تحقیقات منابع آب ایران
Iran-Water Resources Research

سال دوازدهم، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۵
Volume 12, No. 3, Fall 2016 (IR-WRR)
۱-۱۱

# تحلیل تغییرات پهنه آبی دریاچه بختگان تحت تأثیر عوامل طبیعی و انسانی+

محمد حسین باقری[۱]، علی باقری[۲]* و غلام عباس سهولی[۳]

## چکیده

دریاچه بختگان مانند دیگر دریاچه‌ها و تالاب‌ها کاملاً به وضعیت منابع آبی حوضه آبریز مربوطه وابسته می‌باشد. امروزه این دریاچه کاملاً خشک شده است. در این میان، برخی متخصصان علت آن را خشکسالی و نیز برخی فعالیت‌های انسانی از جمله افزایش مصرف در بالادست و ایجاد سدهایی چون ملاصدرا و سیوند برشمرده‌اند. در این مقاله به بررسی اثر هر کدام از عوامل نامبرده بر تغییرات پهنه آبی دریاچه از سال ۱۳۵۵ تا سال ۱۳۹۳ هجری خورشیدی پرداخته شده است. برای این منظور از تصاویر ماهواره‌ای Landsat و نیز داده‌های بارندگی و دبی ایستگاه‌های وزارت نیرو در حوضه‌ی دریاچه‌ی بختگان و رودخانه‌ی کر استفاده شده است. برای تعیین میزان تغییرات پهنه آبی دریاچه از روش طبقه‌بندی بیشترین احتمال به منظور طبقه‌بندی تصاویر و از روش مقایسه پس‌پردازشی برای صحت‌سنجی کاربری‌های طبقه‌بندی شده دریاچه بختگان و محدوده پیرامون آن استفاده شد. نتایج حاصل نمایانگر آن بود که کاهش بارندگی و مهمتر از آن افزایش سطوح زیر کشت آبی در بالادست دریاچه بختگان و درنتیجه افزایش مصرف آب برای آبیاری، باعث خشک شدن کامل دریاچه بختگان شده‌اند. در این بین عامل دوم سبب تبدیل شدن کمبود آب ناشی از خشکسالی به بحران آب در منطقه شده است.

***کلمات کلیدی:*** خشکسالی، دریاچه بختگان، سنجش از دور، ماهواره Landsat، سد ملاصدرا، سد سیوند، حوضه رودخانه کر، بحران آب.

تاریخ دریافت مقاله: ۹۴/۱۲/۲۴
تاریخ پذیرش مقاله: ۹۵/۱/۹

+ یک نسخه‌ی اولیه از این مقاله در نهمین کنفرانس ملی روز جهانی محیط زیست (۱۱ خرداد ۱۳۹۴، دانشگاه تهران) ارایه شده است.

۱- دانش آموخته مهندسی منابع آب دانشگاه تربیت مدرس
۲- استادیار گروه مهندسی منابع آب دانشگاه تربیت مدرس
۳- دانش آموخته مهندسی منابع آب دانشگاه تربیت مدرس
*- نویسنده مسئول

# Analysis of Changes in the Bakhtegan Lake Water Body under the Influence of Natural and Human Factors

*M.H. Bagheri [1], A. Bagheri[2]* and G.A. Sohooli[3]*

## Abstract

Bakhtegan Lake, as other lakes and wetlands, depends entirely on the state of water resources of the basin. The lake has been dried up since few years ago. It is believed that periods of drought events have caused this. Meanwhile, there is another hypothesis that the lake has dried up due to anthropogenic activities such as the increased water exploitation in the upstream as well as the effects of two large dams named Mollasadra and Sivand. The present paper aims to assess separately the effect of these factors on the changes in Bakhtegan Lake in the period of 1956 to 2014. The assessment was carried out using the Landsat satellite images and also by analyzing rainfall and discharge data collected by the Ministry of Energy throughout the lake basin including Kor River. To determine the amount of changes in the lake water volume the maximum likelihood classification method, in order to classify images, and post-processing comparison method, for verification of classified landuse of Bakhtegan Lake and its surrounding area, were adopted. The results showed that the reduced rainfall, and more importantly, the increase in the irrigated cultivated area in the upstream of the basin, which has resulted in increased water consumption, can be identified as the main causes of the lake drying up. The second factor has caused the problem of drought-induced water shortage to be transformed into a water crisis.

***Keywords*** Drought, Bakhtegan Lake, Remote sensing, Landsat satellite, Mollasadra dam, Sivand dam, Kor river basin, Water crisis

Received: March 14, 2016
Accepted: March 28, 2016

1- Graduate of Water Resources Engineering, Department of Water Resources Engineering, TMU, Tehran, Iran.
Email: Bagheri.Hossein@modares.ac.ir
2- Assistant Professor, Department of Water Resources Engineering, TMU, Tehran, Iran. Email: ali.bagheri@modares.ac.ir
3- Graduate of Water Resources Engineering, Department of Water Resources Engineering, TMU, Tehran, Iran.
*- Corresponding Author

## ۱- مقدمه

تالاب‌ها و دریاچه‌ها برای جوامع محلی به دلیل ارائه بسیاری از خدمات، مفید می‌باشند. این خدمات در بعضی از مواقع با عنوان کارکردهای اکوسیستم‌های تالابی نامیده می‌شوند. نمونه‌ای از این خدمات و کارکردها عبارتند از: کنترل سیلاب، کنترل فرسایش، کمک به تصفیه آب، تأمین زیستگاه حیاتی، تأمین مکانی برای مهاجرت، استفاده‌های تفریحی، اقتصادی، آموزشی، تحقیقاتی و... (Rabbani, 2012). دریاچه بختگان زیستگاه زمستانه پرندگانی بود که از روسیه و دشت‌های سیبری به ایران مهاجرت می‌کردند (مانند فلامینگو، درنا، کبوتر دریایی، آب‌چلیک، مرغابی، غاز و ...) که همگی در حفظ بوم‌ساختار و محیط‌زیست نقش بسیار ارزنده‌ای داشتند. همچنین موجودات دیگری مانند پلانکتون‌های گیاهی، دیاتومه‌ها، جلبک‌های آبی، سخت پوستان، حشرات، نرم تنان، نماتودها، روتاتوریان و پروتوزوآ نیز در دریاچه یافت شده‌اند (Alamdari, 1996).

اما در چندسال اخیر در نتیجه تأثیرگذاری عوامل انسانی و طبیعی، دریاچه بختگان خشک شده است. این درحالی است که بختگان یکی از ۲۲ تالاب ایران است که در فهرست کنوانسیون رامسر قرار گرفته‌اند. از این تعداد ۷ تالاب از جمله بختگان در فهرست مونترو این کنوانسیون قرار گرفته‌اند. کشورهایی که تالاب‌های آن‌ها در فهرست مونترو قرار می گیرند، باید به منظور حل مسائل و مشکلات تالاب‌ها و ارتقای شاخص‌های آن‌ها به وضعیت ایده‌آل تلاش کنند، در غیر این صورت، کنوانسیون می تواند این کشورها را جریمه نماید (Rafiee et al., 2010).

