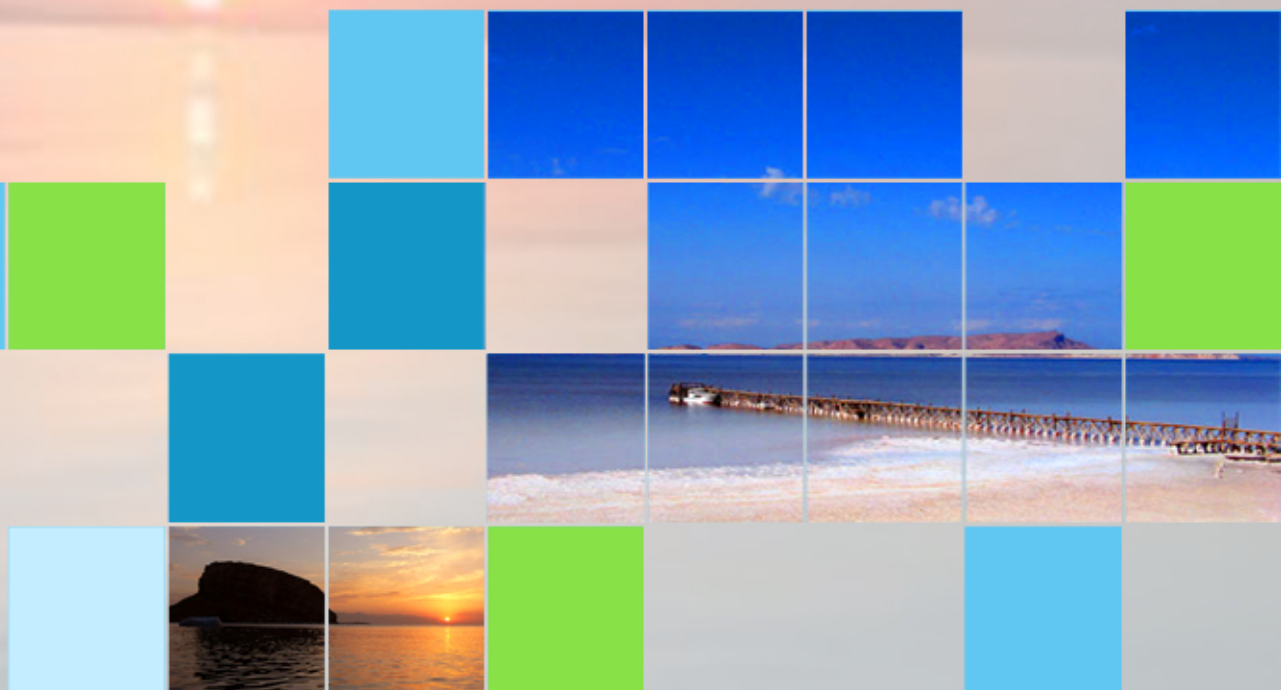


# گزارش سیستم پایش خشکسالی حوضه آبخیز دریاچه ارومیه

## Lake Urmia Basin Drought Monitoring System

«طرح حفاظت از تالاب های ایران»



مهر ۱۳۹۰



سازمان حفاظت محیط زیست



طرح حفاظت از تالاب های ایران

طرح مدیریت خشکسالی دریاچه ارومیه

## گزارش سیستم پایش خشکسالی



پژوهشکده مهندسی آب دانشگاه تربیت مدرس

آبان 1390



جمهوری اسلامی ایران

سازمان محیط زیست

طرح حفاظت از تالاب های ایران

## گزارش سیستم پایش خشکسالی

پژوهشکده مهندسی آب دانشگاه تربیت مدرس

آذر 1390



# فهرست مطالب

| صفحه | عنوان                                                          |
|------|----------------------------------------------------------------|
| 1    | فصل اول: مقدمه .....                                           |
| 1    | 1-1- مقدمه .....                                               |
| 2    | 2-1- امکانات سیستم UDMP .....                                  |
| 3    | 3-1- مروری بر شاخص‌های مورد استفاده در UDMP .....              |
| 3    | 1-3-1- شاخص بارندگی استاندارد شده (SPI) .....                  |
| 4    | 2-3-1- شاخص دبی استاندارد شده (SDI) .....                      |
| 4    | 3-3-1- شاخص خشکسالی موثر (EDI) .....                           |
| 8    | 4-3-1- شاخص کمبود (DI) .....                                   |
| 9    | 4-1- مدل‌های پیش‌بینی .....                                    |
| 9    | 1-4-1- پیش‌بینی جریان .....                                    |
| 12   | 2-4-1- بکارگیری ابزار RapidMiner برای استفاده از روش KNN ..... |
| 15   | فصل 2: کار با نرم افزار UDMP .....                             |
| 15   | 1-2- مقدمه .....                                               |
| 15   | 2-2- نوار منو .....                                            |
| 16   | 1-2-2- Data .....                                              |
| 17   | 2-2-2- Run .....                                               |
| 18   | 3-2-2- View .....                                              |
| 19   | 4-2-2- Graph .....                                             |
| 20   | 5-2-2- Map .....                                               |

|    |                                                                            |
|----|----------------------------------------------------------------------------|
| 21 | ..... Help -6-2-2                                                          |
| 22 | ..... فصل سوم: شرح خروجی‌های نرم افزار UDMP                                |
| 22 | ..... 1-3- مقدمه                                                           |
| 22 | ..... 2-3- پایش روزانه خشکسالی با استفاده از شاخص EDI و DI                 |
| 23 | ..... 1-2-3- پایش روزانه خشکسالی هواشناسی با استفاده از شاخص EDI           |
| 26 | ..... 2-2-3- پایش روزانه خشکسالی هیدرولوژیکی با استفاده از شاخص DI         |
| 27 | ..... 1-2-2-3- پایش ایستگاهی شاخص DI                                       |
| 28 | ..... 2-2-2-3- پایش مکانی خشکسالی با استفاده از شاخص DI                    |
| 31 | ..... 3-2-3- رفتار شاخص‌ها EDI و DI در مقیاس روزانه                        |
| 32 | ..... 3-3- پایش ماهیانه خشکسالی با شاخص‌های هواشناسی SPI و هیدرولوژیکی SDI |
| 33 | ..... 1-3-3- مقایسه رفتار شاخص‌ها در طول آماری                             |
| 34 | ..... 2-3-3- مقایسه رفتار مکانی شاخص‌ها                                    |
| 39 | ..... 5-3- ضرورت های سیستم پایش موفق                                       |
| 40 | ..... فهرست منابع و مراجع                                                  |

# فهرست اشکال

| عنوان                                                                                                                                    | صفحه |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| شکل 1-1: پیش‌بینی آنومالی دمای سطح دریا (SST) در منطقه NINO 3.4 توسط موسسه بین‌المللی تحقیقات اقلیم و جامعه (IRI) (5°N-5°S, 120°W-170°W) | 10   |
| شکل 2-1: شمای نرم‌افزار RapidMiner                                                                                                       | 12   |
| شکل 3-1: انتخاب الگوریتم KNN و داده‌ها                                                                                                   | 13   |
| شکل 4-1: اطلاعات مورد نیاز برای اجرای KNN                                                                                                | 13   |
| شکل 1-2: اجزاء منوی نرم‌افزار UDMP                                                                                                       | 16   |
| شکل 2-2: اجزاء زیر منوی DATA در نرم‌افزار UDMP                                                                                           | 16   |
| شکل 3-2: نحوه معرفی ایستگاه آبسنجی                                                                                                       | 17   |
| شکل 4-2: بارگذاری و سپس نمایش داده‌های ورودی در محیط Excel                                                                               | 17   |
| شکل 5-2: درخواست اجرای شاخص SDI                                                                                                          | 18   |
| شکل 6-2: اجرای برنامه برای شاخص SDI                                                                                                      | 18   |
| شکل 7-2: درخواست نمایش شاخص SDI                                                                                                          | 19   |
| شکل 8-2: بارگذاری برای نمایش نتایج شاخص SDI                                                                                              | 19   |
| شکل 9-2: درخواست نمایش نتایج اجرای شاخص SDI                                                                                              | 20   |
| شکل 10-2: دوره زمانی مورد نظر برای نمایش نتایج اجرای شاخص SDI                                                                            | 20   |
| شکل 1-3: وضعیت خشکسالی در سطح آمریکا در تاریخ 2011/11/22                                                                                 | 23   |
| شکل 2-3: پایش روزانه خشکسالی در سطح کره جنوبی با استفاده از شاخص EDI برای 2011/7/3                                                       | 24   |
| شکل 3-3: وضعیت روزانه خشکسالی EDI و سایر متغیرهای مربوط به این شاخص (میلی‌متر) طی                                                        |      |

- سال آبی 1377-78 لغایت 1379-80 با استفاده از شاخص EDI در ایستگاه نقده ..... 25
- شکل 3-4: وضعیت روزانه خشکسالی طی سال آبی 1377-78 لغایت 1379-80 با استفاده از شاخص EDI در ایستگاه سنته ..... 26
- شکل 3-5: محاسبه شاخص DI در مدل UDMF و معرفی آستانه دبی ..... 27
- شکل 3-6: تغییرات سری‌های زمانی دبی، دبی‌های 70% و شاخص DI در ایستگاه ونیار طی سال‌های 1382-83 لغایت 1384-85 ..... 27
- شکل 3-7: وضعیت هیدرولوژیکی خشکسالی در حوضه دریاچه ارومیه در تاریخ 1371/2/15 ..... 28
- شکل 3-8: وضعیت هیدرولوژیکی خشکسالی در حوضه دریاچه ارومیه در تاریخ 1371/10/15 ..... 29
- شکل 3-9: وضعیت هیدرولوژیکی خشکسالی در حوضه دریاچه ارومیه در تاریخ 1376/10/15 ..... 29
- شکل 3-10: وضعیت هیدرولوژیکی خشکسالی در حوضه دریاچه ارومیه در تاریخ 1377/2/15 ..... 30
- شکل 3-11: وضعیت هیدرولوژیکی خشکسالی در حوضه دریاچه ارومیه در تاریخ 1377/10/15 ..... 30
- شکل 3-12: مقادیر شاخص‌های DI و EDI برای ایستگاه نقده طی سال‌های 1384 تا 1385 (1 و 0 به ترتیب وقوع و عدم وقوع خشکسالی را نشان می‌دهد) ..... 32
- شکل 3-13: مقادیر شاخص‌های DI و EDI برای ایستگاه سنته طی سال‌های 1384 تا 1385 (1 و 0 به ترتیب وقوع و عدم وقوع خشکسالی را نشان می‌دهد) ..... 32
- شکل 3-14: نمودار مقایسه شاخص‌های SPI و SDI برای ایستگاه‌های سنته طی سال‌های آبی 1377-78 تا 1379-80 ..... 33
- شکل 3-15: نمودار مقایسه شاخص‌های SPI و SDI برای ایستگاه‌های نقده طی سال‌های آبی 1377-78 تا 1379-80 ..... 34
- شکل 3-16: مقایسه توزیع مکانی شاخص SPI و شاخص SDI در حوضه دریاچه ارومیه در سال آبی 84-85 در ماه‌های الف) مهر، ب) آبان، ج) آذر ..... 35

شکل 3-17: مقایسه توزیع مکانی شاخص SPI و شاخص SDI در حوضه دریاچه ارومیه در سال

آبی 84-85 در ماه‌های الف) دی، ب) بهمن، ج) اسفند ..... 36

شکل 3-18: مقایسه توزیع مکانی شاخص SPI و شاخص SDI در حوضه دریاچه ارومیه در سال

آبی 84-85 در ماه‌های الف) فروردین، ب) اردیبهشت، ج) خرداد ..... 37

شکل 3-19: مقایسه توزیع مکانی شاخص SPI و شاخص SDI در حوضه دریاچه ارومیه در سال

آبی 84-85 در ماه‌های الف) تیر، ب) مرداد، ج) شهریور ..... 38

# فصل اول

## مقدمه

### 1-1- مقدمه

سیستم‌های پایش از ابزارهای لازم برای مدیریت خشکسالی هستند. با این سیستم‌ها است که می‌توان از شدت و توسعه مکانی خشکسالی آگاهی یافت که معمولاً با شاخص‌های خشکسالی این مهم به انجام می‌رسد.

برای سازمان مدیریت خشکسالی دریاچه ارومیه نیز کمیته‌ای که تحت عنوان "پایش و ارزیابی" پیش‌بینی شده است و گزارش حاضر شرح سیستم نرم‌افزاری است که برای پشتیبانی از آن توسعه یافته است. سیستم که من بعد UDMP (Urmia Drought Monitoring Package) اطلاق می‌گردد، این قابلیت را دارد تا وضعیت خشکسالی را در سطح حوضه و در مقیاس‌های متنوع زمانی و مکانی با استفاده از شاخص‌های مناسب هواشناسی و هیدرولوژیکی پایش نماید. گزارش حاضر به شرح ویژگی‌ها، مبانی، کار با نرم افزار و خروجی‌های آن می‌پردازد.

اما نکته‌ای که لازم می‌باشد ابتدا تاکید گردد، این است که نرم‌افزار تنها یک ابزار برای کمک به پایش است. آنچه این عملیات را در حوضه دریاچه ارومیه کارآمد می‌سازد، وجود متخصصین آشنا به مبحث پایش خشکسالی خواهد بود و در این رابطه لازمست تا طرح تالاب‌ها ظرفیت‌سازی لازم را در دستور کار قرار دهد.

## 2-1- امکانات سیستم UDMP

متناسب با اهداف طرح ویژگی‌های برای سیستم در نظر گرفته شده است که اهم آن شامل موارد زیر است:

- امکان پایش خشکسالی با متغیرهای هواشناسی و هیدرولوژیکی؛  
بدین منظور شاخص‌های  $SPI^1$ ،  $EDI^2$ ،  $SDI^3$  و  $DI^4$  در آن قرار داده شده است. دو شاخص اول با داده‌های بارندگی و دو شاخص دوم از داده‌های دبی استفاده می‌کنند. شاخص‌ها متکی به داده‌های در دسترس می‌باشند و در عین حال کارآمدی آنها در تجربیات داخلی و مراجع معتبر به تائید رسیده است (Morid et al., 2005).

