

پژوهشهای جغرافیائی - شماره ۴۶، زمستان ۱۳۸۲

صص ۶۲-۴۹

## ذوب برف در حوضه آبریز طالقان

دکتر سهراب حجام - استادیار گروه فیزیک فضا، دانشگاه تهران

زهرا شرعی پور - دانشجوی سابق کارشناسی ارشد هواشناسی موسسه ژئوفیزیک، دانشگاه تهران

پذیرش مقاله: ۸۱/۱۲/۲۴

### چکیده

در این تحقیق آمار (بارندگی، درجه حرارت، دبی، سرعت باد، و...) حوضه آبریز رودخانه طالقان مورد بررسی قرار گرفته است. با استفاده از دمای ماهانه (حداکثر، حداقل و میانگین) و منحنی هیسومتریک حوضه، پتانسیل سطوح تحت ریزش برف و همچنین خط پیشروی و پسروی آن در ماههای متفاوت مشخص، سپس شاخص پرفکتری حوضه در ماهها و برای ارتفاعات مختلف تعیین شده است. این مطالعات ضریب برفی حوضه را حدود ۵۶ درصد بدست داده است. به عبارت دیگر، ۵۶ درصد از کل ریزشهای جوی سالانه در این حوضه به صورت برف می باشد. با استفاده از آمار برف ایستگاههای برف سنجی، ضرابی برای هر کدام از ایستگاهها معین شده تا با اعمال آنها بتوان حجم ذخیره برفی حوضه را برآورد کرد. در پی آن، مکانیسم ذوب برف به روش بیلان انرژی بررسی و در نهایت با استفاده از روش همبستگی چندمتغیره، دبی رودخانه در ماههای فروردین، اردیبهشت و خرداد برآورد گردیده است.

واژگان کلیدی: ذوب برف، بیلان انرژی، پوشش برفی، آب معادل برف، پیش بینی دبی

### مقدمه

در برخی مناطق کشور بویژه در ارتفاعات، نوع بارش به صورت برف می باشد که منبع مهم جریان رودخانهها محسوب می شود. ذخایر برفی حوضه های کوهستانی از منابع مهم و قابل اطمینان کشور است که شناخت دقیق کمیّت این منابع به لحاظ ارزش روزافزون آب شیرین و هم بواسطه بهره برداری بهینه از منابع آب ضروری است. آگاهی از میزان ذخایر برفی در حوضه های آبریز جهت استفاده از آب معادل برف، در امر ذخیره سازی، کنترل سیلابهای فصلی و تأمین آب مورد نیاز پایین دست لازم می باشد. خساراتی که ممکن است هنگام سیلابهای ناشی از ذوب برف رخ دهد، بر میزان اهمیت موضوع مورد تحقیق می افزاید. هدف اصلی این مطالعه، بررسی آمار مربوط به حوضه آبریز رودخانه طالقان و بدست آوردن اطلاعاتی از شرایط برفی این حوضه می باشد. به دلیل عدم اندازه گیری مستقیم، در اکثر موارد و در شرایط فعلی بایستی به روش غیر مستقیم و عمدتاً از طریق ارائه مدل های محاسباتی، مقدار ذخیره و ذوب برف مناطق مختلف کشور برآورد شود. بسته به امکان دسترسی داده های مورد استفاده در مدل های تخمینی، مقدار انباشت برف و سرعت ذوب آن متفاوت است.

ذوب برف به روشهای متعددی از قبیل بیلان انرژی، درجه - روز، تابش - دما برآورد می شود که در این میان

مدل‌های بیلان انرژی به داده‌های بیشتری نیاز دارد و از معادلات پیچیده تری استفاده می‌کند. روشهای دما و دما - تابش به طور نسبی به داده‌های قابل دسترس کمتر و آسانتری نیاز دارند.

در ژاپن، یامازاکی و کندو (۱۹۹۲) ذوب برف را به روش بیلان انرژی در سطح پوشش جنگلی با مدل سایه‌بان دو لایه‌ای بررسی کرده و میزان ذوب برف را وابسته به تراکم سایه‌بان و دمای هوا دانسته‌اند. در نیوزلند، نیل و فیتزهاریس (۱۹۹۷) ذوب برف را به روش بیلان انرژی مورد بررسی قرار داده و آنرا با شرایط سینوپتیکی حاکم بر منطقه مقایسه کردند و به این نتیجه رسیدند که مقدار ذوب برف در واچرخندها بالا بوده و گرمای تابشی سهم عمده‌ای را از ذوب برف داشته است. در ایران مطالعات مختلفی در این زمینه صورت گرفته است که به تعدادی از آنها اشاره می‌شود:

شفیعی (۱۳۶۷) در مطالعه موردی خود برای سد امیرکبیر، به بررسی مکانیسم ذوب برف پرداخته و با استفاده از روش رگرسیون چندمتغیره و بر اساس داده‌های برف سنجی، دبی ورودی به سد را برآورد نموده است. طی سالهای اخیر، اولین سمینار هیدرولوژی برف و یخ توسط سازمان آب منطقه‌ای آذربایجان غربی برگزار شد که در این سمینار مقالات ارزنده‌ای ارائه گردید.

قاسمی و مرید (۱۳۷۳) در مطالعه برف حوضه دماوند با استفاده از عوامل هواشناسی نظیر بارندگی و درجه حرارت و بدون آمار مستقیم برف سنجی، مقدار ریزش برف سالانه، ذوب برف و نهایتاً خط پیشروی و پسروی برف را در سالهای مختلف مطالعه نموده‌اند.

طالبپور (۱۳۷۳) به بررسی هیدرولوژی برف در حوضه آبریز رودخانه مهاباد پرداخته و ذخیره برفی حوضه و همچنین ضریب برفی سالانه حوضه را برآورد کرده و ذوب برف به روشهای بیلان انرژی و درجه - روز را مورد بررسی قرار داده است.

