

Eötvös Loránd Tudományegyetem  
Földrajz- és Földtudományi Intézet  
Meteorológiai Tanszék

# **Mediterrán ciklonok szinoptikus klimatológiai vizsgálata**

SZAKDOLGOZAT



Készítette:

**Felföldi Anita**

Földtudományi alapszak,  
Meteorológus szakirány

Témavezetők:

**Leelőssy Ádám**

**Soósné dr. Dezső Zsuzsanna**

ELTE TTK, Meteorológiai Tanszék

Budapest, 2017

# Tartalomjegyzék

1. Bevezetés .....	3
2. Mediterrán ciklonok általános jellemzése .....	4
2.1. Kialakulási hely .....	4
2.2. Mediterrán ciklon keletkezéséhez vezető folyamatok.....	7
2.2.1. Polárfronti ciklonkeletkezés .....	7
2.2.2. Lee ciklogenezis .....	9
2.3. Ciklonok gyakorisága .....	10
2.4. Ciklonpályák.....	12
2.5. Mediterrán ciklonok hatása Magyarország időjárására .....	14
3. Mediterrán ciklonokhoz kapcsolódó jelenségek.....	15
3.1. Szelek .....	15
3.2. Csapadék.....	16
3.3. A szaharai homok transzportja.....	16
3.4. Egyéb jelenségek .....	19
4. A mediterrán ciklonok kapcsolata a különböző cirkulációs rendszerekkel .....	20
4.1. Észak- atlanti oszcilláció (North Atlantic Oscillation, NAO) .....	20
4.2. Arktikus oszcilláció (Arctic Oscillation, AO).....	23
4.3. Kelet-atlanti/nyugat-oroszországi rendszer (East Atlantic/Western Russia pattern, EA/WR).....	24
4.4. Skandináv rendszer (Scandinavia pattern, SCAND).....	24
4.5. Indiai monszun .....	25
5. Az éghajlatváltozás hatása a mediterrán térségben.....	26
5.1. Csapadék.....	27
5.2. Hőmérséklet.....	28
5.3. Ciklongyakoriság.....	31
5.4. Erdőtüzek.....	31
5.5. Társadalmi és gazdasági hatások .....	32
6. Összefoglalás .....	33
Köszönetnyilvánítás .....	34
Irodalomjegyzék .....	35
Internetes hivatkozások .....	37

# 1.Bevezetés

A mérsékelt övi ciklonoknak fontos szerepe van a globális energiaforgalomban, mivel ezek bonyolítják a hő- és a nedvességszállítás jelentős részét a sarkvidéki és a trópusi területek között. Másrészt, a ciklonokhoz kapcsolódó frontális rendszerek meghatározó szerepet játszanak a helyi időjárás meghatározásában. A ciklonok gyakoriságában és intenzitásában bekövetkező bármilyen változás jelentősen befolyásolja a közepes szélességek éghajlatát. A mediterrán ciklonok a mérsékelt övi ciklonok egyik fajtája, zárt izobárral rendelkező alacsony nyomású képződmények, amelyek a Földközi-tenger partvidékén alakulnak ki, de gyakran előfordul, hogy az Atlanti-óceán felől érkező ciklon a térségbe belépve egy mediterrán ciklont generál. Útjuk során Európa és Ázsia távolabbi részeire is eljuthatnak. Hazánk időjárásának alakításában is fontos szerepet játszanak. A mediterrán ciklonok gyakran társulnak intenzív csapadéktevékenységgel, legyen az eső vagy hó.

Dolgozatomban szeretném bemutatni a mediterrán ciklonok általános jellemzőit, beleértve a keletkezési központokat, kialakulási gyakoriságukat, útvonalait és a hozzájuk kapcsolódó különböző időjárási jelenségeket. Ezek a ciklonok kapcsolatban állnak a különböző légköri cirkulációs rendszerekkel, amelyeknek adott fázisai során eltérő időjárási helyzet alakul ki a mediterrán térségben. Természetesen az éghajlatváltozás hatása egy igen fontos kérdés a térség várható időjárásának alakulásában, hiszen a jelenlegi kutatások azt mutatják, hogy a Földközi-tenger vidékén melegebb és szárazabb éghajlat várható, amihez a társadalomnak és a gazdaságnak is alkalmazkodnia kell.

## 2. Mediterrán ciklonok általános jellemzése

A Földközi-tenger vidéke változatos domborzati viszonyainak köszönhetően egyedülálló időjárási körülményeket eredményez. Az itt kialakuló mediterrán ciklonok gyakorisága, időtartama és intenzitása fontos szerepet játszik az időjárás és az éghajlat kialakításában, tulajdonságaikat tekintve viszont eltérnek az Atlanti-óceán felett kialakuló képződményektől. Átlagos élettartamuk 28 óra, ami az Atlanti-óceánon keletkező örvények 3-3,5 napos élettartamához képest jóval kevesebb. Méretüket összehasonlítva is tapasztalunk eltéréseket. A mediterrán ciklonok 65%-ának sugara kisebb, mint 500 km, ezzel szemben az atlanti-óceáni képződmények átlagos sugara 1000-2000 km. A mélyülésük intenzitása 1-2 hPa 6 óránként, télen és tavasszal gyorsabban mélyülnek, mint nyáron (*Trigo et al.*, 1999).

