

## Investigating The Relationship Between Geomorphological Components (Elevation, Slope and Aspect) and The Maximum Snow-Cover Duration in Talesh Mountains

Somayeh Sadat Shahzeidi

Assistant Professor of Geomorphology, Department of Geography, Faculty of Literature and Humanities,  
University of Guilan, Rasht, Iran

✉ E-mail: [s.shahzeidi@guilan.ac.ir](mailto:s.shahzeidi@guilan.ac.ir)



**How to Cite:** Shahzeidi, S. (2023). Investigating The Relationship Between Geomorphological Components (Elevation, Slope and Aspect) and The Maximum Snow-Cover Duration in Talesh Mountains. *Geography and Development*, 21 (73),166-198.

**DOI:** <http://dx.doi.org/10.22111/GDIJ.2023.44795.3497>

**Received:**

9 February 2023

**Received in revised form:**

30 June 2023

**Accepted:**

27 September 2023

**Published online:**

1 June 2024

### ABSTRACT

The shape of the surface is important for geomorphologists because the morphology influences other environmental components. One of the important environmental variables that strongly influence is the Snow-Cover Duration on elevations. SCDura in mountain reservoirs has a direct effect on temperature, hydrological, erosion, vegetation, and biological feedbacks, and as a result of studying the interaction of the topographic surface of the earth with the durability of snow cover, it becomes necessary and important.

In this research, the relationship between the geomorphological components of the elevation, slope, and aspect with the max Snow-Cover Duration was calculated and investigated based on the data of Aqua and Terra satellites in the statistical period of 2003 to 2021. The Modis daily snow products named MOD10A1 and MYD10A1 were used for this purpose. The data was downloaded from NASA's official site and was prepared in the main database. In the first step, the data was binarized based on a threshold of 50%, then, the effect of the cloudiness was reduced using a spatial and temporal filter. Then, the data from Terra and Aqua satellites were combined and, the Max Snow-Cover Duration per cell in the raster network was calculated on an annual basis. The relationship between Max Snow-Cover Duration and elevational bands was investigated. The trend of changes in the Max Snow-Cover Duration shows that lower valleys and foothills of eastern Talash have a sharper decline. This situation can be attributed to human interventions, anthropogenic activities, as well as these areas locating in the transitional zone and to be more effective from environmental changes.

**Keywords:**

Geomorphologic components, Snow-cover, Maximum snow-cover duration, Talesh mountain.



© the Author(s).

**Publisher:** University of Sistan and Baluchestan

### Extended Abstract

#### 1. Introduction

The shape of the surface is important for geomorphologists because the morphology influences other environmental components. One of the important environmental variables that strongly influence is the Snow-Cover Duration on elevations. SCDura in mountain reservoirs has a direct effect on temperature, hydrological, erosion, vegetation, and biological feedbacks, and as a result, studying the interaction of the topographic surface of the earth with the Snow-Cover Duration,

necessary and important. The review of the research background shows that mainly in the previous studies, the correlation of topographical components such as slope, slope direction, or elevation with the number of snow-covered days or the spread and snow-covered levels has been investigated. However, in the field of snow phenology, there has been less attention to the component of Snow-Cover Duration succession, especially Max Snow-Cover Duration and its relationship with topographical components. As a

result, in this research, the aim is to analyze and investigate the relationship and role of geomorphological components such as the elevations, slope, and slope direction with the max Snow-Cover Duration in the Talas Mountain. Finally, correlation analysis, trend analysis and spatial pattern of changes in this environmental profile were analyzed.

## 2. Methods and Material

The extent of the research includes Talash mountain and surrounding lands between  $47^{\circ} 59' 56''$  to  $50^{\circ} 16' 60''$  E and  $36^{\circ} 32' 23''$  to  $38^{\circ} 31' 27''$  N. Talash is limited to the heights of Alborz from the east, the heights of Azerbaijan from the west, the Caspian Sea from the north and northwest, and Taleghan and Sefirod valleys from the south. In this research, the relationship between the geomorphological components of elevation, slope, and slope direction with the max Snow-Cover Duration was calculated and investigated based on the data of Aqua and Terra satellites in the statistical period from 2003 to 2021. The Madis daily snow products named MOD10A1 and MYD10A1 were used for this purpose. The data was downloaded from NASA's official website and was adjusted daily from 2003 to 2021, equivalent to 6940 cine images in the database.

The geomorphological components of elevation, slope, and slope direction were extracted from the elevation data published by the Japan Space Agency in May and October 2015 with a horizontal resolution of about 23 m. This data is one of the most accurate data sources on a global scale at the moment, which has a spatial resolution of 23 m and is extracted from ALOS satellite images. In the first step, the data was binaries based on the 50% threshold. In the next step, the cloudiness effect was reduced by using a spatial and temporal filter. Then, the data from Terra and Aqua satellites were combined, and based on this, the Max Snow-Cover Duration per cell in the raster network was calculated annually and area maps were prepared and drawn. The max Snow-Cover Duration in the elevation classes, slope, and slope direction was also investigated.

## 3. Result and Discussion

The correlation between geomorphological components (elevation, slope, slope direction) and max Snow-Cover Duration was calculated, and the correlation rate with height was estimated as 0.96. The correlation of slope and Snow-Cover Duration in

different slopes showed different behavior and trends. From 0 to 15 degrees, positive (increasing) with a correlation coefficient of 0.73, from 15 to 45 degrees, negative (decrease) with a correlation coefficient of 0.97, from a slope of 45 to 60 positive (increasing) with a correlation coefficient of 0.96 and from 60 to above, it is a decrease. The absolute changes and the trend of changes in Snow-Cover Duration in Talash were analyzed. The final results show that the years 2010 and 2018 have the lowest and the years 2008, 2012, and 2017 have the Max Snow-Cover Duration. The relationship between the Max Snow-Cover Duration and elevation is strong and the correlation rate with elevation is slowly increasing based on the surveys of the entire statistical period. The slope of the height correlation rate increases with the Max Snow-Cover Duration in Talash, especially from 2007 onwards. The Max Snow-Cover Duration in flat lands has an increasing trend up to 15 degrees, a decreasing trend from 15 to 45 degrees, an increasing trend from 45 to 60 degrees, and a decreasing trend from 60 degrees to above. The Max Snow-Cover Duration is related to the directions with an azimuth of 300 to 350 degrees, which is approximately equivalent to the lands with northwest to north slope, and the lowest durability is related to the directions with an azimuth of 150 to 200 degrees, which is approximately equivalent to the lands with south direction. The absolute sum of changes in the Max Snow-Cover Duration in the western half of Talash is more than the eastern half, and in the highlands, it is more than the lowlands and plains. The trend shows the Max Snow-Cover Duration at the Talash mountain, it is decreasing more steeply in the lower valleys and mountains of Eastern Talash.

## 4. Conclusion

The effect of elevational bands on the change of the Max Snow-Cover Duration is up. So, on average the entire statistical period, there is a positive correlation of 0.96 between these two environmental components. Based on the correlation between these two components, with every 1000 m increase in elevation, the max snow-cover duration increases, 4.8 days. The correlation rate between the elevation and max snow-cover duration in different years from 2003 to 2021 is increased with a gentle slope. That means from 2003, especially from 2007 onwards, the main factor controlling the max snow-cover duration at Talesh mountain has been elevation, showing that this factor has increased. The reason for this problem can be related to environmental and climate changes,

which need more investigation in the future by science and environmental researchers. As the slope increases to 15 deg, it enters the foothills from the plain area, so for this reason, the snow-cover duration shows an increase and a decreasing trend observed from the slope of 15 to 45 deg. The reason for this situation is that these lands are facing the sun, especially in winter when the sun tends to the south. Another reason is the moisture charge of the Caspian Sea and the Mediterranean and Western systems, which collide with the northwestern and northern flanks of Talash slopes and cause more snowfall in these areas in the cold seasons. As a result, it

strengthens the snow-cover duration in these lands. Finally, suggested to environmental science researchers studied the role of different components on snow phenology in mountain areas. Because providing the majority of fresh water for urban and rural areas (agriculture), and the base discharge of rivers and internal lakes is dependent on these areas, changes, quantification, and modeling can be investigated in the field of water resources, environmental power, and management of mountain areas to be used.

**Keywords:** Geomorphologic components, Snow-cover, Maximum snow-cover duration, Talesh mountain.

## 5. References

- Alaei Taleghani, Mahmoud (2005). *Geomorphology of Iran*, third edition, Qoms Publishing, Tehran, 404.
- Balk, B., & Elder, K (2000). Combining binary decision tree and geostatistical methods to estimate snow distribution in a mountain watershed. *Water Resources Research*, 36(1), 13-26.  
<https://doi.org/10.1029/1999WR900251>
- Barnett, T. P., Adam, J. C., & Lettenmaier, D. P (2005). Potential impacts of a warming climate on water availability in snow-dominated regions. *Nature*, 438(7066), 303-309.  
<https://doi.org/10.1038/nature04141>
- Beniston, M., Farinotti, D., Stoffel, M., Andreassen, L.M., Coppola, E., Eckert, N., Fantini, A., Giacona, F., Hauck, C., Huss, M., Huwald, H., Lehning, M., López-Moreno, J.-I., Magnusson, J., Marty, C., Morán-Tejeda, E., Morin, S., Naaim, M., Provenzale, A., Rabatel, A., Six, D., Stötter, J., Strasser, U., Terzago, S., Vincent, C (2018). The European Mountain cryosphere: a review of its current state, trends, and future challenges. *Cryosphere* 12, 759-794.  
<https://doi.org/10.5194/tc-12-759-2018>
- Bormann, K.J., Brown, R.D., Derksen, C., Painter, T.H (2018). Estimating snow-cover trends from space. *Nat. Clim. Chang.* 8, 924-928.  
<https://doi.org/10.1038/s41558-018-0318-3>
- Brest C L, Rossow, W B (1992). Radiometric calibration and monitoring of NOAA AVHRR data for ISCCP. *International Journal of Remote Sensing*, 13(2): 235-273.  
<https://doi.org/10.1080/01431169208904037>
- Britannica, The Editors of Encyclopaedia. "phenology" (2023). *Encyclopedia Britannica*, Invalid Date,  
<https://www.britannica.com/science/phenology>. Accessed 4 January 2023.
- Chang ATC, Foster J L, Hall D K (2016). Nimbus-7 SMMR derived global snow cover parameters. *Annals of Glaciology*, 9:39-44.  
<https://doi.org/10.1017/S0260305500000355>
- Chang A T C, Rango A (2000). Algorithm Theoretical Basis Document (ATBD) for the AMSR-E Snow Water Equivalent Algorithm. Greenbelt: NASA Goddard Space Flight Center.  
[https://nsidc.org/sites/default/files/amsr\\_atbd\\_snow.pdf](https://nsidc.org/sites/default/files/amsr_atbd_snow.pdf)
- Chen, W., Wu, Y., Wu, N., & Luo, P (2008). Effect of snow-cover duration on plant species diversity of alpine meadows on the eastern Qinghai-Tibetan Plateau. *Journal of Mountain Science*, 5, 327-339.  
<https://doi.org/10.1007/s11629-008-0182-0>
- Chen, X., Liang, S., Cao, Y., He, T., & Wang, D (2015). Observed contrast changes in snow cover phenology in northern middle and high latitudes from 2001–2014. *Scientific reports*, 5(1), 1-9.  
<https://doi.org/10.1038/srep16820>
- Daly C, Neilson R P, Phillips D L (2010). A Statistical-topographic model for mapping climatological precipitation over mountainous terrain. *Journal of Applied Meteorology*, 33(33): 140-158.  
[https://doi.org/10.1175/15200450\(1994\)0332.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/15200450(1994)0332.0.CO;2)
- Dankers, Rutger & De Jong, Steven (2004). Monitoring snow cover dynamics in northern Fennoscandia with SPOT VEGETATION images. *International Journal of Remote Sensing*. 25, 73-91  
[doi:10.1080/01431160310001618374](https://doi.org/10.1080/01431160310001618374)

- Davis R E, Hardy J P, Ni W et al (1997). Variation of snow cover ablation in the boreal forest: a sensitivity study on the effects of conifer canopy. *Journal of Geophysical Research Atmospheres*, 102(24): 29389-29395.  
<https://doi:10.1029/97JD01335>.
- Derksen C (2008). The contribution of AMSR-E 18.7 and 10.7 GHz measurements to improved boreal forest snow water equivalent retrievals. *Remote Sensing of Environment*, 112(5): 2701-2710.  
[DOI:10.1016/j.rse.2008.01.001](https://doi.org/10.1016/j.rse.2008.01.001)
- Dietz, A. J., Conrad, C., Kuenzer, C., Gesell, G., & Dech, S (2014). Identifying changing snow cover characteristics in Central Asia between 1986 and 2014 from remote sensing data. *Remote Sensing*, 6(12), 12752-12775.  
<https://doi.org/10.3390/rs61212752>.
- Dietz, A.J., Wohnner, C., Kuenzer, C (2012). European snow cover characteristics between 2000 and 2011 derived from improved MODIS daily snow cover products. *Remote Sens.* 4, 2432-2454.  
<https://doi.org/10.3390/rs4082432>
- Diodato, N., Ljungqvist, F. C., & Bellocchi, G (2022). Empirical modelling of snow cover duration patterns in complex terrains of Italy. *Theoretical and Applied Climatology*, 147(3-4), 1195-1212.  
<https://doi.org/10.1007/s00704-021-03867-8>
- Dozier J (1980). A clear-sky spectral solar radiation model for snow-covered mountainous terrain. *Water Resources Research*, 16: 709-718.  
<https://doi:10.1029/WR016i004p00709>.
- Foster J L, Hall D K, Chang A T C et al (1999). Effects of snow crystal shape on the scattering of passive microwave radiation. *Geoscience & Remote Sensing IEEE Transactions on Selected Topics*, 37(2): 1165-1168.  
<https://doi:10.1109/36.752235>.
- George J, Weiler M, Gluns D R et al (2007). The influence of forest and topography on snow accumulation and melt at the watershed-scale. *Journal of Hydrology*, 347(1): 101-115.  
<https://doi:10.1016/j.jhydrol.2007.09.006>.
- Ghanbarpour, Mohammadreza; Mohseni Saravi, Mohsen; Thaqfian, Bahram; Ahmadi, Hassan; Abbaspour, Karim (2005). An Evaluation of Regions Effective in Accumulation and Persistence of Snow Cover and Snowmelt Contribution in Runoff, *Journal: Natural Resources of Iran*, Volume 58, Number: 3, 503-515.  
[https://ijnr.ut.ac.ir/article\\_25249.html](https://ijnr.ut.ac.ir/article_25249.html).
- Halabian, Amir Hossein; Salehi, Sina (2020). Spatiotemporal Changes in Snow-Cover related to the Land Surface Temperature over Central Alborz, *Scientific-Research Quarterly of Natural Geography, Islamic Azad University, Larestan Branch*, Volume 13, Number 47, 53-75.  
[DOI: 20.1001.1.20085656.1399.13.47.4.6](https://doi.org/10.1001.1.20085656.1399.13.47.4.6)
- Hall D K, Riggs G A, Salomonson V V et al (2002). MODIS snow-cover products. *Remote Sensing of Environment*, 83(1):181-194.  
[https://doi:10.1016/S0034-4257\(02\)00095-0](https://doi:10.1016/S0034-4257(02)00095-0).
- Hall D K, Riggs G A, Salomonson V V (1995). Development of methods for mapping global snow cover using moderate resolution imaging spectroradiometer data. *Remote Sensing of Environment*, 54(2): 127-140.  
<https://doi:10.1016/0034-4257>.
- Hall, D K, Riggs G A, Salomonson V V et al (2001). Algorithm Theoretical Basis Document (ATBD) for the MODIS Snow and Sea Ice-Mapping Algorithms. Greenbelt: NASA Goddard Space Flight Center.  
[https://modis.gsfc.nasa.gov/data/atbd/atbd\\_mod10.pdf](https://modis.gsfc.nasa.gov/data/atbd/atbd_mod10.pdf)
- Hammond, J.C., Saavedra, F.A., Kampf, S.K (2018). Global snow zone maps and trends in snow persistence 2001–2016. *Int. J. Climatol.* 38, 4369-4383.  
<https://doi.org/10.1002/joc.5674>.  
<https://doi.org/10.1007/s00704-021-03867-8>.  
<https://doi:10.1016/j.rse.2008.01.001> . <https://doi:10.1029/1999WR900251>.
- Huss, M., Bookhagen, B., Huggel, C., Jacobsen, D., Bradley, R.S., Clague, J.J., Vuille, M., Buytaert, W., Cayan, D.R., Greenwood, G., Mark, B.G., Milner, A.M., Weingartner, R., Winder, M (2017). Toward mountains without permanent snow and ice. *Earth's Future* 5, 418-435. ISSN 0034-4257,  
<https://doi.org/10.1016/j.rse.2006.09.035>.
- Keikhosravi Kayani, Mohammad Sadegh; Masoudian, Abolfazl, (2016), Exploring the Relation of Snow-Covered Days with Elevation, Slope and Aspect in Iran, *Natural Geography Research*, Volume 48, Number 1 (95 series), 1-14.  
[DOI: 10.22059/JPHGR.2016.57024](https://doi.org/10.22059/JPHGR.2016.57024)
- Keikhosravi Kayani, Mohammad Sadegh; Masoudian, Abolfazl (2016). Identifying the spatial trends of snow-covered days in Iran using remote sensing data, *Geography and Environmental Hazards*, No. 17, 69-85.  
[DOI: 10.22067/GEO.V5I1.49715](https://doi.org/10.22067/GEO.V5I1.49715)

