

Z. Hoseini

School of Geology, College of Science, University of Tehran.

e-mail: zainab.hosseini@ut.ac.ir

M. Mozafari*

Assistant Professor, School of Geology, College of Science, University of Tehran.

e-mail: mmozafari@ut.ac.ir

E. Fijani

Assistant Professor, School of Geology, College of Science, University of Tehran.

e-mail: Efijani@ut.ac.ir

Impact of Land Use Changes and Expanding of Irrigation on Drying up of the Bakhtegan and Tashk Lakes

The Bakhtegan and Tashk lakes (SW Iran) have been rapidly drying up during since 2007. In the absence of sufficient data, impacts of changes in land use on drying up of the lakes remain as yet undetermined. At this study, an attempt has been made to determine the effect of land use changes on shrinking of the lakes. The changes in the area of Bakhtegan and Tashk lakes together with the area of irrigated lands during the last three decades were determined by remote sensing analysis. By beginning of 1987 until 2007, the area of irrigated lands was increased from 1253.01 to 2506.11 km² at all plains in the basin. Since 2007, two different behaviors have been detected in the area of irrigated lands at the upstream and downstream sectors of the basin. At downstream, all plains have experienced a significant reduction in the area of agricultural lands, but a considerable extension was detected in the upstream plains, where the lands were mainly cultivated with rice. Results show that the Bakhtegan and Tashk lakes had completely dried up as a result of the combined effects of meteorological drought and irrigation development (particularly at the upstream part of the basin).

Keywords: Bakhtegan and Tashk lakes, Drought, Irrigated lands, Remote Sensing, NDWI and NDVI Indexes.

* Corresponding author

Received 31 May 2021, Revised 04 July 2021, Accepted 10 July 2021.

DOI: 10.22091/cer.2021.7001.1255

تأثیر تغییر کاربری زمین و گسترش کشاورزی بر روی خشک شدن دریاچه‌های بختگان و طشک

در سال‌های اخیر دریاچه‌های بختگان و طشک با بحران کم‌آبی و خشکی مواجه شده‌اند. در نبود داده کافی، نقش گسترش کشاورزی در خشک شدن این دریاچه‌ها ناشناخته باقی مانده است. هدف از این پژوهش، تعیین تأثیر تغییرات کاربری زمین و گسترش کشاورزی بر کاهش مساحت دریاچه‌های یاد شده است. به این منظور، با استفاده از سنجش از دور، تغییرات سطح آب دریاچه‌ها و همچنین مساحت زمین‌های کشاورزی حوضه آبریز بختگان در سه دهه گذشته تعیین شد. نتایج نشان می‌داد که طی سال‌های ۱۳۶۶ تا ۱۳۸۶، وسعت زمین‌های کشاورزی در تمام دشت‌های حوضه افزایش یافته است. با شروع خشکسالی در سال ۱۳۸۶ و همزمان با آغاز کاهش چشمگیر سطح آب دریاچه‌ها، دشت‌های واقع در بخش‌های میانی و پایین‌دست حوضه با کاهش چشمگیر و دشت‌های بالاست با گسترش قابل توجه زمین‌های کشاورزی روبرو بوده‌اند. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که علاوه بر عوامل اقلیمی، گسترش کشاورزی در بالادست حوضه نیز در خشک شدن دریاچه‌های بختگان و طشک نقش داشته است.

واژگان کلیدی: دریاچه بختگان و طشک، خشکسالی، کشاورزی، سنجش از دور، شاخص‌های NDVI و NDWI.

زینب حسینی

دانشکده زمین‌شناسی، پردیس علوم، دانشگاه تهران.
پست الکترونیک:
zainab.hosseini@ut.ac.ir

مرتضی مظفری*

استادیار دانشکده زمین‌شناسی، پردیس علوم، دانشگاه تهران.
پست الکترونیک:
mmozaafari@ut.ac.ir

الهام فیجانی

استادیار دانشکده زمین‌شناسی، پردیس علوم، دانشگاه تهران.
پست الکترونیک:
Efiyani@ut.ac.ir

۱- پیشگفتار

مؤثر بر خشک شدن دریاچه‌ها هستند [۱-۳]. در دهه‌های اخیر، افزایش جمعیت و نیاز انسان به غذا سبب گسترش زمین‌های کشاورزی شده است. تغییر کاربری زمین‌های طبیعی به کشاورزی بیش از هر زمان دیگری باعث تغییر در چشم‌انداز زمین شده و آن را به یکی از مهمترین مسائل زیست‌محیطی جهان تبدیل کرده است [۴-۷]. افزایش زمین‌های کشاورزی در بسیاری از حوضه‌ها باعث کاهش منابع آب سطحی و زیرزمینی شده و به عنوان یکی از دلایل اصلی خشکی و یافت سطح آب دریاچه‌ها مطرح است. از جمله دریاچه‌هایی که خشکی و کم‌آبی آنها ناشی از گسترش کشاورزی است می‌توان به

در دهه‌های گذشته، برخی از دریاچه‌های جهان با بحران کم‌آبی و یا خشکی روبرو شده‌اند که این پدیده مشکلات اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی خاص خود را به همراه داشته است. از تغییرات اقلیمی و فعالیت‌های انسانی به‌عنوان دو عامل اصلی خشک شدن دریاچه‌ها یاد شده است. افزایش دما و کاهش بارش از جمله عامل‌های اقلیمی و سدسازی، گسترش کشاورزی و افزایش برداشت از آب‌های سطحی و زیرزمینی از جمله عامل‌های انسانی

* نویسنده مسئول

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۳/۱۰، بازنگری: ۱۴۰۰/۰۴/۱۳، پذیرش: ۱۴۰۰/۰۴/۱۹.
DOI: 10.22091/cer.2021.7001.1255 شناسه دیجیتال

طشک- بختگان) بیانگر ناپایداری آن در دوره آماری بوده و در نهایت به خشکی دریاچه‌ها منجر گردیده است [۱۹]. محققان در سال ۱۳۹۹ با بررسی روند تغییرات زمانی- مکانی دما و بارش در حوضه آبریز طشک- بختگان در یک دوره آماری ۳۰ ساله (۱۹۸۱-۲۰۱۰) بیان داشتند که در این حوضه بارندگی به میزان ۱۴/۳ درصد کاهش و دما به میزان ۳/۵ درصد افزایش داشته است [۲۰]. بیشتر پژوهش‌های انجام شده در حوضه بختگان بر روی نقش پارامترهای اقلیمی و سدسازی در خشک شدن دریاچه‌های حوضه متمرکز شده و به نقش گسترش زمین‌های کشاورزی در این پدیده کمتر توجه گردیده است. دلیل این امر می‌تواند کمبود داده باشد، چرا که مساحت حوضه آبریز بختگان بسیار گسترده بوده و تهیه نقشه کاربری زمین آن در زمان‌های مختلف نیازمند کار بر روی تعداد زیادی تصویر ماهواره‌ای است. در بین اندک کارهای موجود در زمینه تعیین نقش گسترش کشاورزی بر خشک شدن دریاچه بختگان می‌توان به پژوهش باقری و همکاران اشاره کرد. این پژوهشگرها با بررسی نقشه کاربری زمین‌های حوضه بختگان در سال ۱۳۳۵ و تصویرهای لندست سال ۱۳۸۵، وسعت زمین‌های کشاورزی در بخش‌های مرتفع، میانی، انتهایی و پیرامون دریاچه بختگان را مشخص کردند و به این نتیجه رسیدند که کاهش بارندگی و مهمتر از آن افزایش سطح زیر کشت در بالادست حوضه باعث خشکیدن کامل دریاچه‌ها شده است [۱۵]. اسفندیاری و همکاران نیز با استفاده از تصویرهای لندست سال‌های ۲۰۰۰ و ۲۰۰۹ میلادی، نقشه کاربری زمین‌های حاشیه شمالی دریاچه بختگان را تهیه نمودند و به این نتیجه رسیدند که طی ۹ سال بیش از ۴۰ درصد از وسعت زمین‌های کشاورزی در این ناحیه کاسته شده است [۲۱]. با توجه به مطالب یاد شده به نظر می‌رسد که تعیین روند گسترش زمین‌های کشاورزی در حوضه بختگان و بررسی نقش آن در خشک شدن دریاچه‌های این حوضه ضروری به نظر می‌رسد.

