

نقش یخچال های ایران بر جریان رودخانه ها و برآوردی از حجم آنها

چکیده

یخچال های ایران جزء منابع آبی هستند که نسبت به آنها شناخت بسیار کمی وجود دارد. سطح این یخچال ها در حدود ۲۷ تا ۳۲ کیلومتر مربع برآورد شده است و شواهد حاکی از کاهش حجم آنها می باشد، اتفاقی که به طور کلان در سطح یخچال های جهان در حال وقوع است. اما از تأثیر کاهش این منابع بر آبدهی رودخانه هایی که از آنها نشأت می گیرند، مطالب چندانی موجود نمی باشد. در این مقاله تلاش شده است، تا در حد ممکن با اطلاعات موجود، تحلیلی از تغییرات آبدهی این رودخانه ها با استفاده از آزمون های آماری مانند روند و همگنی انجام شود. بر اساس نتایج حاصل، به جز در مواردی اندک، زوال تدریجی یخچال ها تغییرات معنی داری در آبدهی ها ایجاد ننموده است، ضمن اینکه این تغییرات را نمی توان صرفاً به پسروی یخچال ها نسبت داد. همچنین براساس چهار روش تجربی برآوردی از حجم این منابع در کشور به دست آمد. بر اساس این روش ها، حجم موجود این منابع بین $0/85$ تا $2/3$ میلیارد مترمکعب برآورد می گردد. هر چند، روشهایی که رقم $2/3$ میلیارد مترمکعب را نتیجه می دهد، با پاره ای از اندازه گیری های میدانی در یخچال های زرد کوه هماهنگی بیشتری دارد.

واژه های کلیدی: یخچال های ایران، آبدهی رودخانه های یخچالی، همگنی و روند سری های جریان، حجم یخچال.

مقدمه

تاریخ ثبت شده از یخچال های ایران، به گزارشات اروپاییان در این خصوص بر می گردد. اولین اروپایی که وجود یخچال را در رشته کوه های البرز شناسایی کرد، فردی بود به نام Busk که یافته های خود را در مجله آپین به چاپ رساند (Busk, ۱۹۳۳, ۳۳۴). به فاصله کمی فرد دیگری به نام Hans Bobek که به ایران سفرهای زیادی داشت، مطالعاتی را روی گستره یخچال های ایران در آن زمان و ما قبل آن، به انجام رساند (Bobek, ۱۹۳۷, ۱۹۳۴, ۳۵۹؛ ۱۹۳۰). بعد از آن هم نیز گروه هایی مانند Harding (۱۹۵۷)، Schweizer (۱۹۷۰، ۱۶۳) و (۱۱۲، ۱۹۵۷) روی یخچال های ایران کار کردند. ویژگی کار گروه هایی مانند Schweizer (۱۹۷۰، ۱۹۶۳)، استفاده از عکس های هوایی برای اولین بار برای فهرست برداری یخچال های ایران بود. Schweizer (۱۹۷۰)، مجموعه این یافته ها، سطح این منابع یخی را در ایران حدود ۲۰ کیلومتر مربع برآورد نمود (Ferrigno, ۱۹۹۱)، که مسلماً دلایلی مانند عدم مراجعت آنها به تمام یخچال های کشور و استفاده از ابزار های غیر دقیق، سبب گردیده که دقت لازم را نداشته باشد. اما کار ارزشمند وزیری (۱۳۸۲)، اولین کار جامع روی مطالعه یخچال های کشور بود. در این کار از یخچال های کشور فهرست برداری دقیقی به عمل آمد که سطح آنها حدود ۳۲ کیلومترمربع برآورد شد. آخرین مطالعه

در این خصوص توسط Mousavi و همکاران (۹۳، ۲۰۰۹)، انجام شد که در آن از تصاویر ماهواره‌ای استفاده گردیده است. این محققین فهرست برداری جدیدی از یخچال‌های کشور ارائه دادند که نهایتاً سطح کل را حدود ۲۷ km² محاسبه نمودند. وجود اختلاف در سطوح اعلام شده تا حدی به این دلیل است که بخشی از یخچال‌های کشور در زیر واریزه‌ها مدفون هستند که اندازه گیری آنها را با مشکل مواجه می‌کند. از سوی دیگر زوال آنها در فاصله زمانی دو تحقیق می‌تواند عامل دیگر باشد که در گزارشات مختلف به آن اشاره شده است (Ferrigno, ۱۹۹۱ و وزیری، ۱۳۸۲).



شکل ۱) تفاوت سطح در بخشی از یخچال‌های اشتران کوه در مرداد ۱۳۷۰ و شهریور ۱۳۸۸
(مؤسسه تحقیقات آب، ۱۳۸۸)

اما اینکه این منابع تا چه حدی در جریان رودخانه‌های کشور نقش دارند، بحثی است که تاکنون به آن پرداخته نشده است. بدیهی می‌باشد که تأثیر این منابع بر ذوب رودخانه‌ها، تابع حجم آب موجود در یخچال‌ها می‌باشد و پاسخ به آن نیز به اطلاعات دقیقی مانند سطح سنگی و عمق سنگی نیاز دارد که شاید از اصلی ترین دلایل نپرداختن به آن باشد. البته این مشکل تنها منحصر به ایران نیست و چنین اطلاعاتی معمولاً به ندرت قابل دسترسی هستند.

