نمود:

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

بنابراین، معادله تورنت ویت یک رابطه Log-Log بین PE* در مقابل T می باشد که خط مستقیمی است در دامنه زیر ترسیم می شود.

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

این معادله کاملاً از یک ظرافت روابط ریاضی میرا است. این رابطه کاملاً پیچیده و کاربرد آن بدون جدول و منوگرام غیر ممکن است. تورنت ویت به منظور طبقه بندی شرایط آب و هوایی، این روش را اصلاح نموده و روش موازنه آبی را بر اساس انرژی و رطوبت، بکار برده است. در این سیستم انرژی بر اساس معیار PE و رطوبت نیز بر اساس شاخص رطوبت اندازه‌گیری می‌شود در سال ۱۹۵۵ «تورنت ویت و مادر»^۴ روش ۱۹۴۸ تورنت ویت را اصلاح نموده‌اند. تورنت ویت در بکارگیری ابزار موازنه آبی شاخص دیگری را بکار می‌برد تا بتواند منطقی‌تر و مؤثرتر، شرایط آب و هوایی هر منطقه را طبقه بندی نماید، به شرح زیر:

۱ - Thornthwaite , Ibid

۲ - Temperature

۳ - Potential Evapotranspiration=PE

۴ . Thornthwaite and Mather

I_a = شاخص خشکی^۱، عبارتست از درصد نسبت میزان کل کمبود سالیانه آب (WD)^۲ به مقدار کل آب مورد نیاز سالیانه (WN)^۳ از فعل و انفعالات تبخیر بالقوه (PE)، یعنی:

$$I_a = \frac{WD}{WN} \times 100 = \frac{WD}{PE} \times 100$$

I_h = شاخص ترین^۴ عبارتست از درصد نسبت میزان کل ذخیره سالیانه آب (WS)^۵ به مقدار کل آب مورد نیاز سالیانه (WN) از فعل و انفعالات تبخیر بالقوه (PE)، یعنی:

$$I_h = \frac{WS}{WN} \times 100 = \frac{WS}{PE} \times 100$$

I_m = شاخص رطوبت (خالص)^۶، عبارتست از تفاوت بین I_a و I_h به شکل زیر می باشد:

$$I_m = I_h - 0/6I_a$$

شاخص رطوبت تجدید نظر شده یا اصلاح شده تورنت ویت و مادر به شکل زیر می باشد:

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

که در آن:

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

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

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

و یا :

با توجه به این رابطه اگر در هر منطقه P دقیقاً برابر با PE باشد در تمامی مراحل، و شرایط آب و هوایی آب مورد نیاز با آب موجود برابر می باشد که در این صورت نه کمبود و نه مازاد آب وجود داشته و شرایط آب و هوایی نه مرطوب است و نه خشک. در عین حال اگر کمبود آب نسبت به PE بیشتر گردد، شرایط آب و هوایی خشک تر شده و اگر مازاد آب بیشتر گردد، شرایط آب و هوایی مرطوبتر می گردد. با توجه به اینکه مازاد آب و کمبود آب در فصول متفاوت در بسیاری از مناطق رخ می دهد، لازم است هر دوی آنها در تعیین شاخص رطوبت بکار گرفته می شود که یکی از آنها بر شاخص اثر مثبت و دیگری اثر منفی می گذارد.

نظریه تعادل و یا توازن آبی در یک دوره بلند مدت مترادف سیکل هیدرولوژیکی است و پروژه موازنه آبی شرایط مقدار آب موجود را در یک منطقه مورد نظر را در یک دوره معین بر پایه آنالیز ترکیبی توازن نهاده (درآمد یا عرضه)، ستاده (خروجی) بانیاز) و ذخیره (اندوخته) عناصر اقتصاد آب در سیستم فضا- هوا- خاک را مورد بررسی قرار می دهد. در این پروژه پارامترها و ابزارهایی نظیر نزولات آسمانی (P)، فعل و انفعالات تبخیر و تعرق (E) به صورت بالقوه (PE) و بالفعل (AE) مازاد آب (WS)، کمبود آب (WD) در نتیجه تغییر ذخیره آب و آبهای جاری تغییر می کند. به منظور تعیین پروسه موازنه طبیعی آبی لازم

۱ - Aridity Index

۲ - Water Deficit=WD

۳ - Water Need= WN

۴ - Humidity Index

۵ - Water Surplus = WS

۶ - Moisture Index

است متوسط ماهیانه عرضه آب (P) یا نزولات آسمانی و تقاضای طبیعی آب (PE) و یا تبخیر و تعرق بالقوه و میانگین متوسط درجه حرارت رای ایستگاه مورد نظر شیراز گردآوری و محاسبه شده است.^۱

یافته‌های پژوهش:

جدول شماره ۱، مراحل مختلف محاسبه توازن آبی را برای ایستگاه سینوپتیک شیراز برای سال منتخب ۱۹۹۳ م. را نشان می‌دهد.^۲ شیراز در طول و عرض جغرافیائی 36°، 52° و 29°، 32° واقع گردیده و ظرفیت ذخیره سازی آب در این منطقه معادل ۲۰۰ میلی متر در نظر گرفته شده است (Subrahmanyam).^۳

