ارزیابی پدیده خشکسالی کشاورزی شهرستان شیراز

دکتر عباسعلی ابونوری *

تاریخ ارسال: ۸۹/۱۰/۶ تاریخ پذیرش: ۸۹/۱۰/۲۵

چکیده

پیش‌بینی زمان وقوع و برآورد شدت و نوسانات وقوع خشکسالی[۱] در جلوگیری از اصابت‌ها و تخریب‌های اقتصادی و اجتماعی از اهمیت بسیاری برخوردار است. در این پژوهش تلاش می‌کنیم تا با استفاده از روش بودجه آبی تورنت ویت، وضعیت تعادل آبی ایستگاه سینوپتیک شیراز را برای مدت ۵۸ سال (۱۹۵۱–۲۰۰۹ میلادی و یا ۱۳۳۰–۱۳۸۷شمسی) متوالی را بررسی کرده و با برآورد تعداد دفعات وقوع پدیده خشکسالی، شدت آنها را نیز اندازه‌گیری کنیم. 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 ذخیره‌سازی آب، رطوبت خاک، تبخیر وتعرق، دوره رشد گیاهان و عمق ریشه آنها و پیشینه بارندگی منطقه به منظور برآورد پدیده خشکسالی به کار گرفته شده است. با به کارگیری این روش نشان می‌دهیم که در هر دوره میزان کمبود و یا مازاد آب درچه ماه‌هایی از سال وجود داشته و با تعیین شاخص خشکی و انحراف معیار آن از میانگین متوسط، مشخص می‌شود که ایستگاه شیراز در هر ده سال حداقل ۳ بار مواجه با پدیده خشکسالی شده و پس از سال ۲۰۰۰ میلادی بر تعداد دفعات وقوع آن افزوده شده است، به گونه‌ای که این منطقه از سال۲۰۰۰ تا ۲۰۰۹ میلادی۳۵ بارتحت تأثیر این پدیده قرار گرفته است که تعداد ۵ بار مورد اصابت خشکسالی حاد و حادترین آن مربوط به سال ۲۰۰۱ بوده و سال ۲۰۰۸ نیز این پدیده با شدت کمتر بار دیگر تکرار شده است.

واژگان کلیدی: خشکسالی، تبخیر وتعرق بالقوه و بالفعل سازگار و ناسازگار، موازنه آبی، شاخص رطوبت، روش تورنت ویت.

طبقه بندی JEL: Q_{57}, Q_{54}, Q_{51}

مقدمه

خشکسالی پدیده‌ای طبیعی و مستمر اقلیمی است که به طور معمول در تمامی مناطق 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 بلای طبیعی تلقی می‌شود که در نتیجه آن، میزان بارندگی کاهش‌یافته ولی درجه حرارت و شدت تبخیر و تعرق در رطوبت خاک و هوا افزایش می‌یابد.[۲]

از نظر هواشناسی خشکسالی عبارت از کاهش شدید میزان بارندگی و یا نزولات آسمانی در یک دوره زمانی نسبتاً طولانی است.

---

* عضو هیات علمی دانشکده اقتصاد حسابداری دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران مرکزی

Email: Aabounoori @Yahoo.com

۱. Drought

۲. Abounoori, ۱۹۸۸

این پدیده از نظر موقعیت جغرافیایی و شرایط جوی از منطقه‌ای به منطقه دیگر و از فصلی 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 یک صدم اینچ نشود.

هولمز (۱۹۵۴)[۳] معتقد است از نظر کشاورزان پدیده خشکسالی موجب کاهش رطوبت خاک و هوا شده و باعث می‌شود که میزان تولیدات، عملکرد و کیفیت محصولات کشاورزی کاهش یابد. اصولاً بخش کشاورزی به دلیل وابستگی شدید به ذخیره رطوبت خاک نخستین بخشی خواهد بود که تحت تأثیر از پدیده خشکسالی قرار می‌گیرد. با استمرار پدیده خشکی در دوره‌های متوالی، چنانچه کمبود بارش ادامه یابد، رطوبت خاک به سرعت تخلیه‌شده و اتکای مردم به منابع دیگر آبی مانند 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 و جانوران)، کاهش رفاه، سطح بهداشت عمومی، افزایش آسیب‌های اجتماعی، تخریب سکونتگاه‌ها و مخازن آب‌های زیرزمینی و صنایعی که به آب نیروگاه‌های آبی وابسته می‌باشند، می‌شود.

شانتز (۱۹۲۷)[۴] معتقد است که پدیده خشکسالی به میزان رطوبت موجود در خاک و هوای منطقه بستگی دارد. این پدیده زمانی آغاز می‌شود که رطوبت خاک تا آن اندازه کاهش یابد که گیاهان و نباتات در مرحله رشد بیشتر از حد طبیعی آب مورد نیاز خود را از دست داده و نتوانند بار دیگر آن را 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 گفته می‌شود که ریشه گیاهان دیگر قادر نباشند آب مورد نیاز خود را از طریق رطوبت خاک جذب نمایند. تنهیل (۱۹۴۷)[۵] چنین نتیجه می‌گیرد که خشکسالی و تر سالی یا طغیان آب دو روی یک سکه بوده که در دو حد نهایی شرایط آب و هوایی قرار می‌گیرند. هم‌چنان‌که پدیده خشکسالی یک شرایط حدی بحرانی نوسانات کم آبی را به وجود می‌آورد، در مقابل ترسالی و یا طغیان آب نیز حد دیگر بحران پرآبی را در منطقه ایجاد می‌کند. در همین زمینه، سوبر منییم (۱۹۸۲)[۶] معتقد است که پدیده خشکسالی یک تهدید واقعی بر تولیدات محصولات کشاورزی و غذایی انسان‌ها محسوب می‌شود. وی معتقد است که خشکسالی یک پدیده پیچیده است که شدت آن به میزان نزولات آسمانی، زمان و توزیع مکانی آن، شدت تبخیر رطوبت نزولات در هوا و خاک و عوامل آبی دیگر و هیدرولوژیکی بستگی دارد. در عین حال، به نظر تورنت ویت (۱۹۴۷)[۷] قطع متناوب میزان بارندگی و یا قطع کامل آن در یک دوره خاص نشان‌دهنده خشکسالی نیست؛ همچنین، پدیده خشکسالی به دوره‌ای از خشکی و یا نیازمندی به بارندگی و کمبود آب گفته می‌شود، به ویژه اگر این‌گونه خشکی از نظر آب و هوایی آن‌قدر شدید باشد که مانع رشد نباتات و گیاهان زراعی بر روی خاک شود. به بیان دیگر، پدیده خشکسالی به شرایطی گفته 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 اوضاع مسلط می‌شود که میزان نزولات آسمانی آن قدر کافی نباشد تا از نظر بیولوژیکی و فیزیولوژیکی بر شرایط عادی زندگی انسان‌ها و جانداران و جانوران دیگر آسیب برساند.