- امکان پایش خشکسالی در مقیاس زمانی متنوع؛  
سیستم این امکان را دارد تا پایش را از مقیاس روزانه تا سالیانه به انجام برساند. لذا وضعیت هواشناسی و هیدرولوژیکی حوضه بطور مستمر و در هر روز تا مقیاس‌های بالاتر قابل تعقیب می‌باشد. برای مقیاس روزانه، شاخص‌های  $EDI$  (هواشناسی) و  $DI$  (هیدرولوژیکی) به ترتیب پایش روزانه را انجام می‌دهند (هم اکنون نقشه‌های خشکسالی در سطح بعضی کشورها بطور هفتگی به هنگام می‌گردند و این سیستم و مقیاس چنین محصولی را میسر می‌سازد (به آدرس:

---

<sup>1</sup> Standard Precipitation Index

<sup>2</sup> Effective Drought Index

<sup>3</sup> Standard Discharge Index

<sup>4</sup> Deficit Index

<http://droughtmonitor.unl.edu> مراجعه شود). شاخص SPI را می‌توان بطور ماهیانه، 3 ماهه، 6، 9 و 12 ماهه محاسبه و پایش را به انجام رساند که 3 ماهه آن برای پایش خشکسالی کشاورزی و 6 تا 9 ماهه آن برای پایش خشکسالی هیدرولوژیکی نیز توصیه شده است. به همین ترتیب شاخص SDI نیز با استفاده از اطلاعات آبسنجی در مقیاس‌های ماهانه یا فصلی قابل محاسبه می‌باشد.

- کاربرد دست بودن سیستم:

نرم افزار اطلاعات را در محیط Excel دریافت می‌دارد و تلاش شده بطور کاربرد دوست اطلاعات را دریافت نماید.

- امکان ارائه گزارشات متنوع:

نرم‌افزار گزارش‌های متنوعی را ارائه می‌دهد و می‌توان با پاره‌ای پردازش، گزارشات دیگری را نیز تولید کرد. بخصوص استفاده از خروجی‌های نرم‌افزار و نمایش آنها در سیستم اطلاعات جغرافیایی مانند نقشه‌های خشکسالی در تولید اطلاعات تکمیلی بسیار مفید خواهد بود.

### 3-1- مروری بر شاخص‌های مورد استفاده در UDMP

#### 1-3-1- شاخص بارندگی استاندارد شده (SPI)

شاخص SPI برای هر منطقه براساس ثبت بارندگی‌های طولانی مدت آن محاسبه می‌شود و 30 سال، به عنوان حداقل دوره آماری برای آن توصیه شده است. در ابتدا توزیع آماری مناسب، بر آمار بلند مدت بارندگی‌ها برازش داده می‌شود که به دلیل انعطاف توزیع گاما، معمولاً از آن استفاده می‌گردد. سپس تابع تجمعی توزیع با استفاده از احتمالات مساوی به توزیع نرمال تبدیل می‌گردد، بطوریکه استاندارد شده و متوسط آن برای هر منطقه و هر دوره مورد نظر صفر شود (Edwards and McKee, 1997). مقادیر مثبت SPI نشان دهنده بارندگی بیشتر از بارش متوسط و مقادیر منفی آن معنای عکس را دارد. طبق این روش دوره خشکسالی هنگامی اتفاق می‌افتد که SPI به طور مستمر منفی و به مقدار 1- یا کمتر برسد و هنگامی پایان می‌یابد که SPI مثبت گردد. بنابراین

مدت دوره خشکسالی با شروع و خاتمه ارقام منفی SPI تعیین می‌شود و مقادیر تجمعی SPI نیز بزرگی و شدت دوره خشکسالی را نشان می‌دهد (Hayes, 2000). مقیاس زمانی مرسوم این شاخص ماهانه و میانگین‌های متحرک 3، 6، 9 و 12 ماهه می‌باشد. 1 ماه، 3 ماه و 6 ماهه به ترتیب بیشترین توصیه را برای پایش خشکسالی‌های هواشناسی، کشاورزی و هیدرولوژیکی شده است (Bochenek, 2005).

### 1-3-2- شاخص دبی استاندارد شده (SDI)

همانگونه که آمد، به لحاظ محاسباتی مانند SPI می‌باشد. ولی از منظر مقیاس زمانی، تنها بطور ماهانه و فصلی توصیه شده است.

### 1-3-3- شاخص خشکسالی موثر (EDI)<sup>5</sup>

این شاخص توسط Byun از دانشگاه ملی Pukyong، در سال 1996 تحت عنوان EDI ارائه گردید و خشکسالی سال 1995-96 در آمریکا نیز با این شاخص با بهره‌گیری از 195 ایستگاه ارزیابی شد (Byun and Wilhite, 1999). در این شاخص، خشکسالی به طور روزانه پایش می‌شود که این قابلیت در شاخص‌های قبلی مد نظر نبوده است.

اصلی‌ترین مفهوم در این شاخص، بارش موثر (EP)<sup>6</sup> است که در واقع جمع بارش روزانه با یک تابع کاهشی، وابسته به زمان می‌باشد. به عبارت دیگر EP هرروز، تابعی از بارندگی همان روز و یک دوره ماقبل خود بوده که در آن بارش‌های اخیر نسبت به بارش‌های قدیمی‌تر وزن بیشتری دارند. مراحل محاسباتی این شاخص با انتخاب دوره فرضی کمبود آب آغاز می‌گردد و در ادامه محاسبات، دوره واقعی آن تعیین خواهد شد. این دوره فرضی می‌تواند 365 روز (نماینده مقدار کل

---

<sup>5</sup> - Effective Drought Index

<sup>6</sup> - Effective Precipitation

منابع آب ذخیره شده برای یک دوره طولانی) و یا 15 روز (نماینده مقدار کل منابع آب ذخیره شده برای یک دوره کوتاه مدت) باشد. در این تحقیق دوره 365 روز که سیکل بارندگی قالب جهانی و حاکم بر کشور است، انتخاب گردید. بعد از انتخاب تداوم فرضی می توان محاسبات را مطابق مراحل زیر ادامه داد (Byun and Wilhite, 1999):

- محاسبه بارش موثر روزانه (EP)

محاسبه EP با استفاده از رابطه زیر انجام می شود:

$$EP_i = \sum_{n=i}^i [(\sum_{m=1}^n P_m) / n] \quad (1-1)$$

که در آن i تداوم فرضی و  $P_m$  بارندگی تا  $m-1$  روز قبل (برای مثال  $P_1$  بارندگی روزی که بایستی بارش موثر محاسبه شود و  $P_2$  بارندگی یک روز قبل) می باشد. به عنوان مثال اگر i برابر 3 روز باشد، EP مطابق زیر برآورد خواهد شد:

$$EP_3 = (P_1)/1 + (P_1+P_2)/2 + (P_1+P_2+P_3)/3 \quad (2-1)$$

این رابطه به خوبی تاثیر بالاتر بارش های اخیر نسبت به بارش های قدیمی تر و همچنین اینکه هر روز در طی دوره آماری مستقلا یک EP خواهد داشت، را نشان می دهد. لذا برای هر دوره که هدف بررسی خشکسالی باشد، بایستی EP هر روز دوره را با در نظر گرفتن تداوم مورد نظر بدست آورد. بدیهی است که این محاسبات برای سال اول دوره آماری قابل انجام نخواهد بود و از سال دوم به بعد قابل انجام می باشد (به عنوان مثال چنانچه 30 سال آمار وجود داشته باشد،  $29 * 365$  مقدار EP بدست خواهد آمد).

- محاسبه میانگین بارش موثر روزانه (MEP)<sup>7</sup>

MEP در حقیقت میانگین یا نرمال EP برای هر روز تقویمی بوده که ویژگی های اقلیمی را در یک مکان و زمان معین نشان می دهد. برای محاسبه MEP یک روز، بایستی EP های همان روز را در

---

<sup>7</sup> - Mean of Effective Precipitation

طول دوره مورد نظر با هم جمع کرده و میانگین گرفت. از آنجائیکه تغییرات MEP قدری زیاد می‌باشد، توصیه می‌گردد تا از میانگین متحرک 5 روزه MEP ها استفاده شود (Byun and Wilhite, 1999).

- محاسبه انحراف EP از MEP (DEP)<sup>8</sup>

برآورد انحراف EP از MEP مرحله بعدی محاسبات بوده که برای کل روزهای دوره آماری محاسبه می‌گردد:

$$DEP = EP - MEP \quad (3-1)$$

مقدار مثبت DEP، نشان دهنده ذخیره آب در همان تاریخ و مکان بوده و مقدار منفی آن معنی عکس دارد.

- محاسبه مقدار استاندارد شده DEP (SEP)<sup>9</sup>

به منظور امکان مقایسه نتایج قبل بین مناطق مختلف بدون توجه به شرایط آب و هوایی، ارقام حاصله از مرحله قبل با استفاده از رابطه ذیل استاندارد می‌گردد:

$$SEP = \frac{DEP}{ST(EP)} \quad (4-1)$$

در رابطه فوق ST(EP) انحراف معیار EP برای هر روز تقویمی می‌باشد (نظیر MEP که میانگین EP های یک روز خاص بود).

- تعریف دوره خشک و تداوم واقعی

چون مقادیر منفی DEP و SEP حاکی از بارندگی زیرحد نرمال می‌باشد، بنابراین دوره‌های خشک را می‌توان، دوره‌هایی با مقادیر منفی متوالی این پارامترها تلقی نمود. تداوم واقعی از جمع کردن تداوم فرضی (365 روز در این تحقیق) و دوره خشک یا تر بدست می‌آید. برای مثال اگر تا تاریخ دوم اردیبهشت ماه به مدت 35 روز مقدار DEP یا SEP منفی باشد (28 اسفند تا 2 اردیبهشت)

<sup>8</sup> - Deviation of MEP

<sup>9</sup> - Standardized of Effective Precipitation

تداوم واقعی برای این تاریخ، 35 روز (دوره خشک) بعلاوه تداوم فرضی اولیه خواهد بود (روز  $399 = 365 + 35 - 1$ ). حال می‌توان برای هر روز در دوره آماری یک تداوم واقعی را بدست آورد.

- محاسبه شاخص بارندگی مورد نیاز برای برگشت به شرایط نرمال روزانه (PRN)<sup>10</sup>

محاسبه این قسمت با تکرار مراحل قبل با توجه به دوره تداوم واقعی حاصل از مرحله قبل آغاز می‌گردد. به عنوان مثال چنانچه اول فروردین سال دوم آماری تداوم واقعی 377 روز را داشته باشد، لازم خواهد بود تا برای اول فروردین کلیه سال‌ها، EP 377 روزه و سپس MEP و DEP مربوط محاسبه گردد. به همین ترتیب برای اول فروردین در سال بعد با توجه به تداوم واقعی محاسبه شده آن عملیات مجدداً (برای سال‌های قبل و بعد) تکرار می‌گردد. کلیه این مراحل برای تمامی روزها به همین ترتیب انجام خواهد گرفت. پس از محاسبه DEP هر روز با توجه به تداوم واقعی، PRN مربوط مطابق زیر محاسبه می‌گردد که اندیس J در آن اشاره به تداوم واقعی دارد :

$$PRN_j = \frac{DEP_j}{\sum_{N=1}^j (1/N)} \quad (5-1)$$

PRN در حقیقت مقدار بارندگی لازم برای برگشت به شرایط نرمال، از حالت کمبود را نشان می‌دهد. با توجه به اینکه مقدار کمبود بارندگی، نشان دهنده شدت خشکسالی می‌باشد، لذا می‌توان با PRN شدت خشکسالی را ارزیابی کرد، اگرچه به شرایط آب وهوائی وابسته بوده و لازم است تا مانند SEP استاندارد گردد.

- محاسبه شاخص خشکسالی موثر (EDI)

EDI در واقع شکل استاندارد شده PRN می‌باشد و مطابق زیر برآورد می‌گردد:

$$EDI_j = \frac{PRN_j}{ST(PRN_j)} \quad (6-1)$$

در رابطه بالا ST(PRN) نشان دهنده انحراف معیار PRN می‌باشد (مطابق با منطقی که برای EP

<sup>10</sup> - Precipitation needed for a Return to Normal

ارائه گردید). بدین ترتیب این شاخص قابلیت آن را دارد تا برای هر شرایط آب و هوایی، وضعیت خشکسالی را در مناطق مختلف بر اساس طبقه‌بندی خاصی که برای آن تعریف شده (جدول 3-4) محاسبه و با هم مقایسه نماید.

### 1-3-4- شاخص کمبود (DI)

برای محاسبه شاخص DI برای هر یک از روزهای سال (J) در طول N سال داده‌های آماری موجود در یک ایستگاه هیدرومتری، ابتدا برای هر یک از روزهای سال بازه‌ای به طول D روز قبل و D روز بعد انتخاب می‌گردد. مقدار D باید طوری باشد که تعداد دبی‌های انتخاب شده برای بازه هر یک از روزها در طول N سال آماری، کمتر از 300 نباشد. نرم افزار مقدار D برابر با 10 روز قرار داده است (Prudhomme and Sauquet, 2007). در مرحله بعد، منحنی تداوم جریان برای بازه هر روز (j) محاسبه و رسم می‌گردد.

محاسبه دبی آستانه (Q) مرحله بعدی می‌باشد. در اینجا مقدار  $Q_{70}$  به عنوان دبی آستانه در نظر گرفته شد (مقدار دبی که در 70 درصد از ایام سال دبی رودخانه مساوی و یا بیشتر از آن است)، ولی کاربر می‌تواند آن را تغییر دهد و ارقام دیگری را به عنوان آستانه تعریف نماید. در ادامه سری جریان رودخانه با دبی آستانه مقایسه می‌شود. ارقام کمتر مبین وقوع خشکسالی ( $DI=1$ ) و بیشتر، عدم وقوع خشکسالی ( $DI=1$ ) را نشان می‌دهد.

### شاخص RDI

از جمع شاخص‌های DI، مقادیر منطقه‌ای آن تحت عنوان شاخص منطقه‌ای RDI بدست می‌آید. در واقع اعلام خشکسالی با RDI، در یک روز و ناحیه‌ای است که همگنی آن مورد تأیید قرار گرفته باشد. چنانچه در این ناحیه M ایستگاه هیدرومتری با N سال داده روزانه دبی وجود داشته باشد، در این صورت شاخص  $RDI(t)$  مطابق رابطه 3-2 محاسبه می‌شود:

$$RDI(t) = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M DI_i(t) \quad (7-1)$$

در این رابطه  $i$ : شمارنده ایستگاه‌های موجود در منطقه و  $DI_i(t)$  مقدار  $DI$  در ایستگاه  $i$  ام در روز  $t$  ام می‌باشند. چنانچه مقدار  $RDI(t)$  برای منطقه‌ای برای یک روز خاص بیشتر از 0.3 بیشتر باشد، آنگاه در آن روز در منطقه مورد مطالعه خشکسالی رخ داده است (Prudhomme and Sauquet, 2007).

