

یادداشت فنی

بررسی تأثیر دما در پیش‌بینی دبی روزانه با استفاده از روش‌های مبتنی بر منطق فازی در حوضه آبریز ليقوان

مرتضی نبی‌زاده^۱ و ابوالفضل مساعدی^{۲*}

چکیده

پیش‌بینی آبدهی رودخانه و مقدار جریان خروجی از حوضه از مهم‌ترین موضوعات در برنامه‌ریزی و استفاده بهینه از منابع آب یک حوضه است. در مناطق سردسیر دما ممکن است بر آبدهی رودخانه موثر باشد. در این پژوهش برای پیش‌بینی دبی روزانه رودخانه ليقوان که در یک منطقه سردسیر واقع شده‌است، از مدل‌های مبتنی بر منطق فازی استفاده شده است بدین منظور از سه پارامتر بارندگی، دما و دبی روزانه این رودخانه استفاده شد. ارزیابی نتایج پیش‌بینی‌ها با استفاده از معیارهای سنجش خطا، از جمله معیار ناش-ساتکلیف نشان داد که مدل ANFIS با دقت بالاتر ($CNS=0/998$) و پراکندگی کمتری نسبت به مدل FIS ($CNS=0/993$) دبی این رودخانه را پیش‌بینی کرده‌است. همچنین با مقایسه بخش‌های مختلف مشخص شد که دما در ماه‌های آذر و فروردین برای مدل FIS، بر فرآیند پیش‌بینی مؤثر است و باعث افزایش دقت پیش‌بینی آبدهی می‌شود. علت این موضوع را می‌توان تأثیرپذیری نوع بارش از دمای هوا در ماه‌های آذر و فروردین در این منطقه دانست.

واژه‌های کلیدی: منطق فازی، هوش مصنوعی، مهندسی رودخانه، دما، دبی.

ارجاع: نبی‌زاده م و مساعدی ا. ۱۳۹۰ بررسی تأثیر دما در پیش‌بینی دبی روزانه با استفاده از روش‌های مبتنی بر منطق فازی در حوضه آبریز ليقوان. مجله پژوهش آب ایران. ۲۲۷-۲۳۲.

۱- دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد مهندسی منابع آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
۲- دانشیار دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست دانشگاه فردوسی مشهد.

* نویسنده مسئول mosaedi@um.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۰۵/۱۸ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۰/۰۸/۰۱

مقدمه

اوجای و از غرب به حوضه آبریز رودخانه سردرود منتهی می‌شود.

تعیین مدل‌های ورودی و تأخیرهای زمانی مناسب

در این تحقیق داده‌های روزانه میانگین دما، میانگین دبی و مقدار بارندگی روزانه ۱۵ سال (از سال آبی ۱۳۶۷-۱۳۶۶ تا ۱۳۸۱-۱۳۸۰) به عنوان آموزش و ۵ سال (از سال آبی ۱۳۸۲-۱۳۸۱ تا سال آبی ۱۳۸۶-۱۳۸۵) به عنوان آزمون انتخاب شد. بررسی تأثیر دما بر پیش‌بینی آینده، در دو بخش صورت گرفت. در بخش اول پیش‌بینی به صورت کلی و برای تمام دوره آماری به صورت همزمان و بدون تفکیک داده‌ها از نظر زمان وقوع انجام شد (مدل‌های سالانه). اما در بخش دوم بررسی تأثیر دما در مورد هر ماه، به صورت مجزا صورت گرفت (مدل‌های ماهانه). مدل‌های ورودی طراحی شده این بخش در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱- ساختار ریاضی مدل‌های طراحی شده

ساختار مدل	نام مدل	روش مدل‌سازی
$Q_t = f(Q_{t-1}, R_t, T_t)$	P1M1	پیش‌بینی بامدل‌سازی سالانه
$Q_t = f(Q_{t-1}, R_t)$	P1M2	
$Q_t = f(Q_{t-1}, R_t, T_t)$	P2M1	پیش‌بینی بامدل‌سازی ماهانه
$Q_t = f(Q_{t-1}, R_t)$	P2M2	

به منظور ارزیابی دقت مدل‌های پیش‌بینی از معیارهای ناش-ساتکلیف^۱ (معادله ۱) و ریشه میانگین مربعات خطا (معادله ۲) استفاده گردید.

$$C_{NS} = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Q_i^o - Q_i^s)^2}{\sum_{i=1}^n (Q_i^o - \bar{Q}_i^o)^2} \quad (1)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Q_i^o - Q_i^s)^2} \quad (2)$$

در معادله‌های فوق، n تعداد داده‌ها، Q_i^o دبی مشاهداتی، Q_i^s دبی شبیه‌سازی شده، CNS معیار ناش-ساتکلیف و RMSE ریشه میانگین مربعات خطا می‌باشند.