---

۳. Holmes, ۱۹٥٤

٤. Shantz, ۱۹۲۷

٥. Tannehill, ۱۹۴۷

٦. Subrahmanyam, ۱۹۸۲

۷. Thornthwaite, ۱۹۴۷

هوشکی (۱۹۵۹)[۸] نشان داده است که پدیده خشکسالی یک وضعیت غیر طبیعی آب و هوایی را به وجود مـی‌آورد، دوره‌ای در آن حد طولانی که کمبود آب دراین مدت به طور جدی توازن طبیعی آبی در منطقه را برهم زده و باعث نابودی محصولات کشـاورزی و کاهش ذخایر منابع آبی و موارد دیگر شود. هویت[۹] نیز می‌گوید زمانی که مقدار تقاضای آب شیرین در قلمروی یـک منطقـه در حـال توسعه بیشتر از مقدار طبیعی موجود شود، پدیده خشکسالی آغاز می‌شود. با استناد به این نظریه دردو منطقه که از نظر شرایط اقلیمـی و آب و هوایی کاملاً مشابه یکدیگرند، اگر با کمبود آب مواجه شوند، ممکن است یک منطقه به علت نبود امکانات پیشرفته آبیـاری و آبرسانی قادر نباشد با پدیده کم‌آبی مقابله کرده و با خسارت‌های جبران‌ناپذیر مواجه شود، ولی منطقـه‌ای دیگـر از امکانـات پیشـرفته 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 کم‌آبی و یا خشکسالی جلوگیری نماید. بنابراین، از نظر کلی مقابله با پدیده خشکسالی علاوه بر اینکه به شرایط اقتصادی بلکه به امکانات موجود در بهینه‌یابی به کارگیری منابع آبی هر منطقه نیز بستگی دارد.

در این پژوهش تلاش می‌کنیم به کمک روش تورنت ویت با محاسبه موازنه و یا بودجه آبی منطقه شـیراز بـر اسـاس شـرایط عرضـه و تقاضای آب، تعداد دفعات و شدت پدیده خشکسالی را مورد بررسی قرار دهیم.

هدف این پژوهش نحوه به کارگیری روش بودجه آبی تورنت ویت (۱۹۴۷)[۱۰] به منظور تجزیه و تحلیل عرضه و تقاضای طبیعی و واقعی آبی هرمنطقه و اندازه‌گیری شدت و نوسانات پدیده خشکسالی در ایستگاه سینوپتیک شیراز است. به طور مسلم، تعادل آبی هـر منطقه بر رطوبت خاک و هوای منطقه تأثیر گذارده و بر تولیدات و عملکرد محصولات کشاورزی، گیاهان و جانوران دیگر منطقه نیـز تـــــــــــأثیر

مـــی‌گـــذارد. البتـــه، هـــدف ایـــن پـــژوهش تنهـــا معرفـــی روش بـــه کـــارگیری موازنـــه آبـــی تورنـــت ویـــت اســـت کـــه می‌توان برای ایستگاه‌های دیگر سینوپتیک هر منطقه به کار برد.

افزون بر این، تلاش می‌کنیم علاوه بر تشریح نحوه به کارگیری روش بودجه آبی به پرسشی مبنی بر اینکـه آیـا بـا پارامترهـای موجود می‌توان وقوع پدیده خشکسالی در هر منطقه را برآورد کرد، پاسخ داده و شـدت و حـدت آن را انـدازه‌گیـری کنـیم؟ در ایـن پژوهش، فرضیه "شدت وقوع پدیده خشکسالی درمنطقه شیراز در حال افزایش است." را مورد بررسی قرار می‌دهیم.

مواد و روش‌ها

ابتدا لازم است روش‌های متعدد موجود مورد آزمون قرارگرفته تا منطقی‌ترین و مطمئن‌ترین روش انتخاب شود. شاید تـاکنون روشـی منظم و سیستماتیک برای شناسایی و تشخیص پدیده خشکسالی در کشور به کار گرفته نشده باشد؛ ولی در حال حاضـر، مهـم‌تـرین روش‌های شناخته‌شده روش تورنت ویت (۱۹۴۷)[۱] پن من (۱۹۶۳)[۱۱]، پالمر (۱۹۵۶)[۱۲] و دیگران (۱۹۷۹)[۱۳] است.

روش آماری

---

[۸]. Huschke-۱۹۵۹

[۹]. Hoyt

[۱۰]. Thornthwaite, ۱۹۴۷

[۱۱]. Penman, ۱۹۶۳

[۱۲]. Palmer, ۱۹۵۶

[۱۳]. Naganna-۱۹۷۹

در این روش از اطلاعات و آمارهای موجود میزان بارندگی در یک دوره خاص (ماه، فصل و یا سال) استفاده می‌کنیم[۱۴]؛ زیرا مهم‌ترین منبع تأمین آب در تحلیل پدیده خشکسالی میزان نزولات آسمانی در دوره مورد نظر است. اصولاً در این روش، انحراف معیار میانگین میزان بارندگی با توجه به ده دوره متوالی کمترین میزان بارندگی مورد استفاده قرار گرفته تا معیار کمی وقوع این پدیده اندازه‌گیری شود.

روش غیرآماری

در این روش، علاوه بر پارامتر میزان بارندگی از درجه حرارت و میزان رطوبت در منطقه نیز استفاده می‌شود[۱]. البته به کمک تکنیک‌های غیرآماری نیز می‌توان به روش کمی پدیده خشکسالی را اندازه‌گیری کرد. در مورد کارگیری این تکنیک، بگنوس و گاسن (۱۹۵۷)[۱۵] معتقدند که یک ماه خشک زمانی است که متوسط میزان بارندگی (P) کمتر از دو برابر متوسط درجه حرارت در آن ماه باشد؛ یعنی، خشکسالی زمانی رخ می‌دهد که $P<2T$ باشد؛ جایی که P برحسب میلی‌متر و T برحسب سانتی گراد است.

روش موازنه (بودجه) آبی

در این روش، علاوه بر پارامترهای روش آماری و غیرآماری، از پارامترهای مقدار آب موجود در خاک و هوا نیز استفاده می‌شود، که توسط تورنت ویت و دیگران (۱۹۴۸)[۱۶] به کار گرفته شده است. این روش نسبت به دو روش دیگر از پارامترهایی استفاده می‌کند 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 به دست می‌آید، بیشتر از مقدار آبی باشد که از طریق نزولات آسمانی و شدت تبخیر آن تأمین می‌شود. بنابراین، در تحلیل موازنه آبی شاخص رطوبت خاک نسبت به پارامترهای دیگر از اهمیت بیشتری برخوردار است. تورنت ویت (۱۹۴۷)[۱۷] معتقد است رطوبت خاک درمنطقه در حیات گیاهان و نباتات از اهمیت بسیاری برخوردار است، زیرا تنها توقف کامل بارندگی در یک منطقه نمی‌تواند به صورت مستقیم نشانه وقوع پدیده خشکسالی در هر منطقه باشد. به بیان دیگر، تولیدات کشاورزی در هر منطقه کاملاً به پوشش موازنه آبی – عرضه آب (نزولات آسمانی) و تقاضای آب (تبخیر و رطوبت) – بستگی دارد. اساس به کارگیری 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 زمانی که مقدار بارندگی کمتر از شدت تبخیر بالقوه باشد، خاک قسمتی از رطوبت خود را که قبلاً جذب کرده است، از دست می‌دهد. معمولاً خاک‌های رسی و رسوبی برای مدتی طولانی‌تر 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 مقاوم‌تر بوده، ولی گیاهانی که در خاک‌های شنی کاشته می‌شوند، نیاز بیشتری به آبیاری و یا بارندگی دارند.

