

**RELATIONSHIP BETWEEN THE PRECIPITATION VARIABILITY IN  
MONTENEGRO AND THE MEDITERRANEAN OSCILLATION**

DRAGAN BURIĆ<sup>1\*</sup>, VLADAN DUCIĆ<sup>2</sup>, JOVAN MIHAJLOVIĆ<sup>2</sup>,  
JELENA LUKOVIĆ<sup>2</sup>, JOVAN DRAGOJLOVIĆ<sup>3</sup>

<sup>1</sup>*Hydrometeorological and Seismological Service of Montenegro, Podgorica, Montenegro*

<sup>2</sup>*University of Belgrade - Faculty of Geography, Belgrade, Serbia*

<sup>3</sup>*Faculty of Natural Sciences and Mathematics, Kosovska Mitrovica, Serbia*

**Abstract:** This study investigates the influence of atmospheric circulation in the Mediterranean region on the precipitation in Montenegro. Nine precipitation parameters have been used in the analysis and the relationship has been investigated by the Mediterranean and West Mediterranean Oscillation change index (MO and WeMO). According to a 60 – year observed period (1951-2010), the research results show that nothing characteristic happens with seasonal and annual precipitation sums because the trend is mainly insignificant. However, precipitation extremes are getting more extreme, which corresponds with a general idea of global warming. Negative consequences of daily intensity increase and frequency of precipitation days above fixed and percentile thresholds have been recorded recently in the form of torrents, floods, intensive erosive processes, etc., but it should be pointed out that human factor is partly a cause of such events. The estimate of the influence of teleconnection patterns primarily related to the Mediterranean Basin has shown that their variability affects the observed precipitation parameters on the territory of Montenegro regarding both seasonal and annual sums and frequency and intensity of extreme events shown by climate indices.

**Key words:** precipitation, extremes, Mediterranean Oscillation, Montenegro.

### Introduction

The region of the Gulf of Genoa and the western part of the Mediterranean are well – known for their vivid cyclonic activity, particularly in the colder part of the year. In the summer time, the Mediterranean is often under the influence of the Azores High, which causes long – lasting stability of the atmosphere (Бурић et al., 2011) and which is not rare, the centre of high air pressure is over the Balkans in summer.

The Mediterranean is not only a region over which cyclones are generally moving from the west to the east, but it is also one of the best known cyclogenesis in Europe, particularly the area of the Gulf of Genoa. Чадеж (1964) points out that the Genoa Lows belong to orographic lows because they are formed under the influence of the Alps.

Investigating the influence of air pressure distribution, that is, atmospheric circulation, Maheras and Kutiel (1999) point out that the seesaw between the Eastern and Western Mediterranean, called the Mediterranean Oscillation (MO), causes the connection between favourable conditions for high temperatures in the western part and the unfavourable ones in the eastern part of the basin, and vice versa. Finally, they suggest that

---

\* E-mail: dragan.buric@meteo.co.me

Article history: Received 26.06.2014 ; Accepted 12.09.2014

high temperatures in all seasons are mainly connected with the circulations from the southern quadrant which bring warm air masses mainly from the northern part of Africa. High temperatures in the Balkans are related to the western zonal circulation.

The results obtained by Dünkeloh and Jacobeit (2003) show that there is a strong relationship between Arctic and North Atlantic Oscillation (AO and NAO) with the winter weather conditions in the Northern Hemisphere. As others (Brunetti et al., 2002; Sušelj and Bergan, 2006; Angulo-Martínez and Beguería, 2012), they emphasize the relationship between the Mediterranean Oscillation (MO) and teleconnections mentioned above, as well as the fact that it is the most important regional factor of low frequency (long period factor) affecting the Mediterranean rainfall. Besides that, Supić et al. (2004) reported a strong correlation between MO and temperature, water salinity and density in the northern Adriatic.

Feidas et al. (2007) concluded that in Greece the year of 1984 is the starting point of a falling trend of annual and winter precipitation sums for the 1955 – 2001 period. The best relationship was obtained between NAO and winter, summer and annual precipitation sums. Also, a significant part of annual and summer precipitation variability in this country is explained by the Mediterranean Oscillation Index and Mediterranean Circulation Index (MOI and MCI).

Sušelj and Bergan (2006) suggest that there is strong evidence that NAO has a great influence on the Mediterranean climate but that it is not a dominant circulation pattern in this region. In their opinion, regional circulation, called Mediterranean Oscillation (MO), has a strong influence on weather conditions in the Mediterranean Basin, particularly in winter time.

Investigating precipitation variability in Italy during the second half of XX century, Brunetti et al. (2002) used the difference between the standardized pressure anomalies of Marseilles and Jerusalem as one of the indices of atmospheric circulation change defining it as the Mediterranean Circulation Index (MCI). Therefore, as for other teleconnection patterns, there are several indices for this oscillation.

The scientists from Climatology Laboratory, Barcelona University, tried to identify the causes of heavy rainfall and droughts, that is, a significant interannual rainfall oscillation along the eastern facade of the Iberian Peninsula. The results show that atmospheric oscillation in the Western Mediterranean explains rainfall variability along the eastern part of Spain (in the region of Catalonia, Valencia, Murcia, Granada and the Bay of Cádiz). In connection with this, they gave a definition of regional teleconnection which they called the Western Mediterranean Oscillation - WeMO (Martin-Vide and Lopez-Bustins, 2006).