ظهور کاربرد منطق فازی در مسائل مهندسی آب توسط بردوسی و همکاران (۱۹۹۰) برای محاسبات رگرسیونی در هیدرولوژی اتفاق افتاد. پس از آن‌ها دانشمندانی چون کیندلر (۱۹۹۲)، کاپرا و همکاران (۱۹۹۴) و راسل (۱۹۹۶) از منطق فازی در مدیریت منابع آب استفاده نمودند. از تحقیقات مربوط به منطق فازی می‌توان به مطالعات شو و اوردا (۲۰۰۸) برای آنالیز منطقه‌ای سیلاب در حوضه‌های آبخیز بدون ایستگاه، کیسی و همکاران (۲۰۰۹) برای پیش‌بینی رسوب ماهانه و صفوی (۱۳۸۹) برای پیش‌بینی کیفی آب‌های سطحی اشاره کرد که همه این مطالعات دقت روش‌های فازی را تأیید می‌کند. هدف از انجام این تحقیق، بررسی تأثیر دمای روزانه بر افزایش دقت پیش‌بینی آینده روزانه با استفاده از روش‌های مبتنی بر منطق فازی در مناطق سردسیر است.

مواد و روش‌ها

سیستم استنتاج فازی و سیستم استنتاج تطبیقی عصبی-فازی

تصمیم‌گیری یک بخش مهم در تمام سیستم‌ها می‌باشد. FIS، قوانین مناسب را تنظیم کرده و تصمیمات را برپایه این قوانین اخذ می‌کند. این عمل بر اساس مفاهیمی چون تئوری مجموعه‌های فازی، قوانین "اگر-آنگاه" فازی و استدلال فازی صورت می‌گیرد (سوناندم و همکاران، ۲۰۰۷). ANFIS قابلیت خوبی در آموزش، ساخت و طبقه‌بندی دارد و همچنین دارای این مزیت است که اجازه استخراج قوانین فازی را از اطلاعات عددی یا دانش متخصص می‌دهد و به طور تطبیقی یک قاعده-بنیاد می‌سازد.

منطقه مورد مطالعه

حوضه آبریز ليقوان چای یکی از زیر حوضه‌های دریاچه ارومیه بوده و با وسعتی معادل ۷۶ کیلومتر مربع، از شمال به اسپرکوه و دره ليقوان، از جنوب به ارتفاعات سهند، از شرق به حوضه‌های آبریز سعیدآبادچای و

¹ Nash-Sutcliffe Criterion (C_{NS})

نتایج و بحث

بخش مدل P1M2 (مدل مستقل از دما) نتایج بهتری را ارائه داده است. این امر نشان می‌دهد که دما در حالت کلی (مدل سالانه) تأثیری در پیش‌بینی نداشته و نمی‌توان از مقدار دمای روزانه در پیش‌بینی دبی روزانه برای تمامی دوره سال استفاده کرد.

جدول ۳ نشان می‌دهد که در بیشتر موارد نتایج مدل FIS دقیق‌تر از مدل ANFIS است. مدل P2M2 (مدل مستقل از دما) در بیشتر موارد نتایجی دقیق‌تر ارائه داده است و مدل P2M1 (مدل وابسته به دما) تنها در ماه‌های آذر و فروردین (با مدل FIS) نتایجی دقیق‌تر از مدل P2M2 (مدل مستقل از دما) ارائه کرده است. این مطلب نشان می‌دهد که دما در ماه‌های آذر و فروردین در آبدهی روزانه‌ی رودخانه مورد بررسی موثر است. نتایج مدل P1M2 در مدل سالانه (پیش‌بینی با ANFIS) و مدل P2M2 در مدل ماهانه (پیش‌بینی با FIS در ماه اسفند) در شکل‌های ۱ و ۲ ارائه شده است.

