Downloaded from geographical-space.ahar.iau.ir at 18:56 IRST on Friday March 14th 2025

دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهر
فصلنامه‌ی علمی فضای جغرافیایی

سال نوزدهم، شماره‌ی ۶۶
تابستان ۱۳۹۸، صفحات ۲۸۹-۲۶۹

عباسعلی ابونوری[۱]

ارزیابی پدیده خشکسالی کشاورزی شهر تهران به روش موازنه آبی تورنت ویت

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱۰/۲۷ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۶/۱۱

چکیده

خشکسالی[۲] پدیده‌ای نامطمئن، غیرقابل‌پیش‌بینی، پدیده‌ای وخامت بار اقلیمی، متناوب و منطقه‌ای است که با ایجاد کمبود آب در هوا و خاک بر تولیدات و عملکرد محصولات کشاورزی و تولید برق در نیروگاه‌های برق آبی تأثیر گذاشته و با ایجاد قحطی و گرسنگی بر شرایط اقتصاد معیشتی بر شرایط رفاهی و بهداشتی جامعه نیز آسیب‌های جبران‌ناپذیری را وارد می‌کند. برآورد زمان وقوع و پیش‌بینی شدت و نوسانات وقوع این پدیده در جلوگیری از اصابت‌ها و تخریب‌های اقتصادی و اجتماعی از اهمیت زیادی برخوردار است. یک خشکسالی ملایم ولی طولانی مدت ممکن است بیشتر از یک خشکسالی کوتاه مدت و شدید، بر اقتصاد یک منطقه و یا یک کشور آسیب برساند. این تحقیق تلاش می‌کند تا با استفاده از روش موازنه طبیعی آبی تورنت ویت، وضعیت تعادل آبی ایستگاه سینوپتیک تهران را برای مدت ٦٧ سال (۲۰۱۷-۱۹۵۱ میلادی و یا ۱۳۹٦-۱۳۳۰ شمسی) متوالی را بررسی نموده و با برآورد تعداد دفعات وقوع خشکسالی، شدت آن‌ها را نیز اندازه‌گیری کند. با به‌کارگیری این روش نشان داده شده است که در هر دوره میزان کمبود و یا مازاد آب در چه ماه‌هایی از سال وجود داشته و با تعیین شاخص خشکی و انحراف معیار آن از میانگین متوسط، مشخص شده است که ایستگاه تهران در هر دهه حداقل یک بار مواجه با پدیده خشکسالی گردیده و از سال (۲۰۰۰) به بعد بر تعداد دفعات وقوع آن افزوده شده است. حادترین وقوع این پدیده مربوط به سال (۲۰۰۸) می‌باشد که پیش درآمدی بر بروز آلودگی گردو غبار شهر تهران در سال (۲۰۰۹-۲۰۱۰) میلادی بوده است.

کلید واژه‌ها: خشکسالی، تبخیر و تعرق بالقوه و بالفعل، موازنه آبی، شاخص خشکی، روش تورنت ویت.

۱- گروه اقتصاد نظری، دانشکده اقتصاد و حسابداری، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران مرکزی. E-mail:aabounoori@yahoo.com

2- Drought

Downloaded from geographical-space.ahar.iau.ir at 18:56 IRST on Friday March 14th 2025

مقدمه

کشور ایران در نوار ۳۵ درجه شمالی عرض جغرافیایی قرار گرفته و حدود ۸۹ و هفت دهم درصد از وسعتش در دسته سرزمین‌های خشک طبقه‌بندی می‌شود. در این شرایط اقلیمی بیش از ۸۵ درصد پتانسیل آبی کشور در بخش کشاورزی صرف می‌شود که راندمان آن تنها ۳۰ الی ۳۵ درصد است. بنابراین بخش کشاورزی کشور بیش‌ترین آسیب را از پدیده خشکسالی می‌بینند. به‌گونه‌ای که برای زراعت‌های دیم به ازای هر یک درصد کاهش نزولات آسمانی معادل ۱۰ درصد از میزان تولیدات محصولات زراعی کاسته می‌شود. در این کشور خشکسالی پدیده‌ای عادی و مستمر شرایط اقلیمی است. این پدیده با شدت و نوسانات متفاوت در اکثر مناطق جهان نیز رخ می‌دهد. اثرات وقوع این پدیده در مناطق خشک یعنی مناطق کم باران و کویری محسوس نبوده ولی در مناطق مرطوب، نیمه مرطوب و نیمه خشک یک بلای طبیعی محسوب می‌شود. وقوع این پدیده به تغییر پارامترهایی نظیر میزان بارندگی، درجه حرارت، شدت تبخیر و تعرق بالقوه و بالفعل، رطوبت و نوع خاک بستگی داشته که اصولاً از دیدگاه هیدرولوژیکی، کشاورزی و هواشناسی شدت و دامنه زمانی وقوع این پدیده مورد بررسی قرار می‌گیرد. از نظر کشاورزی شدت تأثیر این پدیده به مرحله رشد گیاهان در آن منطقه بستگی دارد، به‌گونه‌ای اگر رطوبت خاک و هوا در نتیجه وقوع این پدیده در دوره و یا دامنه بحرانی و دوره زمانی رشد گیاهان رخ دهد، حتی در کوتاه مدت نیز ممکن است تمامی محصولات کشاورزی آن منطقه آسیب برساند. به همین دلیل در بعضی از مناطق بر حسب نوع محصول و نوع خاک نیز می‌توان پدیده خشکسالی طبقه‌بندی نمود و اثرات آن‌ها مورد بررسی قرار داد.

بسیاری از محققان، در بررسی پدیده خشکسالی تنها از پارامترهایی نظیر میزان بارندگی و یا درجه حرارت استفاده می‌کنند، ولی در این تحقیق علاوه بر به‌کارگیری پارامترهای مزبور، پارامترهای دیگری مانند نوع خاک، رطوبت خاک، شرایط گیاهی و اقلیمی محیط و شدت تبخیر و تعرق سازگار و ناسازگار بالقوه و بالفعل محیط که اصولاً در تحلیل خشکسالی کشاورزی از مهم‌ترین عوامل محسوب می‌شوند استفاده شده است. البته تشخیص و مقابله با این پدیده به مدیریت ریسک پروژه ها و میزان بودجه‌ای که توسط دولت برای مقابله با این پدیده در نظر گرفته می‌شود، بستگی دارد. زیرا اثرات وقوع این پدیده علاوه بر این‌که اثرات فیزیولوژیکی، ساختاری و اقلیمی ایجاد می‌کند، بلکه ممکن است اثرات اقتصادی و اجتماعی آن مخرب‌تر باشد، زیرا با ایجاد کمبود آب، شرایط اقتصادی و بومی هر منطقه تحت تأثیر قرار گرفته و از نظر اجتماعی و رفاهی نیز زمینه مهاجرت گسترده انسان‌ها و سایر جانداران با ایجاد اثرات بیولوژیکی باعث کاهش کیفیت آب‌های جاری، شرایط بهداشتی و شرایط زیست‌محیطی را تغییر می دهد.

اگر بخواهیم عملاً پدیده خشکسالی را بررسی کنیم ابتدا لازم است دامنه زمان وقوع و خاتمه آن را برآورد نموده و سپس درجه و یا شدت تأثیرگذاری آن را نیز مورد مطالعه قرار دهیم. زمان شروع وقوع این پدیده را می‌توان با ابراز انحراف معیار از میانگین میزان بارندگی و یا سایر متغیرهای اقلیمی در طول یک دوره زمانی مثلاً دوره ۳۰ ساله بررسی نمود. از نظر هواشناسی، خشکسالی عبارت از کاهش شدید میزان بارندگی و یا نزولات جوی در یک دوره

Downloaded from geographical-space.ahar.iau.ir at 18:56 IRST on Friday March 14th 2025

زمانی معین است. این پدیده از نظر موقعیت جغرافیایی و از نظر شرایط جوی هر منطقه با منطقه دیگر و یا از یک فصل به فصل دیگر متفاوت است. زیرا نمی‌توان ضریب حاصل در یک منطقه را به کل یک کشور و یا به مناطق دیگر عمومیت داد. این تعریف برای مناطقی که دارای سیستم بارندگی ادواری هستند مانند جنگل‌های استوایی، اقلیم معتدل نیمه حاره یا اقلیم مرطوب عرض‌های میانی می‌باشند مناسب است. در عین حال تعریفی مبتنی بر تعداد روزهایی با بارش کم‌تر از یک حد آستانه‌ای و یا کم‌تر از درصد متوسط انحراف میانگین بارندگی غیرواقعی به نظر می‌رسد، زیرا در سایر تعاریف رابطه‌ای میان میزان انحراف واقعی بارش به مقادیر متوسطه ماهانه، فصلی و یا سالانه برقرار می‌شود. خشکسالی هیدرولوژیکی به دوره‌ای اطلاق می‌شود که کاهش ریزش‌های جوی (از جمله برف و تگرگ) بر منابع تأمین آب‌های زیرزمینی یا سطحی یعنی جریان رودخانه‌ها، مخازن، دریاچه‌ها و .... تأثیر قابل ملاحظه‌ای بگذارد. خشکسالی کشاورزی اثرات ویژگی‌های مختلف هواشناسی یا هیدرولوژیکی، خشکسالی را به این پدیده کشاورزی تبدیل می‌کند که باعث کاهش میزان بارندگی، افت سطح آب‌های زیرزمینی یا مخازن مرتبط با آن گردیده و اختلاف بین تبخیر و تعرق واقعی و پتانسیل باعث کمبود رطوبت خاک و یا تخلیه شدید رطوبت خاک و هوا گردد. نیاز آبی گیاه به شرایط جوی غالب، خصوصیات زیستی گیاهان خاص مراحل رشد آن‌ها به‌ویژه خصوصیات فیزیولوژیکی و بیولوژیکی خاک باعث می‌شود که بر حسب میزان تأثیرگذاری پدیده خشکسالی بر رشد و عملکرد گیاهان در مراحل مختلف نمو اندازه‌گیری شود.