### 2.1. Kialakulási hely

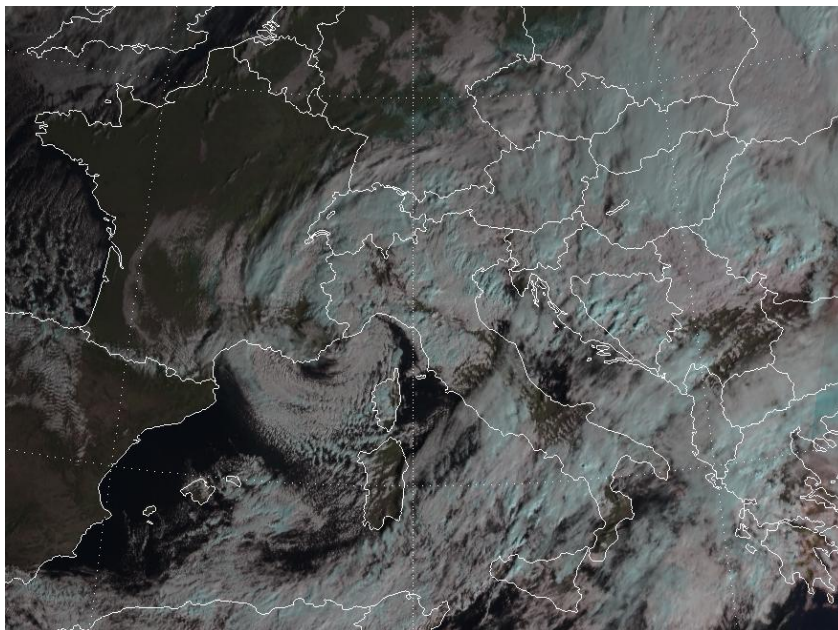
A Földközi-tenger egy majdnem zárt medencét alkot, csak egy keskeny szoroson keresztül kapcsolódik a világóceánhoz, amelynek köszönhetően egyedülálló időjárás jellemzi. A tenger fontos energiaforrása a ciklonoknak, emellett a domborzati viszonyok is kiemelt szerepet játszanak az életükben. A térségben különböző medencék, öblök, szigetek, félszigetek találhatóak, ezeket hegyvonulatok veszik körbe, amelyek erősen befolyásolják a ciklonkeletkezést. Mindezen tulajdonságok hatására nagy térbeli és időbeli változékonyság figyelhető meg a ciklonok életében (*Lionello et al.*, 2006a).

A legaktívabb ciklonkeletkezési területek: Genovai-öböl, Ibériai-félsziget, Dél-Olaszország, Észak-Afrika, Égei-tenger, Fekete-tenger, Ciprus és a Közel-Kelet (1. ábra). Elő szokott fordulni, hogy az Atlanti-óceánon lévő ciklonális rendszerek nyugat-északnyugati irányból belépnek a térségbe, további mediterrán ciklonokat gerjesztve (*Lionello et al.*, 2006b). Kialakulásuk ideje szerint három időszak különböztethető meg: tél, tavasz és nyár. Az őszi hónapok nem képeznek külön kategóriát, mert az ebben az időszakban keletkező ciklonok részben a késő nyári, részben a kora téli kategóriába tartoznak. A legaktívabb ciklonkeletkezési időszak november és március között zajlik (*Trigo et al.*, 1999).



### 1. ábra - A Földközi-tenger leggyakoribb ciklonkeletkezési központjai

A mediterrán régió legaktívabb ciklonkeletkezési központja a Genovai-öböl. Egész évben keletkeznek itt ciklonok, de a legintenzívebb időszak november és február közé tehető. Tavasszal és nyáron a ciklonok intenzitása és nagysága is kisebb, mint télen, az utóbbi évszakban a legnagyobb az élettartamuk, körülbelül 31 óra. A kialakulás elsődleges oka az Alpok domborzatának köszönhető, enélkül nem vagy csak nagyon gyenge ciklonok alakulnának ki a térségben (*Trigo et al., 1999*). A 2. ábrán a Genovai-öböl térségében képződő ciklon látható.



2. ábra - Mediterrán ciklon a Genovai-öböl felett 2012. október 28-án [1 – EUMETSAT]

A nyugati medencében található ciklonok egy része a Szaharából érkezik. Ezeknek a képződményeknek a kialakulásában fontos szerepet játszik az Atlasz hegység. Előfordulásuk a mediterrán tavasz során, májusban és júniusban domináns, ekkor ugyanis a meridionális hőmérsékleti gradiens kedvezően hat a keletkezési folyamatokra. Gyakori jelenség, hogy ezek a ciklonok porviharokat okoznak, majd a felkavart homokot az áramlatok eljuttatják Dél-Európába, érintve Spanyolország, Franciaország és Olaszország területét. Az észak-afrikai országok, például Egyiptom vagy Líbia területén is gyakoriak a homokviharok (*Trigo et al.*, 2002).

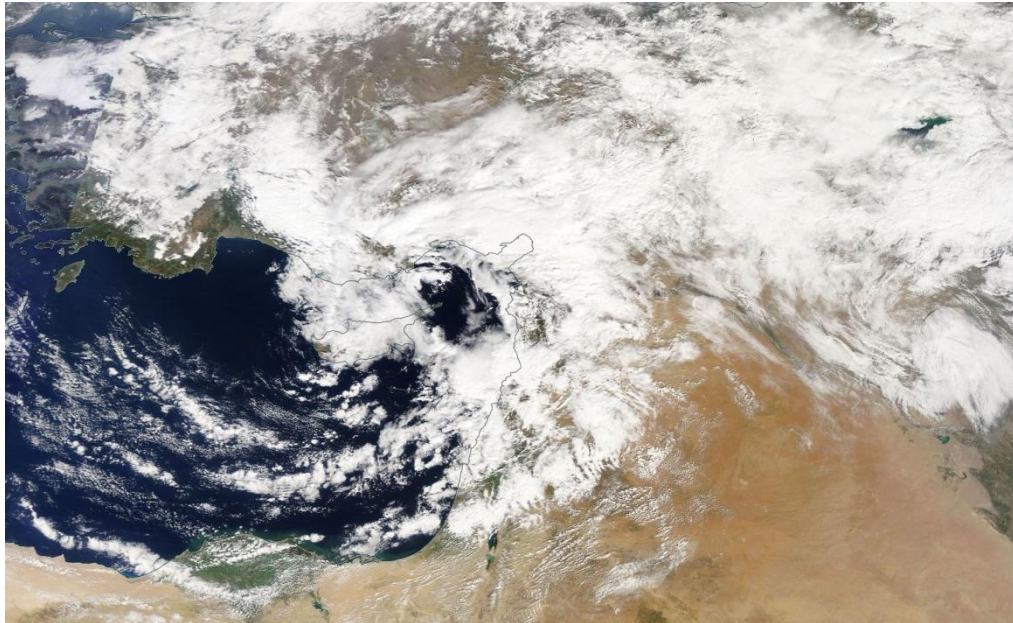
Az Ibériai-félsziget térségében keletkező ciklonok jellemzően késő tavasszal és nyáron, június és augusztus között alakulnak ki. Kialakulásukban szerepet játszik a szárazföld és a tenger közötti hőmérsékletkülönbség. Ezek a ciklonok követik a hőmérséklet napi menetét, maximális intenzitásukat késő délután érik el, kora reggelre legyengülnek (*Trigo et al.*, 1999).