پیش‌بینی جریان با روش‌های ANFIS و FIS

برای آموزش مدل FIS ابتدا باید قوانین موجود بین داده‌ها استخراج شده و به روش سعی و خطا تعداد بهینه آن انتخاب شود. همچنین باید به روش سعی و خطا، به حالت بهینه توابع عضویت و سایر عملگرهای سیستم فازی رسید. همچنین برای مدل ANFIS، ۵ تابع عضویت مثلثی، دوزنقه‌ای، گوسی، گوسی ۲ و زنگوله‌ای مورد آزمون قرار گرفت. تعداد تکرارهای بهینه نیز به روش سعی و خطا بدست آمد. نتایج پیش‌بینی در هر بخش و برای هر مدل در جداول ۲ و ۳ ارائه شده است.

بر اساس نتایج پیش‌بینی در بخش اول (جدول ۲) مشاهده می‌شود که نتایج مدل ANFIS به ازای دو مدل این بخش (مدل‌های P1M1 و P1M2) دقیق‌تر از مدل

FIS است. همچنین با مقایسه نتایج دو مدل این

جدول ۲- مقادیر معیارهای ارزیابی خطا برای مدل‌های سالانه

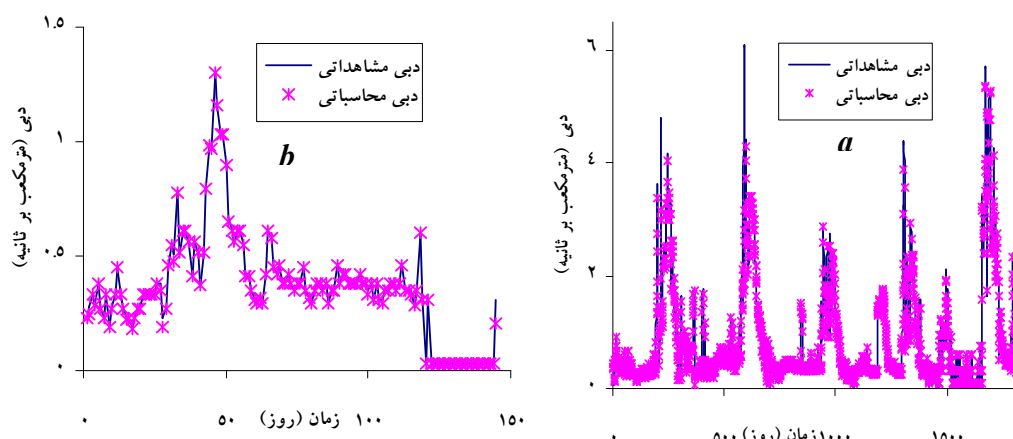
مدل	نوع سیستم فازی	تابع عضویت	تکرار	C_{NS}		$RMSE$	
				آموزش	آزمون	آموزش	آزمون
P1M1	FIS	دوزنقه‌ای	-	۰/۹۰۳	۰/۹۲۳	۰/۲۸۴	۰/۲۵۳
	ANFIS	دوزنقه‌ای	۳۳۰	۰/۹۹۸	۰/۹۸۵	۰/۰۴۵	۰/۱۱۱
P1M2	FIS	مثلثی	-	۰/۹۹۴	۰/۹۹۳	۰/۰۷۳	۰/۰۷۸
	ANFIS	مثلثی	۹۵	۰/۹۹۸	۰/۹۹۸	۰/۰۴۰	۰/۰۴۵