- Keikhosravi Kayani, Mohammad Sadegh; Masoudian, Abolfazl (2020). Trend analysis of snow accumulation season start in Iran using remote sensing data, *Geography and Environmental Planning*, Volume 31, Number 1 (series 77) 1-14.  
[DOI:10.22108/GEP.2020.120775.1249](https://doi.org/10.22108/GEP.2020.120775.1249)
- Klein, G., Vitasse, Y., Rixen, C., Marty, C. & Rebetez, M (2016). Shorter snow cover duration since 1970 in the Swiss Alps due to earlier snowmelt more than to later snow onset. *Climatic Change*, 139, 637-649.  
<https://doi.org/10.1007/s10584-016-1806-y>.
- Kohler, T., Wehrli, A., Jurek, M., (2014). Mountains and climate change: A global concern. In: Centre for Development and Environment (CDE) (Ed.), *Sustainable Mountain Development Series*. Swiss Agency for Development and Cooperation (SDC) and Geographica Bernensia, Bern, Switzerland (136 pp).  
<https://doi.org/10.1659/MRD-JOURNAL-D-09-00086.1>
- Barnett, T. P., Adam, J. C., & Lettenmaier, D. P. (2005). Potential impacts of a warming climate on water availability in snow-dominated regions. *Nature*, 438(7066), 303-309.  
<https://doi.org/10.1038/nature04141>.
- Li, D., Wrzesien, M.L., Durand, M., Adam, J., Lettenmaier, D.P (2017). How much runoff originates as snow in the western United States, and how will that change in the future? *Geophys. Res. Lett.* 44, 6163-6172.  
<https://doi.org/10.1002/2017GL073551>.
- Li, Hongxing, Xinyue Zhong, Lei Zheng, Xiaohua Hao, Jian Wang, and Juan Zhang (2022). "Classification of Snow Cover Persistence across China" *Water* 14, No. 6: 933.  
<https://doi.org/10.3390/w14060933>.
- Litaor M I, Williams M, Seastedt T R (2015). Topographic controls on snow distribution, soil moisture, and species diversity of herbaceous alpine vegetation, Niwot Ridge, Colorado. *Journal of Geophysical Research Biogeosciences*, 113(2): 73-73.  
<https://doi.org/10.1029/2007JG000419>.
- Lucas R M, Harrison, A R (1990). Snow observation by satellite: A review. *Remote Sensing Reviews*, 4(2): 285-348.  
<https://doi.org/10.1080/002757259009532109>.
- Manzav Marvdashti, Shahrbanu; Ahmed, Meghazi; hopeful, perfect; Mozafari, Gholam Ali (2021). Investigation of the effect of atmospheric parameters on the snow cover of Koohrang watershed, Publication: Newar, Volume 45, Number 112-113, 56-66.  
[DOI:10.30467/nivar.2021.263731.1175](https://doi.org/10.30467/nivar.2021.263731.1175)
- Masoudian, Abolfazl; Kiyhosravi Kayani, Mohammad Sadegh, (2017), Evaluation of changes in snow-covered days in the elevation groups over Zayanderoud River Basin, *Natural Environment Hazards*, year 6, Number 11, 33-46.  
[DOI: 10.22111/JNEH.2017.3060](https://doi.org/10.22111/JNEH.2017.3060)
- Merriam-Webster, D (2020). America's most-trusted online dictionary. Retrived from <https://www.merriam-webster.com>
- Mirmusavi, Seyed Hossein; Sabour, Leila, (2014), Monitoring the Changes of Snow Cover by Using MODIS Sensing Images at North West of Iran , *Journal of Geography and Development*, Volume 12, Number 35 - Serial Number 35, 181-200.  
[DOI:10.22111/GDIJ.2014.1562](https://doi.org/10.22111/GDIJ.2014.1562)
- Molotch N P, Bales R C (2005). Scaling snow observations from the point to the grid element: implications for observation network design. *Water Resources Research*, 41(11): 1-17.  
<https://doi.org/10.1029/2005WR004229>.
- Mote, P.W., Li, S., Lettenmaier, D.P., Xiao, M., Engel, R (2018). Dramatic declines in snowpack in the western US. *Climate and Atmospheric Science* 1, 2.  
[DOI: 10.1038/s41612-018-0012-1](https://doi.org/10.1038/s41612-018-0012-1)
- Notarnicola, C (2020). Hotspots of snow cover changes in global mountain regions over 2000-2018. *Remote Sensing of Environment*, 243, 111781.  
<https://doi.org/10.1016/j.rse.2020.111781>.
- Olefs, Marc, Roland Koch, Wolfgang Schöner, and Thomas Marke (2020). "Changes in Snow Depth, Snow Cover Duration, and Potential Snowmaking Conditions in Austria, 1961-2020-A Model Based Approach" *Atmosphere* 11, No. 12: 1330, 1-21.  
<https://doi.org/10.3390/atmos11121330>.
- Pepin, N., Bradley, R.S., Diaz, H.F., Baraer, M., Caceres, E.B., Forsythe, N., Fowler, H., Greenwood, G., Hashmi, M.Z., Liu, X.D., Miller, J.R., Ning, L., Ohmura, A., Palazzi, E., Rangwala, I., Schöner, W., Severskiy, I., Shahgedanova, M., Wang, M.B., Williamson, S.N., Yang, D.Q (2015). Elevation-dependent warming in mountain regions of the world. *Nat. Clim. Chang.* 5, 424:430.  
<https://doi.org/10.1038/nclimate2563>

- Pichaghchi, Hadigeh Bahrami; Raini Sarjaz, Mahmoud; Nowroz Valashdi, Reza (2020). Investigation of the effect of global warming on temporal and spatial changes of snow cover and its durability in the northern slope of Central Alborz, Scientific Journal of Agricultural Meteorology, Volume 8, Number 1, Serial Number 15, 15-25.  
<https://doi.org/10.22125/AGMJ.2020.200876.1071>.
- Pulliaainen J, Hallikainen M (2001). Retrieval of regional snow water equivalent from space-borne passive microwave observations. *Remote Sensing of Environment*, 75(1): 76-85.  
[https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(00\)00157-7](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(00)00157-7).
- Rosenthal W, Dozier J (1996). Automated mapping of montane snow cover at subpixel resolution from the Landsat Thematic Mapper. *Water Resources Research*, 32(1): 115-130.  
<https://doi.org/10.1029/95WR02718>.
- Sacks W J, Schimel D S, Monson R K (2007). Coupling between carbon cycling and climate in a high-elevation, subalpine forest: a model-data fusion analysis. *Oecologia*, 151(1):54-68.  
<https://doi.org/10.1007/s00442-006-0565-2>.
- Sahu, R., & Gupta, R. D (2020). Snow cover area analysis and its relation with climate variability in Chandra basin, Western Himalaya, during 2001–2017 using MODIS and ERA5 data. *Environmental Monitoring and Assessment*, 192, 1-26.  
<https://doi.org/10.1007/s10661-020-08442-8>.
- Stocker, T (Ed.) (2014). *Climate change 2013: the physical science basis: Working Group I contribution to the Fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge university press.  
<https://www.researchgate.net/publication/266208027>
- Takaku, J., Tadono, T., & Tsutsui, K (2014). Generation of high – resolution global DSM from ALOS prism. *ISPRS Annals of Photogrammetry, Remote Sensing & Spatial Information Sciences*, 2(4), 243-248.  
<https://doi.org/10.5194/isprsarchives-XL-4-243-2014>
- Tang,Z., Wang, X., Wang, J., Wang, X., Li, H., & Jiang, Z (2017). Spatiotemporal variation of snow cover in Tianshan Mountains, Central Asia, based on cloud-free MODIS fractional snow cover product, 2001–2015. *Remote Sensing*, 9(10), 1045.  
<https://doi.org/10.3390/rs9101045>
- Tong J, Déry S J, Jackson P L (2009). Topographic control of snow distribution in an alpine watershed of western Canada inferred from spatially-filtered MODIS snow products. *Hydrology and Earth System Sciences*, 11(4): 319-326.  
<https://doi.org/10.5194/hessd-5-2347-2008>.
- Yaghmai, Leila; Jafari, Reza; Soltani, Saeed; Jahanbazi, Hassan (2021). The effect of snow cover area and duration changes on vegetation cover in Chaharmahal and Bakhtiari Province, scientific-research journal of rangeland and watershed management, Volume 74, Number, 917-938.  
<https://doi.org/10.22059/jrwm.2022.317220.1559>
- Yang, K., Guyennon, N., Ouyang, L., Tian, L., Tartari, G., Salerno, F (2018). Impact of summer monsoon on the elevation-dependence of meteorological variables in the south of central Himalaya. *Int. J. Climatol.* 38, 1748-1759.  
<https://doi.org/10.1002/joc.5293>
- Yang, Q., Song, K., Hao, X., Chen, S., & Zhu, B (2018). An assessment of snow cover duration variability among three basins of Songhua River in Northeast China using binary decision tree. *Chinese Geographical Science*, 28, 946-956.  
<https://doi.org/10.1007/s11769-018-1004-0>
- Zhang, G., Xie, H., Yao, T., Liang, T., & Kang, S (2012). Snow cover dynamics of four lake basins over Tibetan Plateau using time series MODIS data (2001–2010). *Water resources research*, 48(10), 1-22.  
<https://doi.org/10.1029/2012WR011971>
- Zhang,H, Immerzeel, W. W., Zhang, F., de Kok, R. J., Chen, D., & Yan, W (2022). Snow cover persistence reverses the altitudinal patterns of warming above and below 5000 m on the Tibetan Plateau. *Science of the Total Environment*, 803, 149889.  
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.149889>.
- Zhong, X., Zhang, T., Kang, S., & Wang, J (2021). Spatiotemporal variability of snow cover timing and duration over the Eurasian continent during 1966-2012. *Science of the Total Environment*, 750, 141670.  
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141670>.



## بررسی ارتباط مؤلفه‌های ژئومورفولوژیک (ارتفاع، شیب و جهت شیب) با ماکزیمم ماندگاری برف - پوش در ارتفاعات تالش

دکتر سمیه سادات شاه‌زیدی

مقاله پژوهشی

### چکیده

یکی از متغیرهای مهم محیطی که به شدت تحت تأثیر مؤلفه‌های ژئومورفولوژیک سطحی قرار می‌گیرد، ماندگاری پوشش برف در ارتفاعات است. زمان ماندگاری برف در مخازن کوهستانی مستقیماً بر پسخوراندن دمای، هیدرولوژیکی، فرسایشی، رویشی و زیستی اثرگذار است. در نتیجه مطالعه تعامل سطح توپوگرافی زمین با ماندگاری پوشش برف، ضرورت می‌یابد. در این پژوهش ارتباط مؤلفه‌های ژئومورفولوژیک ارتفاع، شیب و جهت شیب، با ماکزیمم ماندگاری متوالی برف-پوش براساس داده‌های ماهواره‌های ترا و آکوا<sup>۱</sup> در دوره آماری ۲۰۰۳ تا ۲۰۲۱، در ارتفاعات تالش محاسبه و بررسی شد. در گام نخست داده‌ها براساس آستانه ۵۰ درصدی باینری‌سازی و در گام بعدی اثر ابرناکی با استفاده از فیلتر مکانی و زمانی کاهش داده شد. سپس داده‌ها با یکدیگر تجمیع و بر این اساس ماکزیمم ماندگاری متوالی برف-پوش به‌ازای هر سلول در شبکه رستری به‌صورت سالانه محاسبه و نقشه‌های پهنه‌ای تهیه و ترسیم شد. ماکزیمم ماندگاری متوالی برف-پوش در طبقات ارتفاعی، شیب و جهت شیب نیز بررسی و همبستگی بین آنها محاسبه شد. همچنین تغییرات مطلق و روند تغییرات نیز بررسی و تحلیل شد. نتایج نهایی نشان می‌دهد که سال‌های ۲۰۱۸ و ۲۰۱۰ کمترین و سال‌های ۲۰۰۸، ۲۰۱۲ و ۲۰۱۷ بیشترین ماندگاری ماکزیمم برف-پوش را به خود اختصاص داده‌اند. ارتباط ماکزیمم ماندگاری متوالی برف-پوش با ارتفاع قوی بوده و نرخ همبستگی با ارتفاع براساس بررسی‌های کل دوره آماری به آرامی در حال افزایش است. شیب افزایش نرخ همبستگی ارتفاع با ماکزیمم ماندگاری متوالی برف-پوش خصوصاً از سال ۲۰۰۷ به بعد افزایش می‌یابد. بیشترین ماندگاری برف-پوش مربوط به جهات با آزیموت ۳۰۰ تا ۳۵۰ درجه معادل تقریبی اراضی با شیب شمال غربی تا شمالی و کمترین ماندگاری مربوط به جهات با آزیموت ۱۵۰ تا ۲۰۰ درجه معادل تقریبی اراضی با جهت جنوبی می‌شود. مجموع مطلق تغییرات ماکزیمم ماندگاری متوالی برف-پوش در نیمه غربی تالش بیش از نیمه شرقی است و در ارتفاعات بیش از اراضی پست و جلگه‌ها است. روند تغییرات ماکزیمم ماندگاری برف نشان می‌دهد که در دره‌ها و پیشکوه‌های کم‌ارتفاع تر تالش شرقی با شیب بیشتری در حال کاهش است که این وضعیت را می‌توان به دخالت‌های انسانی، فعالیت‌های انسان‌زاد<sup>۲</sup> و همچنین واقع‌شدن این نواحی در منطقه بینابینی<sup>۳</sup> و اثرپذیری بیشتر از تغییرات محیطی نسبت داد.

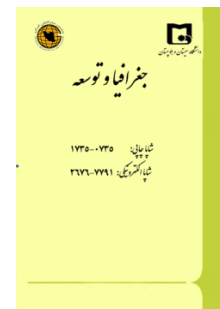
جغرافیا و توسعه، شماره ۷۳، زمستان ۱۴۰۲

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۱/۲۰

تاریخ بازنگری داوری: ۱۴۰۲/۰۴/۰۹

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۷/۰۵

صفحات: ۱۶۶-۱۹۸



واژه‌های کلیدی:

مؤلفه‌های ژئومورفولوژیک، برف-پوش، ماکزیمم ماندگاری برف-پوش، کوه‌های تالش.

### مقدمه

پایین‌تر می‌شود که باعث ماندگاری برف-پوش برای مدت زمان بیشتر در زمستان می‌شود. این در حالی است که دمای بالاتر در فصل بهار می‌تواند باعث تسریع ذوب برف شود. در نهایت، برف-پوش با فرایندهای هیدرولوژیکی، بیولوژیکی، شیمیایی و زمین‌شناسی در ارتباط تنگاتنگ است و همچنین ارتباط بسیار زیادی با سیکل‌های هیدرولوژیکی و بیلان انرژی نیز است (Yang et al, 2018: 1750) از زمانی که ماهواره تی.آی.آر.اواس-۱ به‌عنوان اولین ماهواره در پایش برف-پوش در کانادا در سال ۱۹۶۴ مورد استفاده قرار

برف-پوش فصلی یک مؤلفه جهانی بسیار مهم در بیلان حرارتی سطوحس، سیکل هیدرولوژیکی و سیستم‌های اقلیمی است (Balk & Elder, 2000: 14; Stocker, 2014: 26). به دلیل خواص فیزیکی، برف-پوش دارای اثرات عمیقی بر تبادل انرژی و بیلان حرارتی است (Foster et al, 1999: 1166). برف-پوش همچنین پسخوراند دما را تعدیل می‌کند که منجر به کنترل منطقه‌ای و جهانی تغییرات اقلیمی می‌گردد. وجود برف-پوش منجر به تحریک بارش برف در دماهای

اقلیمی در نظر گرفت. مطالعات اخیر نشان می‌دهد که افزایش دما در نواحی کوهستانی دو برابر متوسط جهانی بوده است و این وضعیت با افزایش ارتفاع، تشدید می‌شود (Kohler et al, 2014: 102; Pepin, 2015: 425) تغییرات برف-پوش و فنولوژی<sup>۹</sup> مرتبط با آن (شامل ماندگاری برف، شروع و پایان برف‌گیری) دارای نقش کلیدی در محیط‌های کوهستانی است و به‌شدت به دسترسی به منابع آب در نواحی پایین دستی، مرتبط است. در حقیقت، تغییرات رژیم آبی ناشی از ذوب برف و نوسانات آن است که می‌تواند تولید در بخش‌های مختلف مثل کشاورزی، توریسم، برق آبی را تحت تأثیر قرار دهد (Barnett, et al, 2005:306; Huss et al, 2017: 6165; Bormann, et al, 2018: 926; Li et al, 2017: 430). برای فهم تغییرات در محیط‌های کوهستانی، مشاهدات ایستگاه‌های زمینی، داده‌های دورسنجی و مدل‌های شبیه‌سازی شده در نواحی کوهستانی در چند دهه اخیر مورد استفاده قرار گرفته است (Huss et al, 2017: 430; Hammond et al, 2018:4375; Beniston et al,2018: 770) تصاویر سنجش‌ازدور به‌عنوان یک ابزار ارزشمند در نواحی مرتفع که ایستگاه‌های زمینی کمی در دسترس است و یا اصلاً وجود ندارد، می‌تواند اطلاعات مهمی درباره الگوی فضایی برف فراهم آورد. بررسی پیشینه پژوهش، تحقیقات بسیاری از محققان را در سال‌های مختلف نشان می‌دهد. قنبرپور و همکاران (۱۳۸۴)، به تعیین مناطق مؤثر در انباشت و ماندگاری سطح پوشش برف و سهم ذوب برف در رواناب پرداختند. آن‌ها از تصاویر ماهواره‌ای نوا در بازه زمانی ۱۳۶۸ تا ۱۳۷۷ بهره بردند. نتایج نشان از اهمیت برف-پوش در رواناب دارد، به طوری که در حدود ۵۰ درصد رواناب فصول بهار و تابستان را ذوب برف تشکیل می‌دهد. میرموسوی و صبور (۱۳۹۳)، به پایش تغییرات پوشش برف با استفاده از تصاویر سنجنده مودیس در منطقه شمال غرب ایران پرداختند. آن‌ها از تصاویر ماهواره‌ای

گرفت (Lucas & Harrison, 1990:250)، برف-پوش توسط سنجنده اپتیکی ماهواره‌های مختلف، نقشه‌برداری و تصویر برداری شده‌اند که می‌توان به لندست<sup>۱</sup> (Dozier 1980:710; Rosenthal & Dozier, 1996: 125) ای. وی. اچ. آر. آر<sup>۲</sup> (Brest & Rossow, 1992: 250)، ترا<sup>۳</sup> (Hall et al, 1995: 133; Hall et al, 2001:3; Hall et al, 2002: 186) اسپات<sup>۴</sup> (Dankers et al, 2004: 73) و سنجنده‌های میکروویو مانند اس.ام.آر<sup>۵</sup>، اس.اس.ام/آی<sup>۶</sup> (Pulliainen & Hallikainen, 2001:80; Chang, et al, 2016:42) ای.ام.اس.آر- ای<sup>۷</sup> (Derksen, 2008: 2705) اشاره کرد. سنجنده مودیس<sup>۸</sup> ترا به دلیل قدرت تفکیک مکانی بالایی که دارد به‌عنوان یک منبع اصلی داده‌های اپتیکی در پایش برف-پوش مورد استفاده قرار می‌گیرد. تصاویر ماهواره‌ای برداشت‌شده توسط این سنجنده، به‌صورت روزانه، هشت روزه و ماهانه داده‌های برف-پوش را به‌صورت باینری و همچنین درصدی برداشت می‌کند (Hall et al, 2001: 3; Hall et al, 2002: 186) پوشش برف تحت تأثیر اقلیم (Sacks et al, 2007: 55; Barnett, Adam & Lettenmaier, 2005:305; Stocker, 2014:26) پوشش گیاهی (George et al, 2007:110; Davis et al, 1997: 29390) و توپوگرافی (Daly et al, 2010: 145, Sacks et al, 2007:55, Tong et al, 2009:320; Litaor et al, 2015:1) است. مدل‌های آماری که دارای سیستم اندازه‌گیری نقطه‌ای هستند تا اثرات فاکتورهای مختلف بر ماندگاری پوشش برف را اندازه‌گیری کنند، فرایندهای فیزیکی را در نظر نگرفته و به دلیل تعداد و ابعاد نمونه‌ها دارای محدودیت‌هایی هستند (Olotch & Bales, 2005: 2; Daly et al, 2010:145) گذشته، توجه به نواحی کوهستانی افزایش یافته است، زیرا این نواحی را می‌توان به عنوان دیده بان تغییرات

1. Landsat
2. AVHRR (Advanced Very High-Resolution Radiometer)
3. Terra Ssatellite
4. SPOT (Systeme Probatoire d'Observation de la Terre)
5. SMMR (Scanning Multichannel Microwave Radiometer)
6. SSM/I (Special Sensor Microwave/Imager)
7. AMSR-E (Advanced Microwave Scanning Radiometer)
8. MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer)

ارتفاعی دیگر کاهش است و نهایتاً به پیامدهای ناگوار تغییر الگوی برف-گیری حوضه زاینده رود اشاره دارند. در پژوهشی دیگر، کیخسروی کیانی و مسعودیان (۱۳۹۹)، تغییرات آغاز فصل انباشت برف در ایران با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای ترا و آکوا در بازه زمانی ۱۳۷۹ تا ۱۳۹۷ را واکاوی کرده‌اند. نتایج نشان داده است که در ارتفاعات غربی و شمال شرقی کشور، آغاز فصل انباشت پوشش برف در حال پیش‌روی به سوی زمستان است. این در حالی است که در ارتفاعات شمالی و شمال‌غرب کشور، شروع فصل انباشت پوشش برف در حال رفتن به عقب یعنی پس‌روی به سوی پاییز است. پیچاقچی و همکاران (۱۳۹۹)، اثرگذاری گرمایش فراگیر بر تغییرات زمانی و مکانی پوشش برف و ماندگاری آن در گستره دامنه شمالی البرز مرکزی را بررسی کرده و با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای مودیس در بازه زمانی ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۸ بدین نتیجه دست یافته‌اند که روندی معنادار و افزایشی در دمای ماه‌های می و ژوئن وجود دارد و پهنه پوشش برف در ماه ژانویه نزدیک به ۲۲۰ کیلومتر مربع در سال افت کرده است. این در حالی است که در ماه مارس سالانه نزدیک به ۶۰ کیلومتر مربع بر پهنه پوشش برف افزوده شده است. حلبیان و صلحی (۱۳۹۹)، با استفاده از داده‌های سنجنده مودیس در بازه زمانی ۲۰۰۳ - ۲۰۱۸، ارتباط تغییرات مکانی- زمانی پوشش برف و دمای سطح زمین در البرز میانی را مطالعه کردند. آن‌ها تحلیل جهت شیب و دمای سطح زمین را در تعامل با یکدیگر و همچنین در ارتباط با پوشش برف بررسی و ارتباط معناداری بین جهت شیب زمین و برف-پوش در البرز میانی مشاهده کردند. ارتباط بین دمای سطح زمین و پوشش برف را در فصول پاییز و زمستان معنادار دانسته و دلیل این موضوع را علاوه بر شیب، رطوبت

مودیس در بازه زمانی ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۹ استفاده کردند. نتایج این پژوهش بیشترین مقدار پوشش برف را مربوط به سال ۲۰۰۷ و کمترین مقدار را مربوط به سال ۲۰۰۸ نشان می‌دهد و ارتباط بالا بین میانگین دما و پوشش برف در منطقه شمال غرب را تأیید می‌کند.