---

۱۴. Abounoori, ۱۹۸۸

۱۵. Bagnouls and Gaussen, ۱۹۵۷

۱۶. Thornthwaite and others,۱۹۴۸

۱۷. Thornthwaite, ۱۹۴۷

پالمر (۱۹۵۶)[۱۸] نیز در تحلیل پدیده خشکسالی به روش بودجه آبی هر منطقه از تغییرات رطوبت خاک و تبخیر و تعرق استفاده کرده است. در هر حال، وی در سال ۱۹۶۸ نیز شاخصی را طراحی کرده که یک روش کمی در تعیین شدت خشکسالی کشاورزی بوده است این شاخص، ترکیبی از میزان بارندگی و پارامترهای اقلیمی دیگر بوده است.

در این پژوهش تلاش می‌کنیم با استفاده از پارامترهای مراحل محاسباتی بودجه آبی شدت و نوسانات وقوع پدیده خشکسالی در ایستگاه منتخب شیراز را بررسی کنیم. یکی از مهم‌ترین پارامترهای حاصل از به کارگیری این روش، شاخص خشکی (I_a) است که توسط تورنت ویت (۱۹۴۷)[۱۹] معرفی‌شده و بعدها توسط سوبرمنییم و سوبرا منیین (۱۹۶۴)[۲۰] اصلاح‌شده که در این پژوهش نیز از این روش اصلاح‌شده، استفاده کرده‌ایم.

آمارهای مورد نیاز را از منابع اولیه و ثانویه موجود در بولتن‌های دولتی سازمان هواشناسی کل کشور استخراج کرده‌ایم. در این بولتن‌ها تنها پارامترهای متوسط بارندگی ماهانه و درجه حرارت برای سال‌های ۱۹۵۱–۲۰۰۱ میلادی انتخاب‌شده و محاسبات عددی دیگر را انجام داده‌ایم.

مهم‌ترین متغیرها و پارامترهای استفاده شده در این پژوهش 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 ذخیره‌شدن در خاک منطقه شیراز از نظر فیزیولوژیکی و یا ساختار خاک است.

با توجه به روش‌هایی که تاکنون در مورد نحوه پدیده خشکسالی در اختیار است،[۲۱] روش کوپن (۱۹۳۶)[۲۲] و تورنت ویت (۱۹۴۷)[۲۳] از نظر کاربردی از عمومیت بیشتری برخوردار بوده که در این پژوهش از روش اصلاح‌شده تورنت ویت استفاده کرده‌ایم.

تورنت ویت در آخرین روش[۲۴] (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 و کاربرد آن در توسعه شاخص رطوبت به منظور طبقه‌بندی شرایط آب و هوایی مورد استفاده قرار داده است. وی با مقایسه آب وهوای مورد نیاز برای 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 برای تجزیه و 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 ماهانه دمای هوا (T)[۲۵] و فعل و انفعالات یا عمل و عکس‌العمل تبخیر و تعرق بالقوه (PE)[۲۶] برقرار کرده است. در عین حال که نمی‌توان به دقت و به طور کامل مقدار PE را در هر منطقه برآورد نمود، با این حال، در بسیاری از مناطق برای برآورد PE از روش تورنت ویت (۱۹۴۷) استفاده می کنند. رابطه ریاضی عمومی برای تعیین فعل و انفعالات تبخیر و تعرق بالقوه (PE) عبارتست از:

---

۱۸. Palmer, ۱۹۵٦

۱۹. Thornthwaite, ۱۹٤۷

۲۰. Subrahmanyam and Subramanian, ۱۹٦٤

۲۱. Abounoori-۱۹۸۸

۲۲. ۱۹۳٦-Koppen

۲۳. Thornthwaite

۲٤. Thornthwaite , Ibid

۲۵. Temperature

۲٦. Potential Evapotranspiration=PE

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

PE^{*} = فعل و انفعالات تبخیرو تعرق بالقوه ماهانه ناسازگار به سانتی‌متر بر پایه ۱۲ ساعت روزانه و ۳۰ روز ماه است که برای 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:

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

که در آن:

T: میانگین ماهانه دمای هوا برحسب سانتی‌گراد، $C°$،

I: شاخص حرارت سالانه برای هر ایستگاه هواشناسی است که با جمع ارزش ۱۲ ماه در سال تعیین می‌شود، یعنی:

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

a: یک متغیر اختیاری ثابت است که از یک منطقه به منطقه دیگر متفاوت بوده، همچنین، یک رابطه غیرخطی از شاخص حرارت است که به طور تقریبی می‌توان آن را به شکل زیر تعیین نمود:

$$a = 675\times10^{-9} I^{3} - 771\times10^{-7} I^{2} + 1792\times10^{-5} I + 49239\times10^{-5}$$

بنابراین، معادله تورنت ویت یک رابطه Log-Log بین PE^{*} درمقابل T بوده که خط مستقیمی است در دامنه $\left(PE^{*} = 1/6, T\frac{I}{10}\right)$, $\left(PE^{*} = 13/5, T = 26/5\right)$ ترسیم می‌شود.

این معادله کاملاً از ظرافت روابط ریاضی مبراست. این رابطه کاملاً پیچیده وکاربرد آن بدون جدول و منوگرام غیرممکن است. تورنت ویت به منظور طبقه‌بندی شرایط آب و هوایی، این روش را اصلاح کرده و روش موازنه آبی را بر اساس انرژی و رطوبت، به کار برده است. در این سیستم، انرژی بر اساس معیار PE و رطوبت نیز بر اساس شاخص رطوبت اندازه‌گیری می‌شود. در سال ۱۹۵۵تورنت ویت ومادر[۲۷] روش ۱۹۴۸ تورنت ویت را اصلاح نموده‌اند. تورنت ویت در به کارگیری ابزار موازنه آبی شاخص دیگری را به کار می‌برد تا بتواند منطقی‌تر و مؤثرتر، شرایط آب و هوایی هر منطقه را طبقه‌بندی نماید که به شرح زیر است:

I_a= شاخص خشکی[۲۸]، عبارتست از درصد نسبت میزان کل کمبود سالانه آب (WD)[۲۹] به مقدار کل آب مورد نیاز سالانه (WN)[۳۰] از فعل و انفعالات تبخیر بالقوه (PE)، یعنی:

$$I_a = \frac{WD}{WN}\times100 = \frac{WD}{PE}\times100$$

---

۲۷. Thornthwaite and Mather, ۱۹۵۷

۲۸. Aridity Index

۲۹. Water Deficit=WD

۳۰. Water Need= WN

I_h= شاخص‌ترین[۳۱] عبارتست از درصد نسبت میزان کل ذخیره سالانه آب (WS)[۳۲] به مقدار کل آب مورد نیاز سالانه (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)[۳۳]، عبارتست از تفاوت بین I_h و I_a که به شکل زیر است:

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

شاخص رطوبت تجدید نظر شده یا اصلاح‌شده تورنت ویت و مادر به شکل زیر است:

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

که در آن:

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

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

و یا:

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

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 بوده 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 شود، شرایط آب و هوایی خشک‌تر شده و اگر مازاد آب بیشتر شود، شرایط آب و هوایی مرطوب-تر می‌شود. با توجه به اینکه مازاد آب و کمبود آب در فصول متفاوت در بسیاری از مناطق رخ می‌دهد، لازم است هر دوی آنها در تعیین شاخص رطوبت استفاده شود که یکی از آنها بر شاخص اثر مثبت و دیگری اثر منفی می‌گذارد.

