



مدل‌های ذوب برف

دکتر سیده آمنه سجادی

عضو هیئت علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد رشت

چکیده

جهت پیش‌بینی جریان در نواحی کوهستانی و مطالعه فعالیت سیستم رودخانه‌ها تعیین پارامترهایی چون، بارش- برف و عمق برف- میزان دبی و دمای هوا بسیار مهم می‌باشند. در ارتباط با هیدرولوژی برف تعیین مدل‌های مناسب ذوب برف در هر منطقه قابل اهمیت می‌باشند. لذا در این مقاله پس از مطالعه عوامل مؤثر در ذوب برف به بررسی انواع مدل‌های ذوب برف پرداخته و بهترین مدل ذوب برف را معرفی می‌کنیم.

واژه‌های کلیدی: برف، مدل، ذوب برف، هیدرولوژی

مقدمه

هیدرولوژی برف از شاخه‌های علم هیدرولوژی است. با آغاز نیمه دوم قرن بیستم مطالعات جدی در این زمینه صورت گرفته است. براساس پارامترهای هواشناسی و فیزیوگرافی حوضه مدل‌هایی ارائه شده است. مرکز منابع ملی ژاپن (۱۹۶۱) مدل (Tank Model With snow model) TANK را به منظور مطالعه فعالیت سیستم رودخانه‌ها و جهت مقاصد چندگانه طراحی نموده در این مدل براساس پارامترهایی نظیر بارش، دمای روزانه (متوسط-ماکزیمم-می‌نیمم)، ارتفاع آب معادل برف و عمق برف، میزان دبی روزانه و ماهانه محاسبه شده است. (A.PiPes(1964

به منظور پیش‌بینی جریان در نواحی کوهستانی و تعیین رواناب مدل U.B.C (V.B.C Watershed) را ارائه داد. در مدل فوق پارامترهایی نظیر بارش روزانه، دمای روزانه نقشه توپوگرافی به مقیاس ۱:۵۰۰۰۰۰ و اطلاعات هیدرولوژی مورد بررسی قرار گرفته و براساس آن آلودی ناشی از ذوب برف تعیین شده است. (Morin (1971 مدل CEQVEAV را به منظور پیش‌بینی کوتاه مدت سیلاب‌های ناشی از ذوب برف و خشکسالی‌ها ارائه داد. در مدل مذکور پارامترهایی نظیر درصد پوشش جنگلی حوضه، داده‌های هواشناسی شامل دمای روزانه (متوسط-ماکزیمم-مینیمم)، بارش به همراه تفکیک باران و برف، آب معادل برف و داده‌های دبی مورد بررسی قرار گرفته است. همچنین در این مدل حوضه به چندین زیر حوضه تقسیم شده و براساس معادله رگرسیون بین ارتفاع ایستگاه‌های هواشناسی و دما- دمای هر ارتفاع محاسبه شده است. مدل فوق در حوضه‌هایی با وسعت ۱۰ تا ۱۰۰۰۰۰ کیلومتر مربع در کشورهای کانادا، فرانسه و آفریقا بکاررفته است.

در دانمارک (1972)، مدل (Mniny NAM Nedbor-Aistro

(Rainfall-Rouoff) Model) به منظور تهیه آب، برآورد سیلابها و تولید نیرو طراحی گردید، در این مدل ذوب برف براساس روش بیلان انرژی و با استفاده از پارامترهای دما، سطح پوشش برف، حوضه، سرعت باد، رطوبت نسبی و بارش محاسبه شده است. (Anderson (1973 ترکیبی از روش بیلان

انرژی و درجه روز را برای محاسبه ذوب ارائه نمود. براساس روش وی در شرایط بارندگی معادله بیلان انرژی و در شرایط روزهای بارش معادله درجه- روز استفاده شده است.

جی ماتینس در سوئیس (۱۹۷۳) به منظور مدیریت منابع آب، آبیاری و ذخیره آب، مدل (Snow melt Runoff Model) (SRM) را ارائه داده در این مدل ریزش برف و باران با استفاده از دمای آستانه (دمای بحرانی) تفکیک شده است. همچنین پوشش برفی حوضه با کمک سنسور از راه دور، عکسهای هوایی و برداشت زمین تعیین می‌گردد. مدل مذکور در حوضه‌های کوهستانی کمتر از ۴۰۰۰ کیلومتر مربع مناسب می‌باشد.

مدل (NWSNPF National weather service Snow Accumulation and Ablation model)

مربوط به سرویس آب و هواشناسی در سال (۱۹۷۳)، به منظور پیش‌بینی سیلاب، تهیه آب و مدیریت منابع آب تهیه شده است. در این مدل ذوب برف در دوره‌های بارانی و غیربارانی به دو صورت نقطه‌ای و منطقه‌ای محاسبه می‌شود، همچنین نوع ریزش‌های جوی با توجه به دمای بحرانی تفکیک شده است. جهت محاسبه بارش در نواحی مسطح از روش پلی‌گون تیسن در نواحی کوهستانی از روش وزنی نمودن ایستگاه‌ها و خطوط هم باران استفاده شده است.

اطلاعات مورد نیاز مدل شامل فیزیوگرافی حوضه، نقشه توپوگرافی

حوضه، نقشه پوشش گیاهی و داده‌های هواشناسی می‌باشد.

مدل (Empiric 1 Regressive Model) (ERM (1978) در چکسلواکی

و براساس روش درجه- روز و تغییرات ماهانه فاکتور درجه- روز طراحی شده است، و در حوضه‌هایی با وسعت $K^2 M$ ۱۰۰-۵۰۰۰ کاربرد دارد. پارامترهای مورد نیاز در مدل فوق شامل اطلاعات هواشناسی (دما و بارش) و داده‌های دبی سنجی می‌باشد.

خروجی مدل فوق شامل جداول و گراف‌های حاصل از ذوب برف می‌باشد.

لذا مدل فوق برای پیش‌بینی سیستم رواناب رودخانه بودراکی واقع در شرق اسلواکی استفاده شده است. همچنین بخش مطالعات هیدرولوژی انگلستان در سال ۱۹۸۱ مدل (Istitute of Hydrology Distributed Model) IHDM را ارائه داده است. مدل فوق براساس دو متد درجه-روز و بیلان انرژی طراحی شده است. با استفاده از پارامترهای اندازه‌گیری شده نظیر تبخیر و تعرق، رطوبت خاک، ضریب زبری کانال‌ها، تراکم، گرمای ویژه، گرادیان بارش و گرادیان دما به برآورد دبی روزانه حاصل از ذوب برف می‌پردازد، مدل مذکور در حوضه‌های کوچک کاربرد دارد. در شرایط ایران که برف بخش قابل ملاحظه‌ای از منابع تغذیه کننده جریان‌های سطحی و زیرزمینی را تشکیل می‌دهد، نه تنها روشهای ذوب برف مورد بررسی قرار نگرفته‌اند، بلکه هیدرولوژی برف نیز تاکنون چندان مورد توجه واقع نشده است. در