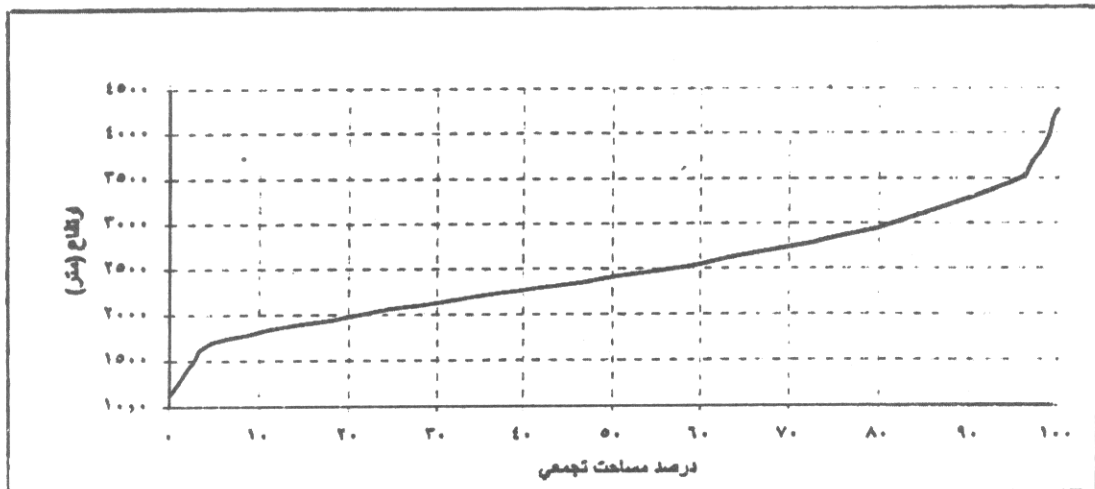
فتاحی (۱۳۷۷) در مطالعه موردی حوضه سد لیتیان، مدل تحلیل کمی ذوب برف را ارائه نموده است. در این تحقیق بر اساس دمای زمان ریزش باران و برف طی ماههای سرد سال، دمای آستانه ریزش برف برای حوضه سد لیتیان تعیین شده و ذوب برف به روشهای بیلان انرژی و درجه - روز به صورت نقطه‌ای و منطقه‌ای برآورد شده است.

### منطقه مطالعاتی و داده‌های مورد نیاز

حوضه آبریز طالقان از شمال و شرق به رشته کوههای طالقان که مرز حوضه آبریز چالوس می‌باشد و از جنوب به حوضه آبریز رودخانه کرج و کردان محدود بوده، مساحت آن حدود ۱۳۵۹/۵ کیلومتر مربع و ارتفاع آن بین ۱۰۸۰ تا ۴۲۶۰ متر متغیر است. منحنی هیپسومتری حوضه طالقان مطابق شکل شماره (۱) می‌باشد. ارتفاع متوسط حوضه حدود ۲۲۷۲ متر و ارتفاع با فراوانی ۵۰ درصد حوضه ۲۳۷۵ متر است. به علت ارتفاع زیاد حوضه، دمای آن در دوره سرد سال زیر صفر است. ضریب گراولیوس حوضه ۱/۵۸ بوده که نشان می‌دهد شکل حوضه کشیده است و فرم حوضه ۰/۲۱۴ می‌باشد که چون از واحد کمتر است، احتمال سیلابی و طغیانی بودن نیز کم است. زمان تمرکز حوضه با توجه به فرمول جیادتلی ۹/۶۷ ساعت می‌باشد. متوسط ریزش‌های سالانه حوضه حدود ۷۵۰ میلی‌متر است. این مقدار در ارتفاع ۲۲۷۲ متری به ۷۱۱/۳ میلی‌متر می‌رسد. حدود ۷۹ درصد از ریزش‌های حوضه در دوره سرد آبان

تا فروردین نازل می شود.

شکل ۱- منحنی تغییرات سطح با ارتفاع در حوضه آبریز طالقان (منحنی هیسومتریک)



داده‌ها و مقاطع مطالعاتی مشتمل بوده بر:

۱- آمار ماهانه ایستگاههای برف سنجی در دوره ۷۶-۱۳۶۳

۲- دمای متوسط ماهانه ایستگاههای حوضه طالقان در دوره ۷۶-۱۳۶۶

۳- بارش روزانه ایستگاههای باران سنجی در دو دوره ۷۴-۱۳۶۱ و ۷۶-۱۳۴۵

۴- دبی ماهانه ایستگاههای هیدرومتری در دوره ۷۶-۱۳۶۳

کمبردهای آماری داده‌ها با استفاده از روش نسبتها و روش تفاضل تکمیل شده و آزمون تجانس داده‌ها انجام پذیرفته است. ویژگیهای ایستگاههای مورد مطالعه در جدول شماره (۱) مندرج است.