کیخسروی کیانی و مسعودیان (۱۳۹۵)، پیوند روزهای برف-پوشان با ارتفاع، شیب و وجه شیب در ایران را مورد بررسی قرار داده‌اند. داده‌های به‌کاررفته در این پژوهش، داده‌های ماهواره‌ای ترا و آکوا در بازه زمانی ۱۳۸۲ تا ۱۳۹۳ بوده است و تعداد روزهای با پوشش برفی در طبقات مختلف ارتفاعی از ۲۹- تا ۵۴۷۶ متری با گام‌های ۱ متری بررسی شده است. نتایج نشان داده است ارتباط بین روزهای برف-پوشان با ارتفاع لزوماً رابطه خطی نیست و در گروه‌ها و کلاس‌های مختلف رفتار متفاوتی از خود نشان می‌دهد و همچنین نامبردگان (۱۳۹۵)، به شناسایی وردش‌های مکانی روزهای برف-پوشان در ایران با داده‌های دورسنجی در همان بازه زمانی نیز پرداخته‌اند. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد در همه فصول سال روندهای افزایشی و کاهش‌ی شمار روزهای برف-پوشان دیده می‌شود و در فصل زمستان بیشترین تغییرات شمار روزهای برف-پوشان دیده شده است، همچنین در سال ۱۳۹۶ نیز به ارزیابی تغییرات روزهای همراه با پوشش برف در گروه‌های ارتفاعی حوضه زاینده رود با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای ترا و آکوا در بازه زمانی ۱۳۸۲ تا ۱۳۹۳ پرداخته‌اند. نتایج بررسی تغییرات تعداد روزهای برف-پوشان در طبقات مختلف ارتفاعی نشان داده است که در ماه‌های آبان و آذر، شمار روزهای برف-پوشان در بسیاری از کمربندهای ارتفاعی رو به افزایش است، اما در ماه‌های دی و بهمن شمار روزهای برف-پوشان در بسیاری از کمربندهای

از آنومالی شار کل موج کوتاه در بالای اتمسفر را تشکیل می‌دهد (Chen et al, 2015: 3).

کلین و همکاران (۲۰۱۶)، اقدام به ارزیابی ماندگاری برف-پوش در آلپ‌های سوئیس، از سال ۱۹۷۰ به بعد کردند و فنولوژی برف را در بین سال‌های ۱۹۷۰ تا ۲۰۱۵ مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها از داده‌های ایستگاه‌های زمینی نیز بدین منظور بهره گرفتند. نتایج این مطالعه نشان داده است که مدت زمان ماندگاری پوشش برف در آلپ‌های سوئیس کوتاه‌تر شده که این وضعیت تحت تأثیر شروع زودتر ذوب برف حادث شده است (Klein et al, 2016: 640).

یانگ و همکاران (۲۰۱۸)، به ارزیابی مدت زمان ماندگاری برف-پوش و نواسانات آن در سه حوضه رودخانه سونگان در شمال‌شرق چین با استفاده از درخت تصمیم‌گیری باینری پرداخته‌اند. آن‌ها از درخت تصمیم باینری برای آنالیز روابط غیرخطی بین ماندگاری برف-پوش و فاکتورهای مؤثر دیگر استفاده کردند و از این طریق فاکتورهای مؤثر را دسته‌بندی و خوشه‌بندی کرده و نقش هر کدام را تعیین کردند. در این پژوهش از داده‌های ماهواره‌ای مودیس در بازه زمانی ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۴ بهره گرفته شده است. نتایج این تحقیق نشان داده است که ماندگاری برف-پوش به‌شدت وابسته به ارتفاع بوده و بیشترین مقدار ماندگاری برف در نواحی کوهستانی مرتفع مشاهده شده است (Yang et al, 2018: 1750; Yang et al, 2018: 948-1750).  
نوتارینکولا (۲۰۲۰)، با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای مودیس، نواحی حساس تغییرات برف-پوش نواحی کوهستانی در مقیاس جهانی و در بین سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۸ را ارزیابی کرده است. نتایج تحقیق نشان داده است که در حدود ۷۸ درصد نواحی کوهستانی در مقیاس جهانی به سمت شرایط کاهش ماندگاری پوشش برف پیش می‌روند. این محقق بیان می‌دارند که نتایج تحقیق تحت درجاتی از عدم قطعیت قرار

دریای خزر و پوشش گیاهی جنگلی دامنه‌های شمالی البرز میانی بیان کردند. یغمایی و همکاران (۱۴۰۰) اثر تغییرات سطح و ماندگاری پوشش برف بر پوشش گیاهی در استان چهارمحال و بختیاری را واکاوی کرده‌اند. در این پژوهش از محصولات مربوط به پوشش برف و پوشش گیاهی سنجنده مودیس در بازه زمانی ۱۳۸۲ تا ۱۳۹۵ استفاده شده است. نتایج نشان می‌دهد که متوسط کاهش سطح پوشش برف در استان طی دوره مورد بررسی تا حدود ۳۲ درصد بوده اگرچه این روند ثابت نیست. در ضمن پوشش‌های مرتعی و جنگلی در ماه مارس با پوشش برف دارای حداکثر همبستگی هستند و تأثیر ماندگاری برف بر پوشش گیاهی بیشتر از سطح برف بوده است. منجذب مرودشتی و همکاران (۱۴۰۰)، تأثیر پارامترهای جوی بر پوشش برف حوضه آبخیز کوه‌رنگ در فاصله سال‌های ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۸ را بررسی کردند. نتایج، روند کاهشی تغییرات سطح پوشش برف منطقه مطالعاتی در طول دوره آماری و ارتباط معنادار بین دما و پوشش برف را نشان می‌دهد. چن و همکاران (۲۰۰۸)، اثر ماندگاری برف-پوش بر گونه‌های گیاهی و تنوع زیستی در نواحی شرقی فلات تبت را مطالعه و باتقسیم عمق برف در منطقه به بررسی ارتباط عمق برف با تنوع زیستی پرداخته‌اند (Chen et al, 2008: 331). نتایج، بالاترین غنای زیستی و تنوع زیستی را در عمق متوسط برف نشان داده است. آن‌ها ارتباط بین این دو مؤلفه را با استفاده از یک معادله کوادراتیک نشان داده و بیان می‌دارند که این معادله بهترین انطباق در نمایش نوع رابطه بین این دو فاکتور است. چن و همکاران (۲۰۱۵) نیز به بررسی فنولوژی پوشش برف در عرض‌های شمالی میانه و بالا در سال‌های ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۴ پرداخته و از داده‌های ترکیبی ماهواره‌ای و ایستگاه‌های زمینی بهره بردند. نتایج نشان داده است که تغییرات فنولوژیک برف-پوش منجر به ایجاد اختلاف آنومالی توان بازتابش برف می‌شود که بالغ بر ۵۱ درصد

اوراسیا تحت تأثیر عرض جغرافیایی است، در حالی که در فلات تبت تحت تأثیر ارتفاع است

(Zhong et al, 2021:141670).

دیوداتو و همکاران (۲۰۲۲)، به مدل‌سازی الگوهای ماندگاری برف-پوش در توپوگرافی پیچیده ایتالیا پرداختند و مدل‌سازی‌های خود را بر اساس داده‌های ایستگاهی ایجاد کرده و مورد ارزیابی قرار دادند و بدین نتیجه دست یافتند که این مدل در شرایط و مواضع مختلف زمین‌شناسی و همچنین در شرایط اقلیمی مختلف در کشور ایتالیا قابل استفاده است (Diodato et al, 2022: 1201).

لی و همکاران<sup>۳</sup> (۲۰۲۲)، اقدام به طبقه‌بندی ماندگاری پوشش برف در کشور چین کردند. آن‌ها از داده‌های ماهواره‌ای ای.وی.اچ.آر.آر<sup>۴</sup> بدین منظور بهره برده و سه طبقه مشخص به لحاظ ماندگاری پوشش برف تعیین کرده و به پایش و کنترل محیطی در این نواحی و طبقات اشاره داشتند (Li et al, 2022: 3).

ژانگ و همکاران<sup>۵</sup> (۲۰۲۲)، ماندگاری برف-پوش و ارتباطی که با الگوهای ارتفاعی گرمایش در بالا و زیر ارتفاع ۵۰۰۰ متری در فلات تبت دارد را بررسی کردند (Zhang et al, 2022). نامبردگان از داده‌های دمای سطح زمین برای بررسی گرمایش و از داده‌های برف و آلبدو به دست آمده از تصاویر ماهواره‌ای برای بررسی برف-پوش استفاده کردند. نتایج نشان داده است که ماندگاری بالای برف-پوش در ارتفاعات بالا، قدرت پسخوراند مثبت مسئول گرمایش در ارتفاعات پایین‌تر را کاهش می‌دهد که منجر به الگوی ارتفاعی وارونه از گرمایش در فلات تبت در ارتفاعات بالا و کمتر از ۵۰۰۰ متر می‌شود. بررسی پیشینه پژوهشی نشان می‌دهد که در مطالعات پیشین عمدتاً به بررسی ارتباط مؤلفه‌های توپوگرافیکی، همچون: شیب، جهت

دارد که این عدم قطعیت در نواحی با توپوگرافی پیچیده‌تر افزایش می‌یابد (Notarnicola, 2020:2).

ساهو و گوپتا (۲۰۲۰)، سطوح برف-پوش و ارتباطی که نوسانات اقلیمی در حوضه چاندرا، واقع در نواحی فرعی هیمالیا دارد را بررسی کرده‌اند. آن‌ها در سال‌های ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۷ از داده‌های ماهواره‌ای مودیس و ای.آر.ای<sup>۱</sup> استفاده و مؤلفه‌های ارتفاع، شیب و جهت شیب را در نظر گرفتند. این محققان متوسط سطوح پوشیده از برف<sup>۲</sup> را به‌طور متوسط در منطقه مورد مطالعه، ۸۴/۹۴ درصد برآورد کردند. بیشترین درصد این سطوح را مربوط به سال ۲۰۰۹ و در حدود ۹۱/۲۳ درصد و حداقل آن را مربوط به سال ۲۰۱۶ و در حدود ۷۶/۳۷ درصد اعلام داشتند (Sahu & Gupta, 2020:5).

اولفس و همکاران (۲۰۲۰)، در تحقیقی تغییرات عمق برف، ماندگاری پوشش برف و پتانسیل شرایط برف-زایی را در اتریش در فاصله سال‌های ۱۹۶۱ تا ۲۰۲۰ واکاوی و رویکرد مدل-مبنا را دنبال کردند. نتایج، یک افت نسبی مشخص و مرتبط با ارتفاع را در مؤلفه‌های ماندگاری برف-پوش و عمق برف در منطقه مطالعاتی نشان داده است (Olefs et al, 2020: 3).

ژانگ و همکاران (۲۰۲۱)، نوسانات مکانی-زمانی پوشش برف و مدت ماندگاری برف بر نواحی قاره‌ای اوراسیا در بازه زمانی بین سال‌های ۱۹۶۶ تا ۲۰۱۲ را بررسی و از داده‌های ماهواره‌ای به همراه ۱۱۰۳ ایستگاه زمینی بهره بردند. نتایج نشان داده است که بیشترین ماندگاری برف در امتداد سواحل قطبی است. تاریخ اولین برف-گیری و آخرین روز همراه پوشش برف و نسبت بین تعداد روز همراه با پوشش برف نسبت به طول فصل برفی در نواحی قاره‌ای

3. Li et al  
4. AVHRR  
5. Zhang et al

1. ERA5  
2. Snow covered area (SCA)

ژئومورفولوژیک، سه مؤلفه اصلی ارتفاع، شیب و جهت شیب که تقریباً همه مؤلفه‌های دیگر از این سه، مشتق می‌شوند، در نظر گرفته شده است.

### - فنولوژی<sup>۲</sup>

فنولوژی مطالعه پدیده‌ها یا رویدادهای طبیعی است که به صورت دوره‌ای یا سیکلی اتفاق می‌افتد و در ارتباط با تغییرات فصلی و سالانه آب‌وهوایی است (Britannica, 2023)، این پدیده‌ها، رویدادها و رخدادها زیستی و بیولوژیکی دوره‌ای هستند که با شرایط اقلیمی همبستگی دارند (Merriam-Webster 2020)

### - فنولوژی پوشش برف<sup>۳</sup>

با توجه به تعریفی که قبلاً از مفهوم فنولوژی آمده است، فنولوژی پوشش برف، مربوط به تغییرات دوره‌ای یا سیکلی پوشش برف در سطح توپوگرافی یا ارتفاعات یک ناحیه است که دارای شاخص‌های متعدد و مختلفی است. برخی از این شاخص‌ها شامل تعداد روز برف-پوشان<sup>۴</sup>، ماندگاری پوشش برف<sup>۵</sup>، سطوح زیر پوشش برف<sup>۶</sup>، اولین روز برف-گیرش<sup>۷</sup>، آخرین روز برف-گیرش<sup>۸</sup> و... می‌شود (Notarnicola, 2020:2)

### - برف-پوش<sup>۹</sup>

پوشش برف در زمان و مکان مشخص را برف-پوش یا SC می‌گویند که به روش‌های مختلفی می‌توان آن را نشان داد. می‌توان برف-پوش را به صورت باینری یا صفر و یک (وجود و نبود برف) در شبکه رستری نمایش داد یا آنکه به صورت کسری و درصدی در یک بازه زمانی به‌ازای هر سلول در شبکه رستری نشان داد؛ برای مثال یک سلول یا یاخته در ماه ژانویه دارای ۶۸ درصد برف-پوش است، بدین معنا است که در ماه

شیب یا ارتفاع با تعداد روز برف-پوشان یا گسترش و سطوح برف-پوش پرداخته شده است، اما در حیطه فنولوژی برف به مؤلفه ماندگاری متوالی برف-پوش و خصوصاً ماندگاری متوالی برف-پوش و ماکزیمم ماندگاری متوالی برف-پوش و ارتباطی که با مؤلفه‌های توپوگرافیکی پیدا می‌کند، کمتر پرداخته شده است. این در حالی است که نقش این نمایه محیطی در رفتار اکولوژیکی، هیدروژئومورفولوژیکی و به‌طور کلی پاسخ‌های محیطی بسیار مهم و اثرگذار است. در نتیجه در این پژوهش هدف تحلیل و بررسی ارتباط و نقش مؤلفه‌های ژئومورفولوژیکی همچون: ارتفاع، شیب و جهت شیب سطح زمین با ماکزیمم ماندگاری متوالی برف-پوش در ارتفاعات تالش است و در نهایت آنالیز همبستگی و تحلیل روند و الگوی مکانی تغییرات این نمایه محیطی نیز مورد تحلیل و بررسی قرار می‌گیرد.

### شرح واژگان و مفاهیم بنیادین

یک مفهوم، یک کلمه یا مجموعه‌ای از کلمات است که معنایی از طریق آن‌ها انتقال داده می‌شود و تا زمانی که مفاهیم و چارچوب نظری هر موضوع علمی مورد توجه و بررسی قرار نگیرد، فرایند پیشبرد تدریجی اهداف آن نیز دارای ابهام است؛ از این رو هر پژوهش براساس مفاهیم و الگوهای نظری خاصی بنا نهاده شده که برای درک بهتر آن، آشنایی با واژه‌ها و مفاهیم ضروری است. در ادامه مفاهیمی که این پژوهش بر پایه آن استوار شده، شرح داده شده است:

### - مؤلفه‌های ژئومورفولوژیک<sup>۱</sup>

مؤلفه‌های ژئومورفولوژیک طیف وسیعی از متغیرها و عوامل وابسته به شکل سطح زمین را دربرمی‌گیرد. این مؤلفه‌ها شامل درجه کوژ و کاو سطح زمین، درجه واگرایی و همگرایی افقی و عمودی، الگو و درجه نوسان سطح، ارتفاع، شیب، جهت شیب و مواردی از این دست است. در این پژوهش از میان مؤلفه‌های

### 1. Geomorphological Component (Elevation, Slope & Aspect)

2. Phenology
3. Snow Cover Phenology
4. Snow Cover Days
5. Snow Cover Duration
6. Snow Cover Area
7. First Snow Day
8. Last Snow Day
9. Snow Cover

### - محصول برف-پوش روزانه سنجنده مودیس MOD10A1 و MYD10A1

محصول MOD10A1 و MYD10A1 مربوط به برف-پوش روزانه برداشت شده به ترتیب از ماهواره‌های ترا و آکوا است. این داده‌ها دارای قدرت تفکیک مکانی ۵۰۰ متر هستند. این محصولات به صورت داده‌های شبکه‌ای هستند که دارای سیستم تصویر سینوسی هستند. هریک از کاشی‌های این داده‌ها دارای ابعاد ۱۲۰۰ در ۱۲۰۰ کیلومتر است (NASA, 2022).

