

## تعیین حقایق زیست‌محیطی دریاچه‌های طشک و بختگان با استفاده از روش طبقه‌بندی C – میانگین فازی

ایرج تیموری\* - دکترای جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشگاه علامه‌ی طباطبایی

احمد پوراحمد - استاد دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران

لیلا حبیبی - دانشجوی دکترای جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشگاه تهران

فاطمه سالاروندیان - دانشجوی دکترای جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشگاه تهران

پذیرش مقاله: ۱۳۸۹/۳/۸      تأیید نهایی: ۱۳۹۰/۹/۱۹

### چکیده

انسان می‌تواند با تکنولوژی موجود، طبیعت را مقهور اراده و خواست خود کند؛ ولی در صورت استفاده‌ی نامناسب و مهارنشده از طبیعت، موجب تخریب و برهم‌خوردن تعادل اکوسیستم خواهد شد. آنچه به‌عنوان تخریب محیط زیست از آن یاد می‌شود، نتیجه‌ی برنامه‌ها و سیاست‌های نادرست در مدیریت سرزمین است و نمونه‌ی بارز این مسأله، دریاچه‌های طشک و بختگان است. با احداث سدهای مخزنی (سدهای درودزن و سیوند) و برداشت بی‌رویه از آب رودخانه‌های گر و سیوند برای مصارف کشاورزی، شهری و صنعتی، رژیم آبیگری طبیعی دریاچه‌های طشک و بختگان دچار اختلال شده و این امر سبب‌شده این دو دریاچه در فصول مختلف سال، دوره‌های خشک و بدون آب را سپری کنند. این درحالی است که این دو دریاچه، جزء مناطق تحت حفاظت سازمان محیط زیست کشور بوده و طرح‌هایی که در بالادست برای برداشت آب به‌اجرا درمی‌آید، بدون توجه به حفظ حیات دریاچه‌های طشک و بختگان انجام می‌شود. در صورت عدم تعلق حقایق زیست‌محیطی به این دریاچه‌ها، اکوسیستم منطقه به اکوسیستم کویری تبدیل خواهد شد. این مقاله قصد دارد تا آثار سوء ناشی از احداث سدهای فوق را در تغییر چشم‌اندازهای جغرافیایی نشان دهد و سپس به بررسی نقش و اهمیت سیستم اطلاعات جغرافیایی، در برآورد نیاز آبی دریاچه‌ها بپردازد. برای این کار با استفاده از تصویر ماهواره‌ای ETM+ و ترکیب باندهای (۷-۵-۲)، سطح دریاچه با توجه به عمق و با استفاده از تکنیک C- میانگین فازی به هفت طبقه دسته‌بندی شد. درنهایت با استفاده از تابع Cut / fill در محیط GIS مشخص شد که حجم آب مورد نیاز سالانه برای پُرشدن کل سطح دریاچه، ۱۵۹۲ میلیون مترمکعب است.

کلیدواژه‌ها: منطق فازی، طبقه‌بندی C میانگین فازی، سیستم اطلاعات جغرافیایی، دریاچه‌های طشک و بختگان.

## مقدمه

انسان می‌تواند با تکنولوژی موجود طبیعت را مقهور اراده و خواست خود کند؛ ولی در صورت استفاده نامناسب و مهارنشده از طبیعت، باعث تخریب و برهم‌خوردن تعادل اکوسیستم خواهد شد. آنچه به‌عنوان تخریب محیط زیست از آن یاد می‌شود، نتیجه‌ی برنامه‌ها و سیاست‌های نادرست در مدیریت سرزمین است، نمونه‌ی بارز آن دریاچه‌های طشک و بختگان است. با احداث سدهای درودزن، سیوند و بندهای امیر و فیض‌آباد که برای برداشت آب از رودخانه‌های کُر و سیوند برای مصارف کشاورزی و انسانی انجام‌شده، دخالتی بیش از توان محیط در این منطقه بوده و سبب‌شده تا حیات دریاچه‌های طشک و بختگان در معرض خطر قرار گرفته و منجر به مرگ زودرس این دو محیط آبی در کشور شود. این دو دریاچه، افزون بر تأثیری که در محیط اطراف خود دارند، زیستگاه پرندگان همچون، غازها، لک‌لک‌ها، پلیکان‌ها، اردک‌ها، ماهی‌خورک‌ها، فلامینگو، آنقوت، تنجه و چنگر است. حرکت مهاجرتی پرندگان، همیشه تابع عوامل مثبت زیست‌محیطی نیست، بررسی‌های گذشته نشان می‌دهند که چند عامل اصلی در این نوسان دخالت مستقیم دارند. این عوامل شامل تغییرات شرایط آب‌وهوایی به‌ویژه سرمای شدید و برف و یخبندان در مناطق شمالی، وضعیت سلامت تالاب‌ها، میزان و تنوع غذایی زیستگاه‌ها، دخالت‌های بی‌مورد انسان و شکار بی‌رویه پرندگان است.

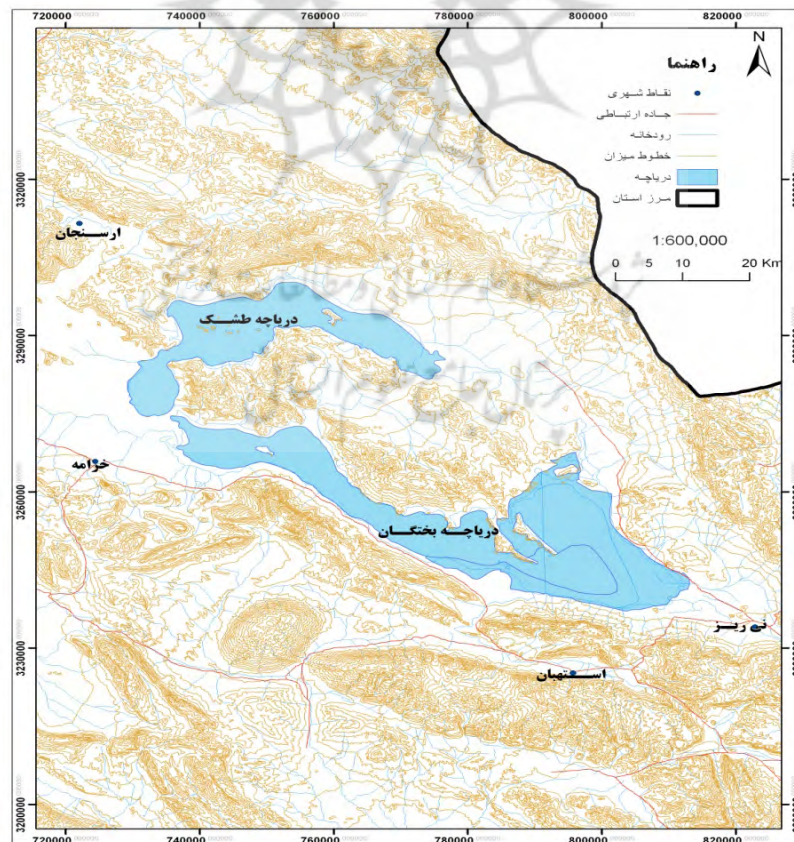
خشکاندن تالاب‌ها و تبدیل آنها به اراضی کشاورزی در چند دهه‌ی گذشته، قابلیت زیستگاهی دریاچه را برای پرندگان کاهش داده است و همان‌طور که می‌دانیم وقتی شرایط زیست‌محیطی مناسب باشد، تعداد و تنوع پرندگان بیشتر و در نتیجه، پستانداران گوشتخوار منطقه نیز افزایش می‌یابند؛ اما وضعیت موجود حاکی از آن است که تغییرات وسیعی در هیدرولوژی این دریاچه صورت گرفته است. تنها رودخانه‌ای که به دریاچه‌ی بختگان می‌ریزد، رودخانه‌ی کُر است. احداث سد درودزن و سیوند و بندهای امیر و فیض‌آباد بر روی این رودخانه و همچنین استفاده‌ی بی‌رویه از آب این رودخانه برای کشاورزی، سبب‌شده در بیشتر فصول سال، آبی از این رودخانه وارد دریاچه نشود و به جای آن، تعداد زیادی از زهکش‌ها که برای شیرین کردن خاک احداث‌شده، لایه‌های آب آکنده از املاح را در این دریاچه‌ها وارد کنند.