#### 1-4- مدل‌های پیش‌بینی

آنچه که تاکنون آمد، مطالبی مربوط به پایش بود که برای طراحی سیستم پایش خشکسالی دریاچه ارومیه در نظر گرفته شده است. در این قسمت نیز اشاره‌ای به پیش‌بینی<sup>11</sup> برای این طرح می‌گردد. ابتدا لازم به ذکر است که پیش‌بینی آن هم از نوع بلند مدت آن از خطا و عدم قطعیت بالایی برخوردار می‌باشد، لذا آنچه که در این خصوص چه در سطح ملی و چه در سطح بین‌المللی اعلام و استفاده می‌گردد با آگاهی از این ضعف‌ها می‌باشد. شکل (1-1) نمونه‌ای از پیش‌بینی موسسه IRI برای شاخص SST که برای پیش‌بینی خشکسالی کاربرد زیادی دارد را نشان می‌دهد. محدوده مقادیر SST نسبت به دبی از دامنه بسیار کمتری برخوردار است و برای این کار نیز بیش از بیست مدل آماری و دینامیکی استفاده شده که تفاوت در نتایج آنها کاملاً آشکار است. علی‌رغم این موارد ملاحظه می‌گردد که تفاوت‌های آشکاری در خروجی‌ها وجود دارد که برای متغیری مانند دبی، بیش از اینها را نیز باید انتظار داشت.

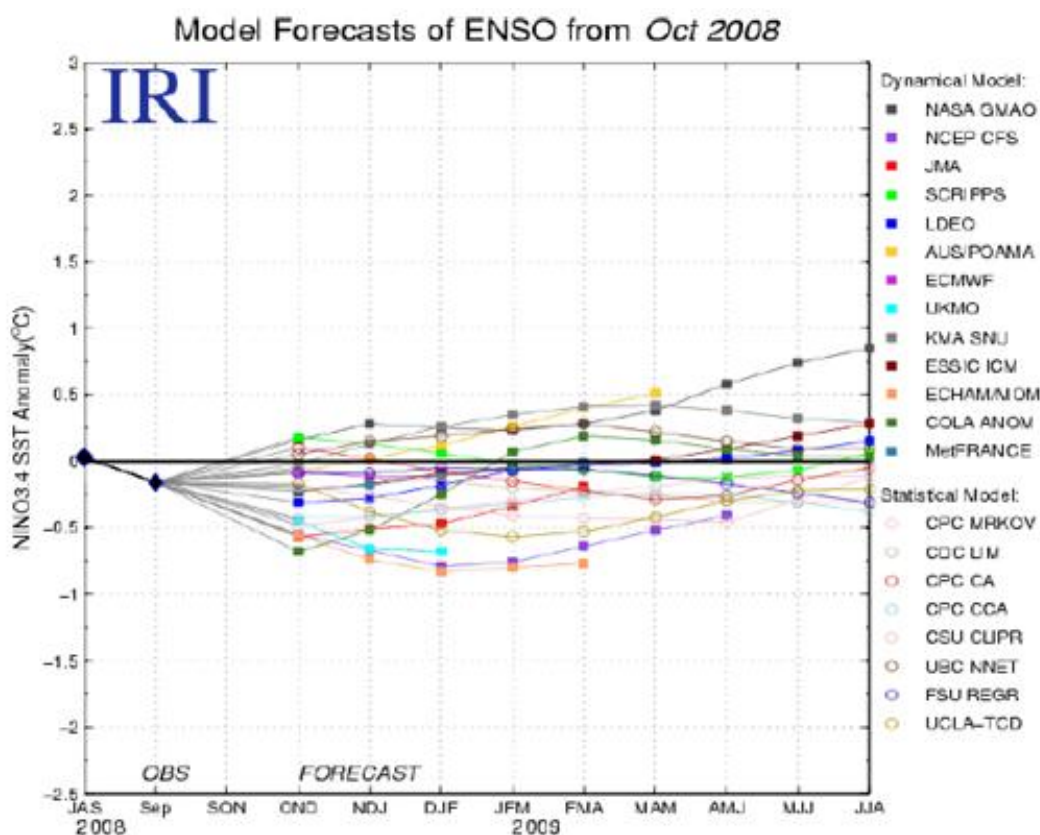
#### 1-4-1- پیش‌بینی جریان

در سطح کشور پیش‌بینی هم برای متغیرهای هواشناسی و هم هیدرولوژیکی انجام می‌شود که به ترتیب، سازمان هواشناسی و وزارت نیرو عهده دار آنها هستند. در سطح استانی نیز پیش‌بینی‌هایی از آورد رودخانه‌ها توسط سازمان‌های آب استانی به انجام

---

<sup>11</sup> پیش‌بینی جزء شرح خدمات این طرح نمی‌باشد و در اینجا مطالبی تنها برای تقویت سیستم پایش اشاره شده است.

می‌رسد که در روش‌شناسی آن، وضعیت سال جاری با سال‌های مشابه قبل مقایسه می‌گردد. این روش شباهت زیادی به الگوریتمی تحت عنوان K نزدیک‌ترین همسایه یا K Nearest Neighbor



شکل 1-1: پیش‌بینی آنومالی دمای سطح دریا (SST) در منطقه NINO 3.4 (5°N-5°S, 120°W-170°W) توسط موسسه بین‌المللی تحقیقات اقلیم و جامعه (IRI)

(KNN) دارد که از روش‌های طبقه‌بندی و داده‌کاوی است. در الگوریتم KNN بر خلاف اکثر روش‌های داده‌کاوی، مدلی برای داده‌ها استخراج نمی‌شود. به عبارتی فاز آموزش برای این الگوریتم وجود ندارد. بلکه مجموعه‌ای از داده‌ها برای آموزش سیستم انتخاب می‌شوند. سپس برای دسته‌بندی هر کدام از نمونه‌های آموزشی، آن نمونه با همه نمونه‌های مجموعه آموزشی مقایسه می‌شود و K نمونه‌ای که بیشترین شباهت را با آن دارند، انتخاب می‌شود. در نهایت بر اساس اینکه غالب نمونه‌های همسایه متعلق به چه کلاسی هستند، کلاس نمونه آموزش تعیین می‌شود.

برای مثال پیش‌بینی آورد سال آینده در ایستگاهی براساس دبی 12 ماه قبل آن و 30 سال فرض

شود (ماتریس  $30 \times 12$  ورودی و بردار  $30 \times 1$  خروجی). در اینجا ورودی های مدل میزان دبی ماهانه هر سال و خروجی مجموع آورد سال بعد آن است. سوال نیز پیش بینی سال 31م است.

شرح روش براساس مثال بالا اینگونه خواهد بود که ابتدا باید نزدیک ترین (مشابه ترین) سال ها از بین آمار موجود، به سال 30 انتخاب گردند. در روش KNN نیاز است تا رابطه ای برای محاسبه فاصله یا شباهت بین سال ها تعریف شود. برای این منظور، روابط زیادی معرفی شده که معروف ترین آنها فاصله اقلیدسی است:

$$Dis_t(X_1, X_2) = \sqrt{\sum_{i=1}^n (x_{1i} - x_{2i})^2} \quad (8-1)$$

که در آن  $x_{1i}$  ها مجموعه  $n$  خصوصیت (در اینجا 12 ماه دبی) نمونه  $X_1$  و  $x_{2i}$  ها مجموعه  $n$  خصوصیت نمونه  $X_2$  هستند. اگر در رابطه (3-1) وزن ها نیز وارد شود، رابطه زیر حاصل می شود:

$$Dis_t(X_1, X_2) = \sqrt{\sum_{i=1}^n W_i (x_{1i} - x_{2i})^2} \quad (9-1)$$

همانطور که از رابطه فوق بر می آید تعیین فاصله مشخص شده بستگی به وزنی دارد که برای هر یک از متغیرهای مستقل در نظر گرفته می شود، تعیین این وزن ها از مهم ترین مسائل در این روش پیش بینی می باشد. مثلاً برای پیش بینی آورد سال بعد، می توان وزن بیشتری را به ماه های زمستان نسبت به تابستان داد. پس از محاسبه وزن ها مقدار عددی متغیر مورد پیش بینی  $D_r$  (دبی سال 31) می تواند از رابطه زیر بدست آید:

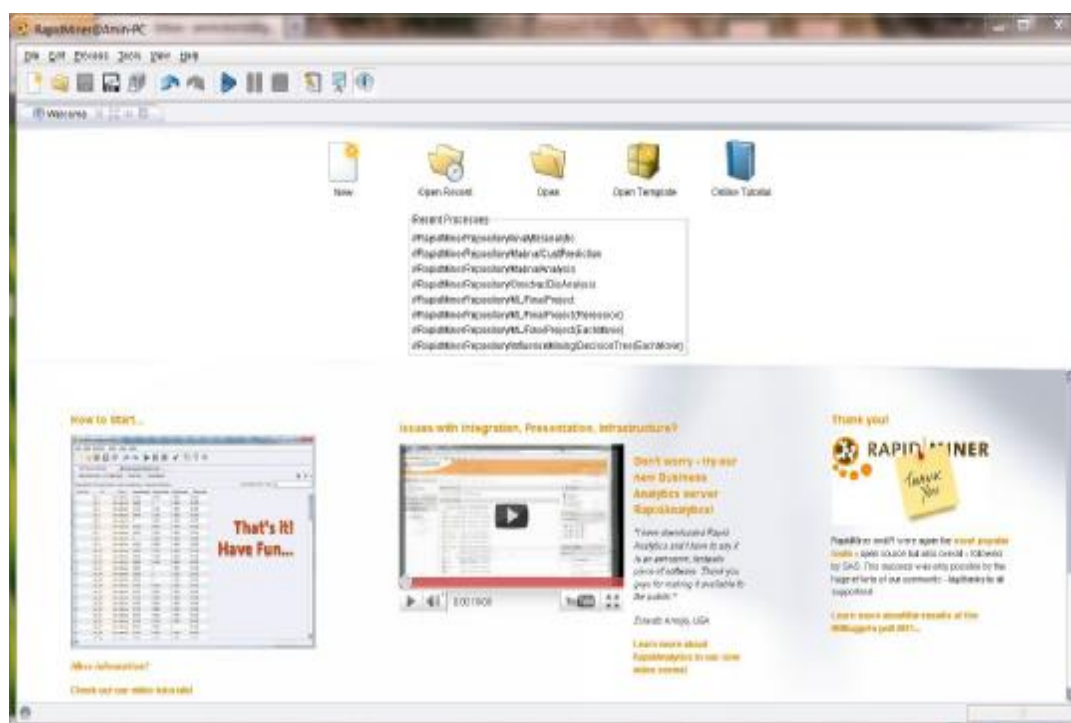
$$D_r = \sum_{t=1}^K \left( \frac{\frac{1}{J}}{\sum_{j=1}^m \frac{1}{J}} \right) * D_t \quad (10-1)$$

در رابطه فوق  $J$  مرتبه هریک از همسایه ها می باشد (سال هایی که نزدیک ترین فاصله را داشته اند)، به این صورت که هرچه فاصله مجموعه ای از داده ها کمتر باشد، مرتبه آن بیشتر در نظر گرفته می شود.  $D_t$

نیز مقدار متناظر  $D_r$  در همسایه‌ها می‌باشد. برای مثال مورد نظر، چنانچه 4 سال انتخاب شده باشد، سال 31م از میانگین وزنی ارقام متناظر آنها در بردار خروجی بدست می‌آید و آنکه نزدیک‌تر بوده، وزن بیشتری نیز داشته است. جزئیات بیشتر در مورد الگوریتم در مرجع (کارآموز و عراقی‌نژاد، 1384) قابل دسترسی است.

#### 1-4-2- بکارگیری ابزار RapidMiner برای استفاده از روش KNN

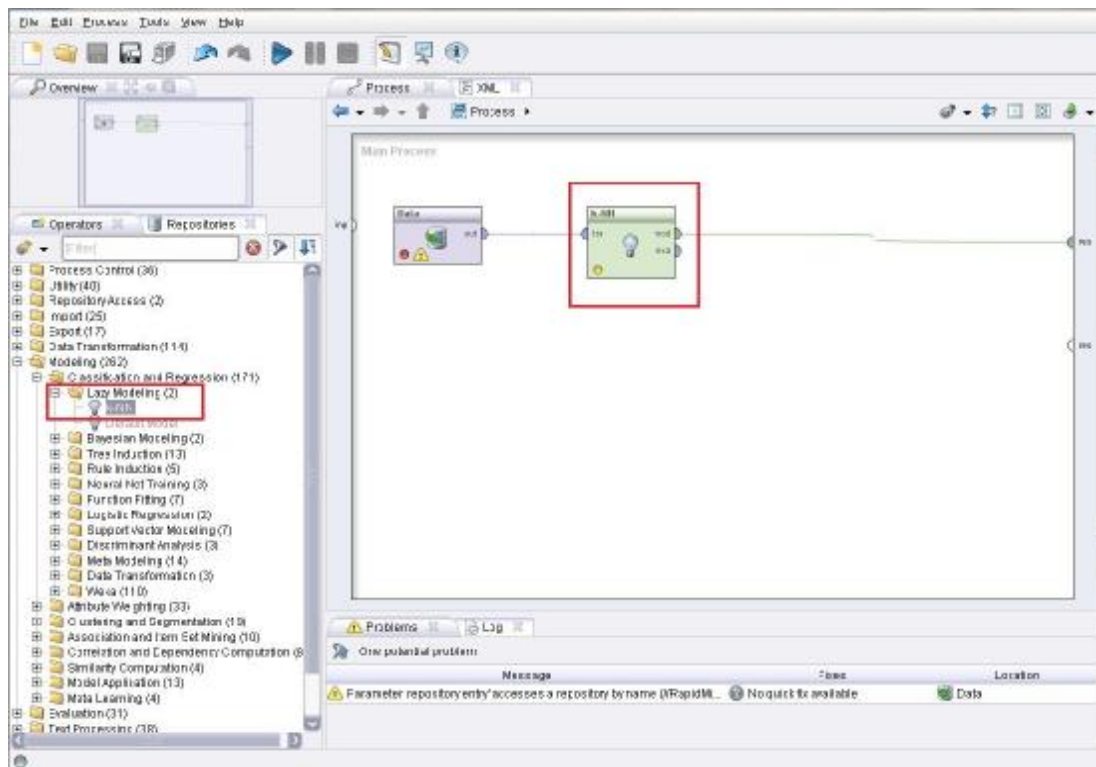
یکی از قوی‌ترین ابزارهای داده‌کاوی که در این مسئله و یا هر مسئله مشابه دیگری قابل استفاده است، RapidMiner می‌باشد. این ابزار که شمای کلی از آن در شکل 1-2 نمایش داده شده است، مجموعه متنوعی از الگوریتم‌های داده‌کاوی از جمله KNN را در خود دارد.



شکل 1-2: شمای نرم‌افزار RapidMiner

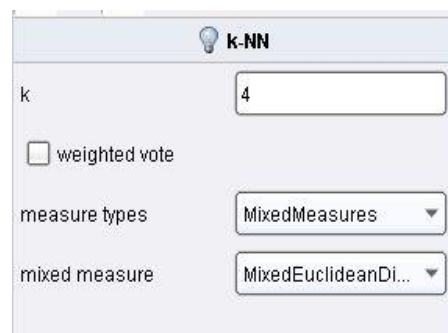
برای استفاده از الگوریتم KNN، ابتدا می‌بایست این الگوریتم از مجموعه الگوریتم‌های موجود در نرم‌افزار انتخاب و به‌مراه مجموعه داده‌ای مورد نظر بر روی صفحه اصلی ابزار انداخته شود. این

کار در شکل 3-1 نمایش داده شده است.



