

## تعیین فاکتور درجه-روز و ذوب برف برای بخشی از زاگرس میانی، مطالعه موردی: گردنه چری

روان بخش رئیس‌یان\*<sup>۱</sup> و جهانگیر پرهت<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup> مربی، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی چهارمحال و بختیاری و <sup>۲</sup> دانشیار، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری

تاریخ دریافت: ۹۲/۰۴/۱۳ تاریخ پذیرش: ۹۲/۰۸/۲۵

### چکیده

روش و مدل‌های گوناگونی برای محاسبه مقدار ذوب برف مورد استفاده قرار می‌گیرد. یکی از رایج‌ترین آن‌ها، روش درجه-روز است. این روش بر مبنای یکی از پارامترهای دمایی، ذوب برف را برآورد می‌نماید. در این مدل علاوه بر متغیر دما، ضریبی به نام فاکتور درجه-روز به کار می‌رود که قبل از کاربرد بایستی برای هر منطقه تعیین شود. برای این منظور مستقیماً و به‌طور همزمان مقدار ذوب برف و دما اندازه‌گیری شده و بر اساس داده‌های حاصله و با ایجاد رابطه همبستگی، ضریب مدل به‌دست خواهد آمد. این پژوهش در ارتفاعات چری واقع در استان چهارمحال و بختیاری به‌عنوان "منطقه معرف برف‌سنجی" محدوده زاگرس میانی اجرا شد. برای اجرای این پژوهش هفت جایگاه مجزای برف‌سنجی انتخاب و در هر جایگاه، سه اشل با آرایش رؤس قائم‌الزاویه به‌طول اضلاع حدود ۲۰ متر نصب شد. برای تعیین مقدار ذوب برف روش اشل-چگالی مورد استفاده قرار گرفت. دمای محیط در هر جایگاه نیز بر اساس روابط گرادیان حرارتی محدوده طرح محاسبه شد. از آبان سال ۱۳۸۴ تا اردیبهشت ۱۳۹۰ عمق برف انباشته به‌صورت هفتگی و پیوسته قرائت و به‌طور همزمان چگالی و عمق آب معادل آن محاسبه شد. با تفاضل عمق آب معادل برف در دو قرائت متوالی (دوره‌های زمانی بدون بارش)، مقدار ذوب برف محاسبه شد. داده‌های به‌دست آمده برای چهار شاخص دمایی در دوره‌های زمانی مشترک شامل (۱) مجموع دمای متوسط دوره، (۲) مجموع دمای متوسط روزهای با دمای مثبت دوره، (۳) میانگین دمای متوسط روزهای دوره و (۴) میانگین دمای متوسط روزهای با دمای مثبت دوره، مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار گرفت و فاکتور درجه-روز تعیین شد. بیشترین ضریب همبستگی ( $R^2=0/63$ )، بین مجموع دمای مثبت روزهای دوره (شاخص ۲) و مقدار ذوب برف مشاهده شد. بر این اساس مقدار درجه-روز برای منطقه مورد مطالعه ۴/۲ به‌دست آمد که بیانگر شدت ذوب برف به مقدار چهار میلی‌متر در روز به ازای هر درجه سانتی‌گراد دمای بالای صفر است. این نتیجه در دامنه غالب نتایج مطالعات قبلی بوده و در محدوده زاگرس میانی قابل استناد و کاربرد است.

**واژه‌های کلیدی:** آب معادل برف، برف‌سنجی، چهارمحال و بختیاری، رابطه همبستگی، روش اشل-چگالی

### مقدمه

به سه گروه تقسیم می‌شوند. مدل‌های شاخص، مدل‌هایی که بر پایه انرژی ساخته شده‌اند و مدل‌هایی که به‌طور جزئی‌تر ترکیب کاملی از فرمول‌های مربوط

مدل‌های ذوب برف زیادی برای تخمین ارتفاع آب ناشی از ذوب بیان شده است. به‌طور کلی این مدل‌ها

مدل برآورد رواناب ناشی از ذوب برف (SRM) در نواحی کوهستانی را بر اساس روش درجه-روز طراحی نمودند و تاکنون نسخه تحت ویندوز آن چندین بار به روز شده است.

بر اساس نتایج Debele و همکاران (۲۰۰۹)، که در سه منطقه در دو قاره جهان (دو منطقه در مونتانا آمریکا و یک منطقه در حوضه رودخانه زردچین) با استفاده از مقادیر ذوب برف محاسبه شده به دو روش بیلان انرژی و شاخص درجه-روز مدل SWAT اجرا شد، نتایج به دست آمده حاکی از عدم اختلاف معنی‌دار بین دو روش بود.

روابط و مدل‌های درجه-روز گوناگونی برای محاسبه ذوب ارائه شده است. مدل ارائه شده توسط Regine Hoke (۲۰۰۳)، به شکل رابطه (۱) می‌باشد. هر چند که بازه‌هایی مانند ساعت و ماه در این مدل مورد استفاده قرار می‌گیرد، ولی بازه زمانی به صورت روزانه منظور می‌شود. Hoke در سال ۲۰۰۳، مقدار فاکتور درجه-روز در مناطق مختلف دنیا را در قالب یک جدول ارائه و مورد بحث قرار داد. مقادیر ذکر شده در جدول حاکی از تغییرات فاکتور درجه-روز از ۲/۴ تا ۱۱/۵ میلی‌متر بر درجه حرارت در روز و به طور متوسط ۴/۷ میلی‌متر بر درجه حرارت در روز می‌باشد.

$$\sum_1^n M = DDF \sum_1^n T^+ \Delta t \quad (1)$$

که در آن،  $\sum_1^n M$  مجموع ذوب برف در بازه‌های زمانی،  $\sum_1^n T^+$  مجموع دمای مثبت در بازه‌های زمانی،  $\Delta t$  مدت بازه زمانی و  $DDF$  فاکتور درجه-روز می‌باشد.

در پژوهشی که طی سال‌های ۱۹۹۰-۱۹۸۵ توسط Kane و همکاران (۱۹۹۷)، در حوزه آبخیز شمالگان آلاسکا برای مدل نمودن ذوب برف انجام دادند، روش شاخص حرارت را ساده‌ترین روش برای تعیین ذوب برف بیان کرده‌اند. آن‌ها اعتقاد داشتند، این مدل تنها موقعی خوب کار می‌کند که یک رابطه قوی بین دمای هوا و شدت انرژی غالب مورد نیاز برای ذوب وجود داشته باشد. این مدل تنها نیازمند دمای هوا و دو ضریب ویژه مکانی دارد. مدل ارائه شده آنان به صورت رابطه (۲) می‌باشد.