در نتیجه‌ی تخریب دریاچه بختگان، ضمن از بین رفتن خدمات اکوسیستمی دریاچه، تبدیل شدن تالاب به شوره‌زار و به دنبال آن تولید گرد و غبار حاصل از شوره‌زار نیز برای سلامت انسان و سایر موجودات محلی به عنوان یک تهدید جدی به شمار می‌رود. علاوه بر این، گرد و غبار برخاسته از شوره‌زار در کاهش عملکرد محصولات کشاورزی منطقه نیز مؤثر می‌باشد، درنتیجه حفظ و احیا و مدیریت صحیح و یکپارچه اکوسیستم دریاچه بسیار ضروری و با اهمیت می‌باشد.

یکی از مهمترین مراحل برنامه‌ریزی و اجرای مدیریت یکپارچه منابع آب، ارزیابی سیستم منابع آب است. در واقع آگاهی از کم و کیف منابع آب و چگونگی تحولات آن جزء پیش شرط‌های اصلی و اساسی برای برنامه‌ریزی و مدیریت معقول منابع آب محسوب می‌شود (Samare Hashemi, 2014). هدف اصلی از ارزیابی، یادگیری و افزایش آگاهی از سیستم است. به این منظور اولین قدم، شناسایی مقدماتی سیستمی است که با آن سر و کار داریم (Soncini-Sessa, 2007).

برنامه‌ریزی برای حفاظت و توسعه تالاب‌ها به پایش تغییرات آن‌ها در طول زمان نیازمند است. اطلاعات حاصل از پایش یک دید اولیه از زیستگاه بدست می‌دهد و شرایطی از آن را که نیازمند احیا است مشخص می‌کند (Roni et al., 2012). همچنین به کمک پایش، می‌توان تغییرات ناشی از فرایندهای طبیعی و فعالیت‌های انسانی را در تالاب‌ها مشخص نمود و از آن در مدیریت تالاب‌ها بهره برد (Klemas, 2011).

### ۱-۲- پایش اکوسیستم‌های آبی

پایش به لحاظ فنی بررسی سیستماتیک و جمع‌آوری دسته‌های مشخصی از داده‌ها و اطلاعات تعریف می‌شود. از پایش در شروع مطالعات احیا و مدیریت زیستگاه‌ها به منظور شناسایی سیستم و بررسی تغییرات آن و تخمین میزان خسارت وارد شده استفاده می‌شود. همچنین برای تعیین میزان موفقیت پروژه‌ها پس از اجرا، سیستم مورد پایش قرار می‌گیرد (MacDonald et al., 1991). پایش کاربری اراضی در یک اکوسیستم و پویایی آن‌ها با هدف درک و شناخت سیستم مورد نظر در واکنش به اقداماتی مانند بازسازی، احیا و حفاظت اکوسیستم‌ها کمک بزرگی می‌نماید (Wang and Jones et al., 2009). تکنیک‌های ارزیابی و پایش، روش‌هایی دقیق و مرتبط با منطقه و سیستم مورد نظر می‌باشند که با مقیاسی انعطاف‌پذیر و با ترکیبی از جنبه‌های اقتصادی، اجتماعی، بیوفیزیکی برای برنامه‌ریزی پروژه‌های مختلفی از قبیل احیا بکار می‌روند (Dregne, 1994). از مهمترین روش‌ها و ابزارهای پایش که مبتنی بر فناوری‌های اطلاعات مکانی (ژئوانفورماتیک) هستند می‌توان به سنجش از دور، سیستم اطلاعات جغرافیایی و سیستم موقعیت‌یابی جهانی اشاره نمود. در حقیقت به منظور ارزیابی و پایش مستمر مسائل پیچیده‌ای مانند تخریب سرزمین‌ها با هدف مدیریت و بهره‌برداری صحیح آن‌ها استفاده از تکنیک‌های نامبرده اجتناب‌ناپذیر می‌باشد. امروزه استفاده از فناوری سنجش از دور به طور روز افزونی در مطالعات مربوط به پدیده‌های زمینی (آب و خاک و پوشش گیاهی و ...) رو به گسترش بوده، استفاده از تکنیک‌های متنوع و دقیق این شاخه رو به توسعه می‌باشد (Mainguet, 1994). تکنیک‌های سنجش از دور و اطلاعات حاصل از آن سرعت و دقت بالایی در بررسی و تفسیر کاربری‌ها دارند (Roberts et al., 2003)، به دلیل

داشتن چنین ویژگی‌هایی، سنجش از دور در تعیین موجودیت تالاب‌ها، پایش و کمک به حفاظت و مدیریت بر آن‌ها نقش اساسی دارد (Garg, 2015) و مدت زیادی است که به دلیل کامل کردن رویکردهای مرسوم در نظارت و پایش بر دریاچه‌ها، مورد توجه قرار گرفته است (Bukata, 2013). داده‌های سنجش از دور برای ارزیابی مدل‌ها و نظریه‌های زیست محیطی و عاملان تغییر در تعداد زیادی از اکوسیستم‌ها آبی مورد استفاده قرار گرفته است (Palmer et al., 2015). از جمله می‌توان به کارهای زیر اشاره کرد: (Ranqsikanbhum, 1997) با هدف آشکارسازی و طبقه‌بندی جنگل‌ها از سنجش از دور استفاده نمود، نتایج تحقیق او نشان داد که اراضی جنگلی در هند در بازه زمانی ۱۹۸۲ تا ۱۹۹۳ به میـــزان ۱۰۱ کیلومتـــرمـــربـــع در هر سال کاهش یافته بود، (Sima and Tajrisihy, 2006) برای تعیین تغییرات سطح تالاب شادگان و پایش تغییرات پوشش گیاهی آن به عنوان بخشی از فرآیند محاسبه نیاز آبی تالاب مزبور از سنجش از دور استفاده کردند، (Alesheikh et al., 2007) به منظور پایش خطوط ساحلی دریاچه ارومیه و تعیین کاهش مساحت دریاچه با استفاده از تصاویر لندست بین سال‌های ۱۹۹۸ تا ۲۰۰۱، نتایج آن حاکی از کاهش مساحت دریاچه به میزان ۱۰۴۰ کیلومتر مربع بود، (Rimal, 2009) تغییرات پوشش گیاهی و اراضی شهری را در کشور نپال مورد بررسی قرار داد، که نتایج آن نشان‌دهنده توسعه زیاد اراضی شهری و در مقابل کاهـــش پـــوشـــش گیاهی بین سال‌های ۱۹۷۶ تا ۲۰۰۹ بود، (Rafiee et al., 2010) با استفاده از پردازش تصاویر ماهواره Landsat به تعیین مقدار و علت تغییرات به وقوع پیوسته در تالاب نیریز در فاصله سال‌های ۱۹۹۸ تا ۲۰۰۹ پرداخت، (Hashemitangestani et al., 2013) نیز به منظور آشکارسازی تغییرات کاربری و پوشش زمین پیرامون دریاچه بختگان در بازه زمانی سال‌های ۱۳۳۵ تا ۱۳۸۶ از سنجش از دور استفاده کردند، این مطالعه مشخص نمود که هرگاه مساحت پهنه آبی دریاچه کاهش یافته در مقابل مساحت زمین‌های بایر و شوره‌زار افزایش یافته بود، به طوری که در این دوره مساحت پهنه آبی دریاچه به میزان ۲۹۶ کیلومتر مربع کاهش پیدا نموده بود.