دریاچه تز و بوردور^۱ در کشور ترکیه، دریاچه‌های گانگ^۲ در چین و دریاچه ارومیه در ایران اشاره کرد [۸-۱۲]. دریاچه‌های بختگان و طشک، به عنوان دومین دریاچه‌های بزرگ ایران، در استان فارس قرار دارند (شکل ۱). این دریاچه‌ها در گذشته نقش بسیار مهمی در بقای تنوع ژنتیکی و اکولوژیکی کشور ایفا می‌کردند، اما طی سال‌های اخیر و به‌ویژه از سال ۱۳۸۶ به این سو، با بحران کم‌آبی و خشکی روبرو شده‌اند. مرگ گونه‌های گیاهی و جانوری وابسته به دریاچه، تبدیل شدن دریاچه به شورزار، ایجاد طوفان‌های شن و نمک، نابودی زمین‌های کشاورزی پیرامون، شور شدن آب چاه‌های اطراف، در معرض خطر قرارگرفتن سلامتی افراد بومی در اثر شیوع برخی بیماری‌های پوستی و کاهش گردشگری و اکوتوریسم از جمله بازخوردهای خشکیدن این دریاچه‌ها بوده است [۱۳ و ۱۴]. در پژوهش‌های گوناگون از تغییرات اقلیمی، افزایش جمعیت، تغییر کاربری زمین، گسترش کشاورزی، ساخت سد و افزایش برداشت از منابع آب زیرزمینی به عنوان عامل‌های مهم خشکیدن دریاچه‌های بختگان و طشک اشاره شده است [۱۵ و ۱۶]. مرادی و ولی‌الهی در پژوهشی، ساخت سد درودزن را به عنوان مهمترین عامل خشکی دریاچه‌های بختگان و طشک دانسته‌اند [۱۷]. قره‌چایی و همکاران با جداسازی بازخوردهای تغییرپذیری اقلیمی و فعالیت‌های انسانی بر رواناب حوضه آبخیز بختگان در دوره آماری ۱۳۵۱ تا ۱۳۹۱، نشان دادند که سهم تغییرپذیری اقلیمی در کاهش رواناب حوضه ۶۲/۴۵ درصد و سهم فعالیت‌های انسانی ۳۷/۵۵ درصد برآورد می‌باشد [۱۸]. در سال ۱۳۹۸، عباسی و همکاران با ارزیابی اثر تغییر اقلیم بر پایداری منابع آب حوضه بختگان براساس داده‌های سال ۲۰۱۴ به این نتیجه رسیدند که شاخص‌های کمبود نیاز زیست‌محیطی حوضه (از جمله تأمین آب دریاچه‌های

1- Tuz and Burdur

2- Gonghe



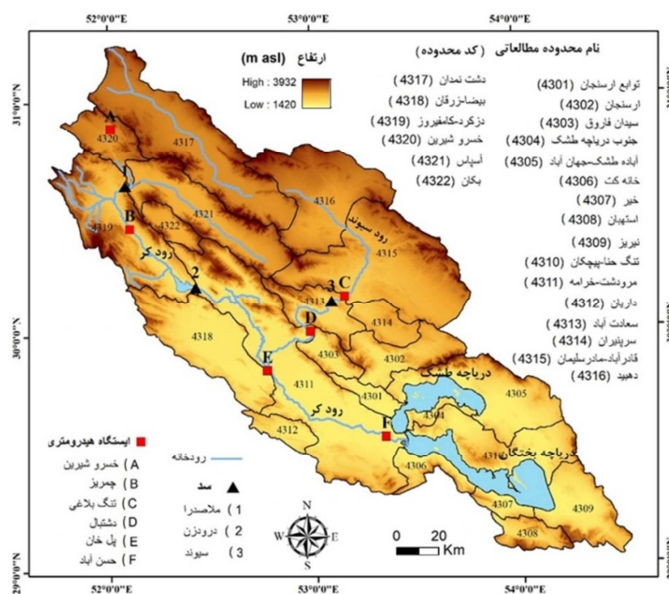
شکل ۱- موقعیت جغرافیایی دریاچه‌های تاشک و بختگان

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

حوضه آبریز بختگان از ۲۲ محدوده مطالعاتی تشکیل شده است (شکل ۲). دشت‌های واقع در هریک از این محدوده‌ها (شکل ۳) میزبان مناطق مسکونی و صنعتی و زمین‌های کشاورزی است. حوضه آبریز بختگان به‌وسیله رودهای کر و سیوند زهکشی می‌شود. رود کر از بلندی‌های شمال و شمال غرب حوضه نشأت گرفته و به دریاچه‌های بختگان و تاشک ختم می‌شود.

به دلیل اهمیت این موضوع، در این پژوهش به بررسی روند تغییرات کاربری کشاورزی در این حوضه طی سال‌های ۱۳۶۶ تا ۱۳۹۶ و واکاوای تأثیر آن بر خشک شدن دریاچه‌ها پرداخته شده است. به‌روز بودن داده‌ها، استفاده از تصاویر ماهواره‌ای سال‌های اخیر و همزمانی آن با شدیدترین دوره خشکی دریاچه‌ها و همچنین تعیین روند گسترش زمین‌های کشاورزی در هریک از دشت‌های حوضه به‌صورت جداگانه از جمله نکات مثبت پژوهش پیش رو و وجه تمایز آن با مطالعه‌های پیشین است.

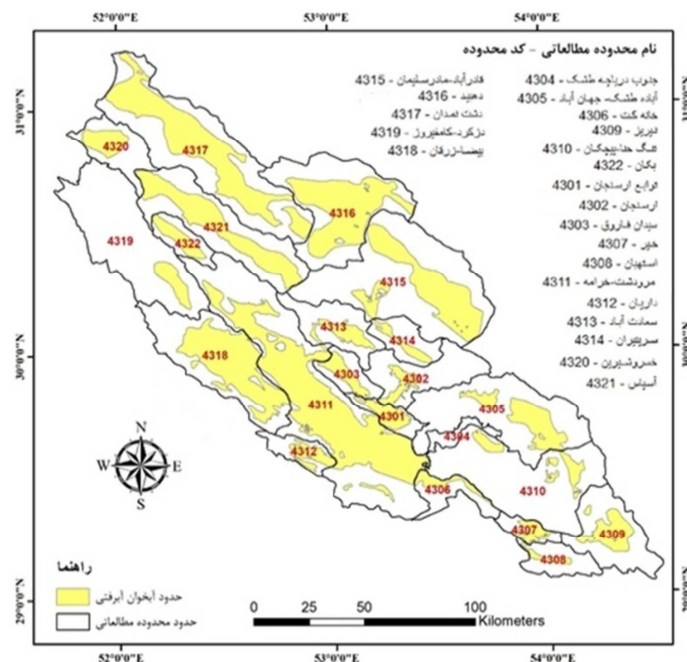
۲- مواد و روش‌ها



شکل ۲- نقشه ارتفاعی حوضه آبریز بختگان، شامل: مرز محدوده‌های مطالعاتی، موقعیت ایستگاه‌های هیدرومتری و سدها

آب و هوای حوضه آبریز بختگان از نوع مدیترانه‌ای بوده و بیشترین ریزش‌های جوی آن از اواسط پاییز تا اواسط بهار است. مناطق شمال غربی حوضه دارای بیشترین میزان بارش (حدود ۸۰۰ میلی‌متر در سال) بوده و با حرکت به سمت بخش‌های جنوبی از مقدار بارندگی کاسته می‌شود.