During the positive WeMO stage, it is warmer in summer and colder in winter along the Mediterranean coast of Spain, but there is little or no precipitation in both seasons mainly because of a dry north – west wind blowing from the land. During the negative stage, air pressure distribution is opposite causing different weather. In this stage, a wet east wind blows bringing heavy rainfall to the eastern facade of the Iberian Peninsula (Martin-Vide and Lopez-Bustins, 2006).

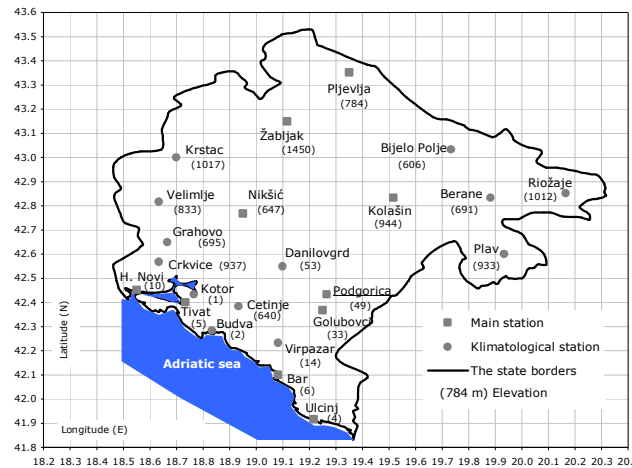
Investigations for Montenegro showed that there is a trend of increasing air temperatures for most parts of the country. Considering the same period, the second half of XX century and the beginning of XXI century, nothing worrying happens with annual precipitation sums except an increase in intensive daily rainfalls (Бурић et al., 2011). The main aim of this study is to investigate the connection between precipitation extremes in Montenegro and oscillation indices related to the Mediterranean Basin.

### Database and research methodology

Precipitation amount data for the 1951 – 2010 period from 23 meteorological stations were used in this research (Figure 1). Analysis of homogenization series and the filling in of missing data were performed by MASH method v3.02. This method has been developed by the Hungarian Meteorological Service (Szentimrey, 2003) and recommended by the World Meteorological Organization.

In this research precipitation extremes were studied by 8 indices. Besides climate indices mainly taken from the list (WMO, 2009), rainfall precipitation sums (RR) were also analyzed. Thus, 9 rainfall parameters in total were studied (Table 1).

The Mediterranean Oscillation Index is MO index (MOI), obtained by the difference in surface pressure between western and eastern parts of the Mediterranean. Positive MO stage is related to anticyclonic conditions in the Western Mediterranean and to low pressure in the eastern part. Generally, during this period the rainfall in the Mediterranean Basin is below the average, except along the Levant coastline and in the southern part of the Aegean Sea. It is quite opposite during the negative MO regime. Then the centre of depression is near the British Isles and north of the Iberian Peninsula or the Western Mediterranean comes under the influence of the northwest baric depression. In such conditions, wet and unstable air mass from the west and southwest brings heavy rainfall in the western part of this basin, particularly on windy sides of orographic hills (Dünkeloh and Jacobeit, 2003).



**Figure 1. Locations and height above mean sea level (AMSL) of the meteorological stations included in the analysis**

The relationship with rainfall parameters has been studied with the Mediterranean and Western Mediterranean Oscillation. The Mediterranean Oscillation Index (MOI) is defined as a standardized difference in pressure at the sea level between a station on the west and the other one on the east of the Mediterranean. The difference index between the pressure in Algeria (36.4°N and 3.1°E) and Cairo (30.1°N and 31.4°E) is MOI-1<sup>2</sup>, and between Gibraltar (36.1°N and 5.3°W) and the Lod Airport in Israel (32.0°N and 34.5°E) is MOI-2<sup>3</sup>.

The Western Mediterranean Oscillation Index (WeMOI) is calculated by the difference in pressure at the sea level between Padua in the north of Italy (45°24'N,

<sup>2</sup> <http://www.cru.uea.ac.uk/cru/data/moi/moi1.output.dat>

<sup>3</sup> <http://www.cru.uea.ac.uk/cru/data/moi/moi2.output.dat>

11°47'E) and San Fernando on the coast of the Bay of Cádiz (36°17'N, 6°07'W). These two regions have been selected because of their pronounced barometric variability (Martin-Vide and Lopez-Bustins, 2006). The data for WeMOI<sup>4</sup> are presented in the form of the difference in standardized surface pressure anomalies in relation to the 1961 – 1990 base period.

The relationship with rainfall parameters in Montenegro has been investigated for the 1951 – 2010 period, and all three indices have been used: MOI-1, MOI-2 and WeMOI. The estimates have been done on seasonal and annual levels, and Pearson correlation coefficient ( $\rho$ ) has been calculated, while the relation significance has been investigated by Student's  $t$  test, on 90% and 95% level (0.10 and 0.05).