شده است. در این تحقیق عامل اصلی ذوب برف درجه حرارت و بارش های بهاری منظور شده است. خطیبی در مقاله ای تحت عنوان برآورد ارتفاع بارش برف در بلندی های البرز، با استفاده از روش غیر مستقیم و از طریق شناسایی موقعیت توپوگرافی و توزیع بارندگی در ماه های سرد سال پوشش برفی سالانه را برآورد نموده است. رئیسی در مقاله ای تحت عنوان بررسی ذوب برف در ارتفاعات زاگرس، مکانیسم ذوب برف را به روش های بیلان انرژی، درجه-روز و ترکیبی، با استفاده از عوامل هواشناسی محاسبه نموده است. سپس این سه روش محاسبات را با نتایج ذوب برف حاصل از لیسیتتر مقایسه نموده است. طالی پور (۱۳۷۲) به منظور تخمین میزان ذوب برف در طول ماه های فصل ذوب از دو روش بیلان انرژی و درجه-روز استفاده نموده و ذوب برف را بصورت ماهانه، برای حوضه آبریز رودخانه مهاباد محاسبه کرده است. همچنین مقاله ای تحت عنوان تحلیل برف در حوضه آبخیز رودخانه دماوند توسط قائمی ارائه شده است. در این تحقیق 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 در ماه های مختلف، با استفاده از مدل کامپیوتری TABSNW بررسی شده است. و در پایان نامه فتاحی (۱۳۷۷) به منظور مدیریت منابع آب و پیش بینی سیلاب مدل Snow تهیه گردیده، در این مدل ذوب برف براساس روش های بیلان انرژی و درجه-روز با استفاده از پارامترهای هواشناسی نظیر بارش روزانه، دمای روزانه، آب معادل برف، رطوبت نسبی، سرعت باد به دو صورت نقطه ای و منطقه ای محاسبه و براساس آن آبدهی ناشی از ذوب برف برآورده شده است.

برف (Snow)

در صورتی که درجه حرارت آب از صفر درجه سلسیوس کمتر و حاوی ذرات یخ نیز باشند، از برخورد آنها دانه های برف (Snow Flake) بوجود می آید. بهترین شرایط برای این پدیده درجه حرارت بین صفر تا $^{\circ}C$ -۴ است. هرچه دمای هوا و درصد آب کاهش یابد، اندازه دانه های برف نیز کوچکتر خواهد شد. دانه های برف، با آرایش های خاص بهم متصل شده و سقوط می نمایند. (علیزاده، ۱۳۷۴)

در شرایط عمومی برف همانند باران بوجود می آید. تبدیل از حالت بخار به حالت جامد به علت دمای زیر صفر می باشد، که مستقیماً بخار آب تبدیل به حالت جامد می شود. بلورهای یخ با ادامه عمل تصعید (تبدیل مستقیم بخار آب به حالت جامد) افزایش یافته و بلورهای یخ بزرگتر و سنگین تر می شوند و زمانی که وزن آنها بیشتر از ذرات معمولی هوا شد سقوط می کنند و ریزش برف آغاز می شود.

اندازه گیری برف

برای تعیین میزان نزولات جوئی یا پیش بینی حجم منابع آب در بلند مدت و همچنین پیش بینی سیل و بهره برداری از مخازن سدها، اطلاع از مقدار برف انباشته شده در حوضه و اندازه گیری های موضعی بسیار مهم می باشد. مقدار بارش برف تازه نشست شده بر روی زمین، معمولاً به دو صورت اندازه گیری

نتیجه تجزیه و تحلیل و استفاده از آن پیشرفت زیادی نداشته است. بطور کلی نشریات و مقالاتی که تاکنون در زمینه برف به فارسی ترجمه و تدوین شده اند به قرار زیر می باشند.

قائمی و نوحی (۱۳۵۵) کتابی تحت عنوان تجزیه و تحلیل آماری و ریزش برف تدوین نموده اند. در این کتاب به منظور پیش بینی ریزش برف، دیده بانی های یک دوره ده ساله سطح زمین در ۲۱ ایستگاه سنوستیک مورد مطالعه قرار گرفته و پارامترهایی نظیر درجه حرارت و درجه حرارت نقطه شبنم بررسی و رابطه تجربی بین درجه حرارت نقطه شبنم و اختلاف آن با درجه حرارت خشک به منظور پیش بینی ریزش برف ارائه شده است. در همین راستا مدرس پور (۱۳۶۹) پایان نامه ای تحت عنوان سطح یخبندان و ارتباط آن با ریزش های جوئی ارائه داده است. در این تحقیق با استفاده از دیاگرام Skewt-logp در طی یک دوره پنج ساله ریزش برف با سطح یخبندان در ایستگاه مهرآباد مورد بررسی قرار گرفته و اظهار شده در چهار ماه آذر، دی، بهمن و اسفند اگر سطح یخبندان تا ۶۵ هکتوپاسکال سطح زمین باشد پدیده ریزش برف بوقوع می پیوندد و اگر سطح یخبندان بالاتر از ۶۵ هکتوپاسکال بالای سطح زمین باشد، ریزش باران صورت می گیرد. مشایخی (۱۳۶۲) نشریه ای تحت عنوان استفاده از هیدرولوژی برف در بررسی های منابع آب تدوین نموده است. در این نشریه، از شروع تشکیل برف تا مرحله استفاده از آن در بررسی ها و برنامه ریزی های منابع آب به اجمال مورد بررسی قرار گرفته است. امور برنامه ریزی شرکت مهاب قدس (۱۳۶۴) نشریه ای تحت عنوان خواص فیزیکی برف، که ترجمه ای از مقاله Blance Houille مجله بین المللی آب شماره ۸ می باشد را ارائه داده اند، در این نشریه به مطالبی در زمینه تشکیل برف و خواص فیزیکی برف نظیر چگالی، هدایت الکتریکی، هدایت حرارتی و آلبیدو اشاره شده است. شفیع (۱۳۷۶) پایان نامه ای تحت عنوان هیدرولوژی برف (مطالعه بر روی سد امیرکبیر) ارائه داده اند.

در این تحقیق مکانیسم ذوب و عوامل مؤثر در ذوب برف مورد بررسی قرار گرفته و در نهایت با استفاده از روش رگرسیون چند متغیره دبی ورودی به سد براساس داده های برف سنج برآورد شده است. هیدرولوژی برف (برف پشته و برفاب) بخشی از ترجمه متن انگلیسی از کتاب مقدمه ای بر علم هیدرولوژی، توسط جهانگیر وحیدی (۱۳۶۹) ترجمه شده است. در این ترجمه پیرامون ذخیره برفی و اندازه گیری آن، روش نمونه برداری آب معادل برف، خواص فیزیکی برف شامل چگالی برف، آب معادل برف و همچنین مختصری در زمینه ذوب برف بحث شده است. در همین رابطه یک سری مقاله خارجی بصورت پراکنده ترجمه شده است. از جمله مقاله ای تحت عنوان محاسبه بده آب حاصل از ذوب توسط خانجانی (۱۳۶۵) و مقاله ای تحت عنوان اندازه گیری برف توسط رنجبر (۱۳۶۶) ارائه شده است.