شکل 3-1: انتخاب الگوریتم KNN و داده‌ها

پس از این مرحله می‌توان خصوصیات الگوریتم KNN را از منوی کنار صفحه انتخاب کرد (شکل 4-1).



شکل 4-1: اطلاعات مورد نیاز برای اجرای KNN

همانگونه که قبلاً آمد،  $K$  تعیین می‌کند که الگوریتم از چند همسایه نزدیک استفاده کند. خصوصیت **weighted vote** اگر انتخاب شود، بجای میانگین ساده، از میانگین وزن‌دار استفاده خواهد

شد. در نهایت خصوصیت measure type نوع تابع فاصله را تعیین می‌کند که می‌تواند به صورت ترکیبی نیز در mixed measure انتخاب و مورد استفاده قرار گیرد.

نرم افزار در لوح فشرده پیوست گزارش آمده است.

## فصل 2

# کار با نرم افزار UDMP

### 2-1- مقدمه

در این فصل به شرح کار با بسته نرم افزاری UDMP پرداخته می‌گردد. تلاش شده تا بخش‌های مختلف نرم افزار با اشکال مناسب، تشریح گردد که برای کاربران استفاده از آن را تسهیل نماید. در عین حال در منوی برنامه نیز بخش Help گنجانده شده است تا در موارد لازم، کاربر به آن مراجعه نماید. علاوه بر شرح، یک مثال کاربردی نیز در انتها ارائه شده تا کار بهتر با برنامه را نیز تسهیل نماید.

### 2-2- نوار منو

نوار منو از شش بخش اصلی شامل: Help و Map, Graph, View, Run, Data تشکیل شده است که هر کدام نیز زیر منوی خاص خود را دارد که در شکل 2-1 قابل مشاهده هستند:



شکل 2-1: اجزاء منوی نرم افزار UDMP

## Data - 1-2-2

در ادامه و در شکل 2-2 اجزاء منوی Data تشریح می گردند.

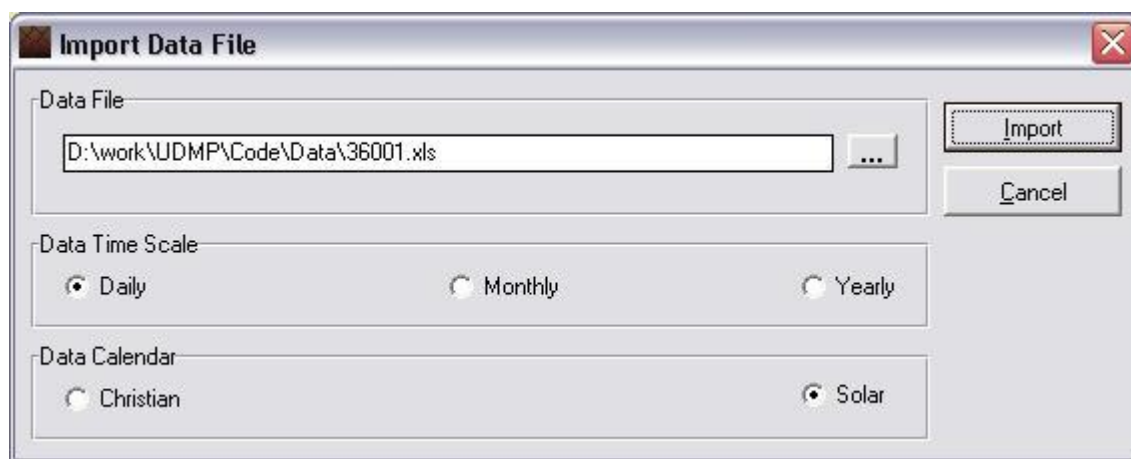


شکل 2-2: اجزاء زیر منوی DATA در نرم افزار UDMP

## Import Hydrological Data-

با استفاده از این زیرمنو می توان یک فایل مربوط به اطلاعات آبرسنجی را وارد کرد. شکل 2- فرم

ورود اطلاعات را نشان می دهد. ابتدا باید آدرس فایل ورودی مشخص گردد که می تواند با فرمت های Excel و یا Text باشند. سپس باید مقیاس زمانی داده ها (Time Scale) و نوع تقویم آنها (Calendar) مشخص شوند (میلادی یا شمسی).



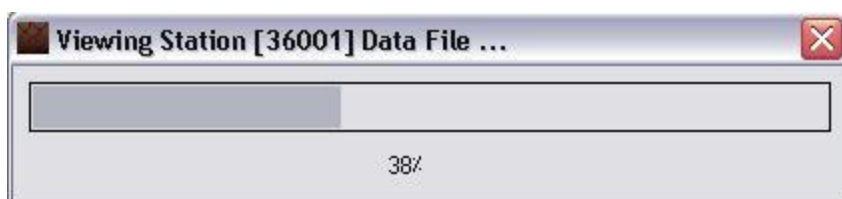
شکل 2-3: نحوه معرفی ایستگاه آبسنجی

#### *Import Meteorological Data-*

این زیرمنو نیز مانند قبل بوده ولی برای معرفی ایستگاه بارانسنجی است.

#### *Show Data File-*

پس از معرفی ایستگاه، این زیرمنو فعال می گردد و با استفاده از آن می توان داده های وارد شده را در نرم افزار Excel مشاهده کرد.



شکل 2-4: بارگذاری و سپس نمایش داده های ورودی در محیط Excel

#### **Run -2-2-2**

با استفاده از این منو می توان شاخص های مورد نظر را برای داده های ایستگاه محاسبه کرد. البته بسته به نوع داده، شاخص ها متفاوت هستند. شکل 2-6 نمونه ای از اجرای شاخص SDI را برای داده های دبی نشان می دهد و برای سایر شاخص ها نیز مراحل کار به همین ترتیب است.



شکل 2-5: درخواست اجرای شاخص SDI



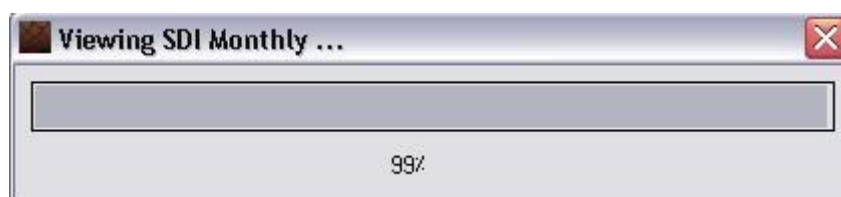
شکل 2-6: اجرای برنامه برای شاخص SDI

## View - 3-2-2

با استفاده از این منو می توان داده شاخص های محاسبه شده را در نرم افزار Excel مشاهده کرد (اشکال 2-7 و 2-8).



شکل 2-7: درخواست نمایش شاخص SDI



شکل 2-8: بارگذاری برای نمایش نتایج شاخص SDI

## Graph -4-2-2

با استفاده از این منو می توان منحنی داده شاخص های محاسبه شده را تولید و در Excel مشاهده کرد. بدین منظور ابتدا بخش فعال می گردد (شکل 2-9) و سپس دوره زمانی که برای نمایش مد نظر است، وارد می گردد (2-10).



شکل 2-9: درخواست نمایش نتایج اجرای شاخص SDI

شکل 2-10: دوره زمانی مورد نظر برای نمایش نتایج اجرای شاخص SDI

## Map -5-2-2

این منو و نقشه‌های مربوط، تنها برای مشاهده موقعیت ایستگاه‌های باران‌سنجی و یا آب‌سنجی است و کاربرد پردازشی ندارد.

## Hydrological Stations -

## **Help -6-2-2**

با استفاده از این منو می توان به راهنمای نرم افزار دسترسی داشت (Help) و همچنین شرح کلی نرم افزار را مشاهده نمود (About).

## فصل سوم

# شرح خروجی‌های نرم افزار UDMP

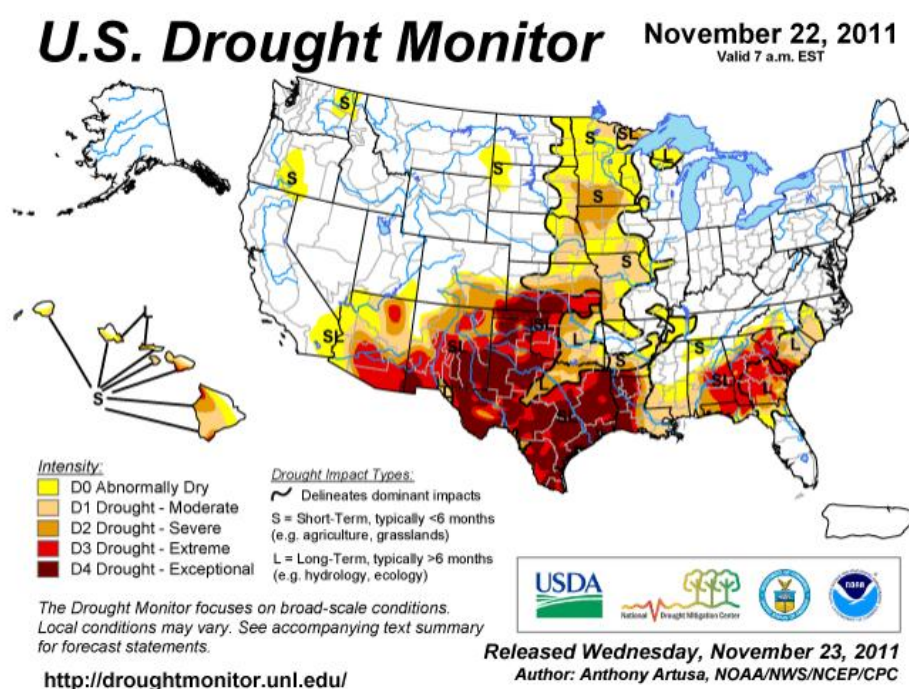
### 3-1- مقدمه

بسته نرم افزاری UDMP شامل خروجی‌هایی است که مشخصاً نتایج برنامه برای ایستگاه‌های معرفی شده هستند. این اطلاعات هم مستقیماً قابل استفاده هستند و هم با مجموعه محاسبات بعدی (post-processing) بخصوص در محیط GIS، می‌توانند از خروجی‌های برنامه اطلاعات دیگری را مانند نقشه‌های خشکسالی در اختیار قرار دهند. در ادامه شرح بیشتری از این موارد همراه با مثال‌های ارائه می‌شود.

### 3-2- پایش روزانه خشکسالی با استفاده از شاخص EDI و DI

تحلیل‌های متنوعی را می‌توان با استفاده از شاخص EDI و DI به انجام رساند. از مهمترین کاربردهای

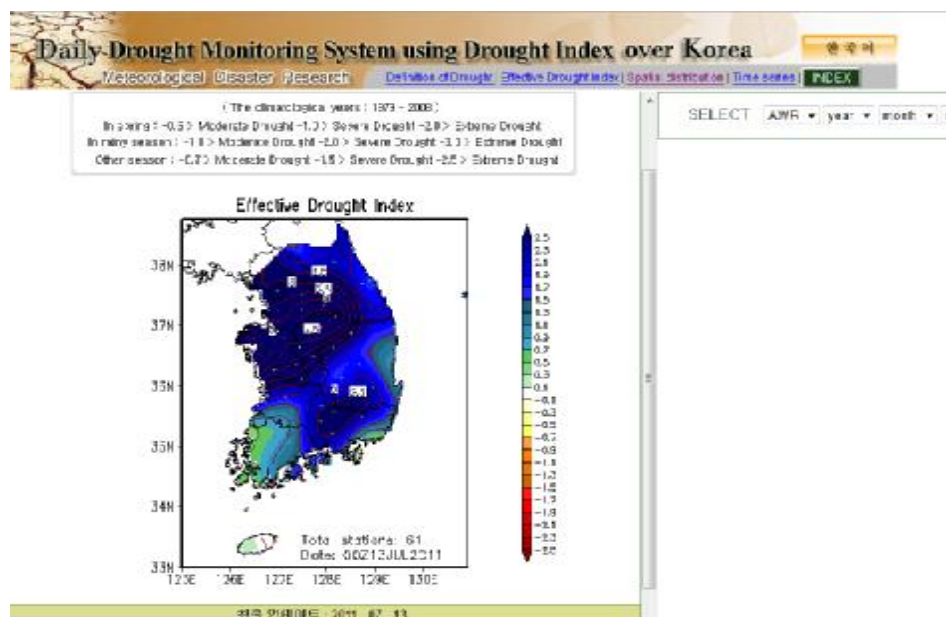
پایش در مقیاس روزانه تعیین زودهنگام وقوع خشکسالی یا وضعیت خشکسالی بعد از بارندگی‌هایی است که در حوضه اتفاق می‌افتد. امروزه نیز سیستم‌هایی مانند سیستم پایش خشکسالی آمریکا، نقشه‌های خشکسالی را بطور هفتگی تولید و در اختیار عموم قرار می‌دهند ([www.droughtmonitor.unl.edu](http://www.droughtmonitor.unl.edu)) (شکل 3-1) و به همین ترتیب در کره جنوبی که با استفاده از شاخص EDI پایش در مقیاس روزانه به انجام می‌رسد ([atmos.pknu.ac.kr/~intra/eng.index.php](http://atmos.pknu.ac.kr/~intra/eng.index.php)) (شکل 3-2).



