



Temporal and Spatial Analysis of the Stability of the Hamoon Lakes

M. Khosravi¹

Abstract

The Hamoon Lakes are located in the Sistan Basin, in south eastern Iran. Among the most unstable water bodies of the world, these lakes experience great annual fluctuations. The Hamoon wetlands, with unique ecological values, is a protected site under the Ramsar Convention.

In this paper, the temporal-spatial relationship between the surface water potential and the stability of Hamoon and Godzereh water bodies has been analyzed for the periods of 1972-2004. Based on the Hirmands' inflows, mainly Parian and Sistan rivers, this analysis was conducted using the remote sensing information. (Landsat MSS, TM and ETM+ sensors images and LISS1 and LISS2 sensors of IRS images) The depths of water, the area of the lakes, and the vegetation of the Sistan Basin were analyzed and interpreted based on these images (two images per yes) using principle components of satellite visual interpretation.

The results suggested that the temporal-spatial stability of Hamoons mainly depends on the Hirmand inflow.

It is known that the Hirmand Hamoon Lake is more unstable than other water bodies in the basin. The Puzak Lake is more stable. It should be stated that in hydrological drought events the response of the hyper saline Godzereh lake is very gradual.

Analyzing the Topax/Poseidon Jason satellite data, the variation of the Puzak Hamoon during the critical long period of droughts is evaluated.

Irreversible changes have occurred in land cover, due to the shallow depths and excessive dependence on the Hirmand inflow and operation of upper reservoirs (Kajaki and Arghandab dams in Afghanistan).

It is shown that a long period of normal discharge is needed for hydro-ecological balances and compensation of losses in this vulnerable ecosystem.

Keywords: Hamoons Instability, Sistan Basin, Hirmand River, Remote Sensing, Hydrologic Droughts

تحلیل زمانی - مکانی پایداری دریاچه‌های هامون

محمود خسروی^۱

چکیده

دریاچه‌های هامون به عنوان یکی از ناپایدارترین پهنه‌های آبی دنیا، از سالی به سال دیگر نوسانات شدیدی را نشان می‌دهند. قرارگیری منطقه منحصر به فرد تالاب هامون در دشت سیستان، اهمیت زیست محیطی خاصی را به آن بخشیده است و براساس کنوانسیون رامسر منطقه هامون به عنوان یک تالاب بین‌المللی از ارزش‌های اکولوژیکی خاصی برای جهانیان برخوردار است.

در این مقاله رابطه فضایی - زمانی تغییرات آبهای سطحی و پایداری دریاچه‌های هامون و گودزره از دوره ۱۹۷۲ تا ۲۰۰۴ با استفاده داده‌های سنجنش از دور (تصاویر ماهواره‌های لندست سنجنده‌ها ی TM، MSS، ETM+ و ماهواره IRS هند سنجنده‌های LISS-I و LISS-II) بر اساس میزان ورودی آب هیرمند، پریان مشترک و رود سیستان مورد تحلیل قرار گرفته است. ورودی رودخانه هیرمند و شبثات آن در طی دوره آماری تحلیل و نقش آن در تغییرات سطح دریاچه‌ها آشکارسازی شد. سپس با توجه به رژیم رودخانه، تصاویر ماهواره ای محدوده دشت سیستان در طی دوره مورد مطالعه در دو نوبت پربابی و کم آبی مورد مقایسه قرار گرفت. عمق آب، وسعت دریاچه‌ها و پوشش گیاهی دشت سیستان در یک دیدگاه سیستمی با استناد به این شواهد و با استفاده از عناصر اصلی تفسیر، تصاویر به روش اپتیکی تحلیل گردید. با استفاده از داده‌های ماهواره Topax/Poseidon Jason تغییرات پهنه آبی هامون پوزک طی دوره بحرانی خشکسالی تعیین و در نهایت مشخص گردید. این داده‌ها که شامل ۲۸۹ اندازه گیری ارتفاع سطح دریاچه در طی یک دوره ۱۰ ساله می‌باشد، نشان داد در ۸۰ درصد موارد سطح دریاچه خشک و کم آب بوده است. نتایج نشان دهنده وابستگی شدید پایداری فضایی - زمانی هامون‌ها به ورودی آب هیرمند می باشد. ناپایدارترین پهنه هامون هیرمند و پایدارترین آنها هامون پوزک تشخیص داده شد. واکنش گودزره نسبت به خشکسالی‌های هیدرولوژیک کمتر از سایر پهنه‌های آبی بوده است. با توجه به عمق کم منابع آب و وابستگی شدید پهنه‌های آبی به ورودی هیرمند و مخازن احداث شده در مسیر آن، متأسفانه طی خشکسالی‌های اخیر تغییرات غیرقابل بازگشتی در پوشش زمین (Land Cover) این پهنه‌های بارز ایجاد گردیده که برای حفظ تعادل هیدرواکولوژیک و جبران خسارات به این اکوسیستم آسیب پذیر به سالیان بیشتری ورود آب در حد نرمال نیاز است.

کلمات کلیدی: ناپایداری هامون‌ها، دشت سیستان، رود هیرمند، سنجنش از دور، خشکسالی‌های هیدرولوژیک

تاریخ دریافت مقاله: ۲۱ بهمن ۱۳۸۶

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۷ آذر ۱۳۸۹

1- Associate Professor, Physical Geography and Climatology Department, Geography and Environmental Planning Faculty, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran, Email: khosravi@hamoon.usb.ac.ir

۱- دانشیار گروه جغرافیای طبیعی و اقلیم شناسی، دانشکده جغرافیا و برنامه ریزی محیطی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران

۱- مقدمه

دشت سیستان به لحاظ استقرار در یک منطقه بیابانی از اقلیمی خشک با ترولات جوی کم برخوردار است. حیات منطقه وابسته به ورودی آبهای رودخانه ۱۲۰۰ کیلومتری هیرمند می‌باشد که پس از طی مسافتی بالغ بر ۴۰۰ کیلومتر حوضه آبریز وسیعی را زهکشی نموده و منابع آب سطحی این دشت را تأمین می‌نماید. قرارگیری منطقه منحصر به فرد اکولوژیکی هامون در این دشت، اهمیت زیست محیطی خاصی را به آن بخشیده است و بر اساس کنوانسیون رامسر منطقه هامون به عنوان یک تالاب بین‌المللی از ارزش‌های اکولوژیکی خاصی برای جهانیان برخوردار است (Scott and Smart, 1992).

نزولات جوی کم و تغییرپذیری بالای آن از سویی و درجه حرارت بالا و تبخیر و تعریق شدید و بالتبجه نیاز آبی بالا باعث گردیده که منطقه چهره‌ای بیابانی داشته باشد. تغییرپذیری شدید آورد سالانه رودخانه هیرمند به دشت سیستان و بروز خشکسالی‌های هواشناسی و هیدرولوژیک باعث لطمات جبران ناپذیری به چهره دشت سیستان شده است (خسروی، ۱۳۶۸).

سیمای توپوگرافیک دشت سیستان، عدم وجود موانع قابل ملاحظه ارتفاعی، پوشش گیاهی ضعیف و شیب ملایم دشت از سویی و استقرار شرایط متنوع سینوپتیکی جوی در تمام طول سال از سوی دیگر، دشت سیستان را به یکی از کانون‌های بحرانی اقلیمی تبدیل نموده است. وزش بادهای در مسیری شمال غربی، شمالی به سمت جنوب، جنوب شرقی با عبور از مناطق بیابانی شرق کشور باعث تخریب خاک و طوفان‌های گردو غباری در منطقه می‌گردد که حیات اکولوژیک دشت را در معرض خطر قرار می‌دهد.

