فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، سال **۲۸، شماره ۳، زمستان ۱۳۹۲ ، شماره پیاپی ۱۱۰**
سعید مرید، دانشیار گروه مهندسی منابع آب دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس
حمیده حسینی صفا، کارشناسی ارشد گروه مهندسی منابع آب دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس
S.Morid
H. Hosseini Safa
Email: morid_sa@Modares.ac.ir
شماره مقاله: ۹۰۹ صص: ۳۲-۱۷
وصول: ۱۳۹۱/۷/۱۲ پذیرش: ۱۳۹۲/۲/۲۱

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 رودخانه‌هایی که از آنها نشأت می‌گیرند، 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 آزمون‌های آماری مانند روند و همگنی انجام شود. بر اساس نتایج حاصل، به جز در مواردی اندک، زوال تدریجی یخچال ها تغییرات معنی داری درآبدهی 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 ۰/۸۵ تا ۲/۳ میلیارد مترمکعب برآورد می گردد. هر چند، روشی که رقم ۲/۳ میلیارد مترمکعب را نتیجه می دهد، با پاره ای از اندازه گیری های میدانی در یخچال های زردکوه 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 کوه‌های البرز شناسایی کرد، فردی بود به نام Busk که یافته‌های خود را در مجله آلپین 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, ۱۹۳۴, ۳۵۹; ۱۹۳۷, ۱۳۰). بعد از آن هم نیز گروه هایی مانند Harding (۱۹۵۷، ۱۱۲) و Schweizer (۱۹۷۰، ۱۶۳) روی یخچال های ایران کار کردند. ویژگی کار Schweizer (۱۹۷۰، ۱۶۳)، استفاده از عکس های هوایی برای اولین بار برای فهرست برداری یخچال های ایران بود. 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

[Downloaded from georesearch.ir on 2026-11-27]

در این خصوص توسط Mousavi و همکاران (۲۰۰۹، ۹۳)، انجام شد که در آن از تصاویر ماهواره ای استفاده گردیده است. این محققین فهرست برداری جدیدی از یخچال های کشور ارائه دادند که نهایتاً سطح کل را حدود ۲۷ km۲ محاسبه نمودند. وجود اختلاف در سطوح اعلام شده تا حدی به این دلیل است که بخشی از یخچال های کشور در زیر واریزه ها مدفون هستند که اندازه گیری آنها را با مشکل مواجه می کند. از سوی دیگر زوال آنها در فاصله زمانی دو تحقیق می تواند عامل دیگری باشد که در گزارشات مختلف به آن اشاره شده است (Ferrigno, ۱۹۹۱ و وزیری، ۱۳۸۲).



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

اما اینکه این منابع تا چه حدی در جریان رودخانه های کشور نقش دارند، بحثی است که تاکنون به آن پرداخته نشده است. بدیهی می باشد که تأثیر این منابع بر دبی رودخانه ها، تابع حجم آب موجود در یخچال ها می‌باشد و پاسخ به آن نیز به اطلاعات دقیقی مانند سطح سنجی و عمق سنجی 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 روش های که توسط Yerasov (۱۹۶۸، ۳۰۷)، Steinhauser (۱۹۷۰، ۳۰۵)، Chen و Ohmura (۱۹۹۰، ۱۲۷) و Bahr و همکـاران (۱۹۹۶، ۲۰۳۵۵)، ارائه شده اند. Bedford (۱۹۹۷)، این روابط را برای برآورد حجم یخچال های ناحیه آمودریا در آسیای مرکزی استفاده نمود. این یخچال ها سطحی بین ۱/۶ تا ۱۵۶ کیلومتر مربع را دارا بودند که تا حدی مبین محدوده قابل استفاده آنها می باشد. بدیهی است که هر یک از روش ها، 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 یخ و حجم تعدادی یخچال کوچک واقع در کوهستان های آلپ سوئیس با مساحت کل ۱۰۶۳±۱۰ km۲ به انجام رسید که در نهایت حجم، حدود ۷۴±۹ km۳ محاسبه گردید (Farinotti et al., ۲۰۰۹, ۲۲۵).