اصولاً عمق خاک ممکن است بین چند میلی متر در سطح خاکهای شنی تا ۴۰۰ میلی متر در خاکهای عمیق رسوبی و رسی تغییر کرده و در خاکهای شنی ممکن است ریشه گیاهان عمیق تر از خاکهای رسوبی و یا رسی باشد که در این صورت نفوذ آب جبران می‌شود. تورنت ویت و مادر با افزایش ظرفیت رطوبتی که در خاک نگهداری می‌شود را از ۱۰۰ میلی متر تا ۴۰۰ میلی متر را به شکل یک رابطه توانی کاهش رطوبت خاک طی دوران خشک آب و هوایی به شکل زیر تعریف می‌کنند:

$$S = F \cdot e^{\frac{A}{F}} \Rightarrow \ln S = F + \frac{A}{F} \Rightarrow \frac{\Delta S}{S} = \frac{\Delta A}{F}$$

که در آن:

S = میزان ظرفیت ذخیره سازی آب F = ظرفیت موجود خاک

A = تمامی آبی که بطور بالقوه که خاک از دست خواهد داد که برابر با PE-P و یا [-(P-PE)] طی دوره های متوالی است.

ΔS = مقدار رطوبت باقیمانده موجود در خاک پس از تبخیر و تعرق ΔA = تغییر در ارزش PE-P برای دوره مورد نظر

جدول ۱، موازنه آبی ایستگاه شیراز برای سال ۱۹۹۳

اقلام	ژانویه J	فوریه F	مارس M	آوریل A	می M	ژوئن J	جولای J	آگوست A	سپتامبر S	اکتبر O	نوامبر N	دسامبر D	سالبانه An
TC°	۵/۶	۸/۲	۱۰/۴	۱۶/۳	۲۲/۱	۲۶/۸	۲۹/۴	۲۸/۷	۲۵/۲	۱۹/۴	۱۴/۳	۱۰/۴	۱۸/۱
i	۱/۱۹	۲/۱۲	۳/۰۳	۵/۹۸	۹/۴۹	۱۲/۷۰	۱۴/۶۲	۱۴/۰۹	۱۱/۵۷	۷/۷۹	۴/۹۱	۳/۰۳	۹۰/۵۲
UPE	۶/۲	۱۳/۲	۲۱/۱	۵۱/۴	۹۴	۱۳۷/۸	۱۶۵/۵	۱۵۷/۸	۱۲۱/۹	۷۲/۶	۳۹/۶	۲۱/۱	
APE	۵/۶	۱۱/۵	۲۱/۷	۵۵	۱۱۰	۱۶۰	۱۹۷	۱۷۸/۳	۱۲۵/۶	۷۱/۱	۳۵/۶	۱۸/۸	۹۹۰/۲
P	۱۲۵/۹	۹۸/۵	۸۸/۷	۱۷/۷	۰/۵	۰	۰	۰/۲	۰	۱/۷	۸	۰/۱	۳۴۱/۳
P-PE	۱۲۰/۳	۸۷	۶۷	-۳۷/۳	-۱۰۹/۵	-۱۶۰	-۱۹۷	-۱۷۸/۱	-۱۲۵/۶	-۶۹/۴	-۲۷/۶	-۱۸/۷	-۶۴۸/۹
APWL				-۳۷/۳	-۱۴۶/۸	-۳۰۶/۸	-۵۰۳/۸	-۶۸۱/۹	-۸۰۷/۵	-۸۷۶/۹	-۹۰۴/۵	-۹۲۳/۲	
St.	۱۲۲/۳	۲۰۰	۲۰۰	۱۶۶	۹۵	۴۲	۱۶	۶	۴	۳	۲	۲	
Δ St.	۱۲۰/۳	۷۷/۷	۰	-۳۴	-۷۱	-۵۳	-۲۶	-۱۰	-۲	-۱	-۱	۰	
AE	۵/۶	۱۱/۵	۲۱/۷	۵۱/۷	۷۱/۵	۵۳	۲۶	۱۰/۲	۲	۲/۷	۹	۰/۱	۲۶۵
WD	۰	۰	۰	۳/۳	۳۸/۵	۱۰۷	۱۷۱	۱۶۸/۱	۱۲۳/۶	۶۸/۴	۲۶/۶	۱۸/۷	۷۲۵/۲
WS	۰	۹/۸	۶۷	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۷۶/۸

مأخذ: یافته های تحقیق^۴

جدول ۱، مراحل مختلف محاسبه توازن آبی را برای ایستگاه سینوپتیک شیراز برای سال منتخب ۱۹۹۳ را نشان می‌دهد.^۵ (تمامی ارزش‌ها بر حسب میلی متر و درجه حرارت بر حسب سانتی گراد می‌باشد).

۱ - تنها اطلاعات میزان بارندگی و درجه حرارت از سازمان هواشناسی کل کشور ایران گرفته شده است.

۲ - مراحل محاسبه توازن آبی برای ۵۸ سال متوالی یعنی ۱۹۵۱-۲۰۰۹ میلادی برای هر سال بطور مجزا محاسبه شده تا شاخص خشکی I_a بر آن سال تعیین گردد.

۳ - نحوه برآورد و تعیین معیار ظرفیت ذخیره آب در خاک به منبع سوپر منییم Subrahmanyam که در منبع آورده شده است مراجعه شود.

۴ - در این جدول تنها آمارهای T,P از سازمان هواشناسی کشور ایران استخراج شده است.