تقریباً در تمام ماه‌های سال در دشت سیستان بادهای با دلایل موجه سینوپتیکی می‌وزند (خسروی، ۱۳۸۴). در این میان وزش بادهای ۱۲۰ روزه که به مدت ۴ ماه از گرم‌ترین و خشک‌ترین فصول دشت سیستان در منطقه حاکمیت دارد (حسین‌زاده، ۱۳۷۶) با توجه به کاهش رطوبت خاک، کمبود پوشش گیاهی و بالا بودن شدت و فراوانی این بادهای فشار مضاعفی را بر محیط طبیعی دشت وارد می‌کند. بادهای ۱۲۰ روزه که از سیستم‌های متوسط مقیاس سینوپتیکی محسوب می‌شوند در ماه‌های خرداد، تیر، مرداد و شهریور در دشت سیستان می‌وزند و در مجموع شرایط اقلیمی دشت را کنترل می‌نمایند. (خسروی، ۱۳۸۴)

بدون شک بسترهای خشکیده دریاچه‌های هامون پوزک، صابری و هیرمند اصلی‌ترین منابع تأمین گردو غبار ناشی از بادهای ۱۲۰ روزه است که تا مسافت بسیار دوری بر روی مناطق اطراف گسترانیده می‌شود. لذا هر گونه تغییرات در وسعت و گسترش دریاچه‌ها و بسترهای سیلاب دشت شاخه‌های هیرمند نقش غیر قابل انکاری در تغذیه بادهای ۱۲۰ روزه دارد. (خسروی، ۱۳۸۷) بنابراین بررسی پایداری این پهنه‌ها به عنوان ریشگاه پوشش‌های گیاهی، حفظ حیات وحش، تعادل بخشی به شرایط نامساعد اقلیمی و حفظ تعادل‌های اکولوژیک ضروری است.

مباحث مختلف مرتبط با هامون‌ها در دشت سیستان و کشور افغانستان از دیدگاه متفاوتی مورد توجه محققین بوده است. از دیدگاه حیات وحش منصور و مجنونیان (۱۳۶۴) و Mansoori, 1994 تالاب هامون را بررسی نموده‌اند. مطالعات زیست محیطی بخش زیادی از ادبیات پژوهشی مرتبط با هامون‌ها را تشکیل می‌دهد. در این میان می‌توان به برنامه محیطی سازمان ملل (UNEP, 2005) پارس‌ویستا (۱۳۷۵)، ماکویی (۱۳۶۳)، خسروی (۱۳۸۷، ۱۳۶۷، ۱۳۸۴) اشاره نمود. با رویکردهای هیدرولوژیک مهمترین مطالعات را تهران سحاب (۱۳۷۱)، تجربی و همکاران (۱۳۷۹)، ضیاتیان (۱۳۷۱)، Burger, (2005); Dhondia et al. (2006); Penning et al. (2006) and Kwadijk et al. (2006) انجام داده‌اند. یکی از مطالعات بسیار مهم در مباحث سیاسی - اقتصادی توسط (Hajiamiri, 2005) انجام شده است.

۲- مواد و روشها

جهت نیل به اهداف این مقاله در بررسی تغییرات فضایی پوشش هامون‌ها با توجه به ورودی آب هیرمند و شرایط اقلیمی منطقه در بازه زمانی ۲۰۰۴-۱۹۷۲ اطلاعات ماهواره ای مورد تفسیر قرار گرفته است. تصاویر ماهواره‌های لندست سنجنده‌های TM، M.SS و ETM⁺ و همچنین ماهواره IRS هند سنجنده‌های LISS-I و LISS-II در هر سال دو نوبت جمع آوری و با استفاده از عناصر اصلی تفسیر چشمی مورد بررسی و مقایسه قرار گرفته است. داده‌های اقلیمی بارش ایستگاه سینوپتیک زابل و داده‌های هیدرولوژیک رودخانه هیرمند نیز از گزارشات مهندسين مشاور تهران سحاب و آساران استخراج و مورد استفاده قرار گرفته است. جهت بررسی موردی تغییرات سطح هامون پوزک (پایدارترین هامون) داده‌های روزانه سطح تراز آب از طریق وبگاه این ماهواره در ناسا (Topax/Poseidon Jason, 2005) شامل ۲۸۹ داده اندازه‌گیری شده طی دوره ۲۰۰۲-۱۹۹۲ دریافت و در تحلیل استفاده شده است.

از دیدگاه هیدروژئولوژی در یک دیدگاه تحلیلی رابطه بین میزان ورودی آب و تغییرات سطح منابع آب سطحی دریاچه‌های هامون در سیستان با استفاده از داده‌های سنجش از دور تجزیه و تحلیل گردیده است. با توجه به وسعت منطقه، تنوع عوارض مورد بازه زمانی مورد مطالعه از روشهای تفسیر چشمی داده‌های سنجش از دور و مقایسه آنها در بستر زمان با توجه عناصر اصلی تفسیر چشمی (شکل، اندازه، تن، بافت، ارتباط فضایی و نقش) استفاده شده است.

۳- بحث

سطحی وسیعی از برکه‌ها، باتلاق‌ها و نیزارهای و دریاچه‌ها که در تمام یا قسمتی از سال در دشت سیستان بوسیله آب پر شده است به هامون‌ها معروف است. (شکل ۱) گودترین قسمت هامون‌ها که به کاسه سیستان معروف است در هامون هیرمند قرار گرفته است. ارتفاع کف دریاچه‌ها بین ۴۷۱ تا ۴۷۷ متر گزارش شده است (پورکرمانی و زمردیان، ۱۳۶۷). در داخل آنها زمینهای نسبتاً مرتفع‌تر بیرون زدگی پیدا کرده که تقریباً به شکل جزایر و شبه جزایر در تصرف سکونت گاههای انسان قرار دارند. این چاله‌ها مرکب از سه فرورفتگی می‌باشند. یکی به نام هامون پوزک، در خاک افغانستان، دومی به نام هامون صابری که خط مرزی ایران با افغانستان از وسط آن می‌گذرد و سومی به نام هامون هیرمند در خاک ایران. در ماههای مرطوب به دلیل افزایش واردات، سطح این چاله‌ها یکی می‌شود اما در ماههای گرم سال، آب چاله‌ها به شدت کاهش یافته و در نتیجه سطوح وسیعی از کناره‌های آن به صورت باتلاق و کفه‌های رسی (دق) درمی‌آیند. چاله‌های مذکور بیشترین نقش را در رسوبزایی و تهیه رسوبات بادی منطقه سیستان دارند. در فصل زمستان و همزمان با طغیان رودخانه هیرمند (بخصوص سال‌های پر آبی) متناسب با دبی رودخانه سطح دریاچه‌های هامون زیر آب می‌رود.

در فصل تابستان و همزمان با کاهش دبی رودخانه سطح دریاچه‌های مذکور از زیر آب بیرون می‌آید. با خشک شدن سطح دریاچه فرسایش بادی کار حفاری و فرسایش سطح دریاچه را آغاز می‌نماید. با توجه به شروع بادهای ۱۲۰ روزه سیستان و شدت آن و خشک بودن سطح دریاچه در این فصل، فرسایش بادی از شدت زیادی برخوردار است و باعث پراکندگی رسوبات در سطح منطقه و افزایش گرد و غبار در منطقه می‌شود. آسیب پذیری شدید هامون بر اثر خشکسالی‌های متوالی باعث گردیده که پهنه‌های وسیعی از اراضی بستر آنها که سرشار از رسوبات ریزدانه است، بر اثر وزش بادهای غالب ۱۲۰ روزه به شدت تخریب و بار جامد فراوانی را برای تغذیه بادهای فراهم آورد. بخش زیادی از رسوبات موجود در تپه‌های ماسه‌ای

توسط بادهای از طریق رسوبات دریاچه‌ای هامون‌ها در دوره خشکی پدید می‌آید.