رود سیوند از شمال غرب حوضه آغاز شده و سرانجام در محل پل‌خان به رودخانه کر می‌پیوندد. سدهای مخزنی ملاصدرا (با حجم مخزن ۴۴۰ میلیون مترمکعب) و درودزن (با حجم مخزن ۹۶۰ میلیون مترمکعب) بر روی رود کر و سد سیوند (با حجم مخزن ۲۵۵ میلیون مترمکعب) بر روی رود سیوند احداث شده‌اند.



شکل ۳- موقعیت دشت‌های حوضه آبریز بختگان

میانگین بارش ماهانه حوضه، به‌دست آمده و براساس شاخص بارش استاندارد^۳ دوره‌های خشکسالی حوضه تعیین گردیده است. در ادامه، سری زمانی دبی رودخانه در ایستگاه حسن آباد مورد واکاوی قرار گرفته است.

۲-۳- سنجش از دور

۲-۳-۱- پیش پردازش تصاویر ماهواره‌ای

برای پوشش مساحت کل حوضه آبریز طشک-بختگان از پنج قالب از تصاویر ماهواره لندست استفاده شده است. با توجه به شناختی که از منطقه وجود دارد، تصاویر برداشت شده در ماه‌های فروردین و اردیبهشت

۲-۲- بارش و آورد رودخانه

در هریک از محدوده‌های مطالعاتی حوضه آبریز بختگان حداقل یک ایستگاه باران‌سنجی قرار دارد. همچنین در این حوضه تعداد ۸ ایستگاه هیدرومتری بر روی رودخانه‌های کر و سیوند ساخته شده که در بین آنها ایستگاه حسن‌آباد نزدیک‌ترین فاصله (حدود ۱۰ کیلومتر) را با دریاچه بختگان دارد (شکل ۲). در این پژوهش، از داده‌های بارندگی اندازه‌گیری شده طی سال‌های ۱۳۶۲ تا ۱۳۹۹ در ۲۱ ایستگاه باران‌سنجی واقع در حوضه و همچنین دبی سنجیده شده در ایستگاه حسن آباد طی سال‌های ۱۳۷۶ تا ۱۴۰۰ استفاده شده است. شایان ذکر است که این اطلاعات از پایگاه داده‌های وزارت نیرو برگرفته شده است [۲۲]. پس از تعیین درستی داده‌ها،

³- Standard precipitation index

تصویرها، با استفاده از آستانه^{۱۱} ارزش طیفی، مقادیر صفر و منفی حذف شدند و تنها مقادیر بزرگتر از صفر انتخاب گردیدند تا پوشش آبی دریاچه‌ها مشخص شود. شایان ذکر است که با تبدیل مرز دریاچه‌ها به شکل وکتوری^{۱۲}، ویرایش‌های بعدی و تخمین مساحت دریاچه‌ها انجام شد.

۲-۳-۳- برآورد مساحت زمین‌های کشاورزی

در پژوهش‌های سنجش از دور برای بررسی وضعیت پوشش گیاهی شاخص‌های مختلفی معرفی شده که یکی از آنها شاخص تفاضلی بهنجار شده پوشش گیاهی (NDVI^{۱۳}) است [۲۵]. شاخص تفاضلی بهنجار شده پوشش گیاهی به صورت رابطه (۲) برآورد می‌شود که در آن از میانگین انعکاس سطحی در بازه طول موج باندهای قرمز و مادون قرمز نزدیک طیف الکترومغناطیس استفاده شده است [۲۶]:

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED} \quad (2)$$

شاخص پوشش گیاهی یک عدد بدون بعد است که مقادیر آن در بازه ۱- تا ۱+ قرار می‌گیرد. به طور کلی، مقادیر منفی، نشان‌دهنده مناطق بدون پوشش گیاهی (زمین‌های بایر با پوشش سنگی یا آبی) و مقادیر مثبت، نمایانگر مناطق دارای پوشش گیاهی است. همچنین می‌توان گفت مقادیر کوچک یا نزدیک به صفر (صفر تا ۰/۲) نشان‌دهنده مناطق شهری یا پوشش خاک و سنگ است [۱۱ و ۲۷]. مناطق دارای پوشش گیاهی متوسط (بوته‌زار و یا علفزار) دارای مقدار شاخص بین ۰/۱ تا ۰/۳ (یا حتی ۰/۴) است [۲۵ و ۲۸]. مقادیر شاخص بزرگتر از ۰/۴ به عنوان معیاری مناسب برای تشخیص پوشش گیاهی است، مقادیر شاخص بزرگتر از ۰/۵ نشان‌دهنده گیاهان متراکم (مانند زمین‌های کشاورزی) و مقادیر بیش از ۰/۶ نشانگر پوشش‌های جنگلی است [۱۱، ۱۲ و ۲۸].

11- Threshold

12- Vector

13- Normalized Difference Vegetation Index

(به عنوان زمانی که حوضه دارای بیشترین پوشش گیاهی است) مورد بررسی قرار گرفته است. در مجموع، تعداد ۳۰ تصویر ماهواره لندست با کمترین میزان پوشش ابر از سنجنده‌های ETM^۴، TM^۵ و OLI/TIR^۶ و از سایت سازمان زمین‌شناسی آمریکا برگرفته شد [۲۳]. پس از موزائیک کردن، شش تصویر با پوشش سراسری حوضه (هریک شامل پنج قالب تصویر) مربوط به سال‌های ۱۳۶۶، ۱۳۷۰، ۱۳۷۷، ۱۳۸۴، ۱۳۹۱ و ۱۳۹۶ به دست آمد (جدول ۱). همچنین در مراحل مختلف پیش پردازش تا استخراج داده‌ها از نرم‌افزارهای آرک-جی-آی-اس^۷ و ان-وی^۸ استفاده شد.