### مواد و روش‌ها

در این پژوهش پارامترهای برف از داده‌های روزانه پوشش برف سنجنده مودیس مربوط به ماهواره‌های آکوا و ترا نسخه ۶ استخراج شد. داده‌های خام از سایت رسمی ناسا به صورت روزانه در بازه زمانی ۲۰۰۳ تا ۲۰۲۱ در فرمت hdf مربوط به داده‌های ماهواره‌های آکوا و ترا در سیستم تصویری سینوسی دریافت شد. داده‌های روزانه به ازای هر ماهواره شامل ۱۹ سال یا ۶۹۳۵ روز شد. مجموعه داده<sup>۵</sup> اصلی به نام NDSI\_Snow\_Cover از داده‌های اصلی تفکیک و در پایگاه داده تنظیم شد. سیستم تصویر داده‌ها نیز به سیستم جغرافیایی تبدیل و به فرمت ASCII تبدیل شد. همه مراحل تنظیم و پردازش داده‌ها توسط زبان برنامه‌نویسی پایتون انجام گرفت. برای تبدیل برف-پوش به صورت باینری (وجود و نبود پوشش برف) از متد پیشنهادی تانگ و همکاران (۲۰۱۷) استفاده شد (Tang et al, 2017: 1045). بدین صورت که آستانه ۵۰ درصد مبنای تبدیل NDSI\_Snow\_Cover در دامنه ۰ تا ۱۰۰ به برف-پوش باینری به صورت صفر (عدم وجود برف) و یک (وجود برف) قرار گرفت. کاهش ابرناکی با استفاده از روش ارائه شده توسط دیتر و همکاران (۲۰۱۲) انجام گرفت تا درصد ابرناکی منطقه کاهش داده شود (Dietz et al, 2012: 2442). برای

ژانویه آن سلول خاص در ۶۸ درصد مواقع دارای پوشش برفی بوده است.

### - تعداد روز برف-پوشان<sup>۱</sup>

تعداد روز برف-پوشان نماینده تعداد روزی است که یک سلول در یک بازه زمانی مشخص پوشیده از برف یا به عبارتی دارای برف است (Notarnicola, 2020: 2). این شاخص جزو شاخص‌های مربوط به فنولوژی برف است که از طریق دسترسی به ایستگاه‌های زمینی یا داده‌های ماهواره‌ای، قابل برداشت و محاسبه است.

### - ماندگاری پوشش برف<sup>۲</sup>

منظور از ماندگاری پوشش برف تعداد روزی است که برف-پوش روی یک سلول (یا سطح زمین) ماندگاری دارد. معمولاً ماندگاری پوشش برف را به روز و در بازه‌های زمانی مختلف همچون ماهانه، فصلی یا سالانه محاسبه می‌کنند.

### - ماکزیمم ماندگاری پوشش برف<sup>۳</sup>

بعد از محاسبه ماندگاری پوشش برف با تعریفی که در قبل به آن اشاره شد، می‌توان در یک بازه زمانی مشخص بیشترین تواتر روزهای همراه با برف-پوش را به عنوان ماکزیمم ماندگاری پوشش برف در نظر گرفت که خود به نوعی مربوط به فنولوژی برف است.

### - سنجنده مودیس ماهواره‌های ترا و آکوا<sup>۴</sup>

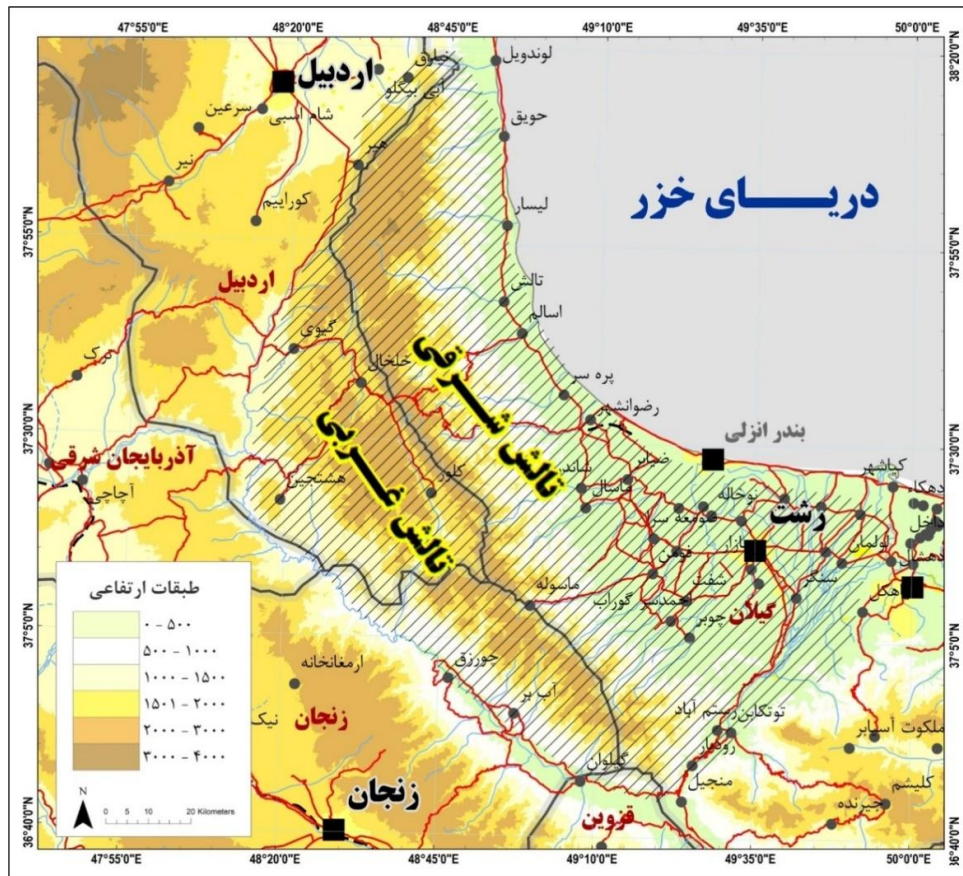
ماهواره‌های ترا و آکوا هر دو، سنجنده مودیس را حمل می‌کنند. اطلاعات هر دو ماهواره در سایت سازمان فضایی آمریکا در دسترس کاربران قرار داده می‌شود. این ماهواره‌ها پهنه یکسانی از سطح زمین را با اختلاف زمانی ۳ ساعت برداشت می‌کنند، به طوری که هر ۱ تا ۲ روز کل سطح زمین را تصویربرداری می‌کنند (NASA, 2022).

1. Snow Cover Days
2. Snow Cover Duration
3. Maximum Snow Cover Duration
4. Terra and Aqua Modis Sensor

داده‌ها در حال حاضر دقیق‌ترین داده‌های ارتفاعی رایگان در مقیاس پوششی جهانی است که از تصاویر ماهواره ALOS به‌دست آمده و از شبکه داده‌های رقومی سطحی با قدرت تفکیک مکانی پنج متر و با پوشش جهانی استخراج شده است  
(Takaku et al, 2014: 243)

محدوده مورد پژوهش شامل ارتفاعات تالش و اراضی اطراف در فاصله مختصاتی  $47^{\circ}$  و  $59'$  و  $56''$  تا  $50^{\circ}$  و  $16'$  و  $60''$  طول شرقی و  $36^{\circ}$  و  $32'$  و  $23''$  تا  $38^{\circ}$  و  $31'$  و  $27''$  عرض شمالی قرار گرفته است. واحد تالش کوه‌های به هم پیوسته و ممتدی است که از دره سفیدرود تا زمین‌های پست مغان کشیده شده است. یک خط شکستگی بزرگ به‌نام گسل آستارا (گسل تالش) آن را از چاله خزر جدا کرده است. گسل آستارا روند جنوبی شمالی دارد و به تبعیت از این خط شکستگی، روند تالش صرف‌نظر از پیچ و خم‌های محلی، در مجموع شمالی- جنوبی است (علایی‌طالقانی، ۱۳۸۴: ۱۲۶). شکل ۱، موقعیت جغرافیایی و حدود مختصاتی قلمرو مطالعاتی را نشان می‌دهد.

کاهش اثر ابرناکی از فیلتر زمانی و فیلتر مکانی استفاده شد. در فیلتر مکانی بدین صورت عمل شد که با استفاده از یک پنجره متحرک ۳ در ۳ سلولی روی شبکه رستری، در صورتی که در پنجره متحرک دو سلول برفی وجود داشته باشد، سلول سوم در صورتی که کد ابر را نشان دهد، سلول ابری به سلول برفی تبدیل خواهد شد. بعد از اعمال فیلتر مکانی، فیلتر زمانی نیز روی همه داده‌ها اعمال شد. بدین ترتیب که اگر سلول ابری در روز قبل و بعد دارای برف بود، سلول ابری به سلول برفی تبدیل می‌شود. استفاده از روش فیلتر مکانی و زمانی در کاهش اثر ابرناکی در داده‌های مودیس در مطالعات پژوهشگرانی چون دیتز و همکاران (۲۰۱۶)، ژانگ و همکاران (۲۰۱۲) استفاده شده است (Zhang et al, 2012:5; Dietz et al, 2014: 12762; Dietz, 2012: 2442) در نهایت بعد از تنظیم داده‌های ماهواره‌های ترا و آکوا به‌صورت مجزا هر دو پایگاه داده با یکدیگر تلفیق و ترکیب شد و پایگاه داده باینری برف-پوش در بازه زمانی ۲۰۰۳ تا ۲۰۲۱ به‌صورت روزانه به‌دست آمد. همه آنالیزها و محاسبات پی‌درپی روی این پایگاه داده انجام گرفت. قدرت تفکیک مکانی این پایگاه داده ۵۰۰ متر بوده و داده‌های ارتفاعی نیز مطابق با این تفکیک مکانی بازآرایی شبکه‌ای<sup>۱</sup> شد. از پایگاه داده به دست آمده، تعداد روز برف-پوشان و سپس ماندگاری برف-پوش و ماکزیمم ماندگاری برف-پوش استخراج شد که در دوره زمانی متوسط سالانه مورد بررسی قرار گرفت و ارتباط مؤلفه‌های مورفولوژیک سطح زمین همچون کمربندهای ارتفاعی، شیب و جهت شیب با فنولوژی برف، محاسبه، بررسی و تحلیل شد. در این پژوهش از داده‌های رقومی ارتفاعی منتشرشده توسط آژانس فضایی ژاپن در می و اکتبر ۲۰۱۵ با قدرت تفکیک افقی حدود ۲۳ متر، استفاده شد. این



شکل ۱: موقعیت محدوده مطالعاتی - قلمرو ارتفاعات تالش

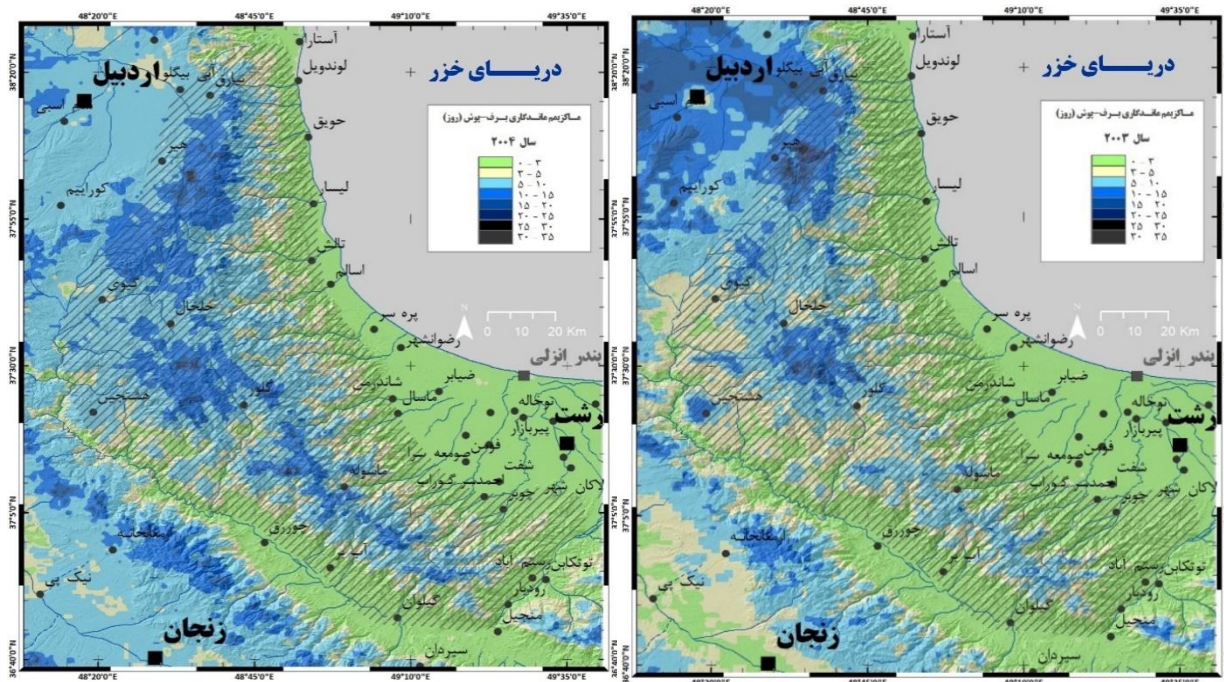
تهیه و ترسیم: نگارنده، ۱۴۰۱

## بحث و یافته‌ها

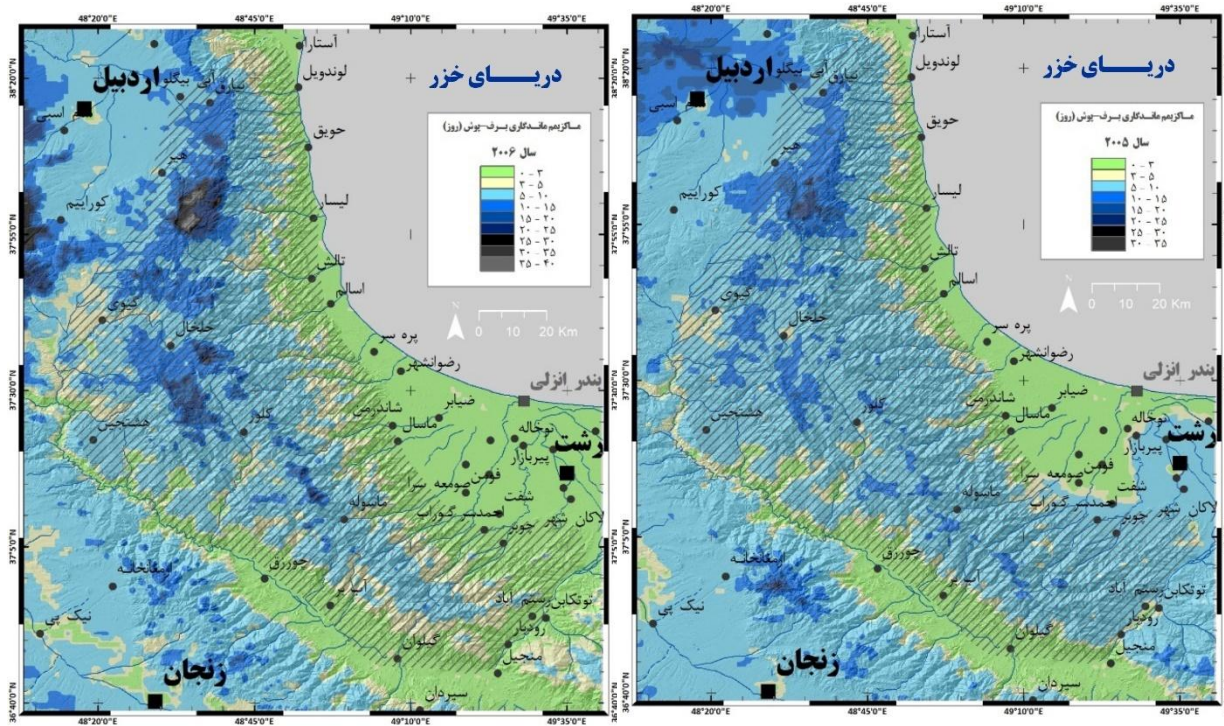
۲۰۲۱ و همچنین متوسط دوره آماری محاسبه و تغییرات آن در این دوره واکاوی شد. در نهایت مجموع مطلق تغییرات ماکزیمم ماندگاری متوالی برف-پوش و همچنین روند تغییرات این شاخص، بررسی و نقشه‌های پهنه‌ای مرتبط با هر یک نشان داده شد. در ادامه به تفصیل بیشتری به نتایج پرداخته می‌شود.

ماکزیمم ماندگاری متوالی پوشش برف در ارتفاعات تالش ماکزیمم ماندگاری متوالی برف-پوش به‌ازای هر سال در دوره آماری ۲۰۰۳ تا ۲۰۲۱ به‌صورت نقشه‌ای پهنه‌ای تهیه که نتایج آن در شکل ۲ تا ۱۱ نشان داده شده است.

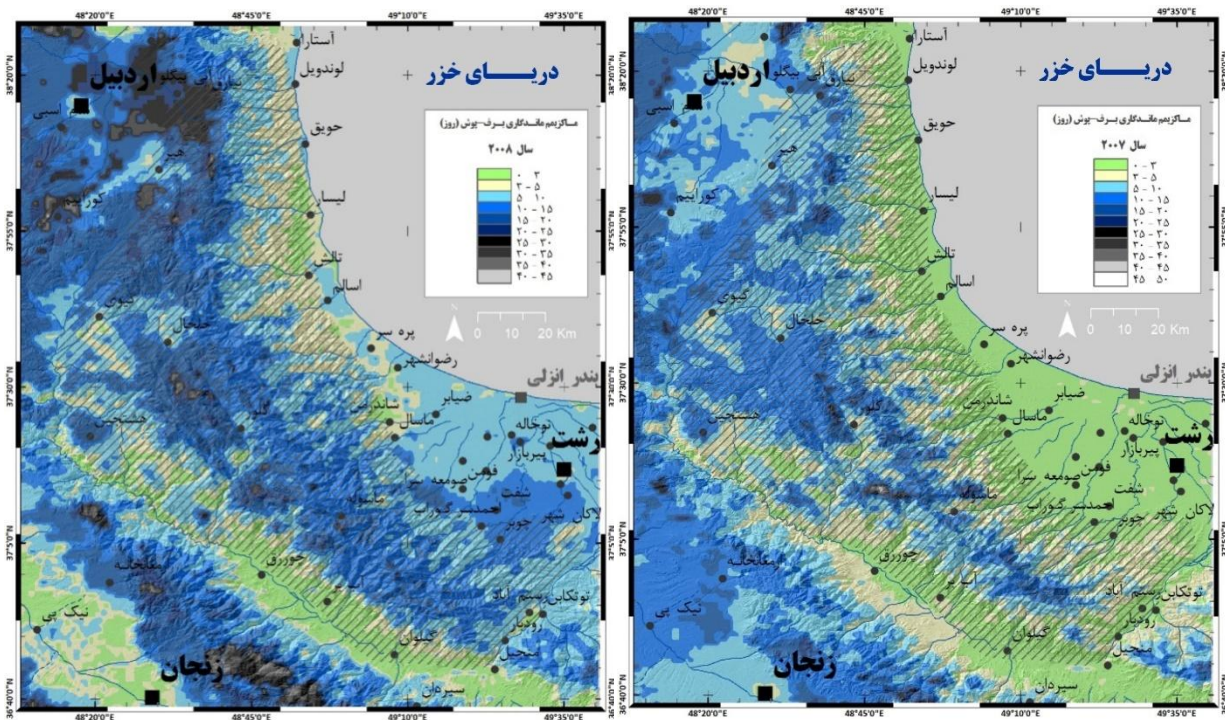
در این پژوهش ارتباط مؤلفه‌های ژئومورفولوژیک ارتفاع، شیب و جهت شیب سطح زمین با ماکزیمم ماندگاری متوالی برف-پوش در ارتفاعات تالش در بازه زمانی ۲۰۰۳ تا ۲۰۲۱ میلادی براساس تصاویر ماهواره‌ای مودیس محاسبه و ماکزیمم ماندگاری متوالی برف-پوش در بازه زمانی سالانه به‌صورت نقشه‌های پهنه‌ای تنظیم و تدوین شد. همچنین نیمرخ عرضی در ارتفاعات تالش ارزیابی و تغییرات ارتفاعی با تغییرات ماکزیمم ماندگاری برف-پوش منطبق و تحلیل شد. در ادامه همبستگی بین ارتفاع و ماکزیمم ماندگاری متوالی برف-پوش در همه سال‌های آماری از ۲۰۰۳ تا