بنابراین، در این تحقیق علاوه بر پارامترهای هواشناسی عوامل نوع خاک، رطوبت خاک، نوع محصول، شرایط گیاهان در طی فصل رشد و یا دوره بحرانی آن‌ها و اثرات آن‌ها بر عملکرد محصولات کشاورزی نیز در نظر گرفته می‌شود ولو آن‌که عواقب مخرب خشکسالی کشاورزی، خشکسالی اقتصادی و اجتماعی را نیز در پی داشته و باعث کمبود عرضه کالاهایی می‌شوند که به شدت به میزان بارندگی بستگی دارند.

Hoyt (1936) می‌گوید، در شرایط آب‌وهوایی مرطوب و نیمه‌خشک، پدیده خشکسالی زمانی رخ می‌دهد که میزان بارندگی و نزولات آسمانی سالیانه کم‌تر از ۸۵ درصد میزان میانگین سالیانه آن باشد. در عین حال که تأثیر این پدیده به شرایط اقلیمی منطقه و نوع فعالیت منطقه‌ای نیز بستگی دارد.

Foley (1957: 4) معتقد است خشکسالی به دوره‌ای اطلاق می‌شود که میزان بارندگی طی ماه‌ها و یا مهر و موم‌ها تا آن اندازه کاهش یابد که محصولات کشاورزی، مراتع و یا چراگاه‌ها به‌طور جدی صدمه و آسیب دیده، عرضه آب مخازن به منظور آبیاری به‌شدت کاهش یافته و تعداد قابل ملاحظه‌ای از دام‌ها از گرسنگی و تشنگی تلف شوند. Thornthwaite (1947: 88) می‌گوید که قطع کامل و یا متناوب میزان بارندگی در یک دوره خاص نشان دهنده خشکسالی نیست. وی معتقد است که پدیده خشکسالی به دوره‌ای از خشکی و یا نیازمندی به بارندگی و عرضه آب اطلاق می‌شود که رشد نباتات و گیاهان زراعی در آن دوره در نتیجه کاهش رطوبت خاک آسیب ببینند. به عقیده وی پدیده خشکسالی در شرایطی به یک منطقه آسیب می‌رساند که میزان آب مورد نیاز (تقاضای آب) برای تبخیر و تعرق توسط خاک و هوا، کم‌تر از مقدار آب موجود (عرضه آب) باشد؛ به بیان دیگر، پدیده خشکسالی زمانی بر

Downloaded from geographical-space.ahar.iau.ir at 18:56 IRST on Friday March 14th 2025

اوضاع خودنمایی می‌کند که میزان نزولات آسمانی کافی نبوده و از نظر بیولوژیکی و فیزیولوژیکی، شرایط زندگی انسان‌ها و سایر جانداران منطقه را تحت تأثیر قرار دهد.

Palme (1945) بین خشکی موقتی و یا غیر دائم و خشکسالی واقعی تفاوت قائل است؛ اولی شامل چند هفته کاهش بارندگی و یا قطع کامل آن است، ولی دومی مربوط به شرایطی اطلاق است، که میزان بارندگی و نزولات آسمانی در یک دوره نسبی ولی به‌طور مستمر کاهش یافته و نه این‌که کاملا قطع شود. ولی خشکی موقتی را خشکسالی نمی نامد، مگر این‌که این پدیده در حدی باشد که با کاهش رطوبت به‌طور جدی بر تأسیسات اقتصادی آن منطقه آسیب برساند. بنابراین به عقیده پالمر، خشکسالی عموماً به دوره‌ای از زمان اصولاً ماه‌ها و یا سال‌های مستمر و یا طولانی اطلاق می‌شود که در آن دوره عرضه و یا ذخیره رطوبت موجود مورد نظر، به‌طور قابل ملاحظه‌ای نسبت به شرایط جوی و اقلیمی رطوبت از حد مطلوب و طبیعی آن کم‌تر گردد.

Heathcote (1967: 27) می‌گوید احتمالاً به تعداد روش‌هایی که بتوان از آب استفاده نمود می‌توان پدیده خشکسالی را تعریف نمود. وی معتقد است که هر کمبود آب را نمی‌توان خشکسالی نامید، به‌گونه‌ای که اگر این کمبود میزان آب موجود، باعث بروز مشکلات اقتصادی نشود. همچنان که پدیده خشکسالی بر سه کاربران اصلی آب یعنی گیاهان، جانوران و انسان‌ها تأثیر متفاوتی را ایجاد می‌کند، شدت تأثیر کمبود آب نیز از نظر اقتصادی متفاوت خواهد بود، زیرا پدیده خشکسالی با خشکاندن چراگاه‌ها، علفزارها مراتع باعث گرسنه ماندن و کشته شدن احشام و رمه‌ها می‌شود؛ که با ایجاد قحطی و گرسنگی و تشنگی گیاهان، جانوران و انسان‌ها شده و از نظر ساختاری و نوع این پدیده، باعث نابودی و تلف شدن بیشه‌زارها، بوته‌زارها، جنگل‌ها نیز می‌شود. بنابراین لازم است شدت کمبود آب در بعد زمان و مکان با توجه به نوع گیاهان، جانوران و شرایط فعالیت کشاورزی و اقتصادی مردم بومی هر منطقه مورد ارزیابی و اندازه‌گیری قرار گیرد.

بالاخره، James & Galleghar (1968: 13) معتقدند که پدیده خشکسالی را نمی‌توان از نظر کمی و یا با معیارهای کمی تعریف و اندازه‌گیری نمود، که همه محققان آن را به‌طور یکسان پذیرا باشند، در عین حال وی پدیده خشکسالی را یک پدیده اقتصادی می‌داند که باعث نابودی زراعت و فعالیت کشاورزی می‌شود. همچنین این پدیده از نظر خشکی و شدت آسیب‌رسانی آن نیز در فصول سال و یا در فصول مرطوب و خشک نیز متفاوت است به‌گونه‌ای که اثرات اقتصادی و اجتماعی آن نیز متفاوت خواهد بود.

- i- خشکسالی هواشناسی[۳]

مهم‌ترین پارامتر اندازه‌گیری و تعریف خشکسالی هواشناسی، انحراف معیار واقعی زمان بارندگی، در مقایسه با درصد میانگین بارش موجود دریک دوره معین، ماه، فصل و یا سال است. بر اساس نظریه Henry (1906) خشکسالی هواشناسی زمانی رخ می‌دهد که در یک دوره زمانی و در فصل بارندگی، معادل ۲۱ روز متوالی باران نبارد و یا میزان بارندگی در این دوره کم‌تر از ۳۰ درصد میانگین متوسط در منطقه مورد نظر در همین دوره زمانی

3- Meteorological Drought

Downloaded from geographical-space.ahar.iau.ir at 18:56 IRST on Friday March 14th 2025

باشد. به بیان دیگر، وقوع پدیده خشکسالی وخیم و یا مفرط زمانی رخ می‌دهد که برای مدت ۲۱ روز و یا بیش‌تر میزان بارندگی کم‌تر از ده درصد مقدار زمان آن در منطقه بوده و یا اگر در این منطقه برای مدت ۲۱ روز و یا بیش‌تر میزان بارندگی کم‌تر از ۳۰ درصد میانگین متوسط باشد، شرایط خشکسالی بر آن منطقه غالب خواهد شد.

- ii- خشکسالی هیدرولوژیکی[4]

خشکسالی هیدرولوژیکی زمانی رخ می‌دهد که خشکسالی هواشناسی استمرار یافته و میزان بارندگی در یک دوره طولانی بسیار کم‌تر از حد نرمال و طبیعی آن در آن منطقه باشد. در این شرایط آب‌های سطحی و زیرزمینی از حد نرمال کم‌تر شده و امکان بهره‌برداری حد مجاز از این مخازن نیز جهت آبیاری و تأمین آب برای نیروگاه‌های برق آبی وجود نخواهد داشت. در مرحله اولیه با محاسبه سرعت دبی[5] آب‌های جاری کم‌تر از حد نرمال در یک دوره مشخص برای رودخانه‌های جاری شاید بتوان میزان و یا شدت خشکسالی هیدرولوژیکی را اندازه‌گیری کرد (Kernan,2003:292). از نظر Yevjevich (1967) خشکسالی هیدرولوژیکی در نتیجه کاهش شدید ذخایر، مخازن آب‌های سطحی در روی زمین، و یا کاهش مؤثر نزولات آسمانی، جریان آب‌ها و کاهش ذخایر آب‌های که به هر نحوی در مخازن سطحی و یا زیرزمینی ذخیره شده‌اند باشد.

همچنان که خشکسالی هیدرولوژیکی به طول و یا دوره زمانی، وسعت مکانی، شدت و احتمال بازگشت به شرایط اولیه بستگی دارد؛ بلکه علت اساسی وقوع این خشکسالی، به کافی نبودن نزولات آسمانی در یک دوره طولانی بستگی خواهد داشت. در چنین شرایطی برداشت بیش از حد مجاز سفره‌های زیرزمینی، تخریب سازه‌های آبی به‌خصوص چاه‌ها و قنوات می‌گردد. خشکسالی هیدرولوژیکی اصولاً در مناطقی رخ می‌دهد که به‌طور طبیعی از نظر آب‌وهوایی به مناطق مرطوب و نیمه مرطوب طبقه‌بندی شده باشند.