به دلیل همین محدودیت اطلاعات، از دیر باز روابطی تجربی برای آن ارائه شده که عمدتاً تابع سطح یخچال هستند. مانند روش‌های که توسط Yerasov (۱۹۶۸، ۱۹۷۰)، Steinhauser (۱۹۷۰، ۱۹۷۵)، Chen (۱۹۹۰، ۱۹۹۴)، Ohmura (۱۹۷۰، ۱۹۷۵) و Bahr و همکاران (۱۹۹۶، ۲۰۳۵۵)، ارائه شده اند. Bedford (۱۹۹۷)، این روابط را برای برآورد حجم یخچال‌های ناحیه آموردیا در آسیای مرکزی استفاده نمود. این یخچال‌ها سطحی بین ۱/۶ تا ۱۵۶ کیلومتر مربع را دارا بودند که تا حدی می‌بین محدوده قابل استفاده آنها می‌باشد. بدیهی است که هر یک از روش‌ها، احجام مختلفی را برآورد کردند که تفاوت های معنی داری میان آنها وجود داشت. به عنوان مثال، در خصوص یخچالی با نام Fedchenko با سطح ۱۵۶ کیلومتر مربع در این ناحیه، حجمی بین ۲۷ تا ۱۴۰ کیلومترمکعب برآورد شد. در تحقیق جدیدی نیز با استفاده از روش Bahr و همکاران (۱۹۹۶، ۲۰۳۵۵)، تخمین توزیع ضخامت بخ و حجم تعدادی یخچال کوچک واقع در کوهستان‌های آلپ سوئیس با مساحت کل $1063 \pm 10 \text{ km}^2$ به انجام رسید که در نهایت حجم، حدود $74 \pm 9 \text{ km}^3$ محاسبه گردید (Farinotti et al., ۲۰۰۹، ۲۲۵).

هدف از این تحقیق نیز ارزیابی روش‌های فوق در برآورد حجم یخچال‌های کشور و بررسی تغییرات ممکن در جریان تعدادی از رودخانه‌های کشور با منشاً یخچالی می‌باشد.

داده‌ها و روش‌ها

- رودخانه های یخچالی کشور و آمار مربوط

یخچال ها منشأ تعدادی از رودخانه های کشور در رشته کوه های البرز و زاگرس هستند که از این بین می توان به رودخانه سرداب و رودخانه سه هزار (منطقه یخچال علم کوه)، رودخانه های انارچای، قوریچای و درویش چای (منطقه یخچال سبلان)، رودخانه دلیچای از شعب رودخانه هراز (منطقه یخچال دماوند) قاتان، ماربره، تخت شاه و دره الوند (منطقه یخچال اشتaran کوه) و کوهرنگ (منطقه یخچال زردکوه) اشاره کرد (وزیری، ۱۳۸۲).

برای رودخانه های این محدوده، ابتدا ۱۳ ایستگاه آب سنجه شناسایی شد. اما تعطیلی و نبود آمار کافی از آنها در نهایت این تعداد را به ۳ ایستگاه تقلیل داد، که عبارت اند از رودبارک (بر روی سرداب رود)، نیر (نیرچای) و ماربره (دره تخت) (جدول ۱). این ایستگاه ها در بیشترین مقدار خود در ارتفاع ۲۰۰۰ متر از سطح دریا قرار دارند و همگی در ارتفاعات پایین تر از خط برف (۴۵۰۰ تا ۴۰۰۰) واقع شده اند.

جدول ۱) رودخانه های مورد مطالعه و ایستگاه های منتخب

منطقه یخچالی	نام ایستگاه	شماره ایستگاه	ارتفاع از سطح دریا (m)	طول دوره	آورد متوسط سالانه (m^3/s)
علم کوه	رودبارک (چشمه کیله)	۱۶-۰۲۳	۱۵۰۰	۱۳۳۶-۱۳۸۶	۲/۹۶
سبلان	نیرچای	۱۹-۰۵۱	۱۶۲۴	۱۳۵۳-۱۳۸۶	۱/۲۶
اشتران کوه	دره تخت	۲۱-۲۷۷	۲۰۰۰	۱۳۳۷-۱۳۸۶	۷/۰۵

- بررسی تغییرات رژیم آبدی، همگنی و روند در رودخانه های یخچالی

برای این تحقیق دو عامل برای بررسی تغییرات نقش یخچال ها در آورد رودخانه های مربوط، مورد بررسی قرار گرفت که عبارت اند از: ۱) تغییر در جریان پایه در ماه های بدون بارندگی و ۲) تغییر در زمان پرآبی های رودخانه ها. هر گونه کاهش معنی دار در حجم و مشارکت آنها در جریان رودخانه می تواند باعث گردد تا در فصول گرم تر جریان پایه کاهش یابد و باعث ناهمگنی بین مشخصات آماری آنها شود. تغییر در زمان پرآبی نیز از آنجا نشأت می گیرد که گرم شدن هوا باعث ذوب بیشتر و تسریع در رواناب می گردد که حداقل برای مدتی، افزایش دبی در ماه های سرد و کاهش آن را در ماه های گرم را به دنبال خواهد داشت. رخداد معنی دار این موارد، با تعدادی از آزمون های همگنی و روند قابل بررسی هستند که در ادامه تشریح می گردد.

۱- بررسی همگنی داده ها

برای بررسی همگنی در سری فصلی و ماهانه جریان، روش مقایسه مقادیر میانگین ها (آلدر و راسلر، ۱۳۷۹)، و روش غیرپارامتریک من ویتنی (Maidment، ۱۹۹۲)، بر روی بازه های مختلف سری زمانی داده ها به انجام رسید که شرح مختصری از آنها در ادامه آورده شده است.