شکل 3-1: وضعیت خشکسالی در سطح آمریکا در تاریخ 2011/11/22

### 3-2-1- پایش روزانه خشکسالی هواشناسی با استفاده از شاخص EDI

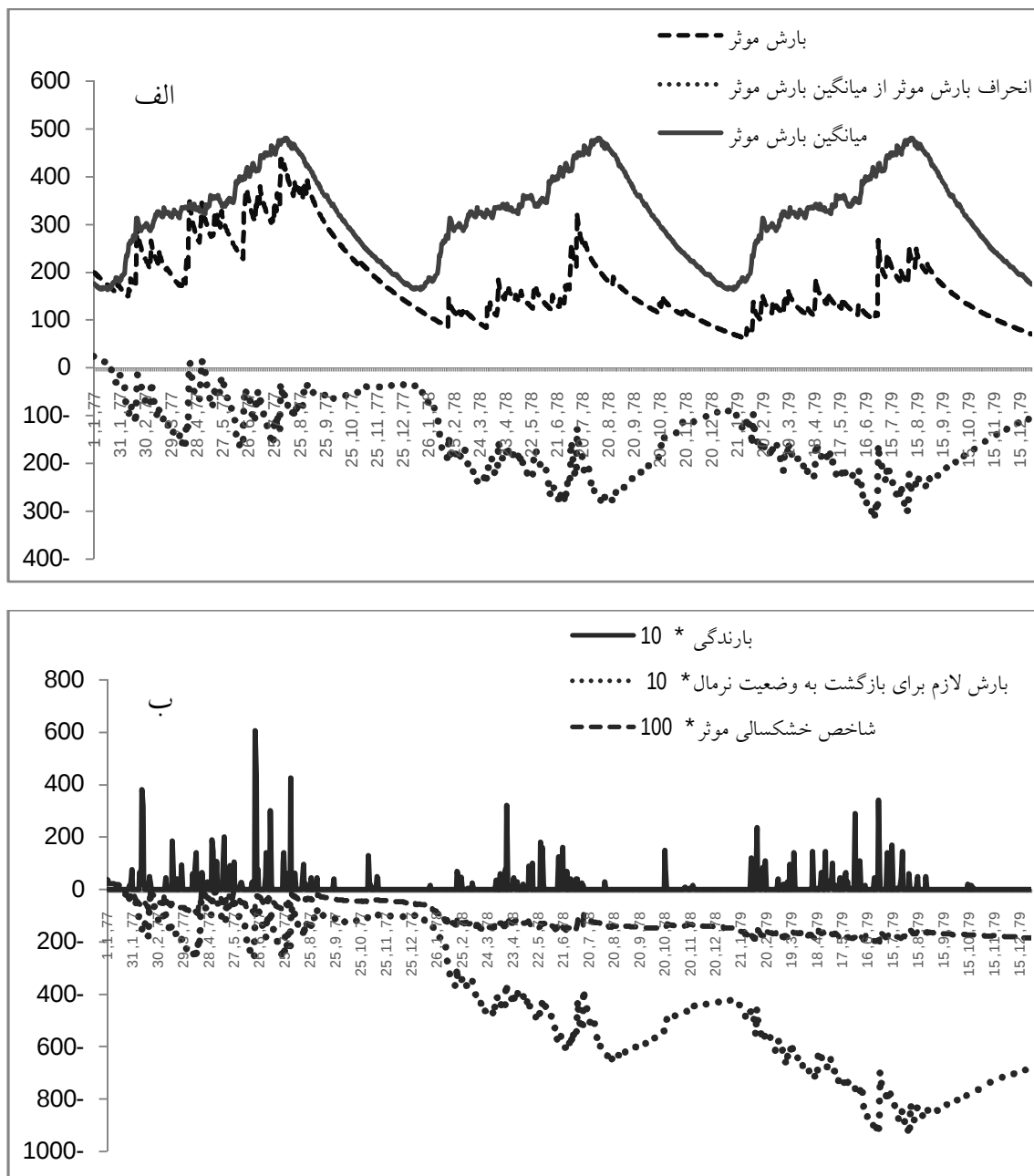
شرح کامل این شاخص‌ها در فصل قبل آمد. براساس قابلیت‌های شاخص EDI، خشکسالی بطور روزانه پایش و وضعیت آن قابل بررسی است. شکل 3-3 و 3-4 نمایشی از نتایج مدل تهیه شده برای این شاخص می‌باشد که مربوط به ایستگاه‌های نقده و سسته، طی سال‌های 78-1377 لغایت 80-1379 است. این دوره از شدیدترین خشکسالی‌های ثبت شده در منطقه بوده و به عنوان



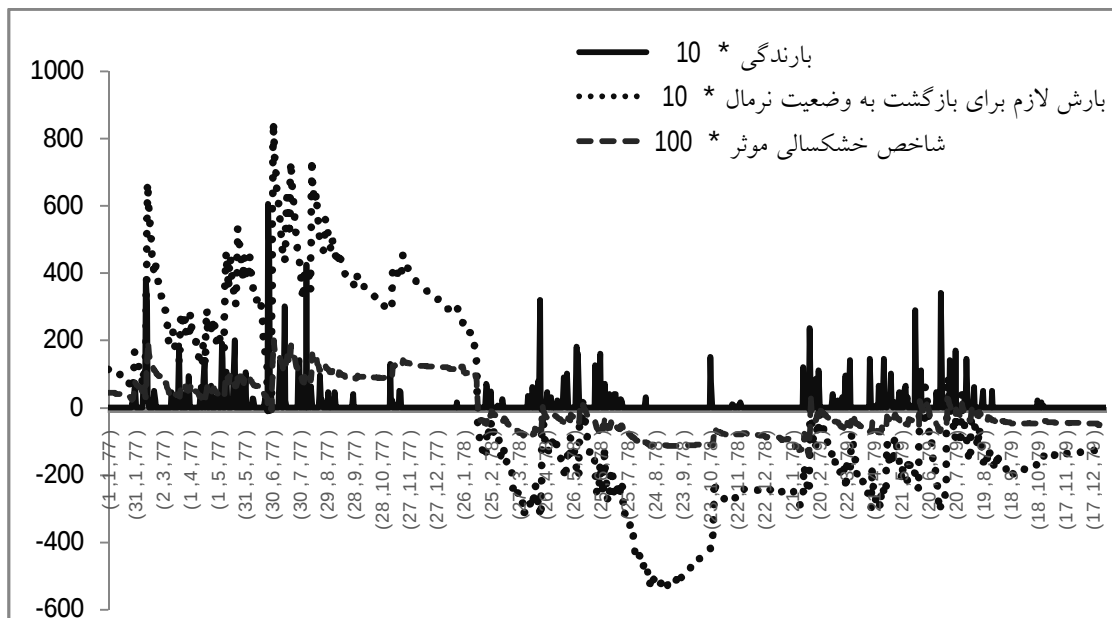
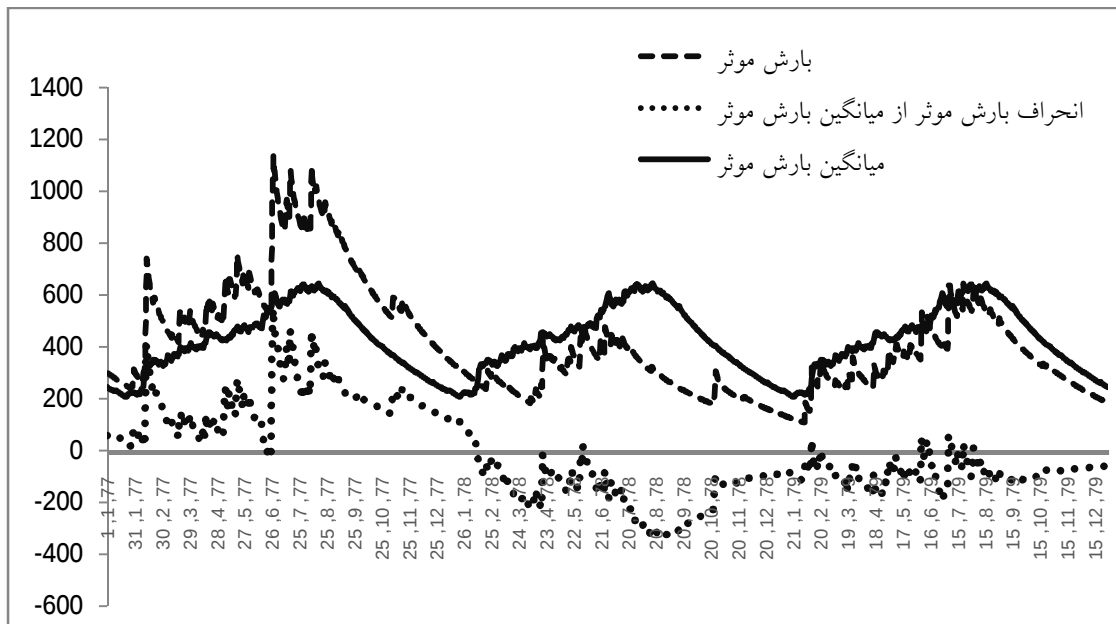
شکل 3-2: پایش روزانه خشکسالی در سطح کره جنوبی با استفاده از شاخص EDI برای 2011/7/13

نمونه در گزارش آمده است. اشکال بسیار گویا و دقیق وضعیت روزانه خشکسالی را با بکارگیری مجموعه‌ای از پارامترها به تفسیر در آورده است. برای بیان بهتر قابلیت شاخص، شکل 3-3 بیشتر تشریح می‌گردد. شکل، شامل سه منحنی "میانگین بارش موثر" (MEP)، "بارش موثر" (EP) و "انحراف بارش موثر از میانگین بارش موثر" برای هر روز است (3-3، الف). افزایش بارش موثر (EP) از میانگین بارش موثر (MEP) شرایط مرطوب و کاهش آن، شرایط خشک را نشان می‌دهد. ملاحظه می‌شود که از ابتدای سال دوم تقریباً بطور مستمر، ایستگاه شرایط خشک را گزارش کرده است. شکل 3-3 (ب) شامل یک نمودار ستونی بوده که مقدار بارندگی روزانه را نشان داده و بررسی عکس العمل سایر پارامترها را در مقابل رخداد بارندگی‌ها قابل تعقیب می‌سازد. منحنی‌های "بارش لازم برای بازگشت به شرایط نرمال" (PRN) و "شاخص بارش موثر" (EDI) وضعیت را برای هر روز بیان می‌دارند. برای این دوره بیشترین کمبود در اوایل آذر 1379 اتفاق افتاده که 80 میلی‌متر

کمبود بارش در منطقه را گزارش نموده است. علی‌رغم بارندگی‌های زمستان و پائیز طی این دوره، نقش آن‌ها در کاهش استمرار خشکسالی‌ها موثر نبوده و تقریباً کل سال 1378 و 1379 در خشکسالی به سررفته است.



شکل 3-3: وضعیت روزانه خشکسالی EDI و سایر متغیرهای مربوط به این شاخص (میلی‌متر) طی سال آبی 1377-78 لغایت 1379-80 با استفاده از شاخص EDI در ایستگاه نقده



شکل 3-4: وضعیت روزانه خشکسالی طی سال آبی 1377-78 لغایت 1379-80

با استفاده از شاخص EDI در ایستگاه سته

### 3-2-2- پایش روزانه خشکسالی هیدرولوژیکی با استفاده از شاخص DI

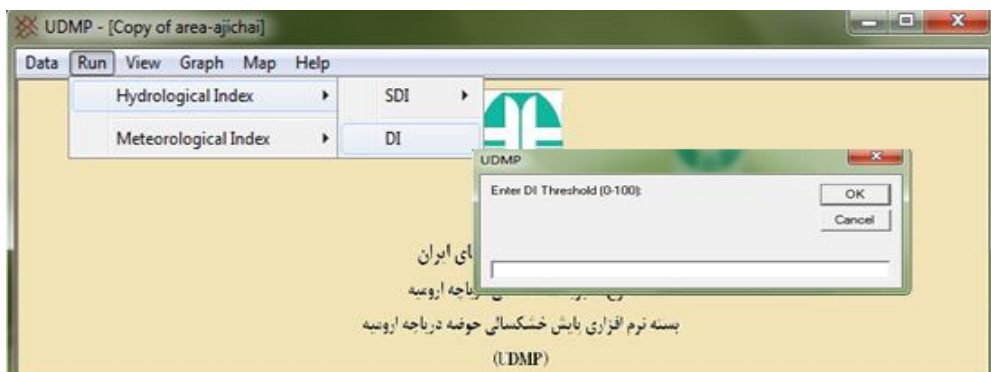
با توجه اهمیت جریان رودخانه برای در حوضه ونقش آن در تامین آب دریاچه، پایش روزانه

خشکسالی با متغیرهای هیدرولوژیکی در سیستم نیز مد نظر قرار گرفت. این پایش هم ایستگاهی و

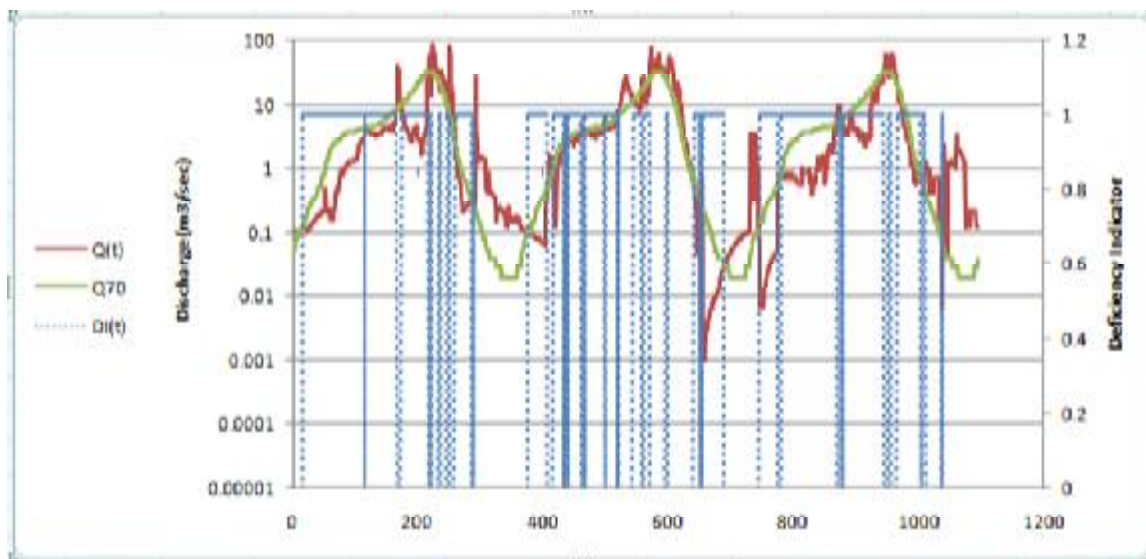
هم منطقه‌ای قابل انجام است که در ادامه تشریح می‌شوند.

### 3-2-2-1- پایش ایستگاهی شاخص DI

با شرحی که در فصل اول و گزارش رفتار خشکسالی در حوضه دریاچه آمد، این شاخص نیاز به معرفی یک آستانه دارد (شکل 3-5) که برای این مطالعات پس از بررسی‌هایی Q70 در نظر گرفته شد (دبی که در 70 ایام دبی مساوی و کمتر از آن است). این رقم در سیستم UDMP متغیر در نظر گرفته شده است و کاربر می‌تواند ارقام متفاوتی را ارزیابی و استفاده نماید. در شکل 3-6 نیز خط سبز رنگ منحنی دبی‌های 70% را نشان می‌دهد که در صورت تغییر آنها، نحوه اعلام خشکسالی نیز تغییر خواهد کرد.