- iii- خشکسالی کشاورزی[6]

معیار اندازه‌گیری و مشخصه خشکسالی کشاورزی میزان تغییرات حاصله از رطوبت خاک و هوا در نتیجه تغییر در میزان بارندگی در فصل رشد و نمو گیاهان و نباتات در مرحله بلوغ و خوشه‌دهی می‌باشد که با ایجاد اثرات بیولوژیکی باعث کاهش تولید، عملکرد و کیفیت محصولات کشاورزی و تولیدات دامی می‌گردد. کاهش رطوبت خاک و هوا باعث صدمه و آسیب محصولات کشاورزی شده و یا محصولات با پژمردگی و کیفیت پایین رشد می‌یابند که باعث افزایش آفت‌های نباتی نیز می‌گردد. بسیاری از متخصصان علم کشاورزی، شاخص پالمر را برای اندازه‌گیری شدت تأثیر پدیده خشکسالی کشاورزی به‌کار می‌برند، این شاخص تابعی از میزان بارندگی و سایر متغیرهای هیدرولوژیکی است. بر طبق نظریه Palmer (1945) خشکسالی کشاورزی عبارت است از کاهش یک

4- Hydrological Drought
5- Debi
6- Agricultural Drought

Downloaded from geographical-space.ahar.iau.ir at 18:56 IRST on Friday March 14th 2025

دوره طولانی مدت و غیرنرمال رطوبت موجود در خاک می‌باشد، به‌گونه‌ای که این رطوبت تا آن اندازه کافی نباشد که بتواند نیاز غذائی گیاهان و نباتات در منطقه را تأمین نماید. بنابراین خشکسالی کشاورزی در هر منطقه را می‌توان با اندازه‌گیری تغییرات رطوبت خاک و هوا در دوران رشد و بلوغ گیاهان مورد بررسی قرار داد.

Thornth waite (1947: 88) نیز معتقد است که هر نوع کاهش نزولات آسمانی در صورتی منجر به پدیده خشکسالی کشاورزی می‌گردد که ریشه گیاهان و نباتات را قادر نسازد که رطوبت مورد نیاز خود را از خاک جذب نمایند و خاک کشاورزی قادر نباشد رطوبت از دست رفته خود را مجدداً جذب نماید، که در این صورت نرخ جذب رطوبت خاک کم‌تر از نرخ از دست دادن آن می‌گردد.

Heathcoat (1974) نیز تشخیص داده است خشکسالی کشاورزی به کاهش میزان آبی اطلاق می‌گردد که فعالیت کشت و زرع کشاورزان را آسیب رسانده عمل و عکس‌العمل متقابل بین عرضه و تقاضای آب را در منطقه نامتعادل گرداند. زیرا در فعالیت کشاورزی، کشاورزان، نباتات و گیاهان منطقه به‌عنوان تقاضا کننده آب و پیامدهای پدیده طبیعی به‌عنوان عرضه کننده آب می‌باشند که در صورتی که کاهش عرضه آب و یا کمبود حجم و کیفیت آب مورد نیاز رشد گیاهان و حیات جانوران را تهدید می‌کند. البته رطوبت موجود در خاک به میزان آب موجود در منافذ داخل خاک بستگی داشته که برحسب نوع خاک این‌که رسی، رسوبی و یا شنی باشد متفاوت خواهد بود. بنابراین مهم‌ترین پارامتر بررسی پدیده خشکسالی کشاورزی میزان بارندگی، اختلاف بین نرخ تبخیر و تعرق بالقوه و بالفعل نزولات آسمانی و ظرفیت نفوذ آب در خاک می‌باشد و اساس وقوع پدیده خشکسالی کشاورزی به خشکسالی هیدرولوژیکی و هواشناسی مربوط می‌شود. در این تحقیق عرضه و تقاضای آب بر اساس توازن آبی تورنت ویت به منظور تحلیل خشکسالی کشاورزی استفاده شده است. با استفاده از روش موازنه آبی (Thornthwaite, 1957) و روش اصلاح شده آن توسط سوبر منییم (Subrahamanyan, 1982) نوسانات واقعی و طبیعی بودجه آبی یعنی عرضه و تقاضای آب در ایستگاه سینوپتیک تهران مورد بررسی قرار گرفته است تا بر اساس آن بتوان بروز پدیده خشکسالی، شدت و نوسانات آن نیز مورد ارزیابی قرار گیرد. البته هدف اساسی این تحقیق تنها معرفی روش به‌کارگیری موازنه یا بودجه آبی است تا نحوه بررسی تعداد دفعات و شدت و نوسانات پدیده خشکسالی در یک منطقه مورد ارزیابی قرار گیرد.

هدف و فرضیه این تحقیق نیز این است که: «شدت وحدت وقوع پدیده خشکسالی در منطقه منتخب شهر تهران رو به افزایش است». یکی از اساسی‌ترین محدودیت این تحقیق عدم ارایه اطلاعات مورد نیاز توسط IMO برای سال‌های اخیر می‌باشد.

مواد و روش‌ها

در این تحقیق با توجه به اطلاعات و آمارهای موجود سری‌های زمانی، پس از ارزیابی روش‌های متعددی نظیر روش تورنت‌ویت (۱۹٤۸)؛ (Penman & Palmer, 1956؛ Nagana et al., 1979) روش اصلاح شده (Abounoori,

Downloaded from geographical-space.ahar.iau.ir at 18:56 IRST on Friday March 14th 2025

1988؛ Thornthwaite, 1949) انتخاب شده است به‌طور خلاصه روش‌های تحلیلی موجود را می‌توان به شرح زیر طبقه‌بندی نمود:

i-روش آماری

در این روش از اطلاعات و آمارهای موجود میزان بارندگی و یا نزولات آسمانی در هر منطقه استفاده می‌شود که با مقایسه انحراف معیار واقعی میزان بارندگی و درصد متوسط آن در یک دوره خاص (ماه، فصل و یا سال)، شدت و دفعات وقوع پدیده خشکسالی ارزیابی و اندازه‌گیری می‌شود.

در این زمینه Ramdas (1960) در تحلیل پدیده خشکسالی از انحراف میانگین بارندگی سالیانه استفاده نموده است، وی نتیجه می‌گیرد که پدیده خشکسالی به شرایطی اطلاق می‌شود که میزان بارندگی واقعی فصل بیش‌تر از دو برابر میزان انحراف میانگین آن کاهش یابد (Abounoori,1988: 28).

ii-روش غیر آماری

در این روش نیز که یک روش کمی است از پارامترهای درجه حرارت، میزان رطوبت هوا و مقدار نزولات آسمانی در هر منطقه استفاده می‌شود. Knochenbauer (1937) با به‌کارگیری مشاهدات درجه حرارت روزانه و اندازه رطوبت هوا در بعدازظهرها پدیده خشکسالی را تعریف می‌کند. وی معتقد است که اگر به‌طور ناگهانی درجه حرارت به میزان سه تا چهار درجه سانتی‌گراد در گرم‌ترین شرایط دمایی باشد پدیده خشکسالی رخ داده است که البته این یک خشکسالی هواشناسی است که آن را هجوم خشکی[۷] می‌نامند.

iii- روش موازنه آبی

در این روش علاوه بر پارامتر میزان نزولات آسمانی و درجه حرارت، از مقدار موجودی آب و میزان رطوبت زمین و خاک نیز استفاده می‌شود. این روش توسط تورنت ویت و دیگران معرفی شده است در این تحقیق از روش اصلاح شده تورنت ویت در تجزیه‌وتحلیل خشکسالی کشاورزی استفاده می‌شود (Abounoori,1988: 32).

با وجود آن‌که تکنیک آماری دارای ماهیت کمی است ولی نمی‌توان از نظر محیطی و شرایط جوی نتایج و ضرایب حاصل از به‌کارگیری این روش را برای سایر مناطق که دارای آب‌وهوای متفاوتی می‌باشند به‌طور یکسان به‌کار برد. در تحلیل‌های غیر آماری نیز با به‌کارگیری پارامترهای درجه حرارت و میزان نزولات آسمانی نسبت به روش آماری از عمومیت بیش‌تری برخوردار است. در روش موازنه آبی که از پارامترهای متعدد اقلیمی نظیر میزان بارندگی، درجه حرارت رطوبت خاک و تبخیر و تعرق بالفعل و بالقوه استفاده می‌شود، نتایج حاصل رامی‌توان به نسبت بیش‌تری در شرایط آب‌وهوایی یکسان به‌کار برد. در این روش شاخص رطوبت خاک، خشکی و تشنگی خاک و هوا از اهمیت زیادی برخوردار است. Thornthwaite (1949) با اصلاح این روش در تحلیل پدیده خشکسالی کشاورزی نتیجه می

7- Dry spell

Downloaded from geographical-space.ahar.iau.ir at 18:56 IRST on Friday March 14th 2025

گیرد که رطوبت خاک و هوا که بر حیات گیاهان و نباتات تأثیر مستقیم دارند لازم است در تعادل آبی هر منطقه در نظر گرفته شود. تولیدات کشاورزی در هر منطقه کاملاً تحت پوشش موازنه آبی که به عرضه آب (نزولات آسمانی) و تقاضای آب (تبخیر و تعرق) قرار دارد بر رطوبت خاک هر منطقه نیز تأثیر می‌گذارد. زیرا خاک به‌عنوان انبار و مخزن رطوبت و غذای گیاهان در هر منطقه محسوب می‌شود (Jaiswal & Kolte, 1981). از نظر ساختاری، غلظت و تراکم خاک در جذب رطوبت به‌عنوان مهم‌ترین متغیر بودجه آبی در نظر گرفته می‌شود. در روش اصلاح شده تورنت‌ویت که توسط Subrahmanyam & Subramanien (1964) نیز به‌کار گرفته شده است، شاخص خشکی (I_a) حاصل از روش بودجه آبی به منظور تجزیه‌وتحلیل پدیده خشکسالی به‌کار گرفته شده است.