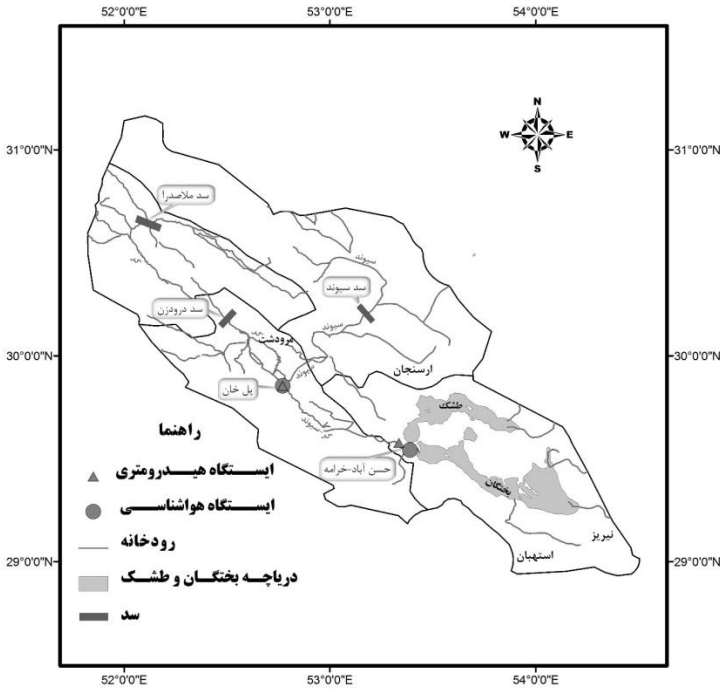
در مطالعه حاضر به منظور تعیین تغییرات پهنه آبی دریاچه بختگان و کاربری‌های حاشیه آن از تصاویر ماهواره‌ای Landsat با قدرت تفکیک مکانی ۶۰ متر برای سال ۱۳۵۵ هجری خورشیدی و ۳۰ متر برای سال‌های بعد تا سال ۱۳۹۳ استفاده شد. همچنین از روش طبقه‌بندی بیشترین احتمال برای طبقه‌بندی تصاویر و از روش مقایسه پس‌پردازشی به منظور صحت‌سنجی کاربری‌های طبقه‌بـندی شده دریاچه بختگان و محدوده پیرامون آن استفاده به عمل آمد.

## ۲- روش‌شناسی

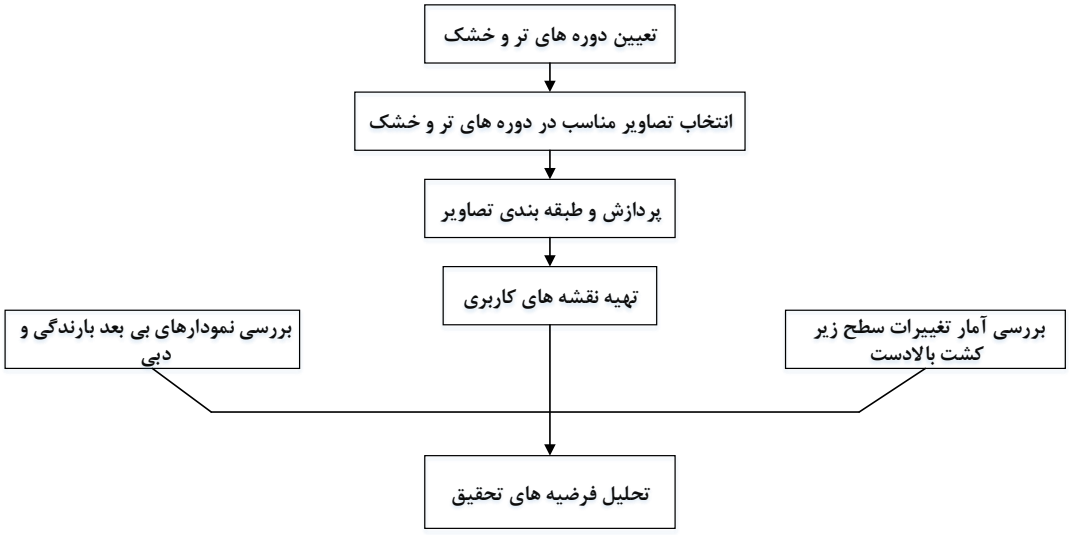
**منطقه مورد مطالعه:** دریاچه بختگان در استان فارس و در موقعیت جغرافیایی "۹'۲۴°۵۳ تا "۳۰'۱۲°۵۴ طول شرقی و "۳۵'۱۳°۲۹ تا "۹'۳۵°۲۹ عرض شمالی واقع شده است. این منطقه بخش‌هایی از پوشش گیاهی ایرانی - تورانی دارد و درمنه و گون از مهم‌ترین گیاهان این منطقه به شمار می‌روند (شکل ۱). تعدادی گونه‌های گیاهی و تعداد زیادی گونه‌های بومی و گونه‌های انحصاری در محدوده‌ی مطالعاتی بختگان وجود دارند. در مجموع ۴۶ گونه پستاندار، ۲۱۸ گونه پرنده، ۳۶ گونه خزنده و ۲۳ گونه ماهی در محدوده‌ی بختگان شناسایی شده که جاذبه‌ی ارزشمندی برای گردشگران و پژوهشگران به شمار می‌روند و حاکی از اهمیت ویژه‌ی این عرصه‌ی زیستی است (Fotooli, 2004).

اما در سال‌های اخیر هزاران پرنده در بستر خشک و نمکین آن گرفتار شده و جان سپرده‌اند. در مرداد ماه ۱۳۸۶ بخش عظیمی از تالاب خشک شد و متعاقب آن ۲۰۰۰ جوجه فلامینگو که هنوز قادر به پرواز نبودند در بستر خشک و نمکین تالاب تلف شدند. عدم توجه به محیط زیست سبب شده این منطقه، که یکی از قطب‌های بزرگ گردشگری و یکی از مهم‌ترین پارک‌های ملی و پناهگاه‌های حیات وحش کشور با تنوع زیستی بالا به شمار می‌رفت، در معرض نابودی قرار گیرد. رسوبات نمکی تالاب که پس از خشک شدن آن پدیدار شده‌اند، در اثر وزش باد به صورت گرد و غبار بتدریج روی اراضی کشاورزی پخش و باعث شور شدن خاک می‌شوند و آثار منفی روی سلامت افراد بومی دارند. بررسی وضعیت قبلی این دریاچه نشان می‌دهد که با وجود دوره‌های ترسالی و خشکسالی در دهه‌های اخیـــر دریـــاچـــه هیچـــگاه شرایط کنونی را نداشته است (Rafiee et al., 2010).