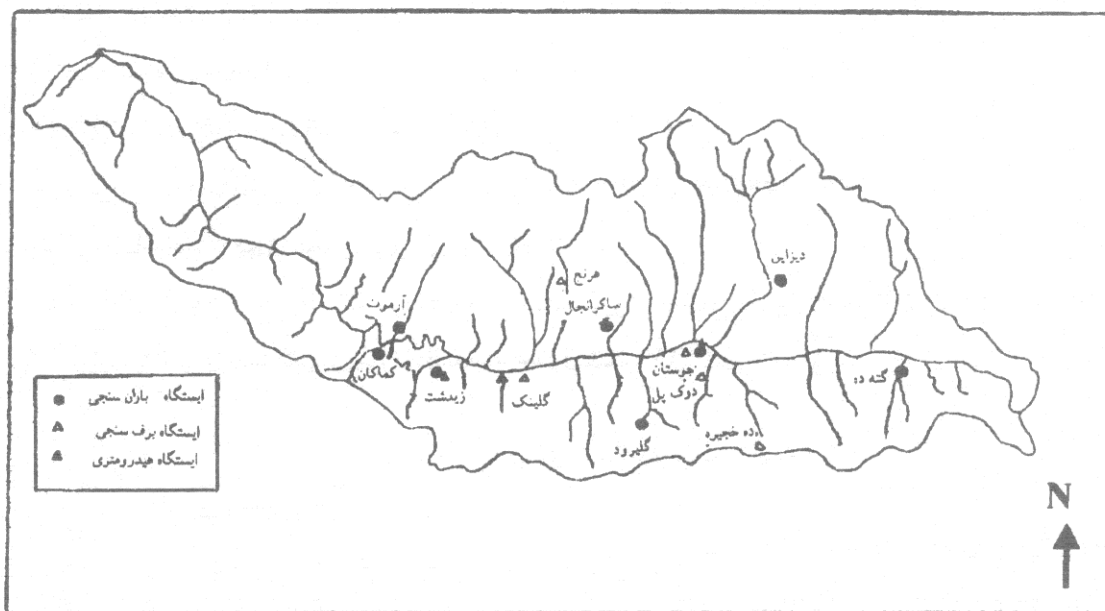
جدول ۱- ویژگیهای ایستگاههای مورد مطالعه

ایستگاه	ارتفاع از سطح دریا به متر	طول دقیقه - درجه	عرض دقیقه - درجه	باران سنجی	برف سنجی	تبخیر سنجی
ساکرانچال	۲۲۰۰	۵۰-۴۹	۳۶-۱۲	*		
گته ده	۲۳۰۰	۵۱-۰۴	۳۶-۱۰	*		
آرموت	۲۰۰۰	۵۰-۳۹	۳۶-۱۲	*		
زیدشت	۱۹۰۰	۵۰-۴۱	۳۶-۱۰	*	*	*
گلیرود	۲۱۵۰	۵۰-۵۱	۳۶-۰۸	*		
دیزاین	۲۲۵۰	۵۰-۵۸	۳۶-۱۴	*		

		*	۳۶-۱۱	۵۰-۳۸	۱۷۰۰	کماکان
*	هیدرومتری	*	۳۶-۱۱	۵۰-۵۴	۱۹۹۰	جوستان
	*		۳۶-۱۱	۵۰-۵۳	۱۸۹۰	جوستان
	*		۳۶-۱۰	۵۰-۴۵	۱۸۰۰	گلینک
	*		۳۶-۱۴	۵۰-۴۷	۲۱۶۰	هرنج
	*		۳۶-۱۰	۵۰-۵۴	۲۲۰۰	دوک پل
	*		۳۶-۰۷	۵۰-۵۷	۲۴۰۰	ده خجیره
	*		۳۶-۰۶	۵۱-۱۷	۲۵۰۵	هلی چای
	هیدرومتری		۳۶-۱۰	۵۰-۴۴	۱۸۰۰	گلینک

موقعیت ایستگاههای مختلف واقع در منطقه مطالعاتی در شکل شماره (۲) آمده است.

شکل ۲- موقعیت ایستگاههای باران سنجی و برف سنجی و هیدرومتری حوضه آبریز طالقان



### برآورد ارتفاع برف

میانگین بلندمدت بارش ماهانه و سالانه برای هر کدام از ایستگاههای باران سنجی محاسبه و سپس معادلات همبستگی بین بارش ماهانه و ارتفاع تعیین شدند، در پی آن با استفاده از نتایج معادلات گرادیان بارش ماهانه و نقشه توپوگرافی، نقشه‌های همباران برای ماههای مهر تا خرداد و نقشه همباران سالانه ترسیم گردید. از طریق پلاتیمتری نقشه‌های پیش گفته، متوسط و درصدبارندگی ماهانه محاسبه شده که نتایج آن در جدول شماره (۲) ارائه گردیده است.

جدول ۲- درصد بارندگی ماهانه و ضریب برفی ماهانه حوضه در دوره آماری ۷۴-۱۳۶۱

ماه	میانگین بارش ماهانه حوضه (mm)	درصد بارش ماهانه حوضه	درصد ضریب برفی حوضه
مهر	۳۶/۶	۴/۸۷	۰
آبان	۸۸/۷	۱۱/۸۱	۴۲
آذر	۱۰۲	۱۳/۵۹	۸۳/۷۶
دی	۹۱	۱۲/۱۳	۹۱/۱
بهمن	۸۹	۱۱/۸۶	۹۱/۶۸
اسفند	۱۱۰	۱۴/۶۶	۷۷/۵۴
فروردین	۱۱۳	۱۵/۰۶	۴۳
اردیبهشت	۱۰۴	۱۳/۸۶	۰
خرداد	۳۱	۴/۱۳	۰
سالانه	۷۵۰/۵	۱۰۰	۵۶

نسبت ریزش‌های جوئی به صورت برف به کل ریزش (برف و باران) یا ضریب برفی به صورت ماهانه برای هریک از ایستگاههای باران‌سنجی محاسبه و به کمک نرمال‌های این ضرایب، گرادیان‌های ضریب برفی با ارتفاع، برای همه ایستگاهها در ماههای آبان تا فروردین طبق جدول شماره (۳) تعیین شد.

جدول ۳- معادلات همبستگی بین ضریب برفی و ارتفاع حوضه طالقان

ماه	معادلات	R
آبان	$K = ۰/۰۶۴۵H - ۱۲۰/۷۹$	۰/۹۵۹
آذر	$K = ۰/۱۰۰۵H - ۱۴۸/۱۳$	۰/۸۸۰
دی	$K = ۰/۰۴۰۶H - ۰/۷۳۳۲$	۰/۹۲۵
بهمن	$K = ۰/۰۷۱۶H - ۶۷/۶۰۴$	۰/۹۴۷
اسفند	$K = ۰/۰۸۵۵H - ۱۱۷/۴۳$	۰/۸۸۷
فروردین	$K = ۰/۰۶۲۴H - ۱۱۳$	۰/۸۶۲

با استفاده از نتایج گرادیان ضریب برفی، نقشه‌های هم ضریب برفی ترسیم و با پلانیمتری این نقشه‌ها، متوسط ضریب برفی ماهانه حوضه طالقان محاسبه که در بخش انتهایی جدول شماره (۲) آمده است. با توجه به درصد ریزش‌های جوئی در ماههای آبان تا فروردین و ملحوظ کردن ضریب برفی ماهانه، متوسط ضریب برفی حوضه طالقان ۵۶٪ برآورد گردیده است. برای برآورد مقادیر ریزش برف در هر ارتفاع مشخص، از نتایج قبلی استفاده شد؛