Az Égei-tenger télen aktív ciklonkeletkezési központ a Földközi-tenger keleti részében. Ciklonok kialakulásának kedvező körülmények akkor állnak fenn, amikor a magasban egy teknő kerül a meleg tenger fölé. Az itt kialakuló képződmények keletkezésénél a Balkán-hegységhez kapcsolódó orográfiai hatás nem olyan jelentős, mint az Alpok esetében (*Trigo et al.*, 2002).

A Fekete-tenger térségében gyakrabban alakulnak ki ciklonok, mint az Égei-tengeren, annak ellenére, hogy a két terület nagyon közel helyezkedik el egymáshoz, és a ciklonkeletkezés mindkét térségben hasonló folyamatok eredménye, de mégis külön ciklonkeletkezési területként kezelendők. A Fekete-tenger térsége egész évben aktív vidék, átlagosan hetente keletkezik itt egy ciklon. Július és augusztus között válik különösen jelentős területté (*Trigo et al.*, 2002).

Cipruson és Közel-Keleten leggyakrabban a nyári időszakban, különösen július és augusztus között jellemző a ciklonok kialakulása, ekkor a leghosszabb az életük és a legerősebbek. A Közel-Keleten augusztusban gyakran alakulnak ki olyan viszonylag hosszú életű ciklonok, amelyek akár 52 órán át is fennmaradhatnak. A Ciprus térségében keletkező ciklonok a török Taurus hegység lee oldalán alakulnak ki. Mindkét terület időjárását erősen meghatározza az indiai monszun. A nyári gyakori ciklonkeletkezést a monszun hatására a Perzsa-öbölben kialakuló magassági teknő segíti elő. Ugyanakkor időközönként a monszun hatására erőteljes leáramlás is jellemző a térségben, ami gyakran megakadályozza, hogy kialakuljanak ciklonok a térségben, megmagyarázva a száraz időjárást. Természetesen a ciklonkeletkezés és a leáramlás nem egy időben zajlik (*Trigo et*

al., 1999). A 3. ábrán a Ciprus és a Közel-Kelet térségében kialakuló mediterrán ciklon látható.



**3. ábra - Mediterrán ciklon Ciprus és a Közel-Kelet térségében 2016. március 23-án [2 – NASA]**

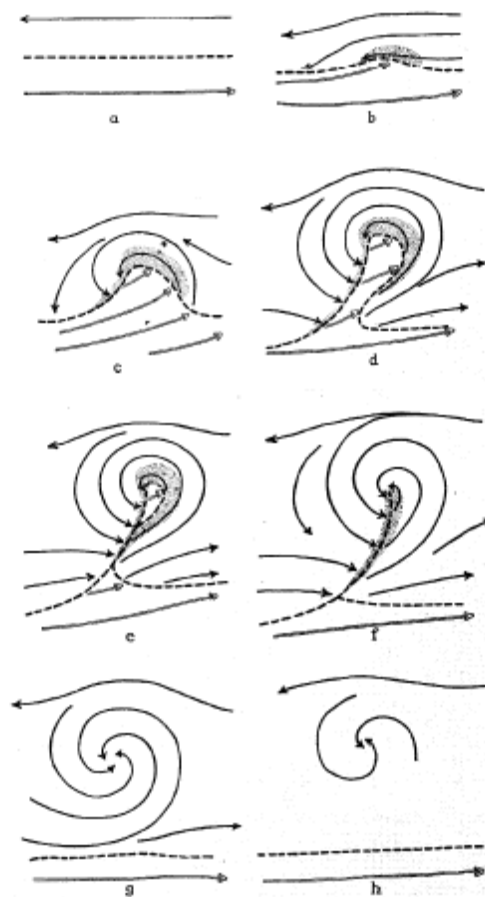
## **2.2. Mediterrán ciklon keletkezéséhez vezető folyamatok**

### **2.2.1. Polárfronti ciklonkeletkezés**

A polárfront-elméletet a XX. században dolgozták ki a norvég bergeni iskola tudósai. A polárfront egy határfelületet alkot a hideg sarkvidéki és a meleg trópusi levegő között. A mérsékelt övi ciklonok kialakulása e határfelület mentén zajlik. A kezdeti fázisban egymással ellentétes irányú és hőmérsékletű áramlás van, amit a majdnem egyenes határfelület választ el, amely mentén egy zavar keletkezik. Ekkor a magas nyomású meleg levegő elkezd északi irányba, az alacsony nyomású hideg levegő déli irányba áramolni, hatására a polárfronton hullám jön létre. Kialakul a hideg és a melegfront, amelyek elválasztják a hideg és meleg légtömegeket. A frontok metszéspontja alkotja a ciklon alacsony nyomású középpontját. E középpont körül ciklonális irányú áramlás alakul ki (az északi félgömbön az óramutató járásával ellentétes irányú a mozgás). A ciklon kelet felé mozgása során a hidegfront gyorsabban mozog, mint a melegfront. Az okklúzió megjelenésekor a két front elkezd összezáródni, a melegszeletor területe fokozatosan csökkenni kezd. Miután a melegszeletor a felszínen szinte teljesen eltűnik, a ciklon egy közel szimmetrikus alakzatot vesz fel, amelyet alacsony szinteken hideg levegő

