



شبیهسازی عمق برف با مدل WRF: تأثیر شرایط اوّلیه و مرزی

مریم نصیری دارابی^۱، مریم قرایلو^۲ و سمانه ثابت قدم^۲ ^۱دانشجوی کارشناسی ارشد هواشناسی، گروه فیزیک فضا، موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران ۲دانشیار، گروه فیزیک فضا، موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران

چکیدہ

برف بخش مهمی از چرخه جهانی آب و منبع مهمی از آب شیرین محسوب می شود. آب حاصل از ذوب برف سبب اَفتو خیزهایی در رَواناب رودخانهها شده و منجر به بلایای طبیعی می شود. بنابراین شبیه سازی میزان عمق برف با توجه به محدود بودن روش های درون یابی اندازه گیری های ایستگاهی ضروری می باشد. هدف از این پژوهش بررسی توانایی مدل WRF در تخمین عمق برف با استفاده از شرایط اوّلیه و مرزی مختلف GFS (با تفکیک مکانی ۰/۵ درجه) و ERA5 (با تفکیک مکانی ۰/۵ درجه) می باشد. منطقه مورد مطالعه منطقه شمال تهران است که در روزهای ۱۳ و ۴۶ فوریه سال ۲۰۱۷ با بارش برف سنگین مواجه بود. برای مقایسه خروجی عمق برف تحت شرایط اوّلیه و مرزی متفاوت، از مشاهدات ایستگاههای همدیدی در محدوده تهران استفاده شد. نتایج نشان داد مدل به طور کلی با استفاده از هر دو شرط مرزی دارای فروتخمین می باشد و نتایج شبیه سازی مدل با ERA5

واژههای کلیدی: عمق برف، مدل WRF، شرایط اوّلیه و مرزی، GFS، ERA5،

Snow Depth Simulation by WRF model: Impact of Initial and Boundary Condition

Maryam Nasiri Darabi¹, Maryam Gharaylou² and Samaneh Sabetghadam²

¹ M.Sc. student, Institute of Geophysics, University of Tehran ² Associate professor, Institute of Geophysics, University of Tehran

Abstract

Snow is an important part of the global water cycle and an important source of freshwater. Snowmelt causes floods in river runoff and leads to natural disasters. Therefore, modeling snow depth changes is necessary because of the limited interpolation methods of station measurements. This study aimed to investigate the ability of the WRF model to estimate snow depth using different initial and boundary conditions of GFS (with 0.5-degree spatial resolution) and ERA5 (with 0.25-degree spatial resolution). The study area is in the northern region of Tehran; heavy snowfall occurred on 13 and 14 February 2017. Observations of the synoptic stations in the Tehran area were used to compare the snow depth output under different initial and boundary conditions. The results show that the model underestimated the snow depth using both boundary conditions, and the model's simulation results with ERA5 are more consistent with the synoptic station's data. **Keywords:** Snow depth, WRF model, Initial and boundary conditions, GFS, ERA5





۱ مقدمه

برف به دلیل بازتابندگی بالا، هدایت گرمایی کم و گرمای نهان ذوب بالا بهطور مستقیم بر ترازینهٔ انرژی سطحی تأثیر میگذارد و از اینرو بازخوردهای آشکار بر تغییرات وضع هوای منطقهای و جهانی دارد (هندرسون و همکاران، ۲۰۱۸). پوشش برف بر تبادل انرژی و رطوبت بین جوّ و سطح زمین تأثیر میگذارد (کوهن و ریند، ۱۹۹۱) و همچنین، برف بخش مهمی از چرخه جهانی آب و منبع مهمی از آب شیرین میباشد. اگرچه روشهای زمین آماری کنونی اندازه گیریهای ایستگاهی از پارامترهای هواشناسی را درونیابی میکنند، ولی با این وجود این روشها در برخی مناطق به شدت محدود مهمی برای مطالعهٔ تغییرات برخی پارامترها از ارائه ندهند (هاونز و همکاران، ۲۰۱۹). بنابراین، مدلسازی ابزار مهمی برای مطالعهٔ تغییرات برخی پارامترها از جمله پوشش برف میباشد. در ایران و سایر کشورها نیز مطالعات متعددی بر برف منطقهای کوهستانی در چین با استفاده از مدل WRF و دادههای تابش سنج طیفی تصویربرداری با توان تفکیک متوسط (MODIS-Terra) از سان ۲۰۱۳ پرف رو ارتفاعات بالاتر از ۲۰۹۰ متر یا اون تفکیک متوسط (MODIS-Terra) از سان برف برف در ارتفاعات بالاتر از ۴۰۵۰ متر یا هرای و سایر کشورها نیز مطالعات معددی بر برف، آب معادل برف و تعداد روزهای بارش برف در ایران داد که با افزایش دما، پوشش برف، معق برف، آب معادل برف و تعداد روزهای بارش برف در ارتفاعات بالاتر از ۴۰۵۰ متر کاهش یافته است، ولی برش برف در مناطق پادجریانسو افزایش یافته است. آنها همچنین دریافتند شبیه سازی ۲۹۰۰ متر کاهش یافته است، ولی بارش برف در اثر تغییر اقلیم بر برف، مؤثر است.