به این ترتیب که با استفاده از گرادیان بارش سالانه:  $P = ۰/۴۶۳۲۲H - ۳۴۱/۱$

که در آن (P) بارش سالانه به میلی‌متر (H) ارتفاع به متر است، در هر ارتفاع مشخص، مقدار بارش سالانه در آن ارتفاع برآورد گردید. از حاصل ضرب این مقدار در نسبت بارش ماهانه، و ضریب برفی ماهانه شاخص برفگیری هر ارتفاع و مقدار ریزش برف در ارتفاعات ۲۰۰۰ و ۲۵۰۰ و ۲۹۰۰ متری مطابق جداول شماره (۴) تا (۶) محاسبه شد. نتایج نشان می‌دهد که بارش برف در حوضه از ماه آبان آغاز شده و تا فروردین ماه ادامه دارد و در عین حال ضریب برفی حوضه با کاهش ارتفاع حوضه، کاهش یافته است. در ارتفاع ۲۹۰۰ متری تمام ریزش‌های ماههای آذر تا اسفند به صورت برف است؛ در صورتی که در ارتفاع ۲۰۰۰ متری ضریب برفی در همه ماهها کمتر است.

جدول ۴ - مقادیر ریزش برف در ارتفاع ۲۰۰۰ متری حوضه طالقان

ماه	دمای حداقل (C)	دمای حداکثر (C)	دمای متوسط (C)	برف (mm)	باران (mm)
مهر	۶/۱	۲۰/۷	۱۳/۴	۰	۲۸/۵
آبان	۲	۱۴/۱	۸/۵	۵/۷	۶۳/۵
آذر	-۲/۹	۷/۴	۲/۱	۴۲/۱	۳۷/۵
دی	-۶/۹	۳/۷	-۱/۶	۵۸/۲	۱۲/۸
بهمن	-۸/۱	۳/۲	-۲/۵	۵۲/۵	۱۶/۹
اسفند	-۴/۲	۶/۸	۱/۴	۴۵/۹	۳۹/۸
فروردین	۱/۳	۱۲/۹	۷/۲	۱۰/۴	۷۷/۷
اردیبهشت	۶/۴	۱۸/۶	۱۲/۵	۰	۸۱/۱
خرداد	۱۱/۱	۲۵/۳	۱۸/۱	۰	۲۴/۲

جدول ۵ - مقادیر ریزش برف در ارتفاع ۲۵۰۰ متری حوضه طالقان

ماه	دمای حداقل (C)	دمای حداکثر (C)	دمای متوسط (C)	برف (mm)	باران (mm)
مهر	۳/۴	۱۸/۴	۱۰/۹	۰	۳۹/۸
آبان	-۰/۳	۱۱/۷	۶/۴	۳۹	۵۷/۴
آذر	-۵/۴	۵/۳	-۰/۲	۱۱۱	۰
دی	-۹/۸	۱/۷	-۴	۹۹/۱	۰
بهمن	-۱۱/۸	۰/۵	-۵/۶	۹۶/۹	۰
اسفند	-۷/۹	۳/۷	-۲	۱۱۵/۳	۴/۴
فروردین	-۲/۱	۹	۳/۴	۵۲/۹	۷۰/۱
اردیبهشت	۳/۹	۱۵	۹/۵	۰	۱۱۳/۲
خرداد	۸/۷	۲۱/۵	۱۵	۰	۳۳/۷

جدول ۶- مقادیر ریزش برف در ارتفاع ۲۹۰۰ متری حوضه طالقان

ماه	دمای حداقل (C)	دمای حداکثر (C)	دمای متوسط (C)	برف (mm)	باران (mm)
مهر	۱/۲	۱۶/۵	۸/۸	۰	۴۸/۸
آبان	-۲/۱	۹/۸	۴/۸	۷۸/۴	۳۹/۹
آذر	-۷/۴	۳/۶	-۲	۱۳۶/۲	۰
دی	-۱۲/۱	۰/۱	-۵/۹	۱۲۱/۶	۰
بهمن	-۱۴/۷	-۱/۶	-۸/۱	۱۱۸/۹	۰
اسفند	-۱۰/۹	۱/۲	-۴/۷	۱۴۶/۹	۰
فروردین	-۴/۸	۵/۹	۰/۴	۱۰۲/۶	۴۸/۴
اردیبهشت	۲	۱۲/۱	۷/۱	۰	۱۳۸/۹
خرداد	۶/۷	۱۸/۵	۱۲/۵	۰	۴۱/۴

#### تعیین مساحت زیر پوشش برفی

با استفاده از دمای متوسط ماهانه ایستگاههای حوضه، رابطه تغییر دما با ارتفاع به صورت معادلات رگرسیون خطی محاسبه شد. نتایج محاسبات در جداول شماره (۷) تا (۹) به تفکیک میانگین دمای حداقل ماهانه، میانگین دمای حداکثر ماهانه و میانگین دمای متوسط ماهانه درج شده است. بر اساس این معادلات، ارتفاع متناظر دمای صفر درجه سانتیگراد برای ماههای مختلف سال تعیین گردید. ارتفاع دمای صفر درجه مربوط به متوسط حداقلها، نشان دهنده حداقل ارتفاع خط ماندگاری برف بر روی زمین و ارتفاع دمای صفر درجه مربوط به متوسط حداکثرها، نشان دهنده حداکثر ارتفاعی است که در صورت وجود پوشش برفی در حوضه، در بالای آن ذوبی صورت نمی گیرد (شفیعی، ۱۳۶۷). ارتفاع منحنی دمای صفر درجه مربوط به متوسط ماهانه، به عنوان متوسط خط ذوب و ریزش برف بکار می رود. مثلاً ارتفاع منحنی صفر درجه متوسط ماهانه آذر ماه ۲۴۶۲ متر است؛ یعنی اینکه به طور متوسط در این ماه برف باریده شده در ارتفاعات پایین تر از ۲۴۶۲ متر، ذوب شده است. ارتفاع دمای صفر درجه مربوط به متوسط حداقلها، نشان می دهد که در آذر ماه در ارتفاعات کمتر از ۱۳۹۹ متر هیچ موقع برف باقی نمانده، اما ارتفاع مربوط به دمای صفر درجه متوسط حداکثرها نشان می دهد که در آذر ماه در ارتفاعات بالاتر از ۳۷۵۲ متر هرگز ذوبی صورت نگرفته است. برای تعیین مساحت زیر پوشش برف حوضه در هر ماه، ارتفاع دمای صفر درجه متوسط آن ماه در نمودار هیپسومتری حوضه مشخص و مساحت حوضه در محدوده بالاتر از این ارتفاع تعیین گردید.