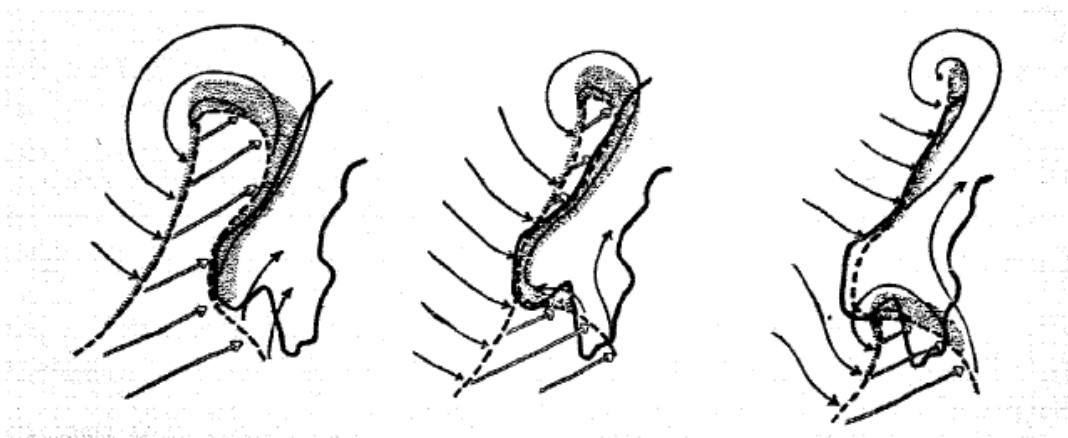
tölt ki. A ciklon születésétől az okklúzió megjelenéséig a középponti légnyomás folyamatosan csökken, az okklúzió után azonban már nem mélyül tovább a ciklon, megáll a fejlődése, de még nem oszlik fel. A haldokló ciklon lassabban mozog, mint egy fejlődő ciklon. A ciklonok az energiájukat az észak-déli irányú hőmérsékletkülönbségből nyerik, a levegő helyzeti energiáját kinetikus energiává alakítják egészen addig, amíg a ciklon nem okkludálódik. A ciklon keletkezéséhez elengedhetetlen feltétel a hideg és a meleg légtömegek találkozása (4. ábra) (Bjerknes és Solberg, 1922; Czelnai, 1983).

A hegyek hatással vannak a ciklonok mozgására. Az északi oldalukon képesek megállítani vagy lelassítani egy front haladását. Az így kialakuló fronthullámból a hegység déli oldalán peremciklonok jöhetnek létre. Ilyen eset gyakran előfordul a Genovai-öbölben, illetve Norvégia partjain (5. ábra) (Bjerknes és Solberg, 1922; Czelnai, 1983).



**4. ábra – A ciklonok élete  
(Bjerknes és Solberg, 1922)**





5. ábra - Hegyek hatására kialakuló másodlagos ciklonok  
(Bjerknes és Solberg, 1922)

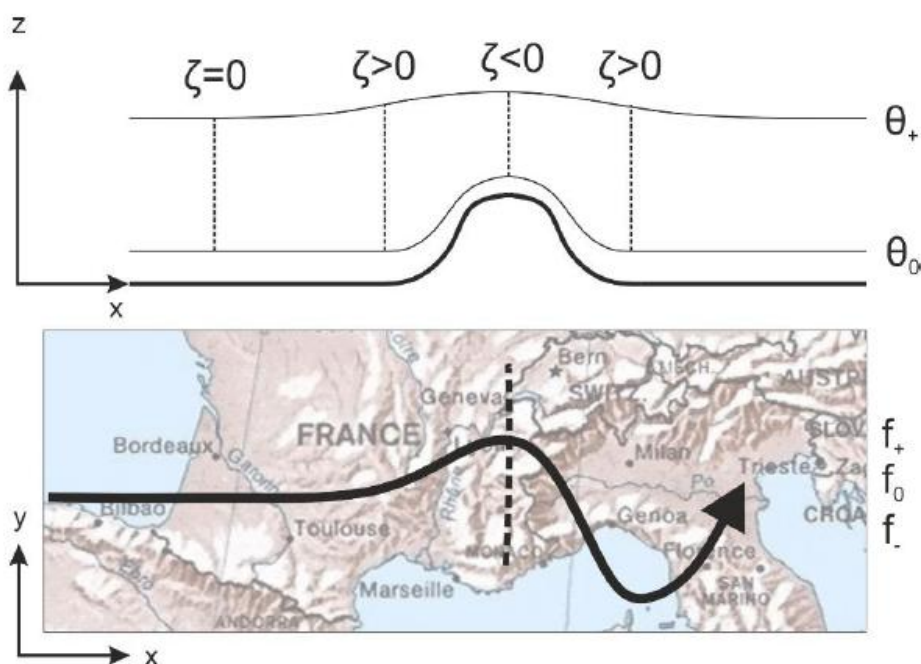
### 2.2.2. Lee ciklogenezis

A domborzat hozzájárulása a ciklonok keletkezéséhez nagyon fontos, ezt a folyamatot lee ciklogenezisnek nevezik. Adiabatus és sűrűdésmentes áramlás esetén a légtömeg potenciális örvényessége ( $PV$ ) állandó:

$$PV = -g(\zeta + f) \frac{\partial \theta}{\partial p} = \text{állandó} \quad (1)$$

ahol  $\theta$  a potenciális hőmérséklet,  $\zeta$  a relatív örvényesség az izentrópok mentén,  $f$  a planetáris örvényesség,  $PV$  a potenciális örvényesség,  $g$  a nehézségi gyorsulás. Az északi félgömbön, amikor egy zonális áramlás eléri egy észak-déli irányú hegység vonulatait, akkor a relatív örvényesség nulla. Az áramlás  $\theta_1$  és  $\theta_2$  potenciális hőmérsékletű felületek között mozog. A hegy luv oldalát elérve a réteg vastagsága két izentróp között nő, így a légoszlop kitágul. Ez a hatás pozitív relatív örvényességet generál, és az áramlás balra, észak felé tér el. Az észak felé haladó áramlásban nő a planetáris örvényesség értéke, amely csökkenti a relatív örvényességben korábban bekövetkezett pozitív változást. A hegység felett a két izentróp között a rétegvastagság csökken. Ez negatív relatív örvényességet generál. A megnövekedett planetáris örvényesség tovább növeli a negatív változást a relatív örvényességben. Ennek eredményeként az áramlás délkelet felé térül, és a hegységre aszimmetrikussá válik. A hegység lee oldalán újra nő a rétegvastagság a két izentróp között és csökken a planetáris örvényesség. Miután az áramlás átjutott a hegyen, és elég távol kerül tőle, hogy visszanyerje eredeti vastagságát, az eredeti szélességi fokánál délebbre helyezkedik el, és a létrejövő ciklonális forgás a planetáris örvényesség