**Table 1. Precipitation parameters list**

No.	Mark	Unit	Definition
<b>Precipitation parameters</b>			
1.	RR	mm	Precipitation amount in time unit (season, day)
2.	DD	No. of days	Number of dry days in time unit - daily $R_d < 1$ mm
3.	SDII	mm/day	Average daily rainfall intensity per a rainy day – the relationship between a total rainfall sum and a total number of rainy days for $R_d \geq 1$ mm
4.	R20mm	No. of days	Number of days with heavy rainfall - $R_d \geq 20$ mm
5.	R75p	No. of days	Number of moderate wet days - $R_d > 75$ th percentile of daily distribution for days with $R_d \geq 1$ mm for a base period (1961-1990)
6.	R95p	No. of days	Number of very wet days - $R_d > 95$ th percentile of daily distribution for days with $R_d \geq 1$ mm for a base period
7.	R95pTOT	mm/day	Average daily rainfall intensity during a very wet day – relationship between a total rainfall sum and a total number of rainy days for $R_d > 95$ th percentile
8.	$\Sigma R95p \Sigma R^*$	%	Participation of daily rainfall amounts during very wet days in a total sum
9.	Rx5d	mm·5day <sup>-1</sup>	Maximum 5 – day rainfall amount

\*Precipitation index  $\Sigma R95p \Sigma R$  defined by Burić D.

## Results

As stated before, MO should be expected to have a significant influence on the weather and climate in Montenegro. As far as the rainfall is concerned, the relationship should be indirect: negative stage brings wet weather and positive stage causes dry weather in Montenegro. Also, in relation to described condition on the eastern coast of the Iberian Peninsula (inverse correlation with precipitation sums), the opposite influence of WeMO stages on rainfall in Montenegro should be expected, that is, a direct relationship with precipitation (positive stage brings rainy weather and negative stage dry weather). During the positive WeMO stage on the territory of Montenegro, a wet southeast and east wind blows and a dry northeast and east wind during the negative stage. Investigations have proved and calculations have shown that MO and WeMO do have an influence on precipitation in Montenegro.

The best relationship with MOI-1 was obtained with precipitation parameters for winter season. 7 out of 9 observed precipitation parameters for winter season showed a significant correlation with MOI-1. In this season, correlation coefficient values between MOI-1 and RR, DD and R75p are significant with 99% confidence level on all observed stations in Montenegro, and with R20 on 19 out of 23 stations. All observed precipitation parameters show a better relationship with MOI-1 along the coastline and in the central region, and moving towards the northeast and north of the country the signal weakens, but it

<sup>4</sup> [http://www.ub.edu/gc/Documentos/WeMOi\\_1821\\_2013.txt](http://www.ub.edu/gc/Documentos/WeMOi_1821_2013.txt)

is still significant. There is also a significant correlation with these 4 parameters (RR, DD, R75p and R20) on annual level in most places with 99% confidence level.

For spring season, the relationship is only important with DD on 15 out of 25 stations. In summer and autumn seasons only two parameters show a significant relationship, RR and Rx5d, that is, RR and DD, mainly in southern and central parts.

Almost identical qualitative results of correlation were also obtained with MOI-2. In quantitative sense, there is a somewhat better relationship with MOI-1. The exceptions are rainfall parameters for summer season showing a better signal with MOI-2. 7 out of 9 observed parameters showed a significant correlation with MOI-2 in summer season. Table 2 shows the correlation results for Montenegro as a whole exactly representing the obtained results on a station level.

No doubt, correlation estimates show that the Mediterranean Oscillation has a strong signal with rainfall parameters for winter season and on annual level and MOI-2 during summer. The two previously observed indices (MOI-1 and MOI-2) are defined that way as to show atmospheric dynamics over the entire Mediterranean Basin, while WeMO represents an index of synoptic conditions in the western part of this region.

**Table 2. Correlation matrix between MOI-1, MOI-2 and WeMOI indices and parameters of rainfall on seasonal and annual level on the territory of Montenegro as a whole for the 1951 – 2010 period**

Parameter	Winter	Spring	Summer	Autumn	Year
MOI-1					
RR	-0.68**		-0.26*	-0.27*	-0.42**
DD	0.70**	0.31*		0.33*	0.47**
R75p	-0.64**				-0.36**
R95p	-0.36**				
$\Sigma R95p\Sigma R$					
R95pTOT					
SDII	-0.29*				
R20mm	-0.66**				-0.39**
Rx5d	-0.32*		-0.28*		
MOI-2					
RR	-0.54**		-0.44**		-0.37**
DD	0.49**		0.44**		0.35**
R75p	-0.52**		-0.40**		-0.29*
R95p	-0.30*		-0.34**		
$\Sigma R95p\Sigma R$					
R95pTOT			-0.30*		
SDII	-0.27*				
R20mm	-0.53**		-0.39**		-0.31*
Rx5d	-0.27*		-0.43**		
WeMOI					
RR	0.37**	0.32*		0.33*	
DD	-0.52**	-0.31*		-0.37**	
R75p	0.33*	0.30*		0.33*	
R95p					
$\Sigma R95p\Sigma R$					
R95pTOT					-0.29*
SDII					
R20mm	0.35**	0.30*		0.36**	
Rx5d					