شکل 3-5: محاسبه شاخص DI در مدل UDMP و معرفی آستانه دبی

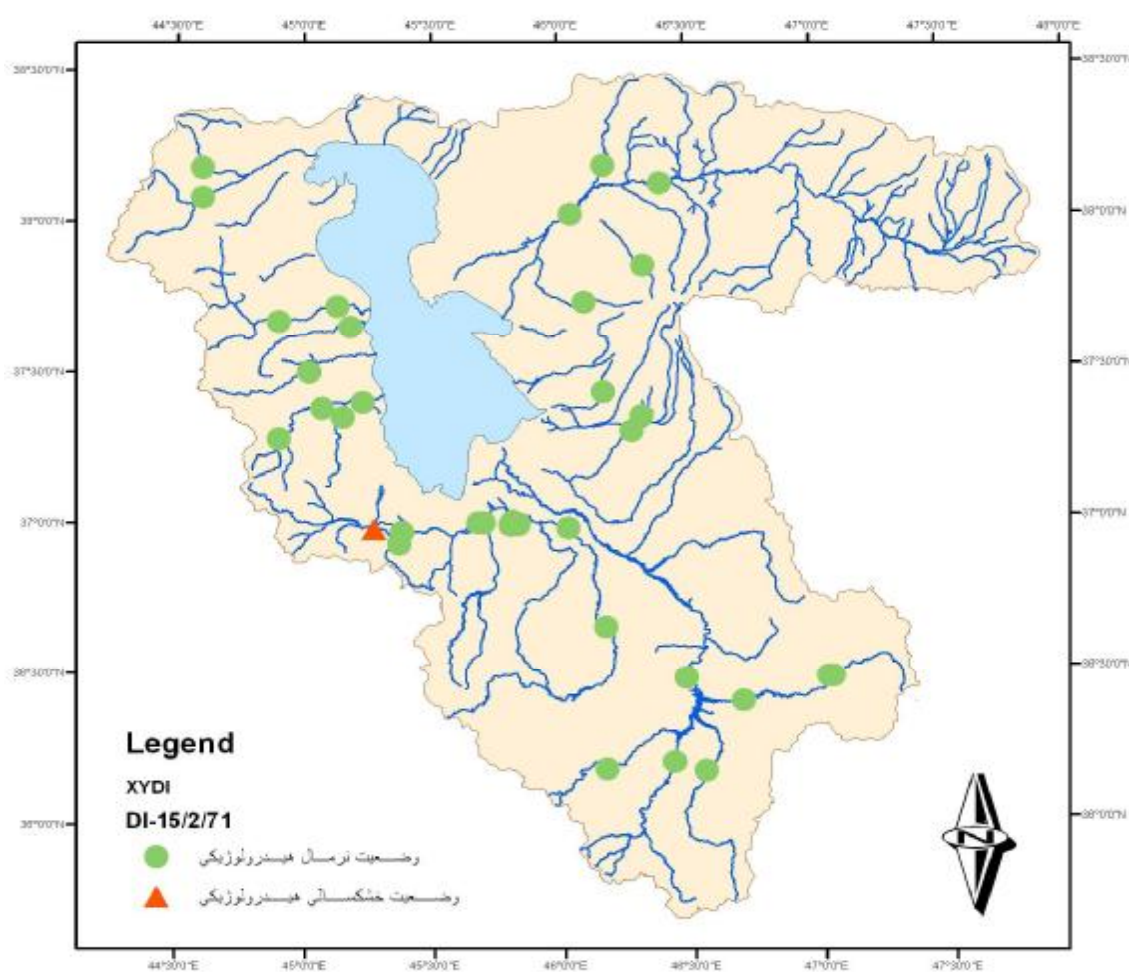


شکل 3-6: تغییرات سری‌های زمانی دبی، دبی‌های 70% و شاخص DI در ایستگاه ونیار

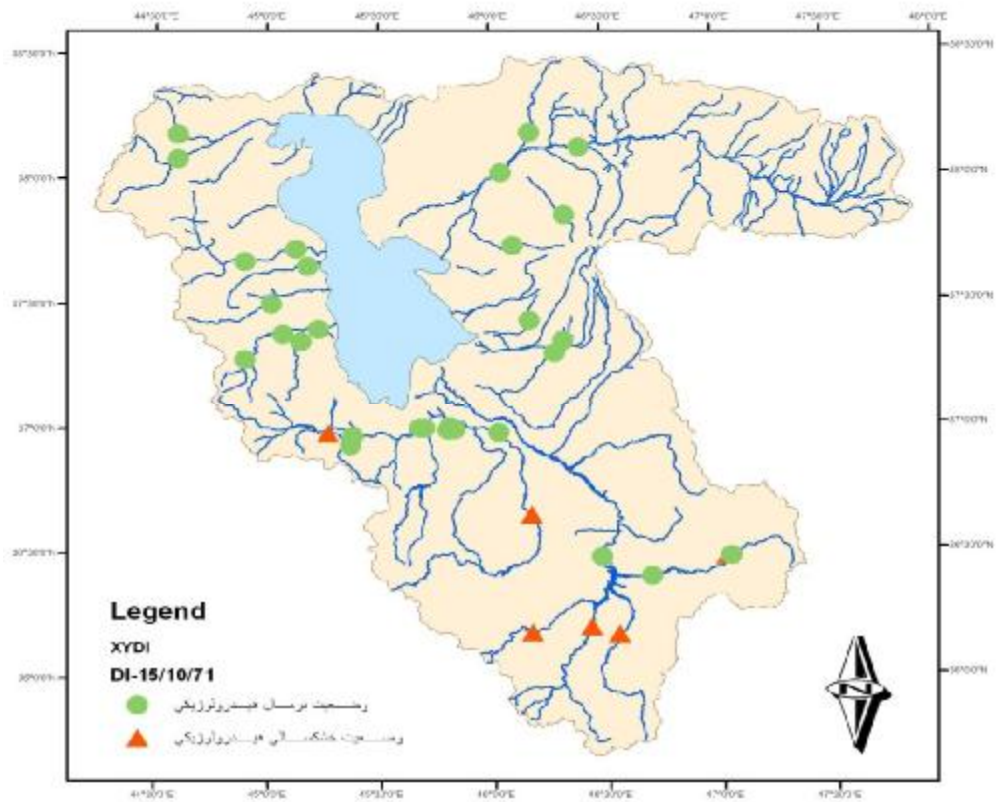
طی سال‌های 1382-83 لغایت 1384-85

### 2-2-2-3- پایش مکانی خشکسالی با استفاده از شاخص DI

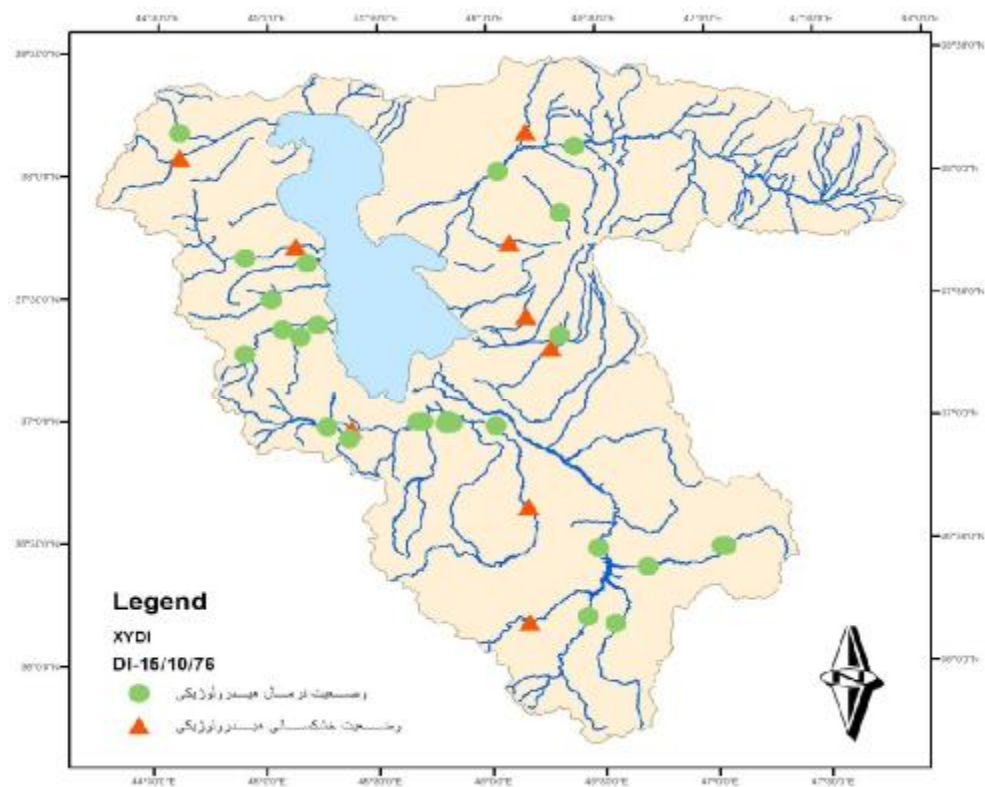
علاوه بر کنترل ایستگاهی شاخص DI، می‌توان نتایج ایستگاه‌ها را بطور مکانی نیز نشان داد و وضعیت خشکسالی را در سطح حوضه بر اساس این شاخص ارزیابی نمود. نمونه‌ای از این نقشه‌ها برای ایامی از سال‌های 1371، 1376 و 1377 در اشکال 3-7 تا 3-11 نشان داده شده است که به ترتیب معرف سال‌های تر، نرمال و خشک طی دوره آماری هستند.



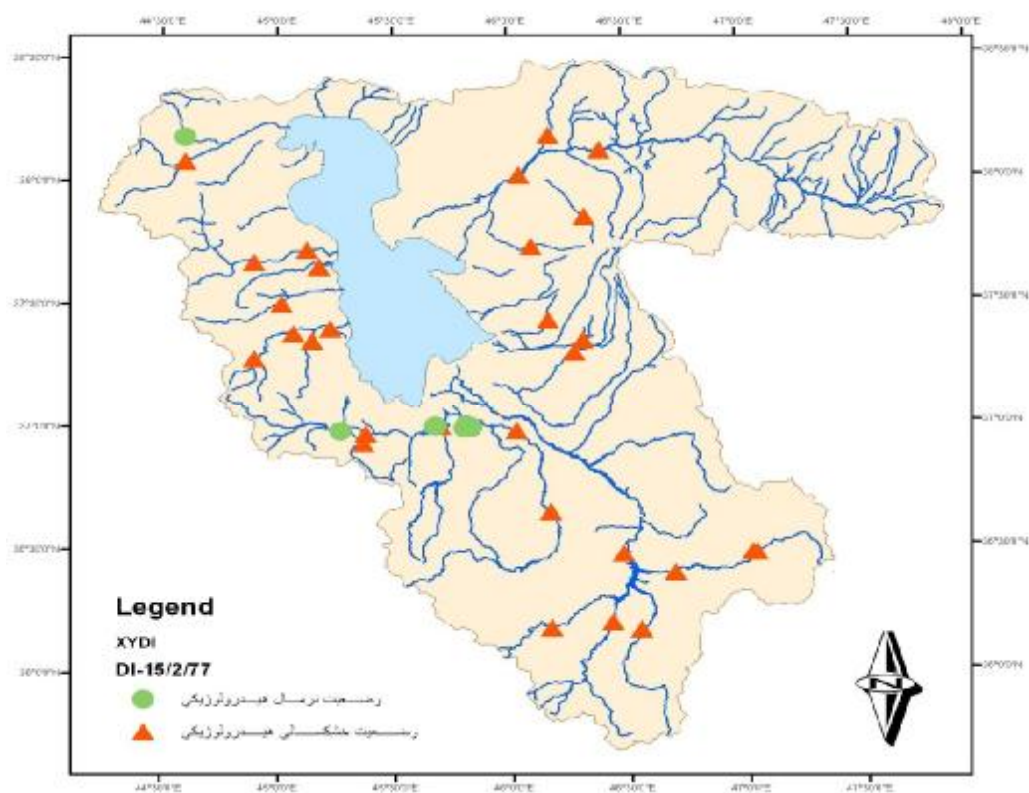
شکل 3-7: وضعیت هیدرولوژیکی خشکسالی در حوضه دریاچه ارومیه در تاریخ 1371/2/15



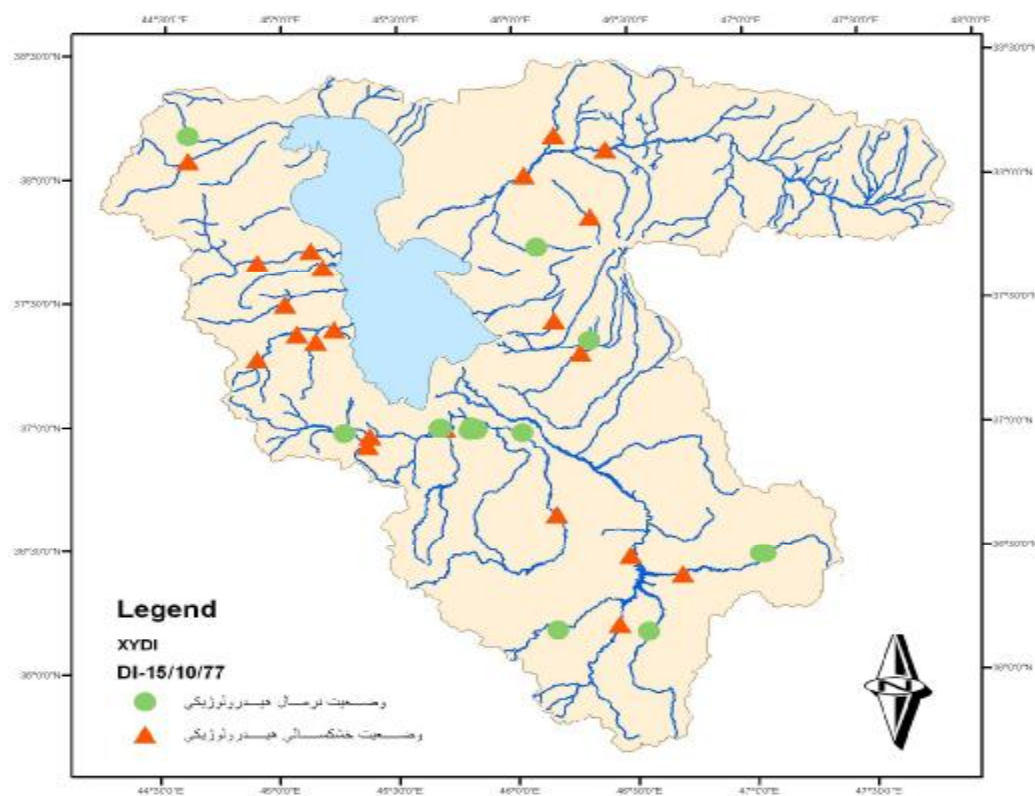
شکل 3-8: وضعیت هیدرولوژیکی خشکسالی در حوضه دریاچه ارومیه در تاریخ 1371/10/15