در این تحقیق آمارهای مورد نیاز از منابع اولیه و ثانویه موجود در بولتن‌های دولتی سازمان هواشناسی کل کشور ایران (Iran Meteorological Organization, IMO, 2018) استخراج شده است. از این بولتن‌ها برای ایستگاه سینوپتیک تهران، متوسط میزان بارندگی ماهیانه و درجه حرارت برای دوره‌های (۲۰۱۷-۱۹۵۱) میلادی برای ٦٧ سال انتخاب شده و سایر محاسبات توسط محقق انجام شده است. با به‌کارگیری روش موازنه آبی از متغیرهای اقلیمی نظیر میزان نزولات آسمانی، تبخیر و تعرق بالقوه و بالفعل سازگار و ناسازگار، رطوبت خاک، نوع خاک و میزان حداکثر ذخیره‌سازی خاک و ساختار فیزیولوژیکی و بیولوژیکی خاک منطقه در نظر گرفته شده است. در این تحقیق تلاش گردیده است علاوه بر تشریح نحوه به‌کارگیری روش بودجه آبی به یک سئوال پاسخ داده شده و یک فرضیه نیز مورد تجزیه‌وتحلیل قرار گیرد. سؤال اساسی این تحقیق این است که آیا امکان برآورد وقوع پدیده خشکسالی در منطقه مورد نظر وجود دارد؟ فرضیه این تحقیق نیز این است که: «شدت وحدت وقوع پدیده خشکسالی در منطقه منتخب شهر تهران رو به افزایش است».

با توجه به روش‌های متنوع در تحلیل پدیده خشکسالی، روش کوپن و روش تورنت‌ویت از کاربرد بیش‌تری برخوردار است که در این تحقیق از روش جدیدتر بودجه آبی اصلاح شده توسط تورنت‌ویت استفاده شده است. (Abounoori, 1988: 54). تورنت‌ویت در آخرین روش با تأکید بر عامل میزان رطوبت خاک و هوا و شرایط آب‌وهوایی مورد نیاز هر منطقه و یا تقاضای آب مورد نیاز در آن منطقه که آن را فعل‌وانفعالات تبخیر و تعرق[8] (PE) نامیده است و کاربرد آن را در تحلیل شاخص رطوبت (I_m) هر منطقه به منظور طبقه‌بندی شرایط آب‌وهوایی مورد استفاده قرار داده است (Abounoori, 1988: 55). او با مقایسه شرایط طبیعی آب‌وهوای مورد نیاز به منظور تأمین تقاضای آب یا عرضه آب مورد نیاز و یا میزان نزولات آسمانی در یک دوره معین (روز، ماه، فصل ....) در ایجاد توازن آبی هر منطقه که در ایجاد شرایط رطوبت آب‌وهوای منطقه تأثیر می‌گذارد استفاده شده است. تورنت‌ویت معتقد است که بین میانگین ماهیانه دمای هوا (T)[9] و فعل و انفعالات تبخیر و تعرق بالقوه (PE) ارتباط نزدیکی وجود دارد. از آنجایی که به‌طور عادی نمی‌توان مقدار دقیق PE را در هر منطقه تعیین نمود، با استفاده از روش اولیه تورنت ویت فرمول عمومی تعیین PE به شرح زیر می‌باشد.

8- Potential Evapotranspiration= PE
9- Temperature

Downloaded from geographical-space.ahar.iau.ir at 18:56 IRST on Friday March 14th 2025

$$PE^*(Cm/month) = 1.6\left(\frac{10T}{I}\right)^a$$

که در آن:

PE^*= فعل و انفعالات تبخیر و تعرق بالقوه ناسازگار ماهیانه به سانتی‌متر بر پایه ۱۲ ساعت روزانه و ۳۰ روز ماه می باشد که به‌منظور 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:

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

جایی‌که:

T= میانگین ماهیانه دمای هوا برحسب سانتی گراد، C°؛

I= شاخص حرارت و یا دمای سالیانه برای هر ایستگاه هواشناسی می‌باشد که با جمع ارزش ۱۲ ماه در سال می‌باشد، 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 و یا از یک دوره به دوره دیگر متفاوت بوده و یک رابطه غیرخطی از شاخص حرارت می‌باشد که به‌طور تقریبی به شکل زیر تعریف می‌شود.

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

بنابراین، معادله تورنت ویت یک رابطه Log-Log بین PE^* در مقابل T می‌باشد که خط مستقیمی است در دامنه $(PE^* = 13.5, T = 26.5), (PE^* = 1.6T\frac{I}{10})$ ترسیم می‌شود. همچنان که تورنت‌ویت اظهار داشته است، این معادله کاملاً از یک ظرافت روابط ریاضی مبرابوده و پیچیدگی آن باعث می شود که بدون به‌کارگیری جدول و منوگرام امکان محاسبه جزء به جزء وجود ندارد.

جدول نحوه محاسبه PE و همچنین جزئیات محاسبه موازنه آبی در مباحث بعدی خواهد آمد.

بنابراین تورنت ویت به منظور طبقه‌بندی شرایط آب و هوائی روش فوق را با اصلاحات و اضافات به روش موازنه آبی تبدیل نموده و علاوه بر پارامتر میزان انرژی مقدار رطوبت خاک و هوا نیز به‌کار گرفته شده است که در آن انرژی بر اساس معیار PE و رطوبت نیز بر اساس شاخص رطوبت (I_m) هر منطقه اندازه‌گیری می‌شود.

به بیان دیگر در سال (Thornthwaite & Mather, 1957) روش (۱۹٤۸) تورنت‌ویت را اصلاح نموده و شاخص‌های جدید دیگری نیز به روش موازنه آبی اضافه نموده‌اند. شاخص‌هایی که به‌عنوان ابزارهای محاسباتی روش موازنه آبی به‌کار گرفته شده است به شرح زیر می‌باشد:

Downloaded from geographical-space.ahar.iau.ir at 18:56 IRST on Friday March 14th 2025

I_a= شاخص خشکی[۱۰]، عبارت است از درصد نسبت میزان کل کمبود سالیانه آب (WD)[۱۱] به مقدار کل آب مورد نیاز سالیانه (WN)[۱۲] از فعل و انفعالات تبخیر بالقوه (PE)، یعنی:

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

I_h= شاخص رطوبت[۱۳] عبارت است از درصد نسبت میزان کل ذخیره سالیانه آب (WS)[۱۴] 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 نمناکی (خالص)[۱۵]، عبارت است از تفاوت بین I_h و I_a به شکل زیر می‌باشد؛

$$I_m = I_h - .6I_a$$

در اینجا شاخص نمناکی تجدید نظر شده یا اصلاح شده تورنت‌ویت و مادر به شکل زیر می‌باشد:

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

که در آن:

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

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

و یا:

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

در این رابطه اگر P دقیقاً برابر با PE باشد در تمامی مراحل، آب مورد نیاز با آب موجود در منطقه برای می‌باشد که در این دوره نه کمبود و نه مازاد آب وجود دارد و شرایط آب‌وهوائی نه مرطوب است و نه خشک. همچنین اگر

10- Aridity Index
11- Water Deficit= WD
12- Water Need= WN
13- Humidity Index
14- Water Surplus = WS
15- Moisture Index

Downloaded from geographical-space.ahar.iau.ir at 18:56 IRST on Friday March 14th 2025

کمبود آب نسبت به PE بیش‌تر گردد، شرایط آب‌وهوایی خشک تر شده و اگر مازاد آب نیز بیش‌تر گردد، شرایط آب‌وهوایی مرطوب‌تر می‌شود.

یافته‌ها و بحث

نظریه بودجه 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 مورد نظر بر پایه آنالیز ترکیبی توازن نهاده (درآمد یا عرضه)، ستاده (خروجی یا نیاز) 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 تبخیر ذخیره آب و آب‌های جاری تغییر می کند. به منظور تعیین پروسه موازنه طبیعی آبی لازم است متوسط ماهیانه عرضه آب (P، نزولات آسمانی) و درجه حرارت (T) و تقاضای طبیعی آب (PE) تبخیر و تعرق بالقوه برای ایستگاه مورد نظر یعنی تهران از سازمان هواشناسی کل کشور ایران (IMO) جمع‌آوری و محاسبه گردد.

جدول (۱) مراحل مختلف محاسبه توازن آبی را برای ایستگاه سینوپتیک تهران برای سال منتخب (۱۹۸۰) میلادی نشان می‌دهد.[۱۶] تهران در طول و عرض جغرافیائی $51^{\circ},19'$ و $35^{\circ},41'$ واقع گردیده (Fallahi & Mohammdi, 2018: 280) و بر اساس روابط زیر[۱۷]، ظرفیت ذخیره‌سازی آب در آن منطقه معادل ۲۰۰ میلی‌متر آورده شده است (Subrahmanyam,1982). البته عمق خاک ممکن است بین چند میلی‌متر در سطح خاک‌های سنتی تا ٤۰۰ میلی‌متر در خاک‌های عمیق رسوبی و رسی تغییر کرده و در خاک‌های سنتی ممکن است ریشه گیاهان عمیق‌تر از خاک‌های رسوبی و یا رسی باشد که در این صورت نفوذ آب جبران می‌شود. تورنت‌ویت و مادر[۱۸] با افزایش ظرفیت رطوبتی که در خاک نگهداری می‌شود را از ۱۰۰ میلی‌متر تا ٤۰۰ میلی‌متر بر اساس رابطه توانی کاهشی رطوبت خاک طی دوران خشک آب‌وهوایی به شکل زیر تعریف می‌کنند، که در آن:

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

S= میزان ظرفیت ذخیره‌سازی آب

F= ظرفیت موجود خاک

A= تمامی آب بالقوه که خاک از دست خواهد داد که برابر با PE-P و یا [(P-PE)-] طی دوره‌های متوالی

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

۱٦- مراحل محاسبه توازن آبی برای ٦٤سال متوالی یعنی ۲۰۱۵-۱۹۵۱ میلادی برای هر سال به‌طور مجزا محاسبه شده تا شاخص خشکی I_a بر آن سال تعیین گردد.