۲-۳-۲- برآورد مساحت دریاچه

در سنجش از دور برای برآورد سطح پهنه‌های آبی می‌توان از شاخص‌های بسیار گوناگونی استفاده کرد. شاخص تفاضلی بهنجار شده آب (NDWI^۹) یکی از مهمترین این ابزارها است که اولین بار توسط مک‌فیتز^{۱۰} با هدف بررسی وسعت آب‌های سطحی ارائه شد (رابطه ۱) [۲۴]:

$$NDWI = \frac{GREEN - NIR}{GREEN + NIR} \quad (1)$$

در این رابطه، NDWI شاخص تفاضلی بهنجار شده آب، GREEN باند سبز و NIR باند مادون قرمز است. این شاخص می‌تواند دارای مقادیری بین ۱+ تا ۱- باشد. سطوح آبی دارای مقادیر شاخص صفر تا یک است؛ در حالی که به دلیل انعکاس بالای باند مادون قرمز نسبت به نور سبز در خاک و گیاهان، این شاخص برای آنها دارای مقادیر صفر یا منفی است [۲۴]. در این پژوهش، پس از اجرای شاخص تفاضلی بهنجار شده آب بر روی هر یک از

4- Thematic Mapper

5- Enhanced Thematic Mapper Plus

6- Operational Land Imager and Thermal Infrared Sensor

7- Arc GIS 10.5

8- ENVI 5.3

9- Normalized Difference Water Index

10- McFeeters

جدول ۱- ویژگی تصویرهای ماهواره‌ای استفاده شده در این پژوهش (ردیف ۳۸ تا ۴۰ و گذر ۱۶۱ تا ۱۶۳)

سال شمسی (میلادی)	ماهواره/سنجنده	تاریخ و زمان برداشت (به میلادی)	قدرت تفکیک مکانی
۱۳۶۶ (۱۹۸۷)	لندست TM/۵	۱۹۸۷/۰۵/۱۳، ۱۹۸۷/۰۵/۱۳ ۱۹۸۷/۰۵/۲۲، ۱۹۸۷/۰۵/۲۲ ۱۹۸۷/۰۴/۲۹	۳۰
۱۳۷۰ (۱۹۹۱)	لندست TM/۵	۱۹۹۱/۰۴/۱۵، ۱۹۹۱/۰۴/۱۵ ۱۹۹۱/۰۴/۲۲، ۱۹۹۱/۰۴/۲۲ ۱۹۹۱/۰۴/۲۴	۳۰
۱۳۷۷ (۱۹۹۸)	لندست TM/۵	۱۹۹۸/۰۴/۲۵، ۱۹۹۸/۰۴/۲۵ ۱۹۹۸/۰۵/۰۴، ۱۹۹۸/۰۵/۰۴ ۱۹۹۸/۰۴/۲۷	۳۰
۱۳۸۴ (۲۰۰۵)	لندست ETM+/۷	۲۰۰۵/۰۴/۱۳، ۲۰۰۵/۰۴/۱۳ ۲۰۰۵/۰۴/۲۰، ۲۰۰۵/۰۴/۲۰ ۲۰۰۵/۰۴/۲۲	۳۰
۱۳۹۱ (۲۰۱۲)	لندست ETM+/۷	۲۰۱۲/۰۵/۲۵، ۲۰۱۲/۰۵/۲۵ ۲۰۱۲/۰۵/۰۲، ۲۰۱۲/۰۵/۰۲ ۲۰۱۲/۰۴/۲۵	۳۰
۱۳۹۶ (۲۰۱۷)	لندست OLI/TIR/۸	۲۰۱۷/۰۵/۱۵، ۲۰۱۷/۰۵/۱۵ ۲۰۱۷/۰۴/۲۲، ۲۰۱۷/۰۴/۲۲ ۲۰۱۷/۰۴/۱۵	۳۰

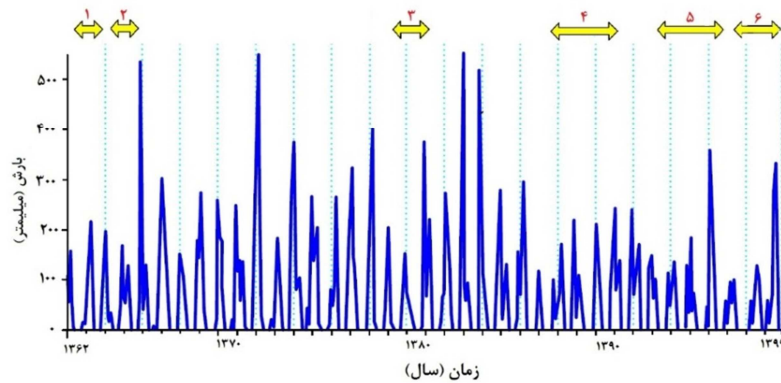
سری زمانی و به کمک محاسبه شاخص بارش استاندارد، شش دوره خشکسالی هواشناسی در حوضه آبریز بختگان شناسایی شده که بازه زمانی هر یک از آنها در شکل ۴ نشان داده شده است. خشکسالی‌های رخ داده از سال ۱۳۶۲ تا ۱۳۸۶، دارای شدت کم و بیش یکسان بوده، بیشتر به صورت خشکسالی‌های ملایم (به استثنای سال ۱۳۷۹ با خشکسالی متوسط) با دوره یک یا دو ساله است. این خشکسالی‌ها با سال‌های دارای بارش‌های بیشتر از مقدار میانگین دنبال شده است. از سال ۱۳۸۷ تا ۱۳۹۹، دوره خشکسالی‌ها طولانی‌تر بوده است. طولانی‌ترین خشکسالی رخ داده در حوضه به مدت ۴۶ ماه و مربوط به سال‌های ۱۳۸۶ تا ۱۳۹۰ است. پس از این خشکسالی، برای دو سال (۱۳۹۱ و ۱۳۹۲) بارش بیشتر شده، اما از سال ۱۳۹۳ تا ۱۳۹۵ دوباره خشکسالی شدید رخ داده است. سال ۱۳۹۶ همراه با یک ترسالی بسیار ملایم همراه است و دوباره در سال ۱۳۹۷ خشکسالی آغاز شده است.

به طور کلی می‌توان چنین بیان کرد که مناطق دارای پوشش گیاهی اندک و پراکنده دارای شاخص نزدیک به صفر و مناطق با پوشش گیاهی متراکم (مانند زمین‌های کشاورزی) دارای شاخص نزدیک به یک می‌باشد.

در پژوهش پیش رو، از مقدار شاخص ۰/۴ برای جداسازی مناطق دارای پوشش گیاهی پراکنده از پوشش متراکم استفاده شده است. شایان ذکر است که به منظور جلوگیری از در نظر گرفتن پوشش جنگلی به جای پوشش کشاورزی، برآوردها در زمین‌های واقع در محدوده دشت‌ها صورت گرفته است.

۳- تحلیل نتایج

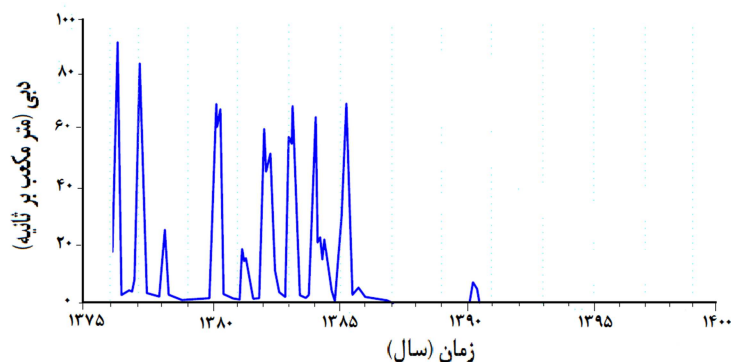
سری زمانی میانگین بارش رخ داده در بازه ۴۷ ساله این پژوهش (از سال ۱۳۶۲ تا ۱۳۹۹) در حوضه آبریز بختگان در شکل ۴ آورده شده است. با استفاده از این



شکل ۴ - سری زمانی بارش میانگین در حوضه بختگان

آبدهی تحت تأثیر سال‌های تر و خشک به صورت افزایشی و کاهش‌ی است، اما پس از سال ۱۳۸۷ روند کاهش‌ی آبدهی آشکار می‌گردد. رودخانه کر در ایستگاه حسن‌آباد از سال ۱۳۸۸ تا ۱۳۹۲ و از سال ۱۳۹۴ تا ۱۴۰۰ بیشتر خشک بوده و طولانی‌ترین و شدیدترین خشکسالی را تجربه کرده است.