مقایسه میانگین ها: در این آزمون میانگین دو سری داده با یکدیگر مقایسه شده و وجود تفاوت معنی دار میان آنها مورد ارزیابی قرار می گیرد. اگر سری اول داده ها (x_i) دارای میانگین μ_x با n_1 داده و نمونه دوم (y_i) دارای میانگین μ_y با n_2 داده باشند، مقداری برای پارامتر t مطابق مراحل زیر قابل تعریف است که از توزیع t -student تبعیت می کند. فرض صفر در این آزمون، مساوی بودن میانگین دو نمونه می باشد و یک آزمون دو طرفه برای آنها استفاده می گردد. لازم به ذکر است که سطح معنی داری ۵٪ برای این آزمون در نظر گرفته شد.

$$t = \frac{\mu_x - \mu_y}{S_{x-y}} \quad (1)$$

$$S_{x-y} = \sqrt{S_1^2 + S_2^2} \quad (2)$$

$$S_2 = \frac{S}{\sqrt{n_1}} \quad (3)$$

$$S_2 = \frac{S}{\sqrt{n_2}} \quad (4)$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n_1} (x_i - \mu_x)^2 + \sum_{i=1}^{n_2} (y_i - \mu_y)^2}{n_1 + n_2 - 2}} \quad (5)$$

آزمون من ویتنی: این آزمون برای بررسی همگنی داده‌های استفاده می‌شود که به دو بخش نسبتاً مساوی تقسیم شوند. در این صورت انتظار می‌رود که اگر عواملی مانند تغییر شرایط اقلیمی بر آنها اثر نگذارد، جمع مرتبه داده‌ها در دو بخش، تفاوت معنی داری با هم نداشته باشد.

من ویتنی برای ارزیابی معنی دار بودن این تفاوت، آماره‌ای را به نام U معرفی کرد که تابع اندازه دو نمونه و جمع رتبه‌ها در آنها می‌باشد. برای این منظور در ابتدا نمونه N تایی در جهت صعودی ردیف می‌گردد و دو کمیت زیر برآورد می‌شود:

$$U_1 = mn + \frac{m}{2}(m+1) - Rm \quad (6) \qquad U_2 = mn - U_1 \quad (7)$$

که در آن m و n به ترتیب اندازه‌های زیر نمونه‌های کوچک تر و بزرگ تر و Rm جمع مرتبه‌ها در نمونه m می‌باشد. اگر از دو مقدار U_1 و U_2 ، مقدار کمتر آنها U نامیده شود، برای محاسبه آماره Z آزمون خواهیم داشت: پارامتر Z از توزیع T -student با درجه آزادی $2(m-1)$ تبعیت می‌کند و سطح معنی داری برای این آزمون نیز ۵ درصد درنظر گرفته شد.

$$Z = \frac{U - mn/2}{\frac{1}{2}[mn(m+n+1)]} \quad (8)$$

۲- بررسی روند در داده‌ها

اگر اندازه‌گیری‌های متوالی یک سری زمانی تدریجیاً دچار تغییراتی گردد، سپس کم و بیش روندی در آنها بر اساس ترتیب رخداد داده‌ها قابل مشاهده خواهد بود. آزمون‌های اسپیرمن و کندال نیز برای بررسی معنی داری این تغییرات مورد استفاده قرار گرفتند (Maidment, ۱۹۹۲).

آزمون اسپیرمن: اگر سری Ri و i که از ۱ تا N تغییر می‌کند، به ترتیب تاریخ وقوع، در کنار هم قرار گیرند، همچنین مرتبه Y_i و R_i (rank) ترتیب وقوع Ri باشد، سپس ضریب مرتبه همبستگی (r_s) اسپیرمن مطابق رابطه ۹ قابل محاسبه می‌باشد:

$$r_s = 1 - \left(6 \sum d_i^2 \right) / \left(n^3 - n \right) \quad (9)$$

برای نمونه‌ای با اندازه N آماره t ، مطابق زیر از توزیع t -student با درجه آزادی $N-2$ تبعیت می‌کند:

$$t = r_s \left[(N-2) / \left(1 - r_s^2 \right) \right]^{\frac{1}{2}} \quad (10)$$

فرض صفر این آزمون این است که روندی نسبت به زمان، به سمت بالا یا به سمت پایین در داده ها وجود ندارد، لذا یک آزمون دو طرفه برای آن مورد استفاده قرار می گیرد.

آزمون من کند: آزمون بر اساس نسبت ترتیب مشاهداتی است که از حدی خاص بالاتر باشد. بدین منظور برای سری x_n تا x_1 ، تعداد (P) جفت مشاهداتی ($i > j$; x_i, x_j) که بزرگتر از x_i می باشد، محاسبه می گردد که به ترتیب زیرمجموعه های (i, j) ، برابر است با: $(i=1, j=N), (i=1, j=2, \dots, N), (i=2, j=3, \dots, N), \dots$ و $(i=N-1, j=N)$. حداکثر مقدار P زمانی است که داده ها کاملاً به طور صعودی باشند ($P = N(N-1)/2$). عکس آن زمانی است که داده ها نزولی باشند ($P = 0$). روش با آماره ای خاص این محدوده را بررسی می کند و وجود و یا عدم وجود روند در داده ها را مشخص می نماید. (Koteegoda, ۱۹۸۰).

- برآورده حجم آبی یخچال ها

در این بخش برآورده از ابعاد یخچال ها ایران هر چند بسیار تقریبی با استفاده از داده های موجود صورت می گیرد. چهار روش Yerasov (۱۹۶۸)، Steinhauser (۱۹۷۰)، Chen (۱۹۷۰) و Ohmura (۱۹۹۰) و Bahr (۱۹۹۶) و همکاران (۲۰۳۵۵)، در تحقیقات مختلف بیشتر مورد توجه بوده اند (در تمام روابط واحد سطح بر حسب km^3 و واحد حجم بر حسب km^3 می باشد) که در ادامه به آنها اشاره می گردد:

روش Yerasov (۱۹۶۸)، حجم یخچال را به طور مستقیم با استفاده از مساحت رویین آن (S) و از رابطه زیر محاسبه می کند:

$$V = 0.027 S^{1.5} \quad (11)$$

روش Steinhauser (۱۹۷۰)، میانگین ضخامت عمودی یخچال را به کمک رابطه زیر به دست می آورد و با ضرب این عدد در سطح یخچال، حجم تقریبی آن را محاسبه می کند:

$$H = 0.001(11.7 + 5.67S) \quad (12)$$

رابطه بعدی حاصل از تحقیق Chen و Ohmura (۱۹۹۰)، می باشد که از مطالعه روی یخچال های کوهستان آلپ به دست آمده است:

$$V = 0.0285 S^{1.357} \quad (13)$$

روش Bahr و همکاران (۱۹۹۶)، که بیشتر هم مورد توجه بوده است، شکل زیر را دارد (S سطح یخچال بر حسب km^3 می باشد):

$$V = (S^{1.36})/10 \quad (14)$$

نتایج

- تغییرات در رژیم آبی رودخانه ها

برای این بررسی، ماه های وقوع حداکثر دبی در سری ماهیانه دبی رودخانه های سرداب رود (S ، نیر (N) و ماربره (M) در ایستگاه های رودبارک، نیر و دره تخت در جدول (۲) علامت گذاری شده است. ملاحظه می گردد که عمدۀ ایام پرآبی در ایستگاه رودبارک که خرداد و تیر بوده، حفظ شده است. در ایستگاه نیرچای (N) تغییراتی از سال آبی ۱۳۷۶-۷۷ به بعد ملاحظه می گردد که ارقام بالای دبی های ماهیانه از فروردین و اردیبهشت، به اوخر پاییز و زمستان تغییر یافته است. این تغییرات می تواند بیشتر به واسطه خشکسالی های سال های اخیر و یا توسعه اراضی کشاورزی به

مناطق دیم و پرارتفاع باشد و ارتباط آن با تغییرات یخچال مربوط با تردید موواجه است. مانند رودخانه سردارب نیز تغییرات قابل توجهی در ایستگاه ماربره (M)، قابل مشاهده نمی باشد.

جدول ۲) تغییرات جریان حداکثر در سری ماهیانه ایستگاه های سردارب رود (S)، نیر (N) و ماربره (M)

سال آبی	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور
۱۳۳۶-۳۷								S				
۱۳۳۷-۳۸								M				
۱۳۳۸-۳۹								S	M			
۱۳۳۹-۴۰								S	M			
۱۳۴۰-۴۱								S	M			
۱۳۴۱-۴۲								S	M			
۱۳۴۲-۴۳								S	M			
۱۳۴۳-۴۴								S	M			
۱۳۴۴-۴۵								S	M			
۱۳۴۵-۴۶								S	M			
۱۳۴۶-۴۷								S	M			
۱۳۴۷-۴۸								S	M			
۱۳۴۸-۴۹								S	M			
۱۳۴۹-۵۰								S	M			
۱۳۵۰-۵۱								S	M			
۱۳۵۱-۵۲								S	M			
۱۳۵۲-۵۳								S	M			
۱۳۵۳-۵۴								S	N	M		
۱۳۵۴-۵۵								S	N	M		
۱۳۵۵-۵۶								S	N	M		
۱۳۵۶-۵۷								S	M	N		
۱۳۵۷-۵۸								S	N, M			
۱۳۵۸-۵۹								S	N, M			
۱۳۵۹-۶۰								S	N	M		
۱۳۶۰-۶۱								S	N, M			
۱۳۶۱-۶۲								S, N	M			
۱۳۶۲-۶۳								S	N, M			
۱۳۶۳-۶۴								S	N, M			
۱۳۶۴-۶۵								S	M	N		
۱۳۶۵-۶۶								S	N, M			
۱۳۶۶-۶۷								S	N	M		
۱۳۶۷-۶۸								S	N, M			
۱۳۶۸-۶۹								S	N, M			
۱۳۶۹-۷۰								S	N, M			
۱۳۷۰-۷۱								S	N, M			
۱۳۷۱-۷۲								S	M	N		
۱۳۷۲-۷۳								S		N		M
۱۳۷۳-۷۴								S		N		
۱۳۷۴-۷۵								S	N, M			

		S	N	M								۱۳۷۵-۷۶
	S		N	M								۱۳۷۶-۷۷
		S		M		N						۱۳۷۷-۷۸
		S		N, M								۱۳۷۸-۷۹
		S		M				N				۱۳۷۹-۸۰
		S		M	N							۱۳۸۰-۸۱
	S		M	N								۱۳۸۱-۸۲
	S		M		N							۱۳۸۲-۸۳
	S				M		N					۱۳۸۳-۸۴
	S			M		N						۱۳۸۴-۸۵
		S	N	M								۱۳۸۵-۸۶

۱- بررسی همگنی دبی رودخانه ها

آزمون مقایسه میانگین ها: بدین منظور سری زمانی جریان های فصلی و ماه شهریور به دو دسته به صورت زیر تقسیم شدند:

- دسته بنده اول: نمونه اول، میانگین $\frac{1}{3}$ ابتدایی داده ها و نمونه دوم، $\frac{1}{3}$ انتهايی سری های زمانی.

- دسته بنده دوم: نمونه اول، میانگین $\frac{1}{3}$ ابتدایی داده ها و نمونه دوم، $\frac{2}{3}$ انتهايی سری زمانی.

توضیح بیشتر اینکه دوره آماری سه ایستگاه که از سری زمانی ۳۳ تا ۵۰ ساله برخوردار هستند، به دو بخش تقسیم شدند. علت این انتخاب، تلاش برای کاستن از نقش ۱۰ سال آخر آبده ها بود، که بیشتر متاثر از خشکسالی های سال های اخیر می باشد.

نتایج این بررسی ها، در جدول (۳) ارائه شده است. انجام این آزمون بر روی داده های دو ایستگاه دره تخت و رودبار ک نشان می دهد که میانگین دوره های انتخابی تفاوت معنی داری با یکدیگر ندارند. اما در مورد ایستگاه نیزچای، نتایج حاکی از تفاوت معنی دار میانگین ها به غیر از ایام تابستان می باشد. ملاحظه می گردد که از میانگین های دسته ها تماماً در پاییز، زمستان و بهار کاسته شده، ولی در خصوص تابستان و شهریور، افزایش کمی نیز به وقوع پیوسته است. برای تحلیل دقیق این مورد به بررسی های بیشتری نیاز می باشد، مانند تغییرات ریزش های جوی و دما. اما، ذوب بیشتر منابع یخچالی نیز می تواند عاملی باشد که لازم به بررسی است.