دریاچه‌های طشک و بختگان از مهم‌ترین زیستگاه‌ها و از نظر وسعت دومین دریاچه‌ی داخلی کشور شمرده می‌شوند و آبخیزی به وسعت ۲/۷۲۱/۶۵۶ هکتار دارد. این حوضه‌ی آبریز، بین ۵۱ درجه و ۴۴ دقیقه تا ۵۴ درجه و ۳۰ دقیقه طول شرقی و ۲۹ درجه و ۷ دقیقه تا ۳۱ درجه و ۱۵ دقیقه عرض شمالی قرار دارد. شکل شماره ۱ و ۲ موقعیت این دو دریاچه و وضعیت توپوگرافی آن را نشان می‌دهد.

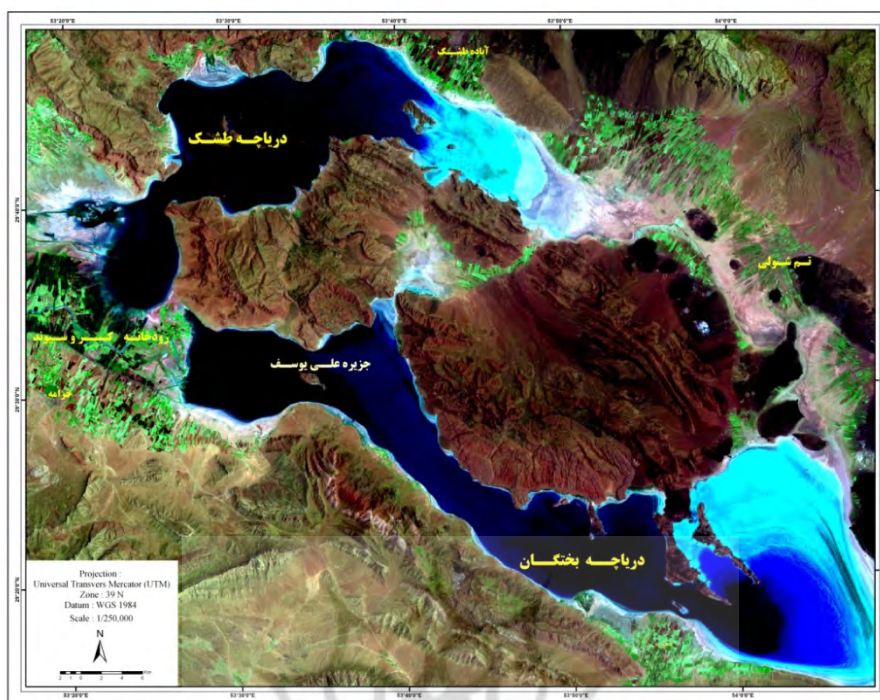
مهم‌ترین منبع تأمین آب این دو دریاچه، رودخانه‌های کُر و سیوند هستند. رودخانه‌ی کُر از ارتفاعات زاگرس سرچشمه گرفته و با رودخانه‌ی سیوند در دشت مرودشت، در محل پل خان، به‌هم‌پیوسته و پس از مشروب‌نمودن دشت کربال به این دریاچه می‌ریزند. از دیگر منابع آبی دریاچه، چشمه‌های دائمی اطراف دریاچه و سیلاب‌های زمستانه هستند. ارتفاع دریاچه از سطح دریاهای آزاد ۱۵۲۵ متر است. آب این دریاچه در مجاورت مصب رودخانه‌ی شیرین است. گاهی در این حوالی از آب دریاچه برای کشاورزی استفاده می‌شود. شکل شماره ۳، تصویر ماهواره‌ای دریاچه‌های طشک و بختگان را در اردیبهشت سال ۲۰۰۲ (در هنگام پُرآبی) و شکل شماره ۴، تصویر ماهواره‌ای دریاچه‌های طشک و بختگان را در مرداد سال ۲۰۰۵ (در زمان کم‌آبی) نشان می‌دهند.



شکل ۱. موقعیت دریاچه های طشک و بختگان در ایران

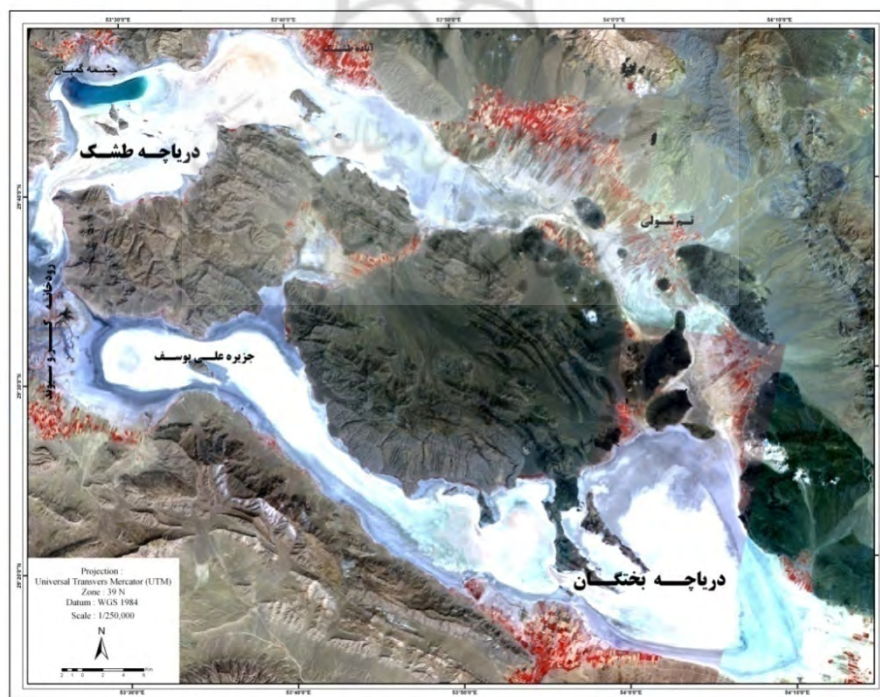


شکل ۲. وضعیت توپوگرافی دریاچه های طشک و بختگان



شکل ۳. تصویر ماهواره ETM از دریاچه‌های طشک و بختگان (ترکیب باندهای ۷-۵-۲)