\*Statistical significance for  $\alpha = 0.05$

\*\* Statistical significance for  $\alpha = 0.01$

As for Montenegro, the Western Mediterranean Oscillation (WeMO) has an influence on rainfall during most part of the year, in particular, during winter, spring and autumn. For winter season, a strong correlation between WeMOI, RR and DD was obtained

in all observed places, as well as R20 and R75p in most places, mainly with 99% confidence level. These 4 parameters (RR, DD, R20 and R75p) show a significant relationship with WeMOI for spring and autumn season on almost all stations. As stated before, the relationship between spring and autumn rainfall parameters on one hand and MOI-2 on the other is insignificant and it is significant only with one parameter in summer and two in autumn. Also, the signal of this oscillation is stronger along the coastline and in the central region than in farthest north and north – east of the country. According to the results obtained, it can be concluded that this oscillation does not have an important influence on rainfall conditions during the summer season. Considering annual rainfall parameters, there is only a significant relationship between R95pTOT and WeMOI, but only in southern and central regions.

There is phase synchronization with RR, R20 and R75p, and antiphase one with DD for rainfall parameters which have an important relationship with WeMOI (mainly in winter, spring and autumn seasons). Thus, there is an opposite relationship with MOI-1 and MOI-2 this means that there is a higher precipitation amount (RR) during the positive WeMO stage causing greater frequency of moderate wet days, and days with 20 and more mm of rainfall (R75p and R20), while there are less dry days (DD), and vice versa.

Comparing results of the relationship between rainfall parameters and all three indices for the Mediterranean Basin, it has been shown that there is a stronger signal with MO than with WeMO. 4 rainfall parameters for spring and autumn season represent an exception (RR, DD, R20 and R75p) and they have a stronger relationship with WeMOI.

Angulo-Martínez and Beguería (2012) investigated the influence of interannual variabilities of daily precipitation on soil erosivity in north – eastern Spain (Catalonia, Aragon, Navarre and Basque Country) during the 1955 – 2006 period. The results showed that erosive power of rainfall is stronger during the negative NAO, MO and WeMO stage, and weaker during the positive regime of three teleconnections. Spatially, MO has the widest influence on observed region, while the strongest relationship has been established between autumn and winter rainfall and WeMO, particularly around the Ebro delta. The weakest relationship was obtained with NAO index but the authors emphasize that this oscillation has a strong influence on the rest of Spain. It corresponds with the research work of Krichak and Alpert (2005a, b) who got high correlation coefficient between NAO and MOI, which means, as it is pointed out by the authors, that these two events are not independent.

### Conclusion

Many temperature and precipitation records have been broken in Montenegro during a few past years. The year 2010 is particularly important considering precipitation. During the period of instrumental observations (from 1949) maximum precipitation amount was recorded in 2010. For example, maximum annual precipitation amount (9104.9 mm) was recorded in Crkvice that year, as well as the greatest number of moderate and very wet days until today: R75p = 52; R95p = 18 days (Бурић et al., 2014).

A great frequency of heavy intensive rains caused floods, rockslides, torrents and a significant material damage. According to the official data, total damage from floods which struck several towns in Montenegro by the end of 2010 was estimated up to about 18 million euros. During 2012 and 2013 parts of Podgorica and Herceg Novi were completely flooded (Бурић, 2014).

The estimate of the influence of teleconnection patterns primarily related to the Mediterranean Basin showed that their variability affects observed rainfall parameters on the territory of Montenegro, regarding both seasonal and annual precipitation sums and frequency and intensity of extreme events shown by climate indices. Correlation estimates

show that the Mediterranean Oscillation (MO) has a strong signal with rainfall parameters for winter season. Apart from the farthest north and north – east of Montenegro, there is a good relationship with a few annual rainfall indices (RR, DD, R20 and R75p) in other parts of the country. Comparing the results of relationships between rainfall parameters to all three indices, it has been shown that there is a stronger signal with MO than with WeMO. 4 rainfall parameters for spring and autumn season represent an exception (RR, DD, R20 and R75p) having a better relationship with WeMOI.