در طی سال های اخیر با برگزاری اولین سمینار برف و یخ به توصیه کمیسیون آبشناسی یونسکو و با همکاری و هماهنگی مشترک سازمان تحقیقات منابع آب و سازمان منطقه ای آذربایجان غربی در بهمن ماه (۱۳۷۲) فعالیت هایی در این زمینه صورت گرفته و مقالاتی ارائه گردیده است. مقاله ای تحت عنوان بررسی مقدماتی تأثیر ذوب برف در جریان رودخانه ليقوان توسط موحد دانش ارائه



همچنین بندرت T_p به طور دقیق بدست می آید. منتهی می توانیم از یک مقدار متوسط استفاده نمائیم (وحیدی، ۱۳۶۹).

گرمای نهان تبخیر بسته به درجه حرارت از فرمول زیر محاسبه میشود.

$$HV = 597/3 - 0/56 t$$

هر گرم یخ صفر درجه به $79/8$ کالری حرارت نیاز خواهد داشت تا بتواند به آب صفر درجه تبدیل شود (گرمای نهان ذوب). که این مقدار باید به گرمای نهان تبخیر اضافه شود.

$$LM = [597/3 - 0/56(3/1)] + 79/8 = 678/84$$

در معادله کیفیت حرارتی برف با توجه به اینکه $(LMS = LM(T_p < 0^\circ C))$ می باشد، یعنی گرمای نهان ذوب برف و یخ LM و LMS برابر خواهد بود.

کیفیت برف Snow quality

مقدار ذرات یخ موجود در داخل برف پشته را کیفیت برف گویند که نشان دهنده مقدار انرژی موردنیاز برای ذوب شدن می باشد. کیفیت برف معمولاً بیش از ۹۵٪ می باشد ولی چنانچه برف با سرعت ذوب شود ممکن است تا حدود ۶۰٪ نیز تقلیل یابد. (کامیاب، ۱۳۶۸)

برای اندازه گیری کیفیت برف از روش کدر عتبری استفاده می کنند. (شفیعی، ۱۳۶۷)

آلبیدو یا ضریب بازتاب Albedo

نسبت انرژی بازتابیده به کل انرژی تابیده شده در سطح یک جسم را آلبیدوی آن جسم می نامند، که معمولاً برحسب درصد اشعه تابیده شده محاسبه می شود. آلبیدوی سطوح صاف مانند برف انعکاس شدیدی دارند و به شدت از زاویه خورشید تأثیر می گیرند. (علیچانی، ۱۳۷۰)

با توجه به این که مهمترین منبع انرژی خورشید است، در حالی که ۵ تا ۱۰٪ انرژی تابش با طول موج کوتاه و توسط سطح آزاد آب منعکس می شود و مابقی به مصرف افزایش دما و تبخیر می رسد، این رقم در مورد برف تازه و خشک به ۸۰ تا ۹۰٪ بالغ می شود. با افزایش عمر پوشش برف، نسبت بازتاب آن به ۵۰٪ و یا حتی کمتر تقلیل می یابد.

لارمی و اسپچاک معادله ای برای دو فصل ذخیره و ذوب بطور مجزا تنظیم کردند. (وحیدی، ۱۳۶۹)

$$A = 0/85(0/94)^t \quad \text{برای فصل ذخیره}$$

$$A = 0/85(0/82)^t \quad \text{برای فصل ذوب}$$

(t) = تعداد روز بارش یا عمر سطح برف

تداوم عمر برف پشته بدلیل تغییرات حاصله در ساختمان بلوری، تراکم، افزایش گرد و غبار و خاشاک در سطح باعث کاهش بازتاب در سطح برف می شود که در نتیجه انرژی لازم برای ذوب برف نیز افزایش می یابد.

مکانیسم ذوب برف

ذوب برف به دلیل ایجاد رواناب و در نهایت افزایش جریان رودخانه ای حائز اهمیت است. ذوب برف بستگی زیادی به خصوصیات برف هنگام ریزش، شرایط آب و هوایی به خصوص دمای هوا و بارش های گرم و

می شود. یکی دریافت ریزش در هنگام سقوط به طرف زمین با یک دریافت کننده (برف سنچ) و دیگری اندازه گیری مقدار برف تازه نشسته شده در فضای باز و در مسیر برف راهه (Snow Course) انجام می شود.

چگالی برف Density

چگالی = جرم واحد حجم هر جسم دانسیته یا چگالی جسم است. دانسیته برف = مقدار درصد از حجم برف که مساوی حجم آب معادل آن است. چگالی برف تازه از $0/07$ تا $0/15$ متغیر است و متوسط آن حدود $0/1$ می باشد. بنابراین ارتفاع آب معادل برای هر سانتیمتر برف تازه $0/1$ سانتی متر یعنی یک میلیمتر است. با انباشته شدن برفها بر روی یکدیگر دانسیته برف نیز افزایش می یابد و بطور کلی چگالی برف با افزایش عمق و همچنین فرآیند فصلی ذخیره سازی افزایش می یابد. (موحد دانش، ۱۳۶۷).

اندرسون و گرافورد رابطه تجربی زیر را برای محاسبه چگالی برف ارائه داده اند. (وحیدی، ۱۳۶۹)

$$DNS = INDS + \left(\frac{Ta}{100}\right)^2$$

$$Ta > 0^\circ F \quad Pn = 0/05 + \left(\frac{Ta}{100}\right)^2$$

$$Ta < 0^\circ F \quad Pn = 0/05$$

از معادله فوق DNS چگالی برف و $INDS$ چگالی برف در صفر یا زیر صفر درجه فارنهایت، Ta درجه حرارت هوا برحسب فارنهایت می باشد.

اندرسون و گرافورد مقدار عددی $0/05$ را برای $INDS$ پیشنهاد نموده اند آب معادل برف، (لوله برفگیر با برف نمونه برداری شده)

$$Cm = \frac{W}{S} = \frac{\text{وزن برف داخل لوله}}{\text{سطح مقطع نمونه بردار}} = \text{معدل}$$

$$W = \text{وزن آب معادل} = \text{وزن برف}$$

$$S = \text{سطح مقطع نمونه بردار}$$

$$\text{وزن آب معادل} = \text{ارتفاع آب معادل} \times S \times \text{وزن مخصوص آب}$$

$$H = \text{ارتفاع آب معادل}$$

کیفیت حرارتی برف (Thermal quality)

Q_t یا کیفیت حرارتی برف عبارت است از نسبت حرارت مورد نیاز جهت تولید مقدار معینی آب از برف مورد نظر به مقدار حرارت مورد نیاز جهت ذوب همان مقدار آب از یخ در درجه حرارت صفر درجه سلسیوس که Q_t در درجه حرارت های زیر انجماد، می تواند به مقدار بیشتر از ۱۰۰٪ نیز افزایش بیابد (موحد دانش، ۱۳۶۷) که به طور کلی از معادله زیر بدست می آید.