منبع: سازمان فضایی کشور، ۲۰۰۲

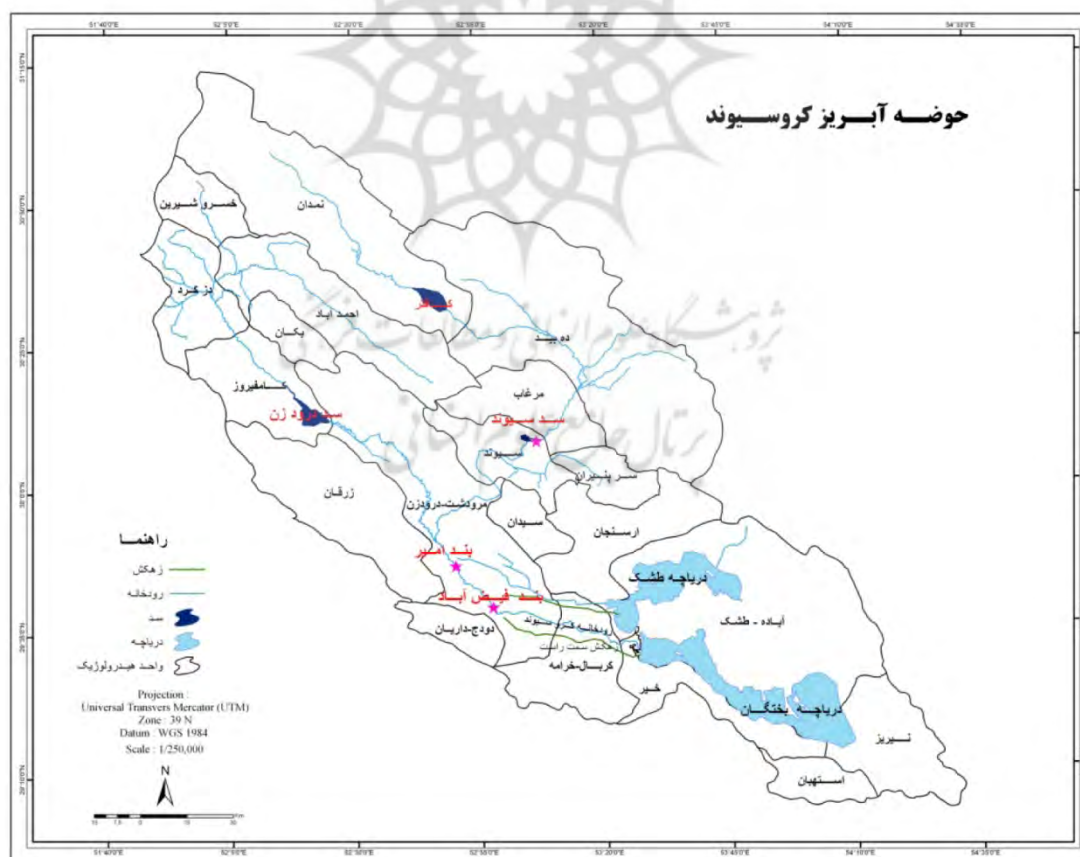


شکل ۴. تصویر ماهواره Aster از دریاچه‌های طشک و بختگان در مرداد ماه ۲۰۰۵ (ترکیب باندهای ۴-۳-۲)

منبع: سازمان فضایی کشور، ۲۰۰۵

پایین رفتن سطح آب در اطراف دریاچه، سبب نابودی نیزارهای طبیعی پیرامون آن، یعنی تالاب کمجان شده است. این نیزارها که سبب می‌شد در زمان وقوع سیلاب‌های فصلی، شوری آب دریاچه در سطح تالاب کمجان کاهش پیدا نکند، هم‌اکنون از بین رفته و باعث شده با وجود سیلاب‌ها، گستره‌ی دریاچه افزایش و عمق دریاچه به‌شدت کاهش یابد و از سویی تبخیر از این دریاچه با سرعت بیشتری انجام گیرد، به‌گونه‌ای که این دریاچه در سال‌های گذشته، تابستان‌های خشک را تجربه کرده است.

از سوی دیگر، رودخانه‌ی کُر با ریخته‌شدن فاضلاب ده‌ها کارخانه بزرگ، همچون پتروشیمی، چغندر قند، شهرک صنعتی، زرقان، پذیرای مواد آلوده‌کننده شدیدی است. اگرچه خودپالایی طبیعی، نقش مهمی در کاهش این آلاینده‌ها دارد؛ اما انتظار می‌رود در بلندمدت آثار منفی‌ای بر کیفیت این زیستگاه با ارزش داشته باشد. بدین ترتیب ملاحظه می‌شود که برای نجات اکوسیستم موجود در این دریاچه و جلوگیری از به‌وجود آمدن فاجعه‌ی زیست‌محیطی برای بقای حیات در این دو دریاچه، لازم است که حقایق زیست‌محیطی تعیین شود. روشن است که این مقدار آب مورد نیاز، باید با رودخانه‌ی کُر و سیوند و رودخانه‌های فصلی و چشمه‌های موجود در اطراف دریاچه فراهم شود. در شکل شماره ۵، حوضه آبریز کُر و سیوند را همراه با موقعیت سدهای درودزن، سیوند، بند امیر و بند فیض آباد مشاهده می‌کنید.



شکل ۵. موقعیت سدهای درودزن و سیوند نسبت به دریاچه‌های طشک و بختگان

منبع: سازمان آب منطقه‌ای استان فارس، ۱۳۸۳

مرور مطالعات گذشته در این زمینه، ضمن جلوگیری از دوباره‌کاری، مسیر درستی برای پژوهش ارائه می‌کند. از این رو به برخی از پژوهش‌هایی که در این راستا انجام گرفته، اشاره می‌شود.

عاقلی و صادقی (۱۳۸۰) ضمن ارائه‌ی اهمیت منطق فازی و مجموعه‌های فازی به تبیین روند تخریب محیط زیست در ایران پرداختند. محاسبات فازی برپایه‌ی داده‌های مبهم در مورد منابع طبیعی ایران، نشان داده است که در شرایط بحرانی (جنگ و شوک نفتی)، تخریب زیست‌محیطی افزایش می‌یابد.

دلیر و عبدی‌نیا (۱۳۸۲) به مطالعه‌ی فرسایش‌پذیری حوضه‌ی آبریز تجن با استفاده از منطق فازی پرداختند. حیدریان (۱۳۸۲) نیز با استفاده از منطق فازی به ارزیابی مرحله‌ای شبکه‌های آبیاری و زهکشی با تأکید بر سیستم‌های مختلف مدیریتی اشاره کرده است.

وفاخواه و رجبی (۱۳۸۴) در پژوهش خود به ارزیابی خشکسالی‌های حوضه‌ی آبخیز دریاچه‌های طشک و بختگان و مهارلو پرداختند. در این مقاله، نمایه‌های عدد  $Z$  (Z-Score)، درصد نرمال بارندگی (PNPI)، دهک‌های بارندگی (DPI)، ناهنجاری بارش (RAI) و بارش استاندارد (SPI) حوضه‌ی آبخیز دریاچه‌های بختگان، طشک و مهارلو مورد بررسی قرار گرفت و از میان نمایه‌های متعدد مورد استفاده، نمایه‌های دهک‌های بارندگی و درصد نرمال بارندگی مقارن با سال وقوع، کمینه‌ی بارندگی، رخداد خشکسالی بسیار شدید را در تمام ایستگاه‌های مورد مطالعه گزارش کرده که انحراف معیار کمتر و میانگین بیشتری نسبت به نمایه‌های دیگر داشته و به همین دلیل برای تعیین خشکسالی‌های هواشناسی، کارایی بیشتری نسبت به نمایه‌های دیگر دارند.

فسخودی (۱۳۸۴) در پژوهش خود به بررسی کاربرد استنتاج فازی در مطالعات برنامه‌ریزی و توسعه‌ی منطقه‌ای اشاره دارد. به باور وی، ابهام و قطعیت ذاتی حاکم بر محیط‌های برنامه‌ریزی و تصمیم‌گیری، نیازمند روش‌هایی است که امکان بررسی و صورت‌بندی ریاضی مفاهیم مبهم این علوم را فراهم کند. منطق فازی به‌عنوان روشی برای مدل‌سازی و صورت‌بندی ریاضی، ابهام و بی‌دقتی موجود در مباحث انسانی، ابزاری بسیار مفید و کارآمد به‌شمار می‌رود.