#### Reference

- Angulo-Martínez, M. and Beguería, S. (2012). Do atmospheric teleconnection patterns influence rainfall erosivity? A study of NAO, MO and WeMO in NE Spain, 1955–2006. *Journal of Hydrology*, 450-451: 168-179.
- Brunetti, M, Maugeri, M, Nanni, T. (2002). Atmospheric circulation and precipitation in Italy for the last 50 years. *International Journal of Climatology*, 22(12): 1455–1471. DOI: 10.1002/joc.805.
- Бурић, Д., Дуцић, В., Луковић, Ј. (2011): *Колебање климе у Црној Гори у другој половини XX и почетком XXI вијека*. Црногорска академија наука и умјетности, Подгорица, стр.1- 270.
- Бурић, Д., Дуцић, В., Луковић, Ј., Додеровић, М. (2014). Тренд температурних екстрема на Црногорском приморју. *Гласник Одјељења природних наука*, Црногорска академија наука и умјетности, 20, 171-185.
- Бурић, Д. (2014). Динамика и могући узроци температурних и падавинских екстрема на територији Црне Горе у периоду 1951-2010. Докторска дисертација, Географски факултет, Београд, стр. 1-248.
- World Meteorological Organization (2009). *Guidelines on Analysis of extremes in a changing climate in support of informed decisions for adaptation*. Geneva 2, Switzerland, Climate Data and Monitoring WCDMP-No. 72.
- Düneloh, A. and Jacobeit, J. (2003). Circulation dynamics of Mediterranean precipitation variability 1948–98. *International Journal of Climatology*, 23(15): 1843–1866. DOI: 10.1002/joc.973.
- Krichak, S.O. and Alpert, P. (2005a). Signatures of the NAO in the atmospheric circulation during wet winter months over the Mediterranean region. *Theor Appl Climatol* 82(1-2): 27–39, DOI: 10.1007/s00704-004-0119-7.
- Krichak, S.O. and Alpert, P. (2005b). Decadal trends in the east Atlantic-west Russia pattern and Mediterranean precipitation. *International Journal of Climatology*, 25(2): 183-192.
- Maheras, P. and Kutiel, H. (1999). Spatial and temporal variations in the temperature regime in the Mediterranean and their relationship with circulation during the last century. *International Journal of Climatology*, 19(7): 745–764, DOI: 10.1002/(SICI)1097-0088(19990615)19:7<745::AID-JOC395>3.0.CO;2-2.
- Martín-Vide, J. and Lopez-Bustins, J.A. (2006). The Western Mediterranean Oscillation and rainfall in the Iberian Peninsula. *International Journal of Climatology*, 26(11): 1455-1475. DOI: 10.1002/joc.1388.
- Supić, N., Grbec, B., Vilibić, I. and Ivančić, I. (2004). Long-term changes in hydrographic conditions in northern Adriatic and its relationship to hydrological and atmospheric processes. *Annales Geophysicae*, 22(3): 733–745.
- Sušelj, K., and Bergant, K. (2006). Mediterranean Oscillation Index. *Geophysical Research*, 8, 02145, Abstracts (pp. 1).
- Szentimrey, T. (2003). Multiple analysis of series for homogenization (MASH); Verification procedure for homogenized time series, in: Fourth seminar for homogenization and quality control in climatological databases. Budapest, Hungary, *WMO-TD No. 1236, WCDMP No. 56*: 193–201.
- Feidas, H., Nouloupoulou, Ch., Makrogiannis, T. and Bora-Senta, E. (2007). Trend analysis of precipitation time series in Greece and their relationship with circulation using surface and satellite data: 1955–2001. *Theor. Appl. Climatol.*, 87(1-4): 155–177. doi: 10.1007/s00704-006-0200-5.
- Чадеж, М. (1964). *Време у Југославију*. Институт за метеорологију, Београд.

## ВЕЗА ИЗМЕЂУ КОЛЕБАЊА ПАДАВИНА У ЦРНОЈ ГОРИ И МЕДИТЕРАНСКЕ ОСЦИЛАЦИЈЕ

ДРАГАН БУРИЋ<sup>5\*</sup>, ВЛАДАН ДУЦИЋ<sup>2</sup>, ЈОВАН МИХАЛЛОВИЋ<sup>2</sup>,  
ЈЕЛЕНА ЛУКОВИЋ<sup>2</sup>, ЈОВАН ДРАГОЛЛОВИЋ<sup>3</sup>

<sup>1</sup>*Завод за хидрометеорологију и сеизмологију Црне Горе, Подгорица, Црна Гора*

<sup>2</sup>*Универзитет у Београду, Географски факултет, Београд, Србија*

<sup>3</sup>*Природно-математички факултет, Косовска Митровица, Србија*

**Сажетак:** У раду је испитан утицај варијација атмосферске циркулације у области Медитерана на падавинске прилике у Црној Гори. За анализу је коришћено укупно 9 параметара падавина, а веза је испитана са показатељима промена Медитеранске и Западномедитеранске осцилације (МО и WeМО). За посматрани 60-годишњи период (1951-2010), резултати истраживања показују да се са сезонским и годишњим сумама падавина ништа карактеристично не дешава, јер је тренд углавном безначајан. Међутим, падавински екстрими су све екстремнији, што је у складу са општом представом о глобалном отопљавању. Негативне последице од повећања дневних интензитета и учесталости дана са падавинама изнад фиксних и перцентилних прагова се примећују у последње време, у виду појава бујичних токова, поплава, интензивирања ерозивних процеса итд., али треба истаћи да је једним делом узрочник таквих догађаја и људски фактор. Процена утицаја телеконекционих образаца, који су примарно везани за басен Медитерана, показала је да њихова варијабилност утиче на посматране параметре падавина на територији Црне Горе, како у погледу сезонских и годишњих сума, тако и на учесталост и интензитет екстремних догађаја приказаних помоћу климатских индекса.

**Кључне речи:** падавине, екстрими, Медитеранска осцилација, Црна Гора.

### Увод

Подручје Ђеновског залива и западни део Средоземног мора је познато по живој циклонској активности, нарочито у хладнијем делу године. Лети је Средоземље често под утицајем Азорског антициклона, који условљава дуготрајнију стабилност атмосфере (Бурић и др., 2011), а у овом годишњем добу је не ретко и над Балканом центар високог ваздушног притиска.