۱۷- تعیین ظرفیت خاک به کمک فرمول متن و به کمک اطلاعات منبع سوبرمنییم (V.P.Subrahmanyam,1982) برآورده شده است.

۱۸- همان منبع

Downloaded from geographical-space.ahar.iau.ir at 18:56 IRST on Friday March 14th 2025

جدول ۱- موازنه آبی ایستگاه تهران برای سال نرمال ۱۹۸۰

Table 1- Water balance for Tehran station: Normal year 1980

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°	۱/۹	۳/۵	۱۰/٦	۱۸/٦	۲۲/۹	۲۸	۳۱/٦	۳۰/۱	۲۵/٤	۱۸	۱۲/۷	۷/۹	۱۷/٦
i	۰/۲۳	۰/۵۸	۳/۱۲	۷/۳۱	۱۰/۰۱	۱۳/۵۸	۱٦/۳	۱۵/۱۵	۱۱/۷۱	٦/۹۵	٤/۱	۲	۱۹/۰٤
UPE	۰/۱	۲/٤	۲۱/۷	٦٦/۵	۱۰۰/۷	۱۵۰/۳	۱۹۱/٤	۱۷۳/۷	۱۲۳/۸	٦۲/۳	۳۱/۷	۱۲/۱	
APE	۰/۱	۲	۲۲/٤	۷۲/۵	۱۲۱/۸	۱۸۱/۹	۲۳۵/٤	۲۰۱/۵	۱۲۷/۵	٦۰/٤	۲۷/۳	۱۰/۳	۱۰٦۳/۱
P	٤۷/۹	٦۸/۳	٤۳/۷	۲۳/۹	۳/۵	۰/۲	۰	۰	۰	٤/۵	۲۲/۵	۲۰/۲	۲۳٤/۷
P-PE	٤۷/۸	٦٦/۳	۲۱/۳	-٤۸/٦	-۱۱۸/۳	-۱۸۱/۷	-۲۳۵/٤	-۲۰۱/۵	-۱۲۷/۵	-۵۵/۹	-٤/۸	۹/۹	-۸۲۸/٤
APWL				-٤۸/٦	-۱٦٦/۹	-۳٤۸/٦	-۵۸٤	-۷۸۵/۵	-۹۱۳	-۹٦۸/۹	-۹۳۷/۷		
St.	۲۰۰	۲۰۰	۲۰۰	۱۵٦	۸٦	۳٤	۱۰	٤	۲	۲	۲	۱۱/۹	
$\Delta St.$	/۱ ۱۸۸	۰	۰	-٤٤	-۷۰	-۵۲	-۲٤	-٦	-۲	۰	۰	۹/۹	
AE	۰/۱	۲	۲۲/٤	٦۷/۹	۷۳/۵	۵۲/۲	۲٤	٦	۲	٤/۵	۲۲/۵	۱۰/۳	۲۸۷/٤
WD	۰	۰	۰	٤/٦	٤۸/۳	۱۲۹/۷	۲۱۱/٤	۱۹۵/۵	۱۲۵/۵	۵۵/۹	٤/۸	۰	۷۷۵/۷
WS	٤۷/۸	٦٦/۳	۲۱/۳	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱۳۵/٤

تمامی ارزش‌های جدول (۱) بر حسب میلی‌متر و درجه حرارت بر حسب سانتی گراد می‌باشد.

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 ΔS_t = تغییر در ظرفیت ذخیره‌سازی آب توسط خاک، AE= تبخیر و تعرق واقعی یا طبیعی محیطی، WD = کمبود آب (یا کمبود رطوبت) و WS = مازاد آب (یا مازاد رطوبت) می باشند.

در این جدول برای نمونه تبخیر و تعرق بالقوه و بالفعل ایستگاه تهران برای سال (۱۹۸۰) میلادی و یا (۱۳۵۹) شمسی به روش اصلاح شده تورنت ویت محاسبه گردیده است. تفاضل P و PE که ممکن است مثبت و یا منفی باشند نشان دهنده افزایش و یا کاهش بالقوه رطوبت موجود در خاک می‌باشد. اگر مقدار این تفاوت منفی باشد که در جدول (۱) چنین است، نشان می‌دهد که آب بالقوه خاک از دست رفته بیش‌تر از مقدار طبیعی رطوبت ذخیره‌سازی شده در خاک می‌باشد که لازم است از طریق مخازن ذخیره شده تأمین گردد. در منطقه تهران، در سال (۱۹۸۰)، مثلاً در ماه می، تبخیر و تعرق بالقوه (میلی‌متر ۱۲۱/۸= APE) ۱۱۸/۳ میلی‌متر بیش‌تر از میزان نزولات آسمانی (میلی‌متر P=۳/۵) می‌باشد، در حالی که میزان آب بالقوه از دست رفته توسط خاک به شکل رطوبت واقعی معادل ۷۰ میلی‌متر است. در شرایط عادی میزان تبخیر و تعرق نمی‌تواند بیش‌تر از نرخ بالقوه رطوبت موجود در خاک باشد تا در اندازه 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

Downloaded from geographical-space.ahar.iau.ir at 18:56 IRST on Friday March 14th 2025

طبیعی آن خواهند بود، در عین حال که تبخیر و تعرق به‌طور 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 شده است (و یا تغییر در رطوبت خاک =AE P+ΔS). کمبود و یا مازاد میزان رطوبت (و یا آب) را می‌توان به راحتی از مراحل مختلف محاسباتی موازنه آبی تعیین نموده کمبود آب (WD) از تفاوت تبخیر و تعرق بالقوه و بالفعل (WD=AE - PE) و مازاد آب (WS) زمانی حاصل می‌گردد که میزان نزولات آسمانی افزایش یابد، در این صورت ظرفیت یا مخزن رطوبت موجود در خاک پر از آب شده و تشنگی خاک کاملاً برطرف می‌شود. در تهران متوسط ماهیانه درجه حرارت از ۱/۹ درجه سانتی‌گراد در ماه ژانویه، تا بیش‌ترین میزان ۳۱/٦ درجه سانتی‌گراد در ماه جولای تغییر می‌کند. مقدار PE کاملاً به درجه حرارت بستگی داشته و معمولاً در طی یک سال نیز تغییر می‌کند که در این جدول از کم‌ترین میزان ۰/۱ میلی‌متر در ماه ژانویه به بالاترین حد ۲۳۵/٤ میلی‌متر در ماه جولای و بعد از آن به میزان ۲۰۱/۵ میلی‌متر در ماه‌های آگوست می رسد. مقدار PE به‌طور ناگهانی در فصل بهار از میزان ۲۲/٤ میلی‌متر در ماه مارس تا میزان ۱۸۱/۹ میلی‌متر در ماه ژوئن رسیده و سپس در فصل پاییز از ۱۲۷/۵ میلی‌متر در ماه سپتامبر کاهش یافته و تا میزان ۱۰/۳ میلی‌متر در ماه دسامبر می‌رسد. میزان کل آب مورد نیاز در شرایط طبیعی در این دوره معادل ۱۰٦۳/۱ میلی‌متر در سال می‌باشد. میزان نزولات آسمانی یا عرضه آب در طول ماه‌های سال (۱۹۸۰) از نوسان قابل ملاحظه‌ای برخوردار است. متوسط میزان نزولات کل در این دوره معادل ۲۳٤/۷ میلی‌متر بوده است که در تمامی ماه‌های سال به‌طور پراکنده توزیع شده است و به‌طور متوسط در هر ماه معادل ۲۰ میلی‌متر بوده است. کم‌ترین میزان بارندگی مربوط به فصل تابستان و بهار به میزان ۳/۵ میلی‌متر در ماه می، و صفر میلی‌متر درمان‌های جولای تا سپتامبر می‌باشد و بیش‌ترین بارندگی مربوط به فصل پاییز و زمستان می‌باشد که معادل ۲۲/۵ میلی‌متر در ماه نوامبر و معادل ٦۸/۳ میلی‌متر مربوط به ماه فوریه می باشد. بنابراین کم باران‌ترین زمان از نظر PE (از نقطه نظر میزان بارندگی) بیش‌ترین تقاضا برای آب را نیز فراهم می سازد که مربوط به فصل تابستان است. مقایسه ماهیانه P و PE نشان می‌دهد که این دو هیچ‌گاه معادل یکدیگر نخواهند شد. میزان نزولات آسمانی در فصول پاییز، زمستان و بهار بسیار زیاد ولی در فصل تابستان بسیار کم و ناچیز می‌باشد. در ماه دسامبر میزان نزولات معادل ۲۰/۲ میلی‌متر می‌باشد که بیش‌تر و بالاتر از مقدار مورد نیاز (۱۰/۳ 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 (یعنی مقدار آبی که از نظر ساختار، فشار و جاذبه زمین به‌طور طبیعی در خاک نفوذ می‌کند). بعد از آن‌که خاک به ظرفیت کامل خود رسیده باشد، هر میزان بارندگی دیگر نیاز به تبخیر و تعرق نداشته و به‌عنوان مازاد در نهایت به صورت آب‌های جاری جریان می‌یابد. میزان مازاد آب در ماه‌های ژانویه تا مارس معادل ۱۳۵/٤ میلی‌متر بوده است که در ماه‌های دیگر همین سال هیچ‌گونه مازاد آب وجود ندارد. به بیان دیگر در سال (۱۹۸۰) تمامی مازاد آب در ماه‌های زمستان سال ایجاد گردیده و تنها طی سه ماه مزبور میزان میانگین نزولات بیش‌تر از نیاز بالقوه طبیعی به آب است. در این دوره خاک منطقه تهران از نظر ذخیره آب به ظرفیت کامل (۲۰۰ میلی‌متر) رسیده و

