آناليز منطقه‌اي شدت خشكسالي هيدرولوژيكي درحوزه‌هاي آبخيز استان تهران

مسعود سميعي[۱] بهرام ثقفيان[۲] محمد مهدوي[۳]

چكيده

تجزيه و تحليل خشكسالي در پروژه‌هاي تامين آب از اهميت زيادي برخوردار است. در تحليل منطقه‌اي خشكسالي هيدرولوژيكي، با برقراري ارتباط ميان ويژگي‌هاي حوزه‌هاي آبخيز و شاخص‌هاي جريان، مي‌توان شدت خشكسالي را برآورد كرد. در اين تحقيق در ۱۲ زيرحوزه واقع در استان تهران ابتدا آناليز فراواني شدت خشكسالي هيدرولوژيكي با توزيع نرمال انجام گرفت . از طرف ديگر، با استفاده از ۱۹ متغير حاصل از ويژگي‌هاي فيزيوگرافي، اقليمي و زمين‌شناسي، تجزيه و تحليل عاملي صورت گرفت و چهار عامل مساحت، بارش متوسط سالیانه، متوسط وزني نفوذپذيري خيلي كم و شيب متوسط حوزه به‌عنوان عوامل موثر شناسايي شد. در تعيين مناطق همگن از روش تجزيه خوشه‌اي استفاده شد كه منجر به شناسايي دو گروه همگن شد. براي برآورد شدت خشكسالي هيدرولوژيكي، از تئوري ران (**Run Theory**) استفاده شد. به‌منظور تعيين رابطه بين شدت خشكسالي با دوره بازگشت ۱۰ سال و تداوم ۴ ماه با خصوصيات حوزه‌ها ، رگرسيون چند متغيره مورد استفاده قرار گرفت و مناسب‌ترين مدل براي هر منطقه به‌دست آمد. در نهايت، به‌منظور مقايسه و ارزيابي صحت و كارايي مدل‌هاي منطقه‌اي اطلاعات سه ايستگاه شاهد مورد استفاده قرار گرفت و شدت خشكسالي بر اساس مدل‌هاي منطقه‌اي با مقادير متكي بر ايستگاه‌هاي شاهد مقايسه شد. نتايج نشان داد كه در منطقه مورد مطالعه مدل‌هاي حاكم در مناطق همگن دقت بيشتري نسبت به مدل‌هاي كل منطقه دارد و عامل مساحت شدت خشكسالي را با دقت مناسب برآورد مي‌كند.

واژه‌هاي كليدي: *خشكسالي هيدرولوژيكي، شدت خشكسالي، تئوري ران، تجزيه و تحليل عاملي ، مناطق همگن، آناليز منطقه‌اي و استان تهران.*

۱- كارشناس ارشد پژوهشكده حفاظت خاك و آبخيزداري كشور **E-mail:** massamiee@yahoo.com

۲- دانشيار پژوهشي پژوهشكده حفاظت خاك و آبخيزداري كشور

۳- استاد دانشكده منابع طبيعي دانشگاه تهران

مقدمه

يكي از مسائل مهم و اساسي در كشور، بهره‌برداري بهينه آب و جلوگيري از اتلاف آن است. با برنامه‌ريزي اصولي بايد حداكثر بهره‌برداري با توجه به اولويت‌ها عملي شود. براي نيل به اين هدف شناخت دوره‌هاي خشكسالي، تعيين مناطق تحت تاثير خشكسالي، برآورد شدت خشكسالي و شناخت عوامل موثر بر شدت خشكسالي ضروري است(۶). خشكسالي، يك ويژگي طبيعي اقليم است. اين پديده تقريباً در تمامي مناطق اقليمي رخ مي‌دهد، اگرچه ويژگي‌هاي آن از يك منطقه به منطقه ديگر تفاوت مي‌كند. وقوع خشكسالي وخيم‌ترين حادثه محيطي است كه داراي ويژگي‌هاي خاص اقليمي و هيدرولوژيكي در هر ناحيه است. صرف نظر از نقش عوامل اقليمي، برنامه‌ريزي و مديريت ناكارامد در بهره‌برداري از منابع طبيعي بويژه آب نقش فزاينده‌اي در آسيب‌هاي ناشي از خشكسالي دارد. توجه به مسئله پيشگيري و كاهش پيامدهاي خشكسالي در مناطق مختلف، نيازمند برنامه‌ريزي و اجراي اقدامات پيشگيرانه در مقابله با پديده خشكسالي است كه خود مستلزم به‌كارگيري دانش كافي در پيش‌بيني خشكسالي است(۲). براي كاهش اثرهاي خشكسالي، شناخت خصوصيات متعدد خشكسالي نظير زمان شروع، وسعت وشدت خشكسالي ضروري است (دالسيوس[۱] و همكاران، ۱۹۹۱). از روش‌هاي مرسوم وبسيار متداول تحليل و بررسي خشكسالي، روش تئوري ران (Run Theory :RT) است كه درسال ۱۹۶۷ توسط يوجويچ به‌كار گرفته شد(۱۸). تئوري ران به‌طور وسيعي براي شناسائي و توصيف خشكسالي‌هاي هيدرولوژيكي چندساله به‌كار مي‌رود. همانند بسياري از روش‌هاي تحليل خشكسالي، مهم‌ترين محدوديت اين تئوري، انتخابي بودن سطح آستانه است، به‌طوري‌كه استانداردي براي تصميم‌گيري در مورد موقعيت سطح اين آستانه وجود ندارد. تئوري آناليز فراواني خشكسالي منطقه‌اي با استفاده از روش سطح آستانه توسط دراكاپ[۲] و همكاران (۱۹۸۰) و سن[۳](۱۹۸۰) مطرح شده، اما كاربردهاي عملي آن تاكنون نادر است (كلائوسن و پيرسون[۴]۱۹۹۵). مثال‌هايي از سطوح آستانه از جمله ميانگين(بوناكي[۵]،۱۹۹۳)، ميانه (گريفتيس[۶]،۱۹۹۰) ودرصد تجاوز كم يعني ۹۰درصديا ۹۵درصد از منحني‌هاي تداوم جريان (زلنها ستيک و سالويا[۷]۱۹۸۷،چانگ و استنسون[۸] ۱۹۹۰) در منابع وجود دارد.