Медитеран није само подручје преко кога се крећу циклони са запада ка истоку, генерално, већ је и једно од најпознатијих циклогенеза у Европи, пре свега подручје Ђеновског залива. Чадеж (1964) истиче да Ђеновске депресије припадају групи орографских, јер се формирају под утицајем Алпа.

Истражујући утицај расподеле ваздушног притиска, односно циркулације атмосфере, Maher and Kutiel (1999) истичу да клацкалица између Источног и Западног Медитерана, названа Медитеранском осцилацијом (МО), условљава да су повољни услови за високу температуру у западном делу, повезани са неповољним у источном делу овог басена, и обратно. На крају закључују да су високе температуре у свим годишњим добима, углавном повезане са струјањима из јужног квадранта, која доносе топле ваздушне масе претежно из северне Африке. На Балкану су високе температуре повезане и са западном зоналном циркулацијом.

Резултати до којих су дошли Dünkeloh and Jacobeit (2003) указују да су Арктичка и Северноатлантска осцилација (АО и NAO) снажно повезане са зимским временским условима на северној хемисфери. Они истичу, али и други (Brunetti et al., 2002; Sušelj and Bergan, 2006; Angulo-Martínez and Beguería, 2012), да је Медитеранска осцилација (МО) повезана са претходно поменутих телеконекцијама, као и то да је

\* E-mail: dragan.buric@meteo.co.me

Article history: Received 26.06.2014 ; Accepted 12.09.2014



најважнији регионални фактор ниске фреквенције (дугопериодични фактор), који утиче на падавинске прилике у Медитерану. Осим тога, Supić et al. (2004) су добили јаку корелацију између МО и температуре, салинитета и густине вода Северног Јадрана.

Feidas et al. (2007) су утврдили да је у Грчкој, у периоду 1955-2001, почетна година силазног тренда годишњих и зимских сума падавина 1984. Најбољу везу су добили између NAO и зимских, летњих и годишњих сума падавина. Такође, значајан део варијабилности годишњих и летњих падавина у овој земљи објашњава и Медитерански индекс и Медитерански циркулациони индекс (МОИ и МСИ).

Sušelj and Bergan (2006) истичу да постоје докази да NAO снажно утиче на медитеранску климу, али да није доминантан образац циркулације у овом региону. По њиховом мишљењу, регионална циркулација, названа Медитеранском (МО), има јак утицај на временске прилике у басену Медитерана, нарочито током зиме.

Истражујући промене падавина у Италији у другој половини 20. века, Brunetti et al. (2002), као један од показатеља промене циркулације атмосфере, користе разлику између стандардизованих аномалија притиска Марсеја и Јерусалима, дефинишујући је као Медитерански циркулациони индекс (МСИ - Mediterranean circulation index). Дакле, као и за друге телеконекционе образце тако и за ову осцилацију постоји неколико показатеља.

Научници Лабораторије за Климатологију Универзитета у Барселони су покушали да утврди узроке обилних падавина и суша, односно изражених међугодишњих колебања падавина дуж источне фасаде Пиринејског полуострва. Резултати до којих су дошли показали су да осцилација атмосфере у западном делу Медитерана у значајној мери објашњава варијабилност падавина дуж источне Шпаније (на подручју Каталоније, Валенсије, Мурсије, Гранаде, али и залива Кадиз). С тим у вези, дефинисали су регионалну телеконекцију, коју су назвали Западномедитеранска осцилација - WeMO (Martin-Vide and Lopez-Bustins, 2006).

За време позитивне фазе WeMO, дуж медитеранске обале Шпаније лети је топлије, а зими хладније, али је у оба случаја време без или са мало падавина, јер дува сув северозападни ветар са копна. Током негативне фазе расподела притиска је супротна, условљавајући и другачије време. У овој фази дува влажан источни ветар, доносећи велике падавине источној фасади Пиринејског полуострва (Martin-Vide and Lopez-Bustins, 2006).

Истраживања за Црну Гору су показала да је у већем делу земље присутан тренд пораста температуре ваздуха. За исти период, у другој половини XX и почетком XXI века, са годишњим сумама падавина се ништа забрињавајуће не дешава, али је уочљиво повећање интензивнијих дневних падавина (Бурић и др., 2011). Основни циљ овог рада је да се испита веза падавинских екстрема у Црној Гори са показатељима осцилација које су везане за басен Медитерана.

### **База података и методологија рада**

За истраживање су коришћени подаци о количини падавина са 23 метеоролошке станице (слика 1), за период 1951-2010. године. Испитивање хомогености низова и попуњавање недостајућих података урађено је помоћу метода MASH v3.02. Овај метод је развила метеоролошка служба Мађарске (Szentimrey, 2003), а његово коришћење препоручује Светска метеоролошка организација.

У овом раду су падавински екстремни разматрани на основу 8 индекса. Осим климатских индекса, углавном преузети са листе (WMO, 2009), анализирани су и суме падавина (RR). Дакле, укупно је разматран 9 параметара падавина (табела 1).