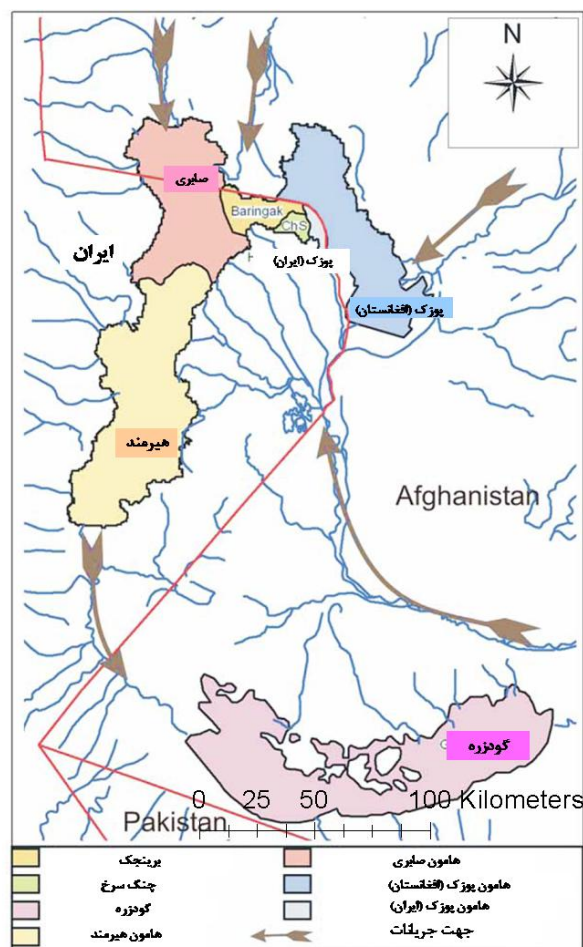
بطور کلی مجموعه هامون‌ها شامل هامون هیرمند در غرب و جنوب غربی، هامون صابری یا (صابوری) در شمال غربی و هامون پوزک در شمال شرقی دشت سیستان و شعبات فرعی که مهمترین آن چنگ سرخ و برینجگ می‌باشد، تقسیم می‌شود. (شکل ۱) در سال‌های مرطوب و پر آب و عمدتاً در فصل بهار، این سه دریاچه به هم متصل گردیده و تشکیل پهنه وسیعی را می‌دهند. در صورتیکه سه دریاچه به هم متصل گردند بیش از ۱۰ میلیارد متر مکعب آب را در خود جای می‌دهند. کل مساحت آنها برابر ۱۵۰۹ کیلومتر مربع و محیط آنها به ۴۳۴ کیلومتر می‌رسد. (سازمان عمران سیستان، ۱۳۷۱) آخرین ارزیابی از مساحت هامون‌ها مساحت آنها را تا بیش از ۵۰۰۰ کیلومتر مربع و حجم را تا ۱۳ میلیارد مترمکعب برآورد نموده است. (جدول ۱)

جدول ۱- مساحت، عمق و حجم هامون‌ها بر اساس آخرین برآورد UNEP (2006)

واحد	عمق متوسط (m)	مساحت (km)	حجم (m ³)
برینجگ	۱	۲۲۱/۶	۲۲۱/۶
چونگ سرخ	۱	۵۹/۸	۵۹/۸
هامون هیرمند	۲	۲۳۸۸/۸	۴۷۷۷/۵
هامون پوزک (افغانستان)	۳	۱۴۵۳/۴	۴۳۶۰/۳
هامون پوزک (ایران)	۲	۶۱	۱۲۲
هامون صابری	۳	۱۱۶۱/۵	۳۴۸۴/۵
مجموع		۵۳۴۶	۱۳۰۲۵/۶
گودزره	۱۰	۲۴۱۷/۵	۲۴۱۷۴/۹

سطح دریاچه‌ها نسبت به سطح دریا متفاوت بوده و ارتفاع متوسط هامون هیرمند حدود ۴۷۰ متر از سطح آبهای آزاد ارتفاع داشته و ارتفاع متوسط هامون صابری حدود ۴۷۵ متر از سطح دریا می‌باشد. رودهای متعددی به هامون می‌ریزد که بیشتر آنها فصلی است. رود هیرمند مهمترین منبع تغذیه هامون‌ها می‌باشد.

هامون پوزک بیشتر از طریق رودخانه‌های پربان مشترک، خاش رود، رود خوسپاس تغذیه می‌شود. حجم آب رود خاش ۵۹۲ میلیون کیلومترمکعب در سال می‌باشد.

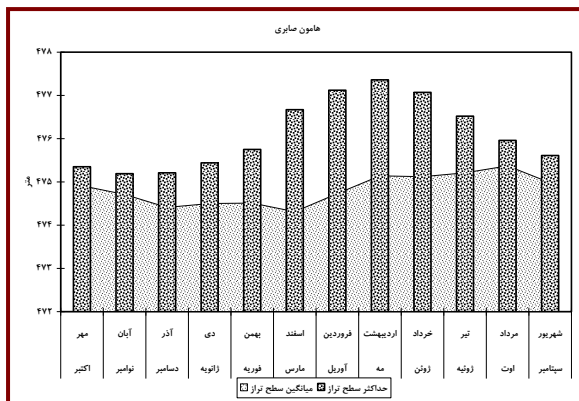


شکل ۱- نقشه موقعیت دریاچه‌های هامون و جریانات ورودی به آن

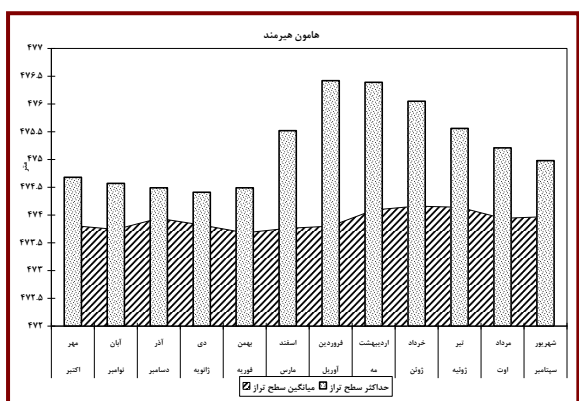
بهاره آن است. حداکثر سطح آب هیرمند در فروردین و اردیبهشت مشاهده می‌شود. رژیم برفی رود هیرمند و یا پایین بودن نسبی تبخیر در ماههای زمستان و اوایل بهار باعث افزایش حداکثر سطح آب هامون می‌شود. رژیم هیدرولوژیک هامون صابری منظم‌تر از هامون هیرمند می‌باشد. حداقل سطح میانگین ماهانه در اسفند ماه و حداکثر آن در مرداد مشاهده شده است. در عین حال حداکثر ماهانه سطح دریاچه همانند هامون هیرمند به ماههای اردیبهشت و فروردین (مارس) می‌باشد. بنابراین با بررسی نوسانات سالانه و روزانه سطح آب در دوره‌ای آماری موجود در هامون هیرمند و صابری می‌توان به این نتیجه رسید که در هامون هیرمند حداکثر افزایش سطح آب از اواسط اسفند تا تیر ماه روی داده است. (شکل ۳) و حداکثر تراز آن در خرداد ماه مشاهده گردیده است. (معادل $476/62$ متر از سطح دریا) حداکثر تراز سطح مشاهده شده مربوط به سال $1369-70$ و حدود $476/62$ متر می‌باشد که در فروردین سال 1370 مشاهده گردیده است. این ارتفاع بیانگر تراز مثبتی برابر $4/12$ متر در ایستگاه کوه خواجه می‌باشد. (تهران سحاب، 1371)

رود خوسپاس نیز 74 میلیون متر مکعب آورد سالانه دارد. شاید به همین دلیل است که هامون پوزک نسبت به دو هامون دیگر پایداری بیشتری در سنوات خشک از خود نشان می‌دهد. همچنین رودهای فرا رود و هروت رود نیز به هامون پوزک و صابری وارد می‌شوند و از سوی دیگر رودخانه‌های فصلی کم‌اهمیت‌تری همچون رودهای حسین آباد، رود شور، ترش آب، حرمک، رود جاهک و رود دهانه وارد هامون هیرمند می‌گردند. آورد سالانه این رودخانه‌ها دارای نوسانات زیادی است اما رود حسین آباد با حدود 49 میلیون مترمکعب و رود شور با 120 میلیون مترمکعب از بقیه مهمتر هستند.