دالسيوس و همكاران (۲۰۰۰) منحني‌هاي شدت ـ تداوم ـ فراواني(SDF) و نقشه‌هاي هم‌شدت خشكسالي را براي يونان به‌دست آوردند. از منحني‌هاي SDF چنين استنباط مي شود كه با افزايش دوره بازگشت و تداوم خشكسالي ، شدت آن افزايش مي‌يابد. از نقشه‌هاي هم‌شدت خشكسالي نيز چنين برداشت مي شود كه شدت خشكسالي در شمال يونان بيشتر از جنوب است واز غرب به شرق از شدت آن كاسته مي شود. هنريكس و سانتوس[۹] (۱۹۹۹) از آناليز منطقه‌اي خشكسالي نتيجه گرفتند كه بيشترين خشكسالي‌ها را تداوم‌هاي يک‌ساله دارد. رضيي و همكاران(۱۳۸۰) با مطالعه برروي ۲۱ ايستگاه در استان سيستان و بلوچستان، از نقشه‌هاي هم‌شدت خشكسالي نتيجه گرفت كه پديده خشكسالي در مركز استان شديدتر است.

شدت خشكسالي هيدرولوژيك با خصوصيات حوزه آبخيز و متغيرهاي آب و هوايي مرتبط است. عمده خصوصيات حوزه و آب و هوايي اثرگذار بر جريان رودخانه عبارتند از: مساحت، بارش متوسط ساليانه، شيب رودخانه، شيب حوزه،

۱- Dalezios
۲- Dracup
۳-Sen
۴-Clausen & Pearson
۵-Bonacci
۶- Grifftiths
۷- Zelenhastic & Salvia
۸- Chang &Stenson
۹-Henriques & Santo
۱۰-Chow

تراكم زهكشي، درصد مساحت درياچه‌ها و درصد پوشش جنگلي، شاخص‌هاي زمين شناسي و خاك، طول رودخانه اصلي، شكل حوزه ، محيط آبخيز و ارتفاع متوسط حوزه (۱۸) . چاو[۱](۱۹۶۴) در مورد آناليز منطقه‌اي مي‌شويد " اگر روش آناليز منطقه‌اي مورد استفاده قرار گيرد، بايد توجه ويژه‌اي به انتخاب رودخانه‌هايي كه خصوصيات هيدرولوژيكي مشابهي دارند، مبذول شود. آنها بايد پوشش گياهي ، كاربري اراضي، شرايط توپوگرافي ، خصوصيات زمين‌شناسي ، رژيم‌هاي بارش و تبخير و تعرق يكساني داشته باشند".

يو[۲]و همكاران(۲۰۰۲) در بررسي منطقه‌اي روابط بين جريان كم و خصوصيات حوزه با استفاده از متغيرهاي مساحت، شيب حوزه وضريب افت سه منطقه همگن براي ۳۴ ايستگاه در جنوب تايوان به‌دست آوردند.

كلائوسن و پيرسون(۱۹۹۵) با مطالعه ۴۴ ايستگاه با حداقل ۲۰ سال آمار جريان رودخانه در نيوزلند با روش سطح آستانه (ميانگين و ۷۵درصد از ميانگين جريان روزانه)، شدت خشكسالي رامورد بررسي قرار دادند. در نتيجه اين تحقيق سه منطقه همگن به‌دست آمد و در معادلات رگرسيوني بين شدت خشكسالي و خصوصيات حوزه شاخص‌هاي جريان پايه، متوسط بارندگي ساليانه، مساحت حوزه و شاخص زهكشي خاک به‌كار رفت.

در اين تحقيق تعيين عوامل موثر بر شدت خشكسالي و رابطه رگرسيوني بين شدت خشكسالي و عوامل موثر بر آن از جمله اهداف محسوب مي‌شود . هدف كلي از آناليز منطقه‌اي شدت خشكسالي، دستيابي به روابطي است كه بتوان در نقاط فاقد آمار ، برآوردي از شدت خشكسالي با دوره بازگشت مورد نظرارائه داد.

مواد وروش‌ها

ويژگي‌هاي كلي منطقه

استان تهران بين ′ ۱۴ ، °۳۵ تا ′۱۷ ، °۳۶ عرض شمالي و ′۱۴ ، °۵۰ ، تا ′۶ ، °۵۳ طول شرقي قرار دارد، اين استان از شمال به رشته كوه‌هاي البرز، از جنوب به استان قم، از شرق به استان سمنان و از غرب با استان قزوين همسايه است . رشته كوه‌هاي البرز با جهت شرقي ـ غربي همانند ديواري بلند اين استان را از همسايگان شمالي آن يعني گيلان و مازندران جدا مي كند . اين ديوار بلند موجب جلوگيري از ورود رطوبت بزرگ‌ترين درياچه جهان (درياي خزر) به اين استان مي شود. شكل ۱ موقعيت منطقه مورد مطالعه را نشان مي دهد.