alacsonyabb értékének kompenzálására szolgál. A folyamat hatására egy teknő jön létre az északi-déli hegyvidék lee oldalán, a zonális áramlás eredeti szélességétől délebbre. A ciklonális forgás az áramlást északkelet felé fordítja, és egy meridionális hullám alakul ki (6. ábra). Ez a folyamat magyarázza, hogy az orográfia hogyan generál Rossby-hullámokat (Holton and Hakim, 2012; Breuer et al., 2016).



**6. ábra - Lee ciklogenezis mechanizmusa topográfiai gát mentén egy nyugatias áramlás esetén (felső) és egy tipikus elhelyezkedése ennek a folyamatnak (alsó), ahol  $\theta$  a potenciális hőmérséklet,  $\zeta$  a relatív örvényesség és  $f$  a planetáris örvényesség (Breuer et al., 2016)**

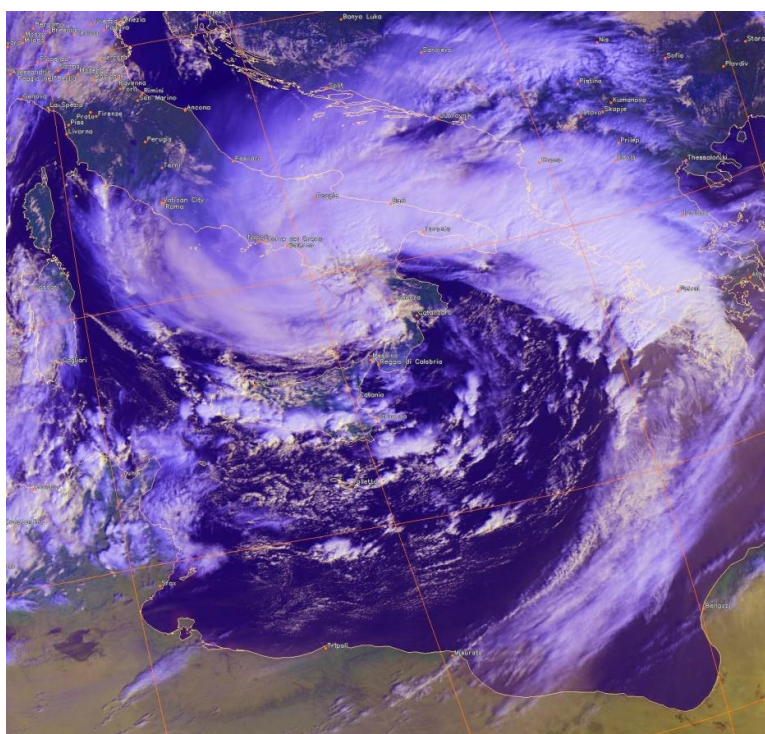
### 2.3. Ciklonok gyakorisága

A ciklonok osztályozásának egyik szempontja, hogy milyen a bennük kialakuló középponti légnyomás. Ez alapján három kategóriába sorolhatóak. Az 1015-1005 hPa közötti nyomás esetén gyenge ciklonról, 1005-995 hPa közötti nyomás mellett mérsékelt ciklonról és 995 hPa alatti nyomás esetén erős ciklonról beszélünk. A ciklonok kialakulása évszakos és területi változékonyságot mutat. A Földközi-tenger nyugati területén gyakrabban alakulnak ki ciklonok, leginkább a téli időszakban (Maheras et al., 2001).

A Genovai-öbölben kialakuló ciklonok egész évben gyakoriak, a keletkezés szempontjából fontos szerepe van az orografikus hatásnak. Az erős ciklonok száma különösen magas télen, ritkábban jelennek meg tavasszal és ősszel, míg nyáron szinte

teljesen eltűnnek (*Maheras et al.*, 2001). A mérsékelt erősségű ciklonok gyakrabban fordulnak elő a téli időszakban, mint a többi évszakban. A gyenge erősségű képződmények száma nyáron a legnagyobb, télen a legkisebb.

Dél-Olaszország térségében gyakran alakulnak ki mérsékelt és erős ciklonok a téli időszakban, de nyáron alakul ki több képződmény, amelyek többnyire gyenge erősségű ciklonok. Tavasszal és ősszel csökken a mérsékelt és intenzív erősségű képződmények kialakulásának a gyakorisága. A 7. ábrán Dél-Olaszország területén kialakuló mediterrán ciklon látható.