فرضیه‌های مطرح در توضیح علل خشک شدن دریاچه عبارتند از: وقوع خشکسالی‌های مداوم و نیز افزایش مصرف آب از رودخانه‌های کر و سیوند و منابع آب زیرزمینی منطقه در بالادست دریاچه. به عبارت دیگر در برخی از دوره‌ها مداوم بودن خشکسالی هواشناسی، خشکسالی هیدرولوژیکی را در پی داشته است. این عامل طبیعی و همچنین افزایش جمعیت و در نتیجه افزایش مصرف در بالادست باعث کاهش آورد رودخانه کر و سیوند شده‌اند و در نهایت خشک شدن دریاچه بختگان را به دنبال داشته‌اند.




**شکل ۱- حوضه دریاچه بختگان و بالادست آن**




**شکل ۲- نمای کلی از فرایند تحقیق تحلیل عوامل خشکسالی دریاچه بختگان**

در نتیجه در این مطالعه برای بررسی اثر خشکسالی و مصارف انسانی در تغییرات و خشک شدن دریاچه بختگان، تصاویر ماهواره‌ای در دوره‌های تر و خشک و همچنین قبل و بعد از توسعه (آبگیری سد سیوند و ملاصدرا) مورد پردازش و تحلیل قرار گرفتند. مراحل کلی فرایند تحقیق در شکل ۲ آمده است. مطابق نمودار ارائه شده ابتدا دوره‌های تر و خشک از سال ۱۳۵۵ تا ۱۳۹۳ هجری خورشیدی با استفاده از داده‌های بارندگی و دبی وزارت نیرو و با کمک برنامه DIP و شاخص خشکسالی SPI با مقیاس زمانی ۳، ۶، ۹ و ۱۲ ماهه ( این شاخص در مقیاس‌های بلندمدت‌تر بهتر خشکسالی را نشان داد) و همچنین نقاط اکسترمم نمودار شکل ۳ مشخص شدند، که عبارتند از سال ۱۳۵۵(Landsat 2)، ۱۳۷۱(Landsat 5)، ۱۳۷۸(Landsat 5)، ۱۳۸۲(Landsat 7)، ۱۳۸۷(Landsat 5) و ۱۳۹۳(Landsat 8).

مطابق شکل ۳ در زمان‌های گفته شده دبی رودخانه دارای مقادیر بیشینه و کمینه در بازه زمانی مورد مطالعه می‌باشد. برای افزایش دقت سعی شد از فصل‌های مشابه دوره‌های تر و خشک این سال‌ها استفاده شود.

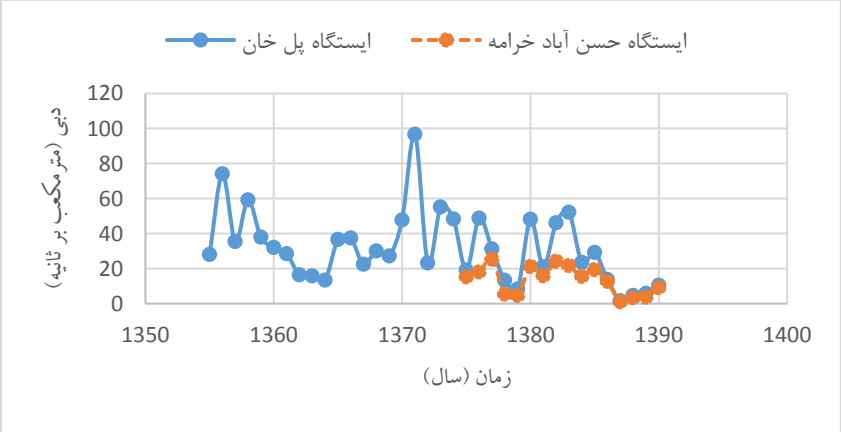
فرایند کلی پردازش و بررسی تصاویر ماهواره‌ای شامل سه گام پیش پردازش (آماده سازی تصاویر و تصحیحات هندسی و اتمسفری)، پردازش (طبقه بندی تصاویر) و پس پردازش (تعیین دقت طبقه بندی) می‌باشد. در گام اول این فرایند محدوده مطالعاتی از کل مساحت تصاویر تهیه شده برش داده شد. برای این کار ابتدا در برنامه GIS پلیگون مربوط به منطقه مورد مطالعه تهیه شد، سپس با استفاده از آن در برنامه ENVI منطقه مورد نظر از تصاویر ماهواره‌ای استخراج شد. گام بعد، طبقه بندی و تفسیر تصاویر ماهواره‌ای است، که خود شامل سه مرحله پیش پردازش، پردازش و پس پردازش می‌باشد. به دلیل مناسب بودن شرایط اتمسفری و هندسی تصاویر انتخاب شده، نیاز به هیچگونه تصحیح و آماده سازی در مرحله پیش پردازش نبود. در این مطالعه کاربری‌های پهنه آبی (کم عمق و عمیق)، شوره‌زار و بایر، زراعت و مرتع مدنظر قرار گرفتند.

در مرحله بعد به منظور تهیه نقشه کاربری‌های ذکر شده و طبقه‌بندی آن‌ها از روش طبقه بندی نظارت شده استفاده شد. طبقه بندی نظارت شده نیاز به نمونه‌های آموزشی دارد. این نمونه‌ها با توجه به کاربری‌های طبیعی منطقه و تطبیق با تصاویر Google Earth استخراج شدند. همچنین برای تعیین صحت نمونه‌های انتخاب شده با کمک محدوده طیفی استاندارد عارضه‌ای خاص (کاربری‌های این تحقیق) نمونه‌های انتخاب شده مورد بررسی قرار گرفتند. یکی از دقیق‌ترین روش‌های طبقه بندی نظارت شده و روش استفاده شده در این تحقیق، روش طبقه‌بندی حداکثر احتمال است. محققان بسیاری از این روش برای طبقه بندی و تعیین تغییرات کاربری استفاده نموده‌اند. به عنوان مثال رجوع شود به Bayarsaikhan (2001) که در مطالعه خود برای مشخص نمودن تغییرات و طبقه‌بندی پوشش زمین از روش طبقه بندی نظارت شده بهره برد؛ Shupe (2004) برای طبقه بندی پوشش گیاهی زمین و تراکم آن، روش حداکثر احتمال را مورد استفاده قرار داد؛ Kanyamanda (2010) که در تحقیقی به منظور آشکارسازی پوشش زمین و تغییرات کاربری آن از الگوریتم حداکثر احتمال استفاده نمود؛ و Prakasam (2010) که به همین منظور از روش طبقه بندی نظارت شده استفاده نمود.