هدف از این تحقیق نیز ارزیابی روش های فوق در برآورد حجم یخچال های کشور و بررسی تغییرات ممکن در جریان تعدادی از رودخانه های کشور با منشأ یخچالی می باشد.

داده ها و روش ها

[Downloaded from georesearch.ir on 2026-11-27]

- **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)، رودخانه‌های انارچای، قوری‌چای و درویش‌چای (منطقه یخچال سبلان)، رودخانه دلیچای از شعب رودخانه هراز (منطقه یخچال دماوند) قاتان، ماربره، تخت شاه و دره الوند (منطقه یخچال اشتران‌کوه) و کوهرنگ (منطقه یخچال زردکوه) اشاره کرد(وزیری، ۱۳۸۲).

برای رودخانه های این محدوده، ابتدا ۱۳ ایستگاه آب سنجی 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 (۴۰۰۰ تا ۴۵۰۰) واقع شده اند.

جدول ۱) رودخانه های مورد مطالعه و ایستگاه های منتخب

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

- **بررسی تغییرات رژیم آبدهی، 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 گردند.

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.

[Downloaded from georesearch.ir on 2026-11-27]

$$t = \frac{\mu_x - \mu_y}{S_{x-y}} \quad (۱)$$

$$S_{x-y} = \sqrt{S_1^2 + S_2^2} \quad (۲)$$

$$S_2 = \frac{S}{\sqrt{n_1}} \quad (۳)$$

$$S_2 = \frac{S}{\sqrt{n_2}} \quad (۴)$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n_1}(x_i - \mu_x)^2 + \sum_{i=1}^{n_2}(y_i - \mu_y)^2}{n_1 + n_2 - 2}} \quad (۵)$$

آزمون من ویتنی : این آزمون برای بررسی همگنی داده‌هایی استفاده می شود 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 معنی‌دار 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 می‌گردند و دو کمیت زیر برآورد می‌شود:

$$U_1 = mn + \frac{m}{2}(m+1) - Rm \quad (۶) \qquad U_2 = mn - U_1 \quad (۷)$$

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 $U1$ و $U2$، مقدار کمتر آنها U نامیده شود، برای محاسبه آماره Z آزمون خواهیم داشت: پارامتر Z از توزیع T-student با درجه آزادی m-۲ تبعیت می کند و سطح معنی داری برای این آزمون نیز ۵ درصد درنظر گرفته شد.

$$Z = \frac{U - mn/2}{\frac{1}{2}[mn(m+n+1)]} \quad (۸)$$

۲- بررسی روند در داده ها

اگر اندازه‌گیری‌های متوالی یک سری زمانی تدریجاً دچار تغییراتی گردد، سپس کم و بیش روندی در آنها بر اساس ترتیب رخداد داده ها قابل مشاهده خواهد بود.آزمون های 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 Y_i مرتبه R_i(rank) و X_i ترتیب وقوع Ri باشد، سپس ضریب مرتبه همبستگی (r_s) اسپیرمن مطابق رابطه ۹ قابل محاسبه میباشد:

$$r_s = 1 - \left(6\sum d_i^2\right)/\left(n^3 - n\right) \quad (۹)$$

برای نمونه ای با اندازه Nآماره t، مطابق زیر از توزیع t-student با درجه آزادی N-۲ تبعیت می کند:

$$t = r_s\left[(N-2)/\left(1-r_s^2\right)\right]^{\frac{1}{2}} \quad (۱۰)$$

[Downloaded from georesearch.ir on 2026-11-27]

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

آزمون من کندال : آزمون بر اساس نسبت ترتیب مشاهداتی است که از حدی خاص بالاتر باشد. بدین منظور برای سری x_1 تا x_n ، تعداد (P) جفت مشاهداتی $(x_i,x_j;\ j>i)$ که x_j بزرگ تر از x_i می باشد، محاسبه می گردد که به ترتیب زیرمجموعه های (i,j) ، برابر است با: $(i=1,j=2,3,\dots N)$، $(i=2,j=3,\dots N)$ ... و $(i=N-1, j=N)$. حداکثر مقدار P زمانی است که داده ها کاملاً به طور صعودی باشند$(P=(N-1)N/2)$ و 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).