۵ - مراحل محاسبه توازن آبی برای ۵۸ سال متوالی یعنی ۱۹۵۱-۲۰۰۹ میلادی برای هر سال بطور مجزا محاسبه شده تا شاخص خشکی I_a بر آن سال تعیین گردد.

در جدول شماره ۱:

T = درجه حرارت بر حسب سانتی گراد، i = شاخص گرمایی، UPE = تبخیر و تعرق ناسازگار، $PE=APE$ = تبخیر و تعرق سازگار، P = نزولات آسمانی، $APWL$ = تراکم بالقوه آب از دست رفته توسط خاک، St = ظرفیت ذخیره سازی آب توسط خاک، ΔSt = تغییر در ظرفیت ذخیره سازی آب توسط خاک، AE = تبخیر و تعرق واقعی محیطی هوا و خاک، WD = کمبود آب (یا کمبود رطوبت) و WS = مازاد آب (یا مازاد رطوبت).

در این جدول تبخیر و تعرق بالقوه و بالفعل ایستگاه شیراز برای سال ۱۹۹۳ میلادی بر اساس روش اصلاح شده تورنت ویت محاسبه شده است که به کمک آن می‌توان WS, WD و همچنین سایر شاخص‌های مورد نظر در توازن آبی را تعیین نمود. در ایستگاه منتخب شیراز؛ در سال ۱۹۹۳، مثلاً در ماه آوریل، تبخیر و تعرق بالقوه (میلی متر $PE = 55$) میلی متر بیشتر از میزان نزولات آسمانی (میلی متر $P = 17/7$) می‌باشد، در حالیکه میزان آب بالقوه از دست رفته توسط خاک به شکل رطوبت در واقع معادل ۳۴ میلی متر است. در شرایط عادی میزان تبخیر و تعرق نمی‌تواند بیشتر حد از نرخ بالقوه رطوبت موجود در خاک باشد تا در حد مطلوب تبخیر و تعرق گردد. در شرایطی که میزان نزولات آسمانی بیشتر از تبخیر و تعرق بالقوه باشد، در این صورت رطوبت موجود در خاک کافی بوده و تبخیر و تعرق بالقوه معادل مقدار واقعی و یا طبیعی آن خواهد بود. به گونه‌ای که تبخیر و تعرق بطور نامرئی انجام می‌گیرد. زمانی که میزان نزولات آسمانی کمتر از تبخیر و تعرق بالقوه باشد، در این صورت تبخیر و تعرق واقعی و طبیعی برابر است با میزان نزولات آسمانی بعلاوه هر میزان رطوبت ذخیره شده در خاک که تبخیر یا تعرق یافته است (و یا تغییر در رطوبت خاک $AE = P + \Delta St$).

کمبود و یا مازاد میزان رطوبت و یا آب را می‌توان به راحتی از مراحل مختلف محاسباتی موازنه آبی محاسبه نمود. کمبود آب (WD) از تفاوت تبخیر و تعرق بالقوه و بالفعل ($WD = AE - PE$) و مازاد آب (WS) زمانی رخ می‌دهد که میزان نزولات آسمانی افزایش یافته که در این صورت ظرفیت یا مخازن رطوبت موجود در خاک پر از آب شده و تشنگی خاک کاملاً برطرف می‌شود. در شیراز متوسط ماهیانه درجه حرارت از $5/6$ درجه سانتی‌گراد در ماه ژانویه، تا بیشترین $29/4$ درجه سانتی‌گراد در ماه جولای تغییر می‌کند. مقدار PE کاملاً به درجه حرارت وابسته می‌باشد که معمولاً در طی یک سال تغییر کرده و در این جدول از کمترین میزان $5/6$ میلی‌متر در ماه ژانویه به بالاترین میزان خود معادل ۱۹۷ میلی‌متر در ماه جولای و بعد از آن به میزان $178/3$ میلی‌متر در ماه‌های آگوست می‌رسد. مقدار PE بطور ناگهانی در فصل بهار از میزان $21/7$ میلی‌متر در ماه مارس تا میزان 160 میلی‌متر در ماه ژوئن رسیده و سپس در فصل پائیز از $125/6$ میلی‌متر در ماه سپتامبر کاهش می‌یابد و تا میزان $18/8$ میلی‌متر در ماه دسامبر می‌رسد. میزان کل آب مورد نیاز در شرایط طبیعی در این دوره معادل $990/2$ میلی‌متر در سال می‌باشد.