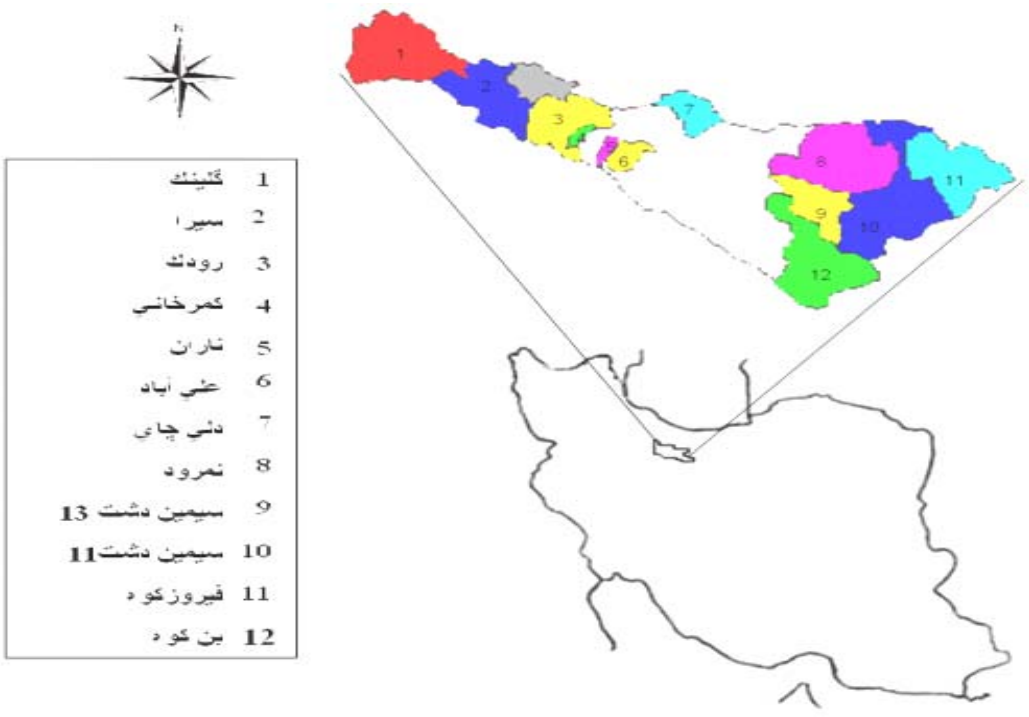
خصوصيات حوزه‌هاي آبخيز منطقه

براي انجام مطالعات فيزيوگرافي از نقشه‌هاي توپوگرافي ۱:۲۵۰۰۰۰ سازمان جغرافيايي ارتش جمهوري اسلامي ايران استفاده شد. حوزه آبخيز مورد مطالعه به دوازده زير حوزه تقسيم بندي شد(جدول ۱)، سپس براي اين زير حوزه‌ها عوامل مساحت، محيط، طول آبراهه اصلي، طول حوزه، شيب متوسط وزني حوزه، شيب رودخانه، طول آبراهه‌ها، بارندگي متوسط ساليانه، متوسط وزني نفوذ پذيري در چهار سطح (بالا, متوسط, پايين, خيلي‌كم) با استفاده از سيستم اطلاعات جغرافيايي (GIS) با نرم افزار ILWIS به‌دست آمد. بر اساس اين اطلاعات، تراكم زهكشي، فاكتور شكل واحد، ضريب گراوليوس، ضريب ميلر، ضريب هورتون، ضريب شيوم نيز برآورد شد و در مجموع ۱۹ عامل به‌دست آمد.

۱-Yue

جدول۱- مشخصات ايستگا ه‌هاي آب‌سنجي منتخب در استان تهران

ردیف	کد	رودخانه	ایستگاه	مشخصات جغرافیایی	
				طول	عرض
۱	۴۱-۱۰۱	کرج	سیرا	۵۱^{0}-۰۹´	۳۵^{0}-۴۷´
۲	۴۱-۱۱۷	جاجرود	رودك	۵۱^{0}-۳۳´	۳۵^{0}-۵۱´
۳	۴۱-۱۶۳	جاجرود	علي آباد	۵۱^{0}-۴۱´	۳۵^{0}-۴۸´
۴	۴۱-۱۱۵	امامه	كمر خاني	۵۱^{0}-۳۳´	۳۵^{0}-۵۲´
۵	۴۱-۱۶۱	افجه	ناران	۵۱^{0}-۴۰´	۳۵^{0}-۵۰´
۶	۱۷-۵۳	طالقانرود	گلينك	۵۰^{0}-۴۶´	۳۶^{0}-۱۰´
۷	۴۷-۱۱	حبله رود	سيمين دشت	۵۲^{0}-۳۱´	۳۵^{0}-۳۶´
۸	۴۷-۱۳	دلي چاي	سيمين دشت	۵۲^{0}-۳۰´	۳۵^{0}-۳۲´
۹	۴۷-۰۵	حبله رود	فيروز كوه	۵۲^{0}-۴۶´	۳۵^{0}- ۴۵´
۱۰	۴۷-۰۷	نمرود	نمرود	۵۲^{0}-۳۹´	۳۵^{0}-۴۳´
۱۱	۴۷-۱۵	حبله رود	بن كوه	۵۲^{0}-۲۵´	۳۵^{0}- ۱۸´
۱۲	۱۵-۵	لار	دلي چاي	۵۱^{0}-۵۹´	۳۵^{0}-۵۵´



شكل ۱ - موقعيت منطقه مورد مطالعه

تجزيه و تحليل عاملي وشناخت مهم‌ترين عوامل موثر

روش آماري مورد استفاده در اين تحقيق، از نوع روش تجزيه و تحليل عاملي است. براي انجام تجزيه و تحليل عاملي ابتدا بايد داده ها استاندارد شوند، استاندارد كردن داده ها به معني توزيع داده ها حول ميانگين آنهاست. براي استاندارد كردن از رابطه زير استفاده مي‌شود:

$$Z = \frac{x - x_i}{S_d} \qquad (۱)$$

در اين رابطه، x مقدار عددي هر متغير, x_i ميانگين متغيرها, S_d انحراف معيار و Z مقدار استاندارد شده متغير است. مرحله بعدي تعيين ماتريس وزني عاملي است. روابط موجود در ماتريس همبستگي برحسب درجه ارتباط بين متغيرها و تعداد كمتري از متغيرها خلاصه شده, توسط ماتريس وزني عاملي بيان، سپس تعداد عامل‌ها انتخاب مي‌شود. تعداد عامل‌ها برابر تعداد مقادير ويژه كه از يك بزرگ‌ترند، اختيار مي‌شود. اين انتخاب را مي‌توان به عنوان اولين پيش بيني عامل‌ها به‌كار برد. سپس الگو با استفاده از ميزان درصد واريانس آزمون مي شود(۵) . پس از انتخاب اوليه وزن‌هاي عاملي قدم بعدي دوران عامل‌ها براي به‌دست آوردن عامل هايي است كه به آساني تعبير شوند.