- برآورد حجم آبی یخچال ها

در این بخش برآوردی از ابعاد یخچال ها ایران هر چند بسیار تقریبی با استفاده از داده های موجود صورت می گیرد. چهار روش Yerasov (۱۹۶۸، ۳۰۷)، Steinhauser (۱۹۷۰، ۳۰۵)، Chen و Ohmura (۱۹۹۰، ۱۲۷) و Bahr و همکاران (۱۹۹۶، ۲۰۳۵۵)، در تحقیقات مختلف بیشتر مورد توجه بوده اند (در تمام روابط واحد سطح برحسب km^2 و واحد حجم برحسب km^3 می باشد) که در ادامه به آنها اشاره می گردد:

-روش Yerasov (۱۹۶۸، ۳۰۷)، حجم یخچال را به طور مستقیم با استفاده از مساحت رویین آن (S) و از رابطه زیر محاسبه می کند:

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

-روش Steinhauser (۱۹۷۰، ۳۰۵)، 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:

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

-رابطه بعدی حاصل از تحقیق Chen و Ohmura (۱۹۹۰، ۱۲۷)، می باشد که از مطالعه روی یخچال های کوهستان آلپ به دست آمده است:

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

-روش Bahr و همکاران (۱۹۹۶، ۲۰۳۵۵)، که بیشتر هم مورد توجه بوده است، شکل زیر را دارد (S سطح یخچال برحسب km^2 می باشد):

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

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 عمده ایام پرآبی در ایستگاه رودبارک که خرداد و تیر بوده، حفظ شده است. در ایستگاه نیرچای(N) تغییراتی از سال آبی ۷۷-۱۳۷۶ به بعد ملاحظه می گردد که ارقام بالای دبی های ماهیانه از فروردین و اردیبهشت، به اواخر پاییز و زمستان تغییر یافته است. این تغییرات می تواند بیشتر به واسطه خشکسالی های سال های اخیر و یا توسعه اراضی کشاورزی به

[Downloaded from georesearch.ir on 2026-11-27]

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

جدول ۲) تغییرات جریان حداکثر در سری ماهیانه ایستگاه های سرداب 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			S		
۱۳۳۸-۳۹								M	S			
۱۳۳۹-۴۰							M		S			
۱۳۴۰-۴۱								M	S			
۱۳۴۱-۴۲								M		S		
۱۳۴۲-۴۳							M		S			
۱۳۴۳-۴۴						M			S			
۱۳۴۴-۴۵						M			S			
۱۳۴۵-۴۶								M		S		
۱۳۴۶-۴۷								M		S		
۱۳۴۷-۴۸						M				S		
۱۳۴۸-۴۹						M			S			
۱۳۴۹-۵۰								M	S			
۱۳۵۰-۵۱							M			S		
۱۳۵۱-۵۲						M			S			
۱۳۵۲-۵۳							M		S			
۱۳۵۳-۵۴						M	N		S			
۱۳۵۴-۵۵							M	N		S		
۱۳۵۵-۵۶							M	N	S			
۱۳۵۶-۵۷						N	M			S		
۱۳۵۷-۵۸							N, M			S		
۱۳۵۸-۵۹							N, M		S			
۱۳۵۹-۶۰							M	N		S		
۱۳۶۰-۶۱							N, M		S			
۱۳۶۱-۶۲							M		S, N			
۱۳۶۲-۶۳							N, M		S			
۱۳۶۳-۶۴							N, M		S			
۱۳۶۴-۶۵							N	M		S		
۱۳۶۵-۶۶							N, M		S			
۱۳۶۶-۶۷						M		N	S			
۱۳۶۷-۶۸							N, M			S		
۱۳۶۸-۶۹							N, M		S			
۱۳۶۹-۷۰							N, M		S			
۱۳۷۰-۷۱								N, M	S			
۱۳۷۱-۷۲							N	M		S		
۱۳۷۲-۷۳	M						N			S		
۱۳۷۳-۷۴			M				N			S		
۱۳۷۴-۷۵							N, M		S			

[Downloaded from georesearch.ir on 2026-11-27]

			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

[Downloaded from georesearch.ir on 2026-11-27]

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 بندی اول:* نمونه اول، میانگین $\frac{۲}{۳}$ ابتدایی داده ها و نمونه دوم، $\frac{۱}{۳}$ انتهایی سری های زمانی.