میزان نزولات آسمانی یا عرضه آب در طول ماه‌های سال ۱۹۹۳ از نوسانات زیادی برخوردار است. متوسط میزان نزولات کل در این دوره معادل $341/3$ میلی‌متر می‌باشد که در تمامی ماه‌های سال بطور پراکنده توزیع شده است و بطور متوسط در هر ماه معادل ۲۸ میلی‌متر بوده است. کمترین میزان بارندگی مربوط به فصل بهار تا اواخر پائیز می‌باشد که در حقیقت بیشترین میزان بارندگی در فصل زمستان و یا در ماه‌های ژانویه تا آوریل رخ دهد که معادل $125/9$ میلی‌متر در ماه ژانویه و $17/7$ میلی‌متر در ماه آوریل می‌باشد. بنابراین مرطوبترین زمان از نظر PE (از نقطه نظر میزان بارندگی) کمترین تقاضا برای آب را نیز فراهم می‌سازد که مربوط به فصل تابستان است. مقایسه ماهیانه PE, P نشان می‌دهد که این دو معیار هیچگاه معادل یکدیگر نخواهند شد. تنها در ماه‌های فوریه و مارس میزان نزولات آسمانی به ترتیب $98/5$ و $88/7$ میلی‌متر بوده است که بالاتر از مقدار مورد نیاز ($11/5$ و $21/7$ میلی‌متر) جهت تبخیر و تعرق می‌باشد که در خاک ذخیره می‌شود که بیشتر از ظرفیتی است که خاک در این شرایط به آن نیاز دارد. مقدار مازاد آب در ماه‌های فوریه و مارس معادل $76/8$ میلی‌متر می‌باشد که تنها ماه‌های سال ۱۹۹۳ می‌باشد که با مازاد آب مواجه شده است. ماه آوریل، اولین ماهی است که نیاز طبیعی آب در منطقه بطور ناگهانی افزایش می‌یابد و این 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 در این منطقه را تأمین نموده و مقدار $37/3$ میلی‌متر

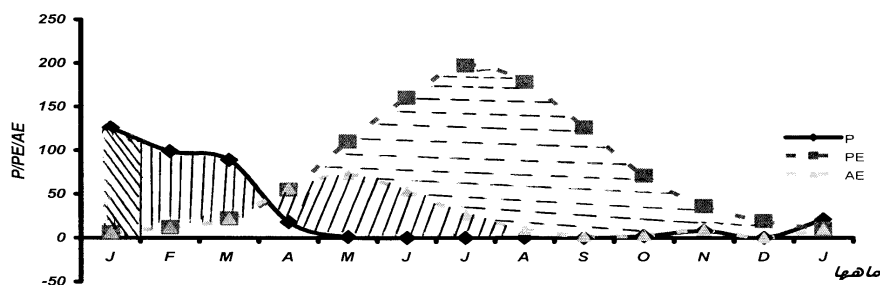
در ماه آوریل (میلی متر $P-PE = 37/3$) می‌رسد. مقداری از این نیاز طبیعی به آب، مقدار آب ذخیره شده در سطح خاک (میلی متر $St\Delta = 34$) تغییر در مخازن خاک) می‌باشد، که در نهایت میزان $3/3$ میلی متر ($37/3 - 34 = 3/3$) آن توسط عرضه نزولات آسمانی تأمین نشده و یا در خاک ذخیره نمی‌گردد. این مقدار آب مورد نیاز کمبود آب در این ماه را نشان می‌دهد. این میزان کمبود آب روندی افزایش داشته و در ماه جولای به حداکثر خود می‌رسد که معادل 171 میلی متر آب مورد نیاز است که توسط بارش آسمانی تأمین نخواهد شد. از آنجائیکه مقدار آب موجود در خاک کاسته شده و خاک خشک تر و تشنه تر می‌شود، مقدار آب به میزان 26 میلی متر 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.

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 در منطقه مورد نظر به آن نیاز دارند، که از دست رفته باشد به بیان دیگر AE مقدار آب سطحی از دست رفته می‌باشد. که به عوامل طبیعی، سرعت باد، رطوبت، نوع خاک، نوع گیاه و عمق ریشه گیاهان، نوع فعالیت کشاورزی و زراعت و یا شرایط گیاهی در هر منطقه بستگی دارد.

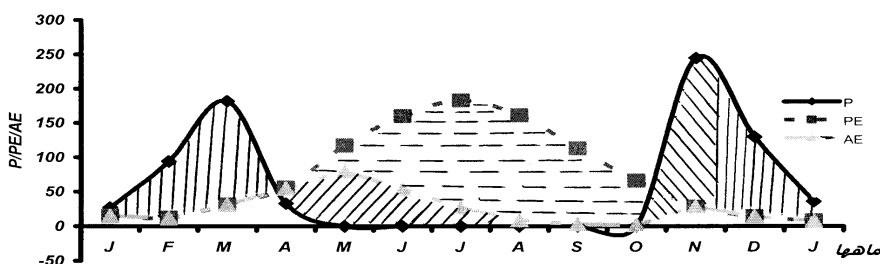
در حالیکه PE به کل عامل گرمائی در نتیجه تابش خورشید در منطقه بستگی خواهد داشت. در هر حال زمانیکه میزان نزولات آسمانی کمتر از PE باشد، AE یا میزان واقعی و طبیعی آب از دست رفته معادل میزان نزولات آسمانی و مقدار آبی که از خاک خارج می‌شود (تغییر در آب ذخیره شده در خاک بدون توجه به علامت منفی یا مثبت آن) می‌گردد. در حالیکه متوسط PE در شیراز معادل $990/2$ میلی متر در سال می‌باشد، مقدار طبیعی آب از دست رفته و یا تبخیر و تعرق فقط معادل 265 میلی متر در سال می‌باشد که در نتیجه مقدار کمبود آب معادل $725/2$ میلی متر می‌باشد. از آنجائیکه متوسط نزولات سالیانه معادل $341/3$ میلی متر می‌باشد. در واقع فقط مقدار 265 میلی متر آن را از طریق تبخیر و تعرق از دست می‌دهد و مازاد سالیانه آب فقط معادل $76/8$ میلی متر باشد. همچنین می‌توان نشان داد که در سال 1993 در شیراز، $I_h = 7/8$ ، شاخص خشکی $I_a = 73/2$ و $I_m = -36/12$ درصد می‌باشد که به منظور تشخیص نوع خشکسالی بکار می‌رود، از نوع شدید خواهد بود.