جدول ۷- معادلات خطوط برگشت دما نسبت به ارتفاع برای میانگین دمای حداقل ماهانه

ماه	معادلات	ضریب همبستگی (R)	ارتفاع متناظر با صفر درجه
مهر	$T = -0.0054Z + 16/877$	-0.792	3125
آبان	$T = -0.0046Z + 11/203$	-0.813	2435
آذر	$T = -0.0049Z + 6/8597$	-0.825	1399
دی	$T = -0.0057Z + 4/4714$	-0.829	784
بهمن	$T = -0.0073Z + 6/4795$	-0.912	887
اسفند	$T = -0.0075Z + 10/809$	-0.939	1441
فروردین	$T = -0.0067Z + 14/677$	-0.917	2190
اردیبهشت	$T = -0.0049Z + 16/204$	-0.900	3306
خرداد	$T = -0.0049Z + 20/912$	-0.814	4267
تیر	$T = -0.0041Z + 22/497$	-0.670	5487
مرداد	$T = -0.0045Z + 23/764$	-0.734	5280
شهریور	$T = -0.005Z + 20/655$	-0.826	4131

جدول ۸- معادلات خطوط برگشت دما نسبت به ارتفاع برای میانگین دمای حداکثر ماهانه

ماه	معادلات	ضریب همبستگی (R)	ارتفاع متناظر با صفر درجه
مهر	$T = -0.0046Z + 29/877$	-0.850	6495
آبان	$T = -0.0048Z + 23/693$	-0.888	4936
آذر	$T = -0.0042Z + 15/760$	-0.909	3752
دی	$T = -0.0039Z + 11/448$	-0.903	2935
بهمن	$T = -0.0053Z + 13/775$	-0.938	2599
اسفند	$T = -0.0062Z + 19/155$	-0.932	3089
فروردین	$T = -0.0078Z + 28/482$	-0.944	3651
اردیبهشت	$T = -0.0073Z + 33/236$	-0.975	4552
خرداد	$T = -0.0076Z + 40/504$	-0.976	5329
تیر	$T = -0.0064Z + 42/271$	-0.965	6604
مرداد	$T = -0.0057Z + 41/986$	-0.974	7365
شهریور	$T = -0.0053Z + 38/151$	-0.885	7198



جدول ۹- معادلات خطوط برگشت دما نسبت به ارتفاع برای میانگین دمای متوسط ماهانه

ماه	معادلات	ضریب همبستگی (R)	ارتفاع متناظر با صفر درجه
مهر	$T = -0.0051Z + 23/595$	-0/935	4626
آبان	$T = -0.0041Z + 16/694$	-0/831	4071
آذر	$T = -0.0046Z + 11/329$	-0/887	2462
دی	$T = -0.0048Z + 8/038$	-0/871	1667
بهمن	$T = -0.0063Z + 10/147$	-0/937	1610
اسفند	$T = -0.0068Z + 14/982$	-0/965	2203
فروردین	$T = -0.0075Z + 22/166$	-0/980	2955
اردیبهشت	$T = -0.0061Z + 24/745$	-0/978	4056
خرداد	$T = -0.0063Z + 30/738$	-0/968	4879
تیر	$T = -0.0051Z + 32/209$	-0/911	6315
مرداد	$T = -0.0051Z + 32/856$	-0/939	6442
شهریور	$T = -0.0048Z + 29/124$	-0/879	6067

برای مثال، در دی ماه حدود ۹۵ و در اسفند ماه ۶۴ درصد از مساحت حوضه زیر پوشش برف قرار دارد.

### برآورد ارتفاع آب معادل برف

در رابطه با برآورد ارتفاع آب معادل برف دو روش میانگین وزنی و فاصله معکوس و روش شاخص ذخیره برفی مورد استفاده قرار گرفت. در روش اول تلفیقی از روش میانگین وزنی و گرادیان پوشش برفی نسبت به ارتفاع بکار گرفته شد. مسافت معکوس یک تکنیک میانگین گیری وزنی است که در آن ضرایب به نسبت عکس مسافت دخالت می کند (شفیعی، ۱۳۶۷). مبنای روش شاخص ذخیره برفی، اختصاص دادن وزن به ایستگاههای برف سنجی با توجه به تغییرات سطح حوضه نسبت به ارتفاع (منحنی هیسومتری) و ملحوظ داشتن موقعیت ارتفاعی ایستگاههای برف سنجی می باشد. به این منظور به هر ایستگاه یک دامنه ارتفاعی و به هر دامنه ارتفاعی نیز یک سطح واقع در آن دامنه ارتفاعی نسبت می دهند که این سطح همان نقش ضریب وزنی حوضه را ایفا می کند. با استفاده از این دو روش، برای ایستگاههای برف سنجی در هر ماه ضرایبی محاسبه گردید تا آب معادل برف ماهانه هر ایستگاه در آن ضرب شود. حسن دو روش یاد شده در این است که ضرایب مذکور برای حوضه معین همیشه ثابت است و تغییر نمی کند. میانگین آب معادل برف ماهانه ایستگاههای برف سنجی در دوره آماری بلندمدت مطابق جدول شماره (۱۰) محاسبه شده است؛ با استفاده از نتایج بخش مدل رگرسیون چند متغیره خطی، روش شاخص ذخیره برفی برای منطقه مطالعاتی مناسب تر تشخیص داده شد، زیرا از سطح معنی دار بالاتری برخوردار بوده است. ضرایب ایستگاههای

برف‌سنجی در روش شاخص ذخیره برفی در جدول شماره (۱۱) و متوسط آب معادل برف حوضه در ماههای مختلف به روش یاد شده، در جدول شماره (۱۲) آورده شده است.