عمق هامون‌ها در سالهای متوالی به شدت متفاوت است و حداکثر تا 11 متر نیز می‌رسد. با توجه به شکل‌های 2 تا 4 نمودار تغییرات سطح دریاچه هامون هیرمند، صابری و پوزک در ماههای مختلف نشان داده شده است. حداقل ارتفاع آب از سطح دریا در ماههای آبان و بهمن در هامون هیرمند اتفاق می‌افتد و حداکثر آن مربوط به اردیبهشت و خرداد همزمان با حداکثر طغیان رود هیرمند و آبدهی

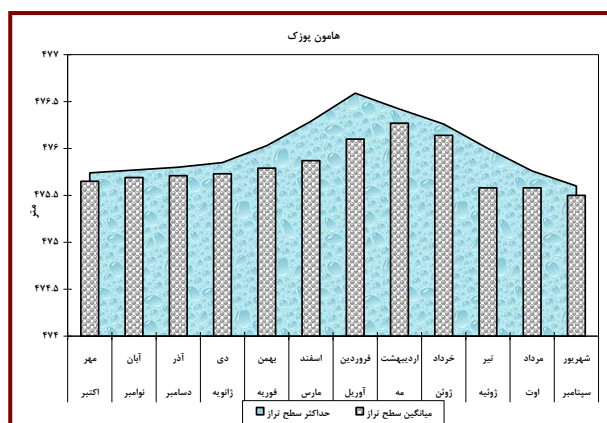


شکل ۳- تغییرات ماهانه سطح تراز هامون هیرمند (از سطح دریا)



شکل ۴- تغییرات ماهانه سطح تراز هامون صابری (از سطح دریا)

در هامون صابری از دهه دوم اسفند ماه (مارس) سطح آب افزایش یافته و تا دهه سوم خرداد ماه ادامه می‌یابد و اردیبهشت (ماه مه) به بیشترین سطح می‌رسد. (شکل ۴) بیشترین نوسانات میانگین و حداکثر سطح آب نشان دهنده تغییرات شدیدی است که در صابری رخ داده است. حداکثر آن ۴۷۷/۴۸ متر است که بیانگر رقمی معادل ۴/۳۵ متر در محل ایستگاه خاریکه می باشد. در هامون پوزک حداکثر تراز سطح آب دریاچه مربوط به ماههای فروردین و اردیبهشت است. در برخی سالها در ماههای مهر، آبان و حتی بهمن ماه نیز حداکثر تراز رخ داده است. (شکل ۲)



شکل ۲- تغییرات ماهانه سطح تراز هامون پوزک (از سطح دریا)

۴- نتایج

با استفاده از داده‌های ماهواره (Topax)، تغییرات سطح آب هامون پوزک براساس ۲۸۹ اندازه گیری روزانه این ماهواره از شهریور ۱۳۷۱ (سپتامبر ۱۹۹۲) تا مرداد ۱۳۸۱ (اوت ۲۰۰۲) بررسی شده است. براساس تجزیه و تحلیل داده‌های این ماهواره جدول ۲ تنظیم شده است. بر این اساس عمق دریاچه از حداقل ۱۶- متری تا حداکثر ۶/۸۵ متر از سطح متوسط تغییر نموده است. ضریب تغییرپذیری داده‌ها ۱۹۵ درصد است که نشان دهنده پراش بالای داده‌ها و عدم اطمینان از بقای دریاچه از سالی به سال دیگر است.

جدول ۳ توزیع فراوانی تغییرات سطح دریاچه هامون پوزک طی این دوره را نشان می‌دهد. در مجموع در طی دوره فوق‌الذکر که بخشی از آن با وقوع خشکسالی شدید اخیر همراه بوده است با توجه به درصد تجمعی جدول توزیع فراوانی (شکل ۵) در ۹۷ درصد مواقع سطح دریاچه زیر سطح میانگین آن بوده است و تنها در کمتر از ۳ درصد بالاتر از سطح میانگین مشاهده گردیده است. علاوه بر این

با توجه به روند میانگین هامون‌ها می‌توان نتیجه گرفت که از اواسط بهار حجم آب ورودی به هامون‌ها از انشعابات رودخانه هیرمند نقصان می‌یابد و بطور همزمان با گرم شدن هوا و شروع بادهای ۱۲۰ روزه با شدت گرفتن تبخیر، سطح آب در هامون‌ها از اواخر بهار شروع به افت می‌کند. کاهش سطح دریاچه‌ها تا پرشدن مجدد رودخانه که معمولاً تا نیمه زمستان بطول می‌انجامد ادامه می‌یابد (طاهری شهرآیینی و همکاران، ۱۳۸۰).

هامون پوزک که نسبت به دو هامون دیگر دائمی‌تر می‌باشد و از سویی به آورد سالانه پریان مشترک و از سویی به طغیان رودخانه‌های فصلی دیگر بستگی دارد. در اردیبهشت ماه به حداکثر ارتفاع متوسط خود می‌رسد در عین حال که ارتفاع حداکثر سطح آب در اسفند ماه حادث می‌شود. در شهریور ماه (سپتامبر) پائین‌ترین سطح تراز میانگین و ماکزیمم آب مشاهده می‌شود.

رسوبات ریزدانه و مولاسی بسترهای هامون به شکل مواد معلق در فضای دشت سیستان بوسیله بادهای ۱۲۰ روزه پراکنده شده‌اند. (تصویر سنجده مودیس نحوه پراکنش فضایی این مواد و منشاء‌گیری آن از منطقه هامون‌ها را طی یک طوفان گردوغباری نشان می‌دهد (شکل ۸).)

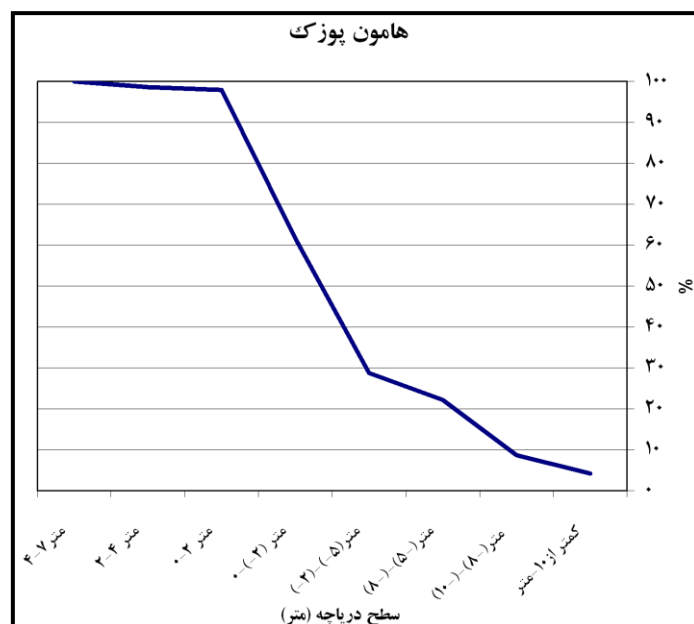
شکل ۶ نمودار تغییرات سطح دریاچه‌های هامون طی دوره ۲۰۰۴-۱۹۹۲ با استفاده از داده‌های ماهواره Topax را نشان می‌دهد. تغییرات سطح دریاچه هامون طی خشکسالیهای چند ساله اخیر قابل توجه است. (شکل ۶) با توجه به این نمودار مشخص می‌گردد در عمیق‌ترین نقاط هامون که بیش از ۱۰ متر عمق داشته بر اثر این خشکسالی در معرض هوا قرار گرفته (شکل ۷) و بخش اعظم

جدول ۲- تغییرات سطح هامون پوزک براساس داده‌های ماهواره Topax (سپتامبر ۱۹۹۲ تا اوت ۲۰۰۲)

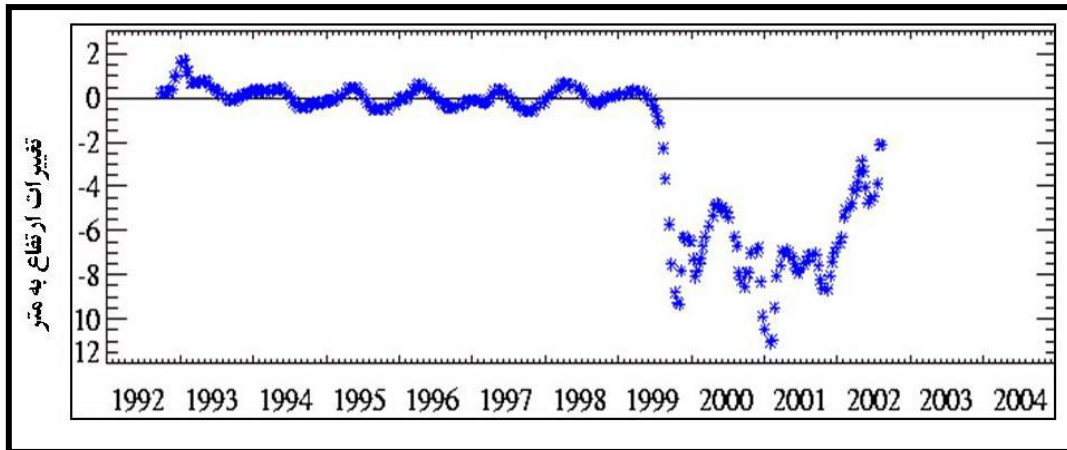
تعداد مشاهدات	حداقل (m)	حداکثر (m)	میانگین	انحراف معیار SD	ضریب تغییرپذیری CV%
۲۸۹	-۱۶/۶۸	۶/۸۵	-۱/۹۰۶	۳/۷۳	۱۹۵%