نظریه تعادل و یا توازن آبی در یک دوره بلندمدت مترادف سیکل هیدرولوژیکی است و پروژه موازنه آبی شرایط مقدار آب موجود در یک منطقه مورد نظر را در یک دوره معین بر پایه تجزیه و تحلیل ترکیبی توازن نهاده (درآمد یا عرضه)، ستاده (خروجی یا نیاز) و ذخیره (اندوخته) عناصر اقتصاد آب در سیستم فضا- هوا- خاک مورد بررسی قرار می‌دهد. 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) درنتیجه تغییر ذخیره آب و آب‌های جاری تغییر می‌کند. به منظور تعیین مراحل موازنه طبیعی آبی لازم است متوسط ماهانه عرضه آب (P) یا نزولات آسمانی و تقاضای طبیعی آب (PE) و یا تبخیر و تعرق بالقوه و میانگین متوسط درجه حرارت برای ایستگاه مورد نظر شیراز گردآوری و محاسبه شود.[۳۴]

---

۳۱. Humidity Index

۳۲. Water Surplus = WS

۳۳. Moisture Index

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

جدول ۱، مراحل مختلف محاسبه توازن آبی را برای ایستگاه سینوپتیک شیراز برای سال منتخب ۱۹۹۳ نشان می‌دهد.[۳۵] شیراز در طول و عرض جغرافیایی $52^{\circ},36^{1}$ و $29^{\circ},32^{1}$ واقع شده و ظرفیت ذخیره‌سازی آب در این منطقه برابر ۲۰۰ میلی‌متر در نظر گرفته شده است.[۳۶]

اصولاً عمق خاک ممکن است بین چند میلی‌متر در سطح خاک‌های شنی تا ۴۰۰ میلی‌متر در خاک‌های عمیق رسوبی و رسی تغییر کرده و در خاک‌های شنی ممکن است ریشه گیاهان عمیق‌تر 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 می شود را از ۱۰۰ میلی‌متر تا ۴۰۰ میلی‌متر را به شکل یک رابطه توانی کاهشی رطوبت خاک در دوران خشک آب و هوایی به شکل زیر تعریف می‌کند:

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

که در آن:

S= میزان ظرفیت ذخیره‌سازی آب،

F= ظرفیت موجود خاک،

A= تمامی آبی که به طور بالقوه خاک از دست خواهد داد که برابر با PE-P و یا [(P-PE)-] در دوره‌های متوالی است،

ΔS = مقدار رطوبت باقی‌مانده موجود درخاک پس از تبخیر وتعرق،

ΔA = تغییر در ارزش PE-P برای دوره مورد نظر.

نتایج

جدول ۱، مراحل مختلف محاسبه توازن آبی را برای ایستگاه سینوپتیک شیراز برای سال منتخب ۱۹۹۳ نشان می‌دهد.[۳۷] تمامی ارزش‌های جدول ۱ بر حسب میلی‌متر و درجه حرارت بر حسب سانتی‌گراد است.

---

۲. مراحل محاسبه توازن آبی برای ۵۸ سال متوالی یعنی ۱۹۵۱-۲۰۰۱ میلادی برای هر سال به طور جداگانه محاسبه‌شده تا شاخص خشکی I_a بر آن سال تعیین شود.

۳. برای آگاهی بیشتر از نحوه برآورد و تعیین معیار ظرفیت ذخیره آب درخاک به Subrahmanyam، مراجعه شود.

Subrahmanyam, ۱۹۸۲

۱. مراحل محاسبه توازن آبی برای ۵۸ سال متوالی یعنی ۱۹۵۱-۲۰۰۱ میلادی برای هر سال به طور جداگانه محاسبه‌شده تا شاخص خشکی I_a بر آن سال تعیین شود.

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	سالیانه 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: یافته‌های این پژوهش.[۳۸]

در جدول 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 ذخیره‌سازی آب توسط خاک، Δ St = تغییر در ظرفیت ذخیره‌سازی آب توسط خاک، AE= تبخیر و تعرق واقعی محیطی هوا و خاک، WD= کمبود آب (یاکمبود رطوبت) و WS= مازاد آب (یا مازاد رطوبت).

در این جدول، تبخیرو تعرق بالقوه و بالفعل ایستگاه شیراز برای سال ۱۹۹۳ میلادی بر اساس روش اصلاح‌شده تورنت ویت محاسبه شده است که به کمک آن می‌توان WS,WD و همچنین، شاخص‌های دیگر مورد نظر در توازن آبی را تعیین کرد. درایستگاه منتخب شیراز، درسال ۱۹۹۳، مثلاً در ماه آوریل، تبخیر و تعرق بالقوه (میلی‌متر ۵۵= PE) ۳۷/۳ میلی‌متر بیشتر از میزان نزولات آسمانی (میلی‌متر۱۷/۷=P) است، در حالی که میزان آب بالقوه از دست رفته توسط خاک به شکل رطوبت در واقع برابر 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 برابر مقدار واقعی و یا طبیعی آن خواهد بود؛ به گونه‌ای که تبخیر و تعرق به طور 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 به علاوه هر میزان رطوبت ذخیره‌شده در خاک که تبخیر یا تعرق یافته است (و یا تغییر در طوبت 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 کرد. 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 افزایش‌یافته که در این صورت ظرفیت یا مخازن رطوبت موجود در خاک پر از آب شده و تشنگی خاک کاملاً برطرف می‌شود. در شیراز

---

[۱]. در این جدول تنها آمارهای P و T از سازمان هواشناسی کشور ایران استخراج شده است.