$$LMS = \text{گرمای نهان ذوب برف}$$

$$LM = \text{گرمای نهان ذوب یخ}$$

$$CS = \text{گرمای ویژه برحسب کالری بر درجه}$$

$$\text{سلسیوس}$$

$$TP = \text{درجه حرارت برف پشته برحسب سلسیوس می باشد.}$$

برای کلیه برف های مستعد و یخ، CS به مقدار $0/5$ در نظر گرفته می شود

$$\theta = \frac{LMS}{LM} - \frac{Cs.Tp}{LM}$$



$$Q = Q_0 \cdot I \cdot \cos(Z_0)$$

برای یک سطح افقی

برای مناطق کوهستانی مثل دماوند

=S شیب دامنه

$$Q = Q_0 \cdot I \cdot \cos(Z_0 - S)$$

دامنه‌های جنوبی

$$Q = Q_0 \cdot I \cdot \cos(Z_0 + S)$$

دامنه‌های شمالی

سپس مقادیر بدست آمده در مهرآباد (ایستگاه سطح) برای دماوند (کوهستانی) تعدیل یافت. در مناطق کوهستانی پوشش ابری آسمان متراکم‌تر است و در مقایسه با ابرناکی سالیانه دماوند و مهرآباد تشعشع رسیده به منطقه بین ۰/۸ تا ۰/۷۵ درصد مهرآباد برآورد گردید. در این مطالعات مقدار ۸۰ کالری، انرژی لازم برای ذوب معادل یک سانتیمترمکعب آب در نظر گرفته شده یک سانتیمتر برف معادل ۱ میلی‌متر آب فرض شده است.

۲- ذوب برف در اثر بارش

در مقایسه قائمی و مرید (نیووار ۲۴) در بررسی بر روی حوضه دماوند آمده است:

ذوب برف بواسطه بارندگی چندان زیاد مؤثر نمی‌باشد و تنها در مناطقی که با بارندگی‌های گرم مواجه هستند گاهاً ارقام قابل توجهی از ذوب را سبب می‌گردند که منطقه تحت مطالعه (حوزه دماوند) تحت تأثیر این نوع بارندگی‌ها نمی‌باشد. روابط مختلفی برای برآورد ذوب توسط بارندگی ارائه شده است که عموماً نیاز به پارامترهایی دارد که تهیه آنها با مشکلاتی مواجه است و یا عملی نمی‌باشد.

براساس روش ارائه شده توسط W.M.O رابطه زیر مطرح است.

$$hm = (0.1 + 0.12 \cdot P + 0.8 \cdot K \cdot U) \times T + 2$$

T = درجه حرارت متوسط روزانه برحسب درجه سانتیگراد

P = متوسط بارندگی ماهانه برحسب میلی‌متر

K = ضریب کاربردی منطقه

V = سرعت متوسط باد برحسب متر در ثانیه

hm = عمق معادل ذوب برف برحسب میلی‌متر بر اثر بارندگی است. با توجه

به مقدار کم Ku ۰/۸ مقدار آب در تحقیقات مقاله مورد نظر صفر در نظر

گرفته شده است. در پایان نامه فتاحی (۱۳۷۷) حرارت ناشی از باران این گونه

مطرح شده که مقدار کمی است، چون در فواصل زمانی که باران بر روی برف

پشته‌ای نازل می‌گردد درجه حرارت باران پایین می‌باشد. هر چند که در درجه

حرارت‌های بالا، باران می‌تواند منبع حرارتی قابل توجهی باشد. برای محاسبه

ذوب برف در اثر باران از فرمول زیر استفاده شده است. (تات، ۱۳۷۳)

$$M = P \frac{(1.8)}{144} t$$

P = بارش روزانه T = متوسط دمای روزانه

M = ارتفاع ذوب برف به mm

در پایان نامه فتاحی مطرح گردیده است که در بررسی در ایستگاه امامه

در ماه‌های اسفند، فروردین، اردیبهشت در سال آبی ۶۱-۱۳۶۰ ذوب برف

توسط بارندگی چندان زیاد و مؤثر نمی‌باشد. حتی در اردیبهشت ماه مقادیر

ناشی از ذوب برف توسط بارندگی قابل ملاحظه نمی‌باشد.

همچنین شرایط جغرافیایی حوضه دارد. ذوب برف در بسیاری از مناطق بویژه مناطق کوهستانی نقش اساسی در تأمین منابع آب دارد. در چنین مناطقی شدت ذوب برف و رواناب سطحی از آن در بررسی وضعیت ذخایر آبی و وضعیت آب رودخانه، اساسی به نظر می‌رسد. امروزه مدل‌های ریاضی و آماری در زمینه ذوب برف و برآورد آب حاصل از آن متداول می‌باشد. حال به بررسی روش‌های بیلان انرژی، (درجه روز) و همبستگی چند متغیره می‌پردازیم.

روش بیلان انرژی

پدیده ذوب عبارت است از تبدیل کریستال‌های یخ موجود در برف به آب. عوامل متعددی در این پدیده مؤثرند که هر کدام به نحوی در تأمین انرژی لازم جهت ذوب دخالت دارند. مهمترین این منابع انرژی عبارتند از:

ذوب ناشی از گرمای باران

ذوب ناشی از تقطیر آب موجود در هوا

ذوب ناشی از تشعشع خالص با طول بین بلند

ذوب ناشی از جابجایی حرارت توسط باد

ذوب ناشی از هدایت حرارتی گرما از زمین

ذوب ناشی از تابش مستقیم خورشید، با طول بین کوتاه

آب تولید شده توسط انتقال حرارت خالص از کلیه منابع به برف پشته

از رابطه زیر قابل استفاده است. (موحد دانش، ۱۳۶۷)

$$M = \sum \frac{H}{80 \cdot Q_t}$$

M = معادل ذوب برف به سانتیمتر

H = جمع جبری کلیه اجزاء حرارتی

Qt = کیفیت حرارتی برف پشته که به صورت نسبت گرمای لازم برای تولید

مقدار معین آب از برف به گرمای لازم برای تولید همان مقدار آب در اثر

ذوب یخ صفر درجه تعریف می‌شود و مقدار ثابت ۸۰ مبین انرژی (cal/cm²)

لازم برای تولید یک سانتیمتر آب از برف صفر درجه می‌باشد.

هر کدام از منابع انرژی مؤثر در ذوب برف را بطور جداگانه مورد بررسی

قرار می‌دهیم.