آزمون من و یتنی: نتایج حاصل از آزمون من و یتنی نیز در جدول (۳) ارائه شده است. این آزمون هر چند تغییرات بیشتری را نسبت به آزمون قبل نشان داد (به ویژه در دسته بنده اول)، اما بروز مشکل عمده و فراگیری که بتواند تغییرات قابل ملاحظه در آورد، رودخانه را نشان دهد، به همراه نداشت.

جدول (۳) نتایج حاصل از آزمون مقایسه میانگین ها (cms) و من و یتنی

میانگین	مقایسه میانگین ها	اشتران کوه (دره تخت)		علم کوه (رودبار ک)		سبلان (نیزجای)		دسته بنده داده ها	ایستگاه دوره	
		من و یتنی	میانگین	میانگین	مقایسه میانگین ها	من و یتنی	میانگین	مقایسه میانگین ها		
۳,۵۲	✓	✗	۱,۱۹	✓	✓	۱,۳	✗	✗	اول	پاییز
۳,۵۶			۱,۳۲			۰,۹۸				
۲,۹۴	✓	✓	۱,۲۸	✓	✓	۱,۲۱	✓	✓	دوم	زمستان
۴,۳۴			۱,۲۱			۱,۱۸				
۹,۰۸	✓	✓	۰,۸۴	✓	✗	۱,۷۶	✗	✗	اول	بهار
۸,۱۳			۱,۰۱			۱,۴۵				
۷,۵۲	✓	✓	۰,۹	✓	✓	۱,۷۲	✓	✓	دوم	تابستان
۹,۴۴			۰,۹			۱,۶۳				
۱۲,۳۲	✓	✓	۴,۷۸	✓	✓	۱,۷۷	✗	✗	اول	شهریور
۱۲,۹۸			۵,۲۴			۱,۱۷				
۱۰,۰۲	✓	✗	۵,۳۷	✓	✓	۱,۸۶	✓	✗	دوم	تابستان
۱۳,۷۷			۴,۷۱			۱,۵۲				
۳,۱۶	✓	✗	۴,۵۹	✓	✓	۰,۵۶	✓	✓	اول	تابستان
۲,۸۱			۵,۱			۰,۵۷				
۳	✓	✓	۵,۳۳	✓	✓	۰,۵۶	✓	✓	دوم	شهریور
۳,۰۷			۴,۴۸			۰,۵۷				
۲,۱۶	✓	✗	۲,۱۴	✓	✓	۰,۶۱	✓	✓	اول	شهریور
۱,۹			۲,۳۶			۰,۶۷				

۱,۹۸	✓	✓	۲,۲۶	✓	✓	۰,۶	✓	✓	دوم	
۲,۱۲			۲,۱۹			۰,۶۴				

✓) عدم معنی داری آزمون و ✗) معنی داری آزمون و وجود تفاوت میان میانگین ها

۲- بررسی روند در داده‌ها

آزمون‌های این بخش نیز در سه حالت شامل: انجام آن برای کلیه داده‌ها، $\frac{2}{3}$ ابتدایی و $\frac{2}{3}$ انتهایی انجام شد.

آزمون اسپیرمن: بررسی این آزمون نشان می‌دهد (جدول ۴)، که تنها در ایستگاه نیرچای برای فصول پاییز و بهار روندی معنی دار قابل مشاهده است. ولی بررسی فوق برای دسته‌های دو سومی نشان می‌دهد که سری اول از روند کمتری نسبت به دوم بروخوردار هستند. این افزایش می‌تواند هم ناشی از مشارکت یخچال‌ها باشد و هم ناشی از خشکسالی‌هایی که در دوره دوم بیشتر تأثیرگذار بوده اند. البته اگر برای دوره ای شاهد روند افزایشی جریان در فصول پرآب زمستان و بهار و کاهش آن در تابستان بودیم، نقش یخچال‌ها در تغییرات آبدی رودخانه‌ها بهتر قابل توجیه بود.

جدول ۴) نتایج آزمون روند اسپیرمن برای جریان رودخانه در ایستگاه‌های نیرچای، دره تخت و رودبارک

دوره	ایستگاه		
	سبلان	نیرچای	دره تخت
پاییز	*	✓	✓
پاییز: (۲/۳) ابتدایی	✓	✗	✓
پاییز: (۲/۳) انتهایی	✓	✗	✗
زمستان	✓	✓	✓
زمستان: (۲/۳) ابتدایی	✓	✗	✓
زمستان: (۲/۳) انتهایی	✗	✗	✓
بهار	✓	✓	✗
بهار: (۲/۳) ابتدایی	✓	✓	✓
بهار: (۲/۳) انتهایی	✗	✗	✗
تابستان	✓	✓	✓
تابستان: (۲/۳) ابتدایی	✓	✓	✓
تابستان: (۲/۳) انتهایی	✗	✗	✓
شهریور	✓	✓	✓
شهریور: (۲/۳) ابتدایی	✓	✓	✓
شهریور: (۲/۳) انتهایی	✗	✗	✓

علامت "✓" عدم وجود روند و علامت "✗" وجود روند در داده‌ها را نشان می‌دهد.

آزمون کندال: نتایج این آزمون نیز در جدول (۵) ارائه شده است. مانند قبل روند قابل توجه و معنی داری در کل دوره قابل مشاهده نیست و روندهای قالب در دوره‌های دوم ($\frac{2}{3}$ آخر) دیده می‌شوند که مانند قبل، می‌تواند متأثر از خشکسالی‌های سال‌های اخیر باشد.