ورزسین وهمکارن (۲۰۱۷) با مقایسهٔ روشهای برآورد آب معادل برف در کالیفرنیای جنوبی (سیرا نوادا) دریافتند که مدل WRF برآوردی قابل قبول از آب معادل برف برای سیرا نوادا تولید میکند و همینطور با افزایش قدرت تفکیک مدل، نتایج بهتری از مدل حاصل میشود.

در کشور ایران نیز مطالعات محدودی در این زمینه انجام شدهاست. برای نمونه، خدامرادپور و همکاران (۱۳۹۶) به ارزیابی مدل برف طرحوارهٔ سطح NOAH-MP جفت شده با مدل WRF با عامل ذوب برف پیش فرض مدل در شمال و غرب ایران پرداختند. آنها دریافتند مدل در برآورد کسر پوشش برف و عمق برف در نواحی پست و کم ارتفاع با بالاترین ضرایب کارایی و همبستگی، کوچک ترین خطای اُریبی و میانگین مطلق خطا بهترین عملکرد را دارد؛ در حالی که در برآورد کسر پوشش برف در نواحی مرتع و کوهستانی با شیب زیاد و عمق برف در نواحی جنگلی و کوهستانی با شیب زیاد، با منفی بودن ضریب کارایی، ناموفق است.

هدف از پژوهش حاضر، بررسی توانایی مدل WRF در تخمین پوشش برف در یک مطالعه موردی با استفاده از دو شرط اوّلیه و مرزی (شامل دادههای سامانهٔ پیشبینی جهانی عملیّاتی MCEP (GFS) و دادههای نسل پنجم دادههای مرکز اروپایی پیشبینیهای میانمدت وضعهوا (ERA5) است. نتایج حاصل از اجرای مدل با مقادیر اندازهگیریشده در ایستگاههای همدیدی تهران مقایسه میشود.

۲ روش تحقیق

منطقه مورد بررسی در پژوهش حاضر، محدوده استان تهران میباشد. برای این پژوهش ابتدا مقادیر عمقبرف و کُد هوای حاضر در ایستگاههای همدیدی تهران در دوره ۱۰ ساله از سال ۲۰۱۰ تا ۲۰۲۰ از سازمان هواشناسی دریافت شد و با بررسی این دادهها، رویداد بارش برف روزهای ۱۳ و ۱۴ فوریه سال ۲۰۱۷ برای شبیهسازی انتخاب شد.

۲−۱ پیکربندی مدل WRF

شبیه سازی مدل WRF به مدت ۴۸ ساعت از ساعت ۰۶:۰۰ روز ۱۲ فوریه ۲۰۱۷ تا ساعت ۶۰:۰۰ روز ۱۴ فوریه ۲۰۱۷ تا ساعت ۷۶:۰۰ روز ۱۴ فوریه ۲۰۱۷ تا انجام شد. نتایج ۲۴ ساعت ۱۴ ساعت ۱۶ ساعت دون ۲۰۱۷ تا منابع از ساعت ۲۰۱۷ مورد ۲۰۱۷ مورد تعلیل قرار گرفت. برای این پژوهش از دو داده برای شرایط اوّلیه و مرزی و مدل به شرح زیر استفاده شده است:

الف) دادههای GFS با توان تفکیک ۰/۵ درجه در راستای طول و عرض جغرافیایی.





ب) دادههای ERA5 با توان تفکیک ۰/۲۵ درجه در راستای طول و عرض جغرافیایی. باترچه به تبای تذکیک بیتفاییت و دیم و دادو شده برانو براو دادو GES با به مشکه

باتوجه به توان تفکیک متفاوت هردو سری داده، شبیهسازی برای داده GFS با سه شبکه تودرتو به ترتیب با تفکیکهای افقی ۹ و ۳ کیلومتر انجامشد. افقی ۲۷، ۹ و ۳ کیلومتر و برای داده ERA5 با دو شبکه تودرتو به ترتیب با تفکیکهای افقی ۹ و ۳ کیلومتر انجامشد. تنظیمات مورد استفاده در مدل برای تمام اجراها و طرحوارههای استفاده شده در بخش فیزیک مدل در جدول ۱ فهرست شده است. انتخاب طرحوارههای فیزیک مدل بر اساس مطالعات پیشین در منطقه صورت گرفته است (خدامرادپور و همکاران، ۱۳۹۶؛ فریدمجتهدی و همکاران، ۱۳۹۶).