در مرحله آخر به بررسی کمی طبقه‌بندی انجام شده با استفاده از دو روش شاخص آماری Kappa و رابطه دقت کلی[1] پرداخته شد. این دو مشخصه از ماتریس درهمی یا اشتباه[2] استخراج می‌شوند. ماتریس خطا به صورت جدول‌بندی متقاطعی از کلاس‌های طبقه‌بندی شده در برابر داده‌های مرجع برای ارزیابی صحت طبقه‌بندی می‌باشد. شاخص Kappa از رابطه ۱ محاسبه می‌شود (Congalton and Green, 1999). در این رابطه $N$ تعداد کل نقاط، $x_{ii}$ تعداد پیکسل‌هایی که به درستی در طبقه مورد نظر قرار دارند، $x_{i+}$ تعداد پیکسل‌های مرجع موجود در طبقه و $x_{+i}$ تعداد پیکسل‌های قرارداده‌شده در طبقه مورد نظر توسط روش آشکارسازی است. دقت کلی نیز مطابق رابطه ۲ از تقسیم مجموع پیکسل‌هایی که به درستی تقسیم‌بندی شده‌اند بر تعداد کل داده‌های مرجع به دست می‌آید.

$$k = \frac{N\sum_{i=1}^{r} x_{ii} - \sum_{i=1}^{r}(x_{i+} \times x_{+i})}{N^2 - \sum_{i=1}^{r}(x_{i+} \times x_{+i})} \quad (۱)$$

$$Overall\ Accuracy = \frac{\text{number of pixels classified correctly}}{\text{total number of pixels}} \quad (۲)$$



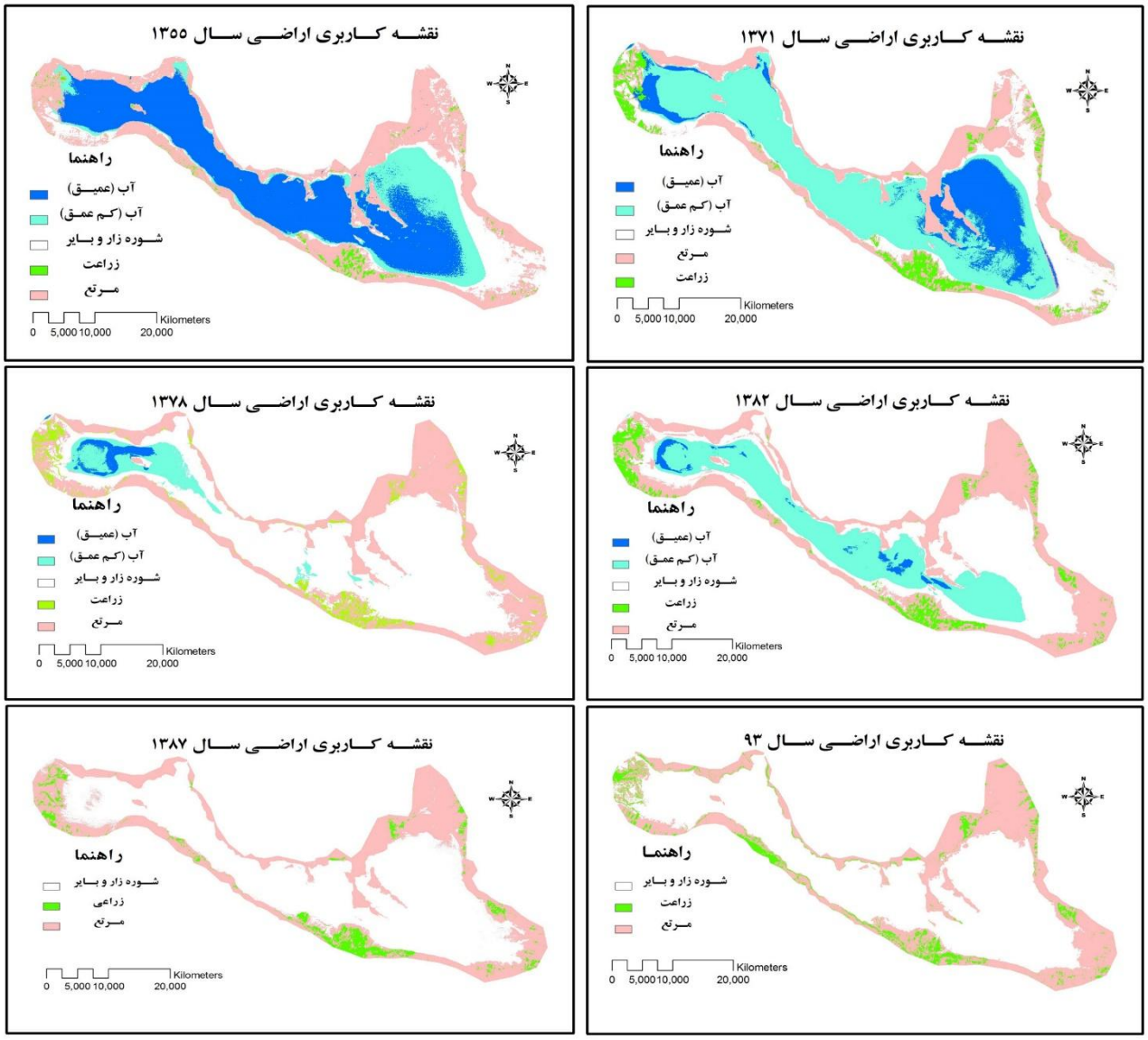

**شکل ۳- تغییرات دبی سالانه رودخانه کر- سیوند در ایستگاه ورودی به دریاچه و بالادست آن (مأخذ داده‌ها: وزارت نیرو)**

## ۳- نتایج

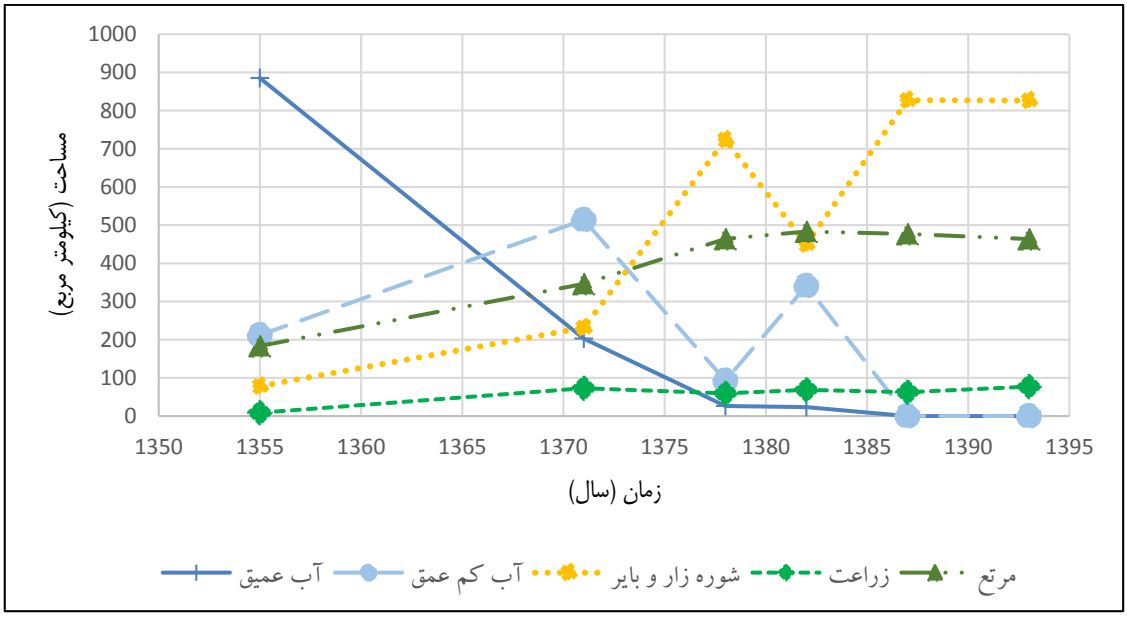
نتایج حاصل از طبقه‌بندی کاربری‌های منطقه مورد مطالعه به روش ذکر شده در شکل ۴ مشاهده می‌شود. مطابق شکل ۴ بیشترین تغییرات دریاچه بختگان بین سال‌های ۷۱ تا ۷۸، ۷۸ تا ۸۲ و ۸۲ تا ۸۷ می‌باشد، به طوری که در چند سال اخیر این دریاچه کاملا خشک شده است.