به انرژی و جریان‌های توده‌ای را مورد استفاده قرار می‌دهند. مدل‌های شاخص، ساده‌ترین مدل‌ها هستند. این مدل‌ها بر پایه ارتباط بین ذوب برف و پارامترهایی که به آسانی در دسترس هستند، مانند درجه حرارت طراحی شده‌اند و مدل درجه-روز از این گروه از مدل‌ها می‌باشد.

درجه-روز عبارت است از تعداد درجات دمایی که در یک روز بالاتر از مینا یا نقطه ذوب برف باشد (Jandaghi و Birodian, ۲۰۰۶). روش درجه حرارت بر مبنای یکی از پارامترهای درجه حرارت روزانه، ذوب برف را برآورد می‌نماید و به دو شکل مختلف روش شاخص حرارتی و روش درجه-روز بیان می‌شود که معادله اصلی آن‌ها اختلاف اندکی با هم دارند (Melloh, ۱۹۹۹).

مدل‌های شاخص حرارت یا مدل‌های درجه-روز بر اساس یک رابطه فرضی بین ذوب برف و دمای هوا که معمولاً به شکل مجموع دمای مثبت بیان می‌شود، بنا شده‌اند که مقدار ذوب برف در طی یک دوره زمانی با مدت دوره، تعداد بازه‌های زمانی و مجموع دمای مثبت هوا در هر یک از بازه‌ها و ضریبی به نام فاکتور درجه-روز متناسب است (Regine Hoke, ۲۰۰۳).

روش ساده و تجربی درجه-روز بیش از ۶۰ سال است که برای محاسبه ذوب برف و رواناب حاصل از آن در حوزه‌های آبخیز کوهستانی استفاده می‌شود. هر چند به طور مکرر پیشنهاد جایگزینی آن با روش‌های فیزیکی‌تر بر مبنای معادله بیلان انرژی داده شده است، ولی این روش هنوز کاربردی‌ترین، موثرترین و مقبول‌ترین روش می‌باشد (Rango و Martinec, ۱۹۹۵).

Rango و Martinec (۱۹۹۵)، در پژوهشی روش درجه-روز را برای انجام محاسبه ذوب برف مورد بازبینی قرار دادند و با بیان ویژگی‌های مثبت آن، مانند دقت خوب و سادگی مدل، به دفاع از آن در مقابل روش پیچیده بیلان انرژی پرداختند. آنان چنین نتیجه گرفتند که مشخصه‌های بی‌شمار مدل بیلان انرژی، سختی اندازه‌گیری این مشخصه‌ها و اختلاف اندک نتایج روش درجه-روز با روش بیلان انرژی سبب شده تا در پایه‌های زمانی بیش از ۲۴ ساعت از مدل درجه-روز بهره‌برداری بیشتر به عمل آید. آن‌ها

در پژوهشی که با موضوع نقش پارامترهای محیطی در شبیه‌سازی رواناب ناشی از ذوب برف در حوزه آبخیز رودخانه Astor توسط Nabi و همکاران (۲۰۱۱) در پاکستان انجام شد، مقدار فاکتور درجه-روز را بین سه تا ۷/۵ میلی‌متر در روز به ازای یک درجه سانتی‌گراد به کار برده شد. معمولاً مقدار متوسط درجه حرارت روزانه و یا حداکثر درجه حرارت روزانه به‌عنوان پارامتر درجه حرارت  $T_m$  انتخاب می‌شود.

Mahdavi (۲۰۱۲) در جلد اول کتاب هیدرولوژی کاربردی نیز فرمول‌های تجربی (۴) الی (۷) را که توسط واحد مهندسی ارتش آمریکا برای محاسبه ذوب برف بیان شد، ارائه نموده است.

$$M = 0.03(9T_{mean} + 40) \quad (4)$$

$$M = 0.02(9T_{max} + 25) \quad (5)$$

$$M = 0.025(9T_{mean}) \quad (6)$$

$$M = 0.02(9T_{max} + 50) \quad (7)$$

روابط (۴) و (۵) برای شرایط بدون پوشش گیاهی جنگلی و مناطق باز و روابط (۶) و (۷) برای شرایط پوشش گیاهی جنگلی می‌باشد. در این روابط،  $M$  ذوب برف روزانه (سانتی‌متر)،  $T_{mean}$  درجه حرارت متوسط (سانتی‌گراد) و  $T_{max}$  درجه حرارت حداکثر روزانه (سانتی‌گراد) می‌باشد.

هیدرولوژیست‌هایی چون Alizadeh (۲۰۰۶)، Symafar (۱۹۹۵) و Najmaei (۱۹۹۰) نیز رابطه تقریباً مشابهی با رابطه (۸) ارائه نموده‌اند.

$$M = 45.72KD \quad (8)$$

که در آن،  $M$  ارتفاع آب حاصله از ذوب برف از سطح حوضه (میلی‌متر در روز)،  $K$  ضریب عددی مخصوصی است که مقدار آن با توجه به وضع حوضه و مشخصات اقلیماتیک آن تغییر پیدا می‌کند و معمولاً بین ۰/۰۶ تا ۰/۳۱ سانتی‌متر بر درجه در روز در نظر گرفته می‌شود و  $D$  درجه-روز بالای صفر برای هر روز مشخص می‌باشد.

Martinez و همکاران (۲۰۰۸) در نسخه به‌روز شده راهنمای مدل SRM تحت ویندوز فرمول ذوب برف به روش درجه-روز را مطابق رابطه (۹) ارائه نموده‌اند.

$$M = aT \quad (9)$$

$$M = C_0(T_a - T_0)/S \quad (2)$$

که در آن،  $M$  ذوب برف (میلی‌متر در دوره زمانی)،  $T_0$  آستانه دمایی ذوب برف ( $^{\circ}C$ )،  $T_a$  دمای هوا ( $^{\circ}C$ ) و  $C_0$  ضریب ذوب برف ( $mm/d$ ) می‌باشد. بر اساس آنالیز نتایج آن‌ها، مقدار  $C_0$  برابر ۲/۷ و  $T_0$  برابر ۰/۲- برای محل پژوهش به‌دست آمده بود.