Downloaded from geographical-space.ahar.iau.ir at 18:56 IRST on Friday March 14th 2025

مقداری از نزولات در این ماه‌ها به صورت مازاد و یا جاری تبدیل می‌شود. ماه آوریل، اولین ماهی است که نیاز طبیعی آب در منطقه به‌طور ناگهانی افزایش می‌یابد و این نیازمندی در نهایت بیش‌تر از میزان عرض آب توسط نزولات آسمانی می‌گردد، به‌گونه‌ای که این میزان نزولات و عرضه آب دیگر قادر نخواهد بود که میزان نیاز آب در این منطقه را تأمین نموده و مقدار ٤٨/٦- میلی‌متر در ماه آوریل (میلی‌متر ٤٨/٦-= P-PE) می‌رسد. مقداری از این نیاز طبیعی به آب، مقدار آب ذخیره شده در سطح خاک (میلی‌متر ٤٤-=ΔS_t= تغییر در مخازن خاک) می‌باشد، که در نهایت میزان ٤/٦ میلی‌متر (٤/٦=٤٤-٤٨/٦) آن توسط عرض نزولات آسمانی تأمین نشده و یا در خاک ذخیره نمی گردد. این مقدار آب مورد نیاز کمبود آب در این ماه را نشان می‌دهد. در ماه جولای نیز ٢٣٥/٤ میلی‌متر بیش‌ترین آب مورد نیاز است که توسط مقدار بارش آسمانی تأمین نخواهد شد. از آنجایی که مقدار آب موجود در خاک کاسته شده و خاک خشک‌تر و تشنه‌تر می‌شود، مقدار آب به میزان ٢٤ میلی‌متر کم‌تر از آب مورد نیاز در خاک می‌باشد که این میزان آب از سطح بالائی و روی خاک کاسته شده تا عرضه آب موردنیاز را تأمین نماید. میزان کمبود آب در این ماه معادل ٢١١/٤ میلی‌متر خواهد بود. به‌طور طبیعی ظرفیت مخازن و روزنه‌های خاک در جذب و ذخیره آب معادل ٢٠٠ میلی‌متر فرض می‌شود؛ در تمامی فصل زمستان که میزان ذخیره آب در خاک در حد ظرفیت مخازن خاک (یعنی ٢٠٠ میلی‌متر می‌باشد، در مقابل از ماه آوریل تا دسامبر هیچ میزان مازاد آبی وجود نداشته و میزان نطولات آسمانی قادر نیست که ذخیره کافی و طبیعی را در خاک ایجاد نماید).[19] میزان AE یا میزان واقعی و طبیعی آب از دست رفته، زمانی که میزان بارندگی بیش‌تر از PE باشد معادل AE خواهد بود. در حقیقت AE میزان تمامی آبی است که به‌طور طبیعی خاک و گیاهان 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 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 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 شرایطی که متوسط PE در تهران معادل ١٠٦٣/١ میلی‌متر در سال می‌باشد، مقدار آب از دست رفته و یا تبخیر و تعرق به‌طور طبیعی فقط معادل ٢٨٧/٤ میلی‌متر در سال می‌باشد که در نتیجه مقدار کمبود آب معادل ٧٧٥/٧ میلی‌متر می‌باشد. به بیان دیگر از آنجائی که متوسط نزولات سالیانه معادل ٢٣٤/٧ میلی‌متر می‌باشد فقط مقدار ٢٨٧/٤ میلی‌متر آن را از طریق تبخیر و تعرق از دست می‌دهد و مازاد سالیانه آب باید معادل ١٣٥/٤ میلی‌متر باشد. همچنین می‌توان نشان داد که در سال (١٩٨٠) در تهران شاخص رطوبت، I_h =١٢/٧، شاخص خشکی I_a=٧٣ و شاخص نمناکی I_m= -٣١/١ درصد می‌باشد که به منظور تشخیص نوع خشکسالی به‌کار می‌رود که شدت خشکسالی در سال مزبور از نوع شدید بوده است. با محاسبه و مقایسه بودجه آبی سال‌های مختلف در تهران، می‌توان به نتایج جالب دیگری نیز دست یافت. در تمامی

۱۹- برای نحوه برآورد این میزان ذخیره سازی آب در خاک به منبع زیر مراجعه شود:

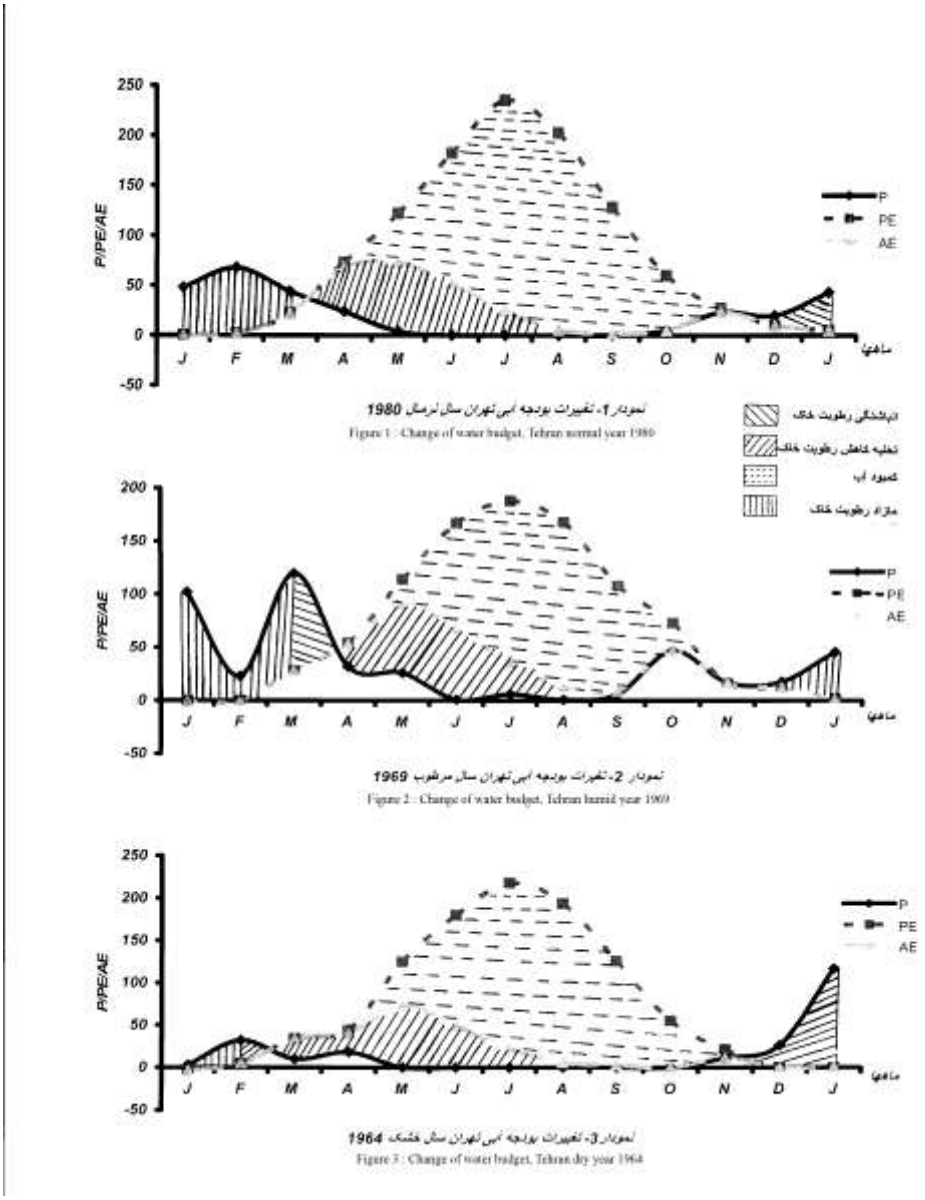
V.P. Subrahmanyam,1982, Water Balance and its Application. Andhra Univ of India.

Downloaded from geographical-space.ahar.iau.ir at 18:56 IRST on Friday March 14th 2025

٦٤ سال دوره (۲۰۱۵-۱۹۵۱) میلادی منطقه تهران در بعضی ماه‌ها مواجه با کمبود آب و در بعضی ماه‌های دیگر مواجه با مازاد آب می‌گردیده است که بیش‌ترین میزان مازاد آب مربوط به سال (۱۹۷۲) که معادل ۲٤۳/۹ میلی‌متر بوده است، در حالی که بیش‌ترین نزولات آسمانی مربوط به سال (۱۹٦۹) با میانگین ۳۹۹/٤ میلی‌متر بارندگی و کم‌ترین میزان بارندگی نیز مربوط به سال (۱۹٦٤) میلادی با میانگین ۱۰۰/۳ میلی‌متر بوده است. همچنین بیش‌ترین میزان کمبود آب مربوط به سال (۲۰۰۸) میلادی معادل ۹۵۰/۷ میلی‌متر و کم‌ترین میزان کمبود آب موجود در خاک نیز مربوط به سال (۱۹٦۳) میلادی می‌باشد.با توجه به مازاد کمبود آب در هر دوره می‌توان به سایر شاخص‌ها در این منطقه پی برد. بهتر است در حالی که بالاترین میزان مازاد آب (WS) وجود دارد، بتوان اقدام به ذخیره‌سازی آب نمود تا در فصلی که مواجه با کمبود آب (WD) می‌شوند اقدام به استفاده آن در منطقه شد. البته در دورانی که WS بالا باشد، سطح آب‌های زیرزمینی و یا آب‌های جاری نیز افزایش می‌یابد و در سال‌های که WD زیاد است، سطح آب‌های زیرزمینی نیز کاهش خواهد یافت. نمودارهایی زیر توازن آبی را برای سال‌های نرمال (۱۹۸۰)، خشک‌ترین سال (۱۹٦٤) و مرطوب‌ترین سال (۱۹٦۹) را بر اساس پارامترهای P ، PE و AE نشان می‌دهد.