تجزيه و تحليل خوشه‌اي

تحليل خوشه‌اي عبارت است از جست‌وجو و سازماندهي اطلاعات به‌منظور تعيين گروه‌هايي از موضوعات كه افراد داخل يك گروه از جنبه‌هايي مشابه و با افراد گروه‌هاي ديگر غيرمشابه‌اند. از مسائل مهم تفكيك مناطق، انتخاب خصوصياتي است كه به‌عنوان معيار تمايز در نظر گرفته مي‌شوند. اين خصوصيات متمايز كننده بايد داراي بيشترين اطلاعات ممكن باشند. بهتر است قبل از محاسبه فواصل افراد, داده‌ها هم‌وزن شوند (۹). در صورت يكسان بودن واحد اندازه‌گيري، نيازي به استاندارد كردن داده‌ها نيست. تعيين فواصل بين افراد بر اساس متغيرهايي است كه براي تعيين مناطق همگن انتخاب مي شوند (نه فاصله فيزيكي) و از اين طريق اندازه و مشابهت بين افراد مشخص مي‌شود. در نهايت انتخاب روش گروه‌بندي بستگي به نوع هدف و داده دارد. براي گروه‌بندي دو روش وجود دارد(۷): الف- روش جزء به جزو. ب- روش تحليل خوشه‌اي طبقاتي .

تئوري ران (**Run Theory**)

به هنگام استفاده از تئوري ران در بررسي خشكسالي، اين تئوري به‌صورت كمي بيان مي‌دارد كه چگونه فرايند هيدرولوژيك از بالا و پايين يك آستانه بحراني عبور مي‌كند. مقدار آستانه انتخابي، سطح بحراني[۱] ناميده مي‌شود. قبل از تحليل داده‌ها، كلية داده‌ها بايد به درصدي ازميانگين، باقيمانده از ميانگين يا نمرة Z تبديل شوند. نمره Z استاندارد شده به علت اينكه بدون بعد است، از دو روش قبلي مناسب تر است. شكل ۲ يك سري زماني گويا از متغيرهاي هيدرولوژيكي ناپيوسته (X) را نشان مي‌دهد. فاصله هاي زماني معادل (t) در نظر گرفته شده است. X_0 مقداري از متغير X است كه مقادير منفي نسبت به آن مشخص و تعريف مي شود. به عبارتي، X_0 همان سطح بحراني است. بـــراي تحليل خشكسالي فقط باقيمانده هاي منفي مورد توجه‌اند، امّا ويژگي‌هاي مشابهي نيز براي باقيمانده هاي مثبت براي تحليل ترسالي‌ها و ماه‌هاي تر وجود دارد. يك باقيماندة منفي به ميزان($X-X_0$) بيانگر رخداد خشكسالي است. زماني كه مقدار X به زيرX_0 افت كند، شروع خشكسالي را نشان مي‌دهد.

زمان توالي مقادير منفي پيوسته، تداوم يك دورة خشكسالي (L_i) را تعيين مي‌كند. مجموع انحرافات منفي در هر L_i،S_i ناميده مي‌شود كه در واقع سختي خشكسالي[۳] را مي‌سنجد. نسبت S_i/L_i شدت خشكسالي[۴] را اندازه‌گيري مي‌كند. هـــر چه سطح بحراني را كمتر انتخاب كنيم، از تعداد خشكسالي‌ها كم مي‌شود. روش تئوري ران ،

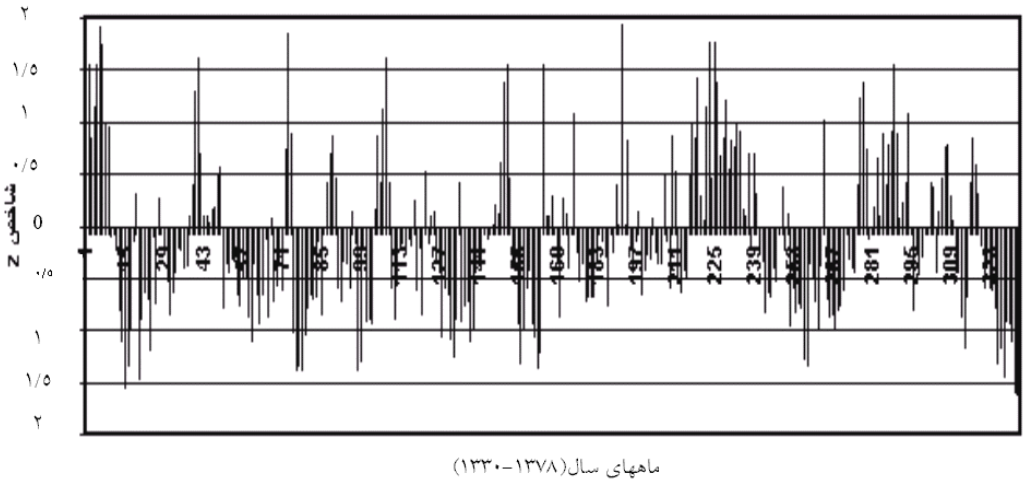
۱-Truncation Level or Critical Level

۲-Truncation Level

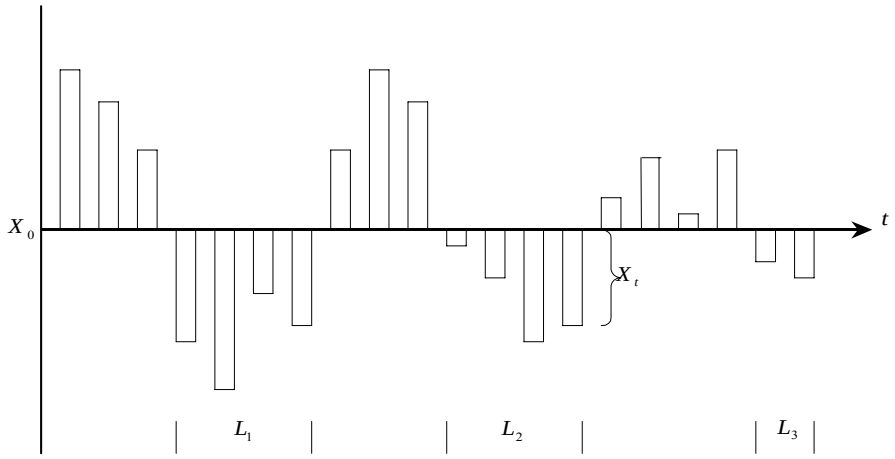
۳- Severity

۴- Intensity

بزرگي، شدت و سختي خشكسالي‌ها را به‌صورت كمي بيان مي‌كند (۲۰). شكل ۳ نمودار سري زماني شاخص Z در روش RT را بر مبناي دبي متوسط ماهانه در ايستگاه رودك نشان مي‌دهد.