جدول ۵) نتایج آزمون روند کنداش برای دبی رودخانه در ایستگاه های نیزچای، دره تخت و رودبارک

دوره	ایستگاه		
	سبلان	اشتران کوه	علم کوه
پاییز	*	*	*
پاییز: (۲/۳) اول	✓	x	✓
پاییز: (۲/۳) آخر	✓	x	x
زمستان	✓	✓	✓
زمستان: (۲/۳) اول	✓	x	✓
زمستان: (۲/۳) آخر	x	x	✓
بهار	✓	✓	x
بهار: (۲/۳) اول	✓	✓	✓
بهار: (۲/۳) آخر	x	✓	x
تابستان	✓	✓	✓
تابستان: (۲/۳) اول	✓	✓	✓
تابستان: (۲/۳) آخر	x	x	✓
شهریور	✓	✓	✓
شهریور: (۲/۳) اول	✓	✓	✓
شهریور: (۲/۳) آخر	✓	x	✓

علامت "✓" عدم وجود روند و علامت "x" وجود روند در داده ها را نشان می دهد.

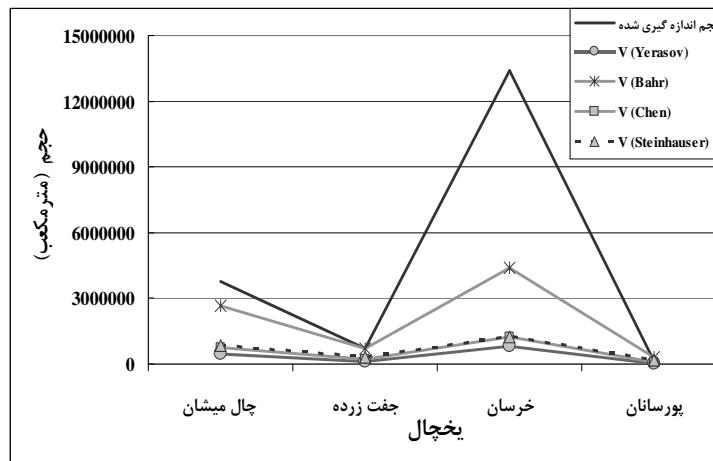
- برآورد حجم یخچال ها

معمولًا برای استفاده از هر رابطه تجربی مانند آنچه در بخش ۲-۳ آمد، ابتدا نیاز به صحت سنگی آنها دارد. چنین داده هایی بسیار نادر هستند و تا آنجایی که برای بررسی سوابق مطالعاتی این تحقیق انجام شد، چنین داده هایی هنگام کار با آنها نبوده است. اما در این خصوص عملیات میدانی توسط مؤسسه تحقیقات آب روی تعدادی از یخچال های منطقه زردکوه به انجام رسیده است (مؤسسه تحقیقات آب ، ۱۳۸۹). این عملیات در شهریور ۱۳۸۸ انجام (شکل ۲) و برای اولین بار با استفاده از دستگاه های قابل حمل GPS (global positioning system) و GPR (ground positioning system) (radar)، سطح و عمق تعدادی از یخچال های این منطقه اندازه گیری شد.

حجم این یخچال ها با استفاده از اطلاعات جمع آوری شده از سطح آنها و بر اساس روابط تجربی ذکر شده در بخش ۲-۳ برآورد شد، که نتایج در شکل (۳) قابل مشاهده هستند. ملاحظه می گردد که نتایج حاصل از روش Bahr و همکاران (۱۹۹۶، ۲۰۳۵۵)، بیشترین شباهت را با اندازه گیری های انجام شده دارد، ضمن اینکه بیشترین مقدار را هم برآورد می کند. برتری این روش در تحقیقات مشابه برای یخچال های آلپینی و نیمه آلپینی نیز تأیید شده است (Farinotti et al., ۲۰۰۹، ۲۲۵).



شکل ۲) عملیات عمق سنجی مؤسسه تحقیقات آب در بخشی از یخچال های زردکوه در شهر یور ۱۳۸۹