- *دسته بندی دوم:* نمونه اول، میانگین $\frac{۱}{۳}$ ابتدایی داده ها و نمونه دوم، $\frac{۲}{۳}$ انتهایی 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 آبدهی‌ها بود، که بیشتر متأثر ازخشکسالی 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 رودبارک نشان می دهد که میانگین دوره های انتخابی تفاوت معنی داری با یکدیگر ندارند. اما در مورد ایستگاه نیرچای، 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 ویتنی : نتایج حاصل از آزمون من ویتنی نیز در جدول (۳) ارائه شده است. این آزمون هر چند تغییرات بیشتری را نسبت به آزمون قبل نشان داد (به ویژه در دسته بندی 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 ویتنی

ایستگاه / دوره	دسته بندی داده‌ها	سبلان (نیرچای)			علم‌کوه (رودبارک)			اشتران‌کوه (دره‌تخت)		
		من‌ویتنی	مقایسه میانگین‌ها	میانگین	من‌ویتنی	مقایسه میانگین‌ها	میانگین	من‌ویتنی	مقایسه میانگین‌ها	میانگین
پاییز	اول	×	×	۱,۳	✓	✓	۱,۱۹	×	✓	۳,۵۲
				۰,۹۸			۱,۳۲			۴,۵۶
	دوم	✓	✓	۱,۲۱	✓	✓	۱,۲۸	✓	✓	۲,۹۴
				۱,۱۸			۱,۲۱			۴,۳۴
زمستان	اول	×	×	۱,۷۶	×	✓	۰,۸۴	✓	✓	۹,۰۸
				۱,۴۵			۱,۰۱			۸,۱۳
	دوم	✓	✓	۱,۷۲	✓	✓	۰,۹	✓	✓	۷,۵۲
				۱,۶۳			۰,۹			۹,۴۴
بهار	اول	×	×	۱,۸۷	✓	✓	۴,۷۸	✓	✓	۱۲,۳۲
				۱,۱۷			۵,۲۴			۱۲,۹۸
	دوم	×	✓	۱,۸۶	✓	✓	۵,۳۷	×	✓	۱۰,۲۲
				۱,۵۲			۴,۷۱			۱۳,۷۷
تابستان	اول	✓	✓	۰,۵۶	✓	✓	۴,۵۹	×	✓	۳,۱۶
				۰,۵۷			۵,۱			۲,۸۱
	دوم	✓	✓	۰,۵۶	✓	✓	۵,۳۲	✓	✓	۳
				۰,۵۷			۴.۴۸			۳,۰۷
شهریور	اول	✓	✓	۰,۶۱	✓	✓	۲,۱۴	×	✓	۲,۱۶
				۰,۶۷			۲,۳۶			۱,۹

[Downloaded from georesearch.ir on 2026-11-27]

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

✓) عدم معنی‌داری آزمون و ✗) معنی‌داری آزمون و وجود تفاوت میان میانگین ها

[Downloaded from georesearch.ir on 2026-11-27]

۲- بررسی روند در داده‌ها

آزمون های این بخش نیز در سه حالت شامل: انجام آن برای کلیه داده ها، $\frac{۲}{۳}$ ابتدایی و $\frac{۲}{۳}$ انتهایی انجام شد.

آزمون اسپیرمن : بررسی این آزمون نشان می دهد (جدول ۴)، که تنها در ایستگاه نیرچای برای فصول پاییز و بهار روندی معنی دار قابل مشاهده است. ولی بررسی فوق برای دسته های دو سومی نشان می دهد که سری اول از روند کمتری نسبت به دوم برخوردار هستند. این افزایش می تواند هم ناشی از مشارکت یخچال ها باشد و هم ناشی از خشکسالی هایی که در دوره دوم بیشترتأثیرگذار بوده اند. البته اگر برای دوره ای شاهد روند افزایشی جریان در فصول پرآب زمستان و بهار و کاهش آن در تابستان بودیم، نقش یخچال ها در تغییرات آبدهی رودخانه ها بهتر قابل توجیه بود.