ER	A5		GFS	دادههای شرایط اوّلیه و مرزی	
D ₂	D ₁	D ₃	D ₂	D1	دامنه
٥٤×٨٣	۹۷×۹۷	٥١×٧٤	۸۲×۵۸	119×1+Y	نقاط شبکه (x,y)
٣	٩	٣	٩	۲۷	گام شبکه (km)
٦.	١٨٠	٦.	٦.	14.	فاصله زماني خروجيها (دقيقه)
	WRF Singl	طرحوارهٔ خرد فیزیک ابر			
		طرحوارة تابش طول موج كوتاه			
	RRTM scheme:]	طرحوارة تابش طول موج بلند			
		طرحوارهٔ لایهٔ مرزی سیارهای			
	Kain-	طرحوارهٔ پارامترسازی همرفت			
	Noah	طرحوارة فيزيك سطح			

جدول۱. تنظیمات مورد استفاده در مدل برای اجرای مدل.

شکل ۱ الگوی مکانی عمق برف برای داخلی ترین حوزه مدل در هر دو اجرا را نشان می دهد. هر دو شبیه سازی در عرض جغرافیایی حدود ۳۶ درجه شمالی و ۵۲ درجه شرقی یک بیشینه نسبی را شبیه سازی کرده اند. مقدار این بیشینه در شبیه سازی با استفاده از GFS و ERA5 به عنوان شرایط اوّلیه و مرزی به تر تیب بین ۱۵۰ تا ۱۶۰ سانتیمتر و بیش از ۲۰۰ سانتیمتر است. در هر دو شبیه سازی، عمق برف در بیشتر منطقه در حدود ۱۰ تا ۳۰ سانتیمتر برآورد شده است و الگوی کلی عمق برف در هر دو شبیه سازی مشابه است. هر دو شبیه سازی در توافق نسبتاً خوبی با یکدیگر قرار دارند، اگرچه تفاوت هایی در میزان عمق برف شبیه سازی شده وجود دارد.





۲-۲ ارزیابی نتایج مدل

به منظور ارزیابی شبیهسازیها، نتایج شبیهسازیهای مدل با مشاهدات ۶ ایستگاه همدیدی در محدوده تهران مقایسه





شدهاست (جدول ۲). با توجه به جدول ۲ مشاهده میشود که مقادیر برآورد شدهٔ عمق برف از شبیهسازیهای مدل WRF نسبت به مقادیر مشاهداتی کمتر است. شبیهسازی با استفاده از دادههای GFS دارای فروتخمین و شبیهسازی با استفاده از دادههای GFS دارای فروتخمین و شبیهسازی با استفاده از دادههای GFS دارای فروتخمین و شبیهسازی با استفاده از دادههای دارای فروتخمین و شبیهسازی با استفاده از دادههای دارای فروتخمین و شبیهسازی با استفاده از دادههای GFS دارای فروتخمین و شبیهسازی با ستفاده از دادههای GFS دارای فروتخمین و شبیهسازی با استفاده از دادههای دارای فروتخمین و شبیهسازی با ستفاده از دادههای دارای فروتخمین و شبیه مازی با ستفاده از دادههای در سایر ایستگاههای بررسی شده، شبیهسازی دارای فروتخمین است. این بررسی شده، شبیهسازی دارای فروتخمین است. مدل به طور کلی در تخمین میزان عمق برف دارای فروتخمین است. این بررسی نشان میدهد که شبیهسازی میزان برف با دادههای GFS نسبت به دادههای ERA5 دارای فروتخمین بیشتری است و نشان میدهد که شبیهسازی میزان برف با دادههای GFS نسبت به دادههای ERA5 دارای فروتخمین بیشتری است و مدل WRF