جدول ۱۰- تغییرات متوسط ارتفاع آب معادل پوشش برفی در ماههای مختلف نسبت به ارتفاع بر اساس داده‌های برف‌سنجی حوضه طالقان و کرج در دوره آماری (۷۶-۱۳۶۳)

ایستگاه	ماه	دی	بهمن	اسفند	فروردین
ارتفاع (m)	ارتفاع آب معادل (mm)	ارتفاع آب معادل (mm)	ارتفاع آب معادل (mm)	ارتفاع آب معادل (mm)	ارتفاع آب معادل (mm)
هلی چای	۲۵۰۵	۱۶۳/۳	۲۱۵/۱	۲۹۴/۸	۲۴۳
زیدشت	۱۹۰۰	۳۷/۹	۸۴/۶	۹۱/۲	۰
گلینک	۱۸۰۰	۳۸	۷۱/۲	۸۹/۱	۰
ده خجیره	۲۴۰۰	۸۳/۳	۱۲۸/۶	۱۸۹/۵	۱۰۴/۸
جستان	۱۸۹۰	۳۷/۲	۸۵/۴	۷۰/۵	۰
هرنج	۲۱۶۰	۳۲/۲	۶۷/۶	۶۵/۱	۰
دوک پل	۲۲۰۰	۴۵/۱	۱۰۷/۲	۱۰۰/۸	۰

جدول ۱۱- ضرایب ایستگاههای برف‌سنجی مطابق روش شاخص ذخیره برفی حوضه

ایستگاه	هرنج	جستان	زیدشت	گلینک	دوک پل	ده خجیره
ضریب	۰/۱۲	۰/۰۳	۰/۰۸	۰/۱۲	۰/۰۹	۰/۵۶

جدول ۱۲- متوسط آب معادل برف حوضه در ماههای مختلف به روش شاخص ذخیره برفی

ماه	دی	بهمن	اسفند	فروردین
متوسط آب معادل برف حوضه (mm)	۶۳/۳	۱۰۷/۶	۱۴۳/۱	۵۸/۲

### برآورد ذوب برف به روش بیلان انرژی

بررسیهای متعددی در رابطه با انرژی‌های مؤثر در ذوب برف صورت گرفته که از جمله آن می‌توان به یامازاکی و کندو (۱۹۹۲)، مک گرگور و جلاتلی (۱۹۹۶)، کلاین (۱۹۹۷)، نیل و فیتزهاریس (۱۹۹۷)، طالبور (۱۳۷۳)، فتاحی (۱۳۷۷) و مرید و گوساین و آشوک (۱۳۸۰) اشاره کرد.

بر اساس این مطالعات فرم عمومی معادله بیلان انرژی را می‌توان به صورت زیر نشان داد:

$$M = Mr + Md + Mg + Mcc + Msr + Mlr$$

عناصر این رابطه عبارتند از:

ذوب ناشی از باران (Mr)، ذوب ناشی از تقطیر (Md)، ذوب ناشی از جابجایی هوا (Mcc)، ذوب ناشی از تابش

با طول موج بلند (Mlr)، ذوب ناشی از هدایت حرارتی زمین (Mg) و ذوب ناشی از تابش با طول موج کوتاه (Msr). اطلاعات تفصیلی در رابطه با مؤلفه‌های تفکیکی رابطه فوق در تحقیق شرعی‌پور (۱۳۸۱) قابل دسترسی است. در اینجا ذوب برف به روش بیلان انرژی به صورت نقطه‌ای و صرفاً برای ایستگاه زیدشت در ماههای اسفند و فروردین سال (۷۱-۱۳۷۰) محاسبه شده است. علت انتخاب این سال، پربرف بودن آن می‌باشد و محاسبه یاد شده به تفکیک روز برای فروردین ماه در ایستگاه پیش گفته انجام پذیرفته است (شرعی‌پور، ۱۳۸۱) که از ذکر جزئیات آن در اینجا خودداری می‌شود، ولی جمع ماهانه و درصد هر کدام از مؤلفه‌ها در جدول شماره (۱۳) آمده است. مقایسه این عوامل نشان می‌دهد که ذوب ناشی از طول موج بلند، بالاترین سهم را دارد و بعد از آن ذوب ناشی از طول موج کوتاه و ذوب ناشی از جابجایی حرارت توسط باد قرار دارد و در این منطقه ذوب ناشی از تقطیر در مقایسه با عوامل دیگر ذوب، اثر تعیین کننده‌ای در میزان ذوب برف ندارند.

جدول ۱۳- مقدار و درصد سهم ماهانه هر یک از منابع انرژی مؤثر در ذوب برف در فروردین ماه سال آبی (۱۳۷۰-۷۱)

عامل ذوب برف	Mr	Md	Mg	Mcc	Msr	Mlr	جمع
درصد	۰/۴	۰/۹	۵/۲	۱۱/۱	۱۶/۳	۶۶/۱	۱۰۰
مقدار (mm)	۱/۳	۲/۶۵	۱۵/۸۱	۳۳/۹۴	۵۰	۲۰۲/۸	۳۰۶/۵

#### بررسی آمار دبی منطقه مورد مطالعه

نرمال آمار دبی ایستگاه هیدرومتری «گلینک» به صورت ماهانه محاسبه شده که در جدول شماره (۱۴) آمده است. بیشترین مقدار دبی در اردیبهشت و کمترین آن در شهریور دیده شده است. بررسیهای تفصیلی بر هیدروگراف سالانه نشان می‌دهد که بیشترین دبی روزانه در ۶ تا ۷۳ روز اول سال یعنی از ششم فروردین تا یازدهم خرداد مشاهده می‌شود. حداکثر جریان رودخانه در اردیبهشت ماه رخ می‌دهد که ناشی از ذوب سریع برفها در پی ریزش بارانهای گرم بهاری و افزایش دمای هوا در ارتفاعات برفگیر است.