با محاسبه و مقایسه بودجه آبی سالهای مختلف در شیراز، می‌توان به نتایج جالبی نیز دست یافت. در تمامی سال‌های 1951 الی 2009 در هر سال این منطقه در بعضی ماهها مواجه با کمبود آب و در بعضی ماههای دیگر مواجه با مازاد آب می‌شود. بیشترین میزان مازاد آب مربوط به سال 1956 می‌باشد که معادل $411/1$ میلی متر می‌باشد، در حالیکه بیشترین نزولات آسمانی مربوط به سال 1954 و کمترین میزان بارندگی نیز مربوط به سال 1966 میلادی با $96/3$ میلی متر می‌باشد. همچنین بیشترین میزان کمبود آب مربوط به سال 2001 معادل $873/1$ میلی متر و کمترین میزان کمبود آب موجود در خاک مربوط به سال 1957 با $497/8$ میلی متر می‌باشد. چنانکه مشاهده می‌گردد از سال 2000 به بعد میزان کمبود آب در حال افزایش بوده و یا در سطح بالای حدود 800 میلی‌متر باقی مانده است. بطور مسلم در دورانی که WS بالا باشد، سطح آبهای زیر زمینی و یا آبهای جاری نیز افزایش می‌یابد و در سالهایی که WD زیاد است، سطح آبهای زیرزمینی نیز کاهش خواهد یافت.

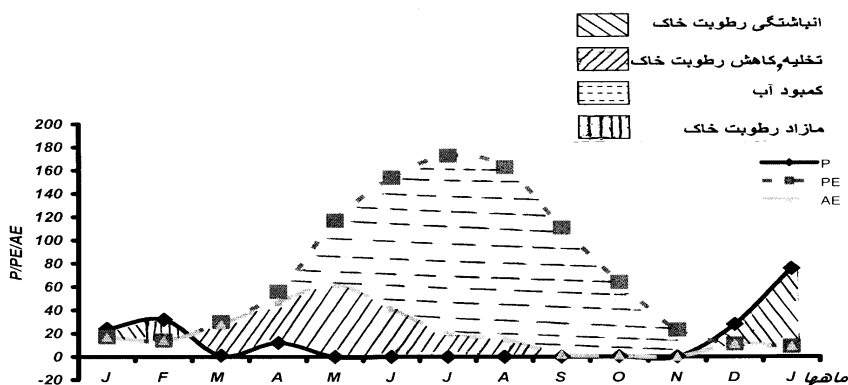
نمودارهای زیر توازن آبی را برای سالهای نرمال (1993)، خشک ترین سال (1966) و مرطوبترین سال (1954) را بر اساس پارامترهای AE, PE و P نشان می‌دهد.



نمودار 1- تغییرات بودجه آبی شیراز سال نرمال 1993



نمودار 2- تغییرات بودجه آبی شیراز سال مرطوب 1954



نمودار 3- تغییرات بودجه آبی شیراز سال خشک 1966

- انباشتگی رطوبت خاک
- تخلیه و کاهش رطوبت خاک
- کمبود آب
- مازاد رطوبت خاک

منبع: یافته های تحقیق

نمودارهای فوق بودجه آبی را در ماههای مختلف منطقه شیراز را از نظر کمبود و یا مازاد آب نشان می دهد. در سال ۱۹۹۳ شیراز از توزیع نامناسب بارندگی برخوردار بوده و بعلاوه بالا بودن PE تنها در ماههای فوریه و مارس مواجه با ۷۶/۸ میلی متر مازاد طبیعی آب برخوردار بوده است. در ماههای آوریل تا اواخر ماه دسامبر معادل ۷۲۵/۲ میلی متر مواجه با کمبود آب گردیده و در همین دوره معادل ۳۱۹/۸ میلی متر رطوبت خاک را از دست داده است. در سال ۱۹۶۶ که بعنوان کم باران ترین و یا خشک ترین سال در نظر گرفته شده است، شیراز فقط در ماه فوریه معادل ۱۷/۵ میلی متر مواجه با مازاد طبیعی آب می شود که حاصل ۳۱/۵ میلی متر بارندگی در همین دوره می باشد. بطور مسلم قسمتی از این بارندگی بدلیل کمبود آب و کاهش رطوبت خاک در ماههای قبلی توسط خاک و هوا جذب می شود. در ماههای دیگر در همین سال میزان کمبود آب معادل ۶۷۵/۴ میلی متر ثبت شده است که با مقایسه میزان بارندگی در همین دوره معادل ۲۵۸/۱ میلی متر کاهش رطوبت خاک را باعث شده است. این میزان کمبود آب باعث می شود که در سال ۱۹۶۶ شاخص رطوبت معادل $I_m = -۴۱/۵۴$ درصد و شاخص خشکی در این سال معادل $I_h = ۱/۹$ و بالأخره شاخص خشکی $I_a = ۷۲/۴$ درصد بوده است که خشکسالی بسیار

شدیدی را در این سال ایجاد نموده است. بالآخره در سال مرطوب ۱۹۵۴ با وجود متوسط بارندگی معادل ۷۱۱/۱ میلی متر در سال، ولی به خاطر بالا بودن گرما و نوسانات بالای PE شاخص رطوبت هنوز منفی بوده $I_m = -۱/۳$ و وجود مازاد آب، نتوانسته است تمامی نیازمندی آب منطقه را تأمین نماید. به بیان دیگر در مرطوبترین سال، منطقه شیراز با متوسط کمبود آب ۶۲۵/۳ میلی متر و شاخص خشکی معادل $I_a = ۶۵/۵$ درصد مواجه گردیده است.