جدول ٤) نتایج آزمون روند اسپیرمن برای جریان رودخانه در ایستگاه های نیرچای، دره تخت و رودبارک

ایستگاه / دوره	سبلان	اشتران‌کوه	علم‌کوه
	نیرچای	دره‌تخت	رودبارک
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 کنداال :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 دوره های دوم ($\frac{۲}{۳}$ آخر) دیده می شوند که مانند قبل، می تواند متأثر از خشکسالی های سال های اخیر باشد.

[Downloaded from georesearch.ir on 2026-11-27]

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

ایستگاه / دوره	سبلان	اشتران‌کوه	علم‌کوه
	نیرچای	دره‌تخت	رودبارک
پاییز	×*	✓	✓
پاییز: (۲/۳) اول	✓	×	✓
پاییز: (۲/۳) آخر	×	×	✓
زمستان	✓	✓	✓
زمستان: (۲/۳) اول	✓	×	✓
زمستان: (۲/۳) آخر	✓	×	×
بهار	×	✓	✓
بهار: (۲/۳) اول	✓	✓	✓
بهار: (۲/۳) آخر	×	✓	×
تابستان	✓	✓	✓
تابستان: (۲/۳) اول	✓	✓	✓
تابستان: (۲/۳) آخر	✓	×	×
شهریور	✓	✓	✓
شهریور: (۲/۳) اول	✓	✓	✓
شهریور: (۲/۳) آخر	✓	×	✓

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

- **برآورد حجم یخچال ها**

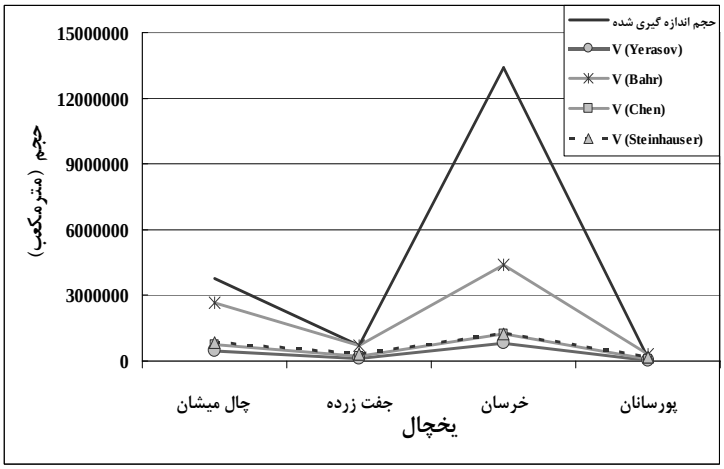
معمولاً برای استفاده از هر رابطه تجربی مانند آنچه در بخش ۲-۳ آمد، ابتدا نیاز به صحت سنجی آنها دارد. چنین داده هایی بسیار نادر هستند و تا آنجایی که برای بررسی سوابق مطالعاتی این تحقیق انجام شد، چنین داده هایی هنگام کار با آنها نبوده است. اما در این خصوص عملیات میدانی توسط مؤسسه تحقیقات آب روی تعدادی از 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 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 آلپاینی و نیمه آلپاینی نیز تأیید شده است (Farinotti et al., ۲۰۰۹, ۲۲۵).

[Downloaded from georesearch.ir on 2026-11-27]



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



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

با استفاده از روابطه فوق و داده های موجود در تحقیق Mousavi و همکاران (۲۰۰۹، ۹۳)، 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 ۸۵۰ kg/m۳، حدود ۲/۳ میلیارد متر مکعب به دست می آید.