جدول ۳- توزیع فراوانی تغییرات سطح دریاچه هامون پوزک طی دوره ی ۱۹۹۲-۲۰۰۲

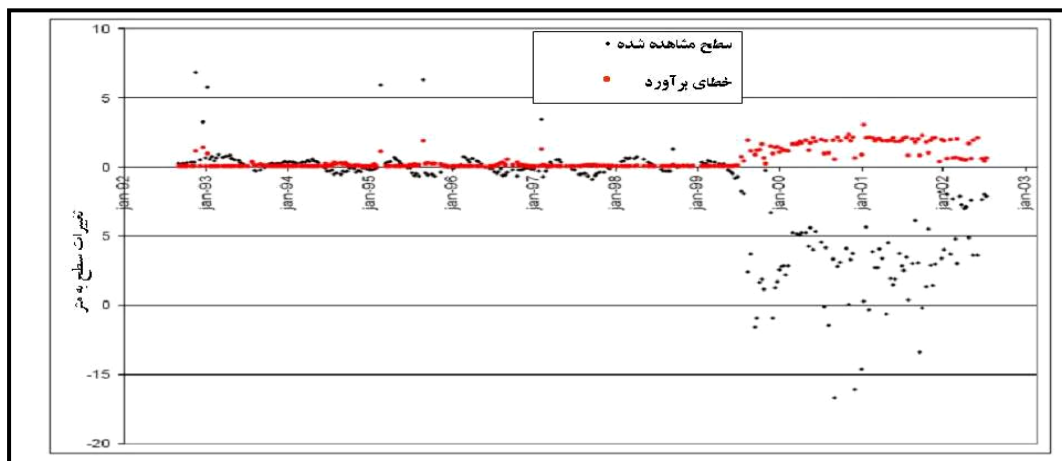
سطح دریاچه	فراوانی	درصد	درصد تجمعی
کمتر از ۱۰- متر	۱۲	۴/۲	۴/۲
۸- تا ۱۰- متر	۱۳	۴/۵	۸/۷
۵- تا ۸- متر	۳۹	۱۳/۵	۲۲/۱
۲- تا ۵- متر	۱۹	۶/۶	۲۸/۷
۰ تا ۲- متر	۹۵	۳۲/۹	۶۱/۶
۲ تا ۰ متر	۱۰۵	۳۶/۳	۹۷/۹
۴ تا ۲ متر	۲	۰/۷	۹۸/۶
۷ تا ۴ متر	۴	۱/۴	۱۰۰



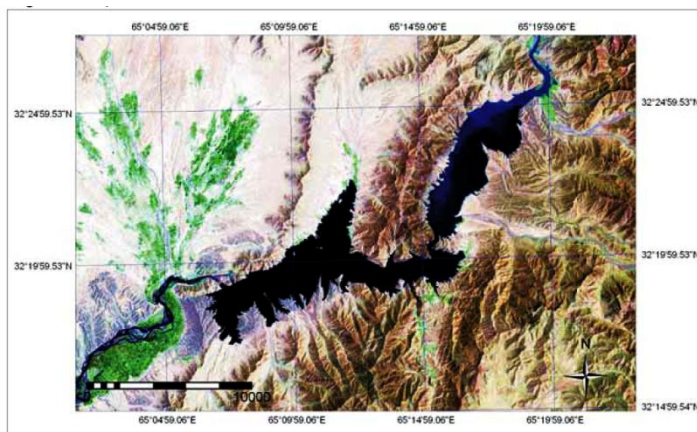
شکل ۵- نمودار تجمعی فراوانی تغییرات سطح هامون پوزک براساس نتایج اندازه گیری ماهواره TOPAX



شکل ۶- سری زمانی تغییرات سطح دریاچه هامون پوزک بر اساس داده‌های ماهواره TOPAX



شکل ۷- تغییرات ماهانه سطح دریاچه هامون پوزک بر اساس داده‌های ماهواره TOPAX



شکل ۹- مخزن سد کجکی در افغانستان یکی از عوامل ناپایداری هامون‌ها در بحران‌های خشکسالی هیدرولوژیک



شکل ۸- نقش بستر خشکیده دریاچه‌های هامون در انتشار گردوغبار (تصویر سنجنده MODIS)

با استفاده از تحلیل رابطه فضایی - زمانی تغییرات آبهای سطحی و پایداری دریاچه‌های هامون و گودرزه از سال ۱۹۷۲ تا ۲۰۰۴ با استفاده داده‌های سنجش از دور (تصاویر ماهواره‌های لندست سنجنده‌های TM، MSS، ETM⁺ و ماهواره IRS هند) بر اساس میزان ورودی آب هیرمند، پربان مشترک و رود سیستان مورد بررسی قرار گرفته است. عمق آب، وسعت دریاچه‌ها و پوشش گیاهی دشت سیستان در یک دید جامع با استناد به این شواهد (دو نوبت تصاویر در هر سال) و با استفاده از عناصر اصلی تفسیر، تصاویر به روش

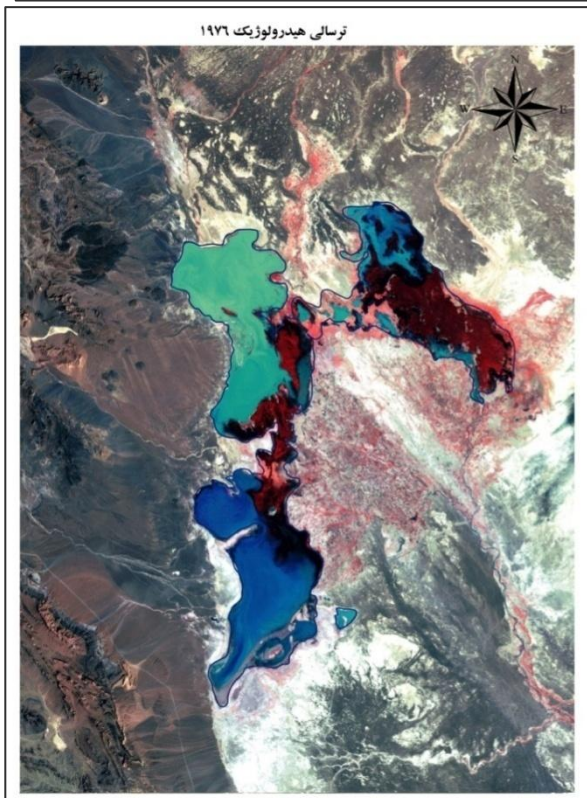
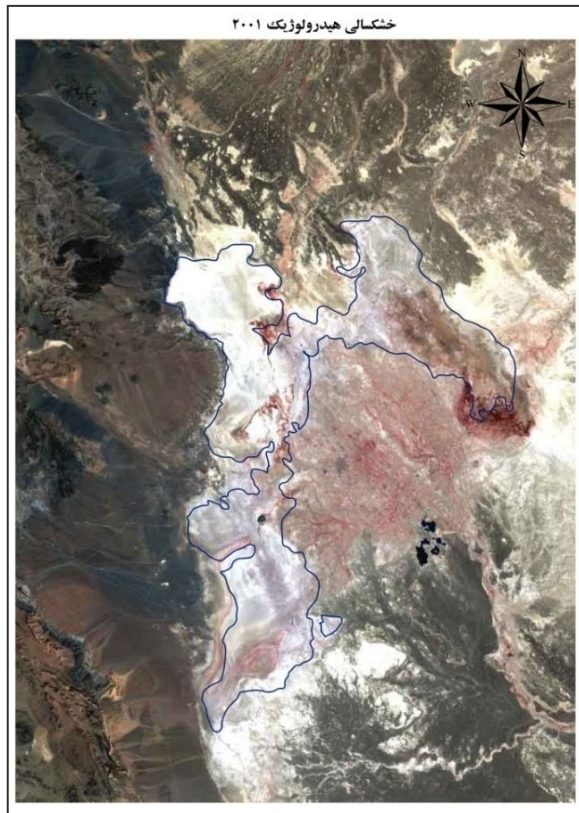
اپتیکی تحلیل گردید. نتایج این بررسی و تحلیل در جدول ۴ درج گردیده است. در این جدول که شاخص نمره استاندارد بارش (SPI) به عنوان عنصر اقلیمی و نمره استاندارد تخلیه رودخانه به عنوان شاخص هیدرولوژیک جهت مقایسه سهم آنها در پایداری هامون‌ها درج گردیده است. تفسیر داده‌های ماهواره‌ای (دو نوبت در سال) به صورت کیفی در ستون آخر گنجانیده شده است. در واقع این ستون جدول ۴ تحلیل سری زمانی به لحاظ کیفی می‌باشد.