۱- ذوب برف در اثر تابش

در مقاله قائمی و مرید (نیووار ۲۴) بررسی بر روی حوضه دماوند صورت

گرفت، که برای محاسبه اثر تابش در ذوب برف با توجه به نبودن دستگاه

تشعشع سنج در حوزه، از آمار تشعشع ایستگاه مهرآباد استفاده گردید که

متوسط ارقام ماهیانه را ابتدا در یک جدول بدست آوردند. یعنی جدول تابش

رسیده به سطح زمین در ماه‌های مختلف سال فروردگاه مهرآباد Cad/m²

و سپس جهت تعیین زاویه سمت الرأس خورشید (زاویه پرتوی خورشید با

قائم محل) در ماه‌های مختلف سال از فرمول زیر به دست آمد.

$$Z_0 = \alpha - \delta$$

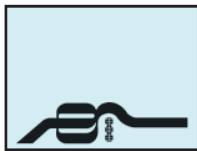
Z₀ = زاویه سمت الرأس خورشیدی برحسب درجه

d = زاویه میل خورشید Solar Declination

Q = عرض جغرافیایی محل

مقدار انرژی مؤثر Q با استفاده Q₀ یعنی مقدار انرژی رسیده از خورشید به سطح

زمین طبق فرمول زیر برآورد می‌شود و عبارتی Q بردار قائم Q₀ می‌باشد.



در بررسی پایان نامه فتاحی در ایستگاه امامه با این روش به این نتیجه رسیده است که میزان ذوب ناشی از تقطیر، ارتباط مستقیم با دما و فشار بخار آب موجود در هوا دارد، یعنی با افزایش دما در طول فصل ذوب، میزان فشار بخار آب افزایش پیدا کرده و در نتیجه میزان ذوب ناشی از تقطیر بیشتر می شود.

۵- ذوب برف ناشی از تابش با طول موج بلند

چون برف به صورت جسم سیاه تشعشع پس می دهد، مقدار آن در ارتباط با درجه حرارت آن بوده (قانون پلانک) و انرژی کل تشعشع یافته در انطباق با قانون استفان می باشد (موحد دانش، ۱۳۶۷). بنابراین

$$Ra = \sigma \times T^4$$

Ra = تشعشعات کل موج بلند از برف

S = مقدار ثابت استفان $10^{11} \times 0.826$ لانگلی در دقیقه

T = درجه حرارت بر حسب درجه کلونین

میزان ذوب ناشی از تشعشعات موج بلند که توسط گروه مهندسی ارتش آمریکا ارائه شده بصورت فرمول زیر است (موحد دانش، ۱۳۶۷).

$$Mrl = \frac{1440}{2.03(1-p)} (\sigma TA^4 - \sigma Ts^4)$$

که در آن

Mrl = ذوب ناشی از تابش موج بلند (۱ پنج در روز)

P = محتوی آبی برف (۰/۰۴) برای حوضه مورد مطالعه (ایستگاه امامه در پایان نامه فتاحی)

Ts = درجه حرارت مطلق سطح برف $273^\circ K$

TA = درجه حرارت مطلق هوا به $^\circ K$

Q = ثابت استفان $10^{11} \times 0.826$

۶- ذوب برف ناشی از جابجایی هوا

حرارت لازم برای برفاب به طریق انتقال حرارتی از هوا به برف پشته منتقل می گردد. مقدار برفاب با این فرآیند در ارتباط با درجه حرارت و سرعت باد می باشد. معادله زیرین می تواند جهت تعیین عمق ۶ ساعته برفاب ناشی از جابجایی و براساس میلی متر مورد استفاده قرار گیرد. (موحد دانش، ۱۳۶۷)

$$D = 2.8 \text{ K.V.T}$$

V = سرعت باد TKm/h = درجه حرارت هوا $h^\circ C$ ارتفاع متوسط حوضه بر حسب فوت K = براساس تئوری تلاطم و تبادل حرارتی مقدار تئوریک آن توسط لایت معادل با $10 - 0.0000156 h$ $0.000184 \text{ } \hat{A}$

برحسب این معادلات میزان متوسط روزانه برفاب ناشی از جابجایی هوا برای ارتفاع متوسط حوضه امامه در پایان نامه فتاحی ۰/۰۱۵ می باشد. برای محاسبه ذوب ناشی از جابجایی هوا در نقاطی که در حوضه اندازه گیری سرعت باد انجام نمی شود از فرمول زیر برای محاسبه سرعت باد در ارتفاعات مختلف استفاده می شود (مهروی، ۱۳۷۱).

$$V_1 = V_2 \left(\frac{H^1}{H^2} \right)^{1.7}$$

V_1 و V_2 = سرعت باد در ارتفاع مورد نظر باد سنج

H_1, H_2 = ارتفاع آنها از سطح زمین متوسط ذوب برف ناشی از جابجایی هوا بر حسب (روز/mm).

برای ارتفاع متوسط حوضه (امامه) به صورت روزانه محاسبه شد.

در مقاله حسنعلی غیور در کنفرانس تغییر اقلیم (۱۳۷۸) معادله ذوب برف براساس بارندگی و درجه حرارت بصورت زیر مطرح گشته است. که این رابطه در حوضه سراب باباحیدر بررسی شده است.

$$M = 0.12(P.T)$$

۳- ذوب برف در اثر دمای هوا

در مقاله قائمی، مرید (نیوار ۲۴): ذوب برف در اثر درجه دمای محیط دوبرابر دمای متوسط حداکثر می باشد و یا اینکه ذوب برف ناشی از دما، برابر دمای متوسط است.

$$Mt = 2 \hat{A} \text{ Tav.max}$$

$$Mt = 4 \hat{A} \text{ Tav}$$

Tav.max = درجه حرارت متوسط حداکثر $^\circ C$

Tav = درجه حرارت متوسط بر حسب $^\circ C$

Mt = ذوب برف بر حسب میلی متر

در مقاله غیور در کنفرانس تغییر اقلیم (۱۳۷۸)، فرمول های زیر مطرح گشته است، در سراب رابطه پرهت- رئیسی براساس درجه حرارت متوسط حداکثر

$$M = 6.263 (Tmax - 1.44)$$

رابطه براساس متوسط حداکثر درجه حرارت

$$M = 1.76 (Tmax - 1.95) + 0.51$$

رابطه براساس متوسط درجه حرارت

$$M = 1.58 (Tmax + 4.93) + 6.51$$

۴- ذوب برف در اثر تقطیر

تقطیر بخار آب موجود در هوا یکی از پدیده هایی است که در تأمین انرژی لازم برای ذوب شدن برف ها نقش دارد. هرگاه نقطه شبنم بالاتر از صفر درجه سانتی گراد باشد، بخار آب هوا تقطیر می شود. گرمای نهان تقطیر آزاد شده و جذب این گرما توسط برف پشته بخصوص در دماهای (حدود $10^\circ C - 15^\circ C$) می تواند مهمترین منبع تأمین انرژی باشد (میرباقری، ۱۳۷۴). برای ذوب یک گرم یخ صفر درجه ۸۰ کالری لازم است، درحالی که برای تولید یک گرم آب در تقطیر بخار آب، مقدار ۵۹۶ کالری حرارت آزاد می شود (موحد دانش، ۱۳۶۷). پس گرمای نهان تقطیر حدوداً ۷/۵ برابر گرمای نهان ذوب می باشد. در نتیجه تقطیر یک سانتیمتر مکعب بخار آب ۸/۵ سانتیمتر مکعب آب در سطح برف ایجاد می نماید. معادله برای بیان ذوب ناشی از تقطیر ۶ ساعته (D) به فرم زیر است (موحد دانش، ۱۳۶۷) که در آن

$$D = K.V.(ea - 6.11)$$

K = مقدار تئوریک K معادل 0.00578 در نظر گرفته شده است.