فرهودی و همکاران (۱۳۸۴) با استفاده از منطق فازی، محل دفن مواد زائد جامد شهری را ارزیابی کردند و با استفاده از تکنیک فازی و سیستم اطلاعات جغرافیایی به تعیین مکان مناسب برای دفن مواد زائد جامد، دست یافتند.

چونگفو<sup>۱</sup> (۱۹۹۶) با استفاده از منطق فازی به بررسی خطرات محیطی موجود در شهرها پرداخته است.

پوکروفسکی<sup>۲</sup> و همکاران (۲۰۰۲) در پژوهش خود با به‌کارگیری منطق فازی به بررسی آثار وضعیت جوی بر روی آلاینده‌های شهر هنگ‌کنگ پرداختند.

مینتز<sup>۳</sup> و همکاران (۲۰۰۵) در پژوهش خود با استفاده از منطق فازی به طبقه‌بندی آلودگی گاز ازن در سطح شهر ادمونتون کانادا پرداختند.

## مواد و روش‌ها

یکی از کارهای لازم برای تعیین حبابه‌ی زیست‌محیطی، تهیه‌ی تصاویر ماهواره‌ای مناسب است. بدین منظور برای بررسی وضعیّت پُربابی، تصویر ماهواره‌ای ETM+ (شکل شماره ۳) - که تاریخ دریافت تصویر، اردیبهشت ماه سال ۲۰۰۲ است - تهیه شد و برای مطالعه‌ی وضعیّت کم‌آبی دریاچه‌ها در فصل تابستان، از تصویر ماهواره‌ای Aster استفاده شد (شکل شماره ۴). گفتنی است، ماهواره‌ی EOS AM-1 - که بعدها به نام ترا<sup>۱</sup> معروف شد - در دسامبر ۱۹۹۹ از مرکز فضایی ناسا به هوا پرتاب و در مدار زمین قرار گرفت. این ماهواره، پنج ابزار سنجش از دور را با خود حمل می‌کند که شامل MODIS و Aster است و دارای سه باند در طیف قابل دید و مادون قرمز نزدیک با قدرت تفکیک ۱۵ متر، شش باند در مادون قرمز با قدرت تفکیک ۳۰ متر و پنج باند در طیف مادون قرمز حرارتی با قدرت تفکیک ۹۰ متر است. استر (Aster) سه تلسکوپ مجزاً دارد که هر یک از آنها می‌تواند به‌طور جداگانه بر روی هدفی مشخص قرار گیرد. اگر یک تلسکوپ دو بار بر روی هدفی قرار داده شود، زوج استرویسکوپی با قدرت تفکیک بالا از آن محل به‌دست خواهد آمد (Klee, 2001, 175).

پس از دریافت تصویر، پردازش‌های اولیه‌ی آن اعمال شد. گفتنی است که همه‌ی پردازش‌های انجام‌شده روی تصاویر ETM انجام شده و از تصاویر استر، برای نمایش وضعیّت دریاچه در تابستان استفاده شده است. اولین مرحله‌ی پردازش تصویر، پردازش اولیه‌ی نامیده می‌شود؛ چون پیش از مراحل دیگر تصویرپردازی انجام می‌شود. مقدار تصویرپردازی اولیه‌ی مورد نیاز با حس‌گر، به کیفیت داده‌های رقومی و همچنین به نوع تصویر به‌کار رفته برای پردازش بستگی دارد که انواع آن در زیر آمده است:

(الف) تصحیح چرخش زمین و تصحیح هندسی؛

(ب) کاهش (کم کردن) پارازیت؛

(ج) تصحیح اتمسفری؛

(د) تصحیح رادیومتری (لگ، ۱۳۸۱).

پس از مرحله‌ی پردازش، سطح دریاچه‌های طشک و بختگان طبقه‌بندی شد.

روش‌های مختلفی برای طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای برای استخراج اطلاعات وجود دارد که از میان آنها می‌توان به روش‌های حداقل فاصله تا میانگین، روش جعبه‌ای و روش حداکثر احتمال اشاره کرد. به‌دلیل توانایی بالای روش طبقه‌بندی C- میانگین فازی در دسته‌بندی سلول‌های تصاویر ماهواره‌ای، در این پژوهش نیز از روش گفته‌شده برای طبقه‌بندی سلول‌های سطوح دریاچه‌های طشک و بختگان استفاده شد. برای این طبقه‌بندی از باندهای (۲، ۵، ۷) تصویر ماهواره‌ای استفاده شد؛ سپس با روش طبقه‌بندی C- میانگین فازی در نرم‌افزار (PCI Geomatica)، سطح دریاچه به هفت طبقه (از نظر رنگ و میزان بازتابش) تقسیم شد. این طبقه‌بندی بر اساس میزان بازتابش نور در طیف‌های مختلف است.

طبقه‌بندی به مفهوم دسته‌بندی اجزای تشکیل‌دهنده‌ی یک سیستم بر اساس تشابه میان آنهاست؛ به‌گونه‌ای که عضوهای متعلق به یک دسته، بر اساس معیارها و ویژگی‌های مورد نظر، بیشترین شباهت را داشته باشند (کوره‌پزان دزفولی، ۱۳۸۴، ۱۰۴).

همان‌گونه که پیش از این گفته شد، یکی از روش‌های کارآمد طبقه‌بندی، طبقه‌بندی C- میانگین فازی است. هدف این روش، دسته‌بندی یک مجموعه‌ی معلوم از داده‌ها، به تعداد معینی طبقه است؛ به‌گونه‌ای که دو ویژگی مهم را داشته باشند: اول؛ سلول‌های تصاویر ماهواره‌ای همگن باشند و دوم؛ طبقه‌های مختلف سلول‌ها نسبت به یکدیگر نامتجانس باشند. بنابراین برای طبقه‌بندی داده‌ها (سلول‌ها) باید از یک تابع هدف استفاده شود که به‌طور هم‌زمان دو کار زیر را انجام دهد:

الف) فاصله‌ی اقلیدسی بین هر نقطه‌ی یک طبقه را با مرکز آن طبقه کم کند.

ب) فاصله‌ی اقلیدسی بین مراکز طبقه‌ها را بیشتر کند.

این روش که از سوی بزدک پیشنهاد شده است، روشی بسیار کارآمد برای طبقه‌بندی داده‌ها و به‌ویژه تصاویر ماهواره‌ای است. به‌طور کلی، تفاوت اصلی طبقه‌بندی فازی با روش‌های دیگر طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای در این است که در طبقه‌بندی فازی یک پیکسل می‌تواند درجه عضویت جزئی در بیشتر از یک طبقه داشته باشد؛ یعنی درجه عضویت یک داده به یک دسته می‌تواند عددی متعلق به بازه‌ی  $[0, 1]$  باشد. برای نمونه، در یک طبقه‌بندی فازی که تعداد طبقه‌های آن سه است، درجه عضویت یک پیکسل خاص به طبقه‌های اول، دوم و سوم به ترتیب برابر  $0/1$ ،  $0/2$  و  $0/7$  است.