در کتاب اصول هیدرولوژی ذوب برف که توسط Dewalle و Rango (۲۰۰۸) تالیف شده، رابطه (۳) برای محاسبه ذوب برف ارائه شده است. این رابطه بر اساس میانگین دمای حداکثر و حداقل یا میانگین دمای ساعتی در طول روز مقدار ذوب برف را محاسبه می‌کند.

$$M = DDF(T_m - T_b) \quad (3)$$

که در آن،  $M$  شدت ذوب برف (سانتی‌متر بر روز)،  $T_m$  پارامتر درجه حرارت روزانه (میانگین حداقل و حداکثر دمای روزانه)،  $T_b$  درجه حرارت مینا که در آن ذوب برف شروع می‌شود (در پژوهش مذکور صفر در نظر گرفته شده است) و  $DDF$  فاکتور درجه-روز (به شرایط محلی و آب و هوایی بستگی دارد) می‌باشد. در پژوهشی که Dewalle و همکاران (۲۰۰۲)، با موضوع تغییرات مکانی و زمانی فاکتورهای درجه-روز و بر اساس داده‌های Snotel طی سال‌های ۲۰۰۰-۱۹۹۶ در حوزه بالادستی ریوگرانده انجام داده‌اند، تغییرات فاکتور درجه-روز را در پنج سال مختلف و در هفت جایگاه متفاوت از نظر ارتفاعی بررسی نمودند. آن‌ها در پژوهش خود رابطه (۳) را مینا قرار داده‌اند. نتایج آنان نشان داد که تغییرات مکانی فاکتور درجه روز از ۲/۹ تا ۵/۹ میلی‌متر در مناطق مختلف حوضه مذکور و تغییرات زمانی آن سه تا پنج میلی‌متر در روز به ازای یک درجه سانتی‌گراد در طی سال‌های ۲۰۰۰-۱۹۹۶ و میانگین آن برای کل دوره زمانی و کل حوضه  $4/3 \text{ mm}/^{\circ}C.d$  بوده است.

USDA (۲۰۰۴) نیز رابطه‌ای همانند رابطه (۲) را برای محاسبه ذوب برف روزانه ارائه داده و مقدار فاکتور درجه-روز را از ۱/۶ تا ۶ میلی‌متر بر درجه-روز متغیر بیان نموده است. ضمن آن که در صورت عدم وجود اطلاعات کافی به‌طور متوسط ۲/۷۴ میلی‌متر بر درجه-روز منظور خواهد شد.

با انجام بررسی‌های دقیق، ارتفاعات چری در ناحیه مرزی حوضه‌های کوه‌رنگ و بازفت (زیرحوضه‌های کارون شمالی) در محدوده استان چهارمحال و بختیاری حائز شرایط "منطقه معرف برف‌سنجی" تشخیص داده شد. از این‌رو گردنه چری برای انجام این پژوهش و با هدف تعیین مقدار فاکتور درجه-روز برای ناحیه زاگرس میانی و مناطق مشابه انتخاب و با نصب ادوات و تجهیزات برف‌سنجی و اندازه‌گیری‌های منظم و پیوسته، اطلاعات لازم جمع‌آوری شد. نتایج به‌دست آمده از این پژوهش حاکی از وجود پوشش برف به مدت پنج ماه از سال در محل اجرای طرح بوده و اطمینان کامل از دارا بودن شرایط منطقه معرف برف‌سنجی حاصل شد.

### مواد و روش‌ها

**منطقه مورد پژوهش:** محل مناسب برای برف‌سنجی جایی است که دارای شرایط "منطقه معرف" باشد. منطقه معرف، منطقه‌ای است که دارای شرایط برف‌گیری و تداوم پوشش برف در حداقل پنج ماه از سال (آذر تا پایان فروردین) باشد و امکان دسترسی به ارتفاعات برف‌گیر آن نیز میسر باشد. مناطق بسیاری در نواحی زاگرس میانی بالاخص در سرشاخه‌های حوضه کارون شمالی دارای ویژگی اول هستند ولی به‌دلیل کوهستانی بودن، دسترسی به تمام نقاط آن‌ها بسیار سخت و گاهی غیرممکن است. با بررسی‌های میدانی، ارتفاعات چری در مرز میان حوضه‌های کوه‌رنگ و بازفت (شکل ۱) در حوضه کارون شمالی و در محدوده استان چهارمحال و بختیاری حائز شرایط "منطقه معرف" تشخیص داده شد. در این ناحیه ماندگاری برف بیش از پنج ماه از سال بوده و با گذر جاده ارتباطی شهرکرد-اندیکا-مسجد سلیمان از ارتفاع ۲۹۰۰ متری (گردنه چری) آن، امکان دسترسی به ارتفاعات منطقه میسر است.

از این‌رو، این منطقه برای اجرای این پژوهش انتخاب شد و با نصب ادوات برف‌سنجی مراحل اجرایی آن به انجام رسید. استان چهارمحال و بختیاری که در سرآب سه حوزه آبخیز کارون، زاینده رود و دز قرار دارد، منطقه‌ای کوهستانی است که ۸۲ درصد مساحت آن را کوه‌ها و تپه‌ها تشکیل می‌دهند. این کوه‌ها دارای

که در آن،  $M$  ذوب برف،  $T$  درجه-روز (میانگین درجه حرارت روزانه در طول ۲۴ ساعت یا متوسط حداکثر و حداقل حرارت روزانه) و  $a$  ضریب ذوب درجه-روز یا شاخص درجه-روز که به شرایط محلی و آب و هوایی بستگی دارد، می‌باشد.

در غیاب اطلاعات لازم جهت تعیین  $C$  مقدار آن را می‌توان از رابطه تجربی زیر برآورد نمود (Najafi و همکاران، ۲۰۰۴؛ Martinec و همکاران، ۲۰۰۸؛ Najafzadeh و همکاران، ۲۰۰۴؛ Dewalle و Rango، ۲۰۰۸؛ Najafi Eigdir، ۱۹۹۸).