V = سرعت متوسط باد بر حسب کیلومتر در ساعت

$7/11 =$ فشار بخار اشباع (Mb) بالای سطح یخ در درجه حرارت صفر درجه سانتیگراد

$ea =$ فشار آب موجود در هوا به میلی بار

$ea =$ از رابطه زیر بدست می آید (علیزاده، ۱۳۷۴)

$$ea = 33.86 [(0.00738 T + 0.8072)^8 - 0.000019 (1/(8t) + 0.001316)]$$

$T =$ درجه حرارت هوا، است



گرفته شده، بیانگر این است که عامل اصلی ذوب برف در امامه مربوط به ذوب ناشی از اشعه با λ بلند و جابجایی هوا است زیرا عوامل بیلان انرژی در هر حوضه متناسب با شرایط حوضه و پارامترهای قابل دسترس می‌باشد. بر این اساس، میانگین ذوب ناشی از λ بلند در اسفند کمتر از (روز/1mm) است در حالی که در فروردین به (روز/45mm) و اردیبهشت (روز/64mm) افزایش نشان می‌دهد و تقطیر و گرمای زمین کمترین اثر را داشته است. مقادیر ذوب برف حاصل از بیلان انرژی بصورت نقطه‌ای و صرفاً برای ایستگاه امامه که در مرکز حوضه سدلتیان می‌باشد محاسبه گردیده است. در نهایت استفاده از روش بیلان انرژی نیاز به داده‌ها و پارامترهایی دارد که معمولاً در دسترس نیستند لذا استفاده از روش بیلان انرژی با محدودیت همراه است.

روش درجه-روز

روش درجه روز بر این اساس که درجه حرارت محیط شاخصی از میزان گرمای محیط باشد و نیز ذوب برف در درجه حرارت زیر صفر درجه سانتیگراد متوقف شود. رابطه کلی آن به صورت $M=(T-Ta)$ mm ذوب برف به T = درجه حرارت روزانه به سانتیگراد Ta = درجه حرارت مبنای ذوب 0°C

آنچه که در مورد درجه-روز مهم است پارامتر حرارتی است که متوسط درجه حرارت روزانه باشد و یا این که متوسط حداکثر درجه-روز مورد نظر باشد. با در نظر گرفتن این دو پارامتر دو میزان متفاوت برف ذوب می‌شود علاوه بر این باید ذوب برفهایی را که از طریق بارش باران صورت می‌گیرد را نیز مدنظر داشت چرا که این عامل باعث افزایش ناگهانی میزان ذوب برف می‌شود. در مورد درجه-روز مطالعات گسترده‌ای از طرف سازمان‌ها و ارگان‌های خارجی مانند آمریکا (ارتش)- سازمان حفاظت خاک آمریکا صورت گرفته و در ایران نیز توسط (قاسمی، ۱۳۷۳) - (پرهمت، رئیسی، ۱۳۷۳) و (مسیبی، ۱۳۷۸) انجام گرفته است.

روش درجه حرارت متوسط حداکثر (پرهمت-رئسی)

$$M = \sqrt[2]{263(T \max - 1/44)}$$

روش براساس بارندگی درجه حرارت

$$M = 0.12 (P \times T)$$

روش براساس متوسط درجه حرارت

$$M = 1/58 (Tmax + 4/93) + 6/51$$

روش براساس متوسط حداکثر درجه حرارت

$$M = 1/76 (Tmax - 1/95) + 0.51$$

دو تحقیق انجام شده با این روش را بررسی می‌کنیم: ابتدا غیور (کنفرانس تغییر اقلیم ۱۳۷۸) در حوضه سراب باباحیدر، سپس روش مسیبی که با منطقه مورد مطالعه هماهنگی داشت. که با بارش‌های گرم در فصول و ماه‌هایی است که در حوضه برف نیست. و یا در مواردی حرارت روزانه آن قدر پایین است که ذوب برفی ندارد و یا در مواردی که ساعاتی از روز T افزایش بیاید ذوب بسیار کم می‌باشد. براساس پایان نامه فتاحی (۱۳۷۷) قبل از هر چیز در مزایای

هدایت حرارتی در هوای آرام اثر ناچیزی از ذوب برف دارد. اما هوای متلاطم ناشی از عملکرد بادها، انتقال حرارت از مناطق مجاور به مناطق با پوشش برف را سبب گشته و در نتیجه ذوب برف را تسریع می‌کند. مثلاً در تهران که ارتفاعات اطراف آن برف‌خیز است و تبادل حرارتی و انتقال حرارت از شهر به ارتفاعات به طور مستمر صورت می‌گیرد، باعث بالا بردن شدت ذوب برف می‌شود.

۷- ذوب برف ناشی از هدایت حرارتی زمین

حرارت زمین در فصل تابستان و اوایل پاییز در زمین ذخیره و در زمستان و اوایل بهار که ذوب سطحی برف شروع نشده باعث ذوب برف، به مقدار خیلی کم می‌گردد. دمای طبقات زیرین برعکس سطح خاک دستخوش تغییرات چندان شدیدی نیست و معمولاً در زمستان و اوایل بهار دمای آن با عمق افزایش می‌یابد. بالا بودن دما در اعماق زمین سبب انتقال مقداری از حرارت سطح خاک به برف می‌گردد. گرچه انتقال روزانه چنین حرارتی بسیار ناچیز است لیکن در طول یک فصل می‌تواند موجب ذوب چندین سانتیمتر برف شود. آب حاصل از عمل فوق می‌تواند سطح خاک را در حالت اشباع نگه دارد و به هنگام شرکت سایر عوامل آب شدگی برف، باعث افزایش سریع جریان رودخانه گردد. مقدار متوسط ذوب در اثر حرارت زمین حدود ۰/۰۵ سانتیمتر در روز یا ۰/۵۰۸ میلیمتر در روز برآورد می‌شود. (بغمایی، ۱۳۶۸)

۸- ذوب برف ناشی از اشعه با طول موج کوتاه

مقدار خالص گرمای جذب شده متوسط برف پشته بستگی به عواملی چون عرض جغرافیایی- جهت شیب و موقع روز- شرایط آب و هوا (ابرناکی- مه-باران) و آلودگی برف دارد.