در نهایت مقایسه این سه نمودار نشان می‌دهد که برای هر سه سال ماه جولای با بالاترین مقدار PE مواجه بوده و بیشترین تقاضای آب در این ماه را نشان می‌دهد، و البته دلیل عمده پدیده خشکسالی بالا بودن PE می‌باشد و نه پائین بودن میزان بارندگی.

بررسی نوسانات و شدت خشکسالی شهر شیراز:

به کمک پروسه بودجه آبی می‌توان اطلاعات لازم جهت تعیین شاخص خشکی در هر منطقه را تعیین نمود، که در نتیجه آن می‌توان شدت و یا نوسانات خشکسالی و مراحل وقوع آن را برآورد نموده تا برنامه‌ریزان اقتصاد کشاورزی و هیدرولوژیکی را در برنامه‌ریزی‌ها یاری دهند.

به منظور تحلیل واقعی‌تر نوسانات و شدت وقوع پدیده خشکسالی در ایستگاه منتخب شیراز با استفاده از نتایج حاصل از پارامترهای موازنه آبی دامنه جدول زیر برای تعیین شدت وقوع و نوسانات پدیده خشکسالی بر اساس شاخص خشکی (I_a) در نظر گرفته شده است. (Subrahmanyam).

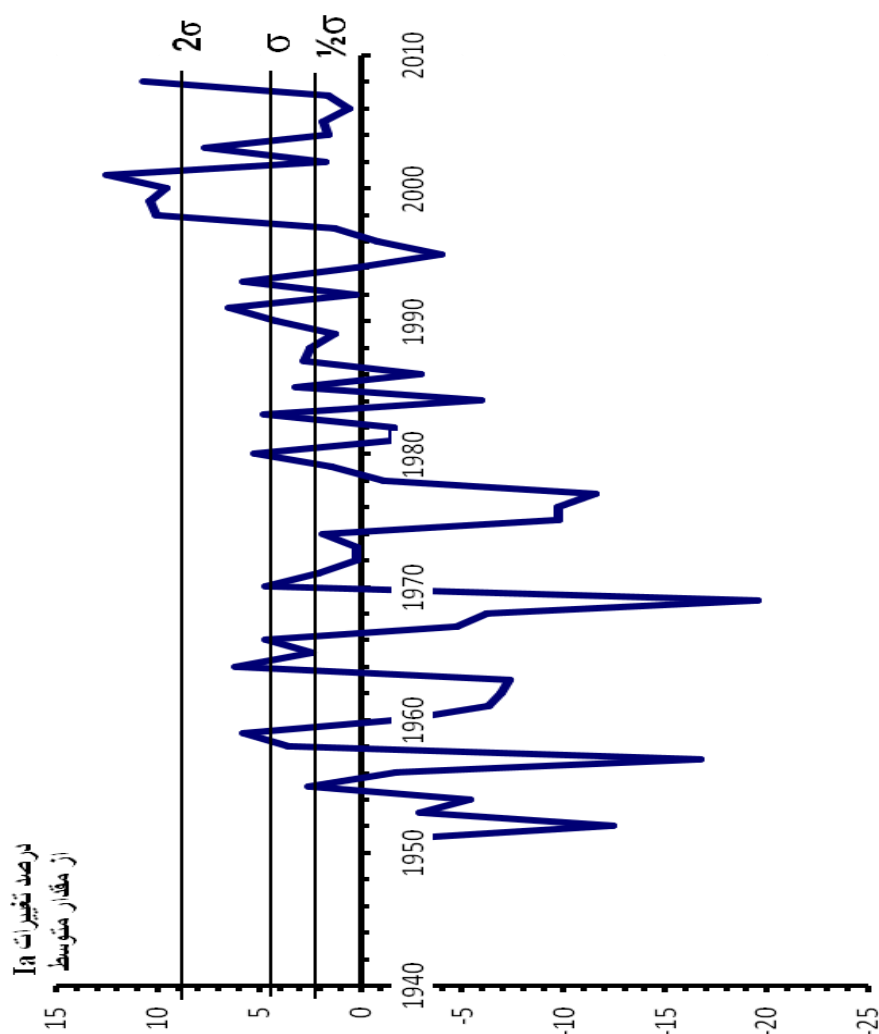
جدول ۲، دامنه طبقه‌بندی شدت خشکسالی

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

منبع: یافته‌های تحقیق

در جدول ۲، I_a شاخص خشکی می‌باشد که بر روش اصلاح شده تورنت ویت و پارامترهای موازنه آبی تعیین می‌گردد. این شاخص عبارت است از نسبت کمبود سالیانه رطوبت به آب مورد نیاز سالیانه می‌باشد. σ نیز عبارتست از انحراف معیار شاخص خشکی طی دوره مورد مطالعه می‌باشد.