$$C = 1.1 \frac{\rho_s}{\rho_w} \quad (10)$$

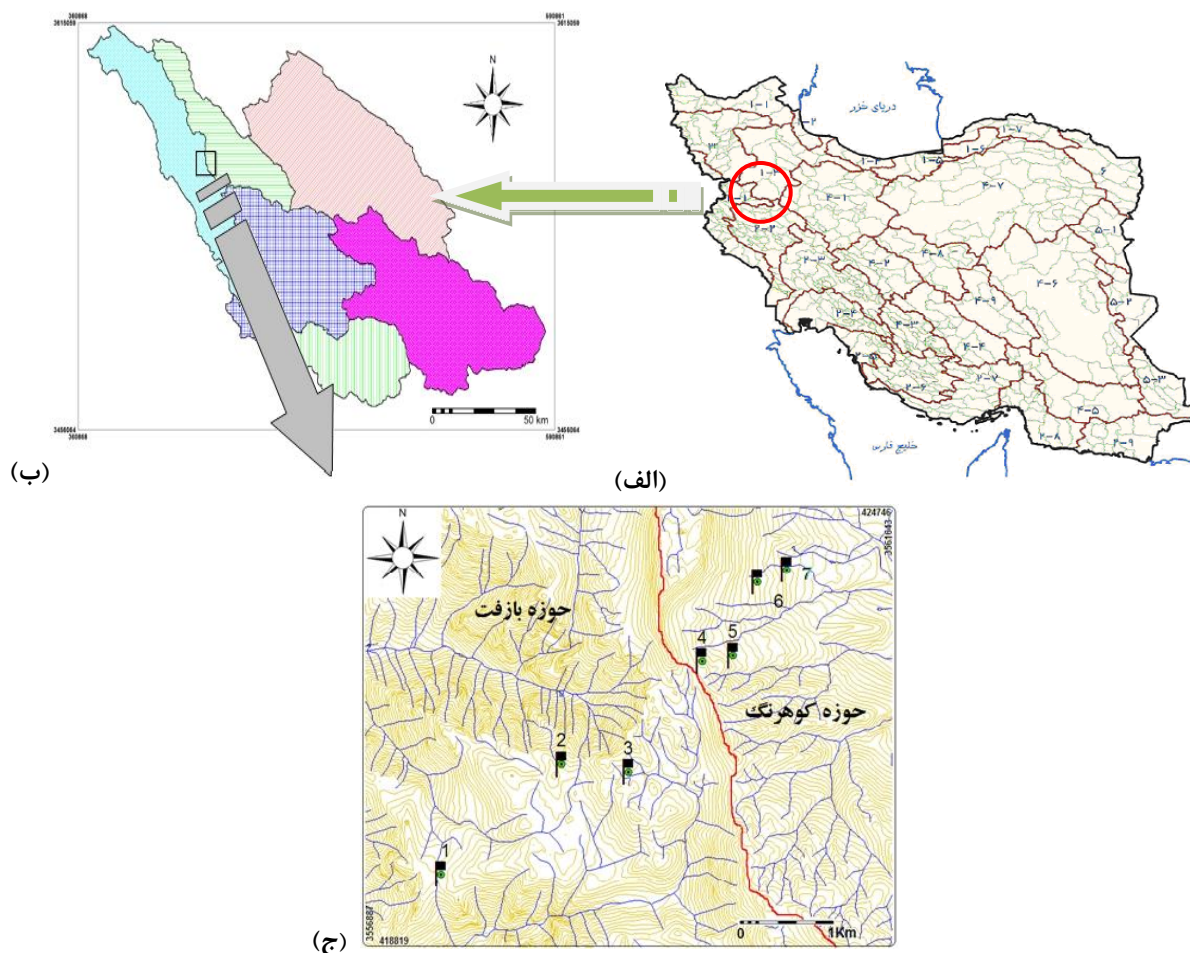
که در آن،  $\rho_s$  و  $\rho_w$  به ترتیب جرم مخصوص برف و جرم مخصوص آب می‌باشند.

Birodian و Jandaghi (۲۰۰۶) طی پژوهشی که در سال ۱۳۸۱-۱۳۸۰ و در طی چهار مرحله بازدید میدانی از آبخیز زیارت‌گران انجام دادند، بر اساس روش شاخص درجه-روز ارائه شده توسط رسته مهندسی ارتش آمریکا (۱۹۷۸)، مقدار شاخص حرارتی را بین ۱/۹۵ تا ۲/۱۵ میلی‌متر بر درجه حرارت در روز (میانگین ۲/۱ میلی‌متر) به‌دست آوردند. bashir و Rasul (۲۰۱۰)، در پژوهش خود در تابستان ۲۰۰۳ و بر اساس رابطه (۹) مقدار فاکتور درجه-روز برای پوشش‌های مختلف برف و یخ در حوضه گیلیت در پاکستان را بین ۰/۸ تا ۱/۸ میلی‌متر بر درجه حرارت در روز اعلام نمودند.

مطالب بیان شده دلالت بر متفاوت بودن فاکتور درجه-روز برای مناطق مختلف دارد. از این‌رو لازم است تا روابط موجود برای هر منطقه، مورد واسنجی قرار گرفته و مقدار فاکتور درجه-روز برای آن منطقه تعیین شود. با عنایت به این‌که نواحی زاگرس میانی به‌ویژه در محدوده استان چهارمحال و بختیاری یکی از نواحی پر بارش کشور است و غالب بارندگی‌ها در این ناحیه به شکل برف نازل می‌شود و بخش عمده‌ای از آب‌های سطحی در آن، ناشی از ذوب برف می‌باشند، تعیین فاکتور درجه-روز برای این نواحی از اهمیت و ضرورت زیادی برخوردار است. این موضوع نیازمند وجود "منطقه معرف برف‌سنجی" و انجام پژوهش کافی در این زمینه است.

زمستان به صورت برف نازل می‌شود. مقدار ریزش برف در استان، علاوه بر تغییرات زمانی، از تغییرات مکانی زیادی نیز برخوردار بوده و در بعضی نواحی آن از جمله حوضه‌های کوه‌رنگ و بازفت بیش از سایر مناطق است.

۱۶ قله با ارتفاع بیش از ۳۵۰۰ متر می‌باشند که مرتفع‌ترین آن‌ها زردکوه با ارتفاع ۴۵۴۸ متر می‌باشد (Raeisian, ۲۰۰۴). به دلیل مرتفع بودن منطقه و وجود قله متعدد و بلند در آن، بخش قابل توجهی از بارش‌های سالانه در این منطقه به‌خصوص در فصل



شکل ۱- الف) موقعیت محل پژوهش در ایران، ب) موقعیت محل پژوهش در حوضه کارون و ج) موقعیت نقاط برف‌سنجی در گردنه چری و حوضه‌های کوه‌رنگ و بازفت و نقاط برف‌سنجی

امور مرتبط با آب و خاک از قبیل برنامه‌های حفاظت خاک و آبخیزداری، احداث سد، تأمین آب کشاورزی و شرب در مناطق بالادست و پایین‌دست حوضه‌های آبخیز خواهد نمود. از طرف دیگر، فقدان اطلاعات دقیق و پیوسته و طولانی مدت فرصت تصمیم‌گیری را در بسیاری از موارد از مجریان سلب نموده و تعیین نقش و سهم برف در منابع آبی منطقه را بعضاً غیر ممکن ساخته است. این شرایط ضرورت و زمینه لازم را برای اجرای طرح‌های پژوهشی پیرامون برف و هیدرولوژی آن فراهم نموده است.