در حالی که ۵ تا ۱۰ درصد از انرژی تابشی با طول موج کوتاه متوسط سطح آزاد آب منعکس می‌شود و بقیه صرف افزایش دما و تمیز می‌شود این مقدار در مورد برف تازه، تبخیر و خشک به ۸۰-۹۰% می‌رسد. شدت تابش آفتاب یا تشعشع امواج کوتاه خورشیدی معمولاً به صورت $\text{cal/cm}^2 \cdot \text{hr}$ بیان می‌شود (علیچانی، ۱۳۷۱). برآورد میزان ذوب به روش بیلان انرژی در نتیجه اشعه موج کوتاه در حدود $Mrs = 2\text{mm/day}$ در نظر گرفته می‌شود. (نجمایی، ۱۳۶۸) در نهایت تخمین میزان ذوب برف به روش بیلان انرژی از طریق معادله زیر بدست آمد. (موحلدانش، ۱۳۷۶)

$$M = Mrs + Mrl + Mcc + Mr + Mg + Md$$

که در آن :

$$M = \text{ذوب برف برحسب } \text{MM/day}$$

$$Mrs = \text{ذوب ناشی از } \lambda \text{ کوتاه}$$

$$Mrl = \text{ذوب ناشی از } \lambda \text{ بلند}$$

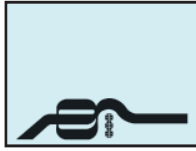
$$Mcc = \text{ذوب ناشی از جابجایی هوا}$$

$$Mg = \text{ذوب ناشی از گرمای زمین}$$

$$Mr = \text{ذوب ناشی از گرمای قطرات باران}$$

$$Md = \text{ذوب ناشی از تقطیر}$$

پایانه فتاحی (۱۳۷۷) که تحت برنامه snow برای ایستگاه امامه در نظر



شود (ذخیره برفی تمام شده است) در $D=Kt$ میزان نفوذ آب در زمین نیز تأثیر داده شده است، بنابراین مقادیر بدست آمده تماماً جریان می‌یابد. و در نهایت با توجه به ارتفاع روزانه آب حاصل از ذوب برف (mm) و سطح پوشش برف در حال ذوب، متوسط دبی حاصله از ذوب روزانه با استفاده از فرمول به صورت زیر می‌باشد.

$$m \text{ دبی ثانیه} / Q = 3 \text{ زمان (روز/ثانیه)} \quad t = \text{حجم آب روزانه} / V \\ Q = v/t$$

مثلاً طبق خروجی مدل Snow سال آبی ۶۱-۱۳۶۰ جدول (۱) از ۱۲ فروردین ذوب شروع شده زیرا روزهای قبل حرارت مینا 0°C بوده است تنها ۸٪ از سطح حوضه در ذوب برف شرکت داشته است و سهم رواناب ناشی از ذوب برف ۳/۰ مترمکعب در ثانیه بوده است. در روزهای بعد دما بالا رفته، ارتفاع سطح یخبندان و (درجه-روز) زیاد شده و رواناب نیز زیاد می‌شود مثلاً در ۲۶ فروردین ۳۳٪ سطح حوضه و سهم رواناب $16/43 \text{ m}^3/\text{S}$ است.

در این روش:

- ۱- امکان پیش‌بینی سیلابها میسر می‌شود خصوصاً در این جا سیلاب‌های بهاره همزمان با بارندگی بهاره و ذوب سریع برفها و نسبت به سیلابهای زمستانی حجم بیشتری دارد. پس پیش آگاهی خوبی در مورد امکان وقوع سیلابها در فصول ذوب هستند.
- ۲- در این روش درجه حرارت روزانه دخالت دارد که در تمام حوضه‌ها قابل استفاده است و معیار مناسب جهت پیش‌بینی جریان روزانه حاصل از ذوب برف است.
- ۳- این روش موجب ایجاد همبستگی بین درجه حرارت و ذوب برف است لذا در تحلیل‌های ذوب برف (بویژه تحلیل‌های روزانه) پیشنهاد می‌شود. (نقاهی، ۱۳۷۷) در بررسی، غیور در مورد سراب به این نتیجه رسید که، بارش‌های سرد (برف) دارای اثرات با تأخیر زمانی بلند مدت بر روی آب رودخانه است که جهت مشخص کردن این تأخیر زمانی از همبستگی بارش با دبی توسط برنامه spss استفاده کرد که بهترین همبستگی در حوضه با ۲ ماه تأخیر آبی نسبت به بارش بدست آمد. حداکثر دبی‌های حوضه (دبی‌های سیلابی حوضه) همزمان با بارش‌های گرم و ذوب برف اتفاق می‌افتد ولی بارش‌های گرم (باران) بر روی آب رودخانه دارای زمان تأخیر برابر با زمان تمرکز حوضه هستند.

رگرسیون چند متغیره

اساس پیش‌بینی دبی بر این اصل است که میزان برف انباشته شده در حوضه به عنوان یک ذخیره آبی به حساب می‌آید که به تدریج در فصل گرمتر ذوب شده و قسمتی از آبدهی رودخانه را تشکیل می‌دهد. اختلاف زمانی بین مرحله ذوب این امکان را می‌دهد که با اندازه‌گیری پارامترهای مؤثر بتوان جریان حاصل از ذوب را از ماه‌های قبل برآورد کرد. ساده‌ترین و رایج‌ترین مدل‌های متعدد ارائه شده، مقایسه داده‌های برف سنجی با داده‌های برف سنجی سال‌های گذشته است و شبیه‌ترین سال به سال موردنظر انتخاب و ورودی به سد در آن سال معیار برآورد ورودی به سد می‌شود و از روی

روش، سادگی آن است که نیازمند به دمای هوا هستیم که قابل دسترس است و برای تعیین رواناب حاصل از برف در حوضه‌های آبریز بدون ایستگاه بطور وسیعی استفاده می‌شود. ذوب برف در هر منطقه تابع مقدار گرمای منطقه است و حرارت شاخص گرما است. چنانچه هر فرآیند از آستانه مشخص به بالا فعالیت خود را شروع کند بدان درجه حرارت مینا گویند.

درجه حرارت مینا- متوسط درجه حرارت در روز = (درجه-روز) عمق ذوب برف \bar{A} سطح واقعی پوشش برفی = حجم آب ناشی از ذوب برف روش تعیین برآورد پوشش برف در حال ذوب و جریان سطحی حاصل از آن تقریبی و ماهانه است و بقیه به شدت به طور روزانه تغییرپذیرند. حد پایینی پوشش برفی (خط برف) متحرک بوده و بالا و پایین شیب حرکت می‌کند- تغییرات دمای روزانه در طی فصل ذوب و ارتفاع سطح انجماد باعث افزایش تغییرپذیری می‌شود. پس برآورد معین از جریان سطحی حاصل از ذوب برف نداریم - در این جا باید بتوانیم نوسانات و تغییرات روزانه و سطح پوشش برف در حال ذوب و جریان ناشی از آن را محاسبه کنیم که در اینجا از برنامه SNOW استفاده شده و به متوسط خط ارتفاع برف نیاز داریم. لذا ارتفاع خط برف، 2700 متر (ایستگاه شمشک) و 2100 متر (ایستگاه کندعلیا) انتخاب می‌شود.