شکل 3-9: وضعیت هیدرولوژیکی خشکسالی در حوضه دریاچه ارومیه در تاریخ 1376/10/15



شکل 3-10: وضعیت هیدرولوژیکی خشکسالی در حوضه دریاچه ارومیه در تاریخ 1377/2/15



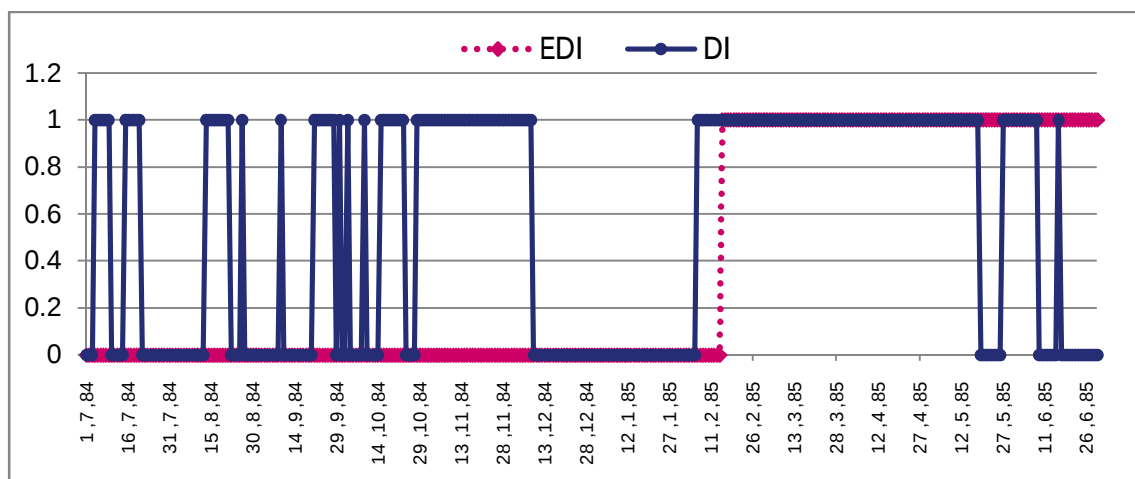
شکل 3-11: وضعیت هیدرولوژیکی خشکسالی در حوضه دریاچه ارومیه در تاریخ 1377/10/15

### 3-2-3 - رفتار شاخص‌ها EDI و DI در مقیاس روزانه

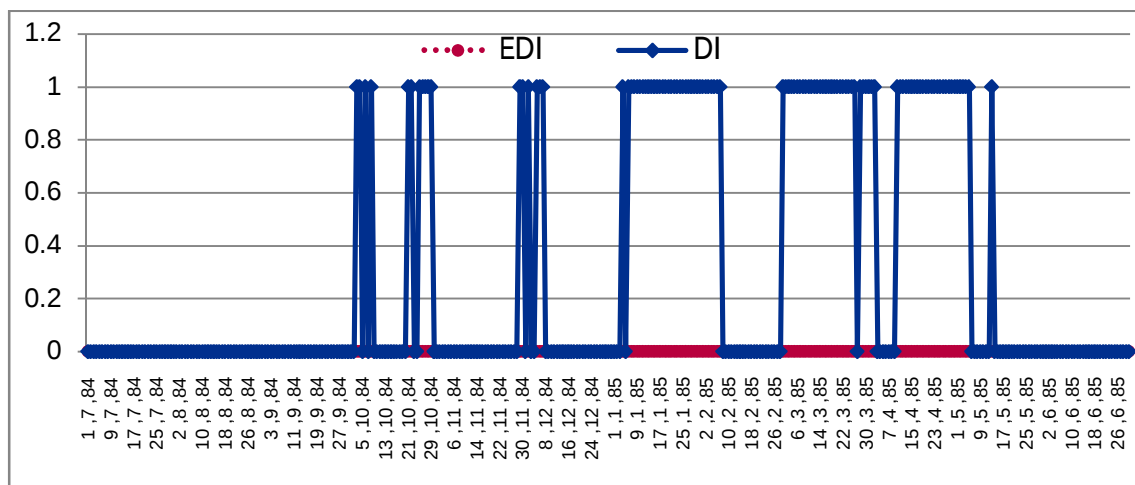
از سوالاتی که در زمان پایش می‌تواند مطرح باشد، این است که آیا می‌توان کاهش منابع ناشی از برداشت‌های غیر متعارف بالا دست را از کاهشی که متاثر از افت نزولات جوی است، تمیز داد؟ پاسخ به این سوال چندان راحت نیست؛ زیرا که همواره فرض اول در استفاده از شاخص‌ها وجود داده‌های ایستا می‌باشد. از طرفی چنانچه این روند برداشت‌های غیر متعارف و خارج از چارچوب ادامه داشته باشد، حساسیت‌های پارامترهای آماری به آن کم شده و به عبارتی آن را به عنوان رفتار طبیعی رودخانه و داده‌های واقعی قلمداد می‌کند. مانند ارقام سیل‌های استثنایی که چنانچه در یک ایستگاه چنین سیلی اتفاق بیافتد و یا به اشتباه چنین رقمی ثبت شده باشد، روش‌های آماری می‌توانند آن را ابتدا به عنوان داده‌ای پرت (Out layer) شناسایی کنند، ولی با تکرار آنها به هر دلیل، این امر دیگر میسر نخواهد بود.

این مقایسه برای سال آبی 1384-85 در ایستگاه نقده به انجام رسیده است (3-12). ملاحظه می‌گردد که در نیمه اول سال بیشتر DI خشکسالی را اعلام داشته و سپس در نیمه دوم رفتارها به هم نزدیک شده‌اند. برای این سال EDI در 37% ایام و DI در 55% درصد ایام خشکسالی را اعلام نموده است. قابل توجه می‌باشد که برای این مقایسه، مقدار 1- به عنوان آستانه اعلام خشکسالی در EDI مورد استفاده قرار گرفته است و بدیهی است که تغییر این آستانه می‌تواند نتایج را تغییر دهد. در هر حال 1- مقدار منطقی می‌باشد.

تحلیل مشابهی نیز برای ایستگاه ستنه انجام شده (3-13) و در آن مقایسه فوق مجدداً به انجام رسیده است. برای این سال و در این ایستگاه، تقریباً EDI خشکسالی اعلام نداشته، حال آنکه DI 30% ایام را خشکسالی اعلام داشته است.



شکل 3-12: مقادیر شاخص‌های DI و EDI برای ایستگاه نقده طی سال‌های 1384 تا 1385  
(1 و 0 به ترتیب وقوع و عدم وقوع خشکسالی را نشان می‌دهد)



شکل 3-13: مقادیر شاخص‌های DI و EDI برای ایستگاه سسته طی سال‌های 1384 تا 1385  
(1 و 0 به ترتیب وقوع و عدم وقوع خشکسالی را نشان می‌دهد)

### 3-3- پایش ماهیانه خشکسالی با شاخص‌های هواشناسی SPI و هیدرولوژیکی SDI

تحلیل بخش قبل را می‌توان برای شاخص‌های SPI و SDI که در مقیاس‌های ماهانه تا چند ماهه هستند، تکرار نمود. در این خصوص هم رفتار آنها را طی دوره آماری مد نظر و هم بطور مکانی و در سطح حوضه برای یک ماه خاص می‌توان ارزیابی کرد.

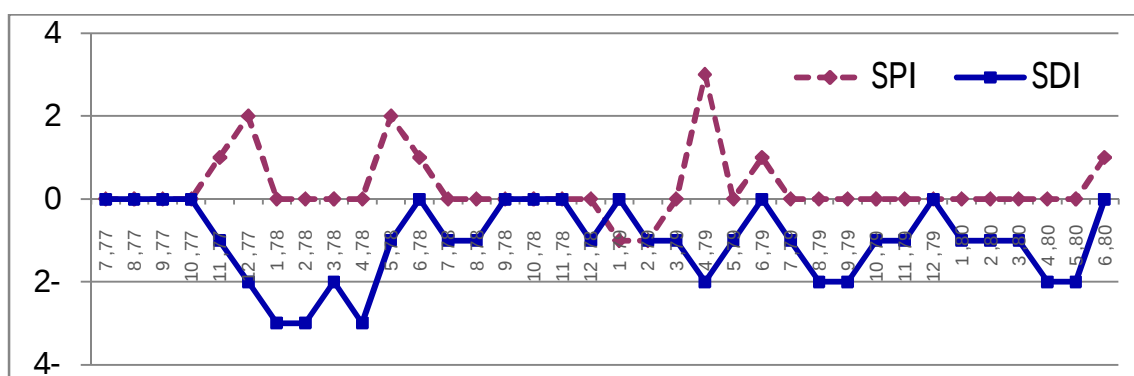
تفاوت استفاده از این شاخص‌ها با مقایسه قبل در این است که می‌توان تنها به اعلام خشکسالی

بسندۀ نمود و شدت‌ها را نیز مقایسه کرد.

### 3-3-1- مقایسه رفتار شاخص‌ها در طول آماری

برای بررسی شاخص‌ها در مقیاس ماهانه، شاخص‌های SPI و SDI در بازه ماهانه محاسبه و در مرحله بخشی از نتایج با هم مقایسه شدند که نتایج در ادامه ارائه می‌شوند.

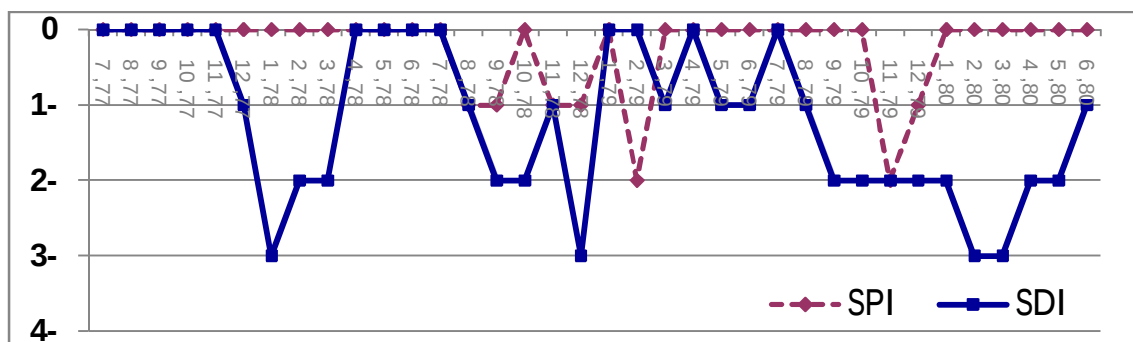
شکل 3-14 مقایسه شاخص‌های SPI و SDI را برای ایستگاه سنه و طی سال‌های آبی 1377-78 تا 1379-80 نشان می‌دهد. تفاوت رفتار آنها در این دو دوره کاملاً آشکار است، در حالیکه ایستگاه سنه با شاخص SPI برای اغلب ماه‌ها وضعیت نرمال را نشان می‌دهد، SDI تعداد زیادی از ماه‌ها را در وضعیت خشکسالی اعلام می‌دارد.



شکل 3-14: نمودار مقایسه شاخص‌های SPI و SDI برای ایستگاه‌های سنه طی سال‌های آبی 1377-78 تا 1379-80

به همین ترتیب شکل 3-15 همین مقایسه را برای ایستگاه نقده به عنوان نمونه ارائه می‌دهد. در این ایستگاه شاخص SPI تعداد بیشتری از ایام را در حالت خشکسالی اعلام داشته است. اما مانند قبل بر اساس SDI، تعداد بیشتری از ماه‌ها با وضعیت خشکسالی مواجه هستند.

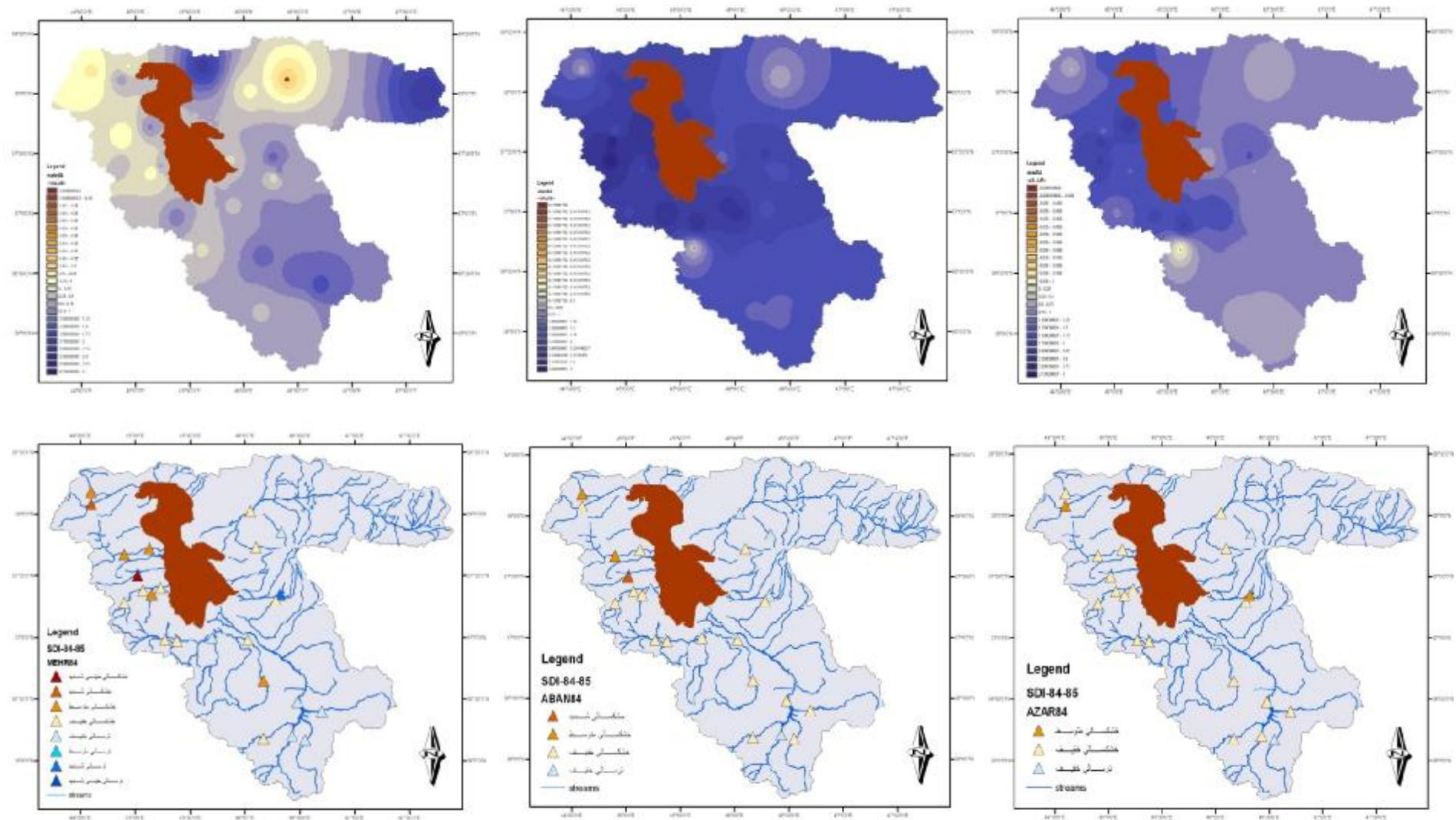
تفاوت در اعلام خشکسالی‌ها بخشی بر می‌گردد به حساسیت بیشتر معرف‌های هیدرولوژیکی که در تحقیق مرید و پایمزد نیز مورد اشاره قرار گرفته است (مرید و پایمزد، 1386).