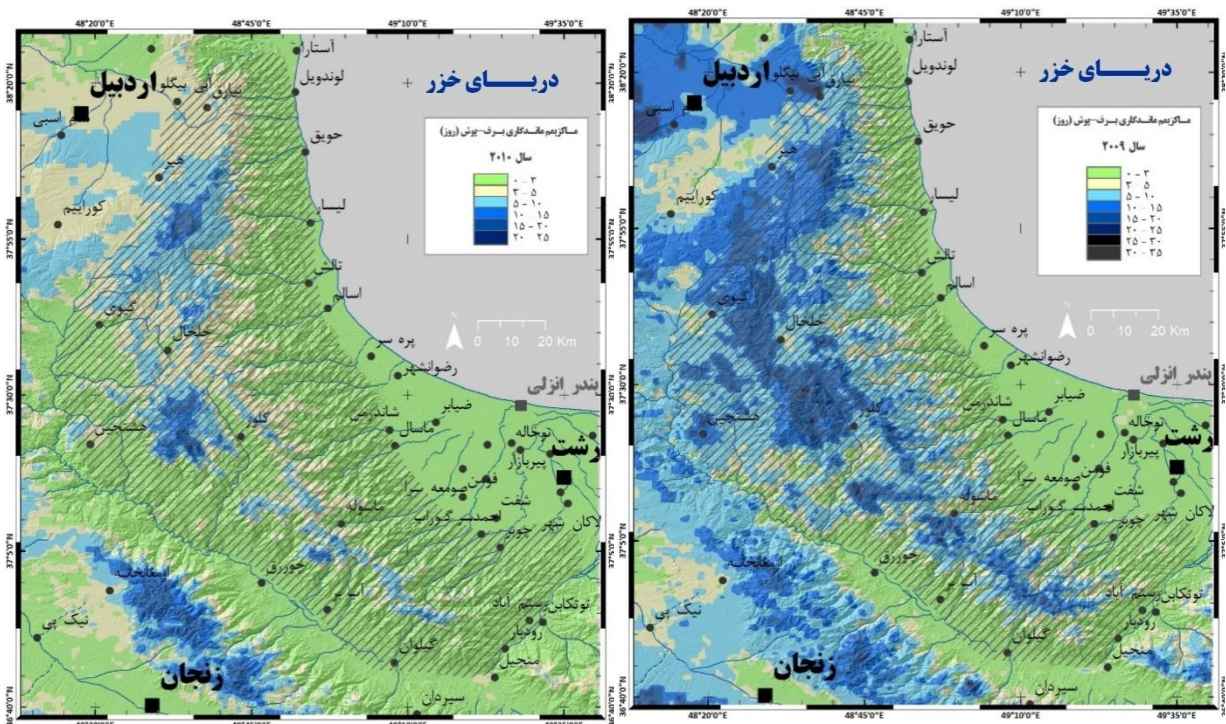
شکل ۲: ماکزیمم ماندگاری برف-پوش سال ۲۰۰۳ و ۲۰۰۴ در ارتفاعات تالش  
تهیه و ترسیم: نگارنده، ۱۴۰۱



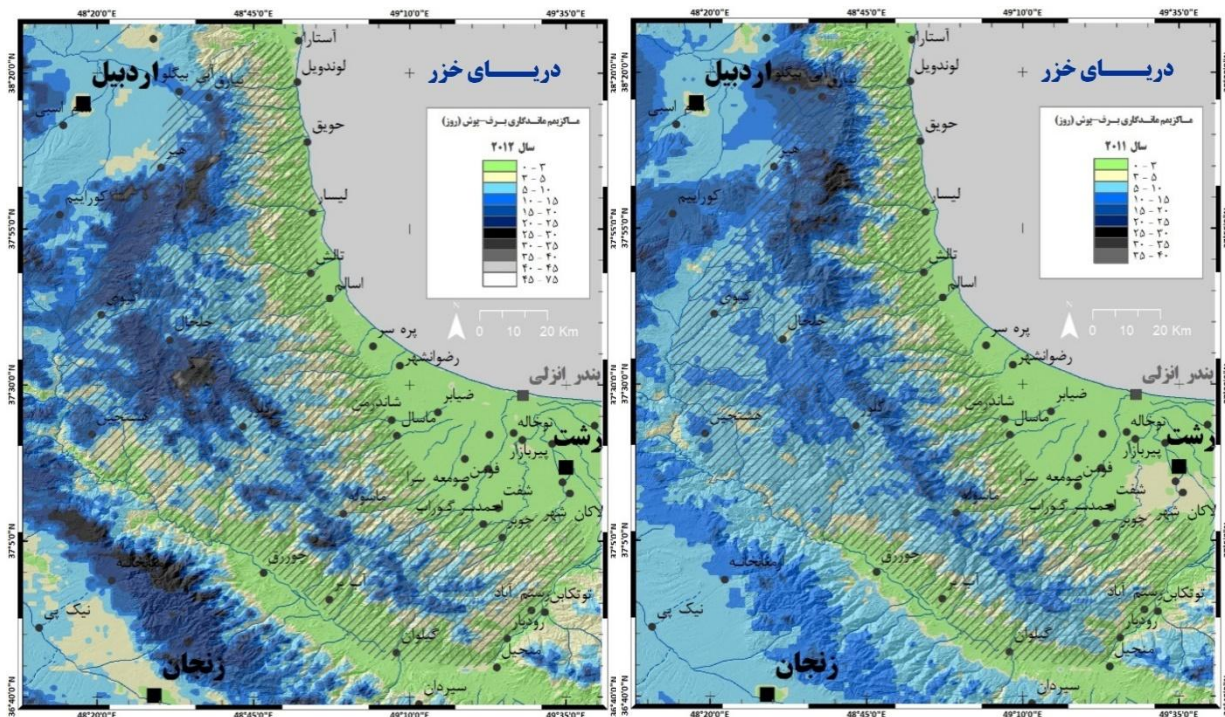
شکل ۳: ماکزیمم ماندگاری برف-پوش سال ۲۰۰۵ و ۲۰۰۶ در ارتفاعات تالش  
تهیه و ترسیم: نگارنده، ۱۴۰۱



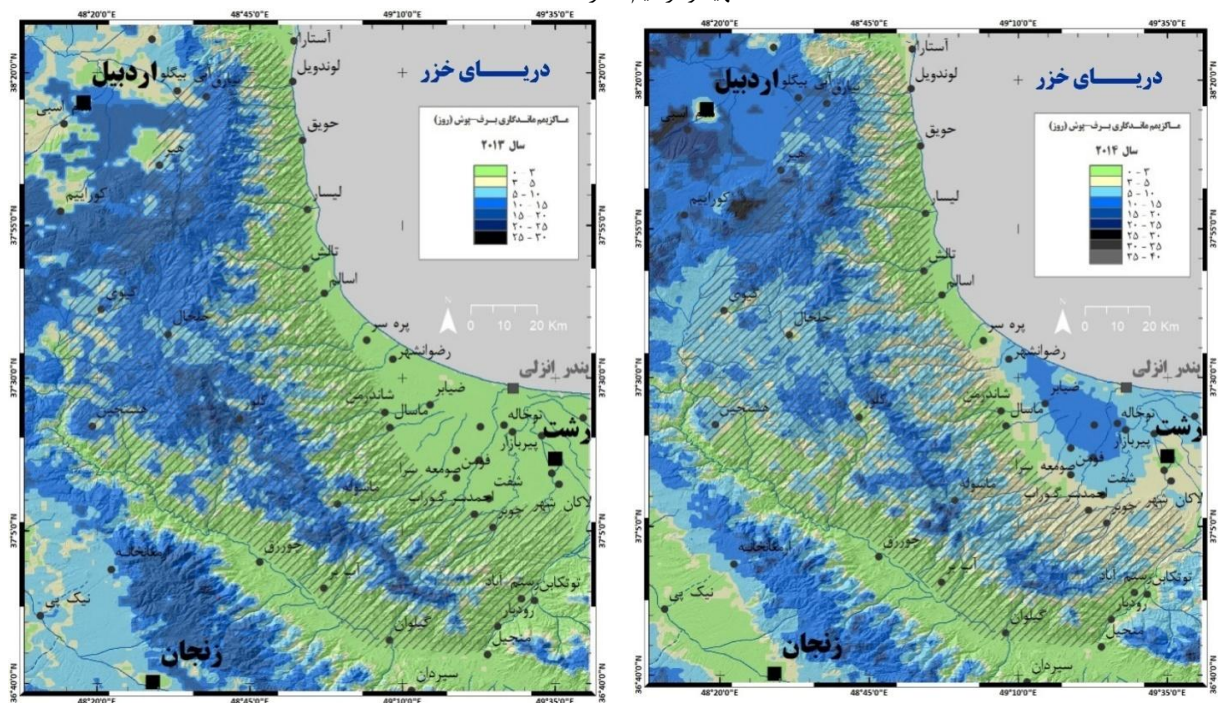
شکل ۴: ماکزیمم ماندگاری برف-پوش سال ۲۰۰۷ و ۲۰۰۸ در ارتفاعات تالش  
تهیه و ترسیم: نگارنده، ۱۴۰۱



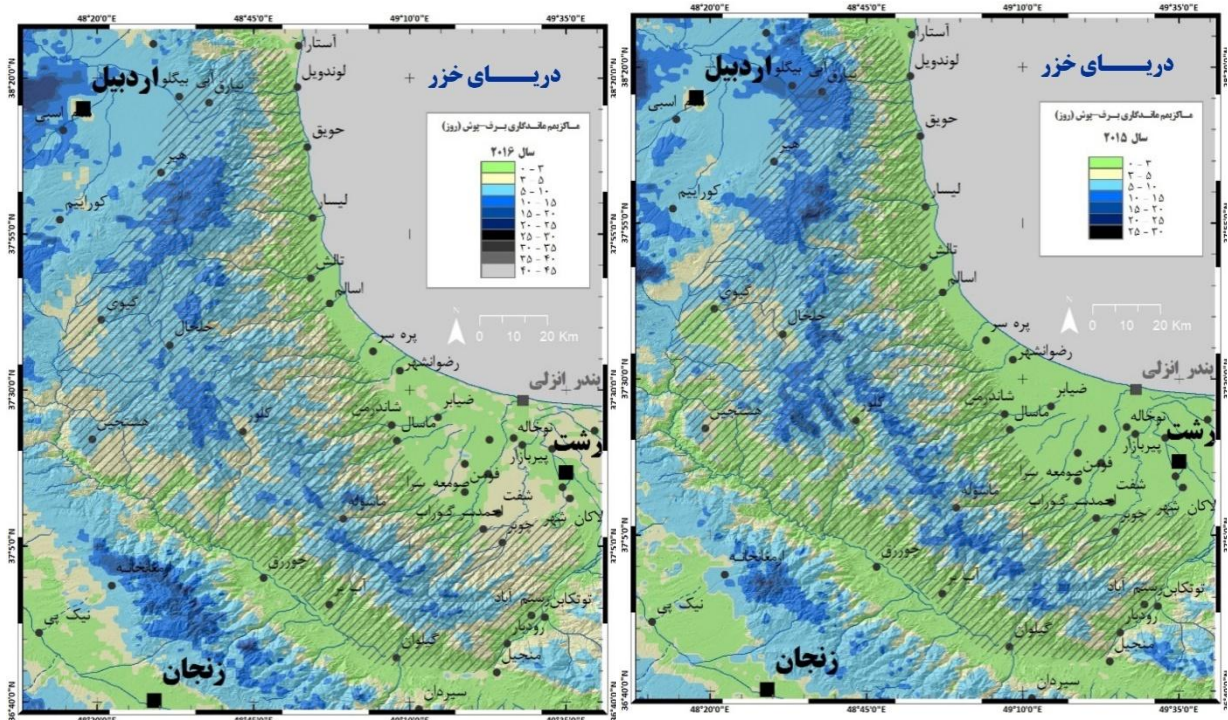
شکل ۵: ماکزیمم ماندگاری برف-پوش سال ۲۰۰۹ و ۲۰۱۰ در ارتفاعات تالش  
تهیه و ترسیم: نگارنده، ۱۴۰۱



شکل ۶: ماکزیمم ماندگاری برف-پوش سال ۲۰۱۱ و ۲۰۱۲ در ارتفاعات تالش  
تهیه و ترسیم: نگارنده، ۱۴۰۱

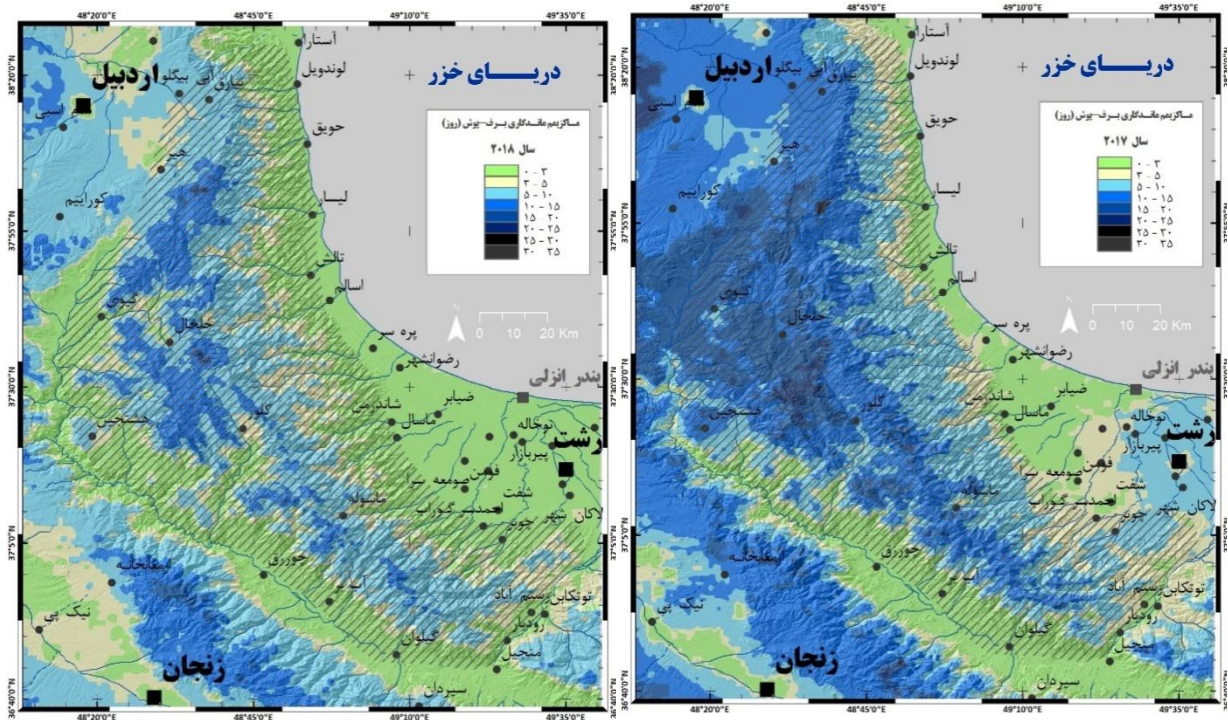


شکل ۷: ماکزیمم ماندگاری برف-پوش سال ۲۰۱۳ و ۲۰۱۴ در ارتفاعات تالش  
تهیه و ترسیم: نگارنده، ۱۴۰۱



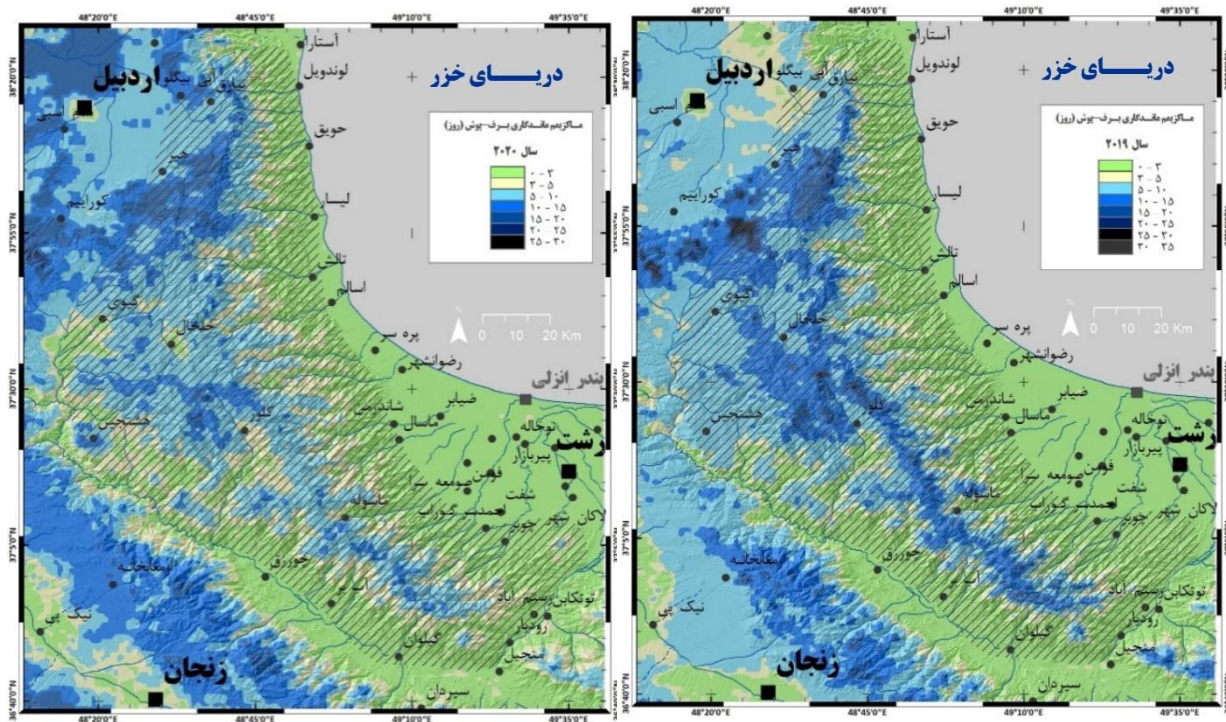
شکل ۸: ماکزیمم ماندگاری برف-پوش سال ۲۰۱۵ و ۲۰۱۶ در ارتفاعات تالش