$$\mu_{ik} = \mu_{\tilde{A}_i}(x_k) \in [0,1]$$

به‌گونه‌ای که  $\mu_{ik}$  درجه عضویت داده  $k$ ام به طبقه‌ی  $i$ ام است، بنابراین خواهیم داشت:

$$\sum_{i=1}^c \mu_{ik} = 1 \quad k = 1, 2, \dots \quad (1)$$

$$0 < \sum_{k=1}^n \mu_{ik} < n$$

از آنجا که در طبقه‌بندی فازی، هر داده (سلول) می‌تواند درجه عضویتی بیشتر از یک دسته داشته باشد، بنابراین اینجا، محدودیت‌های موجود در طبقه‌بندی روش‌های کلاسیک وجود ندارد:

$$\mu_{ik} \wedge \mu_{jk} \neq 0 \quad (2)$$

رابطه‌ی زیر که نشان می‌دهد، نمونه  $x_k$  فقط و به‌طور کامل می‌تواند به یک طبقه تعلق داشته باشد، برای حالت فازی نیز برقرار است:

$$\bigvee_{i=1}^c \mu_{Ai}(x_k) = 1 \quad \text{برای همه } k \text{ ها} \quad (3)$$



همچنین رابطه‌ی زیر که نشان می‌دهد هیچ طبقه‌ای نمی‌تواند تهی یا برابر مجموعه‌ی مرجع  $X$  باشد، برای حالت فازی نیز برقرار است.

$$0 < \sum_{k=1}^n \mu_{Ai}(x_k) < n \quad \text{برای همه } i \text{ ها} \quad (۴)$$

اینک، ما می‌توانیم یک خانواده از ماتریس‌های افراز فازی،  $M_{fc}$  برای طبقه‌بندی  $n$  پیکسل به  $c$  طبقه، به صورت زیر تعریف کنیم:

$$M_{fc} = \left\{ U \left| \mu_{ik} \in [0, 1]; \sum_{i=1}^c \mu_{ik} = 1; 0 < \sum_{k=1}^n \mu_{ik} < n \right. \right\} \quad (۵)$$

به طوری که  $i = 1, 2, \dots, c$  و  $k = 1, 2, \dots, n$

هر  $(U \in M_{fc})$  یک افراز فازی است که از ویژگی هم‌پوشانی طبقه‌ها تبعیت می‌کند و برای توصیف درجه عضویت یک دسته‌ی بی‌شمار مقدار ممکن، می‌توان در نظر گرفت. بدین ترتیب  $M_{fc}$  بی‌شمار زیرمجموعه دارد  $(\eta_{M_{fc}} = \infty)$  (کوره‌پزان، ۱۳۸۴).

حال روشی برای تعیین  $c$ -افراز فازی  $U$ ، برای طبقه‌بندی  $n$  پیکسل در  $c$  طبقه ارائه می‌کنیم. برای این کار، یک تابع هدف  $J_m$  به صورت زیر تعریف می‌کنیم (تسو و ماتر، ۲۰۰۱).

$$J_m(U, V) = \sum_{k=1}^n \sum_{i=1}^c (\mu_{ik})^{m'} (d_{ik})^2 \quad (۶)$$

به طوری که  $d_{ik}$  فاصله‌ی اقلیدسی بین مرکز خوشه‌ی  $i$ ام و داده‌ی  $k$ ام است.

$$d_{ik} = d(X_k - V_i) = \left[ \sum_{j=1}^m (x_{kj} - v_{ij})^2 \right]^{1/2} \quad (۷)$$

به طوری که  $\mu_{ik}$  برابر درجه عضویت داده  $k$ ام به طبقه  $i$ ام است. کمترین مقدار  $J_m$  مربوط به بهترین حالت دسته‌بندی خواهد بود. در اینجا یک پارامتر جدید ( $m'$ ) به نام پارامتر وزنی معرفی می‌شود که بازه تغییرات آن به صورت  $m' \in [1, \infty)$  است. این پارامتر میزان فازی بودن را در فرآیند طبقه‌بندی، مشخص می‌کند. همچنین  $V_i$  نشان‌دهنده‌ی مختصات مرکز  $i$ امین طبقه است، بنابراین  $V_i = \{v_{i1}, v_{i2}, \dots, v_{im}\}$  که  $m$  تعداد ابعاد  $V_i$  یا به عبارتی تعداد معیارهای تشابه است. مختصات مرکز طبقه را از رابطه زیر به دست می‌آوریم:

$$v_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^n \mu_{ik}^{m'} \cdot x_{kj}}{\sum_{k=1}^n \mu_{ik}^{m'}} \quad (۸)$$

به طوری که  $z$  متغیری است برای نشان دادن فضای معیارها  $z = 1, 2, \dots, m$ .  
 -c- افزای بهینه‌ی زمانی به دست می‌آید که مقدار  $J$  در رابطه‌ی زیر، مینیمم می‌شود.

$$J_m^* = (U^*, V^*) = \min J(U, V) \quad (9)$$

مانند بیشتر روش‌های بهینه‌سازی، در اینجا نیز ممکن است جواب بهینه‌ی به دست آمده، بهترین بهترین‌ها نباشد، ولی ما در پی بهترین جواب قابل دسترس، در یک سطح دقت معین هستیم. این روش با استفاده از نرم‌افزار PCI Geomatic روی تصویر ماهواره‌ای اعمال شد.

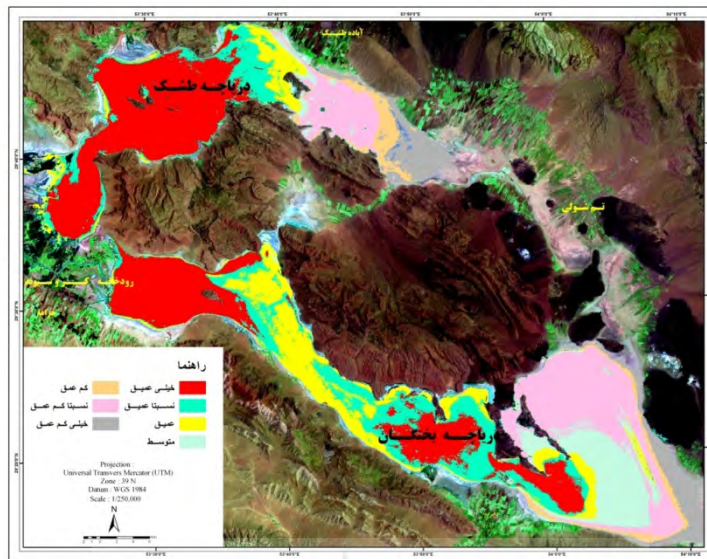
برای طبقه‌بندی سطح دریاچه طشک و بختگان از تصویر ماهواره‌ای ETM+ و ترکیب باندهای (۷، ۵، ۲) استفاده شد. پس از پردازش اولیه‌ی مورد نیاز بر روی تصویر با استفاده از روش طبقه‌بندی C- میانگین فازی، سطح دریاچه به هفت طبقه تقسیم شد. شکل شماره ۵، طبقه‌های به دست آمده از سطوح مختلف دریاچه را نشان می‌دهد. طبقه‌بندی تصویر ماهواره‌ای در محیط نرم‌افزار Pci Geomatica انجام گرفت.

پس از طبقه‌بندی سطح دریاچه، برای تخمین حجم آب مورد نیاز هر طبقه، باید از وضعیت پستی و بلندی کف دریاچه آگاهی داشته باشیم. برای این کار، از تابع (Topo Grid) در نرم‌افزار Arc GIS استفاده شد. داده‌های مورد نیاز برای اعمال این تابع، شامل نقاط مربوط به عمق دریاچه و خطوط تراز ساحل دریاچه است که از نقشه‌های توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰ سازمان نقشه‌برداری و مطالعات مربوط به مدیریت پارک و پناهگاه حیات وحش بختگان استفاده شد. لایه‌ی به دست آمده با عنوان لایه‌ی هم‌عمق در شکل شماره ۶ نشان داده شده است.