**7. ábra - Mediterrán ciklon 2009. március 6-án az olasz partok mellett [3 – EUMETSAT]**

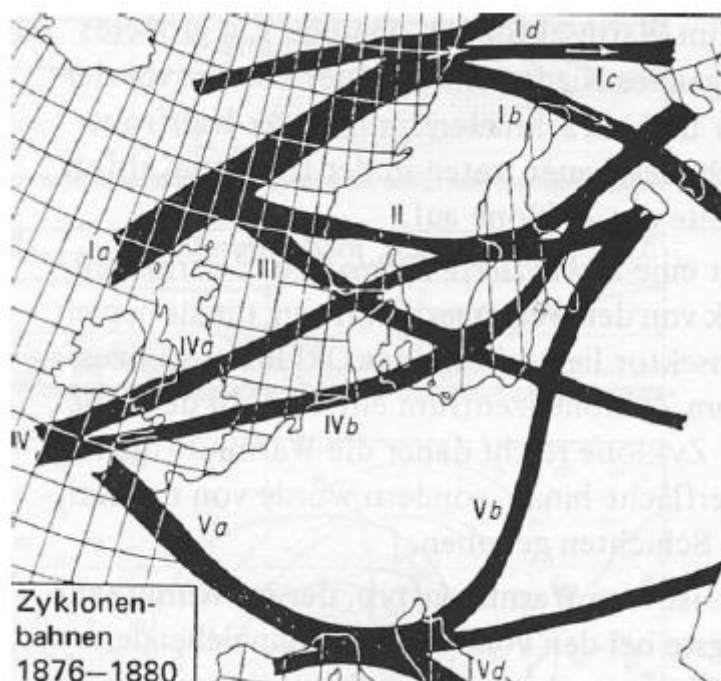
Az Égei-tenger télen fontos kialakulási régió, sok mérsékelt erősségű ciklon alakul ki az éjszaka folyamán, amikor a levegő-tenger hőmérsékleti kontraszt a legnagyobb. Nyáron jelentősen csökken a számuk, mert ekkor kevés ciklonpálya érinti a területet, és hangsúlyossá válik a szubtrópusi magasnyomású területek kiterjedése. Az év nagy részében gyenge erősségű képződmények alakulnak ki (*Maheras et al.*, 2001).

Tavasszal és nyáron nő a ciklon kialakulás gyakorisága a szaharai térségben. Nyáron nagy a hőmérsékleti kontraszt a forró sivatagi levegő és a sokkal hidegebb tengeri levegő között, ekkor nagy számban fordulnak elő gyenge és mérsékelt erősségű ciklonok. Ősszel a mérsékelt ciklonok alig jelennek meg, a gyenge ciklonoknak a száma továbbra is magas. Erős ciklonok nagyon ritkán fordulnak elő a térségben (*Maheras et al.*, 2001).

Ciprus területén nagy számban fordulnak elő mérsékelt erősségű ciklonok a téli, a nyári és tavaszi időszakban. A gyenge erősségű képződmények gyakorisága meglehetősen magas egész évben, de kiemelkedőnek számít az őszi és a nyári időszak (*Maheras et al.*, 2001).

## 2.4. Ciklonpályák

Az európai ciklonpályák legismertebb felosztása van Bebbber nevéhez fűződik, aki 1891-ben publikálta a művét. 1875 és 1890 között vizsgálta a ciklonok pályáit, amely során 5 fő útvonalat állapított meg, I-V-ig számozta őket. Az I-IV pálya a Brit-szigeteket, az Észak-Atlanti-óceán keleti részét, az Északi-tengert és a Balti-tengert érinti. A V pálya délebbre helyezkedik el, Nyugat-Európától a Földközi-tengerig tart, érintve Észak-Afrika, a Balkán és a Földközi-tenger keleti területeit (8. ábra). A V-vel jelölt pályák közül fontos szerepe van a Vb-vel jelölt útvonalnak, ami a Genovai-öbölben kialakuló ciklonok útvonalát jelöli ki, amelyek érintik a Közép-Európai területeket, gyakran okozva szélsőséges időjárási eseményeket (*Apostol*, 2008; *Kreienkamp et al.*, 2010).



8. ábra - Van Bebbber ciklonpályák (*Kreienkamp et al.*,2010)

*Alpert et al.* (1990) az 1980-as években ECMWF adatok alapján 1982 novembere és 1987 decembere között vizsgálta a Földközi-tenger térségében kialakuló mediterrán ciklonokat. Kutatásai során megállapította, hogy a ciklonpályák évszakos és területi eltérést mutatnak. Ennek az egyik legfontosabb oka a tenger és szárazföld hőmérsékletkülönbségének folyamatos változása az év során, amely összefüggésben áll a Földközi-tengert körülvevő különböző domborzati formákkal.

Télen a ciklonpályák általában a Földközi-tenger északi részén helyezkednek el, a pályák között kisebb eltérések vannak, de nem ugyanazon az útvonalon hagyják el a medencét. Decemberben a keleti területen lévő ciklonok többsége délkeleti irányba távozik, csak nagyon kevés ciklon jut el a Fekete-tengerhez vagy az Égei-tengerhez. Az utóbbi útvonal viszont februárban meghatározóvá válik, hiszen ekkor a legtöbb ciklon a Fekete-tenger felé távozik (*Alpert et al.*, 1990). Egy másik ciklonpálya is jellemző ebben a hónapban. Az Olaszország térségében lévő ciklonok északkeleti irányban haladnak a kontinens felé. Az Észak-Afrikában keletkező ciklonok télen északkeleti irányba indulnak el a Földközi-tenger nyugati medencéje felé, míg februárban keletesebb irányban haladnak az észak-afrikai partok mentén (*Alpert et al.*, 1990).