در مطالعه حاضر 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 ۲۰۰۹-۱۹۵۱ م. برای ایستگاه شیراز نشان داده شده است. نتیجه مطالعه به کمک نمودار ۴ نشان داده شده است.



نمودار ۴ - شدت و نوسان خشکسالی در شهر شیراز

منبع: یافته‌های تحقیق

نمودار ۴ نشان می‌دهد که در ایستگاه شیراز با متوسط شاخص خشکی $I_a = ۶۹/۱۸$ درصد و انحراف معیار $\sigma = ۴/۵$ روبرو بوده است و طی دوره مورد مطالعه ۳۵ بار مورد اصابت پدیده خشکسالی قرار گرفته که ۱۱ مورد آن ملایم، ۸ مورد آن سخت و ۸ مورد شدید و ۵ مورد آن حاد بوده است، که تراکم وقوع خشکسالی شدید و حاد از سال‌های ۲۰۰۰ به بعد در این منطقه افزایش یافته است. البته خشک‌ترین سال طی دوره مورد مطالعه یعنی ۱۹۶۶ با خشکسالی شدید روبرو گردیده است. ولی در اکثر سال‌های ۲۰۰۰ به بعد که از میزان بارندگی نسبتاً بالاتری روبرو می‌باشند ولی به علت بالا بودن PE و یا افزایش درجه حرارت منطقه شیراز را با خشکسالی حاد روبرو کرده است. حادثه‌ترین خشکسالی مربوط به سال ۲۰۰۱ می‌باشد که شاخص خشکی آن $I_a = ۷۷/۸$ درصد و کمترین شاخص خشکی مربوط به سال ۱۹۶۹ می‌باشد که معادل $I_a = ۵۵/۷$ درصد است. جدول شماره ۳ فراوانی و نوع وقوع پدیده خشکسالی را نشان می‌دهد. در مدت ۵۸ سال دوره مطالعه این منطقه ۵ بار مواجه با پدیده خشکسالی حاد شده است که عمدتاً مربوط به سال ۲۰۰۰ به بعد می‌باشد.

جدول ۳، فراوانی و شدت وقوع خشکسالی در هر دوره (ده ساله) شیراز

خشکسالی دوره	ملايم	سخت	شدید	حاد
۱۹۵۱-۶۰	—————	۲ (۱۹۵۵-۵۸)	۱ (۱۹۵۹)	—————
۱۹۶۱-۷۰	—————	۱ (۱۹۶۵)	۳ (۱۹۶۴.۶۶.۷۰)	—————
۱۹۷۱-۸۰	۵ (۱۹۷۱.۷۲.۷۳.۷۴.۷۹)	۱ (۱۹۸۰)	—————	—————
۱۹۸۱-۹۰	۱ (۱۹۸۹)	۴ (۱۹۸۵.۸۷.۸۸.۹)	۱ (۱۹۸۳)	—————
۱۹۹۱-۲۰۰۰	۳ (۱۹۹۲ و ۹۴ و ۹۷)	—————	۲ (۱۹۹۱.۹۳)	۳ (۱۹۹۸.۹۹.۲۰۰۰)
۲۰۰۱-۲۰۰۸	۵ (۲۰۰۲.۲۰۰۴.۲۰۰۵.۲۰۰۶.۲۰۰۷) (—————	۱ (۲۰۰۳)	۲ (۲۰۰۱.۲۰۰۸)

مأخذ: یافته‌های تحقیق

نتیجه‌گیری:

طول دوره و ادامه وقوع پدیده خشکسالی از نظر شدت و یا نوسانات آن بطور سالیانه و توأمأ طی سالهای متعدد بطور تراکمی کمبود آب را تشدید کرده و شرایط اقتصادی و اجتماعی هر منطقه را تحت تأثیر قرار می‌دهد. طی دوره ۵۸ ساله در شهر شیراز، در هر دهه حداقل ۳ بار مواجه با پدیده خشکسالی سخت و شدید شده است که علت وقوع آن توزیع نامناسب بارندگی و بالا بودن PE در این منطقه می‌باشد. نمودارهای توازن آبی مربوط به سالهای نرمال، خشک و مرطوب نشان داد که به کمک آنها می‌توان کمبود آب در هر ماه را مشخص نمود. طی سالهای ۲۰۰۰ به بعد بر تعداد دفعات وقوع پدیده خشکسالی از نوع شدید و حاد در این منطقه افزایش یافته است که ناشی از کاهش بارندگی و افزایش درجه حرارت و یا PE در این منطقه می‌باشد. بنابراین لازم است امکانات افزایش ذخایر سفره‌های زیرزمینی افزایش یافته و یا به منظور مقابله با پدیده خشکسالی لازم است مخازن آبهای زیرزمینی افزایش یابد زیرا این پدیده بیشتر به تغییرات PE وابسته می‌باشد تا به P یا نزولات آسمانی.