در نهایت، تخمین آب مورد نیاز برای پُر کردن هر یک از کلاس‌های به دست آمده از روش فازی دو لایه‌ی اطلاعاتی به دست آمده (طبقه‌های سطح دریاچه و لایه‌ی هم‌عمق)، در تابع Cut / Fill قرار گرفتند؛ نتیجه‌ی این تابع، میزان آب مورد نیاز برای پُر شدن کلاس‌ها را برآورد می‌کند.

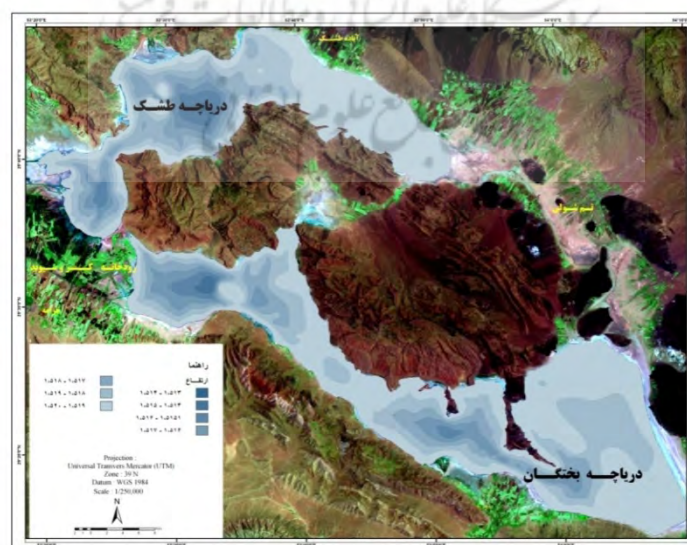
## یافته‌های تحقیق

پس از پردازش اولیه‌ی مورد نیاز روی تصویر و استفاده از روش طبقه‌بندی C- میانگین فازی در نرم‌افزار PCI Geomatic، سطح دریاچه به هفت طبقه یا کلاس (از نظر رنگ و میزان بازتابش) تقسیم شد. این طبقه‌بندی بر اساس میزان بازتابش نور در طیف‌های مختلف است. رنگ آب دریاچه، بر اساس عمق و میزان بازتابش متفاوت است. برای مثال در قسمت‌های عمیق دریاچه، رنگ آب به تیرگی گرایش دارد. روش طبقه‌بندی C- میانگین فازی در نرم‌افزار PCI Geomatic به صورت نظارت‌نشده انجام می‌شود و نرم‌افزار تعداد طبقه‌ها را بر اساس این روش به دست می‌آورد (گفتنی است که همه‌ی مراحل توضیح داده شده برای طبقه‌بندی سلول‌های تصاویر ماهواره‌ای با روش فازی در نرم‌افزار، به طور خودکار اعمال می‌شود). شکل شماره ۶، طبقه‌های (کلاس‌های) به دست آمده از سطوح مختلف دریاچه را نشان می‌دهد.



شکل ۶. طبقه‌بندی دریاچه‌های طشک و بختگان بر اساس عمق آب

از آنجاکه کف دریاچه، عمق یکسانی ندارد و یکسان فرض کردن عمق دریاچه، سبب بروز خطا در محاسبات می‌شود، بنابراین بایستی بر اساس نقاط ارتفاعی از بستر دریاچه، پستی و بلندی‌های کف دریاچه محاسبه شود تا در تابع Cut/Fill، حجم آب تخمین زده‌شده به واقعیت نزدیک باشد. بدین منظور از نقاط ارتفاعی و خطوط تراز ساحل دریاچه - این نقاط از نقشه‌های ۱:۲۵۰۰۰ سازمان نقشه‌برداری و مطالعات، مربوط به مدیریت پارک و پناهگاه حیات‌وحش بختگان به دست آمد - استفاده شد تا لایه‌ی مربوط به مدل ارتفاعی DEM (سطوح هم‌عمق) از کف دریاچه تهیه شود. شکل شماره ۷، مدل ارتفاعی (سطوح هم‌عمق) کف دریاچه‌های طشک و بختگان را نشان می‌دهد.



شکل ۷. سطوح هم‌عمق دریاچه‌های طشک و بختگان

منبع: سازمان نقشه‌برداری، ۱۳۸۴

پس از تهیه‌ی لایه‌ی سطوح هم‌عمق با استفاده از تابع Cut/fill در برنامه‌ی جانبی آنالیز سه‌بعدی نرم‌افزار ArcGis، لایه‌ی هم‌عمق از سطح دریاچه (ارتفاع سطح دریاچه ۱۵۲۰ متر از دریا‌های آزاد است) کم شد تا حجم کل دریاچه به‌دست آید، این حجم ۱۵۹۲ میلیون مترمکعب محاسبه شد. به‌دلیل محدودیت‌های موجود، امکان پُر شدن همه‌ی سطح دریاچه در یک زمان، کمی مشکل است. با در دست داشتن کلاس‌های عمق، می‌توان بر اساس آب موجود برای پُر کردن آنها برنامه‌ریزی کرد تا حداقل یکی از کلاس‌ها پُر آب باشد. حجم محاسبه‌شده‌ی آب مورد نیاز برای پُر شدن هر یک از کلاس‌های عمق که پیش از این به‌دست آورده بودیم به شرح زیر است.

سطح آب دریاچه‌های طشک و بختگان ثابت نبوده و در طی فصول مختلف تغییرات زیادی را از خود نشان می‌دهد. همان‌گونه که شکل شماره ۶ نشان می‌دهد، سطح دریاچه‌های طشک و بختگان به هفت کلاس عمق طبقه‌بندی شد. جدول شماره ۱، مساحت و عمق متوسط هر کدام از کلاس‌های عمق آب را به همراه آب تخمین زده‌شده برای پُر شدن سطح کلاس نشان می‌دهد.

جدول ۱. مساحت، عمق متوسط و آب مورد نیاز کلاس‌ها

کلاس	عمق متوسط (متر)	مساحت (هکتار)	مساحت به درصد	آب مورد نیاز (میلیون مترمکعب)
خیلی عمیق	۲/۵	۴۰۸۸۹	۳۲/۸۸	۱۰۲۰/۳۲
نسبتاً عمیق	۱/۸	۱۹۳۲۵	۱۵/۵۴	۲۵۸/۴۲
عمیق	۱/۳	۱۶۶۴۱	۱۳/۳۸	۱۳۱/۹۱
متوسط	۰/۹	۱۲۱۶۲	۹/۷۸	۸۰/۸۸
نسبتاً کم عمق	۰/۷۵	۲۱۲۳۶	۱۷/۰۸	۹۷/۰۴
کم عمق	۰/۳	۵۱۷۴	۴/۱۶	۲/۴۶
خیلی کم عمق	۰/۱	۸۸۹۴	۷/۱۵	۰/۹۸
جمع		۱۲۴۳۳۱	۱۰۰	۱۵۹۲

### کلاس یک (خیلی عمیق)

کلاس یک بخش‌هایی از دریاچه را شامل می‌شود که عمق بیشتری را نسبت به قسمت‌های دیگر دریاچه دارند. شکل شماره ۶، مساحت این کلاس، ۴۰۸۸۹ هکتار است که ۳۲/۸۸ درصد از سطح کل دریاچه‌های طشک و بختگان را پوشش می‌دهد. بر اساس مطالعات انجام‌شده در این منطقه، متوسط عمق آب در این کلاس، حدود ۲/۵ متر است. با استفاده از لایه‌ی توپوگرافی کف دریاچه در این محدوده و با اعمال تابع Cut/fill، حجم این بخش از دریاچه، در حدود ۱۰۲۰/۳۲ میلیون مترمکعب تخمین زده شد. ایستگاه هیدرومتری پل خان تنها ایستگاهی است که می‌توان آب خارج شده از آن را به‌عنوان آب ورودی به دریاچه‌های طشک و بختگان به حساب آورد.