متوسط ماهاانه درجه حرارت از ۵/۶ درجه سانتی‌گراد در ماه ژانویه، تا بیشترین ۲۹/۴ درجه سانتی‌گراد در ماه جولای تغییر می‌کند. مقدار PE کاملاً به درجه حرارت وابسته است که معمولاً در طول یک سال تغییر کرده و در این جدول ازکمترین میزان ۵/۶ میلی‌متر در ماه ژانویه به بالاترین میزان خود برابر ۱۹۷ میلی‌متر در ماه جولای و پس از آن به میزان ۱۷۸/۳ میلی‌متر در ماه‌های آگوست می‌رسد. مقدار PE به طور ناگهانی در فصل بهار از میزان ۲۱/۷ میلی‌متر در ماه مارس تا میزان ۱۶۰ میلی‌متر در ماه ژوئن رسیده و سپس در فصل پاییز از ۱۲۵/۶ میلی‌متر در ماه سپتامبر کاهش می‌یابد و تا میزان ۱۸/۸ میلی‌متر در ماه دسامبر می‌رسد. میزان کل آب مورد نیاز در شرایط طبیعی در این دوره برابر ۹۹۰/۲ میلی متر در سال است.

میزان نزولات آسمانی یا عرضه آب در طول ماه‌های سال ۱۹۹۳ از نوسانات زیادی برخوردار است. متوسط میزان نزولات کل در این دوره برابر ۳۴۱/۳ میلی‌متر بوده که در تمامی ماه‌های سال به طور پراکنده توزیع شده و به طور متوسط در هر ماه برابر ۲۸ میلی-متر بوده است. کمترین میزان بارندگی مربوط به فصل بهار تا اواخر پاییز است که در واقع، بیشترین میزان بارندگی در فصل زمستان و یا در ماه‌های ژانویه تا آوریل رخ می‌دهد که برابر ۱۲۵/۹ میلی‌متردر ماه ژانویه و ۱۷/۷ میلی‌متر در ماه آوریل است. بنابراین، مرطوب‌ترین زمان از نظر PE (از نظر میزان بارندگی) کمترین تقاضا برای آب را نیز فراهم کرده که مربوط به فصل تابستان است. مقایسه ماهانه P و PE نشان می‌دهد که این دو معیار هیچگاه با یکدیگر برابر نخواهند شد. تنها در ماه‌های فوریه ومارس میزان نزولات آسمانی به ترتیب ۹۸/۵ و ۸۸/۷ میلی‌متر بوده است که بالاتر ار مقدار مورد نیاز (۱۱/۵ و ۲۱/۷ میلی‌متر) برای تبخیر و تعرق است که در خاک ذخیره می‌شود و بیشتر از ظرفیتی است که خاک در این شرایط به آن نیاز دارد. مقدار مازاد آب در ماه‌های فوریه و مارس برابر ۷۶/۸ میلی‌متر بوده که تنها ماه‌های سال ۱۹۹۳ است که با مازاد آب مواجه شده است. ماه آوریل، نخستین ماهی است که نیاز طبیعی آب در منطقه به طور ناگهانی افزایش می‌یابد و این نیازمندی درنهایت بیشتر از میزان عرض آب توسط نزولات آسمانی

می‌شود، به گونه‌ای که این میزان نزولات و عرضه آب دیگر قادر نخواهد بود که میزان نیاز آب در این منطقه را تأمین کرده و به مقدار ۳۷/۳- میلی‌متر در ماه آوریل (میلی‌متر ۳۷/۳-= P-PE) می‌رسد. مقداری از این نیاز طبیعی به آب، مقدار آب ذخیره شده در سطح خاک (میلی‌متر ۳۴-= $St\Delta$= تغییر در مخازن خاک) است، که در نهایت میزان ۳/۳ میلی‌متر (۳۷/۳-۳۴=۳/۳) آن توسط عرضه نزولات آسمانی تأمین‌نشده و یا در خاک ذخیره نمی‌شود. این مقدار آب مورد نیاز کمبود آب در این ماه را نشان می‌دهد. این میزان کمبود آب روندی افزایشی داشته و در ماه جولای به حداکثر خود می‌رسد که برابر ۱۷۱ میلی‌متر آب مورد نیاز است که توسط بارش آسمانی تأمین نخواهد شد. از آنجا که مقدار آب موجود در خاک کاسته‌شده و خاک خشک‌تر و تشنه‌تر می‌شود، مقدار آب به میزان ۲۶ میلی‌متر کمتر از آب مورد نیاز در خاک است که این میزان آب از سطح بالایی و روی خاک کاسته‌شده تا عرضه آب مورد نیاز را تأمین نماید.

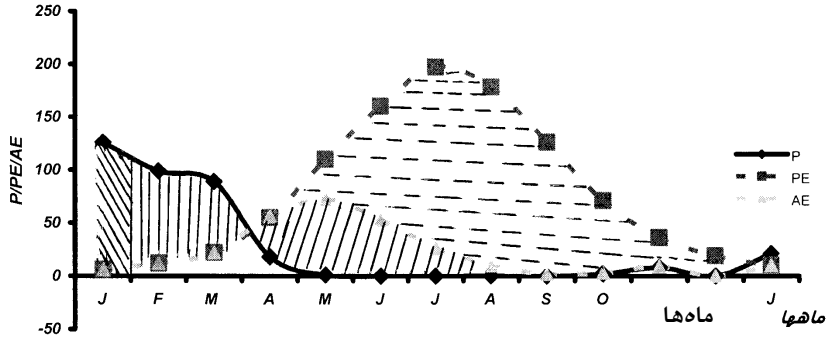
مقدار AE یا میزان واقعی و طبیعی آب از دست رفته، زمانی که میزان بارندگی بیشتر از PE باشد، برابر AE خواهد بود. در واقع، AE میزان تمامی آبی است که به طور طبیعی خاک و گیاهان در منطقه مورد نظر به آن نیاز دارند، که از دست رفته باشد. به بیان دیگر، AE مقدار آب سطحی از دست رفته است که به عوامل طبیعی، سرعت باد، رطوبت، نوع خاک، نوع گیاه و عمق ریشه گیاهان، نوع فعالیت کشاورزی و زراعت و یا شرایط گیاهی در هر منطقه بستگی دارد. در حالی که PE به کل عامل گرمایی درنتیجه تابش خورشید در منطقه بستگی خواهد داشت. در هر حال، زمانی که میزان نزولات آسمانی کمتر از PE باشد، AE یا میزان واقعی و طبیعی آب از دست رفته برابر میزان نزولات آسمانی و مقدار آبی است که از خاک خارج می‌شود (تغییر در آب ذخیره شده در خاک بدون توجه به علامت منفی یا مثبت آن). در حالی که متوسط PE در شیراز برابر ۹۹۰/۲ میلی‌متر در سال است، مقدار طبیعی آب از

دست‌رفته و یا تبخیر و تعرق تنها برابر ۲۶۵ میلی‌متر در سال است که در نتیجه، مقدار کمبود آب برابر ۷۲۵/۲ میلی‌متر خواهد بـود. از آنجایی که متوسط نزولات سالانه برابر ۳۴۱/۳ میلی‌متر است، در واقع، فقط مقدار ۲۶۵ میلـی‌متـر آن را از طریـق تبخیـر و تعـرق از دست داده و مازاد سالانه آب تنها برابر ۷۶/۸ میلی‌متر است. همچنین، می‌توان نشـان داد کـه در سـال ۱۹۹۳ در شـیراز، ۷/۸= I_h، شاخص خشکی ۷۳/۲= I_a و ۳۶/۱۲-= I_m درصد است که به منظور تشخیص نوع خشکسالی به کار می‌رود که از نوع شدید خواهـد بود.