میزان بارش برف در این نواحی به حدی است که در برخی از نقاط آن یخچال‌های طبیعی دائمی تشکیل شده است. حوضه کارون شمالی یکی از حوضه‌های مهم هیدرولوژیکی استان و کشور می‌باشد و برف یکی از پارامترهای مهم در مطالعات هیدرولوژیکی این حوضه و زیرحوضه‌های آن به‌شمار می‌رود. ذوب برف و حجم آب‌های ناشی از آن در چنین حوضه‌هایی حائز اهمیت فراوان است. مطالعه و بررسی میزان ذوب برف و حجم آب حاصل از آن، کمک شایانی به مدیریت و برنامه‌ریزی منابع آب و

حجم نمونه (ارتفاع برف ضرب در سطح مقطع لوله)، جرم مخصوص برف (چگالی برف) محاسبه شد. در نهایت با ضرب متوسط عمق برف هر جایگاه در چگالی آن، عمق آب معادل برف انباشته تعیین شد. با تفاضل عمق آب معادل برف در دو اندازه‌گیری متوالی، مقدار ذوب برف در فاصله بین دو اندازه‌گیری به دست آمد. با استفاده از آمار ایستگاه‌های هواشناسی اطراف منطقه و بر اساس رابطه گرادیان حرارتی، میانگین درجه حرارت به صورت روزانه و برای تمام ایام برف‌سنجی در سال‌های اجرای طرح در همه جایگاه‌های برف‌سنجی محاسبه و تعیین شد.

از آن‌جا که بازدیدهای برف‌سنجی در فاصله دوره‌های زمانی تقریباً هفتگی به عمل آمد، در این نوشتار "دوره زمانی" تعریف شد و منظور از دوره زمانی "تعداد روزهای بین دو قرائت متوالی" (روز هر قرائت تا روز قبل از قرائت بعدی) می‌باشد. با این تعریف، "دمای متوسط" یا همان "میانگین دما" به چند صورت قابل بیان، محاسبه و کاربرد می‌باشد که چهار شکل مختلف آن عبارتند از، (۱) مجموع دمای متوسط روزهای دوره زمانی صرف‌نظر از مثبت یا منفی بودن آن‌ها، (۲) مجموع دمای متوسط مثبت روزهای دوره زمانی-دماهای مثبت با هم جمع شده و به‌عنوان مقدار دمای دوره لحاظ شود، (۳) میانگین دمای متوسط روزهای دوره محاسبه و به‌عنوان مقدار دمای دوره لحاظ شود و (۴) میانگین دمای متوسط روزهایی از دوره که دمای آن بالای صفر بوده محاسبه و به‌عنوان مقدار دمای دوره لحاظ شود. با در دست داشتن مقادیر اشکال چهارگانه فوق‌الذکر و همچنین، مقادیر ذوب برف اندازه‌گیری شده و از طریق رابطه رگرسیون، فاکتور درجه حرارت-روز و ذوب برف برای هر کدام از اشکال دمایی در منطقه طرح تعیین شد.



شکل ۳- اندازه‌گیری جرم نمونه برف برداشت شده

**روش پژوهش:** در این پژوهش پس از انتخاب محل پژوهش، با انجام بازدید و بررسی‌های میدانی، هفت جایگاه (سه جایگاه در شیب شمالی در محدوده حوزه کوه‌رنگ، سه جایگاه در شیب جنوبی در محدوده حوزه بازفت و یک جایگاه در خط‌الرأس دو حوزه) برای نصب اشل و انجام عملیات برف‌سنجی انتخاب شد (شکل ۱). در هر جایگاه سه عدد اشل مدرج شده از جنس چوب به طول چهار متر (طول مفید سه متر پس از نصب) و با آرایش مثلث قائم‌الزاویه با طول اضلاع ۲۰ متر نصب شد (شکل ۲). جایگاه‌های برف‌سنجی به نحوی انتخاب شدند که از نظر رقومی نسبت به هم حدوداً ۱۰۰ متر اختلاف ارتفاع داشته باشند.



شکل ۲- اشل نصب شده در جایگاه‌های برف‌سنجی

برای این منظور به وسیله دستگاه موقعیت‌یاب جغرافیایی (GPS) رقوم ارتفاعی نقاط برف‌سنجی کنترل شد. پایین‌ترین رقوم ارتفاعی ۲۵۵۵ و بالاترین رقوم ارتفاعی ۲۸۴۵ متر بود. با شروع اولین بارش برف، بازدیدهای میدانی شروع و به صورت هفتگی تداوم یافته و اندازه‌گیری ارتفاع برف انباشته شده بر روی زمین با قرائت اشل‌های نصب شده انجام شد. متوسط عمق برف در موقعیت نصب سه اشل نصب شده در هر جایگاه به‌عنوان عمق برف انباشته در آن جایگاه منظور می‌شد. روش اشل-چگالی برای محاسبه مقدار آب معادل برف انباشته مورد استفاده قرار گرفت. از این‌رو همزمان با قرائت اشل‌ها در هر جایگاه، به کمک لوله مخصوص سه نمونه از کل عمق برف انباشته شده برای تعیین چگالی برف برداشت شد (شکل ۳). جرم هر نمونه در محل با کمک ترازوی کشتی با دقت ۱۰ گرم اندازه‌گیری و با تقسیم آن بر

## نتایج و بحث

۱۶۰ روز از سال، منطقه اجرای طرح دارای پوشش برفی است. نتایج نهایی شش سال اندازه‌گیری و ثبت عمق و جرم مخصوص برف انباشته در محل اجرای طرح و محاسبه مقادیر "عمق آب معادل ذوب برف" در بازه‌های زمانی مختلف و همچنین، مقادیر محاسبه شده شاخص‌های چهارگانه درجه حرارت محیط متناظر با دوره‌های زمانی برف‌سنجی در سال‌های مختلف به‌صورت مجزا تعیین شد. نتایج مربوط به هر کدام از محاسبات و تعیین روابط همبستگی و ضرایب یا فاکتور درجه حرارت-روز ذوب برف برای اشکال چهارگانه تعریف شده برای درجه حرارت به شرح ذیل بیان می‌شود.

**مجموع دمای متوسط دوره زمانی:** در این حالت مجموع دمای متوسط روزهای دوره زمانی چه مثبت یا منفی در محاسبه منظور و نتیجه به‌صورت یک عدد بیان شد. حتی اگر تنها در یکی از روزهای دوره زمانی، دمای محیط بالای صفر بوده و در بقیه روزها دمای محیط منفی بوده باشند و گاه‌آ این وضعیت منجر به منفی شدن مجموع دمای متوسط روزهای دوره شده است. بنابراین، حتی با منفی بودن مقدار عددی مجموع دمای متوسط روزهای دوره قرائت، ممکن است به‌دلیل این‌که تنها در یکی از روزهای دوره قرائت دمای محیط بالاتر از صفر بوده باشد، در این صورت قطعاً مقداری ذوب برف وجود داشته است. لذا توجه به این نکته مهم بوده و نبایستی انتظار داشته باشیم که در مواقع منفی بودن مجموع دمای متوسط روزهای بین دو قرائت متوالی، ذوب برف صفر باشد. با لحاظ نکته ذکر شده، تمام داده‌های به‌دست آمده در تعیین روابط دخیل داده شد و رابطه کلی به‌دست آمده برای کل دوره اجرای طرح به‌صورت رابطه (۱۱) می‌باشد.

$$h_w = 0.233 \sum_1^n t_{mean} + 6.68 \quad R^2 = 0.505 \quad (11)$$

که در آن،  $h_w$  عمق آب معادل ذوب برف (سانتی‌متر)،  $t_{me}$  دمای متوسط روزانه (درجه سانتی‌گراد) و  $n$  تعداد روزهای دوره می‌باشد.