تغییرات مقدار مساحت تمامی کاربری‌ها در سال‌های مورد مطالعه در نمودارهای شکل ۵ به نمایش درآمده است. همانطور که از شکل ۵ دریافت می‌شود، بیشترین تغییر در بین کاربری‌های این تحقیق مربوط به پهنه آبی و شوره‌زار است و باقی کاربری‌ها تغییرات کمتری دارند. تغییرات گفته شده به گونه‌ای است که با افزایش پهنه آبی مساحت شوره‌زار و زمین‌های بایر کاهش می‌یابد و با کاهش آن مساحت شوره‌زار و بایر افزایش یافته است (اشکال ۴ و ۵).

دقت حاصل از طبقه بندی به روش حداکثر احتمال در این مطالعه به روش آنچه که در قسمت مواد و روش‌ها توضیح داده شد در جدول ۱ آمده است. مطابق اعداد این جدول برای هر شاخص، طبقه‌بندی انجام شده با دقت بسیار مناسبی صورت گرفته است.




**شکل ۴- نقشه تغییرات کاربری اراضی دریاچه بختگان حاصل از تصاویر Landsat به روش طبقه بندی حداکثر احتمال در بازه زمانی ۱۳۵۵ تا ۱۳۹۳ هجری خورشیدی**




**شکل ۵- تغییرات هر کاربری در محدوده‌ی دریاچه‌ی بختگان در سال‌های مورد مطالعه**

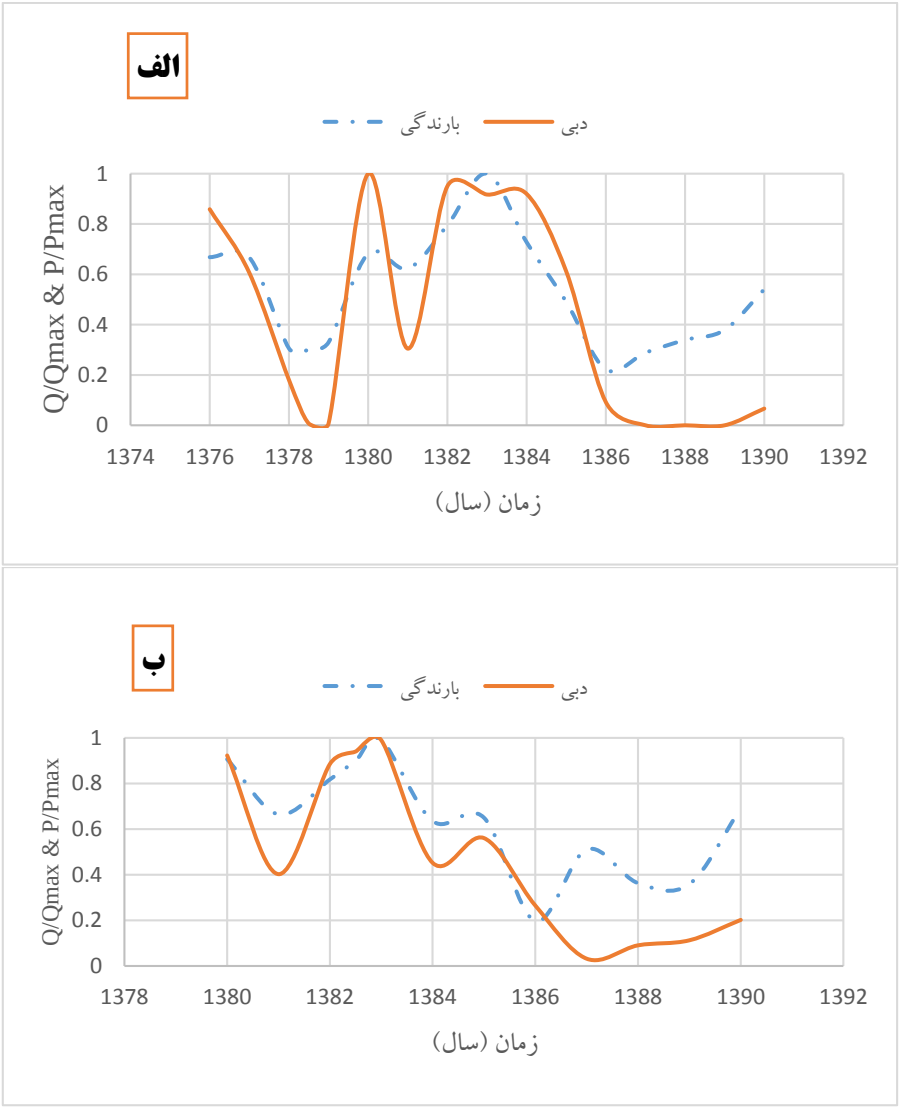
## ۴- بحث و نتیجه‌گیری

همان طور که در قسمت نتایج ذکر شد، بیشترین تغییر پهنه آبی دریاچه بختگان بین سال‌های ۷۱ تا ۷۸، ۷۸ تا ۸۲ و ۸۲ تا ۸۷ می‌باشد. اما علت این تغییرات در هر بازه زمانی چه عامل یا عواملی می‌باشند؟ همانطور که پیش از این گفته شد دو فرضیه عامل طبیعی و انسانی برای خشک شدن دریاچه بختگان متصور است. برای پاسخ به این سوال از نمودارهای شکل ۶ و داده‌های جدول ۲ و ۳ استفاده شد. شکل ۶ مقادیر بی‌بعد شده باران و دبی (حاصل از آمار ایستگاه‌های وزرات نیرو) برای دو ایستگاه ورودی به دریاچه (حسن آباد خرامه) و بالادست آن (پل خان) می‌باشند. از شکل ۴ و ۵ دریافت می‌شود که در بازه سال‌های ۷۱ تا ۷۸ پهنه آبی به مقدار چشمگیری کاهش یافته است، از طرفی مطابق شکل ۶ قبل از سال ۷۸ با تداوم کاهش بارندگی مقدار دبی ثبت شده در ایستگاه نیز کاهش یافته است. به عبارت دیگر روند تغییرات دبی و بارندگی یک شکل می‌باشند. در نتیجه می‌توان در این مقطع زمانی یکی از علت‌های تغییرات پهنه آبی دریاچه را به میزان زیادی خشکسالی ناشی از تداوم در کاهش بارندگی (جدول ۳) دانست. بر اثر کمبود بارندگی خشکسالی هواشناسی یا آب و هوایی اتفاق خواهد افتاد. پس از رخ دادن خشکسالی هواشناسی در صورت تداوم آن خشکسالی هیدرولوژیکی یا کاهش جریانات رودخانه‌ها رخ خواهد داد (Hisdal et al., 2003). در بازه زمانی ۷۸ تا ۸۲ دریاچه بختگان تا حدودی احیا شد و پهنه آبی آن هرچند با عمق کم از ۲۴۸ کیلومتر مربع افزایش یافت (شکل ۵)، که با توجه به نمودار شکل ۶ افزایش در بارندگی سال ۸۲ و قبل از آن را می‌توان دلیل آن به شمار آورد.اما پس از سال ۸۲ بیشترین تغییر در پهنه آبی دریاچه بختگان دیده می‌شود. به گونه‌ای که از سال ۸۷ دریاچه بختگان به طور کامل خشک شده است.