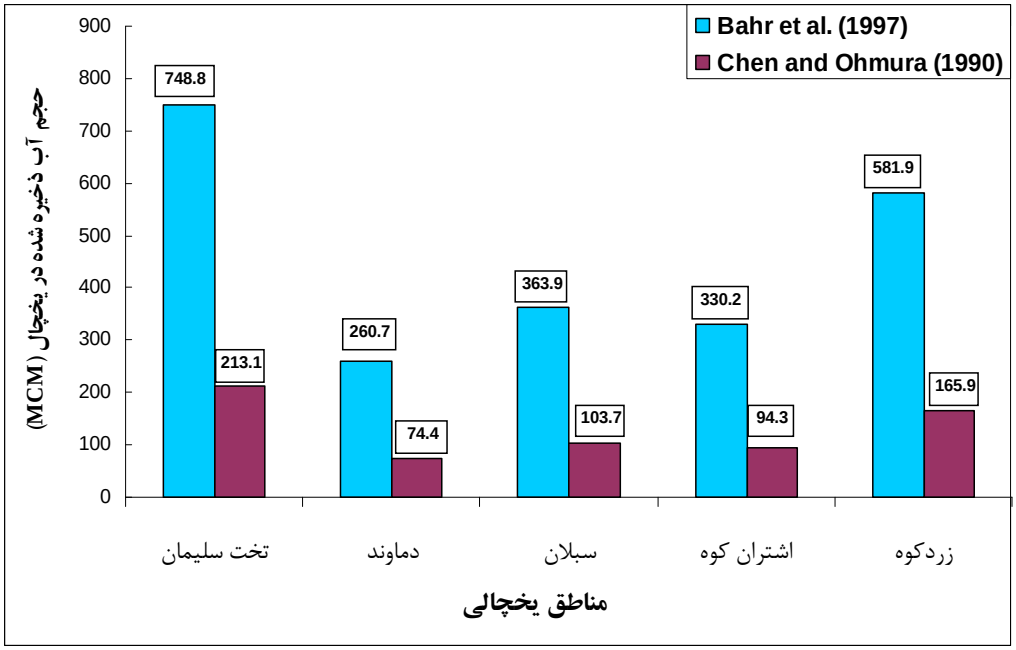
مشابه همین محاسبات نیز برای روش Chen و Ohmura (۱۹۹۰، ۱۲۷)، انجام شدکه کمترین ارقام را به همراه داشت و برآورد آن حدود ۰/۸۵ میلیارد مترمکعب می باشد. شکل (۴) حداقل و حداکثر حجم آب را برای پنج منطقه یخچالی کشور بر اساس روش های تجربی نشان می دهد.

[Downloaded from georesearch.ir on 2026-11-27]

جدول ٦) حجم یخچال های ایران (V) با روش های تجربی و فهرست برداری Mousavi و همکاران (۲۰۰۹، ۹۳)

منطقه یخچالی	یخچال	مساحت(km^2)	V (Bahr) (km^3)	V (Chen) (km^3)
تخت‌سلیمان 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
	حصارچال (خرسان)	۰,۵۴	۰,۰۴۳	۰,۰۲۱
	حصارچال (مرجی کش)	۰,۷۳	۰,۰۶۵	۰,۰۳۶
دماوند	سی وله	۱,۰	۰,۱۰۰	۰,۰۱۸
	دوبی سل	۰,۴	۰,۰۲۹	۰,۰۲۱
	اسپله	۰,۵	۰,۰۳۹	۰,۰۱۱
	خورتاب سر	۰,۵	۰,۰۳۹	۰,۰۷۳
	دره بخار	۱,۰	۰,۱۰۰	۰,۰۵۹
سبلان	شمالی	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
	جنوبی	۱,۶	۰,۱۸۹	۰,۰۰۸
اشتران‌کوه	یخچال خرسه‌در	۰,۳	۰,۰۱۹	۰,۰۱۸
	یخچال چال‌میشان	۰,۶	۰,۰۵۰	۰,۰۳۷
	یخچال چال‌کبود	۰,۷	۰,۰۶۲	۰,۰۳۷
	یخچال چال بران	۱,۰	۰,۱۰۰	۰,۰۰۶
	یخچال چال‌فیاله‌سون	۰,۲	۰,۰۱۱	۰,۰۰۶
	یخچال شاه‌تخت	۰,۳	۰,۰۱۹	۰,۰۲۱
	یخچال چال‌پیارو	۰,۴	۰,۰۲۹	۰,۰۰۸
	یخچال چال‌همایون	۰,۴	۰,۰۲۹	۰,۰۷۳
	یخچال چال‌ازنادر	۰,۳	۰,۰۱۹	۰,۰۰۶
	یخچال کول‌شاکول	۰,۶	۰,۰۵۰	۰,۰۱۸
زردکوه	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
	زردکوه	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
	هفت‌تنان	۰,۴	۰,۰۲۹	۰,۰۰۴
مجموع		**۲۷,۱۲**	**۲,٦۸**	**۱,۰۱**