اشکال (۱ تا ۳) زیر بودجه آبی را در ماه‌های مختلف منطقه تهران را از نظر کمبود و یا مازاد آب نشان می‌دهد. مقایسه میزان بارندگی در این منطقه نشان می‌دهد که توزیع بارندگی نامناسب بوده و تنها در فصول پائیز و زمستان از بارندگی مناسبی برخوردار است و بیش‌ترین میزان بارندگی نیز مربوط به این دو فصل از سال می‌باشد؛ همچنین کمبود آب نیز از ماه‌های آوریل تا ماه نوامبر ادامه دارد. در سال (۱۹٦٤) که به‌عنوان کم باران‌ترین و یا خشک‌ترین سال طی دوره مورد مطالعه ٦۷ساله می‌باشد میزان کمبود آب معادل ۷۵۹/۳ میلی‌متر در سال می‌باشد که البته در مقایسه با سال (۲۰۰۸) این میزان کمبود آب کم‌تر است. در سال (۲۰۰۸) بیش‌ترین کمبود آب مشاهده گردیده که معادل ۹۵۰/۷ میلی‌متر می‌باشد که خشکسالی حادی را در پی داشته است. بالاخره در سال (۱۹٦٤) میزان کمبود آب درماه ژوئن به حداکثر خود رسیده و معادل ۱۹۵/۵ میلی‌متر است. مقایسه این سه نمودار نشان می‌دهد که ماه ژوئن نسبت به ماه‌های دیگر و در هر سه سال بالاترین PE را دارا می‌باشند و ماه می بالاترین AE را ایجاد نموده است. در هر حال میزان کمبود آب در سال نرمال باعث می‌شود که شاخص نمناکی معادل I_m=-٤۳/۰٦ گردیده و شاخص خشکی معادل I_a=۷٦/۱ درصد گردیده که در این سال نیز با خشکسالی حادی روبرو شده است. در نمودارهای فوق تصاویر P، PE و AE در سه سال مرطوب (۱۹٦۹)، خشک (۱۹٦٤) و سال نرمال (۱۹۸۰) با یکدیگر مقایسه گردیده است. در سال (۱۹۸۰) با وجود آن‌که از متوسط بارندگی نرمالی معادل ۲۳٤/۷ میلی‌متر برخوردار بوده است که به خاطر بالا بودن گرما و نوسانات بالای PE این منطقه با کمبود آبی معادل ۷۷۵/۷ میلی‌متر را تجربه نموده و در نتیجه با بالا بودن شاخص خشکی I_a =۷۳ درصد خشکسالی شدیدی را ایجاد می‌کند. در این سال شاخص نمناکی I_m= -۳۱/۱ محاسبه شده است. بالاخره نمودارهای فوق نشان می‌دهد که تنها عامل بارندگی نمی‌تواند شاخص مناسبی به منظور بررسی پدیده خشکسالی در هر منطقه باشد.

Downloaded from geographical-space.ahar.iau.ir at 18:56 IRST on Friday March 14th 2025



– بررسی نوسانات و شدت خشکسالی شهر تهران

به کمک مراحل مختلف محاسباتی بودجه آبی می‌توان اطلاعات مناسبی را از نظر تعیین شدت و نوسانات خشکسالی در هر منطقه به‌دست آورد. در اختیار داشتن اطلاعات لازم در مورد شدت و یا نوسانات خشکسالی، مدت وقوع و یا میزان صدمه‌ای که ایجاد می‌کند به برنامه‌ریزان اقتصاد کشاورزی و هیدرولوژیکی کمک می‌کند تا در سرمایه‌گذاری‌ها و برنامه‌ریزی‌ها دقت بیش‌تری را به عمل آورند. Subrahmanyam (1982) معتقد است که نوسانات و یا شدت وقوع پدیده خشکسالی نه تنها به میزان کل نزولات آسمانی و فعل و انفعالات تبخیر و تعرق 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. موضوع مهم این‌که کاربرد پارامترهای بودجه آبی از به‌کارگیری پارامتر کمبود نزولات آسمانی در بیان واقعیت‌های پدیده خشکسالی از اهمیت بیش‌تری برخوردار است.

Downloaded from geographical-space.ahar.iau.ir at 18:56 IRST on Friday March 14th 2025

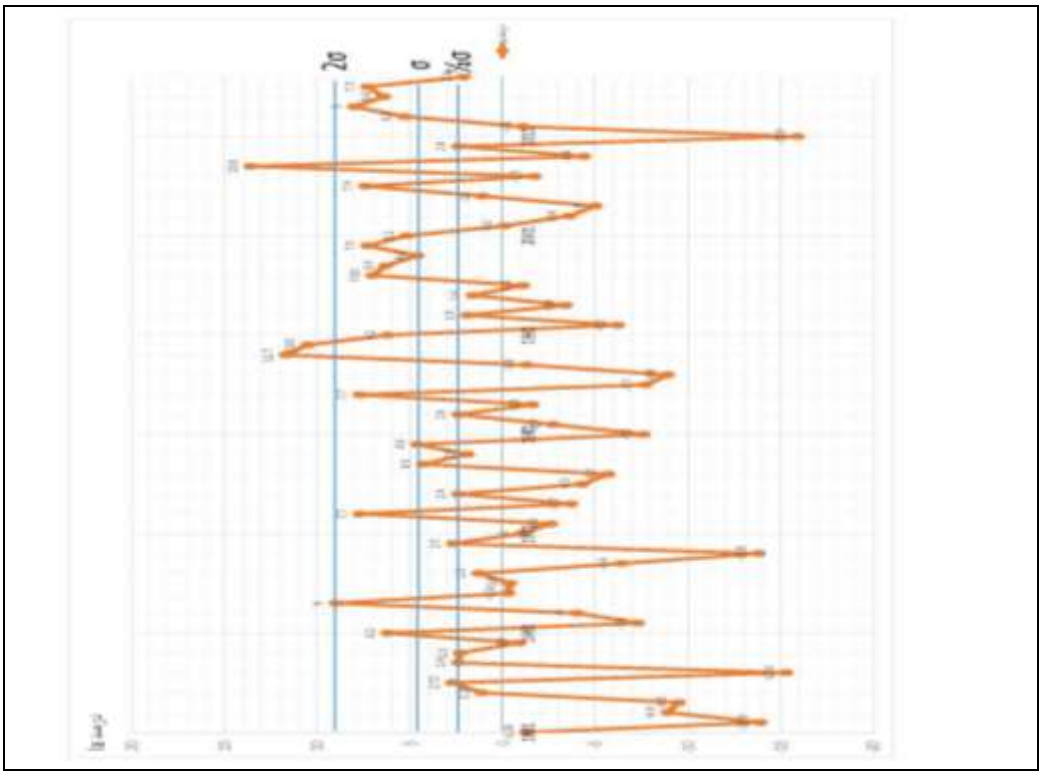
پس از ارائه نظریه موازنه آبی توسط تورنت ویت موضوع تحلیل شدت و نوسانات خشکی و خشکسالی بر اساس شاخص خشکی (I_a) در نظر گرفته شده است (Subrahmanyam,1982).

جدول ۲- دامنه طبقه‌بندی شدت خشکسالی

Table 2- Range of drought intensity classification

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

در جدول (۲)، I_a شاخص خشکی می باشد که بر روش اصلاح شده تورنت ویت و پارامترهای موازنه آبی محاسبه گردیده که عبارت از نسبت درصد کمبود سالیانه رطوبت به آب مورد نیاز سالیانه می‌باشد.σ نیز عبارت از انحراف معیار شاخص خشکی طی دوره مورد مطالعه می باشد. در مطالعه و تحقیق حاضر با استفاده از معیار انحراف از معیار سالیانه شاخص خشکی در مقایسه با میانگین متوسط آن نمای واقعی پدیده خشکسالی در منطقه تهران را اندازه‌گیری کرده و شدت وقوع آن را طی سال‌های (۲۰۱۷-۱۹۵۱) میلادی نشان می‌دهد. نتیجه مطالعه به کمک شکل (٤) نشان داده شده است.



شکل ٤: شدت و نوسان خشکسالی در شهر تهران

Figure 4: Intensity and fluctuation of drought in Tehran city

Downloaded from geographical-space.ahar.iau.ir at 18:56 IRST on Friday March 14th 2025

شکل (٤)، نشان می‌دهد که طی ٦٧ سال (۲۰۱۷-۱۹۵۱ میلادی و یا ۱۳۹٦-۱۳۳۰ شمسی) در ایستگاه تهران متوسط شاخص خشکسالی I_a=٦٩/٧ درصد و انحراف معیار σ =٤/٥١ روبرو بوده است.