شكل ۲- چگونگي تعيين ويژگي‌هاي شدت، تداوم وبزرگي خشكسالي با استفاده از روش**RT**



شكل ۳ ـ نمودار سري زماني شاخص**Z** با روش **RT** درايستگاه رودك

چون تحليل فراواني دبي حداقل شاخص شفافي از خشكسالي محسوب نمي‌شود، به همين منظور شدت خشكسالي با تئوري RT مي‌تواند بيان شود. به‌منظور تعيين شدت خشكسالي لازم است از شاخص معيار استفاده شود. شاخص معيار استاندارد كه به وفور مورد استفاده قرار مي‌گيرد، پس از بي‌بعد كردن مقادير دبي رودخانه، شاخص مشخصي از خشكسالي يا ترسالي را در اختيار كاربران قرار مي‌دهد. صورت كلي شاخص معيار استاندارد مشابه رابطه (۱) است كه در آن:

x : دبي جريان (به عنوان مثال در تداوم‌هاي ۷ روزه، ۳۰ روزه، ۶۰ روزه)،

x_i :دبي متوسط جريان در همان تداوم X و

S_d : انحراف استاندارد دبي جريان در همان تداوم X است.

رگرسيون چند متغيره

تحليل رگرسيوني، مهم‌ترين روش بررسي روابط بين متغيرهاي مختلف است. از اين روش آماري در تحقيق و بررسي روابط بين يك متغير وابسته (y) و يك يا تعداد بيشتري از متغيرهاي مستقل يا توصيفي($x_1,x_2.....$ و x_n.) استفاده مي‌شود. با به‌دست آمدن رابطه رگرسيوني، مي‌توان از آن براي برآورد مقدار ميانگين متغير وابسته براساس مقادير معلوم يك يا تعداد بيشتري از متغيرهاي مستقل استفاده كرد. اگر رابطه بين يك متغير وابسته و تنها يك متغير مستقل مورد بررسي قرار گيرد، به آن رگرسيون ساده گويند. در رگرسيون چندمتغيره رابطه بين يك متغير وابسته و بيش از يك متغير مستقل مورد بررسي قرارمي گيرد.

نتايج

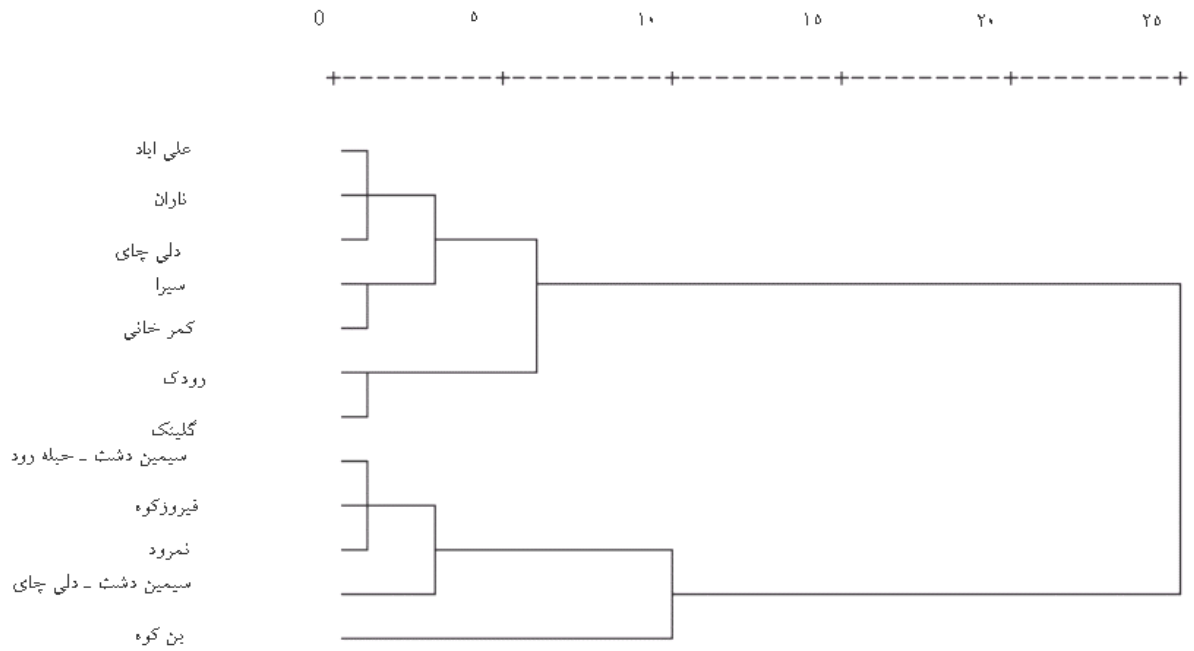
تجزيه و تحليل عاملي و آناليز خوشه‌اي

آناليز عاملي مهم‌ترين متغيرها با دو ، سه ، چهار، .... عامل انجام گرفت . نتايج نشان داد كه چهار عامل مساحت ، بارش متوسط ساليانه ، متوسط نفوذپذيري خيلي كم و شيب متوسط حوزه در مجموع ۹۹/۳۶ درصد از تغيير در داده‌هاي اصلي را توضيح مي‌دهند (جداول ۲و۳).

روش تجزيه و تحليل خوشه‌اي براي تعيين مناطق همگن هيدرولوژيك در استان تهران بر اساس ويژگي‌هاي ۱۲ حوزه شاخص آن انجام شد. معيارهاي انتخابي براي اين منظور بر اساس چهار عامل حاصل از نتايج تجزيه و تحليل عاملي انجام شد(جدول ۴). با بررسي دندوگرام حاصل و در نظر گرفتن حداكثر فاصله اقليدسي ۱۲، دو گروه يا دو منطقه همگن به‌دست آمد (شكل ۴). حوزه‌هايي كه در هر گروه قرار گرفتند، به‌صورت زيرند:

گروه همگن يك: سيرا ، رودك ، گلينك ، علي اباد ، دلي چاي , كمر خاني و ناران.

گروه همگن دو: سيمين دشت ـ دلي چاي، سيمين دشت ـ حبله رود ، فيروزكوه ، نمرود و بن كوه.