بر اساس جدول ۳ تداوم در خشکسالی هواشناسی بین سال‌های ۸۶ تا ۸۸ یکی از عوامل مؤثر در خشک شدن دریاچه می‌باشد. اما مطابق دو نمودار شکل ۶ از سال ۸۳ تا ۸۶ روند کاهش بارندگی و مطابق آن کاهش دبی رودخانه در دو ایستگاه حسن‌آباد خرامه و پل خان مشاهده می‌شود.

**جدول ۱- مقادیر شاخص Kappa و دقت کلی برای طبقه بندی انجام شده**

| سال | ۱۳۵۵ | ۱۳۷۱ | ۱۳۷۸ | ۱۳۸۲ | ۱۳۸۷ | ۱۳۹۳ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| دقت کلی (درصد) | ۹۸/۳۵ | ۹۳/۹۳ | ۹۹/۷۱ | ۹۷/۰۷ | ۹۹/۶۷ | ۱۰۰ |
| Kappa | ۰/۹۷ | ۰/۹۱ | ۰/۹۹ | ۰/۹۵ | ۰/۹۹ | ۱ |




**شکل ۶- مقادیر بی بعد شده بارندگی و دبی در حسن آباد خرامه (الف) و پل خان (ب) (داده‌های وزارت نیرو)**

درحالی که از سال ۸۶ به بعد، علی‌رغم افزایش بارندگی در هر دو ایستگاه، دبی رودخانه افزایش نیافته و به روند کاهشی خود ادامه داده است. این مساله در شرایطی است که میانگین بارندگی در سال ۸۷ در پل خان۲۵۰ میلی متر گزارش شده است (داده‌های وزارت نیرو) اما در عین حال آمار دبی در سال‌های ۸۷، ۸۸ و ۸۹ در ورودی به دریاچه به کمترین مقدار خود رسیده و رقم صفر اعلام شده است.

همچنین در شرایطی که در بالادست پل خان و در ایستگاه‌های سرشاخه‌های کر و سیوند در همین سال‌ها بارندگی بالای ۲۵۰ میلی متر اعلام شده، در پل خان در سال ۸۷ آورد رودخانه شرایط مناسبی ندارد و نزدیک به صفر بوده است. برای روشن شدن این موضوع که چه عواملی باعث کاهش آورد رودخانه در پل خان و ورودی دریاچه در سال‌هایی که میانگین بارندگی حوضه بالای ۲۵۰ میلی متر اعلام شده است، تغییرات سطح زیر کشت زمین‌های زیر کشت آبی و میزان آب مصرفی برای آن‌ها از سال ۱۳۳۵ تا ۱۳۸۵ در حوضه و در چهار بخش دشت‌های مرتفع (سرشاخه‌های کر و سیوند)، دشت‌های میانی، دشت‌های انتهایی (دشت‌های کربال خرامه)، و دریاچه بختگان و پیرامون آن (شکل ۷) مورد بررسی قرار گرفتند (جدول ۲). مطابق جدول ۲ بیشترین تغییرات سطح زیر کشت در نواحی بالادست و مناطق سرشاخه‌های رودخانه‌های کر و سیوند رخ داده است. توسعه سطح زیر کشت در این مناطق باعث رشد مصرف آب در بخش کشاورزی و در نهایت کاهش آب ورودی به رودخانه‌های کر و سیوند شده است. به عبارت دیگر در سرشاخه‌های کر و سیوند که محدودیتی به لحاظ کمبود آب نداشته‌اند، توسعه و رشد سطح زیر کشت و برداشت از منابع آبی بیشتر بوده است. همچنین با آبگیری سد سیوند در سال ۸۶ حقابه جدیدی برای اراضی

توابع ارسنجان در نظر گرفته شد. به گونه‌ای که با برداشت سالانه آب به میزان ۳۵ میلیون مترمکعب برای شبکه آبیاری توابع ارسنجان از میزان آبدهی در محل پل خان کاسته شده است (Fars Regional Water Authority, 2013). مجموعه اقدامات ذکر شده که در بالادست پل خان با عنوان توسعه در بخش کشاورزی و فعالیت‌های عمرانی صورت گرفته باعث افزایش مصرف آب در این مناطق و کاهش میزان آورد رودخانه در پل خان شده است. اما با این وجود در پایین دست پل خان و در دشت کربال خرامه نیز افزایش سطح زیر کشت مشاهده می‌شود، توسعه کشاورزی در این قسمت (بخش انتهایی) در نرسیدن آب به دریاچه بختگان مزید بر علت شده است.

نکته قابل توجه در دشت کربال خرامه و پیرامون دریاچه بختگان این است که با کم شدن جریانات آب سطحی و کافی نبودن آب این منبع برای آبیاری مزارع کشاورزی، استفاده از آب‌های زیرزمینی برای این منظور بسیار شدت گرفته و همین مطلب نیز باعث افت سطح ایستابی در دشت‌های مزبور شده است. این عوامل در کنار خشکسالی‌های چند سال اخیر باعث خشک شدن کامل یکی از مهمترین دریاچه‌های کشور و به دنبال آن از بین رفتن گونه‌های گیاهی و جانوری و بسیاری از کارکردها و خدمات ارزشمند آن شده است.

**شکل ۷- تقسیم بندی حوضه دریاچه بختگان و بالادست آن به چهار بخش مرتفع، میانی، انتهایی و دریاچه**

**جدول ۲- تغییرات سطح زیر کشت آبی حوضه و میزان آب مصرفی آن از ۱۳۳۵ تا ۱۳۸۵ (Fars Regional Water Authority, 2013)**

| ناحیه | سطح زیرکشت آبی(هکتار) | | | مصرف از منابع سطحی (میلیون متر مکعب در سال) | | | مصرف از منابع زیرزمینی (میلیون متر مکعب در سال) | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | ۱۳۳۵ | ۱۳۸۵ | نسبت تغییرات | ۱۳۳۵ | ۱۳۸۵ | نسبت تغییرات | ۱۳۳۵ | ۱۳۸۵ | نسبت تغییرات |
| دشتهای مرتفع | ۴۶۶۴۳ | ۲۱۵۵۲۱ | ۴/۶ | ۲۵۶/۲۳ | ۴۵۷/۷۸ | ۱/۸ | ۱۲۸/۱۴ | ۱۲۹۴/۳۹ | ۱۰/۱ |
| دشتهای میانی | ۹۳۸۰۸ | ۱۴۹۰۷۰ | ۱/۶ | ۵۶۷/۶۱ | ۷۰۴/۰۸ | ۱/۲ | ۴۹/۱۵ | ۸۹۱/۹۷ | ۱۸/۱ |
| دشتهای انتهایی | ۵۸۱۳۱ | ۱۱۹۲۳۶ | ۲/۱ | ۴۰۷/۹۸ | ۲۷۷/۱ | ۰/۷ | ۰/۴۶ | ۲۴۸/۲۸ | ۵۳۹/۷ |
| پیرامون دریاچه | ۲۵۰۱۲ | ۹۶۲۳۷ | ۳/۸ | ۹۰/۳۶ | ۳۰/۴۴ | ۰/۳ | ۸۱/۲۹ | ۶۷۳/۸ | ۸/۳ |
| جمع کل | ۲۲۳۵۹۴ | ۵۸۰۰۶۴ | ۲/۶ | ۱۳۳۱/۱۸ | ۱۴۶۹/۴ | ۱/۱ | ۲۵۹/۰۴ | ۳۱۰۸/۴۴ | ۱۲ |