سری زمانی متوسط آبدهی ماهانه و سالانه اندازه‌گیری شده در ایستگاه حسن‌آباد در شکل ۵ آورده شده است. این سری زمانی نشانگر تغییرات فصلی آبدهی رودخانه در اثر تغییر مقدار بارش است، بگونه‌ای که آبدهی رودخانه در فصل تر افزایش یافته و در فصل خشک کاهش می‌یابد. تغییرات آورد رودخانه در این ایستگاه نشان می‌دهد که تا قبل از سال ۱۳۸۶ مقدار



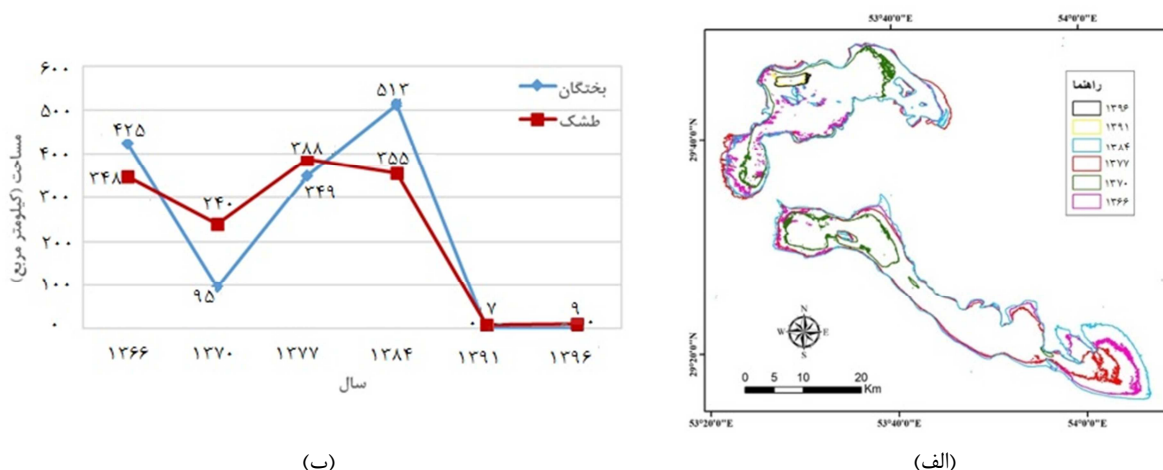
شکل ۵ - سری زمانی آبدهی رود کر در ایستگاه حسن‌آباد

در جدول ۲ و نمودار تغییرات آن در شکل ۸ آورده شده است. در محدوده مطالعاتی جنوب دریاچه طشک فعالیت کشاورزی چندانی وجود ندارد. چنانکه در جدول ۲ دیده می‌شود، مساحت زمین‌های کشاورزی در حوضه طی سال‌های ۱۳۶۶، ۱۳۷۰ و ۱۳۷۷ به ترتیب ۱/۲۵۳، ۲۱۳۰/۸۵ و ۲۵۰۶/۱۱ کیلومترمربع بوده است. از سال ۱۳۶۶ تا ۱۳۷۷ وسعت زمین‌های کشاورزی در همه دشت‌های حوضه روند افزایشی داشته است. بنابراین از سال ۱۳۶۶ تا ۱۳۷۰ سریع‌ترین نرخ رشد زمین‌های کشاورزی (به میزان ۲۹۰/۴۶ کیلومترمربع در هر سال)

در شکل ۶ محدوده و مساحت برآورد شده دریاچه‌های بختگان و طشک در شش سال مورد سنجش در بازه مورد مطالعه نشان داده شده است. همانطور که دیده می‌شود در سال ۱۳۸۴ دریاچه‌های بختگان و طشک، به ترتیب با مساحت ۵۱۳/۲۲ و ۳۸۸/۲۸ کیلومتر مربع، در حالت پر آبی بوده‌اند. از سال ۱۳۸۷ تراز آب این دریاچه‌ها روند کاهش‌ی به خود گرفته و از سال ۱۳۹۱ به این سو افت شدیدی را تجربه کرده است.

مساحت زمین‌های کشاورزی در هر یک از دشت‌های حوضه آبریز بختگان (شکل ۳) طی شش دوره سنجش در

رخ داده است که در ادامه و از سال ۱۳۷۰ تا ۱۳۷۷ به میزان ۵۳/۶۱ کیلومتر مربع در سال رسیده است.



شکل ۶- (الف) محدوده و (ب) تغییرات مساحت دریاچه‌های بختگان و طشک در شش سال برآورد شده

دارد، به صورتی که در سال ۱۳۹۶ مساحت زمین‌های کشاورزی در کل حوضه ۱۸۴۴/۳۸ کیلومترمربع بوده است.

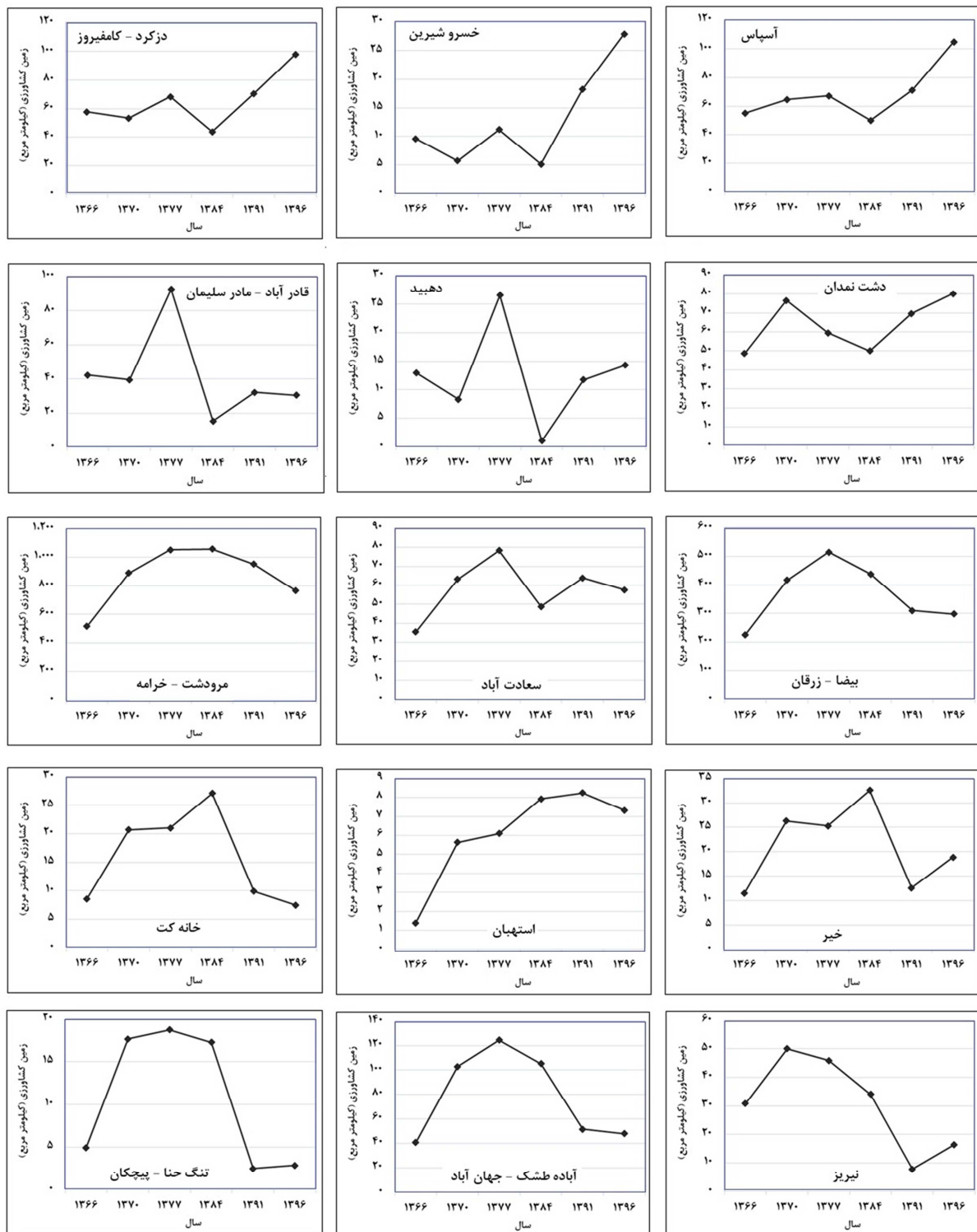
از سال ۱۳۷۷ تا ۱۳۹۶ یک روند کاهشی در مساحت زمین‌های کشاورزی حوضه مشاهده می‌شود که البته نسبت به روند افزایشی دوره قبل، شیب ملایم‌تری