شکل 3-15: نمودار مقایسه شاخص های SPI و SDI برای ایستگاه های نقده  
طی سال های آبی 1377-78 تا 1379-80

### 3-3-2- مقایسه رفتار مکانی شاخص ها

مقایسه مکانی نتایج در سطح حوضه می تواند دید بسیار مناسبی از وضعیت خشکسالی در سطح حوضه فراهم آورد. رفتار دو شاخص SPI و SDI در سطح حوضه طی سال آبی 1384-85 مثال مناسبی در این خصوص می باشد که در اشکال 3-16 تا 3-19 ارائه شده اند. این نقشه ها براساس اجرای مدل برای کلیه ایستگاه ها می باشد. رفتار دو شاخص هواشناسی و هیدرولوژیکی طی این سال آبی، رفتار کاملاً متفاوت آنها را نشان می دهد. در شروع سال آبی و فصل پائیز (شکل 3-16) SPI شرایط غیر خشکسالی را در سطح حوضه اعلام می دارد، ولی SDI شرایط را در وضعیت خشکسالی خفیف می داند. تنها در آذر بخشی از شمال غرب حوضه با خشکسالی هواشناسی مواجه می شود و SDI هم به این وضعیت واکنش نشان داده و شرایط حادثری را اعلام می دارد. در فصل زمستان (شکل 3-17) شرایط اقلیمی دو مه اول خشک و در اسفند وضعیت بهتر می گردد، اما همچنان اغلب ایستگاه های هیدرومتری شرایط را خشکسالی اعلام می دارند. فصل بهار با نوساناتی در سطح حوضه، با خشکسالی هواشناسی مواجه است و همزمان، ایستگاه هایی ترسالی و بعضی خشکسالی را اعلام داشته اند. برای این دوره در دو ماه اول پاسخ SDI همچنان خشکسالی و این امر به ویژه برای دو ماه فروردین و اردیبهشت، از شدت بیشتری برخوردار خواهند بود. ماه های تابستان (شکل 3-19) این سال شاهد بارش های مناسبی بوده که هم بر نتایج شاخص SPI و SDI بخصوص در ماه های تیر و مرداد اثر گذاشته است و از شدت شرایط خشکسالی این سال کاسته است.

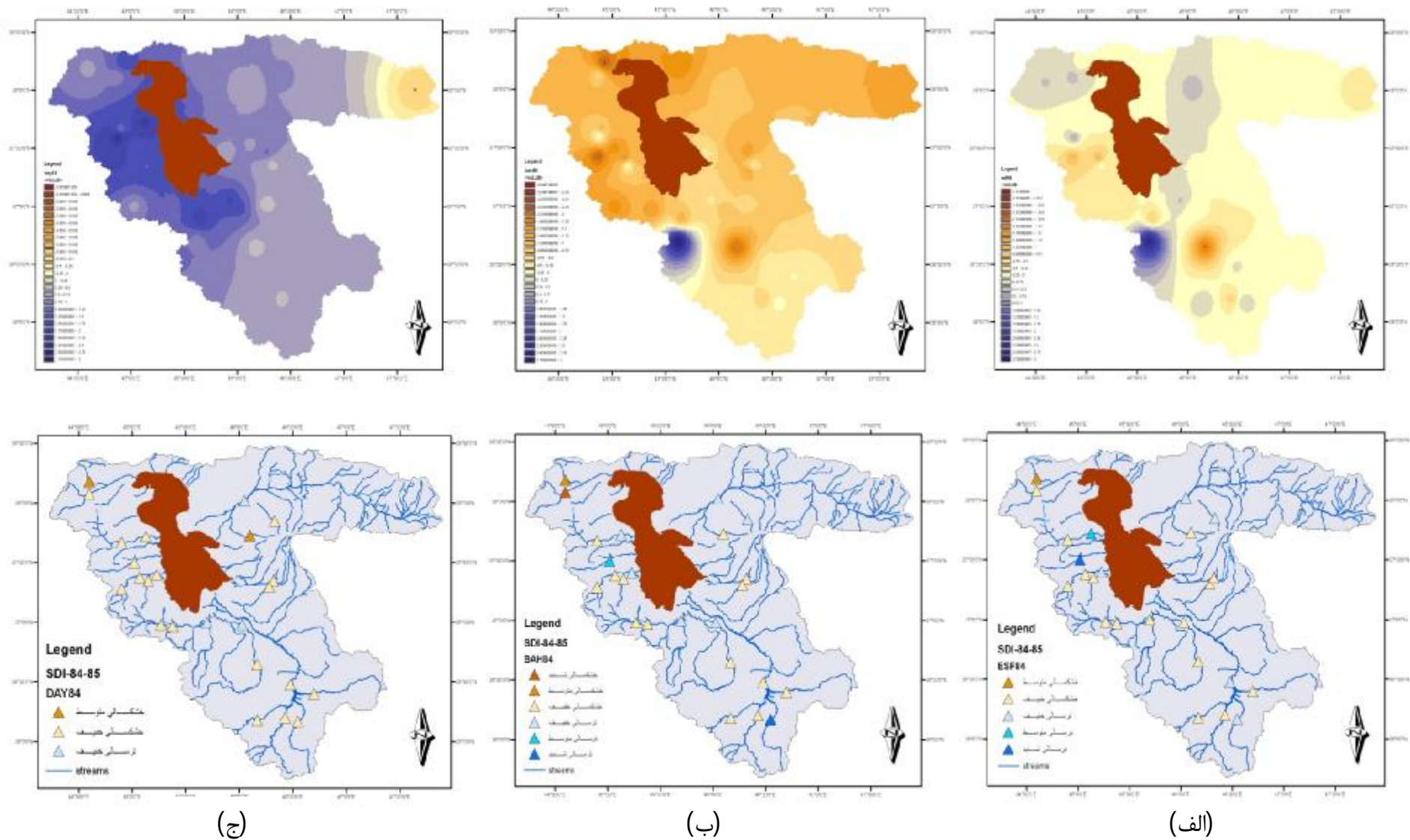


(ج)

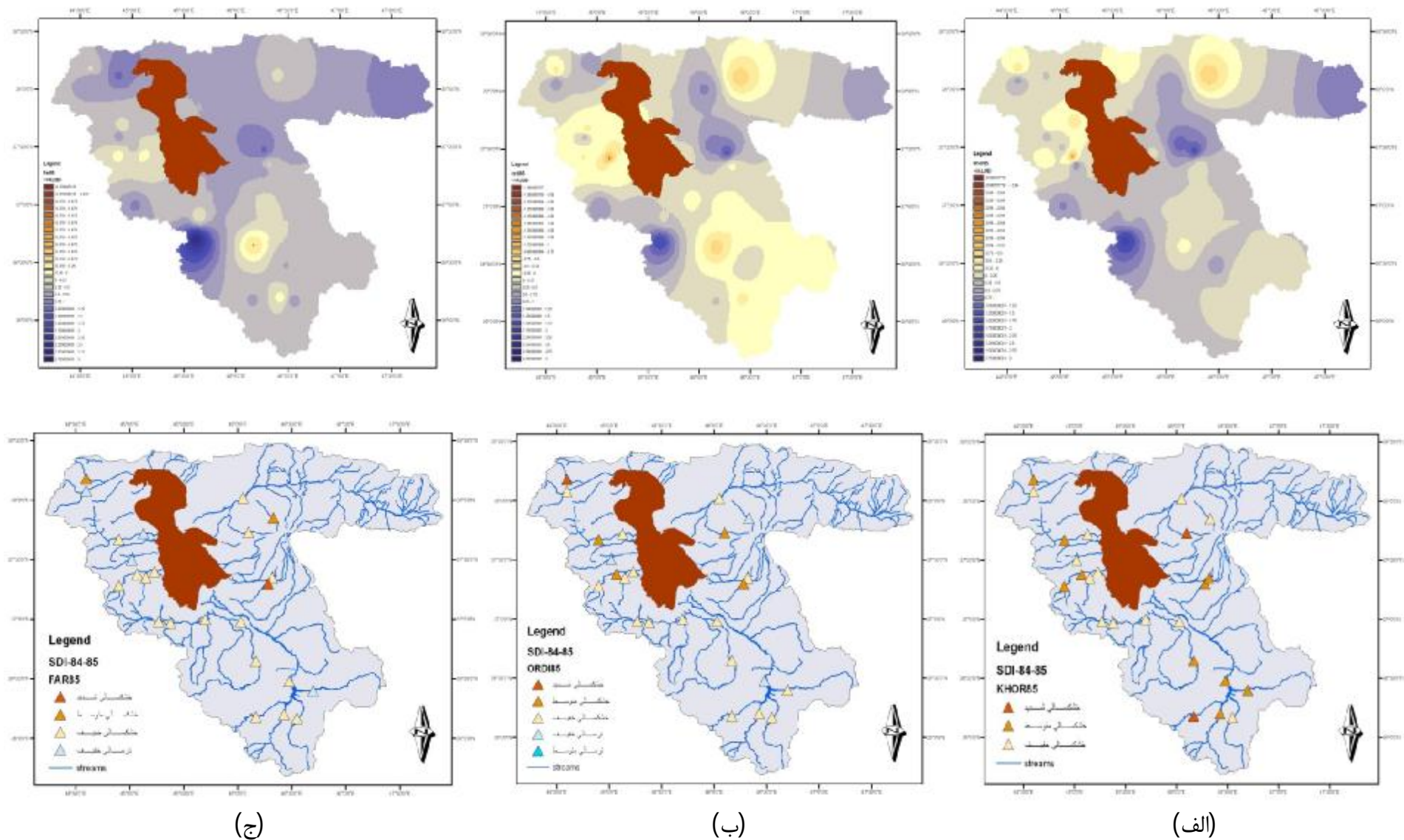
(ب)

(الف)

شکل 3-16: مقایسه توزیع مکانی شاخص SPI و شاخص SDI در حوضه دریاچه ارومیه در سال آبی 84-85 در ماه‌های الف) مهر، ب) آبان، ج) آذر.



شکل 3-17: مقایسه توزیع مکانی شاخص SPI و شاخص SDI در حوضه دریاچه ارومیه در سال آبی 84-85 در ماه‌های الف) دی، ب) بهمن، ج) اسفند.



شکل 3-18: مقایسه توزیع مکانی شاخص SPI و شاخص SDI در حوضه دریاچه ارومیه در سال آبی 84-85 در ماه‌های الف) فروردین، ب) اردیبهشت، ج) خرداد.



### 3-4- ضرورت های سیستم پایش موفق

در گزارش حاضر نرم افزار توسعه یافته برای سیستم پایش خشکسالی حوضه دریاچه ارومیه ارائه گردید و تلاش شد تا با مثال‌هایی بخشی از قابلیت‌های نرم افزار تشریح گردد. آنچه آمد تنها ابزار کار بود، ولی برای موفقیت این سیستم موارد دیگری مورد نیاز است که از اهمیت بسیار بالایی برخوردار هستند که در ادامه به آنها اشاره می‌گردد:

#### - اطلاعات بروز

مهمترین سازکار برای سیستم پایش، دسترسی به اطلاعات بروز می‌باشد. براساس اطلاعات بروز است که سیستم می‌تواند به موقع هشدارهای لازم را ارائه دهد و نتایج آن در تصمیم‌گیری‌ها تاثیرگذار باشند.

#### - نیروی انسانی خلاق

ابزارها هنگامی کارآمد هستند که توسط نیروهای انسانی ماهر و با انگیزه مورد استفاده قرارگیرند. برای پایش موفق خشکسالی در سطح حوضه به خدمت‌گیری چنین نیروی انسانی نیاز می‌باشد که ضمن آشنایی با نرم افزار و ابزارهای تکمیلی و بخصوص GIS بتواند گزارش متنوع و کاربردی را از وضعیت خشکسالی تهیه نماید.

#### - سایت موفق

اطلاع‌رسانی و توزیع مناسب و به هنگام گزارشات، بخشی از ویژگی‌های یک سیستم پایش کارآمد است. در این خصوص توسعه سایتی در این خصوص و یا استفاده از سایت‌های موجود کاملاً ضروری است.

#### - ارزیابی سیستم

کلا طرح‌های خشکسالی طی یک فرآیند تکمیل و توسعه می‌یابند. لازم است این سیستم در پایان هر سال آبی ارزیابی گردد، اطلاعات آن به هنگام شوند و برای دوره بعد به قابلیت‌های آن متناسب با یافته‌ها افزوده گردد.

## فهرست منابع و مراجع

- مرید س. و پایمزد ش. (1386) مقایسه روش‌های هیدرولوژیکی و هواشناسی جهت پایش روزانه خشکسالی: مطالعه موردی دوره خشکسالی 1387 لغایت 1380 استان تهران. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، سال یازدهم، شماره 42: 334-325.
- Bochenek, Z. (2005). Monitoring agricultural drought and its and predicting: some concepts. Monitoring and predicting agricultural drought. Oxford university press. pp: 171-180.
- Byun HR, Wilhite DA. 1999. Objective quantification of drought severity and duration. *Journal of Climate* 12: 2747-2756.
- Edwards, D. C. and McKee T. B. (1997). Characteristics of 20th century drought in the university, Colorado.
- Hayes, M. J. (2000). What is drought? Climate impacts specialist.
- Hayes, M.J., Svoboda, M. D., Wilhite, D. A. and Vanyarkho, O.V. (1998) Monitoring the drought using the standardized precipitation index. *Bulletin of American Meteorological Society*, 80: 429-438.
- Morid S., Smakhtin V. and Moghaddasi M. (2005) Comparison of seven meteorological indices for drought monitoring in Iran. *International Journal of Climatology*. 26:971-985.
- Prudhomme. C. Sauquet. E. (2007) Modelling a Regional Drought Index in France, Hydrological Risks & Resources Section Risk Analysis and Modelling Group, CEH Wallingford, Maclean Building, Benson Lane, Cro wmarsh Gifford, Wallingford, Oxfordshire, OX10 8BB, Araghine.