منابع:

۱. Abounoori, A. A., (۱۹۸۸): "Agricultural Development in Drought-Prone Areas of Iran, Ph.D. Thesis, Sub.S.V. Univ. In India."
۲. Bates, C.G. (۱۹۳۵): Possibilities of shelter-belt planting in the plains region, ۲۰۱ pp, US, Forest service.
۳. Bagnouls, F. and Gaussen, H., (۱۹۵۷): 'Les Climate biologique et leur classiticatrion', Ann.Geograph. Vol. ۶۶, No. ۳۵۵, PP. ۱۹۳-۲۲۰
۴. Blumenstock, Jr.G, (۱۹۴۲): Drought in the United States analyzed by means of the theory of probability. Tech.m Bull., No ۸۱۹, U.S. Dept of Agri. Washington. D.C., P. ۵
۵. Hoyt, J.C. (۱۹۳۶): Droughts of ۱۹۳۰-۳۴, U.S. Geol. Survey Water Supply Paper, ۶۸۰, ۱۰۶-PP.
۶. Holms, R.M. and Robertson, G.W. (۱۹۵۴): Amodulated Soil moisture budget, Mon. Weather Rev. ۸۷, PP. ۱-۷
۷. Hershfield, D.M. Braken Siek, D.L., and Comer, G.H (۱۹۷۲): "Some Measure of Agricultural Drought", in "Floods and Droughts", Proc of the ۲nd Inter. Symp. In

- "Hydrology" (eds.) E.F. Schltz , V.A. Koelzer, and K.Mahmood, Fortcollins, Colorado, U.S.A, PP. ۴۹۱-۵۰۲
۸. Huschke, R.E., (۱۹۵۹): Glossary of American Meteorology, Amer.Met Soc., Boston, Mass.
 ۹. Koppen, W. (۱۹۳۶): "Das geographische system der klimare in Handbuch der klimatologie, Vol.۱, PartC, ed., W.Koppen and Geiger, Berlin, Gebruder Borntrager."
 ۱۰. Kulik, M.S., (۱۹۶۲): "Agroclomatic, indices of Droughts", in Agrlmeteorological Problems (eds). Davitaya, F.F., ۱۹۵۸ and Kulik, M.S., Met. Transl., No. ۷, Dept. of Transport. Toronto, PP. ۷۱-۷۴.
 ۱۱. Mather, J.R. (۱۹۷۴): Climatology, Fundamentals and application, MC Grew- Hill, p. ۱۶۷.
 ۱۲. Met. off., London, British Rainfall, (۱۹۳۵): Air Ministry, ۱۹۳۶, London.
 ۱۳. Naganna, C. (۱۹۷۹): "Delimiting Drought-Prone Areas in Karnataka and the Mitigation Strategy", in Hydrological Aspects of, Droughts, Intern. Symp. Vol.۱, IIT, New Delhi, India, PP. ۴۸۶-۴۹۰.
 ۱۴. Office for coordination of Humanitarian Affairs (OCHA), (۲۰۰۰): United Nations Technical Misson on the Drought Situation in the Islamic Republic of Iran.
 ۱۵. Palmer, W.C. (۱۹۵۶): Drought in Western Kansas, Weekly Weather and Crop Bull, U.S., W.B. Vol. ۶۳, No. ۷۴, PP. ۷-۸۰.
 ۱۶. Palmer, W.C. (۱۹۶۵): Meteorological droughts, Weather Bureau Research Paper No. ۴۵, U.S. Dept. Of Commerce, Washington. D.C. Bur. P. ۵۸.
 ۱۷. Penman, H.L. (۱۹۶۳): 'Vegetation and Hydrology', Commonwealth Bur. Soil. Sci, (Gt. Brit) Torch. Commune, ۵۳, P. ۱۲۴.
 ۱۸. Subrahmanyam, V.P., and Subramanian, A.R., (۱۹۶۴): Application of Water-Balance Concepts for a climatic Study of Drought in South India, Ind. J. Met. And Geoph. Vol. ۲۵, No, ۳, PP. ۳۹۳-۴۰۲.
 ۱۹. Subrahmanyam, V.P., (۱۹۸۲): Water Balance and its Applications, Andhra Univ. India.
 ۲۰. Subrahmanyam, V.P., and Sastri. C.V.S. (۱۹۷۲): "Studies in Drought climatology," in proc. Symp. On "Drought", Univ., Agril, Sciences, Hebbal, Bangalore, India, P. ۲۶.
 ۲۱. Shantz, H.L. (۱۹۲۷): "Drought resistance and soil moisture", Ecol., Vol. ۸, PP. ۱۴۵-۱۵۷.
 ۲۲. Tannehill, I.R., (۱۹۴۷): Drought- Its Causes and Effects, Princeton Univ., press, N.J.
 ۲۳. Thornthwaite, C.W., (۱۹۴۷): "Climate and moisture Conservation", Annals of Assn. Amer- Geogr., Vol. ۳۷, No. ۲, PP. ۸۷-۱۰۰.
 ۲۴. Thrnthwaite, C.W., and Mather J.R. (۱۹۴۸): "An Approach towards a Rational classification of climate", Geographical Review, Vol. ۳۸, PP. ۵۵-۹۴.
 ۲۵. Thornthwaite, C.W., and Mather J.R. (۱۹۵۵, ۱۹۵۷): The Water Balance, Publications in climatology, Vol. ۸, No. ۱, (۱۹۵۵): Drexel Institute of Technology, Laboratory of climatology, Center ton, N.J., ۱۰۴, PP, and Vol. ۱۰, No. ۳, ۱۹۵۷, ۲۴۴. PP.
 ۲۶. Wilhite, D.A. (۲۰۰۵): Drought Water crises, Taylor and Francis Group, CRC, Press. PP. ۴۳۱.