		1	1 1				
بەسازىشدە	مقادير شبيهسازىشده		ارتفاع	طول	عرض	نام ایستگاه	شماره
(سانتيمتر)		مشاهداتی	ایستگاه				ا تگار
ERA5	GFS	(سانتيمتر)	(متر)	جعرافيايي	جعرافيايي		ایستگاه
٧/۶٩	۱/۰۱	14	1858	۵۱.۳۸۳۳	80.4904	لواسان	99855
87/47	۳۵/۹۹	۱۲۸	7490.7	31.744.00	۳۵.۷۵	آبعلى	4.100
۶۸/۱۶	۲1/9۰	۵۹	2.01	22.0221	TO.V10VA	دماوند	99859
TF/97	۱۵/۹۱	44	1978	57.77777	۳۵.۷۵	فيروزكوه	40408
89/44	78/40	7	۲۹۸۵.۷	۵۲.۵۸۶۷	۳۵.۷۰۲۵	امينآباد فيروزكوه	۹۹۳۷۰
۱۸/۵۸	٧/٢٢	١٠	1187.9	۵۱.۰ <i>۱۶۶</i> ۷	30.8888V	شهريار	۹۹۳۷۵

جدول ۲. مقادیر مشاهداتی و شبیه سازی شدهٔ عمق برف (سانتیمتر) در ایستگاههای همدیدی در ساعت ۰۶:۰۰ روز ۱۴ فوریه ۲۰۱۷

۳ نتیجهگیری

در این پژوهش عملکرد مدل WRF در شبیه سازی عمق برف با استفاده از شرایط اوّلیه و مرزی مختلف در ۱۳ و ۱۴ فوریه سال ۲۰۱۷ مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفت. نتایج شبیه سازی های مدل با مشاهدات ایستگاههای همدیدی در محدودهٔ تهران مقایسه شد. نتایج نشان داد هر دو شبیه سازی مدل WRF توافق نسبتاً خوبی با یکدیگر دارند، اما شبیه سازی با داده های BRA5 میزان عمق برف را به طور کلی کمتر از شبیه سازی با داده های GFS برآورد میکند. هر شبیه سازی با داده های مدل با مشاهدات ایستگاه و و ۱۲ محدودهٔ تهران مقایسه شد. نتایج نشان داد هر دو شبیه سازی مدل WRF توافق نسبتاً خوبی با یکدیگر دارند، اما شبیه سازی با داده های GFS میزان عمق برف را به طور کلی کمتر از شبیه سازی با داده های GFS میزان مقادیم کم برف و در از شبیه سازی عمق برف را به طور کلی فروتخمین میکند. همچنین نتایج نشان می دهد که در مقادیر کم برف و در از تفاعات کمتر، مدل عملکرد به تری دارد.

منابع

- خدامرادپور م.، ایران نژاد پ.، اخوان س. و بابایی خ، ۱۳۹۶. ارزیابی مدل برف طرحواره سطح NOAH-MP جفت شده با مدل منطقهای WRF در بارشهای سنگین برف در شمال و غرب ایران. مجله ژئوفیزیک ایران، ۱۱(۴)، ۱۴۶–۱۶۲.
- فریدمجتهدی، ن، غفاریان، پ. و نگاه، س.، ۱۳۹۶. واکاوی توزیع مکانی کانونهای تمرکز ارتفاع برف آبر سنگین در جلگهٔ گیلان با استفاده از مدل WRF (سامانههای برف سنگین سالهای ۱۳۸۳، ۱۳۸۶ و ۱۳۹۲). جغرافیا و مخاطرات محیطی، ۱۶()، ۱۰۹–۱۲۶.
- Havens, S., Marks, D., FitzGerald, K., Masarik, M., Flores, A.N., Kormos, P. and Hedrick, A., 2019. Approximating input data to a snowmelt model using weather research and forecasting model outputs in lieu of meteorological measurements. Journal of Hydrometeorology, 20(5), pp.847-862.
- Henderson, G.R., Peings, Y., Furtado, J.C. and Kushner, P.J., 2018. Snow-atmosphere coupling in the Northern Hemisphere. Nature Climate Change, 8(11), pp.954-963.
- Pan, X., Li, X., Cheng, G., Chen, R. and Hsu, K., 2017. Impact analysis of climate change on snow over a complex mountainous region using weather research and forecast model (wrf) simulation and moderate resolution imaging spectroradiometer data (modis)-terra fractional snow cover products. *Remote Sensing*, 9(8), p.774.
- Wrzesien, M.L., Durand, M.T., Pavelsky, T.M., Howat, I.M., Margulis, S.A. and Huning, L.S., 2017. Comparison of methods to estimate snow water equivalent at the mountain range scale: A case study of the California Sierra Nevada. Journal of Hydrometeorology, 18(4), pp.1101-1119.
- Wu, X., Shen, Y., Wang, N., Pan, X., Zhang, W., He, J. and Wang, G., 2016. Coupling the WRF model with a temperature index model based on remote sensing for snowmelt simulations in a river basin in the Altay Mountains, north-west China. *Hydrological Processes*, 30(21), pp.3967-3977.