با محاسبه و مقایسه بودجه آبی سال‌های مختلف در شیراز، می‌توان به نتایج جالبی نیز دست یافت. در تمامی سال‌های ۱۹۵۱ تـا ۲۰۰۹ در هر سال این منطقه در برخی ماه‌ها مواجه با کمبود آب و در برخی ماه‌های دیگر با مازاد آب مواجه می‌شود. بیشترین میزان مازاد آب مربوط به سال ۱۹۵۶ بوده که برابر ۴۱۱/۱ میلی‌متر است، در حالی که بیشترین نزولات آسـمانی مربـوط بـه سـال ۱۹۵۴ و کمترین میزان بارندگی نیز مربوط به سال ۱۹۶۶ با ۹۶/۳ میلی‌متر است. همچنین، بیشترین میزان کمبود آب مربوط بـه سـال ۲۰۰۱ برابر ۸۷۳/۱ میلی‌متر و کمترین میزان کمبود آب موجود در خاک مربوط به سال ۱۹۵۷ با ۴۹۷/۸ میلی‌متر است. چنانکه مشاهده می‌شود از سال ۲۰۰۰ به بعد میزان کمبود آب در حال افزایش بوده و یا در سطح بالای حدود ۸۰۰ میلی‌متر باقی‌مانـده اسـت. بـه طـور مسلم در دورانی که WS بالا باشد، سطح آب‌های زیرزمینی و یا آب‌های جاری نیز افزایش یافته و در سـال‌هـایی کـه WD زیـاد است، سطح آب‌های زیرزمینی نیز کاهش خواهد یافت.

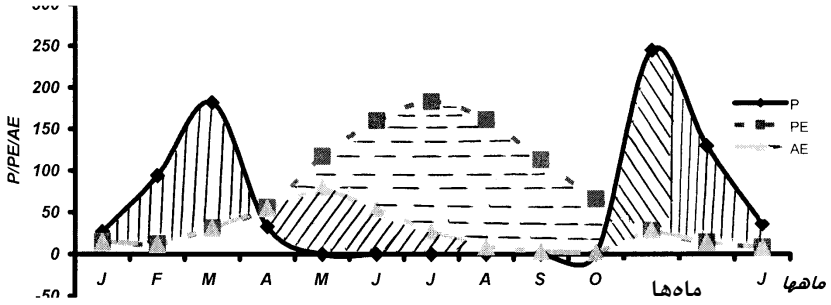
نمودارهای زیر توازن آبی را برای سال‌های طبیعی (۱۹۹۳)، خشک‌ترین سال (۱۹۶۶) و مرطوب‌ترین سـال (۱۹۵۴) را بـر اسـاس پارامترهای PE،AE و P نشان می‌دهد.

نمودار ۱. تغییرات بودجه آبی شیراز سال نرمال ۱۹۹۳

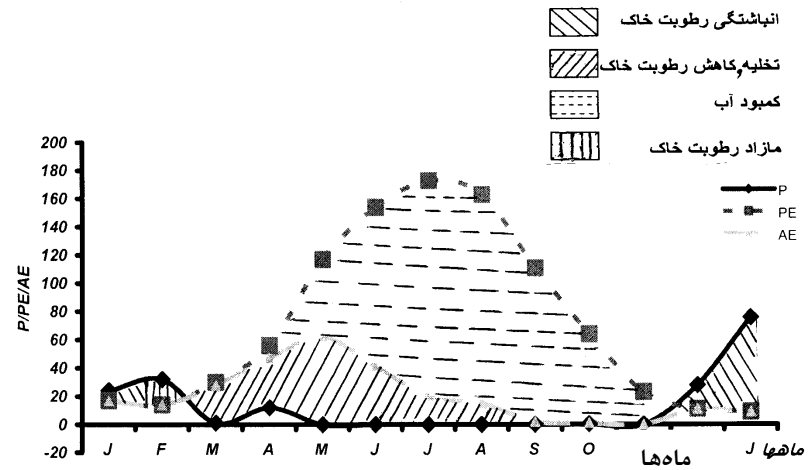


نمودار 1- تغییرا

نمودار ۲. تغییرات بودجه آبی شیراز سال مرطوب ۱۹۵۴



نمودار 2- تغییرات ب



نمودار 3- تغییرات بودجه آبی شیراز سال خشک 1966

مأخذ: یافته‌های این پژوهش.

نمودارهای بالا، بودجه آبی را در ماه‌های مختلف منطقه شیراز از نظر کمبود و یا مازاد آب نشان می‌دهد. در سال ۱۹۹۳ شیراز از توزیع نامناسب بارندگی برخوردار بوده و به علت بالا بودن PE تنها در ماه‌های فوریه و مارس با ۷۶/۸ میلی‌متر مازاد طبیعی آب مواجه بوده است. در ماه‌های آوریل تا اواخر ماه دسامبر برابر ۷۲۵/۲ میلی‌متر با کمبود آب مواجه شده و در همین دوره برابر ۳۱۹/۸ میلی‌متر رطوبت خاک را از دست داده است. درسال ۱۹۶۶ که به عنوان کم‌باران‌ترین و یا خشک‌ترین

سال در نظر گرفته شده است، شیراز فقط در ماه فوریه ۱۷/۵ میلی‌متر با مازاد طبیعی آب مواجه می‌شود که حاصل ۳۱/۵ میلی‌متر بارندگی در همین دوره است که به طور مسلم قسمتی از این بارندگی به دلیل کمبود آب و کاهش رطوبت خاک در ماه‌های قبلی توسط خاک و هوا جذب می‌شود. در ماه‌های دیگر همین سال، میزان کمبود آب برابر ۶۷۵/۴ میلی متر ثبت شده که با مقایسه میزان بارندگی در همین دوره برابر ۲۵۸/۱ میلی‌متر کاهش رطوبت خاک را باعث شده است. این میزان کمبود آب باعث می‌شود که در سال ۱۹۶۶ شاخص رطوبت برابر ۴۱/۵۴-= I_m درصد و شاخص خشکی در این سال برابر ۱/۹= I_h و در نهایت، شاخص خشکی ۷۲/۴= I_a درصد بوده که خشکسالی بسیار شدیدی را در این سال ایجاد کرده است. در سال مرطوب ۱۹۵۴ با وجود متوسط بارندگی برابر ۷۱۱/۱ میلی‌متر در سال، ولی به دلیل بالابودن گرما و نوسانات بالای PE شاخص رطوبت هنوز منفی بوده ۱/۳-= I_m 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 میلی‌متر و شاخص خشکی برابر ۶۵/۵= I_a درصد مواجه شده 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، البته، دلیل اصلی پدیده خشکسالی بالابودن PE است، نه پایین بودن میزان بارندگی.