**مجموع دمای متوسط روزهای با دمای بالای صفر در دوره:** در صورتی‌که فرض شود، تنها عامل موثر در ذوب برف، دمای محیط بوده و از تأثیر سایر عوامل

چنان‌چه اشاره شد، در این پژوهش شاخص "درجه حرارت" به‌عنوان یکی از عوامل مهم و اصلی موثر بر ذوب برف به چهار شکل تعریف و پس از تعیین مقادیر مربوط به هر کدام و مقادیر ذوب برف متناظر با آن‌ها، روابط رگرسیونی برقرار و معادلات رگرسیونی حاصل شد و بر اساس ضرایب معادلات به‌دست آمده فاکتور درجه-روز ذوب برف به‌دست آمد. نتایج حاصل از این پژوهش شامل چهار نوع اطلاعات در نقاط برف‌سنجی بوده است، الف- عمق برف انباشته شده، ب) چگالی برف انباشته، ج) عمق آب معادل برف انباشته و د) دمای محیط در نقاط برف‌سنجی. در این پژوهش به پیروی از Rango و Martinec (۱۹۹۵) دوره اندازه‌گیری درجه-روز برای محاسبه عمق ذوب برف هفتگی در نظر گرفته شد. نتایج این پژوهش نشان داد که در تمام مدت وجود پوشش برف روی زمین، کم و بیش ذوب برف وجود داشته است. محققان سعی و تلاش بر فرموله نمودن ذوب برف بر اساس پارامترهای مختلف موثر بر آن داشته‌اند و روابط گوناگونی نیز ارائه نمودند که بخشی از آن‌ها در مقدمه ارائه شد. موضوعی که در تمام نظریه‌ها مشترک بود، نقش اصلی "دمای محیط" بر ذوب برف می‌باشد. عوامل و پارامترهای مختلف هواشناسی از جمله شدت تابش، بازتابش و تابش کل خورشیدی، طول روز، ساعات آفتابی و سرعت باد بر دمای محیط اثرگذار می‌باشد. آنچه مهم است، ضرورت ارائه مدلی است که بتواند مقدار ذوب برف را بر اساس پارامتری که در همه جا امکان اندازه‌گیری آن وجود داشته باشد، برآورد نماید. درجه حرارت هوا، پارامتری است که به‌سادگی و با حداقل امکانات در بیشتر مناطق اندازه‌گیری شده و یا قابل اندازه‌گیری و برآورد است.

طول مدت وجود پوشش برفی و دوره آماربرداری در سال‌های مختلف اجرای طرح متفاوت و بین ۱۲۵ تا ۱۹۳ روز متغیر بوده است. بیشترین طول مدت وجود برف روی زمین با ۱۹۳ روز ماندگاری مربوط به سال آبی ۱۳۸۵-۱۳۸۴ و کمترین آن با ۱۲۵ روز ماندگاری برف روی زمین مربوط به سال آبی ۱۳۹۰-۱۳۸۹ است. با این اوصاف به‌طور متوسط در مدت

دما در آن‌ها مثبت بوده است. در این حالت، برای تعیین پارامتر مد نظر، متوسط دمای روزهایی از دوره که متوسط دما در آن‌ها مثبت بوده است را با هم جمع و حاصل بر تعداد داده‌ها تقسیم شد. نتایج برای هر یک از سال‌های اجرای طرح و به‌صورت مجزا تعیین شد و رابطه کلی به‌دست آمده برای کل دوره اجرای طرح به‌صورت رابطه (۱۴) می‌باشد.

$$h_w = 2.416 \frac{1}{m} \sum_1^m t_{mean} \geq 0 + 0.498 \quad R^2 = 0.42 \quad (14)$$

که در آن،  $h_w$  عمق آب معادل ذوب برف (سانتی‌متر)،  $t_{mean} \geq 0$  دمای متوسط روزانه روزهای با میانگین دمای بالای صفر (درجه سانتی‌گراد) و  $m$  تعداد روزهای دوره با میانگین دمای بالای صفر می‌باشد.

به استناد بررسی‌های انجام شده بر روی یافته‌ها و نتایج پژوهشگران داخل و خارج کشور، مقدار فاکتور درجه-روز ثابت نبوده و بسته به موقعیت جغرافیایی، اقلیمی، توپوگرافی و پوشش گیاهی محل و همچنین، خواص فیزیکی برف، متفاوت است. صاحب‌نظران تغییرات مقدار فاکتور درجه-روز را از یک تا ۱۴/۲ میلی‌متر بر درجه سانتی‌گراد در روز گزارش نموده‌اند. Dewalle و همکاران (۲۰۰۲)، مقدار فاکتور درجه-روز را ۴/۳ میلی‌متر بر درجه سانتی‌گراد در روز، Symafar (۱۹۹۵)، این فاکتور را ۴/۱ تا ۱۴/۲ میلی‌متر به ازای هر واحد درجه حرارت مثبت روزانه، Nabi و همکاران (۲۰۱۱)، مقدار آن را سه تا ۷/۵ میلی‌متر به ازای هر درجه سانتی‌گراد در روز و Jeniček و همکاران (۲۰۱۲)، فاکتور مذکور را بین یک تا هفت میلی‌متر بر درجه سانتی‌گراد در روز بیان کرده‌اند.

علاوه بر این بر اساس فرمول تجربی ارائه شده به‌وسیله واحد مهندسی ارتش آمریکا نیز میزان آب معادل ناشی از ذوب برف به ازای هر واحد درجه حرارت ناشی از ذوب برف در مناطق باز برابر ۲/۷ میلی‌متر برآورد می‌شود و Kane و همکاران (۱۹۹۷)، نیز همین مقدار را بیان نمودند.