جدول ۱۴- آبدی رودخانه طالقان در ایستگاه هیدرومتری گلینک بر حسب (مترمکعب بر ثانیه) در دوره آماری (۱۳۶۳-۷۶)

مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور
۴/۲۷	۶/۱۳	۶/۰۵	۴/۹۹	۵/۱۲	۸/۵۶	۲۴/۶۲	۴۲/۶۹	۳۲/۹۵	۱۵	۶/۶	۴/۱۱

#### مدل تحلیل رگرسیون چند متغیره خطی برای پیش بینی دبی رودخانه در ماههای فصل بهار

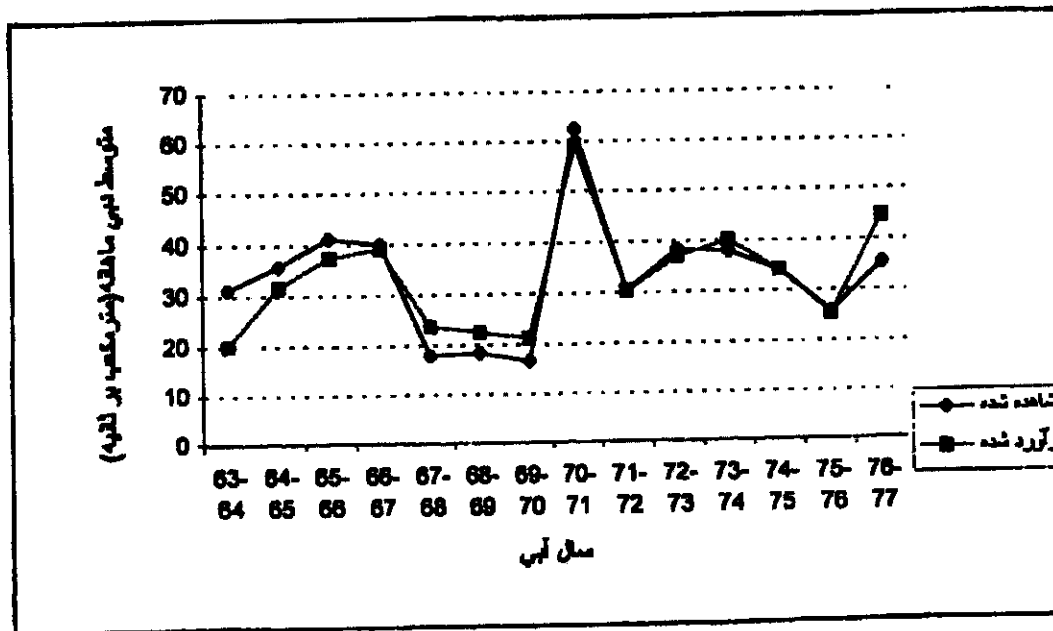
پیش بینی آبدی رودخانه می‌تواند در بهره‌برداری بهینه از منابع آبی حوضه مؤثر باشد. اساس پیش بینی بر این اصل استوار است که میزان برف انباشته شده در حوضه به عنوان یک ذخیره آبی محسوب می‌شود که به تدریج در فصل گرمتر ذوب شده و قسمتی از آبدی رودخانه را تشکیل می‌دهد. اختلاف زمانی بین مرحله ذوب این امکان را

فراهم می کند تا با اندازه گیری پارامترهای مؤثر بتوان جریان حاصل از ذوب را از قبل پیش بینی نمود (شفیعی، ۱۳۶۷). در این تحقیق دبی رودخانه در ماههای فروردین، اردیبهشت و خرداد از پیش برآورد شده که در آن دبی ماه مورد نظر به عنوان متغیر وابسته و برف و باران و دبی ماههای قبل به عنوان متغیر مستقل می باشد. با مقایسه مقادیر پیش بینی شده با مقادیر واقعی ملاحظه شد که برآورد دبی خرداد ماه از دقت بیشتری برخوردار بوده که در آن دبی خرداد ماه وابسته به آب معادل برف در فروردین ماه و بارندگی در اردیبهشت ماه حاصل آمده است. در خرداد ماه بر اساس رابطه زیر دبی های رودخانه برآورد و نتایج حاصله با دبی های مشاهده شده، مقایسه گردیده است:

$$y = 0.162X_1 + 0.136X_2 + 10.69$$

که در آن  $X_1$  آب معادل برف در فروردین و  $X_2$  بارندگی در اردیبهشت ماه می باشد. نتایج مقایسه فوق که در شکل شماره (۳) ارائه شده نشان می دهد که تغییرات مقادیر پیش بینی شده از تغییرات دبی مشاهده شده به خوبی تبعیت می کند.

شکل ۳- مقایسه مقادیر دبی محاسبه شده با مقادیر مشاهده شده در خرداد ماه



### نتیجه گیری

در ابتدا محاسبه ضریب برفی به صورت ماهانه برای هر کدام از ایستگاههای باران سنجی به کمک تحلیل های مربوط به گرادیان بارندگی ماهانه و سالانه با ارتفاع، ترسیم نقشه همباران ماهانه و سالانه، محاسبه درصد بارندگی ماهانه به سالانه از طریق پلانیمتری نقشه های همباران یاد شده و بالاخره ترسیم نقشه های هم ضریب برفی طی ماههای آبان تا فروردین انجام پذیرفت. تحلیل های یاد شده ضریب برفی سالانه حوضه را برابر ۵۶ درصد بدست داده که در معیار ماهانه، طی ماههای برفی بین ۴۲ درصد در آبان تا حدود ۹۲ درصد در بهمن متغیر است. در ادامه، مقدار ریزش برف ارتفاعات بارز حوضه بدین صورت محاسبه شد که ابتدا به کمک رابطه حاصل

آمده بین بارندگی سالانه و ارتفاع ایستگاههای مختلف حوضه، بارندگی سالانه ارتفاع مورد نظر برآورد گردید. از حاصل ضرب عدد اخیر در نسبت بارندگی ماهانه به سالانه، مقدار بارندگی ماهانه ارتفاع تحت بررسی و بالاخره از ضرب این عدد در ضریب برفی همان ماه، مقدار برف ارتفاع یاد شده محاسبه شد. به عنوان مثال ارتفاع برف ارتفاعات ۲۰۰۰، ۲۵۰۰ و ۲۹۰۰ متری در اسفند ماه در حوضه به ترتیب ۴۵/۹، ۱۱۵/۳ و ۱۴۶/۹ میلی متر برآورد گردیده است.