جدول ۴- تغییرات شاخص سالانه استاندارد تخلیه رود هیرمند، شاخص استاندارد بارش (SPI) و پایداری هامون‌ها

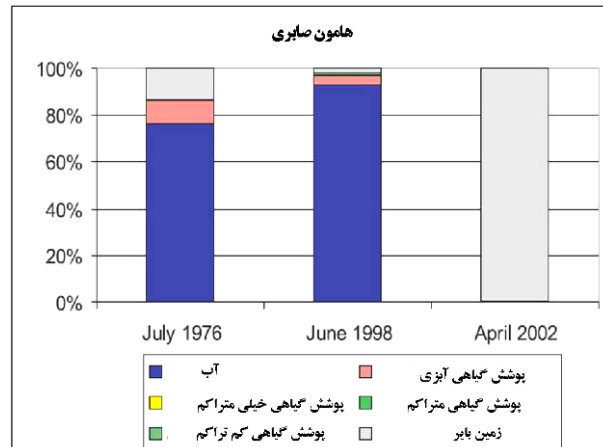
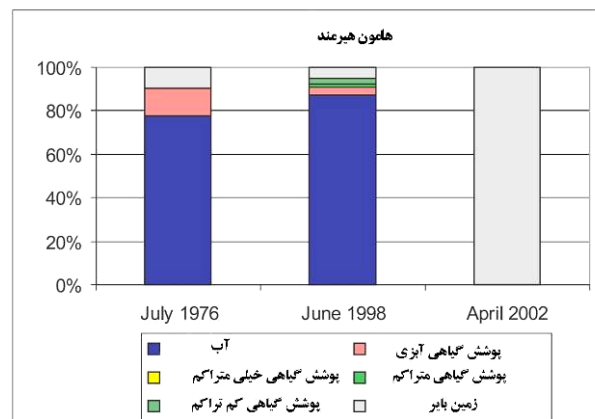
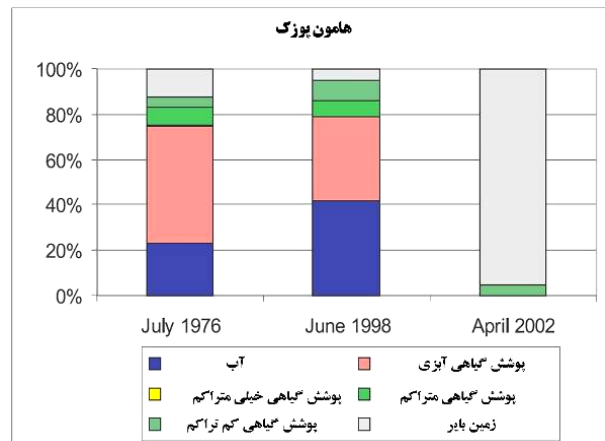
سال آبی	شاخص استاندارد تخلیه سالانه هیرمند	توصیف	شاخص استاندارد بارش زایل	توصیف	نتایج حاصل از تفسیر داده‌های ماهواره‌ای در مورد پایداری منابع آب و وضعیت دشت سیستان
۱۹۷۲-۷۳	۰/۳۳۳	پرآبی خفیف	-۱/۱۱	خشکسالی شدید	خشکی کامل گودرزه و هامون هیرمند وسعت نسبی کم دو هامون دیگر- خشکی نسبی دشت سیستان
۱۹۷۴-۷۵	-۰/۳۸۸	کم آبی خفیف	۰/۷۶	ترسالی متوسط	خشکی محسوس در کل دشت سیستان محدود شدن هامون هیرمند به حداقل وسعت کم عمق شدن در هامون دیگر و عدم رسیدن آب کافی به گودرزه
۱۹۷۵-۷۶	۰/۸۷۵	پرآبی متوسط	-۰/۷۲	خشکسالی متوسط	خشکی کامل دشت در ابتدای دوره و انباشته شدن دریاچه‌ها از منابع غنی آب در آخر دوره، رسیدن هامون هیرمند به حداکثر وسعت خود و رسیدن آب کافی به گودرزه
۱۹۷۶-۷۷	-۰/۳۶۲	کم آبی خفیف	-۰/۵۲	خشکسالی متوسط	پر بودن نسبی دریاچه‌ها در ابتدای دوره گسترش مطلوب پوشش گیاهی و حفظ عمق آب در طول دوره
۱۹۸۱-۸۲	۰/۸۸۰	پر آبی متوسط	-۰/۱۳	نرمال	وجود مقادیر قابل توجه آب در مخازن چاه نیمه و پر بودن دریاچه‌ها پرآبی هامون هیرمند و باقیماندن منابع آب بطور نسبی تا پایان فصل گرما
۱۹۸۳-۸۴	-۰/۹۲	کم آبی متوسط	۰/۲۹	خشکسالی خفیف	کاهش قابل ملاحظه وسعت هامون‌ها خشکی کامل هامون هیرمند در اوایل تابستان و کاهش عمق هامون صابری و پوزک وجود آب گودرزه
۱۹۸۴-۸۵	-۱/۰۴	کم آبی شدید	۰/۴۱	ترسالی خفیف	تفکیک هامون‌ها و تحلیل نسبی آنها در پایان بهار، هامون هیرمند ناپدید شده است کاهش قابل ملاحظه هامون صابری و پوزک و باقی ماندن گودرزه در ابتدا و انتهای سال
۱۹۸۵-۸۶	-۰/۲۷۶	کم آبی خفیف	-۱/۴۳	خشکسالی شدید	خشکی کامل هر سه هامون در ابتدای سال و آگیری هامون‌های شمالی در پایان دوره کوچک شدن گودرزه و تحلیل تدریجی آن - خشکی هامون هیرمند در پایان
۱۹۸۶-۸۷	-۰/۶۸۳	کم آبی متوسط	۰/۳۳	ترسالی خفیف	خشکی کامل هامون هیرمند برائردوره کم آبی ۴ سال گذشته تبدیل گودرزه به دویخش مجزا پایداری دو هامون شمالی
۱۹۸۷-۸۸	-۰/۵۸۹	کم آبی متوسط	-۱/۶۱	خشکسالی بسیار شدید	خشکی دشت برای چندمین سال متوالی کاهش وسعت هامون پوزک، خشکی کامل هامون صابری و هیرمند و در معرض فرسایش بودن کل دشت
۱۹۸۸-۸۹	۰/۴۰۵	پرآبی خفیف	۰/۵۴	ترسالی متوسط	پر شدن هرسه هامون پس از سالها خشکسالی، عدم جریان آب به سمت گودرزه و محو شدن تدریجی آن