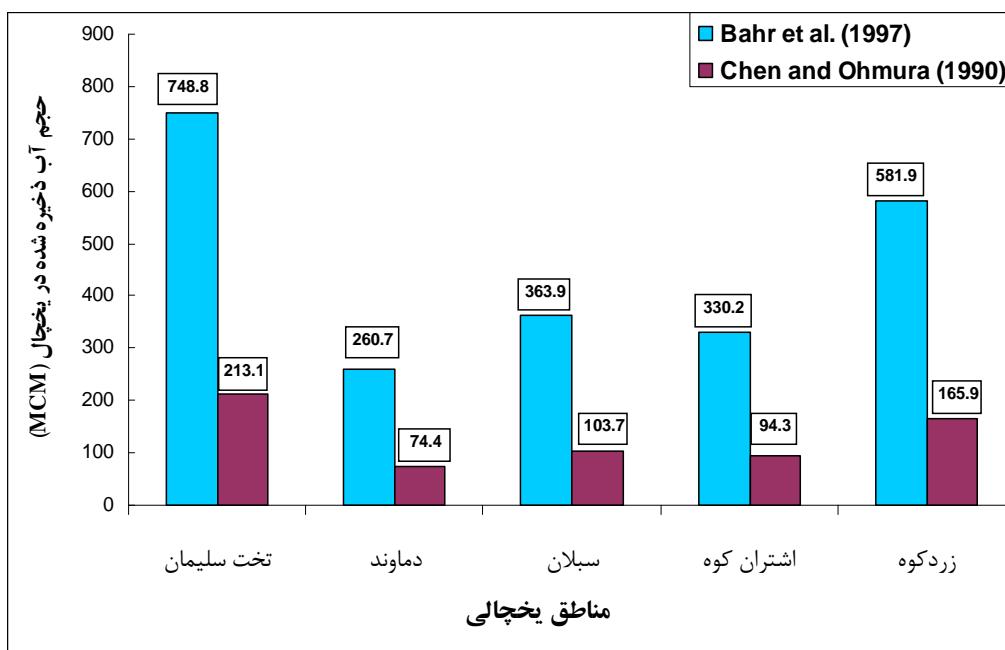


شکل ۳) مقایسه مشاهدات حجم یخچال های زردکوه با روش های تجربی

با استفاده از روابط فوق و داده های موجود در تحقیق Mousavi و همکاران (۹۳، ۲۰۰۹)، حجم هر یک از یخچال ها محاسبه شد. نتایج حاصل از این محاسبات در جدول (۶) آورده شده است که ۲/۶۸ میلیارد مترمکعب می باشد. حجم آب این یخچال ها با چگالی 1000 kg/m^3 حدود $2/3$ میلیارد متر مکعب به دست می آید. مشابه همین محاسبات نیز برای روش Chen و Ohmura (۱۹۹۰، ۱۲۷)، انجام شد که کمترین ارقام را به همراه داشت و برآورد آن حدود $0/85$ میلیارد مترمکعب می باشد. شکل (۴) حداقل و حداکثر حجم آب را برای پنج منطقه یخچالی کشور بر اساس روش های تجربی نشان می دهد.

جدول ۶) حجم یخچال های ایران (V) با روش های تجربی و فهرست برداری Mousavi و همکاران (۹۳، ۲۰۰۹)

منطقه یخچالی	یخچال	مساحت (km ²)	V (Bahr) (km ³)	V (Chen) (km ³)
تخت سلیمان و علم کوه	علم چال	۲,۲۷	۰,۳۰۵	۰,۰۶۸
	علم چال (پاتخت)	۰,۴۷	۰,۰۳۶	۰,۰۰۴
	تخت سلیمان	۰,۵۶	۰,۰۴۵	۰,۰۱۴
	غربی (اسیلت)	۰,۴۶	۰,۰۳۵	۰,۱۴۴
	هفت خوان	۲,۵۲	۰,۳۵۱	۰,۰۷۸
	حصار چال (خرسان)	۰,۵۴	۰,۰۴۳	۰,۰۲۱
	حصار چال (مرجی کشن)	۰,۷۳	۰,۰۶۵	۰,۰۳۶
دماؤند	سی وله	۱,۰	۰,۱۰۰	۰,۰۱۸
	دوبی سل	۰,۴	۰,۰۲۹	۰,۰۲۱
	اسپله	۰,۵	۰,۰۳۹	۰,۰۱۱
	خور تاب سر	۰,۵	۰,۰۳۹	۰,۰۷۳
	دره بخار	۱,۰	۰,۱۰۰	۰,۰۵۹
سبلان	شمالي	۰,۸	۰,۰۷۶	۰,۰۲۱
	شمال غربی	۰,۶	۰,۰۵۲	۰,۰۳۲
	شمال هرم کسری	۰,۹	۰,۰۹۱	۰,۰۲۹
	جنوب شرقی هرم کسری	۰,۳	۰,۰۱۹	۰,۰۱۴
	جنوبي	۱,۶	۰,۱۸۹	۰,۰۰۸
اشتران کوه	یخچال خرسه در	۰,۳	۰,۰۱۹	۰,۰۱۸
	یخچال چال میشان	۰,۶	۰,۰۵۰	۰,۰۳۷
	یخچال چال کبود	۰,۷	۰,۰۶۲	۰,۰۳۷
	یخچال چال بران	۱,۰	۰,۱۰۰	۰,۰۰۶
	یخچال چال فالالسون	۰,۲	۰,۰۱۱	۰,۰۰۶
	یخچال شاه تخت	۰,۳	۰,۰۱۹	۰,۰۲۱
	یخچال چال پارو	۰,۴	۰,۰۲۹	۰,۰۰۸
	یخچال چال همایون	۰,۴	۰,۰۲۹	۰,۰۷۳
	یخچال چال ازنادر	۰,۳	۰,۰۱۹	۰,۰۰۶
	یخچال کول شاکول	۰,۶	۰,۰۵۰	۰,۰۱۸
زرد کوه	چال میشان	۰,۹	۰,۰۸۷	۰,۰۶۳
	جفت زرده	۱,۳	۰,۱۴۳	۰,۰۸
	خرسان	۱,۸	۰,۲۲۲	۰,۰۱۱
	یخچال پورسونان	۰,۴	۰,۰۲۹	۰,۰۰۸
	زرد کوه	۰,۶	۰,۰۵۰	۰,۰۱۱
	یخچال کوهرنگ (۱)	۰,۴	۰,۰۲۹	۰,۰۰۸
	یخچال کوهرنگ (۲)	۰,۵	۰,۰۳۹	۰,۰۰۸
	یخچال کوهرنگ (۳)	۰,۴	۰,۰۲۹	۰,۰۰۸
	یخچال کوهرنگ (۴)	۰,۴	۰,۰۲۹	۰,۰۶۸
	هفت تنان	۰,۴	۰,۰۲۹	۰,۰۰۴
مجموع				۱,۰۱
۲۷,۱۲				۲,۶۸
۲۷,۱۲				



شکل ۴) حجم آب یخچال های ایران به تفکیک مناطق یخچالی موجود براساس روش Bahr (۲۰۳۵۵، ۱۹۹۶) و Chen (۱۹۹۰، ۱۲۷) و Ohmura (۱۹۹۰)

- نتیجه گیری

تحقیق حاضر تلاشی بود برای بررسی نقش یخچال ها در جریان رودخانه هایی با منشأ یخچالی که برای این منظور سه ایستگاه های روبارک، نیر و دره تخت به ترتیب بر روی رودخانه های سرداب، نیرچای و ماربره انتخاب گردیدند و همچنین تخمینی از ذخایر آبی با استفاده از روش های تجربی. نتایج زیر از این تحقیق قابل ارائه می باشد:

- بررسی تغییرات رژیم فصلی و ماهیانه رودخانه ها و ایام وقوع پرآبی نشان داد که تغییرات معنی دار و گسترده ای در رودخانه ها قابل ملاحظه نمی باشد. برخی تغییرات نیز که در ایستگاه نیرچای بعد از سال ۱۳۷۷ به چشم می خورد، بیشتر می تواند به دلیل خشکسالی یا تغییرات کاربری مربوط به سال های اخیر باشد.
- بررسی همگنی با روش های پارامتریک و غیر پارامتریک و روند با آزمون اسپرمن و کنдал نیز مؤید نتیجه بند قبل می باشد. این آزمون ها نشان داد، بیشتر روند، در $\frac{2}{3}$ انتهای دوره آماری است که می تواند متأثر از خشکسالی های اخیر باشد.
- ارزیابی روش های مختلف در برآورد حجم یخچال ها نشان داد که روش Bahr و همکاران (۱۹۹۶، ۲۰۳۵۵)، نتایج بهتری را به همراه دارد و بر اساس آن حجم $\frac{2}{3}$ میلیارد متر مکعبی را می توان برای یخچال های ایران متصور شد.

منابع و مأخذ

- (۱) آلدرو، ل. ه. و راسلر، ا. ب. (نویسنده‌گان)، زالی، ع. و شبستری، ج. ج. (ترجمه) (۱۳۷۹)، "مقدمه‌ای بر احتمالات و آمار" انتشارات دانشگاه تهران، چاپ ششم.
- (۲) مؤسسه تحقیقات آب. (۱۳۸۹)، "طرح محافظت از یخچال‌های طبیعی کشور، شناسایی یخچال‌های طبیعی منطقه زردکوه به روش عملیات میدانی، فاز اول: یخچال‌های اطراف قله شاهنشهیدان" گروه کوهنوردی مهر اراک، مؤسسه تحقیقات آب، وزارت نیرو.
- (۳) وزیری، ف. (۱۳۸۲)، "هیدرولوژی کاربردی در ایران، کتاب دوم (شناخت منابع آبهای سطحی در ایران)، شناسایی یخچال‌های طبیعی ایران" دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی گروه آب دانشکده عمران، انتشارات سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور، معاونت امور پشتیبانی، مرکز مدارک علمی و انتشارات، چاپ اول.
- (۴) Bahr D. B., Meier M. F. and Peckham S. (۱۹۹۶), "The physical basis of glacier volume-area scaling, mass balance distributions and relevance to sea level predictions" journal of Geophysical Research, ۱۰۲(B۹).
- (۵) Bedford P. D. (۱۹۹۷), "Climate Sensitivity and water management in the upper Amu Darya basin" Ph.D. Dissertation, Department of Geography, University of Colorado.
- (۶) Bobek H. (۱۹۷۷), "Die Rolle der Eiszeit in Nordwestiran [The role of the ice age in northwestern Iran]" Zeitschrift für Gletscherkunde, v. ۲۵.
- (۷) Bobek H. (۱۹۷۴), Reise in Nordwestpersien ۱۹۷۴ [Travel in northwest Persia ۱۹۷۴]: Zeitschrift der Gesellschaft für Erdkunde zu Berlin, V. ۴/۱۰.
- (۸) Busk D. L. (۱۹۳۳). "Climbing and ski-ing in the Elburz Range, North Persia" ۱۹۳۱-۲: Alpine Journal, v. ۴۵, no. ۲۴۷.
- (۹) Chen J. and Ohmura A. (۱۹۹۰), "Estimation of alpine glacier water resources and their change since the ۱۹۷۰s" In Lang, H., and Musy, A. (eds.), Hydrology in Mountainous Region I: Hydrological measurement, The Water Cycle, IAHS Publication no. ۱۹۳, International Association of Hydrological Science, Wallingford, Oxfordshire.
- (۱۰) Farinotti D., Huss M., Bauder A. and Funk M. (۲۰۰۴), "An estimate of the glacier ice volume in the Swiss Alps" Global and Planetary Change, ۶۸.
- (۱۱) Ferrigno J. G. (۱۹۹۱), "Glaciers of the Middle East and Africa, Glaciers of Iran". In Williams, R.S., Jr and J.G. Ferrigno, eds. Satellite image atlas of glaciers of the world. Denver, CO, United States Geological Survey, G۳۱-G۴۵. (USGS Professional Paper ۱۳۸۶-G-۲.
- (۱۲) Harding J. G. R. (۱۹۵۷), "Cambridge Expedition to the Elburz Mountains" Iran: Himalayan Journal, v. ۲۰.
- (۱۳) Kottekoda N. T. (۱۹۸۰), "Stochastic Water Resources Technology" John Wiley & Sons Inc, Newyork, Second Edition.
- (۱۴) Maidment D. R. (۱۹۹۲), "Handbook of Hydrology" McGraw-Hill Inc, USA.
- (۱۵) Mousavi M. S., Valadan Zoj M. J., Vaziri F., Sahebi M. R. and Rezaie Y. (۲۰۰۴), "A new glacier inventory of Iran" Annals of Glaciology, ۴۰(۵۳).
- (۱۶) Schweizer G. (۱۹۷۰), "Der Kuh-e-Sabalān (Nordwestiran). Beiträge zur Gletscherkunde und Glazialgeomorphologie vorderasiatischer Hochgebirge Kuhha-ye-Sabalān (northwest Iran), [Contributions on the glaciology and glacialgeomorphology of the high mountains of the Near East]" in Beiträge zur Geographie der Tropen und Subtropen: Tübinger Geographische Studien, no. ۴۴.
- (۱۷) Steinhauer P. (۱۹۷۰), "Zur Bestimmung der Mächtigkeit der Ostalpengletscher" OUUrT. Wassll'Wirtsch, ۲۲(۱۱-۱۲).
- (۱۸) Yerasov N. V. (۱۹۶۸), "A method to determine the volume of mountain glacier, Materialy Glyatsiologicheskikh Issledovaniy (Data on Glaciol.Studies)" Vol. ۱۴, (in Russian).