شكل٤- آناليز خوشه‌اي براساس چهار عامل

جدول۲ - مقادير ريشه پنهان ماتريسي و در صد واريا نس عوامل

عامل	مقادير ويژه اوليه		كل	در صد واريانس	مقادير تجمعي واريانس
	كل	درصد واريانس			
مساحت (كيلومتر مربع)	۳/۸	۶۴/۱	۲/۱۵	۳۵/۸	۳۵/۸۷
بارندگي متوسط ساليانه (ميلي‌متر)	۱/۳	۸۶/۴	۱/۸۴	۳۰/۶	۶۶/۵۴
نفوذ پذيري خيلي كم (ميلي‌متر بر ساعت)	۰/۵۳	۹۵/۴	۱/۱۲	۱۸/۶	۸۵/۲۱
شيب متوسط حوزه (درصد)	۰/۲۳	۹۹/۳۶	۰/۸۴	۱۴/۲	۹۹/۳۶
تراكم زهكشي (كيلومتر در كيلومتر مربع)	۰/۰۲	۹۹/۸۵			
مجموع طول آبراهه (كيلومتر)	/۰۸	۱۰۰			

جدول ۳ - ماتريس دوراني به روش دوراني واريماكس

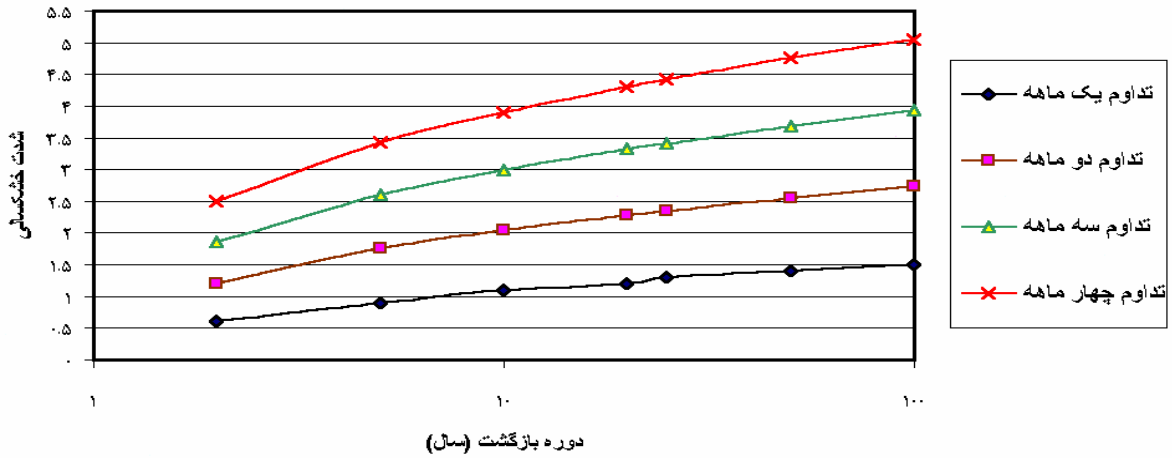
پارامتر	عوامل			
	۱	۲	۳	۴
شيب متوسط حوزه (درصد)	-۰/۲۸۸	-۰/۴۷۲	۰/۳۴۷	۰/۷۵
مساحت (كيلومتر مربع)	۰/۹۷۴	-۰/۱۷۷	۰/۰۲	-۰/۱۲
تراكم زهكشي (كيلومتر بر كيلومتر مربع)	۰/۲۱۳	-۰/۹۳۴	-۰/۲۰۵	-۰/۱۸۳
بارندگي متوسط ساليانه (ميلي‌متر)	-۰/۴۵	۰/۷۶۴	۰/۱۶۱	۰/۴۱۱
مجموع طول آبراهه (كيلومتر)	۰/۹۳۴	-۲/۹۸	-۰/۰۲	-۰/۱۸
نفوذ پذيري خيلي كم (ميلي‌متر بر ساعت)	۰/۰۲	۰/۱۹۵	۰/۹۶۵	۰/۱۷۴

آناليز ران**(RT)**

در اين تحقيق، متوسط دبي ماهانه ايستگاه‌ها در طول دوره آماري براساس شاخص (Z) استاندارد و سري زماني روند ماه‌هاي خشك و تر مشخص شد. به دليل اينكه مقادير منفي Z معرف خشكسالي‌اند، ازاين‌رو اين مقادير در آناليز خشكسالي مورد توجه قرار مي‌گيرد. به‌منظور تعيين شدت خشكسالي در تداوم‌هاي مختلف از رابطه زير استفاده شد:

$$Z = \sum Z_i \qquad (۲)$$

به‌منظور تعيين دوره بازگشت شدت‌هاي مختلف خشكسالي با تداوم‌هاي مختلف، از نرم‌افزار Hyfa براساس توزيع نرمال استفاده شد. شكل ۵ منحني شدت، مدت - دوره بازگشت (SDF) را براي تداوم‌هاي مختلف در ايستگاه رودك نشان مي‌دهد. همان‌گونه كه ملاحظه مي‌شود، با افزايش دوره بازگشت، شدت خشكسالي افزايش مي يابد و هر چه تداوم خشكسالي بيشتر مي شود، شدت خشكسالي نيز افزايش مي‌يابد .به همين ترتيب براي ساير ايستگاه‌ها نيز منحني‌هاي مشابه استخراج شد.



شكل ۵- منحني شدت- مدت- دوره بازگشت در ايستگاه رودك

مدل منطقه‌اي شدت خشكسالي

در تحليل منطقه‌اي، به طور معمول روش رگرسيون چندگانه براي به‌دست آوردن روابط بين ويژگي‌هاي جريان (در اينجا شدت خشكسالي) و خصوصيات منطقه استفاده مي شود (۳،۱و۵) . از طريق رگرسيون گام به گام بر اساس متغيرهاي انتخاب شده توسط تجزيه و تحليل عاملي (مساحت،بارندگي متوسط سالیانه, نفوذ پذيري خيلي كم وشيب متوسط حوزه) ، ضرايب هر يك از متغيرهاي مستقل و ضريب ثابت مدل محاسبه شد. در نهايت دو دسته مدل رياضي ارائه شد كه دسته اول براي كل منطقه و دسته دوم براي مناطق همگن است (جدول ۴).