جدول ۲- مساحت زمین‌های کشاورزی در دشت‌های حوضه آبریز بختگان

مساحت زمین‌های کشاورزی (کیلومترمربع)						محدوده مطالعاتی
۱۳۹۶	۱۳۹۱	۱۳۸۴	۱۳۷۷	۱۳۷۰	۱۳۶۶	
۳۰/۶۱	۳۲/۳۰	۱۵/۴۵	۹۲/۵۹	۳۹/۵۵	۴۲/۳۸	قادرآباد مادر سلیمان
۱۴/۳۰	۱۱/۷۵	۱/۰۴	۲۶/۵۶	۸/۳۲	۱۲/۹۱	دهبید
۹۷/۹۶	۷۰/۴۸	۴۳/۸۳	۶۸/۲۸	۵۳/۴۱	۵۷/۶۸	دزکرد- کامفیروز
۲۷/۹۱	۱۸/۲۷	۵/۱۲	۱۱/۱۹	۵/۷۱	۹/۵۹	خسرو شیرین
۸۰/۱۶	۶۹/۷۲	۵۰/۰۰	۵۹/۴۵	۷۶/۴۹	۴۸/۶۴	دشت نمدان
۳۹/۶۴	۱۷/۱۳	۱۰/۲۵	۱۴/۲۱	۱۸/۵۰	۱۲/۸۴	بکان
۱۰۴/۹۶	۷۱/۲۷	۵۰/۰۰	۶۷/۳۰	۶۴/۶۲	۵۵/۱۱	آسپاس
۷۶۷/۵۶	۹۵۱/۹۲	۱۰۵۸/۴۲	۱۰۵۲/۶۴	۸۸۹/۳۴	۵۱۵/۷۲	مرودشت خرامه
۲۹۸/۵۸	۳۱۰/۶۷	۴۳۸/۵۵	۵۱۵/۱۶	۴۱۷/۴۴	۲۲۵/۷۵	بیضا- زرقان
۸۶/۷۳	۸۹/۸۶	۹۰/۷۰	۹۱/۳۳	۸۸/۱۱	۴۱/۳۶	سیدان- فاروق
۳۴/۶۰	۲۷/۴۳	۵۱/۶۳	۵۹/۴۴	۶۲/۸۹	۲۱/۲۱	توابع ارسنجان
۴۶/۲۷	۵۲/۳۸	۵۵/۰۷	۵۷/۹۴	۵۸/۱۱	۲۷/۹۴	ارسنجان
۱/۹۳	۱/۵۸	۲/۹۰	۱۳/۷۴	۶/۰۶	۳/۹۱	سرپنیران
۵۷/۵۴	۶۳/۹۷	۴۸/۷۵	۷۸/۳۳	۶۳/۲۸	۳۵/۵۰	سعادت آباد
۵۴/۹۳	۵۷/۵۳	۵۵/۵۳	۵۶/۴۹	۵۵/۹۳	۴۴/۶۲	داریان
۴۷/۸۹	۵۱/۶۴	۱۰۵/۱۰	۱۲۴/۴۴	۱۰۲/۷۸	۴۰/۶۹	آباد طشک- جهان آباد
۲/۸۴	۲/۴۸	۱۷/۲۴	۱۸/۶۹	۱۷/۶۳	۴/۹۱	تنگ حنا- پیچکان
۱۶/۳۲	۷/۸۰	۳۴/۱۱	۴۵/۹۰	۵۰/۰۰	۳۰/۷۹	نیریز
۱۸/۸۷	۱۲/۵۸	۳۲/۶۱	۲۵/۲۸	۲۶/۳۲	۱۱/۴۸	خیر
۷/۳۲	۸/۲۴	۷/۹۳	۶/۱۰	۵/۶۴	۱/۳۹	استهبان
۷/۴۶	۹/۹۲	۲۷/۱۰	۲۱/۰۴	۲۰/۷۱	۸/۶۰	خانه کت

اما بررسی بخش‌های مختلف حوضه نشان می‌دهد که این روند در همه دشت‌ها وجود ندارد (شکل ۸).

هرچند که روند عمومی تغییرات مساحت زمین‌های کشاورزی از سال ۱۳۷۷ به بعد به صورت کاهشی است،



شکل ۸- سری زمانی مساحت زمین‌های کشاورزی در دشت‌های حوضه آبریز بختگان

درودزن واقع شده‌اند. در این دشت‌ها گسترش زمین‌های کشاورزی از سال ۱۳۸۴ به بعد روند افزایشی داشته است.

دشت‌های دزکرد- کامفیروز، خسروشیرین، آسپاس و نمدان در نواحی شمالی حوضه آبریز و در بالادست سد

بارندگی در این دشت‌ها به دریاچه‌های بختگان و طشک سرازیر می‌شود. روند گسترش زمین‌های کشاورزی در این دشت‌ها نیز از سال ۱۳۸۴ کاهش یافته است. طی ۱۲ سال وسعت زمین‌های کشاورزی در دشت نیریز از ۳۴/۱۱ به ۱۶/۳۲ کیلومتر مربع، در دشت استهبان از ۷/۹۳ به ۷/۳۲ کیلومتر مربع، در دشت خانه‌کت از ۲۷/۱۰ به ۷/۴۶ کیلومتر مربع، در دشت خیر از ۳۲/۶۱ به ۱۸/۸۷ کیلومتر مربع، در دشت آباده طشک- جهان آباد از ۱۰۵/۱۰ به ۴۷/۸۹ کیلومتر مربع و در دشت تنگ حنا- پیچکان از ۱۷/۲۴ به ۲/۸۴ کیلومتر مربع رسیده است.