با توجه به اطلاعات موجود، تنها در سال‌هایی که دبی آب در این ایستگاه بالای یک میلیارد مترمکعب باشد، این

بخش از دریاچه‌های طشک و بختگان به‌طور کامل پُر آب خواهند بود، در غیر این صورت، این بخش از دریاچه‌ها نیمه‌پُر خواهند بود.

### کلاس دو (نسبتاً عمیق)

مساحت این کلاس از دریاچه، ۱۹۲۲۶ هکتار است که ۱۵/۵۴ درصد از کل سطح دریاچه‌های طشک و بختگان را پوشش می‌دهد. متوسط عمق آن ۱/۸ متر است. برای تخمین حجم آب در این کلاس نیز مانند روش قبل عمل کردیم. در نهایت، حجم مورد نیاز برای پُر آب شدن کلاس دو، ۲۵۸/۴۲ میلیون مترمکعب محاسبه شد؛ یعنی برای پُر آب شدن هر دو کلاس (کلاس یک و کلاس دو) در مجموع، ۱۲۶۱ میلیون مترمکعب آب لازم است، در صورتی که این دو کلاس به‌طور کامل پُر آب باشند، ۴۸/۴۲ درصد از کل سطح دریاچه‌های طشک و بختگان را پُر خواهند کرد و بقیه‌ی قسمت‌های دریاچه به‌صورت شوره‌زار در خواهد آمد. گفتنی است که آب خارج شده از ایستگاه پل خان در دشت‌های کربال خرامه و دودج داریان و مرودشت به مصارف کشاورزی رسیده و سپس فاضلاب کشاورزی وارد دریاچه‌های طشک و بختگان می‌شود.

### کلاس سه (عمیق)

مساحت آن ۱۶۶۴۱ هکتار است که در مجموع ۱۳/۳۸ درصد از کل محدوده‌ی دریاچه‌های طشک و بختگان را شامل می‌شود. عمق متوسط کلاس سه در حدود ۱/۳ متر است. حجم مورد تخمین برای این کلاس، ۱۳۱ میلیون مترمکعب است. در مجموع، ۱۳۹۲ میلیون مترمکعب آب لازم است تا کل سطح هر سه کلاس مورد بحث پُر آب شود. در صورتی که هر سه کلاس پُر آب شود، ۶۱/۸ درصد از کل سطوح دریاچه‌های طشک و بختگان پُر آب خواهد بود.

### کلاس چهار (عمق متوسط)

این بخش از دریاچه عمق متوسطی دارد. میانگین عمق آب در این بخش از دریاچه ۹۰ سانتی‌متر است. مساحت این کلاس از دریاچه، ۱۲۱۶۲ هکتار است که ۹/۷۸ درصد از کل مساحت دریاچه‌های طشک و بختگان را شامل می‌شود. حجم آب مورد نیاز برای پُر آب شدن این بخش از دریاچه در حدود ۸۰/۸۸ میلیون مترمکعب است؛ یعنی باید حجم کل آب ورودی برای دریاچه‌های طشک و بختگان در حدود ۱۴۷۲/۸۸ میلیون مترمکعب باشد تا کلاس‌های اول تا چهارم پُر آب شوند.

### کلاس پنج (نسبتاً کم عمق)

بخش‌هایی از دریاچه‌های طشک و بختگان که در این کلاس قرار دارد، بیشتر فصول سال به‌صورت شوره‌زار است. مساحت این کلاس، ۲۱۲۳۶ هکتار است که ۱۷/۰۸ درصد از کل مساحت دریاچه‌های طشک و بختگان را شامل می‌شود. حجم آب مورد نیاز برای پُر آب شدن این کلاس در حدود ۹۷ میلیون مترمکعب است.

### کلاس شش (کم عمق)

این بخش از دریاچه‌های طشک و بختگان عمق متوسطی در حدود ۳۰ سانتی‌متر دارد و مانند کلاس پنج و هفت، همواره شوره‌زار است، مگر، در موارد استثنایی که ترسالی باشد، ۲/۴۶ میلیون مترمکعب آب لازم است. مساحت این کلاس ۵۱۷۴ هکتار است و ۴/۱۶ درصد از کل مساحت دریاچه را دربرمی‌گیرد.

### کلاس هفت (خیلی کم عمق)

عمق متوسط این کلاس ۱۰ سانتی‌متر است و می‌توان گفت که به‌طور دائم شوره‌زار است. مساحت کلاس هفت، ۸۸۹۴ هکتار، معادل ۷/۱۵ درصد از کل سطح دریاچه‌های طشک و بختگان است. حجم آب مورد نیاز برای پُرآب‌شدن این کلاس ۹۸۰ هزار مترمکعب آب است.

بدین ترتیب، بررسی تغییرات سطح آب دریاچه نشان می‌دهد که برای پُرآب نگه‌داشتن کل سطح دریاچه‌ی طشک و بختگان، باید سالانه در حدود ۱۵۹۲ میلیون مترمکعب آب وارد این دو دریاچه شود. همچنین، علاوه‌بر آب وارد شده از رودخانه‌ی کُر و زهکش‌های موجود، حجم آب دریاچه‌های طشک و بختگان تحت تأثیر واحدهای هیدرولوژیک اطراف دریاچه و بارش‌های مستقیم بر روی دریاچه است. جدول (۲) خروجی آب در واحدهای هیدرولوژیک اطراف دریاچه را نشان می‌دهد.

جدول ۲. پتانسیل آبدهی واحدهای هیدرولوژیک مشرف بر دریاچه‌های طشک و بختگان

نام واحد	مساحت (کیلومتر مربع)	میانگین بارش	آبدهی سالیانه (میلیون مترمکعب)	خروجی از واحد (پتانسیل آبدهی)
سیدان - فاروق	۳۷۱۰۳	۳۸۰	۱	۱۰
ارسنجان - اسلام‌آباد	۱۲۶۹۵۰	۲۶۱	۲/۳	۵۶
خیر	۶۷۴۶۹	۳۱۱	۱/۱	۱۲
استهبان	۳۹۹۹۳	۲۸۲	۰/۸	۷
نیریز	۱۰۴۱۱۲	۲۴۷	۱/۴	۱۵
آباده - طشت	۲۹۲۹۳۴	۲۳۲	۵/۰۸	-
مجموع				۱۰۰

منبع: طرح جامع مدیریت پارک و حیات وحش بختگان، ۱۳۸۳

با توجه به جدول (۲) ملاحظه می‌کنیم که از کل آب مورد نیاز برای دریاچه‌های طشک و بختگان، در حدود ۱۰۰ میلیون مترمکعب آن، از مسیل‌ها و چشمه‌های اطراف تأمین می‌شود. بنابراین با کسر این مقدار از کل آب مورد نیاز برای تمام سطوح دریاچه، برای پُرآب‌شدن کل سطوح دریاچه، ۱۴۹۲ میلیون مترمکعب آب لازم است. از سوی دیگر، همان‌گونه که در شرح کلاس یک نیز گفته شد، این کلاس عمیق‌ترین بخش در دریاچه‌های طشک و بختگان است که

برای پُرآب‌شدن، به ۱۰۲۰ میلیون مترمکعب آب نیاز دارد. در واقع، این میزان آب بیانگر حداقل آب مورد نیاز برای حفظ حیات در بخش‌های کوچکی از دریاچه‌های طشک و بختگان است که در اینجا با نام کلاس یک شناخته شده است. بنابراین باید راهکارهایی از سوی مسئولان اجرایی اندیشیده شود تا میزان آب ورودی به دریاچه‌های طشک و بختگان کمتر از این رقم نباشد. در صورت عدم برخورد به موقع با این مسأله، بر اثر ورود فاضلاب‌های کشاورزی و صنعتی و همچنین خشک‌شدن قسمت‌های زیادی از دریاچه، فاجعه‌ی زیست‌محیطی بزرگی روی خواهد داد.