ادامه جدول ۴

سال آبی	شاخص استاندارد تخلیه سالانه هیرمند	توصیف	شاخص استاندارد بارش زابل	توصیف	نتایج حاصل از تفسیر داده‌های ماهواره ایی در مورد پایداری منابع آب و وضعیت دشت سیستان
۱۹۸۹-۹۰	۰/۹۰۴	پرآبی متوسط	۱/۸۰	ترسالی شدید	افزایش قابل ملاحظه سطح دریاچه و اتصال آنها به یکدیگر و گسترش آنها به حداکثر ممکنه پرشدن گودرزه در اوایل تابستان و پرآبی شدید شبله - ورودی بالای خاش رود
۱۹۹۰-۹۱	۲/۷۸	پرآبی بسیار شدید	۰/۴۱	ترسالی خفیف	ورود مقادیر زیادی آب در اواخر زمستان افزایش سریع سطح هامونها و اتصال آنها، گسترش هامون هیرمند به جنوبی ترین حد خود، شواهد بروز سیل در دشت سیستان، قطع ارتباط هامون، در اواخر تابستان گسترش شدید گودرزه
۱۹۹۱-۹۲	۰/۲۶	پرآبی خفیف	۰/۴۶	ترسالی خفیف	افزایش سطح دریاچه‌ها تا اردیبهشت ماه و برقراری ارتباط بین آنها، کاهش عمق و وسعت گودرزه
۱۹۹۲-۹۳	-۰/۰۵	نرمال	۱/۶۹	ترسالی بسیار شدید	ثابت و پایدار بودن سطح عمق و ۳ دریاچه اصلی، سرازیر شدن آب به سمت گودرزه و افزایش نسبی وسعت آن، پوشش گیاهی مطلوب در سطح دشت افزایش مشخص سطح هامونهای شمالی
۱۹۹۳-۹۴	-۰/۸۱۶	کم آبی متوسط	-۰/۲۹	خشکسالی خفیف	جداشدن هامون و خشکی نسبی هامون هیرمند در اوایل زمستان بالا بودن نسبی سطح آب در گودرزه و شبله، افزایش آب هامون‌های صابری و پوزک در بهار
۱۹۹۴-۹۵	-۰/۶۱۷	کم آبی متوسط	۲/۰۲	ترسالی شدید	خشکی نسبی سطح هامون هیرمند و نابودی آن در بهار، کاهش ذخایر چاه نیمه در پایان سال، افزایش نسبی آب دو دریاچه شمالی در بهار
۱۹۹۵-۹۶	-۰/۳۷۰	کم آبی خفیف	-۰/۱۱	نرمال	افزایش نسبی سطح سه هامون در اوایل بهار، بهم پیوستن نسبی هر سه هامون
۱۹۹۶-۹۷	-۰/۵۶	کم آبی متوسط	۰/۷۹	ترسالی متوسط	کاهش نسبی سطح هامون هیرمند و گودرزه در بهار، کاهش نسبی عمق شمال غرب گودرزه، افزایش نسبی آب در دو دریاچه شمالی
۱۹۹۷-۹۸	۰/۲۲	پرآبی خفیف	۰/۵۶	ترسالی متوسط	گسترش نسبی هامون در فصل بهار و کاهش نسبی اندازه آنها در پایان تابستان، گسترش گودرزه به لحاظ عمقی و سطحی
۱۹۹۸-۹۹	-۱/۰۸	کم آبی شدید	-۰/۸۸	خشکسالی متوسط	پر بودن هامون‌ها در بهار و برقراری ارتباط بین آنها، کاهش شدید سطح و عمق هامون هیرمند در نیمه تابستان و کاسته شدن از سطح گودرزه
۱۹۹۹-۲۰۰۰	-۱/۵۰	کم آبی بسیار شدید	-۱/۶۵	خشکسالی بسیار شدید	خشکی کامل هر سه هامون در بهار و کاهش شدید سطح گودرزه، کاهش مساحت چاه نیمه‌ها و عمق آنها
۲۰۰۰-۲۰۰۴	-۱/۵۳	کم آبی بسیار شدید	-۱/۰۵	خشکسالی شدید	خشکی کامل دریاچه‌ها و ناپدی شدن آنها، کاهش شدید مساحت گودرزه، بی دفاعی کامل دشت سیستان در برابر قدرت فرسایش باد.



شکل ۱۱- تغییرات سطح هامون‌های پوزک و صابری طی دو سال شاخص ترسالی (۱۹۷۶) و خشکسالی هیدرولوژیک (۱۹۸۱) (خسروی، ۱۳۸۴)



شکل ۱۰- تغییرات پوشش سطح سه هامون اصلی طی دوره زمانی ۲۰۰۲-۱۹۷۶ (با استناد به داده‌های: UNEP 2006)

با توجه به نتایج جدول ۴ و با توجه به گستره فضایی-زمانی دریاچه‌ها و شواهد تحلیل شده، چهار دوره مشخص قابل تشخیص است.

- ۱- دوره کم آبی ۱۳۶۷-۱۳۶۴
- ۲- دوره پرآبی ۱۳۷۲-۱۳۶۸
- ۳- دوره میانگین ۱۳۷۸-۱۳۷۳
- ۴- دوره خشکی ۱۳۸۳-۱۳۷۹

در بین پهنه‌های آبی منطقه هامون هیرمند ناپایدارترین و گودزره پایدارترین آنها می‌باشد. اهمیت خشکسالی‌های هیدرولوژیک از خشکسالی‌های اقلیمی در ناپایداری هامون‌ها بیشتر است به عبارت دیگر نقش بارز ورودی آب هیرمند و شعبات آن در پایداری هامون‌ها بسیار با اهمیت تر از شرایط بارش دشت سیستان است. احداث سد در مناطق بالا دست هیرمند در کشور افغانستان بخصوص کجکی با ذخیره ۱۸۰۰ میلیون متر مکعب (UNEP, 2003) (شکل ۹) و ارغنداب با ذخیره ۴۸۰ میلیون متر مکعب در عدم پایداری هامون‌ها اهمیت بیشتری دارد. در خشکسالی شدید سالهای اخیر بدون شک یکی از دلایل نابودی کامل هامون‌ها این ذخایر می‌باشند.

متاسفانه تداوم تواتر خشکسالی‌ها که ناشی از تغییرات مشهود اقلیمی (Climate Change) در حوضه بالادست رود هیرمند بوده است به همراهی عوامل دیگری همچون افزایش شدید جمعیت، طرحهای ذخایر برق آبی، بهره‌برداری غیراصولی از منابع آب جهت آبی‌پروری باعث تغییر پایداری هامون‌ها و از همه مهمتر تغییر پوشش زمین (Land Cover) در آنها شده است. شکل ۱۱ که براساس دادهای حاصل از مطالعات بین‌المللی اخیر ترسیم شده است می‌تواند این واقعیت تلخ را نشان دهد که حتی در صورت ورود آب کافی این پهنه‌ها قادر به ایفای نقش هیدرولوژیک خود نخواهند بود. مقایسه سه هامون اصلی طی سالهای ۱۹۷۶، ۱۹۹۸ و ۲۰۰۲ نشان می‌دهد که از تنوع پوشش زمینی کاسته و ماهیتاً به اراضی بایری جهت تغذیه بار جامد بادهای ۱۲۰ روزه تبدیل شده‌اند (شکل ۱۰). نهایتاً مشخص می‌گردد دریاچه‌های هامون به عنوان یکی از ناپایدارترین پهنه‌های آبی دنیا از سالی به سال دیگر نوسانات شدیدی را نشان می‌دهند که در خشکسالی‌های هیدرولوژیک با اضمحلال کامل این پهنه‌های آبی همراه است (شکل ۱۱).

۵- جمع بندی و نتیجه گیری

در این مطالعه پس از تشریح اهمیت و وضعیت مورفولوژیک و لیمونولوژیک دریاچه‌های هامون سه گانه، تغییرات سطح دریاچه‌ها بررسی گردید و با استفاده از داده‌های ماهواره Topax طی دوره ۱۹۹۲ تا ۲۰۰۲ براساس نتایج اندازه‌گیری روزانه فراوانی تغییرات سطح هامون پوزک و اثر نوسانات دبی ورودی آب بر این نوسانات روشن گردید. این اطلاعات نشان داد که بخش اعظم سطح هامون پوزک که پایدارترین دریاچه‌ها می‌باشد، در سالهای اخیر بیشتر خالی از آب بوده و در معرض هوا و وزش باد بوده است.