طی این دوره این منطقه ۲۲ بار مواجه با پدیده خشکسالی شده است که از نظر شدت، ۷ مورد آن سخت، ۱۵ مورد آن شدید و ٤ مورد آن خشکسالی حاد بوده است، که در جدول (۳) دامنه آن مشخص شده است. سال (۱۹٦۹) که پرباران‌ترین سال طی دوره مورد مطالعه می‌باشد، با وجود آن‌که به میزان ۵۵۸/۵ میلی‌متر مواجه با کمبود آب می گردد، به خاطر توزیع مناسب بارندگی و پایین بودن درجه حرارت و یا PE، این منطقه را مواجه با خشکسالی نکرده ولی سال خشک (۱۹٦٤) که کم‌ترین میزان بارندگی را داشته به علت توزیع نامناسب بارندگی و کمبود آب به میزان ۷۵۹/۳ میلی‌متر، این منطقه را با خشکسالی حاد روبرو کرده است. حادترین نوع خشکسالی در این منطقه در این منطقه مربوط به سال (۲۰۰۸) میلادی و یا (۱۳۸۷) شمسی می‌باشد که از شاخص خشکی I_a= ۷۹/۳ درصد روبرو می‌باشد، البته کم‌ترین شاخص خشکی نیز مربوط به سال (۱۹۵۲) میلادی می‌باشد که معادل I_a= ٦۰/۱ درصد بوده است. همچنین نمودار (٤) و جدول (۳)، نشان می‌دهد که روند تعداد دفعات و شدت وقوع پدیده خشکسالی در منطقه تهران رو به افزایش است و شدت و نوسانات آن نیز به مرحله حادتر شدن این پدیده متمایل است. جدول (۳)، فراوانی، نوع و شدت وقوع خشکسالی را طی دوره ٦٧ ساله نشان می‌دهد.

جدول ۳- فراوانی و شدت وقوع خشکسالی در هر دوره (ده ساله) شهر تهران

Table 3- Frequency and intensity of drought for every 10years in Tehran city

خشکسالی / دوره	ملایم	سخت	شدید	حاد
۱۹۵۱-٦۰	۱ (۱۹۵۵)	۳ (۱۹۵٦، ۵۸، ۵۹)	ـــــ	ـــــ
۱۹٦۱-۷۰	۱ (۱۹٦۷)	۱ (۱۹۷۰)	۱ (۱۹٦۱)	۱ (۱۹٦٤)
۱۹۷۱-۸۰	۱ (۱۹۷۹)	۳ (۱۹۷۵، ۷۸، ۸۳)	۲ (۱۹۹۳، ۸۰)	ـــــ
۱۹۸۱-۹۰	۱ (۱۹۹۳)	ـــــ	۱ (۱۹۸۵)	۲ (۱۹۸۹، ۹۰)
۱۹۹۱-۲۰۰۰	۱ (۱۹۹۵)	ـــــ	۵ (۱۹۹۱، ۹۷، ۹۸، ۹۹، ۲۰۰۰)	ـــــ
۲۰۰۱-۲۰۰۸	۱ (۲۰۰۵)	ـــــ	۲ (۲۰۰۱، ۲۰۰٦)	۱ (۲۰۰۸)
۲۰۰۹-۲۰۱۷	۱ (۲۰۱۷)	۱ (۲۰۱۰)	٤ (۲۰۱۳، ۲۰۱٦)	

Downloaded from geographical-space.ahar.iau.ir at 18:56 IRST on Friday March 14th 2025

جدول (۳) ، نشان می‌دهد که تهران در هر دوره ده ساله با یک پدیده خشکسالی ملایم مواجه گردیده ولی از سال (۱۹۸۱) به بعد شدت خشکسالی از سخت به شدید و حاد متمایل شده است و از سال (۲۰۰۰) به بعد تعداد دفعات و شدت وقوع این پدیده در این منطقه افزایش یافته است. سال (۲۰۰۸) نیز بر اساس محاسبات توازن آبی این منطقه با حادترین پدیده خشکسالی مواجه شده است که یکی از دلایل هجوم گردوغبار در سال (۲۰۰۹) در این منطقه می باشد.

نتیجه‌گیری

طول دوره و ادامه پدیده خشکسالی از نظر شدت و یا نوسانات آن در هر سال و تراکم آن‌ها برای سال‌های متمادی و در نهایت تأثیر کمبود آب بر شرایط اقتصادی و اجتماعی هر منطقه را نشان می‌دهد در پروژه توازن آبی و یا بودجه آبی پارامترهای اقلیمی نظیر تبخیر و تعرق بالقوه (PE) یا آب مورد نیاز به‌عنوان مخارج، نزولات آسمانی (P) یا عرضه آب یا درآمد؛ ساختار رطوبت خاک، تبخیر و تعرق طبیعی و واقعی (AE) یا آب مورد نیاز واقعی جهت تبخیر، کمبود آب (WD) یا آبیاری مورد نیاز و مازاد آب (WS) و یا آب موجود برای آبیاری بالقوه، مورد استفاده قرار می‌گیرد. طی دوره ٦٧ ساله منطقه تهران، در هر دهه حداقل ۵ بار پدیده خشکسالی مواجه گردیده که در سال‌های اخیر شدت آن‌ها حادتر شده و یا در هر ده سال یک‌بار با خشکسالی حاد مواجه می‌گردد. علت وقوع این پدیده توزیع نامناسب بارندگی و بالا بودن نسبی PE به دلایل بالا بودن درجه حرارت در این منطقه می‌باشد. در این مناطق به منظور مقابله با پدیده خشکسالی، افزایش ذخایر سفره آب‌های زیرزمینی بسیار مناسب‌تر از تکنولوژی سدسازی و ذخیره‌سازی آب در پشت سدها می‌باشد. به علت بالا بودن شدت تبخیر و تعرق و یا PE، راندمان آبیاری به خصوص در بخش کشاورزی حدود ۳۰ الی ۳۵ درصد است و یا حدود ٦٥ درصد آب کشور برای تولید محصولات کشاورزی مصرف نشده و تلف می‌شود. روش به‌کار گرفته شده در این تحقیق برای هر منطقه از کارآیی بیش‌تری برخوردار است، که توسط وزارت نیرو، وزارت کشاورزی و سازمان هواشناسی کل کشور قابل اجرا می‌باشد.

Downloaded from geographical-space.ahar.iau.ir at 18:56 IRST on Friday March 14th 2025

References

- Abounoori, A. A., (1988), "Agricultural development in drought prone areas of Iran", Ph.D Thesis,Sub,Dpt.of Eco.S.V.Univ.India.
- Fallahi, H., Mohammadi, J., (2018), "A comparative study space relation in macro city of Tehran to emphasis of general facilities", ***Geographical Space***, (61): 271-293. [In Persian].
- Foley, J. C., (1957), "Droughts in Australia, Review of records from the earliest years of settlement to 1955", ***Common Wealth Bureau of Meteorology Bull***, 43: 1-20.
- Heathcotem, R. L., (1974), "***Drought in South Australia in natural hazard, Local***", in: Gilbert, F. W., (Ed), National global, Oxford, Univ. press, pp 128-136.
- Henry, A. J., (1906), "Drought, in climatology of the United States", U.S.A, ***Weather, Bur. Bul. Q***, 361: 51-58.
- Hoyt, J. C., (1936), "Drought of 1930-34: U.S", ***Geol.SurveyWater***, 680: 106-122.
- Hoyt, W. G., (1942), "***Drought, in Meinzer***", New York: McGraw-Hill Book.
- Iranian Meteorological Organization, (2018), "Weather Bulletin, Tehran: hranian meteorological organization. [In Persian].
- Jaiswal, N. K., Kolte, N. V., (1981), "***Development of drought prone areas***", National Institute of Rural Development: Rajendranagar: Hyderabad, India.
- James, R., Gallagher, J. N., (1968), "***Determination of drought***", Eastern Michigan Univ. Press: Michigan.
- Knochenbauer, W., (1937), "Durer and durer perioden 1934", ***Wissensch, Abhandig. Reichsmat Wetterd***, 9 (3): 23-37.
- Koppen, W., (1936), "***Das geographische system der Klimate in Handbuch der Klimatologie***, Vol. 1, In: Koppen, W., Geiger, C., Berlin: Gebruder Borntrager", pp 237- 249.
- Mather, J. R., (1974), ***"Climatology, fundamentals and application"***, New York: Grew-Hill.
- Michael, M., Kernan, C., (2003), "***Drought***", Amammal phylogeny conference Sydney, University of Southwales, 2003 American museum of natural history, New York: South Wales Sydney, PP 292- 293.
- Naganna, C., (1979), "Delimiting drought-prone areas in Karnatakaand the mitigation strategy", Intern, hyrologey, symp, new delhi, india, 10-12 oct 1979, 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".[On line]:http://www.relief web. Int/ochaunep/edr/Iran drought. pdp.
-Palmer,W. C., (1956), "Drought in Western Kansas", ***Weekly Weather an Crop Bull***, 74: 67-80
- Palmer, W. C., (1965), "Meteorological droughts", Weather Bureau Research Paper", Washington: U.S.Dept. Of Commerce Washington.
- Penman, H. L., (1956), "Evaporation:An introductory survey Netherland", ***J. Agr. Sci***, 4 (1): 9-29.
- Penman, H. L., (1963), "***Vegetation and hydrology***", New York: John Wiley
- Ramdas, L. A., (1960), "***Crops and weather in India***", New Delhi: ICAR, India.
- Subrahmanyam, V. P., Subramanian, A. R., (1964), "Application of water-balance concepts for a climatic study of drought in South India", ***Ind. J.Met. and Geophs***, 25 (3): 393-402.
- Subrahmanyam, V. P., (1982), "***Water Balance and its Applications***", Waltair: Andhra Univ press, India.

- Thornthwaite, C. W., (1947), "Climate and moisture Conservation", ***Annals of Assn. Amer.Geogr***, 37 (2): 87-100.
- Thornthwaite, C. W., Mather, J. R., (1948), "An approach towards a rational classification of climate", ***Geographical Review***, 38: 55-94.
- Thornthwaite, C. W., Mather, J. R., (1955,1957), "***The water balance***", Drexel: Drexel Institute Pub.
- Wilhite, D. A., (2005), "***Drought water crises***", New York: Taylor and Francis Group pub.U.S.A.
- Yevjevich, V. M., (1967), "An objective approach to definition and investigation of continental hydrologic droughts", Hydrology Conf, 1-3 may, 1967, Colorado, State Univ., Fort Callins,U.S.A.

Downloaded from geographical-space.ahar.iau.ir at 18:56 IRST on Friday March 14th 2025