بررسی نوسانات و شدت خشکسالی شهر شیراز

به کمک فرآیند بودجه آبی می‌توان اطلاعات لازم برای تعیین شاخص خشکی در هر منطقه را تعیین‌نمود، 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.

برای تحلیل واقعی‌تر نوسانات و شدت وقوع پدیده خشکسالی در ایستگاه منتخب شیراز با استفاده از نتایج حاصل از پارامترهای موازنه آبی دامنه جدول ۲ برای تعیین شدت وقوع و نوسانات پدیده خشکسالی بر اساس شاخص خشکی (I_a) در نظر گرفته شده است.[۳۹]

جدول ۲. دامنه طبقه‌بندی شدت خشکسالی

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

مأخذ: یافته‌های این پژوهش.

در جدول ۲، I_a شاخص خشکی است که با روش اصلاح‌شده تورنت ویت و پارامترهای موازنه آبی تعیین می‌شود. این شاخص

۳۹. Subrahmanyam, ۱۹۸۲

عبارت است از نسبت کمبود سالانه رطوبت به آب مورد نیاز سالانه. σ نیز عبارتست از انحراف معیار شاخص خشکی در دوره مورد مطالعه.

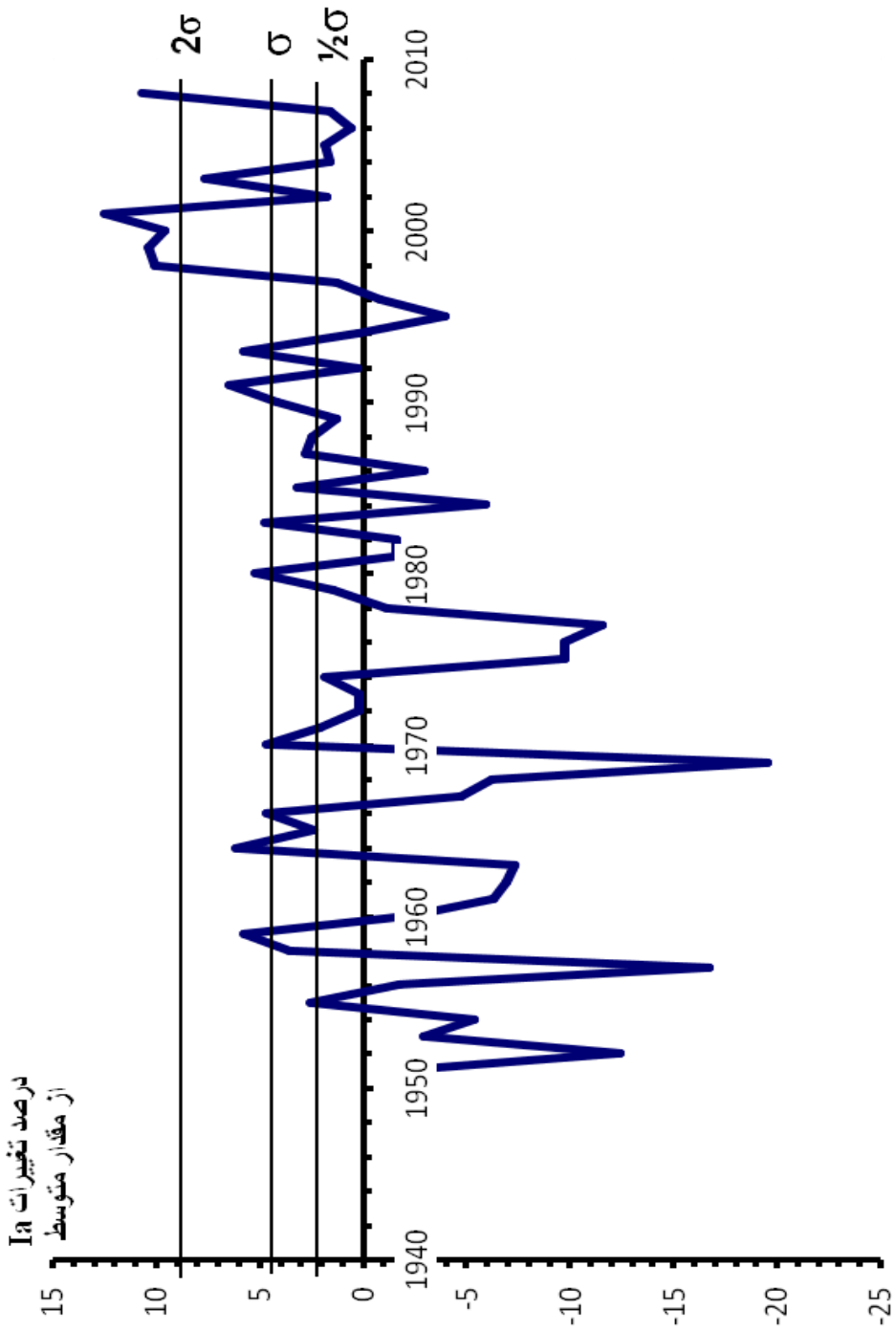
در این پژوهش با استفاده از معیار انحراف معیار سالانه شاخص خشکی در مقایسه با میانگین متوسط آن چهره واقعی وقوع پدیده خشکسالی در منطقه را در اندازه و شدت‌های متفاوت بین سال‌های ۱۹۵۱-۲۰۰۹ برای ایستگاه شیراز نشان می‌دهد. نتیجه مطالعه در نمودار ۴ نشان داده‌ایم.

مأخذ: یافته‌های این پژوهش.

نمودار ۴ نشان می‌دهد که ایستگاه شیراز با متوسط شاخص خشکی ۶۹/۱۸= I_a درصد و انحراف معیار ۴/۵– ...ه‌رو بود ...ر دوره مو ...۳۰ بار مو ...پدیده خش ...قرار گر ...مورد آن ...مورد آن ...مورد شد ...رد آن حا ...، که تراکم وقوع خشکسالی شدید و حاد از سال‌های ۲۰۰۰ به بعد در این منطقه افزایش یافته است. البته، خشک‌ترین سال در دوره مورد مطالعه یعنی ۱۹۶۶ با خشکسالی شدید روبه‌رو شده است، ولی در بیشتر سال‌های ۲۰۰۰ به بعد که از میزان بارندگی نسبتاً بالاتری روبه‌رو هست، به علت بالابودن PE و یا افزایش درجه حرارت منطقه شیراز را با خشکسالی حاد روبه‌رو کرده است. حادترین خشکسالی مربوط به سال ۲۰۰۱ بوده که شاخص خشکی آن ۷۷/۸= I_a درصد و کمترین شاخص خشکی مربوط به سال ۱۹۶۹ است که برابر ۵۵/۷= I_a درصد است.

جدول ۳، فراوانی و نوع وقوع پدیده خشکسالی را نشان می‌دهد. در مدت ۵۸ سال دوره مطالعه این منطقه ۵ بار با پدیده

نمودار ۴. شدت و نوسان خشکسالی در شهر شیراز



خشکسالی حاد مواجه شده است که بیشتر مربوط به سال ۲۰۰۰ به بعد است.