**جدول ۳- شدت و مدت خشکسالی در دو ایستگاه حسن آباد خرامه و پل خان براساس داده‌های باران وزارت نیرو**

| ایستگاه | مدت خشکسالی (year) | شدت خشکسالی (mm/year) |
|---|---|---|
| حسن آباد خرامه | ۲ (۷۹-۷۸) | ۲۳ |
| | ۳ (۸۸-۸۶) | ۳۶ |
| پل خان | ۲ (۸۸-۸۶) | ۵۹ |

با توجه به موارد ذکر شده، آگاهی از عواملی که باعث تبدیل شدن کمبود آب ناشی از خشکسالی به بحران آب در بسیاری از نقاط کشور شده است، ضروری می‌باشد. با کنترل و مدیریت صحیح و یکپارچه این عوامل که ریشه در نیازهای انسان دارد می‌توان در مسیر توسعه پایدار قدم برداشت و ضمن بهرمند شدن از این منابع برای مصارف انسانی، نیازهای زیست‌محیطی را نیز برطرف نمود.

## پی‌نوشت‌ها

1- Overall Accuracy
2- Confusion Matrix

## ۵- مراجع


Alamdari A (1996) Identifying and restoration of the natural environment (The ecological balance study of Bakhtegan and Tashk Lakes) Environmental Protection Agency (Administration of Fars Environmental Protection Agency) 46p (In Persian)

Alesheikh AA, Ghorbanali A, Nouri N (2007) Coastline change detection using remote sensing. International Journal of Environmental Science and Technology 4:61 -66

Bayarsaikhan U, Boldgiv B (2009) Change detection and classification of land cover at Hustai National Park. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation 11:273–280

Bukata RP (2013) Retrospection and introspection on remote sensing of inland water quality: "like deja vu all over again". Journal of Great Lakes Research 39:2–5

Congalton RG, Green K (1999) Assessing the accuracy of remotely sensed data: principles and practices, Boca Rotan, Florida Lewis Publishers

Dregne H (1994) Land degradation in the world's arid zones. SSSA special publication (USA)

Fars Regional Water Authority (2013) Developments in the exploitation of land and water resources and the current face of exploitation, Environmental Studies of Bakhtegan and Tashk Lakes pp 65-182 (In Persian)

Fotooli B (2002) Bakhtegan management integrated plan studies, Environmental Protection Agency 157p (In Persian)

Garg JK (2015) Wetland assessment, monitoring and management in India using geospatial techniques. Journal of Environmental Management, 148:112-123

Hashemi Tangestani M, Beyranvand S, Tayebi MH (2013) Detection of changes in Bakhtegan lake at time intervals from 1956 to 2007. Journal of Mohitshenasi, 39(3):189-199 (In Persian)

Hisdal H, Tallaksen LM (2003) Estimation of regional meteorological and hydrological drought characteristics: a case study for Denmark. Journal of Hydrology 281(3):230-247

Jones DA (2009) Monitoring land use and cover around parks: a conceptual approach. Remote Sensing of Environment 113:1346–1356

Kanyamanda K (2010) Remote sensing and geographic information system for inferring land cover and land use change in Wuhan (China) 1987-2006. Journal of Sustainable Development 3(2):221-229

Klemas V (2011) Remote sensing of wetlands: case studies comparing practical techniques. Journal of Coastal Research 27(3):418-427

MacDonald LH, Smart AW, Wissmar RC (1991) Monitoring guidelines to evaluate effects of forestry activities on streams in the Pacific Northwest and Alaska. Unites States Environmental Protection Agency, Report No. EPA 910/9-91-001

Mainguet M (1994) What is desertification?: Definitions and evolution of the concept cesertification (pp. 1-16): Springer

Palmer SC, Kutser T, Hunter PD (2015) Remote sensing of inland waters: challenges, progress and future directions. Remote Sensing of Environment 157:1-8

Prakasam C (2010) Land use and land cover change detection through remote sensing approach: a case study of Kodaikanal taluk, Tamil nadu. International Journal of Geomatics and Geosciences, 1(2): 150-158

Rabbani GH (2012) Introduction to functions of water ecosystems (Ecosystem services and functions; drivers of changes). The training manual of Cap-net

Rafiee Y, Malekmohammadi B, Abkar AA, Yavari AR, Ramezanimehrian M, Zahraee H (2010 ) Evaluation of changes in wetlands and protected areas by using TM multitemporal images (Case Study: Neyriz

Samareh Hashemi M (2014) Integrated assessment of water resources systems relying on a systemic approach. Doctoral Dissertation, Department of Hydraulic Structures, Tarbiat Modares University, Tehran, 241p (In Persian)

Shupe SM, Marsh SE (2004) Cover-and density-based vegetation classifications of the Sonoran Desert using Landsat TM and ERS-1 SAR imagery. Remote Sensing of Environment 93(1):131-149

Sima S, Tajrishy M (2006) Associated environmental water requirement for Shadegan wetland. The 7th International Congress of Civil Engineering, Tehran, Tarbiat Modares University, Department of Civil Engineering (In Persian)

Soncini-Sessa R (Ed) (2007) Integrated and participatory water resources management: theory (Vol. 1, Part A), Elsevier, 556p

Wang YQ (2009) Remote sensing of land-cover change and landscape context of the national parks: a case study of the Northeast temperate network. Remote Sensing of Environment 113:1453–1461

Wetland). Journal of Environmental Studies 37(5):65-76 (In Persian)

Ranqsikanbhum T, lsana P (1997) Study on forest change detection in Eastern forest by remote sensing technique. http://www GIS development.net/AARS/ ACRS/Foresty. P: 1-3

Rimal B (2009) Application of remote sensing and GIS, land use/land cover change in Kathmandu Metropolitan city, Nepal. Journal of Theorectical and Applied Information Technology 37:671-680

Roberts DA, Keller M, Soares JV (2003) Studies of land-cover, land-use, and biophysical properties of vegetation in the large scale biosphere-atmosphere experiment in Amazonia. Remote Sensing of Environment 87(4):377-388

Roni P, Liermann M, Muhar S, Schmutz S (2012) Monitoring and evaluation of restoration actions. In: Roni P and Beechie T (Eds), Stream and watershed restoration: a guide to restoring riverine processes and habitats, 254-279, John Wiley & Sons, Ltd, Chichester, UK