Показатељ Медитеранске осцилације је МО индекс (МОI), добијен на основу разлике у приземном притиску између западних и источних делова Медитерана. Позитивна фаза МО је у вези са антициклоналним условима у Западном Медитерану и ниским притиском у источном делу. Генерално, тада су у басену Медитерана падавине испод просека, осим на приморју Леванта и јужном делу Егејског мора. Супротно је за време негативног режима МО. Тада је центар депресије обично близу Британских острва и северно од Пиринејског полуострва или је Западни Медитеран под утицајем баричке депресије са северозапада. У таквим условима влажна и нестабилна ваздушна маса са запада или југозапада доноси велике падавине у западном делу овог басена, посебно на наветреним странама орографских узвишења (Dünkeloh and Jacobeit, 2003).

#### Прилог 1. Локације и надморска висина метеоролошких станица укључених у анализу

Веза са параметрима падавина испитана је са индексом Медитеранске и Западномедитеранске осцилације. Индекс Медитеранске осцилације (МОI) се дефинише као стандардизована разлика у притиску на нивоу мора између једне станице на западу и друге на истоку Медитерана. Показатељ разлике притиска између Алжира (36,4°N и 3,1°E) и Каира (30,1°N и 31,4°E) је МОI-1<sup>6</sup>, а између Гибралтара (36,1°N и 5,3°W) и аеродрома Лод у Израелу (32,0°N, 34,5°E) МОI-2<sup>7</sup>.

Индекс Западномедитеранске осцилације (WeМОI) се рачуна на основу разлике у притиску на нивоу мора између Падове на северу Италије (45°24'N, 11°47'E) и Сан Фернанда на обали залива Кадиз (36°17'N, 6°07'W). Ова два подручја су изабрана због изражене барометарске варијабилности (Martin-Vide and Lopez-Bustins, 2006). Подаци за WeМОI<sup>8</sup> дати су у виду разлике стандардизованих одступања приземног притиска у односу на базни период 1961-1990.

Веза са параметрима падавина у Црној Гори испитана је за период 1951-2010, а коришћена су сва три индекса: МОI-1, МОI-2 и WeМОI. Прорачуни су урађени на сезонском и годишњем нивоу, а рачунат је Пирсонов коефицијент корелације (r), док је значајност везе испитана помоћу Студентовог теста, на нивоу од 90% и 95% (0,10 и 0,05).

Табела 1. Списак коришћених параметара падавина

### Резултати

На основу претходно реченог, требало би очекивати да МО има значајан утицај на време и климу у Црној Гори. Када су падавине у питању, требало би да је веза индиректна – негативна фаза доноси кишно, а позитивна суво време у Црној Гори, генерално. Такође би, у односу на описано стање на источној обали Пиринејског полуострва (инверзна корелација са сумама падавина), требало очекивати супротан утицај фаза WeМО на падавине у Црној Гори, односно директну везу са падавинама (позитивна фаза доноси кишно, а негативна суво време). Наиме, за време позитивне фазе WeМО на територији Црне Горе дува влажан југоисточни и јужни ветар, а током негативне сув североисточни и северни. Истраживања су то

<sup>6</sup> <http://www.cru.uea.ac.uk/cru/data/moi/moi1.output.dat>

<sup>7</sup> <http://www.cru.uea.ac.uk/cru/data/moi/moi2.output.dat>

<sup>8</sup> [http://www.ub.edu/gc/Documentos/WeMOi\\_1821\\_2013.txt](http://www.ub.edu/gc/Documentos/WeMOi_1821_2013.txt)

потврдила, односно прорачуни показали да MO и WeMO имају утицаја на падавинске прилике у Црној Гори.

Са MOI-1 је најбоља веза добијена са параметрима падавина за зимску сезону. Наиме, од 9 разматраних параметара падавина за зимску сезону, чак 7 је показало значајну корелацију са MOI-1. У овом годишњем добу, на свим посматраним станицама у Црној Гори су вредности коефицијената корелације између MOI-1 и RR, DD и R75p значајне на 99% нивоу поверења, а са R20 на 19 од 23 станице. Сви разматрани параметри падавина показују бољу везу са MOI-1 дуж приморја и у централној регији, а идући ка североистоку и северу земље сигнал слаби, али је и даље углавном значајан. Значајност корелације са ова 4 параметра (RR, DD, R75p и R20) постоји и на годишњем нивоу, у већини места на 99% нивоу поверења.

За пролећну сезону је веза значајна једино са DD, и то на 15 од 23 станице. У летњој и јесењој сезони само по два параметра показују значајност везе, RR и Rx5d, односно RR и DD, превасходно у јужним и централним пределима.

Готово идентични квалитативни резултати корелације су добијени и са MOI-2. У квантитативном смислу, углавном је нешто боља веза са MOI-1. Изузетак су параметри падавина за летњу сезону, који показују бољи сигнал са MOI-2. Наиме, 7 од 9 разматраних параметра је показало значајну корелацију са MOI-2 у летњој сезони. У табели 2 су дати резултати корелације за Црну Гору у целини, који верно репрезентују добијене на станичном нивоу.