جدول ۳- مقادیر معیارهای ارزیابی خطا برای مدل‌های ماهانه

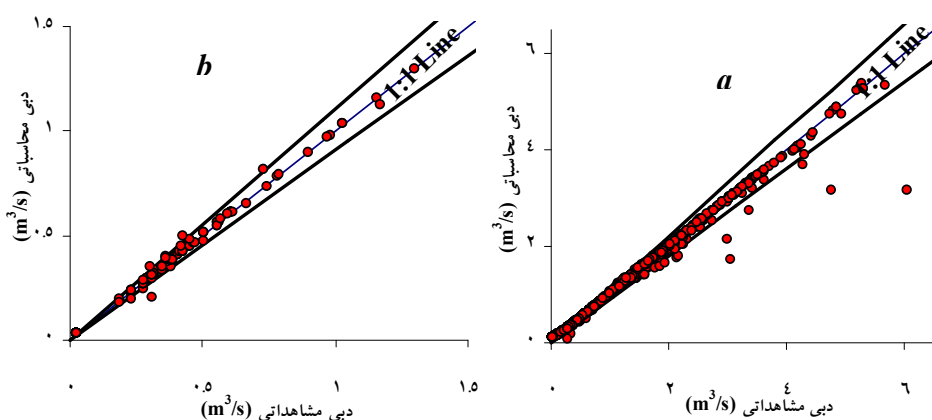
ماه	مدل	نوع سیستم فازی	تابع عضویت	تکرار	C_{NS}		$RMSE$	
					آموزش	آزمون	آموزش	آزمون
مهر	P2M1	FIS	گوسی ۲	-	۰/۷۸۵	۰/۸۳۸	۰/۰۸۲	۰/۰۹۵
	P2M2	ANFIS	گوسی ۲	۹۷	۰/۹۷۳	۰/۹۶۹	۰/۰۲۹	۰/۰۴۲
آبان	P2M1	FIS	مثلثی	-	۰/۹۴۸۴	۰/۹۷۵۵	۰/۰۴۰۴	۰/۰۳۷
	P2M2	ANFIS	مثلثی	۲۶	۰/۹۷۲	۰/۹۳۵	۰/۰۳۰	۰/۰۶۰
	P2M1	FIS	زنگوله‌ای	-	۰/۷۸۶	۰/۹۹۵	۰/۱۰۹	۰/۰۲۸
	P2M2	ANFIS	زنگوله‌ای	۲۰۸	۰/۹۱۴	۰/۸۷۵	۰/۰۶۹	۰/۱۳۴
آبان	P2M1	FIS	گوسی	-	۰/۸۳	۰/۹۹۷۸	۰/۰۹۶۷	۰/۰۱۷۵
	P2M2	ANFIS	گوسی	۱۰۳	۰/۸۷۵	۰/۹۴۵	۰/۰۸۳	۰/۰۸۸