### نتیجه‌گیری

مطالعه‌ی حاضر نشان داد که تغییرات به‌وجود آمده در چشم‌اندازهای اکوسیستم‌های طبیعی، بیش از همه تحت تأثیر شرایط اقتصادی، سیاست‌ها و باورهای دولتمردان و مردم آن جامعه است. آنچه امروزه به‌عنوان بحران محیط زیست در کشور، به‌ویژه در دریاچه‌های طشک و بختگان یاد می‌شود، به‌دلیل پیروی از یکسری سیاست‌های تک‌بعدی اقتصادی (مانند خودکفایی در تولید گندم به بهای از بین بردن محیط زیست) است. برهم‌خوردن رژیم آبیگری طبیعی دریاچه‌های طشک و بختگان، نتیجه‌ی پیروی از این‌گونه سیاست‌هاست که به طولانی شدن فصل خشک دریاچه‌ها می‌انجامد.

از سوی دیگر، پژوهش پیش رو نشان داد که برای برآورد دقیق حقایق زیست‌محیطی دریاچه‌ها با استفاده از روش C- میانگین فازی به‌همراه تابع Cut/Fill، می‌توان به نتایج بهتری رسید. با به‌کارگیری روش فوق، مشخص شد که برای ادامه‌ی حیات دریاچه و حیات‌وحش اطراف آن، به حجم آبی معادل ۱۵۹۲ میلیون مترمکعب در سال نیاز است و این آب باید در طول ماه‌های سال و به‌طور مداوم، نه یکباره وارده دریاچه شود، به‌ویژه در فصل تابستان که فصل کم‌آبی و خشک در منطقه به‌شمار می‌رود. حجم زیادی از این آب با ورود رودخانه‌ی کُر و سیوند تأمین خواهد شد. نزولات جوئی هم نقش کوچکی در تأمین آب دریاچه دارند. طبق اطلاعات مندرج در جدول (۲)، بارش‌های جوئی روی واحدهای هیدرولوژیک اطراف دریاچه‌ها چیزی در حدود ۱۰۰ میلیون مترمکعب پتانسیل برای آب‌دهی دارند. با کسر این میزان آب از کل حجم به‌دست‌آمده، آبی که لازم است از طریق رودخانه کُر و سیوند برای حیات و بقای دریاچه تأمین شود، معادل ۱۴۹۲ میلیون مترمکعب است. خشک‌شدن دریاچه‌ها سبب از بین رفتن حیات‌وحش در منطقه و شکل‌گیری اکوسیستم کویری در منطقه خواهد شد.

برای پژوهش‌های آتی پیشنهاد می‌شود که علاوه‌بر استفاده از روش فوق، میزان تبخیر و تعرق از سطح دریاچه و حجم آب وارد شده از بارش‌های جوئی به‌طور دقیق حساب شده و بر اساس آن، نیاز آبی دریاچه تعیین شود. همچنین پیشنهاد می‌شود، مطالعه‌ی ارزیابی آثار زیست‌محیطی برای سدهای درودزن و سیوند انجام شود و در اختیار کاربران و پژوهشگران قرار بگیرد تا در مطالعات خود بر روی دریاچه‌های طشک و بختگان به نتایج دقیق‌تری دست یابند.

## منابع

- Agheli, L. & Sadeghi, H., 2002, **Application of Fuzzy Logic in the Study of Environmental Demolitions Trends in Iran**, Seasonal Journal of Agricultural Economy & Development, N. 36, PP.151-175.
- Alavi Panah, S. K., 2004, **Application of Remote Sensing in Earth Science**, First Publication, University of Tehran, Tehran.
- Faskhodi, A., 2007, **Applications of Fuzzy Inference in Planning and Regional Development Study**, Journal of Knowledge & Development, No. 17, PP.39-61.
- Asaei, Q. J., 2006, **Fuzzy Systems for Information Analysis**, First Publication, Markaz Nashre Daneshgahi, Tehran.
- Boom Abad Consulting Engineers, 2003, **Reports of Bakhtegan's Wild Nature and Parks Master Plan**.
- Clear, G., 2003, **Fuzzy Sets; Principles & Applications**, Translate by: M. Hossain Fazelli, First Publication, University of Amir Kabir, Tehran.
- Delir Abdinia, A., 2003, **Study of Erosion in Tajen Catchment Area with Fuzzy Logic**, M.A. Dissertation, Geology Department, University of Tehran.
- Faghieh, N., 2002, **Fuzzy Logic and Traffic Behavior**, First Publication, Nasim Hayyat Publication, Qom.
- Farhudi, R. A., Pour Ahmad, A. & Habibi, Q., 2006, **Using Fuzzy Logic and GIS for Site Selection of Solid Disposal**, Fine Art Issue, No. 23, PP.15-24.
- Geneletti, D., 1998, **Ecological Evaluation for Environmental Impact Assessment**, ITC, Netherland.
- Heydarian, A., 2003, **Evaluation Model of Irrigation Network with Respect to the Different Management Systems with Fuzzy Logic**, Ph.D. Thesis, University of Tehran.
- Huang, C., 1996, **Fuzzy Risk Assessment of Urban Natural Hazards**, Fuzzy Sets and Systems, Vol. 83, No. 2, PP. 271-282.
- Iranian Space Organization, 2002, **Aster Satellite Image of Tashk & Bakhtegan Lakes**.
- Iranian Space Organization, 2002, **ETM Satellite Image of Tashk & Bakhtegan Lakes**.
- Klee, P. & Site, C., 2001, **Principles of Remote Sensing**, ITC, Netherlands.
- Koreh Pazan Dezfully, A., 2006, **Principals of Fuzzy Set Theories**, First Publication, Jihad Daneshgahi, Tehran.
- Lag, K., 2003, **Remote Sensing & Geographic Information Systems**, First Publication, Geographic Organizations of Armed Military, Tehran.
- Pokrovsky, O. M., Kwok, R. & Ng, C. N., 2002, **Fuzzy Logic Approach for Description of Meteorological Impacts on Urban Air Pollution Species: A Hong Kong Case Study**, Computers & Geosciences, No. 28, PP. 119-127.
- Regional Organization of Hydrology in Fars Province, 2004, **Reports of Data & Information of Hydrometric Stations in the Research Area**.



Rooyan Faranegar Consulting Engineers, 2007, **Reports of Tourism Master Plan in the Neyriz, Estahban & Arsenjan.**

Tange, K., 2003, **Introduction to the Fuzzy Logic and its Practical Applications**, Translate by: Ali, Vahidian & Hamed Reza, Tareghiyan, First Publication, University of Ferdosi Mashhad, Mashhad.

Tso, B. & Mather, P. M., 2001, **Classification Methods' for Remotely Sensed Data**, First Publication, Taylor & Francis, London.

Vafakhah, M. & Rajabi, M., 2006, **Effectiveness of Dryness Meteorology for Evaluation of Dryness in the Bakhtegan & Tashk Lakes Catchment Area**, Biaban Seasonal Journal, Vol. 10, No. 2, PP. 10-17.

Qingming, Z., 2003, **A Hierarchical Object-Based Approach for Urban Land-Use Classification from Remote Sensing Data**, Ph.D. Thesis, Netherlands.