Прорачуни корелације несумњиво показују да Медитеранска осцилација има јак сигнал са падавинским параметрима за зимску сезону и на годишњем нивоу, а MOI-2 и током лета. Претходно два разматрана индекса (MOI-1 и MOI-2) су дефинисана тако да покажу динамику атмосфере изнад целог Медитеранског басена, док је WeMO показатељ синоптичких прилика у западном делу ове регије.

**Табела 2. Матрица корелација између MOI-1, MOI-2 и WeMOI индекса и параметара падавина на сезонском и годишњем нивоу на територији Црне Горе у целини за период 1951-2010.**

Када је Црна Гора у питању, Западнометдитеранска осцилација (WeMO) има утицаја на падавинске прилике у већем делу године, тачније током зиме, пролећа и јесени. За зимску сезону је у свим посматраним местима добијена јака корелација између WeMOI, RR и DD, а у већини места и R20 и R75p, и то углавном на 99% нивоу поверења. Ова 4 параметра (RR, DD, R20 и R75p), готово на свим станицама показују значајну везу са WeMOI и за пролећну и јесењу сезону. Подсетимо, веза између пролећних и јесењих параметара падавина са једне и MOI-2 са друге стране је безначајна, а са MOI-1 је значајна само са једним (лети), односно са два (у јесен) параметра. Такође, сигнал и ове осцилације је јачи дуж приморја и у централној регији, него на крајњем северу и североистоку земље. На основу добијених резултата, може се закључити да ова осцилација нема значајан утицај на падавинске прилике у летњој сезони. Од годишњих параметара падавина, једино између R95pTOT и WeMOI постоји значајна веза, али само у јужним и централним пределима.

За параметре падавина који показују значајну везу са WeMOI (углавном за зимску, пролећну и јесењу сезону), постоји фазна синхроност са RR, R20 и R75p, а антифазна са DD. Дакле, супротна је веза у односу са MOI-1 и MOI-2. То значи да се током позитивне фазе WeMO излучује већа количина падавина (RR), а тиме је и честина умерено влажних и дана са 20 и више mm (R75p и R20) већа, док је сушних дана (DD) мање, и обратно.

Упоређујући резултате везе између параметара падавина и сва три индекса за басен Медитерана, резултати показују јачи сигнал са MO него са WeMO. Изузетак су

4 параметра падавина за пролећну и јесењу сезону (RR, DD, R20 и R75p), за које је добијена боља веза са WeMOI.

Angulo-Martínez and Beguería (2012) су испитивали утицај међугодишњих варијабилности дневних падавина на ерозију земљишта у североисточној Шпанији (Каталонија, Арагоонија, Навара и Баскија) у периоду од 1955. до 2006. године. Резултати истраживања су показали да је ерозивна моћ падавина јача за време негативне фазе NAO, MO и WeMO, а слабија током позитивног режима три поменуте телеконекције. Просторно, MO има најшири утицај на пасматраном подручју, док је најјача веза добијена између јесењих и зимских падавина и WeMO, посебно око делте Ебра. Најслабију везу су добили са NAO индексом, али аутори истичу да у осталом делу Шпаније ова осцилација има јак утицај. То је у складу са истраживањима Krichak and Alpert (2005a, b), који су добили високи коефицијент корелације између NAO и MOI, што значи да ове две појаве, како истичу аутори, нису независне.

### Закључак

У Црној Гори су у последњих неколико година оборени многи температурни и падавински рекорди. Када су падавине у питању, посебно се истиче 2010. година. Наиме, у периоду инструменталних осматрања (од 1949. године), 2010. године је у већини места регистрована максимална количина падавина до сада. Примера ради, те године је у Црквицама регистрована максимална годишња количина падавина (9104,9 mm), као и највећи број умерено и врло влажних дана до сада: R75p = 52; R95p = 18 дана (Бурић и др., 2014).

Повећана учесталост киша великог интензитета је видљива кроз поплаве, одроне, бујице и значајне материјалне штете. Према званичним подацима, укупна штета од поплава које су крајем 2010. године погодиле неколико општина у Црној Гори, процењена је на око 18 милиона евра. У 2012. и 2013. години, делови Подгорице и Херцег Новог су неколико пута били под водом (Бурић, 2014).

Процена утицаја телеконекционих образаца, који су примарно везани за басен Медитерана, показала је да њихова варијабилност утиче на посматране параметре падавина на територији Црне Горе, како у погледу сезонских и годишњих сума, тако и на учесталост и интензитет екстремних догађаја приказаних помоћу климатских индекса. Притом, прорачуни корелације показују да Медитеранска осцилација (MO) има јак сигнал са падавинским параметрима за зимску сезону. Осим на крајњем северу и североистоку Црне Горе, у осталим местима је добра веза и са неколико годишњих показатеља падавина (RR, DD, R20 и R75p). Упоредјујући резултате везе између параметара падавина и сва три индекса, резултати показују јачи сигнал са MO него са WeMO. Изузетак су 4 параметра падавина за пролећну и јесењу сезону (RR, DD, R20 и R75p), за које је добијена боља веза са WeMOI.

Литературу видети на страни 115