۴- نتیجه‌گیری

تغییرات مساحت دریاچه بختگان و طشک نشان می‌دهد که از سال ۱۳۸۴ به این سو دریاچه‌ها با افت شدید سطح آب و حتی خشکیدن کامل روبه‌رو شده‌اند. مهمترین دلیل این پدیده، کاهش آورد رود کر (به عنوان تنها رود تغذیه کننده دریاچه) می‌باشد. واکاوی خشکسالی در حوضه بختگان نشان می‌دهد که از سال ۱۳۸۶ به بعد، این حوضه با خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژی روبه‌رو بوده است. در این زمان مقدار بارش حوضه کمتر از مقدار میانگین بوده و حتی در برخی سال‌ها به زیر ۱۵۰ میلی‌متر در سال نیز رسیده است. از سوی دیگر، آبدهی رودخانه نیز دچار کاهش شدید شده بگونه‌ای که در ایستگاه حسن‌آباد (نزدیک‌ترین ایستگاه به دریاچه) رودخانه به‌طور کامل خشک شده است. کاهش آبدهی رودخانه نمی‌تواند به‌صورت کامل در اثر کاهش بارش باشد. از سال ۱۳۸۶ به بعد مقدار بارش حوضه در حدود ۴۷ درصد کم شده، اما آورد رودخانه دچار کاهش شدیدتری گردیده و حتی در برخی ایستگاه‌ها به صفر رسیده است. بدیهی است که در شرایط طبیعی و در صورت عدم برداشت از آب رودخانه، حتی در دوره خشک نیز نباید چنین کاهش چشمگیری در آورد آن مشاهده گردد.

طی سال‌های ۱۳۸۴ تا ۱۳۹۶، وسعت زمین‌های کشاورزی در دشت دزکرد- کامفیروز از ۴۳/۸۳ کیلومتر مربع به ۹۷/۹۶ کیلومتر مربع، در دشت خسروشیرین از ۵/۱۲ کیلومتر مربع به ۲۷/۹۱ کیلومتر مربع، در دشت آسپاس از ۵۰ کیلومتر مربع به ۱۰۴/۹۶ کیلومتر مربع و در دشت نمدان از ۵۰ کیلومتر مربع به ۸۰/۱۶ کیلومتر مربع رسیده است. بیشتر زمین‌های کشاورزی در این دشت‌ها به زیر کشت برنج می‌روند، بنابراین بخش قابل توجهی از آب سرچشمه رود کر صرف آبیاری مزرعه‌های برنج در این ناحیه می‌شود. دشت‌های قادرآباد- مادرسلیمان و دهید در نواحی شرقی حوضه و بالادست سد سیوند قرار دارند. در هر دو این دشت‌ها گسترش زمین‌های کشاورزی از سال ۱۳۸۴ تا ۱۳۹۶ روند افزایشی داشته است. طی ۱۲ سال وسعت زمین‌های کشاورزی در دشت قادرآباد- مادرسلیمان از ۱۵/۴۵ کیلومتر مربع به ۳۰/۶۱ کیلومتر مربع و در دشت دهید از ۱/۰۴ کیلومتر مربع به ۱۴/۳۰ کیلومتر مربع رسیده است. وسعت زمین‌های کشاورزی در دشت سعادت آباد واقع در پایین‌دست سد سیوند طی سال‌های ۱۳۸۴ تا ۱۳۹۶ از ۴۵/۷۸ کیلومتر مربع به ۵۷/۵۴ کیلومتر مربع افزایش یافته است. در بخش‌های میانی و پایین‌دست حوضه بختگان، روند گسترش زمین‌های کشاورزی از سال ۱۳۸۴ به صورت قابل توجهی کاهش یافته است. دشت‌های مرودشت- خرامه و بیضا- زرقان در حدفاصل سد درودزن و دریاچه بختگان قرار دارند. وسعت زمین‌های کشاورزی در این دو دشت از سال ۱۳۸۴ تا ۱۳۹۶ روند کاهش چشمگیری داشته است. طی سال‌های ۱۳۸۴ تا ۱۳۹۶، وسعت زمین‌های کشاورزی در دشت مرودشت- خرامه از ۱۰۵۸/۴۲ کیلومتر مربع به ۷۶۷/۵۶ کیلومتر مربع و در دشت زرقان- بیضا از ۴۳۸/۵۵ کیلومتر مربع به ۲۹۸/۵۸ کیلومتر مربع کاهش یافته است. دشت‌های نیریز، استهبان، خانه‌کت، خیر، آباده طشک- جهان آباد و تنگ حنا- پیچکان در پیرامون دریاچه بختگان قرار دارند. این دشت‌ها با رود کر ارتباطی ندارند، اما رواناب حاصل از

در این مناطق به شکل غرقابی می‌باشد که این پدیده نیز باعث افزایش بیشتر مصرف آب در بالادست حوضه می‌شود. افزایش زمین‌های کشاورزی در دشت‌های بالادست حوضه، افزایش مصرف آب‌های سطحی و زیرزمینی و در نتیجه کاهش آورد رودخانه را به همراه داشته است. در دشت‌های پایین‌دست نیز به دلیل کاهش آب‌های سطحی، برداشت آب‌های زیرزمینی به شدت افزایش یافته که خود اثر منفی بر میزان آورد رودخانه دارد.

براساس نتایج این پژوهش می‌توان اینگونه بیان داشت که علاوه بر خشکسالی، گسترش زمین‌های کشاورزی در بالادست حوضه نیز از جمله عوامل مؤثر بر خشک شدن دریاچه‌های بختگان و طشک بوده است. با توجه به تأثیر زمین‌های کشاورزی بر خشک شدن این دریاچه‌ها، برنامه‌ریزی مناسب در جهت مدیریت منابع آب حوضه بختگان ضروری است. محدود کردن فعالیت‌های کشاورزی، جلوگیری از تغییر کاربری مراتع و جنگل‌ها به زمین کشاورزی، آگاهی‌رسانی عمومی نسبت به اهمیت دریاچه‌ها، و اجرای طرح‌ها و ایجاد شغل‌های جایگزین کشاورزی، ارائه الگوی کشت مناسب و جلوگیری از کشت گیاهان آب‌بر همچون برنج، تغییر نوع کشت به سمت محصولات با مصرف آب کم، استفاده از روش‌های نوین و علمی در کارهای کشاورزی، تغییر نوع آبیاری از غرقابی به سمت آبیاری بهینه (همچون آبیاری قطره‌ای)، مسدود نمودن چاه‌های غیرمجاز و مدیریت مصرف آب حوضه از طریق نصب کنتورهای هوشمند، از جمله کارهایی است که برای نجات دریاچه‌های بختگان و طشک پیشنهاد می‌گردد.

برداشت آب رودخانه به منظور آبیاری زمین‌های کشاورزی سبب کاهش آورد آن می‌شود. روند افزایشی مساحت زمین‌های کشاورزی در حوضه آبریز بختگان از سال ۱۳۶۶ آغاز شده و تا سال ۱۳۷۷ ادامه داشته است. در ادامه و تا سال ۱۳۸۴ تغییر کمی در مساحت زمین‌های کشاورزی در همه دشت‌های حوضه مشاهده می‌شود. از سال ۱۳۸۴ به بعد، گسترش زمین‌های کشاورزی در بخش‌های مختلف حوضه رفتار متفاوتی دارد. در این زمان، روند گسترش زمین‌های کشاورزی در دشت‌های بالادست سد درودزن و سیوند، برقرار بوده (در دشت‌های بالادست سد درودزن این روند شدت بیشتری داشته) است. بیشتر افزایش زمین‌های کشاورزی در بالادست سد درودزن و در دشت‌های دزکرد- کامفیروز، بکان، خسروشیرین، آسپاس و نمدان رخ داده است. از سال ۱۳۷۷، در نواحی میانی و پایین‌دست حوضه آبریز، روند کاهش مساحت زمین‌های کشاورزی در دشت‌های مرودشت- خرامه، بیضا- زرقان، ارسنجان، سرپنیران، سعادت آباد، آباد طشک- جهان آباد، تنگ حنا- پیچکان و خانه‌کت به خوبی مشاهده می‌گردد. تنها در دشت‌های سیدان- فاروق، داریان و استهبان مساحت زمین‌های کشاورزی در گذر زمان کم‌وبیش یکسان بوده که دلیل آن وابستگی کامل کشاورزی در این مناطق به منابع آب زیرزمینی است.