[Downloaded from georesearch.ir on 2026-11-27]



شکل ٤) حجم آب یخچال های ایران به تفکیک مناطق یخچالی موجود براساس روش Bahr (۱۹۹٦، ۲۰۳۵۵) و Chen و Ohmura (۱۹۹۰، ۱۲۷)

- 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 رودبارک، 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 اسپیرمن و کندال نیز مؤید نتیجه بند قبل می باشد. این آزمون ها نشان داد، بیشتر روند، در $\frac{۲}{۳}$ انتهایی 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 ۲/۳ میلیارد متر مکعبی را می توان برای یخچال های ایران متصور شد.

[Downloaded from georesearch.ir on 2026-11-27]

منابع و مآخذ

۱) آلدر، ل. ه. و راسلر، ا. ب. (نویسندگان)، زالی، ع. و شبستری، ج. ج. (ترجمه)(۱۳۷۹)، "مقدمه ای بر احتمالات و آمار" انتشارات دانشگاه تهران، چاپ ششم.

۲) مؤسسه تحقیقات آب.(۱۳۸۹)، "طرح محافظت از یخچال های طبیعی کشور، شناسایی یخچالهای طبیعی منطقه زردکوه به روش عملیات میدانی، فاز اول: یخچالهای اطراف قله شاهشهیدان" 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 یخچال های 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. (۱۹۳۷), "Die Rolle der Eiszeit in Nordwestiran [The role of the ice age in northwestern Iran]" Zeitschrift für Gletscherkunde, v. ۲۵.

۷) Bobek H. (۱۹۳۴), Reise in Nordwestpersien ۱۹۳۴ [Travel in northwest Persia ۱۹۳۴]: Zeitschrift der Gesellschaft für Erdkunde zu Berlin, V. ۹/۱۰.

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., amd 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. (۲۰۰۹), "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–G۴۷. (USGS Professional Paper ۱۳۸۶-G-۲.

۱۲) Harding J. G. R. (۱۹۵۷),"Cambridge Expedition to the Elburz Mountains" Iran: Himalayan Journal, v. ۲۰.

۱۳) Kottegoda 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 Zoej M. J., Vaziri F., Sahebi M. R. and Rezaie Y.(۲۰۰۹), "A new glacier inventory of Iran" Annals of Glaciology, ۵۰(۵۳).

۱۶) Schweizer G. (۱۹۷۰), "Der Kuh-e-Sabalan (Nordwestiran). Beiträge zur Gletscherkunde und Glazialgeomorphologie vorderasiatischer Hochgebirge Kuhha-ye-Sabalan (northwest Iran), [Contributions on the glaciology and glacialgeomorphology of the high mountains of the Near East]" in Beitrage zur Geographie der Tropen und Subtropen: Tübinger Geographische Studien, no. ۳۴.

۱۷) Steinhauaer P. (۱۹۷۰), "Zur Beatimmung der Machtigkeit der Ostalpengletacher" OUUrT. Wassll'Wirtsch, ۲۲(۱۱-۱۲).

۱۸) Yerasov N. V. (۱۹۶۸), "A method to determine the volume of mountain glacier, Materialy Glyatsiologischeskikh Issledovaniy (Data on Glaciol.Studies)" Vol. ۱۴, (in Russian).

[Downloaded from georesearch.ir on 2026-11-27]

[Downloaded from georesearch.ir on 2026-11-27]

[Downloaded from georesearch.ir on 2026-11-27]