ادامه جدول ۳

ماه	مدل	نوع سیستم فازی	تابع عضویت	تکرار	C_{NS}		$RMSE$	
					آموزش	آزمون	آموزش	آزمون
آذر	P2M1	FIS	مثلی	-	۰/۹۲۸	۰/۹۲۷	۰/۰۳۷	۰/۰۳۸
		ANFIS	مثلی	۲۶	۰/۹۸۰	۰/۸۸۵	۰/۰۲۰	۰/۰۴۸
	P2M2	FIS	مثلی	-	۰/۵۵۳۸	۰/۷۰۷۴	۰/۰۹۲۹	۰/۰۷۷۱
		ANFIS	مثلی	۲۶	۰/۹۸۳	۰/۹۳۰	۰/۰۱۸	۰/۰۳۷
دی	P2M1	FIS	گوسی ۲	-	۰/۷۲۸	۰/۹۶۲	۰/۰۷۴	۰/۱۰۳
		ANFIS	گوسی ۲	۲۵	۰/۸۸۰	۰/۸۹۳	۰/۰۴۹	۰/۱۷۴
	P2M2	FIS	مثلی	-	۰/۵۲۸۱	۰/۹۸۴۳	۰/۰۹۶۹	۰/۰۶۶۶
		ANFIS	مثلی	۱۷	۰/۸۷۸	۰/۹۵۲	۰/۰۴۹	۰/۱۱۷
بهمن	P2M1	FIS	مثلی	-	۰/۵۱۴	۰/۹۱۸	۰/۰۹۲	۰/۰۹۱
		ANFIS	مثلی	۲۴	۰/۶۹۷	۰/۷۴۶	۰/۰۷۲	۰/۱۶۰
	P2M2	FIS	مثلی	-	۰/۴۶۵۴	۰/۹۴۹۹	۰/۰۹۶۲	۰/۰۷۱
		ANFIS	مثلی	۳۳	۰/۶۹۹	۰/۹۳۳	۰/۰۷۲	۰/۰۸۲
اسفند	P2M1	FIS	مثلی	-	۰/۰۶۳	۰/۷۴۴	۰/۱۱۶	۰/۱۱۶
		ANFIS	مثلی	۱۸	۰/۷۶۶	۰/۸۳۲	۰/۰۵۸	۰/۰۹۴
	P2M2	FIS	گوسی	-	۰/۸۰۸۳	۰/۹۹۷۶	۰/۰۵۱۲	۰/۰۱۱۳
		ANFIS	گوسی	۵	۰/۷۳۴	۰/۸۹۵	۰/۰۶۰	۰/۰۷۵
فروردین	P2M1	FIS	مثلی	-	۰/۷۵۲	۰/۹۸۶	۰/۲۰۹	۰/۰۹۸
		ANFIS	گوسی	۳۰۳	۰/۷۷۷	۰/۸۰۹	۰/۱۹۸	۰/۳۶۲
	P2M2	FIS	مثلی	-	۰/۷۲۲۷	۰/۹۷۹۱	۰/۲۲۰۸	۰/۱۲۱۷
		ANFIS	گوسی	۴۵۳۱	۰/۷۱۰	۰/۸۵۱	۰/۲۲۶	۰/۳۲۵
اردیبهشت	P2M1	FIS	مثلی	-	۰/۹۱۴	۰/۹۱۲	۰/۲۳۴	۰/۳۷۲
		ANFIS	دوزنقه‌ای	۸۱	۰/۷۸۲	۰/۵۵۹	۰/۳۷۲	۰/۷۸۳
	P2M2	FIS	گوسی	-	۰/۸۷۲۴	۰/۹۴۵	۰/۲۸۵۲	۰/۲۹۴۵
		ANFIS	گوسی ۲	۱۰۴۶	۰/۷۸۲	۰/۶۴۵	۰/۳۷۳	۰/۷۴۴
خرداد	P2M1	FIS	مثلی	-	۰/۵۷۲	۰/۷۲۵	۰/۹۳	۰/۳۸۴
		ANFIS	دوزنقه‌ای	۳۱۸	۰/۹۸۷	۰/۹۹۶	۰/۱۶۳	۰/۱۳۶
	P2M2	FIS	دوزنقه‌ای	-	۰/۹۳۰۳	۰/۸۹۱۸	۰/۳۷۵۳	۰/۲۴۰۹
		ANFIS	دوزنقه‌ای	۲۶۶	۰/۹۸۸	۰/۹۷۵	۰/۱۵۵	۰/۱۱۵
تیر	P2M1	FIS	مثلی	-	۰/۷۴۲	۰/۵۰۳	۰/۵۸۸	۰/۳۷۲
		ANFIS	مثلی	۶۶۴	۰/۹۸۶	۰/۸۹۳	۰/۱۳۶	۰/۱۷۲
	P2M2	FIS	دوزنقه‌ای	-	۰/۹۶۷۶	۰/۹۲۹۶	۰/۲۰۸۴	۰/۱۴
		ANFIS	دوزنقه‌ای	۲۳۷	۰/۹۹۴	۰/۹۸۶	۰/۰۹۲	۰/۰۶۳
مرداد	P2M1	FIS	گوسی ۲	-	۰/۹۲۶	۰/۸۹۴	۰/۱۳۶	۰/۰۹۱
		ANFIS	گوسی ۲	۷۵	۰/۹۰۳	۰/۹۵۴	۰/۱۵۷	۰/۰۵۹
	P2M2	FIS	زنگوله‌ای	-	۰/۸۷۹۷	۰/۹۶۵۹	۰/۱۷۴۳	۰/۰۵۱۶
		ANFIS	دوزنقه‌ای	۱۱۹	۰/۹۱۶	۰/۹۷۸	۰/۱۴۵	۰/۰۴۱
شهریور	P2M1	FIS	مثلی	-	۰/۲۷۱	۰/۷۵۷	۰/۲۲۲	۰/۲۰۳
		ANFIS	مثلی	۸۳	۰/۹۰۴	۰/۶۱۹	۰/۰۸۱	۰/۲۱۵
	P2M2	FIS	مثلی	-	۰/۷۹۱۲	۰/۹۰۳۷	۰/۱۱۸۹	۰/۱۲۲۷
		ANFIS	مثلی	۶۷	۰/۸۹۶	۰/۸۷۵	۰/۰۸۴	۰/۱۴۰



شکل ۱- مقادیر دبی مشاهده‌ای و محاسباتی در مرحله آزمون: (a) مدل P1M2 (b) مدل P2M2



شکل ۲- پراکنش داده‌های مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده با حدود اطمینان ۹۵ درصد: (a) مدل P1M2 (b) مدل P2M2