دشت‌های بالادست سد درودزن در محل سرشاخه‌های رود کر قرار دارند. افزایش سطح زیرکشت در این دشت‌ها افزایش برداشت از منابع آب رودخانه را به همراه داشته است. از سوی دیگر، نوع محصول کشت شده در این مناطق بیشتر برنج بوده، که از جمله گیاهان با مصرف زیاد آب است. شایان ذکر است که نوع کشاورزی

مراجع

- [1] Liu, C., Xie, G., & Huang, H. (2006). "Shrinking and drying up of Baiyangdian Lake wetland: a natural or human cause?", *Chinese Geographical Science*, 16(4), 314-319.
- [2] Alemayehu, T., Furi, W., & Legesse, D. (2007). "Impact of water overexploitation on highland lakes of eastern Ethiopia", *Environmental geology*, 52(1), 147-154.

- [3] Khazaei, B., Khatami, S., Alemohammad, S. H., Rashidi, L., Wu, C., Madani, K., ... & Aghakouchak, A. (2019). "Climatic or regionally induced by humans? Tracing hydro-climatic and land-use changes to better understand the Lake Urmia tragedy", *Journal of Hydrology*, 569, 203-217.
- [4] Paudel, B., Zhang, Y., Li, S., & Wu, X. (2017). "Spatiotemporal reconstruction of agricultural land cover in Nepal from 1970 to 2010", *Regional Environmental Change*, 17(8), 2349-2357.
- [5] Salem, M., Tsurusaki, N., & Divigalpitiya, P. (2020). "Remote sensing-based detection of agricultural land losses around Greater Cairo since the Egyptian revolution of 2011", *Land Use Policy*, 97, 104744.
- [6] Hishe, H., Giday, K., Van Orshoven, J., Muys, B., Taheri, F., Azadi, H., ... & Witlox, F. (2021). "Analysis of land use land cover dynamics and driving factors in Desa'a forest in Northern Ethiopia", *Land Use Policy*, 101, 105039.
- [7] Lark, T. J., Mueller, R. M., Johnson, D. M., & Gibbs, H. K. (2017). "Measuring land-use and land-cover change using the US department of agriculture's cropland data layer: Cautions and recommendations", *International journal of applied earth observation and geoinformation*, 62, 224-235.
- [8] Aydin, F., Erlat, E., & Türkeş, M. (2020). "Impact of climate variability on the surface of Lake Tuz (Turkey), 1985–2016", *Regional Environmental Change*, 20, 1-14.
- [9] Davraz, A., Sener, E., & Sener, S. (2019). "Evaluation of climate and human effects on the hydrology and water quality of Burdur Lake, Turkey", *Journal of African Earth Sciences*, 158, 103569.
- [10] Wu, D., Chen, F., Li, K., Xie, Y., Zhang, J., & Zhou, A. (2016). "Effects of climate change and human activity on lake shrinkage in Gonghe Basin of northeastern Tibetan Plateau during the past 60 years", *Journal of Arid Land*, 8(4), 479-491.
- [11] Ghale, Y. A. G., Baykara, M., & Unal, A. (2019). "Investigating the interaction between agricultural lands and Urmia Lake ecosystem using remote sensing techniques and hydro-climatic data analysis", *Agricultural Water Management*, 221, 566-579.
- [12] Khazaei, B., Khatami, S., Alemohammad, S. H., Rashidi, L., Wu, C., Madani, K., ... & Aghakouchak, A. (2019). "Climatic or regionally induced by humans? Tracing hydro-climatic and land-use changes to better understand the Lake Urmia tragedy", *Journal of Hydrology*, 569, 203-217.
- [13] Shahsavar, Z., & Mousavi Nasab, Z. (2012). "Bakhtegan Fars dried lake and its environmental consequences, an indicator of the role of natural resources in the sustainable development of arid and semi-arid regions", *The first national conference on sustainable development in arid and semi-arid regions*, Abarkooh, Iran.
- [14] Sajedipour, S., Zarei, H., & Oryan, S. (2017). "Estimation of environmental water requirements via an ecological approach: a case study of Bakhtegan Lake, Iran", *Ecological engineering*, 100, 246-255.
- [15] Bagheri, M. H., Bagheri, A., & Soholi, G. A. (2016). "Analysis of changes in the Bakhtegan lake water body under the influence of natural and human factors", *Iran-Water Resources Research*, 12(3), 1-11.
- [16] Lorestani, M., Bankadari, H., & Azeri, A. (2017). "Investigation of the effect of climatic parameters on changes in the area of Bakhtegan and Tashk lakes using satellite images", *16th Iranian Hydraulic Conference*, Mohaghegh Ardabili University, Ardabil.
- [17] Moradi E., & Valiollahi J. (2012). "Investigating the causes of drying of Bakhtegan wetland", *Third National Conference on Combating Desertification and Sustainable Development of Desert Wetlands*, Iran
- [18] Gharechaei, H., Moghaddam Nia, A., Malekian, A., & Ahmadi, A. (2015). "Separation of the effects of climate variability and human activities on runoff of Bakhtegan Basin", *Iranian journal of Ecohydrology*, 2(4), 445-454.
- [19] Abbasi, H., Delavar, M., & Bigdeli, R. (2019). "Assessing the effects of climate change on the sustainability of water resources in catchments using water footprint indices", *Iranian Water Resources Research*, 15(4), 259-272.
- [20] Imani, S., Farokhnia, A., Morid, S., & Roozbahani, R. (2019). "Spatio-temporal Analysis of Temperature and Precipitation Trends in Tashk-Bakhtegan Watershed", *Amirkabir Journal of Civil Engineering*, 52(11), 17-17.
- [21] Esfandiari, M., Hakimzadeh, M., & Jabali, A. (2015). "Preparation of vegetation map and monitoring of its changes using remote sensing techniques and GIS", *The First International Conference on Agricultural Sciences, Animal Natural Resources, Rural Tourism Environment and Medicinal Plants of Islamic Countries*.
- [22] <https://www.wrm.ir>
- [23] www.earthexplorer.usgs.org
- [23] McFeeters, S. K. (1996). "The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features", *International journal of remote sensing*, 17(7), 1425-1432.
- [24] Gandhi, G. M., Parthiban, S., Thummalu, N., & Christy, A. (2015). "Narvi: Vegetation change detection using remote sensing and GIS—A case study of Vellore District", *Procedia Computer Science*, 57, 1199-1210.
- [25] Carlson, T. N., & Ripley, D. A. (1997). "On the relation between NDVI, fractional vegetation cover, and leaf area index", *Remote sensing of Environment*, 62(3), 241-252.
- [26] Julien, Y., Sobrino, J. A., & Verhoef, W. (2006). "Changes in land surface temperatures and NDVI values over Europe between 1982 and 1999", *Remote Sensing of Environment*, 103(1), 43-55.

[27] Pravalie, R., Sîrodoev, I., & Peptenatu, D. (2014). "Detecting climate change effects on forest ecosystems in Southwestern Romania using Landsat TM NDVI data", *Journal of Geographical Sciences*, 24(5), 815-832.