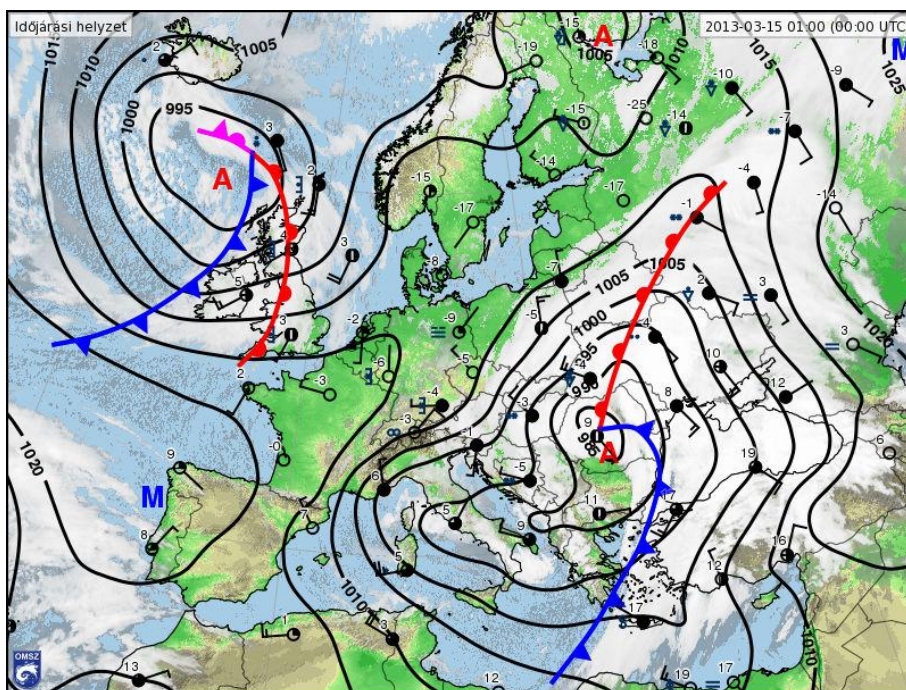
Tavasszal sokkal változatosabb útvonalakon haladnak a ciklonok, mint télen. Ekkor gyakrabban haladnak el az afrikai partok mentén. Az Atlasz lee oldalán keletkező ciklonok márciusban elsősorban kelet felé mozognak, áprilisban némileg módosul a pályájuk, ekkor északkeleti irányban haladnak tovább. Májusban északkeleti irányban jutnak el a medence nyugati része felé (*Alpert et al.*, 1990).

Nyáron tapasztalható a legkisebb változékonyság a pályákat illetően. Júniusban kevés az olyan pálya, amikor a ciklonok nyugati területek felől a keleti területek felé haladnak. Közép-Európa és Észak-Afrika felé tartó útvonalakból is kevés van. Szinte nincs is olyan pálya, amely érintené az Égei-tengert. Nyáron a keleti medencében és Afrika északi területein szubtrópusi hatások érvényesülnek, az itt kialakuló ciklonok sekélyek és általában nem nagyon vándorolnak el. Az Alpok térségében kialakuló ciklonok a Pó-síkság, illetve a Kárpát-medence irányában hagyják el a térséget (*Alpert et al.*, 1990).

Szeptemberben a szubtrópusi hatás csökken a medence középső és keleti felében. A keleti területeken lévő ciklonok októberben kelet felé haladnak tovább. A nyugati medencében nyáron gyakori északkeleties pályák ősze szinte teljesen eltűnnek. Novemberben gyakran haladnak a ciklonok tenger feletti útvonalakon, és jelentőssé válnak az Égei-tenger felől induló északkeleties pályák (*Alpert et al.*, 1990).

## 2.5. Mediterrán ciklonok hatása Magyarország időjárására

A mediterrán ciklonok a Földközi-tengertől távolabbi területekre is eljuthatnak. Hatással vannak Magyarországra, Románia, Ukrajna, Oroszország, valamint az ázsiai területek, mint például Szíria, Irak, Irán, Afganisztán és Észak-India időjárására is (Lionello *et al.*, 2006b). Hazánk területét évente megközelítőleg 30 mediterrán ciklon érinti, leggyakrabban tavasszal és ősszel (Kelemen *et al.*, 2015). Ezek a ciklonok gyakran együtt járnak intenzív csapadéktevékenységgel, amelyek árvízhelyzetet okozhatnak, de más szélsőséges események is köthetők hozzájuk, mint például a 2013. március 15-ei eset (9. ábra). Ekkor a havazás, a viharos szél és a hófúvások komoly problémát okoztak az egész ország területén. A hazánkat elérő ciklonok általában a Földközi-tenger nyugati medencéjéből származnak, a keleti területeken keletkező ciklonok nem érik el Magyarországot (Bartholy *et al.*, 2009). A mediterrán ciklonok hozzájárulása az ország éves csapadékmennyiségéhez körülbelül 13-18%. A tavaszi és őszi hónapokban ez a hozzájárulás körülbelül 35%, a nyári és téli időszakban 20% alatti az érték (Bottyán, 2015).



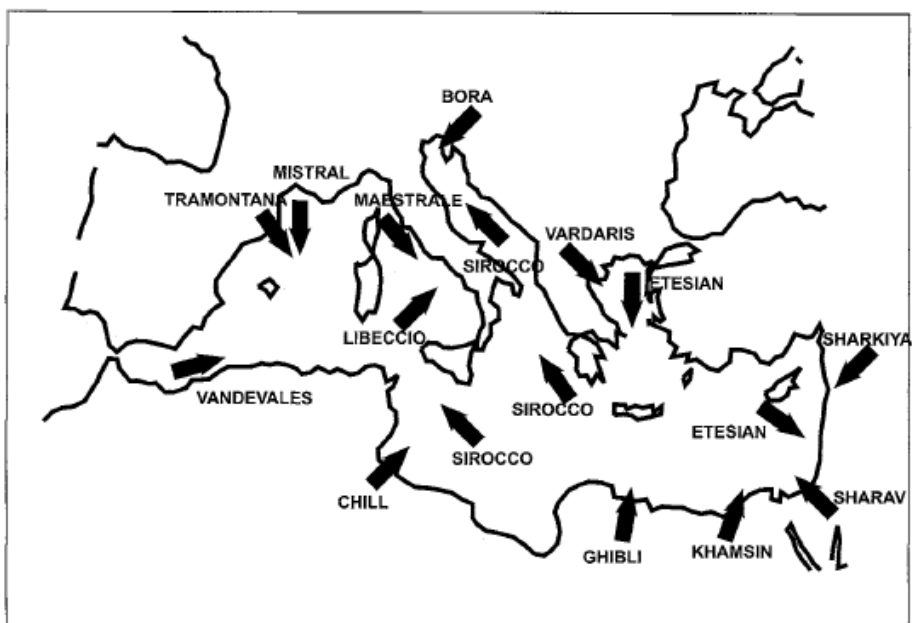
9. ábra - Időjárési helyzet Európában és hazánk időjárását meghatározó mediterrán ciklon 2013. március 15-én [4 – met.hu]

### 3. Mediterrán ciklonokhoz kapcsolódó jelenségek

#### 3.1. Szelek

A mediterrán térségben a változatos domborzati viszonyoknak és a különböző erősségű ciklonoknak köszönhetően területenként eltérő tulajdonsággal rendelkező szelek alakultak ki. Ilyen jellegzetes helyi szelek a Misztrál, a Tramontana, a Sirocco, az Etesian, a Bora, a Khamsin vagy a Sharav, amelyek területi elhelyezkedését a 10. ábra mutatja be.