سپس با استفاده از تحلیل روابط همبستگی دما و ارتفاع به تفکیک ماهانه و سالانه برای دمای متوسط حداقل، میانگین و متوسط حداکثر و منحنی هیپسومتری حوضه، مساحت زیر پوشش برف در هر ماه تعیین شد. به عنوان نمونه‌ای از محاسبات این بخش، ارتفاع متناظر دمای صفر درجه سانتیگراد در آذر ماه به ترتیب به ازای دمای متوسط حداقل، دمای میانگین و دمای متوسط حداکثر برابر با ۱۳۹۹، ۲۴۶۲ و ۳۷۵۲ متر برآورد گردیده که مؤید آن است که در این ماه در ارتفاعات کمتر از ۱۳۹۹ متر هیچ موقع برفی نمانده و برف باریده شده، در ارتفاعات پایین تر از ۲۴۶۲ متر ذوب شده و بالاخره در ارتفاعات بالاتر از ۳۷۵۲ متر هرگز ذوبی صورت نگرفته است. باز هم به عنوان مثال، در دی ماه حدود ۹۵ و در اسفند ماه حدود ۶۴ درصد از مساحت حوضه زیر پوشش برف قرار دارد.

با استفاده از روشهای میانگین وزنی و فاصله معکوس و روش شاخص ذخیره برفی، ارتفاع آب معادل برف منطقه طی ماههای برفی برآورد گردید که از جمله، مقدار آن به روش شاخص ذخیره برفی طی ماههای دی تا فروردین است که بین ۵۸/۲ میلی متر در فروردین تا ۱۴۳/۱ میلی متر در اسفند ماه برآورد شده است.

حاصل برآورد ذوب برف به روش بیلان انرژی به صورت نقطه‌ای و فقط برای زیدشت بر سهم بالای ذوب ناشی از طول موج بلند به مقدار ۶۶ درصد کل ذوب سالانه حکایت دارد و مؤلفه‌های طول موج کوتاه و جابجایی حرارت توسط باد به ترتیب با حدود ۱۶ و ۱۱ درصد کل ذوب سالانه در ردیف‌های بعدی قرار گرفته‌اند.

نتیجه نهایی بررسیها می‌تواند در پیش‌بینی دبی آب رودخانه که در فصول ذوب، حاصل جمع بارش و آب ناشی از ذوب برف خواهد بود، بکار رود. در پژوهش حاضر نیز اقدام نهایی، ملحوظ نمودن کلیه یافته‌های قبلی به منظور اقدام به پیش‌بینی مقدار آب رودخانه طی ماههای فروردین، اردیبهشت و خرداد بوده است؛ چرا که اگر از پیش بتوان ایده‌ای از مقدار جریان آب رودخانه در ماههای آبی بدست داد، می‌توان از آن در برنامه‌ریزیهای مربوط به تأمین منابع آب بهره گرفت. گرچه مقایسه مقادیر حاصل از پیش‌بینی و مقادیر دیده‌بانی شده بر انطباق نسبی این دو مقدار در ماههای فروردین و اردیبهشت دلالت داشته، لیکن بهترین انطباق بین مقادیر پیش‌بینی و دیده‌بانی شده برای خرداد ماه حاصل آمده است. نتیجه نهایی اینکه به کمک تحلیل‌های یاد شده می‌توان حداقل از یک ماه قبل بر منابع آبی قابل دسترس در ماه آبی، ماههای ریزش باران توأم با ذوب برف با دقتی قابل قبول حکم نمود.

## منابع و مأخذ

- ۱- شرعی پور، زهرا، ۱۳۸۱، ذوب برف در حوضه آبریز طالقان، پایان نامه کارشناسی ارشد، موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران.
- ۲- شفیع علیوجه، رحمت الله، ۱۳۶۷، هیدرولوژی برف، مطالعه موردی سد امیرکبیر، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی کرج.
- ۳- طالبپور اصل، داود، ۱۳۷۳، هیدرولوژی برف حوضه آبریز رودخانه مهاباد، مجموعه مقالات اولین سمینار هیدرولوژی برف و یخ، سازمان آب منطقه‌ای آذربایجان غربی.
- ۴- فتاحی، ابراهیم، ۱۳۷۷، مدل تحلیل کمی ذوب برف، مطالعه موردی حوضه سد لثیان، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت معلم.
- ۵- قائمی، هوشنگ و سعید مرید، ۱۳۷۳، تحلیل برف در حوضه آبخیز رودخانه دماوند، مجموعه مقالات اولین سمینار هیدرولوژی برف و یخ سازمان آب منطقه‌ای آذربایجان غربی.
- ۶- مرید، س.، گوساین، ای. کی. و آشوک، ک.، کشاری، ۱۳۸۰، چالش‌های موجود در تشابه‌سازی فرآیند ذوب برف - رواناب، نشریه فیزیک زمین و فضا ۲۷، ۴۱.
- 7-Cline, D.W., 1997. Effect of seasonality of snow accumulation and melt on snow surface energy exchanges at a continental Alpine site: Jour. Of Applied Meteorology ., No.36,PP, 32-51.
- 8-Mcgregor,G.R. and Gellatly ,A.F., 1996. The energy balance of a melting snowpack in the French pyrenees during warm anticyclonic condition: Jour. Of Climate., No.16, PP, 479-486.
- 9-Neals,S.M. and Fitzharris , B.B., 1997. Energy balance and synoptic climatology of a melting snowpack in the southern Alps, New Zealand: Jour Of Climate., No.17,PP, 1595-1609.
- 10-Yamazaki, T.and Kondo, J., 1992. The snowmelt and heat balance in snow covered forested areas: Jour. Of Applied Meteorology., No.31, PP, 1322-1327.