تهیه و ترسیم: نگارنده، ۱۴۰۱

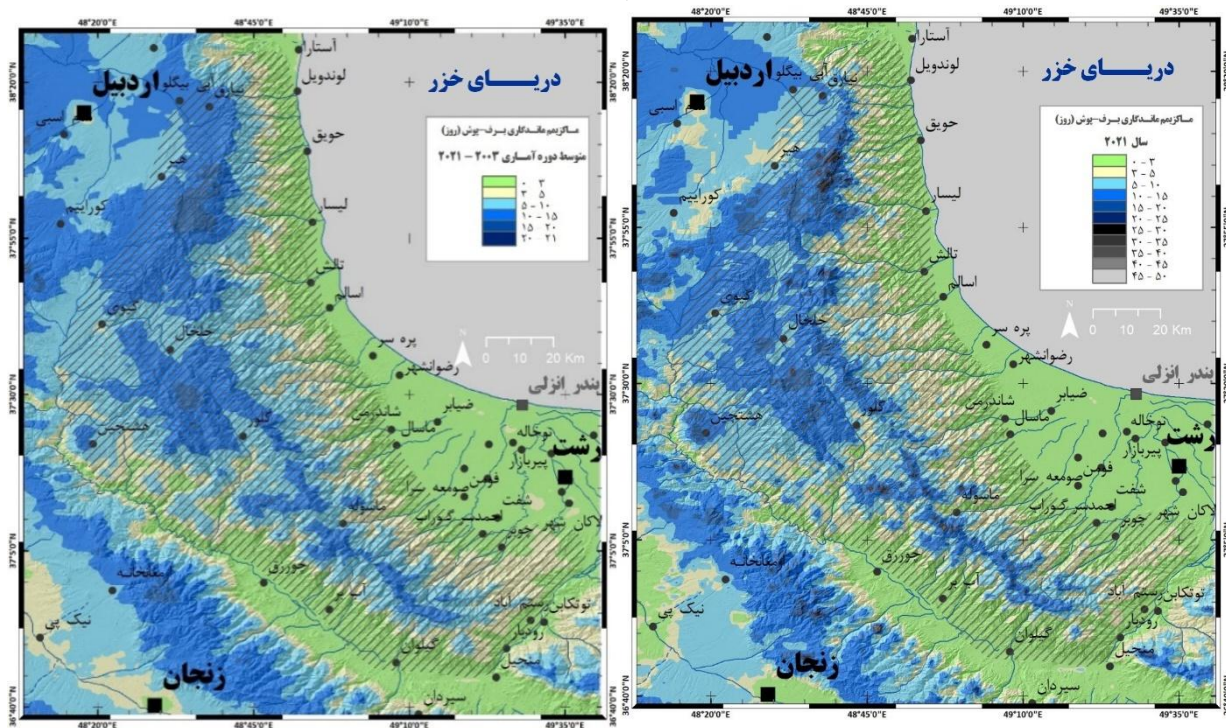


شکل ۹: ماکزیمم ماندگاری برف-پوش سال ۲۰۱۷ و ۲۰۱۸ در ارتفاعات تالش

تهیه و ترسیم: نگارنده، ۱۴۰۱



شکل ۱۰: ماکزیمم ماندگاری برف-پوش سال ۲۰۱۹ و ۲۰۲۰ در ارتفاعات تالش  
تهیه و ترسیم: نگارنده، ۱۴۰۱



شکل ۱۱: ماکزیمم ماندگاری برف-پوش سال ۲۰۲۱ و متوسط کل دوره آماری (۲۰۰۳-۲۰۲۱) در ارتفاعات تالش  
تهیه و ترسیم: نگارنده، ۱۴۰۱

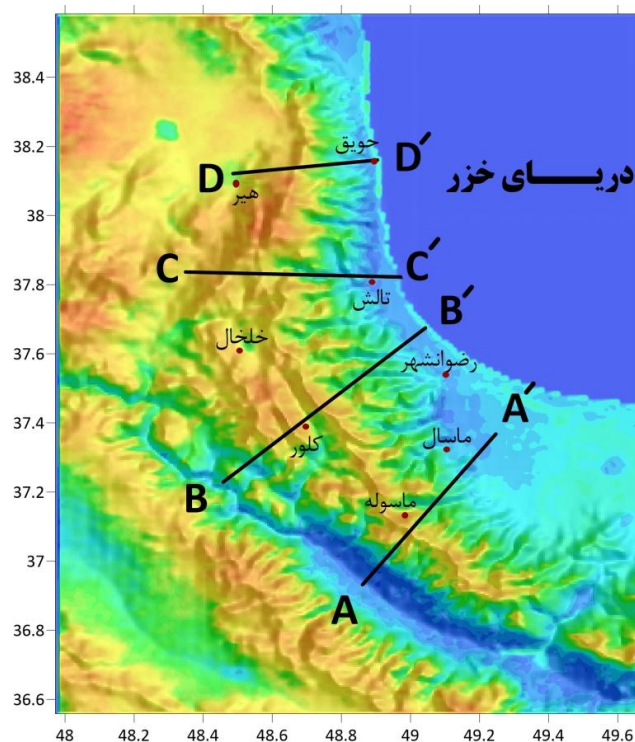
### ارتباط مؤلفه‌های ژئومورفولوژیکی ارتفاعات تالش با ماکزیمم ماندگاری برف-پوش

ارتباط بین مؤلفه‌های ژئومورفولوژیکی با ماکزیمم ماندگاری برف-پوش، در چند محور مورد بررسی قرار گرفت. نخست تحلیل نیمرخ و انطباق نیمرخ توپوگرافی با نیمرخ تغییرات ماکزیمم ماندگاری برف-پوش و سپس نتایج مربوط به اثر مؤلفه‌های توپوگرافیکی ارتفاع، شیب و جهت شیب در ماندگاری برف-پوش ارزیابی شد.

### تحلیل نیمرخ عرضی ارتفاعات تالش در ارتباط با تغییرات ماکزیمم ماندگاری متوالی برف-پوش

نیمرخ عرضی ارتفاعات تالش در چهار مقطع از تالش جنوبی تا تالش شمالی مورد بررسی قرار گرفت. در شکل ۱۲، نیمرخ‌های چهارگانه از A تا D نشان داده شده است.

بر اساس شکل‌های ۲ تا ۱۱ سال‌های ۲۰۱۰ و ۲۰۱۸ پهنه‌های با ماکزیمم ماندگاری متوالی برف-پوش بیشتر، تا حد زیادی به سمت ارتفاعات بالا عقب‌نشینی کرده و به خط‌الرأس‌های اصلی و قله مرتفع محدود می‌شود. درمقابل سال‌های ۲۰۰۸، ۲۰۱۲ و ۲۰۱۷ پهنه‌های ماکزیمم ماندگاری متوالی برف-پوش بیشتر، در ارتفاعات تالش گسترده شده و نواحی و اراضی وسیع‌تری را دربرمی‌گیرد. نکته دیگر آنکه ماکزیمم ماندگاری متوالی برف-پوش دارای سه هسته اصلی، نخست در ارتفاعات هیر، دوم در ارتفاعات پیرامون خلخال و سوم ارتفاعات بالادست ماسوله است. در آخر آنکه خط‌الرأس اصلی تالش و اراضی پیرامون خصوصاً در اراضی پشت خط‌الرأس اصلی به سمت غرب، نواحی با بیشترین ماندگاری متوالی برف-پوش تقریباً در همه سال‌های مورد بررسی، بوده است.

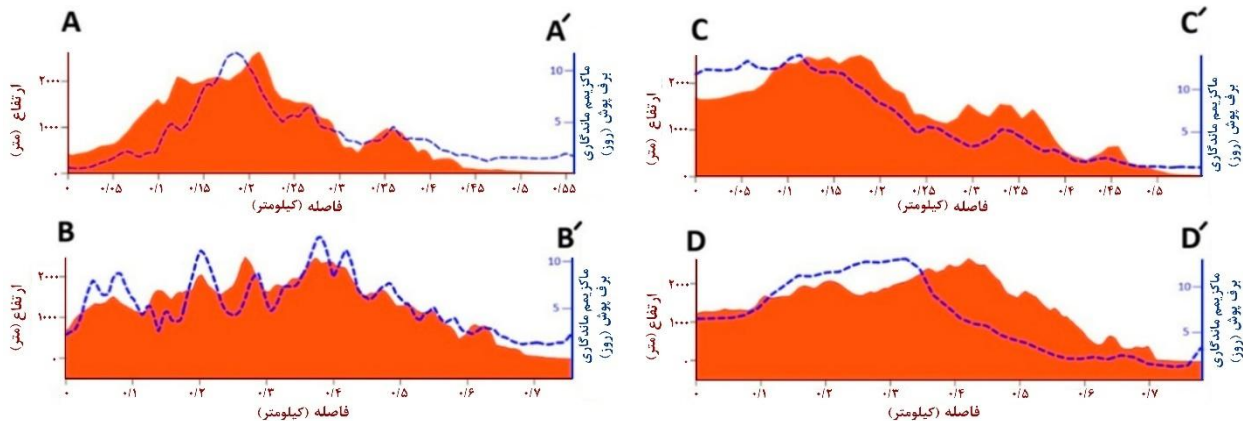


شکل ۱۲: نیمرخ‌های عرضی ارتفاعات تالش از بخش جنوبی تا شمالی

تهیه و ترسیم: نگارنده، ۱۴۰۱

با نیمرخ ماکزیمم ماندگاری متوالی برف-پوش منطبق شده است.

هریک از نیمرخ‌های چهارگانه از A تا D براساس شکل ۱۲ ترسیم شد. در این بررسی، نیمرخ توپوگرافی



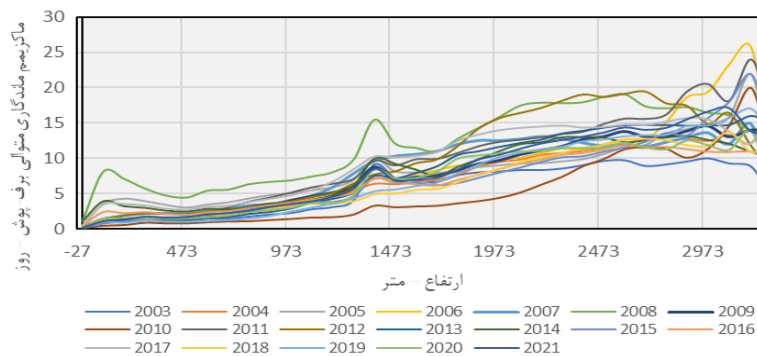
شکل ۱۳: تطبیق نیمرخ ارتفاعی با نیمرخ ماکزیمم ماندگاری متوالی پوشش برف

در ارتفاعات تالش (براساس نیمرخ‌های شکل ۱۲)

تهیه و ترسیم: نگارنده، ۱۴۰۱

می‌شود. از بخش جنوبی تالش به سمت نواحی شمالی این وضعیت تشدید می‌شود. نقش کمربندهای ارتفاعی در تغییرات ماکزیمم ماندگاری متوالی پوشش برف در ارتفاعات تالش نقش و تأثیر کمربندهای ارتفاعی بر تغییرات ماکزیمم ماندگاری متوالی برف-پوش در ارتفاعات تالش به صورت سالانه از سال ۲۰۰۳ تا ۲۰۲۱ محاسبه شد که نتایج در شکل ۱۴ نشان داده شده است.

همان‌طور که در نیمرخ‌های ترسیمی در شکل ۱۳ مشخص است، به‌طور کلی ارتباط بالایی بین تغییرات ارتفاع و تغییرات ماکزیمم ماندگاری متوالی برف-پوش در ارتفاعات تالش وجود دارد. نکته دیگری که در نیمرخ‌های چهارگانه وجود دارد آن است که از تالش جنوبی به سمت تالش شمالی عرض ارتفاعات و فاصله ارتفاعات با دریای خزر کاهش می‌یابد. در نیمرخ‌های CC و DD در تالش شرقی یک افت غیرمتناسب با ارتفاعات و دامنه‌های شرقی تالش شمالی مشاهده

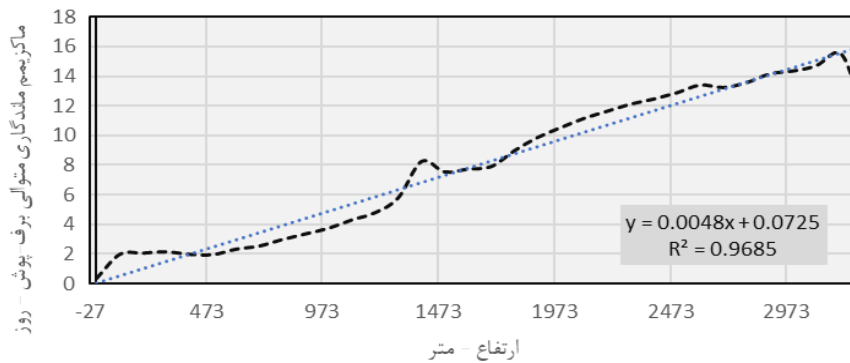


شکل ۱۴: ماکزیمم ماندگاری متوالی پوشش برف در کمربندهای مختلف ارتفاعی در ارتفاعات تالش

تهیه و ترسیم: نگارنده، ۱۴۰۱

ارتفاع و ماکزیمم ماندگاری برف-پوش در ارتفاعات تالش وجود دارد. نرخ همبستگی ارتفاع و ماکزیمم ماندگاری برف-پوش در ارتفاعات تالش براساس اطلاعات کل دوره آماری معادل ۰/۹۶ است.

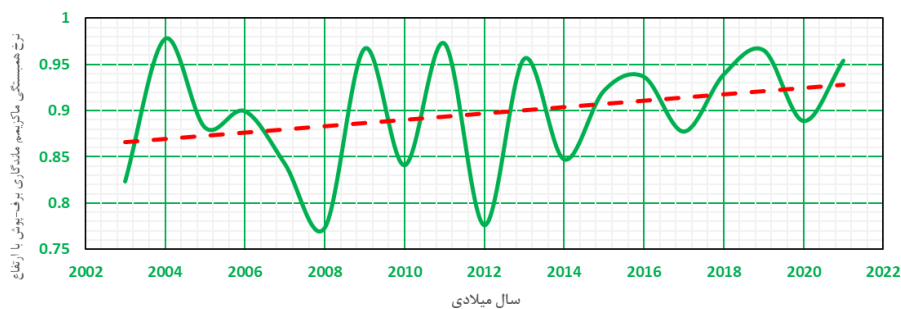
در شکل ۱۵ اثر کمربندهای مختلف ارتفاعی بر متوسط ماکزیمم ماندگاری متوالی پوشش برف در کل دوره آماری یعنی از سال ۲۰۰۳ تا ۲۰۲۱ میلادی نشان داده شده است. همان‌طور که در شکل ۱۵ مشاهده می‌شود، همبستگی بسیار بالا و معناداری بین



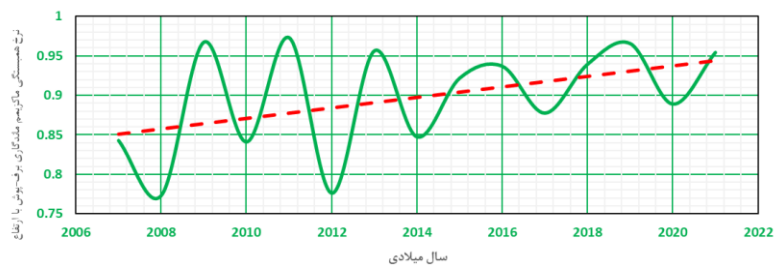
شکل ۱۵: تغییرات ماکزیمم ماندگاری برف-پوش وابسته به تغییرات کمربندهای مختلف ارتفاعی در ارتفاعات تالش در کل دوره آماری (۲۰۰۳ - ۲۰۲۱)  
تهیه و ترسیم: نگارنده، ۱۴۰۱

ارتفاع و ماکزیمم ماندگاری متوالی برف-پوش در دوره آماری مورد بررسی در ارتفاعات تالش مشاهده شد. این وضعیت خصوصاً از سال ۲۰۰۷ به بعد روند افزایشی بیشتری به خود می‌گیرد. با وجود نوسانات سینوسی، نرخ همبستگی در دوره آماری مورد بررسی، یک روند نسبی افزایشی نشان می‌دهد (شکل ۱۶).

تغییرات همبستگی ارتفاع سطح زمین و ماکزیمم ماندگاری متوالی برف-پوش در دوره آماری مورد بررسی براساس همبستگی محاسبه‌شده بین ارتفاع و ماکزیمم ماندگاری برف-پوش (شکل ۱۵)، تغییرات نرخ همبستگی در سال‌های مختلف محاسبه و در شکل ۱۶ نشان داده شده است. به‌طوری‌که در این شکل مشاهده می‌شود، افزایش نسبی نرخ همبستگی



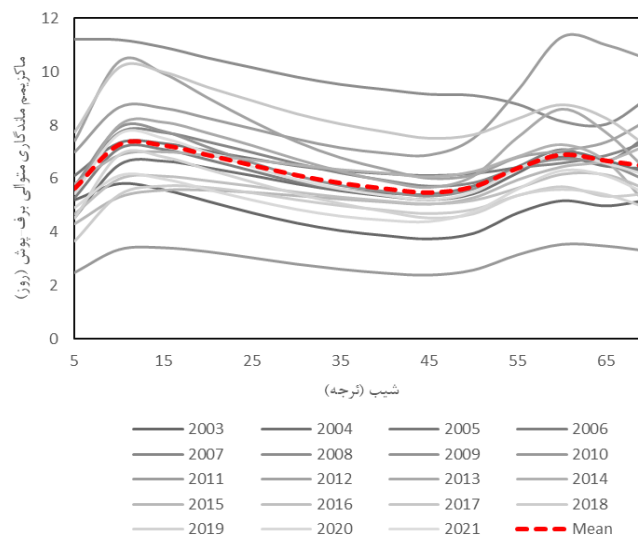
شکل ۱۶: تغییرات افزایشی همبستگی ارتفاع با ماکزیمم ماندگاری متوالی برف-پوش کل دوره آماری (۲۰۰۳ - ۲۰۲۱) در ارتفاعات تالش  
تهیه و ترسیم: نگارنده، ۱۴۰۱



شکل ۱۷: تغییرات افزایشی شدیدتر همبستگی ماکزیمم ماندگاری متوالی برف-پوش و ارتفاع دوره ۲۰۰۷ - ۲۰۲۱ در ارتفاعات تالش تهیه و ترسیم: نگارنده، ۱۴۰۱

در کلاس‌های مختلف شیب محاسبه شد. نتیجه در شکل ۱۸ نشان داده شده است.