Jandaghi و Birodian (۲۰۰۶) نیز مقدار فاکتور درجه روز را ۱/۹۵ تا ۲/۱۵ میلی‌متر بر درجه سانتی‌گراد در روز اعلام نمودند. Najmaei (۱۹۹۰)، در کتاب هیدرولوژی مهندسی مقدار آب معادل ذوب

صرف نظر کنیم، بالتبع بایستی ذوب برف فقط در روزهایی که متوسط دمای روزانه آن بیشتر از صفر است، مشاهده شود و هیچ‌گونه ذوب برف در روزهای با متوسط درجه حرارت صفر و زیر صفر روی ندهد. با این فرض مقدار ذوب برف در طول دوره زمانی برابر مقدار تجمعی ذوب برف در روزهایی است که درجه حرارت در آن‌ها بالای صفر باشد. از این‌رو مجموع دمای متوسط روزهای با دمای بالای صفر را به‌صورت یک عدد و به‌عنوان عامل متغیر در معادله درجه حرارت-ذوب برف قرار داده و جواب حاصله به‌عنوان مقدار آب معادل ذوب برف در طول دوره محسوب شد. در این حالت نیز با انجام محاسبات لازم، نتایج برای هر یک از سال‌های اجرای طرح و به‌صورت مجزا تعیین و رابطه کلی به‌دست آمده برای کل دوره اجرای طرح به‌صورت رابطه (۱۲) می‌باشد.

$$h_w = 0.417 \sum_1^m t_{mean} \geq 0 + 0.75 \quad R^2 = 0.63 \quad (12)$$

که در آن،  $h_w$  عمق آب معادل ذوب برف (سانتی‌متر)،  $t_{mean} \geq 0$  دمای متوسط روزانه روزهای با حرارت بالای صفر (درجه سانتی‌گراد) و  $m$  تعداد روزهای دوره با حرارت بالای صفر می‌باشد.

**میانگین دمای متوسط کل روزهای دوره:** حالت سومی که در این پژوهش مورد تحلیل و بررسی قرار گرفت، اعمال دمای محیط به‌شکل میانگین دمای متوسط کل روزهای دوره بود. در این حالت برای تعیین پارامتر مد نظر، متوسط دمای روزهای دوره با هم جمع و حاصل بر تعداد روزهای دوره تقسیم شد و نتایج برای هر یک از سال‌های اجرای طرح و به‌صورت مجزا تعیین شد. رابطه کلی به‌دست آمده برای کل دوره اجرای طرح به‌صورت رابطه (۱۳) می‌باشد.

$$h_w = 1.402 \frac{1}{n} \sum_1^n t_{mean} + 6.45 \quad R^2 = 0.42 \quad (13)$$

که در آن،  $h_w$  عمق آب معادل ذوب برف (سانتی‌متر)،  $t_{mean}$  دمای متوسط روزانه (درجه سانتی‌گراد) و  $n$  تعداد روزهای دوره می‌باشد.

**میانگین دمای روزهای با دمای بالای صفر دوره:** چهارمین حالت که در این پژوهش مورد تحلیل و بررسی قرار گرفت، اعمال دمای محیط به شکل میانگین دمای متوسط روزهایی از دوره که متوسط



۲۰۱۱) و Jeniček و همکاران (۲۰۱۲) قرار دارد. این رابطه مقدار فاکتور درجه-روز را بیشتر از مقدار بیان شده توسط واحد مهندسی ارتش آمریکا در مناطق باز و مقدار گزارش شده توسط Kane و همکاران (۱۹۹۷) نشان می‌دهد.

علاوه بر بحث ذکر شده لازم است به نکته مهمی اشاره نمود، قاعدتا انتظار می‌رود، در مواقعی که دمای محیط صفر درجه سانتی‌گراد باشد، ذوب برف صورت نگیرد، ولی رابطه به‌دست آمده، حتی در شرایطی که دمای محیط صفر درجه سانتی‌گراد باشد، مقداری ذوب برف را به میزان حدود یک میلی‌متر در روز نشان می‌دهد.

این موضوع به دو گونه قابل تفسیر است: یکی این‌که در مواقعی که دمای محیط صفر بوده ولی هوا آفتابی بوده است، بر اثر گرمای تابشی و یا عوامل دیگر مقداری ذوب برف وجود خواهد داشت. دوم این‌که هر چند میانگین دما صفر است، ولی ممکن است در بخشی از ساعات روز، دما به‌صورت لحظه‌ای بالای صفر و در بخشی از ساعات کمتر از صفر بوده و در مجموع میانگین روزانه منفی بوده باشد و منفی بودن میانگین روزانه نفی کننده مثبت بودن دما در بخشی از روز نیست. در این شرایط نیز ذوب برف طبیعی است.

### تشکر و قدردانی

در پایان از همکاران عزیزی که در نصب تجهیزات و انجام عملیات برف‌سنجی و برداشت داده‌های آماری ما را یاری نموده‌اند، از جمله آقایان خدایار عبداللهی، منصور نجفی، حجت‌الله قاسمی، کریم صفری و عزیز و حامد رئیسی‌پور و از مساعدت‌های مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی چهارمحال و بختیاری صمیمانه تشکر و سپاسگزاری می‌شود.

برف را بین ۰/۹ تا ۱۳/۷ میلی‌متر به ازای هر واحد درجه حرارت مثبت روزانه بیان نموده است.

چنانچه در قسمت بالا اشاره شد، نتایج این پژوهش برای چهار شاخص حرارتی (۱) مجموع دمای متوسط روزهای دوره زمانی صرف نظر از مثبت یا منفی بودن آن‌ها، (۲) مجموع دمای متوسط روزهایی از دوره زمانی که در آن دما مثبت بوده است، (۳) میانگین دمای متوسط روزهای دوره زمانی صرف نظر از مثبت یا منفی بودن آن‌ها و (۴) میانگین دمای متوسط روزهایی از دوره که دمای آن بالای صفر بوده‌اند، مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار گرفت. از میان چهار شاخص ارزیابی شده، رابطه به‌دست آمده بین مجموع دمای متوسط روزهایی از دوره زمانی که در آن دما مثبت بوده است و عمق معادل آب ناشی از ذوب برف (رابطه ۱۲) از ضریب همبستگی بالاتری برخوردار بوده است و به‌عنوان مناسب‌ترین رابطه برای برآورد ذوب برف در نواحی برف‌گیر زاگرس مرکزی معرفی می‌شود.

ضرایب همبستگی سایر روابط به‌ترتیب مربوط به شاخص مجموع کل، میانگین کل و میانگین روزهای مثبت می‌باشند. در رابطه ارائه شده توسط Symafar (۱۹۹۵)، نیز دمای روزانه بالاتر از صفر درجه در نظر گرفته شد. با این اوصاف فاکتور درجه-روز ذوب برف برای منطقه مورد مطالعه ۴/۲ میلی‌متر به هر درجه سانتی‌گراد بالای صفر در روز می‌باشد.