روابط منطقه‌اي حاصل نشان داد كه شاخص مساحت نقش تعيين‌كننده‌اي در برآورد شدت خشكسالي با دوره بازگشت ۱۰ ساله و تداوم ۴ ماهه دارد.

جدول ٤- رابطه رگرسيوني لگاريتمي چند متغيره شدت خشكسالي با دوره بازگشت ۱۰ ساله و تداوم ٤ ماهه

مناطق	مدل	Se	R^2
همگن يك	Log (S)=۰/۰۲ Log (A)+۰/٦	۰/۰٤۸	۰/۷۹
همگن دو	Log (S)=۰/۲۳Log (A) + ۰/۱	۰/۰۲	۰/۹۷
كل	Log (S)=۰/۱ Log (A)+/۳۸۱	۰/۵	۰/۵

Log:لگاريتم بر پايه ۱۰ S: شدت خشكسالي A: مساحت حوزه (Km^2)

از جدول ۴, برتري مدل‌هاي حاصل از همگن بندي در مقايسه با مدل‌هاي كل منطقه كاملاً مشهود است. مقايسه مقادير Se (خطاي استاندارد) در دو دسته مدل جدول۴، نشان مي‌دهد كه مدل‌هاي ارائه‌شده در مناطق همگن Se كمتري دارد. مدل‌هاي ارائه شده در مناطق همگن ميزان R^2 (ضريب تعيين) قابل قبول دارد كه بيان‌كننده كفايت و مناسب بودن عوامل مستقل انتخاب‌شده است. رابطه خشكسالي در منطقه همگن دو با ضريب تعيين ۰/۹۷ بيانگر اين است كه متغيرهاي مستقل در اين روابط بيش از ۹۰ درصد تغييرات شدت خشكسالي را بيان مي كند.

به‌منظور ارزيابي مدل‌هاي منطقه‌اي ازداده‌هاي سه ايستگاه (گچسر،سيرا و فيروزكوه)استفاده شد، مقاديرشدت خشكسالي با دوره بازگشت ۱۰ساله با تداوم ۴ ماهه براي هر ايستگاه محاسبه و مقادير چهار عامل به‌دست آمده از تجزيه و تحليل عاملي نيز استخراج شد. سپس شدت

خشكسالي ايستگاه‌هاي شاهد از طريق دو دسته مدل به‌دست آمد (جدول۵). علاوه بر دو شاخص R^2 و Se ,مقاديرمجذور ميانگين مربع خطاها (RMSE) براي ايستگاه‌هاي شاهد و بر اساس مدل‌هاي كلي منطقه و مدل‌هاي مناطق همگن در جدول ۶ آمده است. با مقايسه RMSE ايستگاه‌هاي شاهد درمدل مناطق همگن بندي شده و كل منطقه، مشخص مي‌شود كه مقدار خطا در مدل همگن منطقه كمتر است.

جدول ۵- شدت خشكسالي ايستگاهي و برآوردي مدل منطقه‌اي براي دوره بازگشت ۱۰ساله و تداوم ٤ ماهه در مناطق همگن و كل منطقه

ايستگاه	منطقه مناطق	شدت برآوردي مدل	شدت ايستگاهي
گچسر	كل	۴/۱	۵/۵۳
	همگن يك	٤/٤۳	
سيرا	كل	٤/٦٤	۴/۰۷۲
	همگن يك	۴/۵٤	
فيروزكوه	كل	۴/۴۶	۵/۲
	همگن دو	۵/۴۸	

جدول ٦- مقايسه مقادير **RMSE** شدت خشكسالي با دوره بازگشت ۱۰سال با تداوم ٤ ماهه در كل منطقه و مناطق همگن

ايستگاه	منطقه	RMSE
گچسر	كل	۰/٦۰
	همگن يك	۰/٤٦
سيرا	كل	۰/۲۸
	همگن يك	۰/۲۳
فيروزكوه	كل	۰/۳۲
	همگن دو	۰/۱۲

بحث و نتيجه‌گيري

بر اساس سابقه تحقيق در خشكسالي هيدرولوژيك, عوامل مساحت و شيب متوسط حوزه به‌عنوان مهم‌ترين عوامل موثر بر شدت خشكسالي در بيشتر مدل‌ها حضور دارند. در اين تحقيق علاوه بر شاخص‌هاي فيزيوگرافي از شاخص‌هاي اقليمي و زمين‌شناسي نيز استفاده شد. نتايج تجزيه و تحليل عاملي نشان داد كه علاوه بر عوامل فيزيوگرافي, يك عامل اقليمي (بارش متوسط سالیانه) و يك عامل زمين‌شناسي (درصد متوسط وزني نفوذپذيري خيلي كم) نيز از جمله عوامل موثر بر شدت خشكسالي در ايستگاه‌هاي هيدرومتري استان تهران هستند. همچنين مدل رگرسيون چندگانه بين شدت خشكسالي و عوامل موثر نشان داد كه مساحت حوزه به خوبي مي‌تواند بيان‌كننده تغييرات متغير وابسته باشد.

نتايج همچنين نشان داد كه :

۱- عوامل موثر بر شدت خشكسالي هيدرولوژيكي با استفاده از تجزيه و تحليل عاملي شامل مساحت, بارش متوسط سالیانه, متوسط وزني نفوذپذيري خيلي كم و شيب متوسط حوزه, ۹۹/۳۶ درصد تغييرات اصلي را توضيح مي‌دهد.

۲- بر اساس نتايج حاصل از تجزيه و تحليل عاملي, همگن‌بندي صورت گرفت و دو منطقه همگن به‌دست آمد. عوامل موثر در تعيين مناطق همگن با نتايج حاصل از تحقيق يو و همكاران (۲۰۰۲) مطابقت دارد.

۳- در اين تحقيق با تركيب تئوري ران و تعيين حد آستانه خشكسالي , منحني‌هاي شدت، تداوم و دوره بازگشت خشكسالي هيدرولوژيكي براي ايستگاه‌هاي منطقه استخراج شد.