بحث و نتیجه‌گیری

ممکن نیست و باید این اثرات به صورت مجزا دیده شد. به همین دلیل مشاهده می‌شود که مدل P2M1 (مدل وابسته به دما) در ماه‌های آذر و فروردین (با مدل FIS) نتایج دقیق‌تری از مدل P2M2 (مدل مستقل از دما) ارائه کرده است (جدول ۳). این مطلب نشان می‌دهد که دما در پیش‌بینی جریان در این ماه‌ها مؤثر بوده است. علت این امر تأثیر دمای این ماه‌ها در تبدیل نوع بارش از باران به برف یا برعکس است. زیرا در این ماه‌ها در اطراف صفر درجه سانتی‌گراد در این منطقه در نوسان است. در صورتی که دما بیش از صفر درجه سانتی‌گراد باشد بارش به صورت باران است و مستقیماً در ایجاد رواناب و افزایش دبی مؤثر است. ولی اگر دما کمتر از صفر درجه سانتی‌گراد باشد بارش به صورت برف و در ایجاد رواناب و افزایش دبی در آن روز بی‌تأثیر است. ضمن آنکه از اردیبهشت تا آبان به طور معمول دما همواره از صفر درجه سانتی‌گراد بیشتر است و در نتیجه

در جدول ۲ مشاهده می‌شود که نتایج مدل ANFIS به ازای همه مدل‌های این بخش (مدل‌های P1M1 (مدل وابسته به دما) و P1M2 (مدل مستقل از دما)) دقیق‌تر از مدل FIS است و در نتیجه مدل ANFIS کارایی بهتری را نسبت به مدل FIS از خود نشان داده است. همچنین با مقایسه نتایج ملاحظه می‌شود که مدل P1M1 در مقیاس سالانه نتایج بهتری را ارائه نداده است. این امر نشان می‌دهد که دما در سری سالانه تأثیری در پیش‌بینی نداشته و نمی‌توان از آن برای پیش‌بینی دبی در کل دوره استفاده کرد و با توجه به نتایج، حذف آن بر دقت پیش‌بینی تأثیری ندارد. زیرا دما تأثیرات متفاوتی را در دوره‌ها، فصول و حتی ماه‌های مختلف بر رژیم بارش، نوع بارش و در نهایت بر جریان رودخانه دارد و در نظر گرفتن این تأثیرات به صورت کلی

- in Water Resource Technology and Management, Balkema Publication, 505pp.
- 4- Kindler J. 1992. Rationalizing water requirements with aid of fuzzy allocation model, J. Water Resource Planning and Management, ASCE, 118(3): 308-323.
 - 5- Kisi O. Haktanir T. Ardiclioglu M. Ozturk O. Yalcin, E. and Uludag, S. 2009. Adaptive neuro-fuzzy computing technique for suspended sediment estimation, Advances in Engineering Software, 40: 438-444.
 - 6- Russel S.O. 1996. Reservoir operating rules with fuzzy programming, J. Water resource planning and management, ASCE, 122(3): 165-170.
 - 7- Shu, C. and Ouarda, T.B.M.J. 2008. Regional flood frequency analysis at ungauged sites using the adaptive neuro-fuzzy inference system . J. Hydrology, 349: 31-43.
 - 8- Sivanandam S.N. Sumathi S. and Deepa, S. N. 2007. Introduction to Fuzzy Logic using MATLAB, Springer Berlin Heidelberg, New York. 430pp.
- افزایش یا کاهش آن (که همواره در محدوده بالاتر از صفر درجه سانتی‌گراد در نوسان است) تأثیری بر تغییر نوع بارش از باران به برف ندارد. در حالی که از دی تا اسفند هم در منطقه مورد بررسی دما به طور معمول همواره کم‌تر از صفر درجه سانتی‌گراد است و در نتیجه افزایش یا کاهش آن (که همواره در محدوده کم‌تر از صفر درجه سانتی‌گراد در نوسان است) تأثیری بر تغییر نوع بارش از برف به باران ندارد.
- منابع**
- ۱- صفوی ح. ۱۳۸۹. پیش‌بینی کیفی رودخانه‌ها با استفاده از سیستم استنتاج فازی- عصبی تطبیقی، مجله محیط‌شناسی، ۳۶(۵۳): ۱-۱۰.
 - 2- Bardossy A. Bogardi I. and Duckstein, L. 1990. Fuzzy regression in hydrology, J. Water Resource Research, 26(7): 1497-1508.
 - 3- Capra A. Li Destri Nicosia O. and Scicolone I. 1994. Application of fuzzy sets to drought classification, P: 479-483 in Tsakiris G. and Santos M.A. Advances