بر اساس رابطه معرفی شده، به ازای هر واحد افزایش دمای محیط مقدار ذوب برف به میزان ۴/۲ میلی‌متر آب معادل برف خواهد بود که تقریباً مشابه مقدار به‌دست آمده توسط Dewalle و همکاران (۲۰۰۲) بوده و در دامنه نتایج حاصل از رابطه بیان شده توسط Symafar (۱۹۹۵)، Nabi و همکاران

### منابع مورد استفاده

1. Alizadeh, A. 2006. Principles of applied hydrology. Imam Reza University Press, Mashhad, Islamic Republic of Iran, 808 pages (in Persian).
2. Bashir, F. and G. Rasul. 2010. Estimation of water discharge from Gilgit basin, using remote sensing, GIS and Runoff Modeling. Pakistan Journal Meteorology, 6(12): 97-113.
3. Birodian, N. and N. Jandaghi. 2006. Estimation of snowmelt runoff by using SRM model and comparison with hydrographic data in Ziarat river basin. Journal of Agricultural Science Nautilus Research, 12(6): 56-68 (in Persian).
4. Debele, B., R. Srinivasan and A.K. Gosain. 2009. Comparison of process-based and temperature-index snowmelt modeling in SWAT. Water Resource Management, DOI 10.1007/s11269-009-9486-2.

5. Dewalle, D.R., Z. Henderson and A. Rango. 2002. Spatial and temporal variations snowmelt degree-day factors computed from Snotel data in the upper Rio Grande basin. Proceedings of the 70th Annual Western Snow Conference, Granby, Colorado, May 2002.
6. Dewalle, D.R. and A. Rango. 2008. Principles of snow hydrology. Modeling Snowmelt Runoff, Cambridge University Press, 123 Pages.
7. Jeniček, M., H. Beitlerová, M. Hasa, D. Kučerová, H. Pevná and S. Podzimek. 2012. Modeling snow accumulation and snowmelt runoff—present approaches and results. AUC Geographical, 47(2): 15–24.
8. Kane, D.L., R.E. Gieck and L.D. Hinzman. 1997. Snowmelt modeling at small Alaskan arctic watershed. Journal of Hydrologic Engineering, 2(4): 204-210.
9. Mahdavi, M. 2012. Applied hydrology. Tehran University, Iran, 360 pages (in Persian).
10. Martinec, J., A. Rango and R. Roberts. 2008. The Snowmelt Runoff Model (SRM), user's manual (updated edition for Windows, WinSRM Version 1.11, February, 2008). USDA Jornada Experimental Range, New Mexico State University, Las Cruces, NM 88003, U.S.A.
11. Melloh, R.A. 1999. A synopsis and comparison of selected snowmelt algorithms. US Army Corps of Engineers, CRREL Report 99-8.
12. Nabi, G., M. Latif, H. Rehman and A.H. Azhar. 2011. The role of environmental parameter (degree day) of snowmelt runoff simulation. Soil Science Society of Pakistan, Soil Environment, 30(1): 82-87.
13. Najafi, M.R., J. Shaikhivand and G. Porhemmat. 2004. Estimation of runoff in a snow cover mountainous basin by using SRM model, a case study: Mahabad basin. Journal of Agricultural Science, 11(3): 38-48 (in Persian).
14. Najafi Eigdir, A., J. Ghodoosi, B. Saghafian and J. Porhemmat. 1998. Snowmelt runoff estimation by using RS and GIS, a case study: Shahar-chi watershed, Orumiyeh. Journal of Pajouhesh and Sazandegi, 76: 177-185 (in Persian).
15. Najafzadeh, R., A. Abrishamchi, M. Tajreishy and H. Taheri Shahraeeni. 2004. Stream flow with snowmelt runoff modeling using RS and GIS, case study: Pelasjan sub-basin. Journal of Water and Wastewater, 15(52): 1-84 (in Persian).
16. Najmaei, M. 1990. Engineering hydrology. Iran Science and Technology University, 431 pages (in Persian).
17. Raeisian, R., N. Imamy, M. Asady, A. Ibrahimi and M. Sardary. 2004. National project collection and investigation of information to compile of watersheds identity card of Chahar Mahal and Bakhtiary Province. Soil Conservation and Watershed Management Research Institute (in Persian).
18. Rango, A. and J. Martinec. 1995. Revisiting the degree-day method for snowmelt computations. Journal of the American Water Resources Association, 31: 657-669.
19. Regine Hoke, T. 2003. Temperature index snowmelt modeling in mountain areas. Journal of Hydrology, 282: 104-114-5.
20. Symafar, Sh. 1995. Engineering hydrology. Sahand Technology University Press, Tabriz, Iran, 422 pages (in Persian).
21. United State Department of Agriculture. 2004. National Engineering Handbook, part 630 Hydrology, Natural Resources Conservation Service, Pages 5-11.

## Determining the degree-days factor and snow melt in Central Zagross, case study: Chery region

Ravanbakhsh Raesian<sup>\*1</sup> and Jahangir Porhemmat<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Scientific Board, Agricultural and Natural Resources Researches Center, Chaharmahal va Bakhtiari, Iran and <sup>2</sup> Associate Professor, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, Iran

Received: 04 Jun 2013

Accepted: 16 November 2013

### Abstract

Various models have been used for snow melt computation. From which degree-day model is one of the most common one that estimates snow melt based on one of temperature's parameters. In this model, in addition to temperature, degree-day factor is used by calibration in each region and derivation of model factor based on gained data with correlation. This investigation was executed in Chari region in Chaharmahal va Bakhtiari province as "Snow gauge representative area" in Central Zagross. Seven sites were determined for snow operations and three indexes were installed with rectangular triangle arrangement with 20 m length in the sides in each site. Scale-density methods were used to determine the amount of snowmelt. The average daily temperature in each site was calculated based on information of weather stations around the region and thermal gradient relations. From November 2005 to May 2011, snow depth and density were recorded weekly and its water equivalent was measured simultaneously. The amount of snow melt was calculated due to the depth of equivalent snow water of two consequent records (with no rain periods). Data from four different temperature index including 1) sum of the average temperature of the period, 2) sum of the positive mean temperature of the period, 3) mean of the average temperature of the period, and 4) mean of the average positive temperature of the period, were analyzed and degree-day factor (K) was calculated. The results showed that the highest correlation coefficient ( $r^2=0.63$ ) was related to correlation between the sum of positive temperatures of the period (2nd index) and snow melt. The K value was 4.2 mm per degree-day for the study area which shows the rate of four mm per day of snow melt for each degree of positive temperature. This result is similar to the previous studies and it is proposed for application in central Zagross zone.

**Key words:** Chaharmahal va Bakhtiari, Equivalent snow water, Regression correlation, Scale-density method, Snow gauge

---

\* Corresponding author: raesiyani@yahoo.com