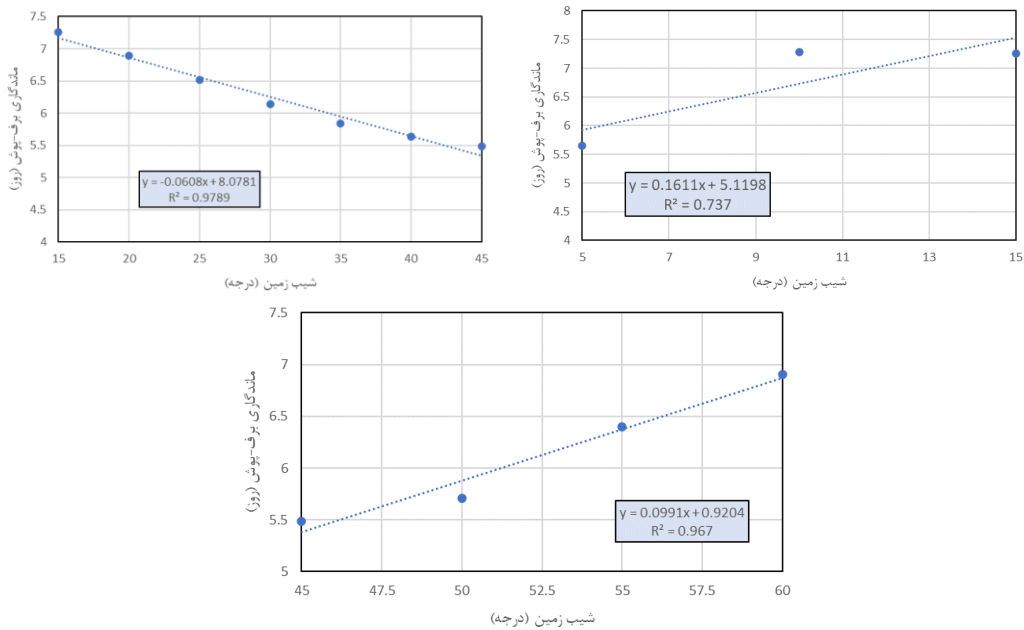
نقش شیب سطح زمین در نوسانات ماکزیمم ماندگاری متوالی پوشش برف در ارتفاعات تالش، ماکزیمم ماندگاری پوشش برف در ارتفاعات تالش،



شکل ۱۸: اثر شیب سطح زمین در تغییرات متوسط سالانه ماکزیمم ماندگاری متوالی برف-پوش در ارتفاعات تالش (تهیه و ترسیم: نگارنده، ۱۴۰۱)

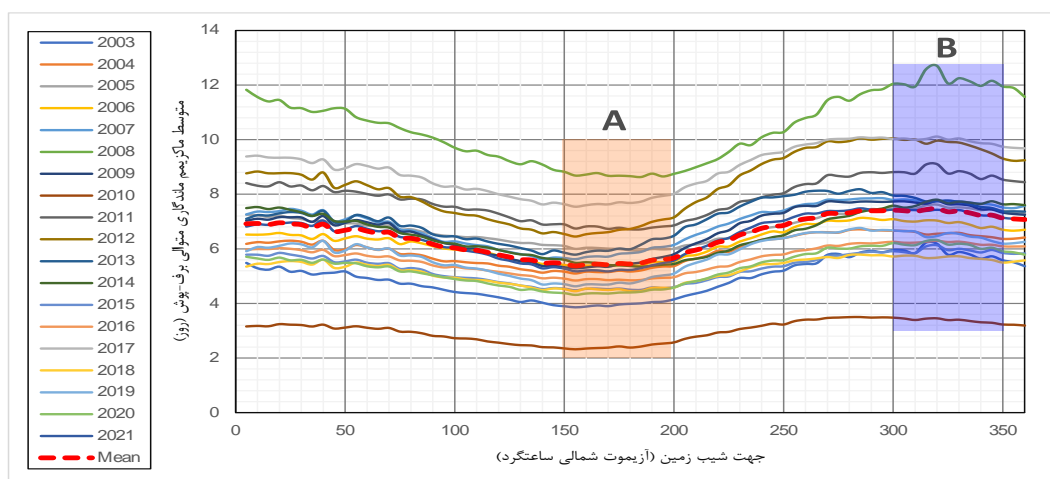
همبستگی شیب سطح زمین با نوسانات ماکزیمم ماندگاری متوالی پوشش برف در ارتفاعات تالش نوع و جنس همبستگی شیب سطح زمین با نوسانات ماکزیمم ماندگاری برف-پوش با همبستگی ارتفاع و ماندگاری برف-پوش متفاوت است. این همبستگی به صورت بخشی بوده و در کلاس‌های مختلف شیب رفتار متفاوتی نشان می‌دهد. براساس الگوی رفتاری این ارتباط، سه کلاس مختلف شیب مشخص شد که در شکل ۱۹ نشان داده شده است.

به طوری که در شکل ۱۸ مشاهده می‌شود، ماندگاری برف-پوش در ارتفاعات تالش در شیب‌های زیر ۱۵ درجه کاهش می‌یابد. شیب‌های بالای ۱۵ درجه تا ۴۵ درجه، ماندگاری برف-پوش کاهش می‌یابد. از شیب‌های ۴۵ درجه تا حدود ۶۰ درجه مجدداً روند افزایشی و بعد از آن کاهش حاکم می‌شود.



شکل ۱۹: الگوی همبستگی متفاوت شیب زمین و ماکزیمم ماندگاری برف-پوش در کلاس شیب ۰ تا ۱۵ درجه (افزایشی با ضریب همبستگی ۰/۷۳)، ۱۵ تا ۴۵ درجه (کاهششی با ضریب همبستگی ۰/۹۷) و ۴۵ تا ۶۰ درجه (افزایشی با ضریب همبستگی ۰/۹۶) در ارتفاعات تالش (تهیه و ترسیم: نگارنده، ۱۴۰۱)

نقش جهت شیب زمین بر تغییرات ماکزیمم ماندگاری متوالی پوشش برف در ارتفاعات تالش ماکزیمم ماندگاری پوشش برف در ارتفاعات تالش در جهات مختلف شیب زمین بین آزمون ۰ تا ۳۶۰ درجه محاسبه شد. نتایج در شکل ۲۰ نشان داده شده است.

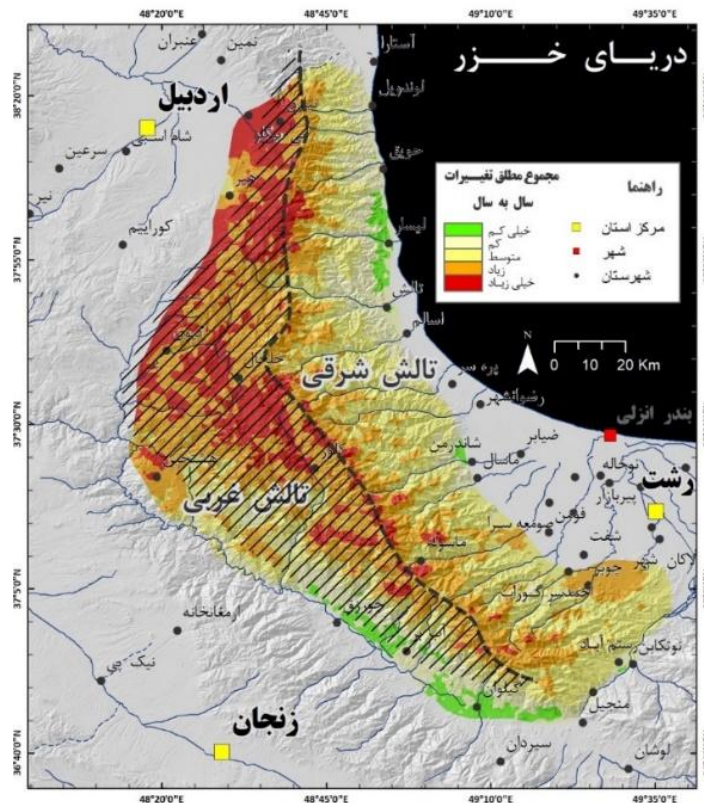


شکل ۲۰: نقش جهت شیب سطح زمین در تغییرات متوسط سالانه ماکزیمم ماندگاری متوالی برف-پوش در ارتفاعات تالش تهیه و ترسیم: نگارنده، ۱۴۰۱

همان‌طور که در شکل ۲۰ مشاهده می‌شود، بیشترین زمان ماندگاری برف-پوش در شیب‌های با آزیموت ۳۰۰ تا ۳۵۰ است (شکل ۲۱ محدوده B). این بازه تقریباً معادل شیب‌های شمال غربی تا شمالی<sup>۱</sup> است. در مقابل کمترین ماندگاری برف-پوش در شیب‌های با آزیموت ۱۵۰ تا ۲۰۰ درجه در محدوده تقریباً معادل اراضی جنوبی است.<sup>۲</sup>

مجموع مطلق تغییرات مکانی ماکزیمم ماندگاری متوالی پوشش برف در ارتفاعات تالش

تغییرات مکانی ماکزیمم ماندگاری متوالی برف-پوش در ارتفاعات تالش در گام اول با استفاده از شاخص مجموع مطلق تغییرات نمایش داده شد. براین اساس مجموع همه تغییرات در کل دوره آماری به صورت سلول به سلول محاسبه و به نقشه تبدیل شد. نتایج در شکل ۲۱ نمایش داده شده است.



شکل ۲۱: مجموع مطلق تغییرات مکانی ماکزیمم ماندگاری متوالی برف-پوش در ارتفاعات تالش

تهیه و ترسیم: نگارنده، ۱۴۰۱

مقدار کمتری را نشان می‌دهد. نکته دیگر آنکه در سه هسته اصلی، یکی در ارتفاعات پیرامون خلخال و دیگری در ارتفاعات اطراف هیر و سوم در ارتفاعات اطراف ماسوله، مجموع مطلق تغییرات در ماکزیمم قرار دارد.

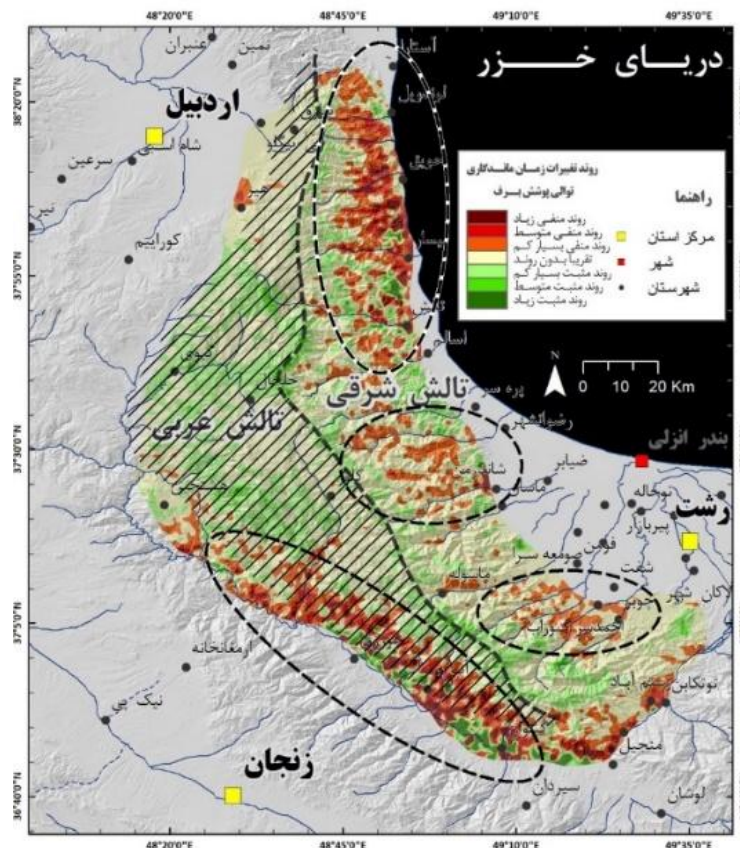
همان‌طور که در شکل ۲۱ مشاهده می‌شود، مجموع مطلق تغییرات مکانی ماکزیمم ماندگاری برف-پوش در تالش غربی بیش از تالش شرقی است. به‌طور کلی از خط‌الرأس اصلی تالش که با استفاده از یک خط مقطع در شکل نمایش داده شده است، به سمت دامنه‌های غربی تالش مجموع مطلق تغییرات افزایش دارد و این شاخص در بخش شرقی تالش

۱- جهت شمال بین آزیموت ۳۳۷/۵ تا ۳۶۰ و ۰ تا ۲۲/۵ درجه و جهت شمال غربی بین آزیموت ۲۹۲/۵ تا ۳۳۷/۵ درجه است.

۲- جهت جنوب بین آزیموت ۱۵۷/۵ تا ۲۰۲/۵ درجه است.

شد و نتایج به صورت یک نقشه شبکه‌ای تنظیم شد که در شکل ۲۲ نمایش داده شده است. نتایج براساس باندهای انحراف معیار طبقه‌بندی و پهنه‌بندی شده است که در شکل ۲۲ در هفت طبقه، ملاحظه می‌شود.

**روند تغییرات ماکزیمم ماندگاری متوالی پوشش برف در ارتفاعات تالش**  
براساس مدل همبستگی خطی سلول به سلول، به‌ازای هر سلول، روند و شدت تغییرات ماکزیمم ماندگاری متوالی برف-پوش در ارتفاعات تالش محاسبه



شکل ۲۲: پهنه‌بندی روند تغییرات ماکزیمم ماندگاری متوالی برف-پوش در ارتفاعات تالش

تهیه و ترسیم: نگارنده، ۱۴۰۱

نواحی را نشان می‌دهد که ماکزیمم ماندگاری متوالی برف-پوش با شیب بیشتری در حال افزایش است که شامل عمدتاً بخش‌هایی در تالش غربی و به صورت پراکنده در نواحی دیگر می‌شود. نکته قابل توجه آن است که نواحی با روند تغییرات منفی عمدتاً در دره‌های کم‌ارتفاع تر تالش شرقی و همچنین نواحی کم‌ارتفاع دامنه‌های جنوب غربی تالش ملاحظه می‌شود.

شکل ۲۲ نقشه پهنه‌بندی روند تغییرات ماکزیمم ماندگاری متوالی برف-پوش در ارتفاعات تالش را نشان می‌دهد، طیف رنگ متمایل به زرشکی و قرمز تیره نواحی را نشان می‌دهد که ماکزیمم ماندگاری متوالی برف-پوش با شدت زیادی در حال کاهش است. این نواحی شامل سه هسته اصلی در تالش شرقی و یک هسته در بخش جنوب غربی تالش می‌شود که با بیضی‌هایی با خطوط مقطع در شکل ۲۲ مشخص شده‌اند. طیف رنگ متمایل به سبز تیره،

## نتیجه

براساس نقشه‌های پهنه‌ای ماکزیمم ماندگاری متوالی برف-پوش در ارتفاعات تالش، سال‌های ۲۰۱۰ و ۲۰۱۸ در فاز کمینه قرار داشته و عمدتاً ماندگاری بیشتر برف-پوش محدود به نواحی مرتفع و خط‌الرأس‌های اصلی ارتفاعات تالش شده است. نیمرخ‌های عرضی که انطباق نیمرخ ارتفاعی و تغییرات ماکزیمم ماندگاری متوالی برف-پوش در ارتفاعات تالش را نشان می‌دهد، دارای هماهنگی با تغییرات ارتفاعی است، اما به سمت تالش شمالی، در دامنه‌های شرقی این هماهنگی کاسته شده و در دامنه‌های شرقی بر خلاف وجود کوه‌ها و ناهمواری‌ها افت غیرمنتظره‌ای در ماکزیمم ماندگاری متوالی برف-پوش مشاهده می‌شود. دلیل این موضوع در کاهش عرض دشت و ارتفاعات تالش به سمت نواحی شمالی است. به دلیل فاصله کمتری که بین ارتفاعات و دریای خزر در نواحی شمالی وجود دارد، جریان‌های گرم دریای خزر و هوای گرم و مرطوب دریای خزر خصوصاً در فصل زمستان، به دامنه‌های شرقی تالش برخورد کرده و به دلیل گرمای نسبی باعث افت قابل توجه ماکزیمم ماندگاری متوالی برف-پوش در این نواحی می‌شود.

در حالی که در نواحی مرکزی و جنوبی تر تالش به دلیل عرض بیشتر جلگه و همچنین عرض بیشتر ارتفاعات و دوری از دریای خزر (خصوصاً در فصل زمستان)، دمای جریان‌های هوایی کاهش یافته و با برخورد به قسمت شرقی تالش کمتر منجر به افت ماکزیمم ماندگاری متوالی برف-پوش می‌شود. تأثیر کمربندهای ارتفاعی در تغییرات ماکزیمم ماندگاری متوالی برف-بالا است به طوری که به طور متوسط در کل دوره آماری بین این دو مؤلفه محیطی، همبستگی مثبت ۰/۹۶ برقرار است. براساس همبستگی بین این دو مؤلفه محیطی، با هر ۱۰۰۰ متر افزایش ارتفاع ۴/۸ روز ماکزیمم ماندگاری متوالی برف-پوش افزایش

می‌یابد. نرخ همبستگی بین ارتفاع و ماکزیمم ماندگاری متوالی برف-پوش در سال‌های مختلف از ۲۰۰۳ تا ۲۰۲۱ با شیب ملایمی در حال افزایش است. این بدین معناست که از سال ۲۰۰۳ و خصوصاً ۲۰۰۷ به بعد، عامل اصلی کنترل‌کننده ماکزیمم ماندگاری متوالی برف-پوش در ارتفاعات تالش ارتفاع بوده و نقش ارتفاع افزایش داشته است. ماندگاری برف-پوش در اراضی مسطح تا ۱۵ درجه، روند افزایشی نشان می‌دهد. با افزایش شیب از ناحیه جلگه‌ای به ناحیه کوهپایه‌ای ماندگاری برف-پوش روند افزایشی را نشان می‌دهد. از شیب ۱۵ تا ۴۵ روند کاهشی مشاهده شد. این موضوع بدین دلیل است که افزایش شیب، خصوصاً در مناطقی که سطوح به سمت جنوب تمایل دارند، منجر به افزایش زاویه برخورد اشعه خورشید با سطح زمین می‌شود، به تبع این افزایش شیب، کاهش ماندگاری برف-پوش اتفاق می‌افتد. در کنار این مسئله، برف-گیرش در اراضی پرشیب با محدودیت مواجه می‌شود. از شیب ۴۵ تا ۶۰ روند افزایشی مشاهده می‌شود. دلیل این مسئله را می‌توان در دمای پایین این اراضی که عمدتاً ناهمواری‌های مرتفع را شامل می‌شود، دانست. کاهش دما و افزایش بارش، همچنین ریزش بهمن از اراضی مسلط بالادستی و بادروبی برف باعث این روند می‌شود. از شیب ۶۰ درجه به بالا روند کاهشی مشاهده شد. دلیل این مسئله مربوط به چندین عامل است، نخست افزایش شیب، استقرار و ثبات برف را کاهش می‌دهد و دیگر آنکه بر اثر بادروبی برف و بهمن، ماندگاری برف-پوش در این اراضی کاهش می‌یابد. بیشترین ماندگاری برف-پوش مربوط به جهات با آزمون ۳۰۰ تا ۳۵۰ درجه معادل تقریبی اراضی با شیب شمال غربی تا شمالی است. دلیل این وضعیت پشت به آفتاب بودن این اراضی مخصوصاً در دوره زمستانه است که خورشید تمایل جنوبی دارد. کمترین ماندگاری،

بخش تالش شرقی و یک هسته در تالش جنوب غربی مشاهده می‌شود. اول نواحی که دارای روند کاهش ماکزیمم ماندگاری متوالی برف-پوش بیشتر مربوط به دره‌های کم‌ارتفاع و اراضی پایین دست تالش است. دو دلیل عمده برای این وضعیت قابل تصور است؛ اول به نقش دخالت‌های انسانی و اثرپذیری انسان‌زاد که در این نواحی بیشتر است و دوم آنکه این نواحی به دلیل آنکه در منطقه بینابینی<sup>۱</sup> قرار می‌گیرند تأثیرپذیری بیشتری از تغییرات محیطی دارند.

مربوط به جهات با آزیموت ۱۵۰ تا ۲۰۰ درجه، معادل تقریبی اراضی با جهت جنوبی می‌شود. مجموع مطلق تغییرات ماکزیمم ماندگاری متوالی برف-پوش در ارتفاعات تالش در ارتفاعات، بیش از اراضی کم‌ارتفاع و جلگه‌ای است و به صورت مشخصی در نواحی غربی تالش، بیش از نواحی شرقی است. این مسئله را می‌توان به ماندگاری بیشتر برف در نواحی مرتفع و نواحی غربی مرتبط دانست. روند تغییرات ماکزیمم ماندگاری متوالی برف-پوش چهار هسته اصلی کاهش در ارتفاعات تالش نشان می‌دهد. سه هسته کاهش در

#### منابع

پیچاقچی، حدیقه بهرامی؛ محمود رائینی سرجاز؛ رضا نوروز ولاشدی (۱۳۹۹). بررسی اثرگذاری گرمایش فراگیر بر تغییرات زمانی و مکانی پوشش برف و ماندگاری آن در گستره دامنه شمالی البرز مرکزی. نشریه علمی هواشناسی کشاورزی. دوره ۸. شماره ۱. شماره پیاپی ۱۵. صفحات ۲۵-۱۵.

[DOI: 10.22125/AGMJ.2020.200876.1071](https://doi.org/10.22125/AGMJ.2020.200876.1071)

حلبیان، امیر حسین؛ سینا صلحی (۱۳۹۹). ارتباط تغییرات مکانی - زمانی پوشش برف و دمای سطح زمین در البرز میانی. فصلنامه علمی-پژوهشی جغرافیای طبیعی. دانشگاه آزاد اسلامی واحد لارستان. دوره ۱۳. شماره ۴۷. صفحات ۷۵-۵۳.