تاریخ شروع ذوب و خاتمه معین می‌شود مثلاً در سال آبی ۱۳۶۱ ذوب برف در ارتفاع 2100 متر حوضه از تاریخ ۲ فروردین ماه به بعد شروع شده است، قبل از زمان فوق درجه حرارت مینا صفر است و ذوبی صورت نمی‌گیرد و تاریخ خاتمه ذوب برف در ارتفاع 2100 متری ۱۸ فروردین ماه است. شروع ذوب شمشک در 2700 متری ۶ فروردین و خاتمه در همان سال 20 اردیبهشت است. با مقایسه طول عمر برف در ارتفاع 2100 و 2700 متری اختلاف طول عمر برف در ارتفاعات 31 روز است یعنی در هر 100 متر ارتفاع، طول عمر برف 5 روز زیاد می‌شود. افزایش دما در فصل ذوب، مکانیسم ذوب را زیاد می‌کند با زیاد شدن دما، خط پسروری دما نیز زیاد شده و سرعت پسروری زیاد می‌شود. حال پس از برآورد متوسط ارتفاع خط برف حوضه و تغییرات درجه حرارت روزانه برای محاسبه سطحی از حوضه که در آن فرآیند ذوب برف انجام می‌شود نیازمند به منحنی هیستوگرماتریک حوضه هستیم. پس از تعیین سطح پوشش برف در حال ذوب و (درجه-روز) جهت پیش‌بینی شدت ذوب از فاکتور (درجه-روز) که بصورت ارتفاع آب حاصل از ذوب برف به ازای یک درجه روز تعریف می‌شود استفاده و رابطه شدت ذوب به صورت زیر است.

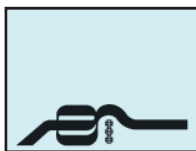
$$K = \text{ضریب خاص هر حوضه (در این جا } 1/09) \\ t = \text{حرارت } ^{\circ}\text{F} \text{ (متوسط درجه حرارت بالای } 32 \text{ F)}$$

$$D = \text{ذوب برف به اینچ}$$

در این جا تأثیر بارش‌های روزانه نیز مهم است (برف و باران) بارش جامد در حوضه، ارتفاع آب معادل برف را زیاد کرده و در مدل با آب باقیمانده جمع می‌شود و بارشهای گرم، باعث ذوب آب معادل باقیمانده شده و در نتیجه از میزان آب باقیمانده کاسته می‌شود.

ذوب ناشی از باران:

$P = \text{بارش روزانه} = t = \text{متوسط دمای روزانه} = M = \text{ارتفاع ذوب برف به میلیمتر}$ پس علاوه بر محاسبه رواناب حاصل از ذوب برف، آب معادل باقیمانده برای روز بعد محاسبه می‌شود. وقتی که آب معادل باقیمانده حوضه صفر



جدول ۱: خروجی مدل Snow در سال آبی ۱۳۶۰-۶۱

DEGREE DAY METHOD
 BASIN NAME: LT
 S.L.Station(m):2200
 Area(Km2): 430
 MONTH:Farvardin

Flow Of Snow(m3/s)	Area%	Cons.water Eq.Snow(mm)	Eff.of Rain(mm)	Snow Melt(mm)	Degree Day(c)	DAY
0.000	0.000	545.000	0.000	0.000	0.000	1
0.000	0.000	545.000	0.000	0.000	0.000	2
0.000	0.000	545.000	0.000	0.000	0.000	3
0.000	0.000	555.000	0.000	0.000	0.000	4
0.000	0.000	564.000	0.112	0.000	0.000	5
0.000	0.000	579.888	0.000	0.000	0.000	6
0.000	0.000	595.888	0.000	0.000	0.000	7
0.000	0.000	600.388	0.000	0.000	0.000	8
0.000	0.000	600.388	0.000	0.000	0.000	9
0.000	0.000	600.388	0.000	0.000	0.000	10
0.000	0.000	600.388	0.000	0.000	0.000	11
0.294	8.329	599.677	0.000	0.710	0.652	12
0.448	10.187	598.794	0.000	0.883	0.810	13
3.351	25.647	596.169	0.000	2.625	2.408	14
3.284	25.360	593.568	0.000	2.602	2.387	15
4.311	28.229	590.499	0.000	3.069	2.815	16
5.869	31.550	586.761	0.000	3.738	3.429	17
9.695	34.761	581.157	0.903	4.701	4.313	18
10.343	34.827	575.190	0.990	4.978	4.567	19
6.825	32.844	571.015	0.000	4.175	3.830	20
4.010	27.092	568.040	0.000	2.974	2.729	21
8.685	34.119	562.925	0.000	5.115	4.693	22
11.085	33.908	556.357	0.000	6.569	6.026	23
13.291	33.697	548.431	1.080	6.845	6.280	24
13.303	33.417	540.432	0.000	7.999	7.339	25
16.433	33.207	530.489	0.000	9.943	9.122	26
13.884	32.998	522.034	0.000	8.454	7.756	27
15.048	32.790	512.813	0.000	9.221	8.460	28
13.333	32.581	504.590	0.000	8.223	7.544	29
13.875	32.305	495.960	0.234	8.395	7.702	30
13.814	32.029	487.294	0.000	8.666	7.951	31

در این روش به طور وسیع در حوضه‌های آبریز بدون ایستگاه نیز قابل استفاده می‌باشد. ۳- تحلیل ذوب برف بویژه روزانه قابل استفاده می‌باشد.

منابع و مأخذ

- ۱- فتاحی، ابراهیم- مدل تحلیل کمی ذوب برف (حوضه سدلتیان)- پایان نامه-۱۳۷۷.
- ۲- غیور، حسنعلی- تجزیه و تحلیل برف از نظر هیدرومتولوژی و اثرات آن بر دبی رودخانه سراب باباحیدر- دومین کنفرانس منطقه‌ای متغیر اقلیم-۱۳۷۸.
- ۳- علیچانی، بهلول- غلامعلی، کمالی- ابراهیم، فتاحی- برآورد مقدار ذخیره و ذوب برف در مناطق کوهستانی- نیوار شماره ۴۱.
- ۴- قائمی، هوشنگ- سعید، مرید- تحلیل برف در حوضه آبخیز رودخانه دماوند- نیوار، ۲۴.

5- Guid to Hydro Logycal Practices, W.M.O,NO.168

دبی مشاهده شده در آن سال دبی ورودی به سد را پیش‌بینی می‌کنند که:
 ۱- بدلیل یکسان نبودن ذخیره منابع زیرزمینی ۲- میزان بارندگی ۳- تغییرات درجه حرارت در دوره پیش‌بینی نمی‌توان نتایج اطمینان بخشی ارائه داد:
 در روش تحلیل رگرسیون روابط بین متغیرها، نشان داده می‌شود. مثلاً دبی به عنوان متغیر وابسته در حوضه و متغیرهایی چون ارتفاع آب معادل برف حوضه در ماه‌های آبدهی، میلی‌متر بعنوان متغیرهای مستقل انتخاب می‌شوند.

نتیجه

با توجه به روش‌های بیلان انرژی، (درجه-روز) و همبستگی چند متغیر که بطور دقیق مورد بررسی قرار گرفت روش (درجه-روز) به دلایل زیر بهترین روش می‌باشد.
 ۱- امکان پیش‌بینی سیلابها ۲- بدلیل سادگی و دخالت درجه حرارت روزانه