استخراج نتایج حاصل از تفسیر داده‌های ماهواره‌ای منطقه و سطح دریاچه‌های هامون در قالب سری زمانی نشان داد که در شرایط ترسالی هیدرولوژیک سطوح دریاچه‌ای کاملاً به یکدیگر متصل ده و یک هلال آبی وسیع را در دشت سیستان تشکیل می‌دهد. این شرایط که با ورود تا هفت میلیارد متر مکعب آب در منطقه همراه است و پایداری هامون‌ها و به تبع آن شرایط مطلوب اکولوژیک و اقلیمی را موجب می‌شود، در خشکسالی‌های هیدرولوژیک سطوح هامون‌ها به صورت کاملاً عریان در معرض وزش بادهای شدید منطقه قرار گرفته و رسوبات دریاچه‌ای همراه طوفان‌های گرد و غباری بخش وسیعی از جنوب غرب افغانستان و جنوب شرق ایران را تهدید می‌کند با توجه به افزایش شدت و فراوانی طوفانهای گرد و غباری، حیات در تمام جنبه‌ها در دشت سیستان در معرض خطر است. بادهای ۱۲۰ روزه در مقیاس سینوپتیکی - محلی می‌وزند و تقریباً غیرقابل کنترل می‌باشند. اما در بین منابع موجود تغذیه بار جامد آنها، بستر خشکیده هامون‌ها مهمترین نقش را دارد. در صورت خشکی هامون‌ها میلیون‌ها متر مکعب رسوبات ریزدانه بستر آنها بخصوص حد فاصل هامون صابری و پوزک با بادهای ۱۲۰ روزه همراه شده و حیات را در دشت سیستان تهدید می‌کنند. بخشی از این بار معلق مجدداً وارد منابع آبهای سطحی شده و در یک سیکل بسته به ادامه این فرایند مخرب کمک می‌کند.

از دیدگاه مدیریت منابع آب در اینگونه مناطق بی‌نظیر اکولوژیکی ارزش آب با سایر نواحی دنیا متفاوت است. برای حفظ پایداری هامون‌ها که حیات منطقه حفاظت شده هامون به آن وابسته است، تلاش همه جانبه‌ای با مشارکت کشور افغانستان و در قالب همکاری با نهادهای بین‌المللی جهت احیاء و پایداری این گنجینه ارزشمند جهانی ضروری است.

۶- مراجع

پارس ویستا، (۱۳۷۵)، "طرح مطالعات زیست محیطی استان سیستان و بلوچستان، کتاب اول: بررسی و بهره‌برداری از دریاچه هامون مرحله دوم"، طرح پژوهشی اداره کل حفاظت محیط زیست استان سیستان و بلوچستان.

پورکرمانی، م.، زمردیان، م. ج. (۱۳۶۷)، "بجی پیرامون ژئومورفولوژی استان سیستان و بلوچستان، ویژه نامه آب و خاک زابل"، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، شماره ۹، صص ۸۱-۱۰۰.

تجریشی، م.، ابریشم‌چی، ا.، تفرج نوروز، ع.، طاهری، ح. (۱۳۷۹)، "شبیه‌سازی تغییرات تراز آب دریاچه هامون‌ها"، مجموعه

- مقالات مجله دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شریف، صص ۱۹-۲۹.
- منصوری، ج. و مجنونیان، ه. (۱۳۶۴)، "تالاب هامون پناهگاه حیات وحش هامون"، انتشارات سازمان حفاظت محیط زیست، تهران.
- Burger, A, (2005), "Calibration of a precipitation runoff model for the Hirmand River in Afghanistan and Iran using remote sensing data", *Delft university of technology, Faculty of Civil Engineering and Geosciences, Department of Water Management, M.S Thesis.*
- Dhondia, J and Others, (2006), "Integrated Water Resources Management for the Sistan Closed Inland Delta, Iran", ANNEX F, *Delft hydraulics in cooperation with ITC and Alterra Version 1.2.*
- Hajiamiri, S, (2005), "The contribution of the Hamoun wetland to the socio-economic development of Sistan, a closed inland delta in Iran", *MSc thesis, Delft University of Technology, Faculty of Management, Technology and Policy Analysis in co-operation with WL | Delft Hydraulics.*
- Kwadijk, K and others, (2006), "Integrated Water Resources Management for the Sistan Closed Inland Delta, Iran", ANNEX B, *Delft hydraulics in cooperation with ITC and Alterra Version 1.2.*
- Mansoori, J. (1994), "The Hamoun wildlife refuge", *Max Kasperek Verlag, Heidelberg, ISBN 3-925064-15-X.*
- Penning, E. and Others, (2006), "Integrated Water Resources Management for the Sistan Closed Inland Delta, Iran", ANNEX D, *Delft hydraulics in cooperation with ITC and Alterra Version 1.2.*
- Scott, D. A. and Smart, M. (1992), "Wetlands of the Sistan Basin, South Caspian and Fars, Islamic Republic of Iran", *Ramsar Convention Monitoring Procedure Report No.26. Ramsar Convention Bureau, Gland, Switzerland. 53 p.*
- Topax/Poseidon Jason, (2005). Website (<http://sealevel.jpl.nasa.gov/mission/mission.html>)
- UNEP, (2003), "Afghanistan post-conflict environmental assessment", *Geneva, United Nations Environment Program Report.*
- UNEP, (2005), "History of Environmental Change in the Sistan Basin", *UNEP Post-Conflict Branch Geneva, United Nations Environment Program Report.*
- تهران سحاب، (۱۳۷۱)، "طرح بهره برداری بهینه از آب هیرمند، جلد ۲- هیدرولوژی رودخانه سیستان"، طرح پژوهشی سازمان آب منطقه‌ای استان سیستان و بلوچستان.
- حسین زاده، ر. (۱۳۷۶)، "بادهای ۱۲۰ روزه سیستان"، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، شماره ۴۶، صص ۱۲۷-۱۰۳.
- خسروی، م. (۱۳۶۸)، "اثرات نامساعد بیو کیمایی ناشی از عوامل طبیعی در دشت سیستان"، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، شماره ۱۳، صص ۱۸۵-۱۶۳.
- خسروی، م. (۱۳۶۷)، "اثرات متقابل انسان و محیط در دشت سیستان"، مقاله ارائه شده در سمینار بررسی توانهای طبیعی استان سیستان و بلوچستان با توجه به برنامه‌ریزی ناحیه‌ای، مرکز هماهنگی مطالعات محیط زیست دانشگاه تهران.
- خسروی، م. (۱۳۸۴)، طرح پژوهشی "اثرات اکولوژیکی و زیست محیطی بادهای ۱۲۰ روزه سیستان" اداره کل حفاظت محیط زیست استان سیستان و بلوچستان، پژوهشکده علوم زمین و جغرافیای دانشگاه سیستان و بلوچستان، سازمان حفاظت محیط زیست استان سیستان و بلوچستان.
- خسروی، م. (۱۳۸۷)، "تاثیرات محیطی اندرکنش نوسان‌های رودخانه هیرمند با بادهای ۱۲۰ روزه سیستان"، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، شماره ۶۲، صص ۴۸-۱۹.
- سازمان عمران سیستان (۱۳۷۱)، "طرح وضعیت گذشته و موجود بخش‌های مختلف در رابطه با توسعه پایدار منطقه سیستان، جلد اول: آب و خاک"، طرح پژوهشی سازمان عمران سیستان.
- ضیاء توانا، م. ح. (۱۳۷۱)، "ویژگیهای محیط طبیعی چاله سیستان"، مجموعه مقالات جغرافیایی، انتشارات موسسه گیئاشناسی، تهران ۱۳۷۱.
- طاهری شهرآیینی، ح.، تجربی، م.، جلالی، ن. و ابریشم‌چی، ا. (۱۳۸۰)، "ارائه یک مدل تجربی ذوب برف برای حوضه آبریز هیرمند با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای"، مجموعه مقالات سومین کنفرانس هیدرولیک ایران، دانشکده فنی دانشگاه تهران.
- ماکویی، ج. (۱۳۶۳)، "تعیین سطح نیزارهای دریاچه‌های هامون و تغییرات سطح آن با استفاده از اطلاعات ماهواره‌ای"، انتشارات سازمان برنامه و بودجه، شماره ۵۶.