[DOI: 20.1001.1.20085656.1399.13.47.4.6](https://doi.org/10.1001.1.20085656.1399.13.47.4.6)

علایی طالقانی، محمود (۱۳۸۴). ژئومورفولوژی ایران، چاپ سوم. نشر قومس. تهران. صفحه ۴۰۴.

قنبرپور، محمدرضا؛ محسن محسنی‌ساروی؛ بهرام ثقفیان؛ حسن احمدی؛ کریم عباس‌پور (۱۳۸۴). تعیین مناطق مؤثر در انباشت و ماندگاری سطح پوشش برف و سهم ذوب برف در رواناب. نشریه: منابع طبیعی ایران. دوره ۵۸. شماره ۳. صفحات ۵۱۵-۵۰۳.

[https://ijnr.ut.ac.ir/article\\_25249.html](https://ijnr.ut.ac.ir/article_25249.html)

کیخسروی کیانی، محمدصادق؛ ابوالفضل مسعودیان (۱۳۹۵). واکاوی پیوند روزهای برفپوشان با ارتفاع، شیب و وجه شیب در ایران زمین، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی. دوره ۴۸. شماره ۱. پیاپی ۹۵. صفحات ۱۴-۱.

[DOI: 10.22059/JPHGR.2016.57024](https://doi.org/10.22059/JPHGR.2016.57024)

کیخسروی کیانی، محمدصادق؛ ابوالفضل مسعودیان (۱۳۹۵). شناسایی وردش‌های مکانی روزهای برفپوشان در ایران زمین به کمک داده‌های دورسنجی، جغرافیا و مخاطرات محیطی. شماره ۱۷. صفحات ۸۵-۶۹.

[DOI: 10.22067/GEO.V5I1.49715](https://doi.org/10.22067/GEO.V5I1.49715)

کیخسروی کیانی، محمدصادق؛ ابوالفضل مسعودیان (۱۳۹۹). واکاوی روند تغییرات آغاز فصل انباشت پوشش برف در ایران با بهره‌گیری از داده‌های سنجنش‌ازدور، جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی. دوره ۳۱. شماره ۱. پیاپی ۷۷. صفحات ۱۴-۱.

[DOI: 10.22108/GEP.2020.120775.1249](https://doi.org/10.22108/GEP.2020.120775.1249)

مسعودیان، ابوالفضل؛ محمدصادق کیخسروی کیانی (۱۳۹۶). ارزیابی تغییرات روزهای همراه با پوشش برف در گروه‌های ارتفاعی حوضه زاینده‌رود، مخاطرات محیط طبیعی. سال ۶. شماره ۱۱. صفحات ۴۶-۳۳.

[DOI: 10.22111/JNEH.2017.3060](https://doi.org/10.22111/JNEH.2017.3060)

منجذب مرودشتی، شهربانو؛ احمد مزیدی؛ کمال امیدوار؛ غلامعلی مظفری (۱۴۰۰). بررسی تأثیر پارامترهای جوی بر پوشش برف حوضه آبخیز کوهرنگ، نشریه نیوار. دوره ۴۵. شماره ۱۱۳-۱۱۲. صفحات ۶۶-۵۶.

[DOI:10.30467/nivar.2021.263731.1175](https://doi.org/10.30467/nivar.2021.263731.1175)

میرموسوی، سیدحسین؛ صبور لیلا (۱۳۹۳). پایش تغییرات پوشش برف با استفاده از تصاویر سنجنده مودیس در منطقه شمال غرب ایران، مجله جغرافیا و توسعه. دوره ۱۲. شماره پیاپی ۳۵. صفحات ۲۰۰-۱۸۱.

[DOI:10.22111/GDIJ.2014.1562](https://doi.org/10.22111/GDIJ.2014.1562)

یغمایی، لیلا؛ رضا جعفری؛ سعید سلطانی؛ حسن جهانبازی (۱۴۰۰). اثر تغییرات سطح و ماندگاری پوشش برف بر پوشش گیاهی در استان چهارمحال و بختیاری. نشریه علمی-پژوهشی مرتع و آبخیزداری. دوره ۷۴. شماره صفحات ۹۳۸-۹۱۷.

<https://doi.org/10.22059/jrwm.2022.317220.1559>

## References

Balk, B., & Elder, K (2000). Combining binary decision tree and geostatistical methods to estimate snow distribution in a mountain watershed. *Water Resources Research*, 36(1), 13-26.

<https://doi.org/10.1029/1999WR900251>.

Barnett, T. P., Adam, J. C., & Lettenmaier, D. P (2005). Potential impacts of a warming climate on water availability in snow-dominated regions. *Nature*, 438(7066), 303-309.

<https://doi.org/10.1038/nature04141>.

Beniston, M., Farinotti, D., Stoffel, M., Andreassen, L.M., Coppola, E., Eckert, N., Fantini, A., Giacona, F., Hauck, C., Huss, M., Huwald, H., Lehning, M., López-Moreno, J.-I., Magnusson, J., Marty, C., Morán-Tejeda, E., Morin, S., Naaim, M., Provenzale, A., Rabatel, A., Six, D., Stötter, J., Strasser, U., Terzago, S., Vincent, C (2018). The European Mountain cryosphere: a review of its current state, trends, and future challenges. *Cryosphere* 12, 759-794.

<https://doi.org/10.5194/tc-12-759-2018>.

Bormann, K.J., Brown, R.D., Derksen, C., Painter, T.H (2018). Estimating snow-cover trends from space. *Nat. Clim. Chang.* 8, 924-928.

[https://www.researchgate.net/profile/Thomas-Painter-2/publication/328581850\\_Estimating\\_snow-cover\\_trends\\_from\\_space/links/5c62e95745851582c3e3f94e/Estimating-snow-cover-trends-from-space.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Thomas-Painter-2/publication/328581850_Estimating_snow-cover_trends_from_space/links/5c62e95745851582c3e3f94e/Estimating-snow-cover-trends-from-space.pdf)

Brest C L, Rossow, W B, (1992). Radiometric calibration and monitoring of NOAA AVHRR data for ISCCP. *International Journal of Remote Sensing*, 13(2): 235-273.

<https://doi.org/10.1080/01431169208904037>.

Britannica, The Editors of Encyclopaedia. "phenology" (2023) *Encyclopedia Britannica*, Invalid Date,

<https://www.britannica.com/science/phenology>. Accessed 4 January 2023.

Chang A T C, Foster J L, Hall D K, (2016). Nimbus-7 SMMR derived global snow cover parameters. *Annals of Glaciology*, 9:39-44.

<https://doi.org/10.1017/S0260305500000355>

Chang A T C, Rango A (2000). Algorithm Theoretical Basis Document (ATBD) for the AMSR-E Snow Water Equivalent Algorithm. Greenbelt: NASA Goddard Space Flight Center.

[https://nsidc.org/sites/default/files/amr\\_atbd\\_snow.pdf](https://nsidc.org/sites/default/files/amr_atbd_snow.pdf).

Chen, W., Wu, Y., Wu, N., & Luo, P (2008). Effect of snow-cover duration on plant species diversity of alpine meadows on the eastern Qinghai-Tibetan Plateau. *Journal of Mountain Science*, 5, 327-339.

<https://doi.org/10.1007/s11629-008-0182-0>.

Chen, X., Liang, S., Cao, Y., He, T., & Wang, D (2015). Observed contrast changes in snow cover phenology in northern middle and high latitudes from 2001-2014. *Scientific reports*, 5(1), 1-9.

<https://doi.org/10.1038/srep16820>.

Daly C, Neilson R P, Phillips D L, (2010). A Statistical-topographic model for mapping climatological precipitation over mountainous terrain. *Journal of Applied Meteorology*, 33(33): 140-158.

[https://doi.org/10.1175/15200450\(1994\)0332.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/15200450(1994)0332.0.CO;2).

Dankers, Rutger & De Jong, Steven (2004). Monitoring snow cover dynamics in northern Fennoscandia with SPOT VEGETATION images. *International Journal of Remote Sensing*. 25, 73-91.

[doi:10.1080/01431160310001618374](https://doi.org/10.1080/01431160310001618374).

- Davis R E, Hardy J P, Ni W et al (1997). Variation of snow cover ablation in the boreal forest: a sensitivity study on the effects of conifer canopy. *Journal of Geophysical Research Atmospheres*, 102(24): 29389-29395.  
<https://doi.org/10.1029/97JD01335>.
- Derksen C, (2008). The contribution of AMSR-E 18.7 and 10.7 GHz measurements to improved boreal forest snow water equivalent retrievals. *Remote Sensing of Environment*, 112(5): 2701-2710.  
<https://doi.org/10.1016/j.rse.2008.01.001>.
- Dietz, A. J., Conrad, C., Kuenzer, C., Gesell, G., & Dech, S (2014). Identifying changing snow cover characteristics in Central Asia between 1986 and 2014 from remote sensing data. *Remote Sensing*, 6(12), 12752-12775.  
<https://www.mdpi.com/2072-4292/6/12/12752>
- Dietz, A.J., Wohner, C., Kuenzer, C (2012). European snow cover characteristics between 2000 and 2011 derived from improved MODIS daily snow cover products. *Remote Sens.* 4, 2432-2454.  
<https://www.mdpi.com/2072-4292/4/8/2432>
- Diodato, N., Ljungqvist, F. C., & Bellocchi, G (2022). Empirical modelling of snow cover duration patterns in complex terrains of Italy. *Theoretical and Applied Climatology*, 147(3-4), 1195-1212.  
<https://doi.org/10.1007/s00704-021-03867-8>.
- Dozier J, (1980). A clear-sky spectral solar radiation model for snow-covered mountainous terrain. *Water Resources Research*, 16: 709-718.  
<https://doi.org/10.1029/WR016i004p00709>.
- Foster J L, Hall D K, Chang A T C et al (1999). Effects of snow crystal shape on the scattering of passive microwave radiation. *Geoscience & Remote Sensing IEEE Transactions on Selected Topics*, 37(2): 1165-1168.  
<https://doi.org/10.1109/36.752235>.
- George J, Weiler M, Gluns D R et al (2007). The influence of forest and topography on snow accumulation and melt at the watershed-scale. *Journal of Hydrology*, 347(1): 101-115.  
<https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2007.09.006>.
- Hall D K, Riggs G A, Salomonson V V et al (2002). MODIS snow-cover products. *Remote Sensing of Environment*, 83(1):181-194.  
[https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(02\)00095-0](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(02)00095-0).
- Hall D K, Riggs G A, Salomonson V V, (1995). Development of methods for mapping global snow cover using moderate resolution imaging spectroradiometer data. *Remote Sensing of Environment*, 54(2): 127-140.  
<https://doi.org/10.1016/0034-4257>.
- Hall, D K, Riggs G A, Salomonson V V et al (2001). Algorithm Theoretical Basis Document (ATBD) for the MODIS Snow and Sea Ice-Mapping Algorithms. Greenbelt: NASA Goddard Space Flight Center.  
[https://eosps0.gsfc.nasa.gov/sites/default/files/atbd/atbd\\_mod10.pdf](https://eosps0.gsfc.nasa.gov/sites/default/files/atbd/atbd_mod10.pdf)
- Hammond, J.C., Saavedra, F.A., Kampf, S.K (2018). Global snow zone maps and trends in snow persistence 2001-2016. *Int. J. Climatol.* 38, 4369-4383.  
<https://rmets.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/joc.5674>
- Zhang, H., Immerzeel, W. W., Zhang, F., de Kok, R. J., Chen, D., & Yan, W (2022). Snow cover persistence reverses the altitudinal patterns of warming above and below 5000 m on the Tibetan Plateau. *Science of the Total Environment*, 803, 149889.  
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.149889>.
- Huss, M., Bookhagen, B., Huggel, C., Jacobsen, D., Bradley, R.S., Clague, J.J., Vuille, M., Buytaert, W., Cayan, D.R., Greenwood, G., Mark, B.G., Milner, A.M., Weingartner, R., Winder, M (2017). Toward mountains without permanent snow and ice. *Earth's Future* 5, 418-435. ISSN 0034-4257,  
<https://doi.org/10.1016/j.rse.2006.09.035>.
- Klein, G., Vitasse, Y., Rixen, C., Marty, C., & Rebetez, M (2016). Shorter snow cover duration since 1970 in the Swiss Alps due to earlier snowmelt more than to later snow onset. *Climatic Change*, 139, 637-649.  
<https://doi.org/10.1007/s10584-016-1806-y>.

- Kohler, T., Wehrli, A., Jurek, M (2014). Mountains and climate change: A global concern. In: Centre for Development and Environment (CDE) (Ed.), Sustainable Mountain Development Series. Swiss Agency for Development and Cooperation (SDC) and Geographica Bernensia, Bern, Switzerland (136 pp).  
<https://bioone.org/journals/mountain-research-and-development/volume-35/issue-2/MRD-JOURNAL-D-15-00028.1/CDE-Links-Regional-Research-and-Global-Efforts-for-Sustainable-Mountain/10.1659/MRD-JOURNAL-D-15-00028.1.full>
- Li, D., Wrzesien, M.L., Durand, M., Adam, J., Lettenmaier, D.P (2017). How much runoff originates as snow in the western United States, and how will that change in the future? *Geophys. Res. Lett.* 44, 6163-6172.  
<https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/pdfdirect/10.1002/2017GL073551>
- Li, Hongxing, Xinyue Zhong, Lei Zheng, Xiaohua Hao, Jian Wang, and Juan Zhang (2022). "Classification of Snow Cover Persistence across China" *Water* 14, no. 6: 933.  
<https://doi.org/10.3390/w14060933>.
- Litaor M I, Williams M, Seastedt T R, (2015). Topographic controls on snow distribution, soil moisture, and species diversity of herbaceous alpine vegetation, Niwot Ridge, Colorado. *Journal of Geophysical Research Biogeosciences*, 113(2): 73-73.  
<https://doi:10.1029/2007JG000419>
- Lucas R M, Harrison, A R, (1990). Snow observation by satellite: A review. *Remote Sensing Reviews*, 4(2): 285-348.  
<https://doi:10.1080/002757259009532109>
- Merriam-Webster, D (2020). America's most-trusted online dictionary. Retrived from  
<https://www.merriam-webster.com>
- Molotch N P, Bales R C, (2005). Scaling snow observations from the point to the grid element: implications for observation network design. *Water Resources Research*, 41(11): 1-17.  
<https://doi:10.1029/2005WR004229>
- Mote, P.W., Li, S., Lettenmaier, D.P., Xiao, M., Engel, R (2018). Dramatic declines in snowpack in the western US. *Climate and Atmospheric Science* 1, 2.  
<https://www.nature.com/articles/s41612-018-0012-1>
- Notarnicola, C (2020). Hotspots of snow cover changes in global mountain regions over 2000-2018. *Remote Sensing of Environment*, 243, 111781.  
<https://doi.org/10.1016/j.rse.2020.111781>
- Olefs, Marc, Roland Koch, Wolfgang Schöner, and Thomas Marke (2020). "Changes in Snow Depth, Snow Cover Duration, and Potential Snowmaking Conditions in Austria, 1961-2020—A Model Based Approach" *Atmosphere* 11, No. 12: 1330, 1-21.  
<https://doi.org/10.3390/atmos11121330>
- Pepin, N., Bradley, R.S., Diaz, H.F., Baraer, M., Caceres, E.B., Forsythe, N., Fowler, H., Greenwood, G., Hashmi, M.Z., Liu, X.D., Miller, J.R., Ning, L., Ohmura, A., Palazzi, E., Rangwala, I., Schöner, W., Severskiy, I., Shahgedanova, M., Wang, M.B., Williamson, S.N., Yang, D.Q (2015). Elevation-dependent warming in mountain regions of the world. *Nat. Clim. Chang.* 5, 424:430.  
[https://eprints.ncl.ac.uk/file\\_store/production/213856/AE8DE68A-2C0E-4455-91B7-093DF31EED09.pdf](https://eprints.ncl.ac.uk/file_store/production/213856/AE8DE68A-2C0E-4455-91B7-093DF31EED09.pdf)
- Pulliaainen J, Hallikainen M, (2001). Retrieval of regional snow water equivalent from space-borne passive microwave observations. *Remote Sensing of Environment*, 75(1): 76-85.  
[https://doi:10.1016/S0034-4257\(00\)00157-7](https://doi:10.1016/S0034-4257(00)00157-7)
- Rosenthal W, Dozier J, (1996). Automated mapping of montane snow cover at subpixel resolution from the Landsat Thematic Mapper. *Water Resources Research*, 32(1): 115-130.  
<https://doi:10.1029/95WR02718>
- Sacks W J, Schimel D S, Monson R K, (2007). Coupling between carbon cycling and climate in a high-elevation, subalpine forest: a model-data fusion analysis. *Oecologia*, 151(1): 54-68.  
<https://doi:10.1007/s00442-006-0565-2>
- Sahu, R., & Gupta, R. D (2020). Snow cover area analysis and its relation with climate variability in Chandra basin, Western Himalaya, during 2001-2017 using MODIS and ERA5 data. *Environmental Monitoring and Assessment*, 192, 1-26.  
<https://doi.org/10.1007/s10661-020-08442-8>
- Stocker, T (Ed.) (2014). Climate change 2013: the physical science basis: Working Group I contribution to the Fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge university press.  
<https://www.cambridge.org/core/books/climate-change-2013-the-physical-science-basis/BE9453E500DEF3640B383BADDC332C3E>

- Takaku, J., Tadono, T., & Tsutsui, K (2014). Generation of high - resolution global DSM from ALOS prism. *ISPRS Annals of Photogrammetry, Remote Sensing & Spatial Information Sciences*, 2(4), 243-248.  
<https://isprs-archives.copernicus.org/articles/XL-4/243/2014/isprsarchives-XL-4-243-2014.pdf>
- Tang, Z., Wang, X., Wang, J., Wang, X., Li, H., & Jiang, Z (2017). Spatiotemporal variation of snow cover in Tianshan Mountains, Central Asia, based on cloud-free MODIS fractional snow cover product, 2001-2015. *Remote Sensing*, 9(10), 1045.  
<https://www.mdpi.com/2072-4292/9/10/1045>
- Tong J, Déry S J, Jackson P L, (2009). Topographic control of snow distribution in an alpine watershed of western Canada inferred from spatially-filtered MODIS snow products. *Hydrology and Earth System Sciences*, 11(4): 319-326.  
<https://doi.org/10.5194/hessd-5-2347-2008>
- Zhong, X., Zhang, T., Kang, S., & Wang, J (2021). Spatiotemporal variability of snow cover timing and duration over the Eurasian continent during 1966-2012. *Science of the Total Environment*, 750, 141670.  
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141670>
- Yang, K., Guyennon, N., Ouyang, L., Tian, L., Tartari, G., Salerno, F (2018). Impact of summer monsoon on the elevation-dependence of meteorological variables in the south of central Himalaya. *Int. J. Climatol.* 38, 1748-1759.  
<https://doi.org/10.1002/joc.5293>
- Yang, Q., Song, K., Hao, X., Chen, S., & Zhu, B (2018). An assessment of snow cover duration variability among three basins of Songhua River in Northeast China using binary decision tree. *Chinese Geographical Science*, 28, 946-956.  
<https://doi.org/10.1007/s11769-018-1004-0>
- Zhang, G., Xie, H., Yao, T., Liang, T., & Kang, S (2012). Snow cover dynamics of four lake basins over Tibetan Plateau using time series MODIS data (2001-2010). *Water resources research*, 48(10),1-22.  
<https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1029/2012WR011971>