۴- مدل‌هاي منطقه‌اي شدت خشكسالي ۱۰ساله با تداوم ۴ ماهه در مناطق همگن داراي ضريب تعيين بالاتر و خطاي استاندارد كمتري نسبت به مدل‌هاي كلي منطقه‌اند.

۵- عامل مساحت، شدت خشكسالي هيدرولوژيكي را با دقت قابل قبولي برآورد مي‌كند. هنريكس و سانتوس (۱۹۹۹) نيز در تحقيقات خود اين عامل را به‌دست آوردند.

۶- نتايج اين تحقيق نشان مي‌دهد كه با افزايش مساحت، مقدار شدت خشكسالي نيز افزايش مي‌يابد.

معادلات به‌دست آمده در اين تحقيق همانند ساير معادلات منطقه‌اي صرفاً براي حوزه‌هاي آبخيز مورد مطالعه قابل استفاده است و نمي‌توان آنها را به ساير حوزه‌هاي آبخيز تعميم داد.

منابع

۱- افشار، عباس، ۱۳۶۸ . هيدرولوژي مهندسي،دانشگاه علم وصنعت،٤٥٩ ص.

۲- خزائي ،محمد رضا،۱۳۸۰.پيش بيني شدت خشكسالي و كمبود جريان، پايان‌نامه كارشناسي‌ارشد مهندسي عمران آب ، دانشگاه علم و صنعت ايران، ١٦٦ ص.

۳- فريفته، جمشيد، ۱۳۷۰. تحليل‌هاي كمي در ژئومورفولوژي، ترجمه، دانشگاه تهران، ۳۶۸ ص.

۴- رضيئي، طيب ،ع.شكوهي،ب.ثقفيان،پ.دانش كارآراسته،ش.دانشور،۱۳۸۱.استخراج منحني هاي شدت ـ مدت ـ فراواني و نقشه‌هاي هم‌شدت خشكسالي ، مجموعه مقالات بررسي راهكارهاي مقابله با بحران آب،زابل، ص ١٤١-١٢٥.

۵- رضا ارقامي، ناصر و ا. بزرگنيا ، ۱۳۷۰ . آمار چند متغيره كاربردي،ترجمه ،آستان قدس رضوي.

۶- سميعي، مسعود، ۱۳۸۲.تعميم منطقه‌اي جريان‌هاي كم آبي در استان تهران، پايان‌نامه كارشناسي‌ارشد آبخيزداري،دانشگاه تهران،۱۱۲ ص.

۷ - مقدم، محمد، ا.شوطي و م. آقائي سربرزه ,۱۳۷۳. آشنايي با روش‌هاي آماري چند متغيره,ترجمه ،انتشارات پيشتاز علم تبريز، ۲۰۸ ص.

8-Bonacci, O., 1993. Hydrological identification of drought. Hydrol. Processes, 7:249-262.
9-Chang, T.J. & J.R. Stenson, 1990. Is it realistic to define a 100-year drought for water management Water Resources Bolt ten, 26(5):823-829.
10-Chow, V. T., 1964. Handbook of applied hydrology, McGraw_Hill BOOK Company.
11-Clausen, B. & C.P. Pearson, 1995. Regional frequency analysis of annual maximum streamflow drought, Journal of Hydrology, 173:111-130.
12-Dalezios, N.R., Z.G. Papazafiriou, D.M.Papamichail & T.S. Karakostas, 1991. Drought assessment for the potential of precipitation enhancement in Northern Greece. Theoret. Appl. Climatol. 44: 75-88.
13-Dalezios, N.R., A.Loukas, L.Vasiliades & E.Liakopoulos, 2000. Severity-duration-frequency analysis of droughts and wet periods in Greece, Hydrol.Sci.J. , 45(5).
14-Dracup, J.A., K.S.Lee & E.G. Paulson, 1980. On the definition of drought. Hydrol. Processes, 7:249-262.
15-Griffiths, G.A., 1990. Rainfall deficites: distribution of monthly runs, Journal of Hydrology, 115:219-229.
16-Henriques, A.G. & M.J.J.Santos, 1999. Regional drought distribution model, Phys.Chem.Earth (B), vol.24, No.1-2: 19-22.
17-Sen, Z., 1980. Regional frequency analysis of low flows in New Zealand rivers. Journal of Hydrology.NZ, 33(2).
18-Smaktin, V.U., 2001. Low flow hydrology: a review, Journal of Hydrology,No.240: 147-186.
19-Tasker, G.D., 1982. Comparing methods of hydrologic regionalization. Water Resources Bulletin, 18(6): 965-970.
20-Thampson, S., 1999. Hydrology for water management, Prentice Hall Inc.
21-Yue, P.S. , P.C.Yang & C.W .Liu, 2002. A regional model of low flow for southern Taiwan, Hydrological Processes,No.16: 2017-2034.
22-Zelenhasic, E. & A.Salvia, 1987 . A method of streamflow drought analysis.Water Resour Research.23:156-168.

Regional Analysis of Drought Intensity (Case study: Tehran Province)

M. Samiee[1] **B. Saghafian[2]** **M. Mahdavi[3]**

Abstract

Drought analysis is of very much importance in evaluation of water resources projects. Based on regional analysis of hydrologic drought, it is possible to develop relations between watershed characteristics and flow indices to estimate drought intensity. In this research, frequency analysis based on normal distribution was performed for 12 watersheds in Tehran province. In addition, Factor analysis on 19 variables including physiographic, climatic and geologic factors resulted in four effective variables of: watershed area, annual average precipitation, weighted mean infiltration and average slope. Cluster analysis was carried out for determination of homogenous regions in which watershed were divided into two homogenous groups. Run theory was used to estimate intensity of hydrologic drought. To find relation between 4month _ 10 yr drought intensity and characteristics of the watershed, multivariate regression technique was used, the best model being proposed. Finally, using data of three control stations, accuracy of the proposed regional model was evaluated. Results show that, in the study area, regression models developed for homogeneous regions are of a higher accuracy as compared with the models developed for the entire region.

Keywords: Hydrologic drought, Regional analysis, Drought intensity, Run theory, Analysis Factor, Homogenous regions, Tehran province

1 – Senior Expert, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, E-mail: massamiee@yahoo.com
2 – Research Associate Professor, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute
3 – Research Associated professor, faculty of Natural Resources University of Tehran