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

دوره / خشکسالی	ملایم	سخت	شدید	حاد
۱۹۵۱-۶۰	ـــــــــــ	۲ (۱۹۵۵-۵۸)	۱ (۱۹۵۹)	ـــــــــ
۱۹۶۱-۷۰	ـــــــــــ	۱ (۱۹۶۵)	۳ (۱۹۶۴.۶۶.۷۰)	ـــــــــ
۱۹۷۱-۸۰	۵ (۱۹۷۱.۷۲.۷۳.۷۴.۷۹)	۱ (۱۹۸۰)	ـــــــ	ـــــــــ
۱۹۸۱-۹۰	۱ (۱۹۸۹)	۴ (۱۹۸۵.۸۷.۸۸.۹۰)	۱ (۱۹۸۳)	ـــــــ
۱۹۹۱-۲۰۰۰	۳ (۹۷و ۹۴و ۱۹۹۲)	ـــــــ	۲ (۱۹۹۱.۹۳)	۳ (۱۹۹۸.۹۹.۲۰۰۰)
۲۰۰۱-۲۰۰۸	۵ (۲۰۰۲.۲۰۰۴.۲۰۰۵.۲۰۰۶.۲۰۰۷)	ـــــــ	۱ (۲۰۰۳)	۲ (۲۰۰۱.۲۰۰۸)

مأخذ: یافته‌های این پژوهش.

نتیجه‌گیری و ارائه پیشنهاد

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

منابع

Abounoori, A, A. (۱۹۸۸). Agricultural Development in Drought-Prone Areas of Iran,Ph.D.Thesis,Sub.S.V.Univ. In India.

Bates, C.G. (۱۹۲۵). Possibilities of shelter-belt planting in the plains region. ۲۰۱pp, US, Forest service.

Bagnouls, F. and Gaussen, H. (۱۹۵۷) Les Climate biologique et leur classiticatrion. Ann.Geograph.Vol.۶۶.No.۳۵۵, PP. ۱۹۳-۲۲۰.

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.

Hoyt, J.C. (۱۹۳۶). Droughts of ۱۹۳۰-۳۴, U.S.Geol. Survey Water Supply Paper, ۶۸۰, ۱۰۶-PP.

Holms, R.M. and Robertson, G.W. (۱۹۵۴). Amodulated Soil moisture budget. Mon. Weather Rev.۸۷, PP. ۱-۷.

Hershfield, D.M. Braken Siek, D.L., and Comer, G.H. (۱۹۷۲) Some Measure of Agricultural Drought. in "Floods and Droughts" ,Proc of the ۳rd Inter. Symp. In "Hydrology" (eds.) E.F. Schltz , V.A. Koelzer, and K.Mahmood, Fortcollins, Colorado, U.S.A, PP. ۴۹۱-۵۰۲.

Huschke, R.E. (۱۹۵۹). Glossary of American Meteorology. Amer.Met Soc., Boston, Mass.

Koppen, W. (۱۹۳۶). Das geographische system der klimate in Handbuch der klimatologie, Vol.۱, PartC, ed., W.Koppen and Geiger, Berlin, Gebruder Borntrager.

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.

Mather, J.R. (۱۹۷۴). Climatology, Fundamentals and application. MC Grew- Hill, p. ۱۶۷.

Met.off.,London,British Rainfall. (۱۹۳۵). Air Ministry, ۱۹۳۶, London.

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.

Office for coordination of Humanitarian Affairs (OCHA). (۲۰۰۰). United Nations Technical Misson on the Drought Situation in the Islamic Republic of Iran.

Palmer,W.C. (۱۹۵۶). Drought in Western Kansas. Weekly Weather and Crop Bull, U.S., W.B. Vol.۶۳,No.۷۴,PP.۷-۸۰.

Palmer, W.C. (۱۹۶۵) Meteorological droughts. Weather Bureau Research Paper No.۴۵, U.S.Dept. Of Commerce, Washington.D.C.Bur. P. ۵۸.

Penman, H.L. (۱۹۶۳). Vegetation and Hydrology. Commonwealth Bur. Soil. Sci, (Gt. Brit) Torch. Commune, ۵۳, P.۱۲۴.

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 Geophs. Vol.٢٥, No, ٢, PP.٣٩٣-٤٠٢.

Subrahmanyam, V.P.. (١٩٨٢). Water Balance and its Applications, Andhra Univ. India.

Subrahmanyam, V.P., and Sastri. C.V.S. (١٩٧٢). Studies in Drought climatology. in proc. Symp. On "Drought", Univ., Agril, Sciences, Hebbal, Bangalore, India, P. ٢٤.

Shantz, H.L. (١٩٢٧). Drought resistance and soil moisture. Ecol., Vol.٨, PP. ١٤٥-١٥٧.

Tannehill, I.R. (١٩٤٧). Drought- Its Causes and Effects. Princeton Univ., press, N.J.

Thornthwaite, C.W. (١٩٤٧) Climate and moisture Conservation. Annals of Assn. Amer-Geogr., Vol.٣٧, No.٢, PP.٨٧-١٠٠.

Thrnthwaite, C.W., and Mather J.R. (١٩٤٨) An Approach towards a Rational classification of climate. Geographical Review, Vol.٣٨, PP.٥٥-٩٤.

Thornthwaite, C.W., and Mather J.R. (١٩٥٥, ١٩٥٧). The Water Balance, Publications in climatology. Vol. ٨, No. ١, ١٩٥٥, Drexel Institute of Technology, Laboratory of climatology, Center ton, N.J., ١٠٤, PP, and Vol.١٠, No.٣, ١٩٥٧, ٢٤٤.PP.

Wilhite, D.A. (٢٠٠٥). Drought Water crises, Taylor and Francis Group, CRC, Press.PP.٤٣١.

Water- Balance and Agro- climatic Analysis in Shiraz Region, By Thornthwaite's methods

Abbas Ali Abounoori (Ph.D)[٤٠]

Abstract

Drought is a random characteristic of natural phenomena, brought about by the irregulardeficit or shortage of available water, affects injuriously the plant growth and reduces their yield. Drought does not begin when rain ceases but rather only when plant roots can no longer obtain soil moisture in needed amounts. To estimate the intensity and the frequency of droughts will help to reduce the injurious effect of drought. In this Study we used the water- budget methods and Thornthwaite's aridity index and its standard deviation for Shiraz during ١٩٥١-٢٠٠٩ to show the frequency and the intensity of drought effects in this place. During this period this station is faced ٣٥ times different type of droughts on that five time severe and from the years of ٢٠٠٠ its severity and intensity is increased. We also find out that every ten year this station will affect ٣ times severe type of drought. The most severe drought was the years ٢٠٠١,and it was repeated lower intensity in the year of ٢٠٠٨.

JEL Classification: Q٥٧, Q٥٤, Q٥١

Key words: *Drought, precipitation, potential Evapotranspiration, Water-Balance, Thorcthwaite's Method, soil storage.*

[٤٠]. Aabounoori @Yahoo.com