A Földközi-tenger legerősebb szele az Oroszlán-öbölben alakul ki, amit Misztrálnak hívnak. Keletkezése összefüggésben áll a közelben kialakuló Genovai-ciklon gyakoriságával és intenzitásával. Az Adriai-tenger jellegzetes szele a Sirocco, amely akkor alakul ki, amikor Olaszország felett vagy tőle nyugatra egy alacsony nyomású rendszer helyezkedik el. A szél erősségét az Appenninek és a Dinári-hegység erősen befolyásolja. Erős mediterrán ciklonok gyakran összefüggésben állnak a nagy erejű szelekkel. Ilyen szelek az afrikai sivatagban meleg levegőt szállító szelek, a Tirrén-tengeren kialakuló Libeccio és a Közel-Kelet keleties szelei. Ezeknek a szeleknek a sebessége gyakran meghaladja a 35 m/s-ot. Az Égei-tenger jellegzetes szele az Etesian, amely akkor alakul ki, amikor egy anticiklon helyezkedik el a Balkán-félsziget vagy Európa középső része felett, míg a keleti területeken egy alacsony nyomású rendszer uralkodik. A szél erősítésében fontos szerepet játszik, ha egy teknő helyezkedik el a térség felett, vagy az Égei-tenger és a szárazföld közötti hőmérséklet-különbség kedvezően alakul (*Lionello et al., 2006b*).



10. ábra - A Földközi-tenger térségében fújó helyi szelek (*Lionello et al., 2006a*)

## 3.2. Csapadék

A Földközi-tenger vidékén hulló csapadék nagy része a mediterrán ciklonokból származik. A csapadék eloszlásában fontos szerepe van annak, hogy milyen a tenger hőmérséklete, milyen a ciklonok erőssége és milyen hatást gyakorolnak a hegyek a ciklonok életére. A mediterrán képződmények gyakran járnak együtt nagy csapadékot okozó mezoskálájú konvektív jelenségekkel. Az esős időszak október és március közé tehető, de a legtöbb csapadék novemberben és decemberben hullik. A legtöbb csapadék a hegyvidéki területeken, a legkevesebb az észak-afrikai partok mentén hullik (*Lionello et al.*, 2006b; *Mehta and Yang*, 2008). A nyugati medencében hulló éves csapadék 95%-a a mediterrán ciklonokból ered. Portugália területének csapadékos időjárásának alakításában leginkább az Atlanti-óceán felől érkező ciklonok játszanak szerepet, Olaszország térségében mindkét ciklonfajta hatása érvényesül, de a csapadék nagy része a mediterrán ciklonokból ered. A heves esőzések komoly problémát jelentenek a nyugati és középső területeken, ezeknek az intenzitása kapcsolatban állhat a tengervíz emelkedő hőmérsékletével (*Lionello et al.*, 2006b).

## 3.3. A szaharai homok transzportja

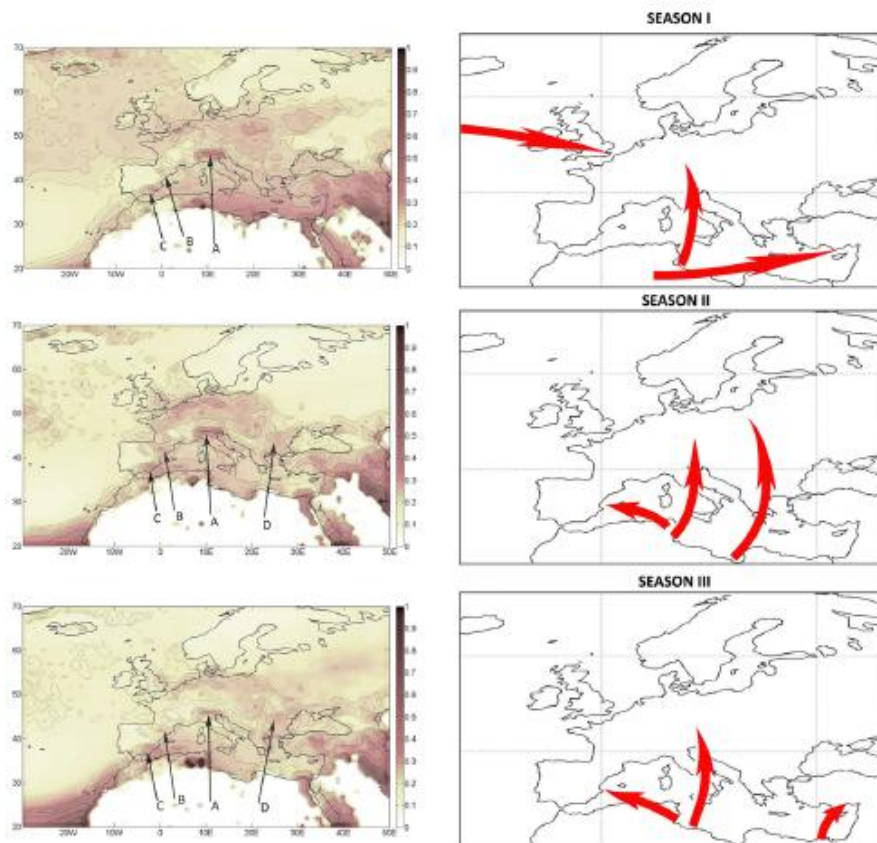
A Földközi-tenger vidékén gyakran előfordul, hogy a Szahara területéről homok érkezik a térségbe. Ennek egyik elsődleges oka az Észak-Afrika területén kialakuló ciklonokhoz kapcsolódik. Akkor alakul ki portranszportnak kedvező helyzet, amikor az Atlasz területén egy alacsonynyomású rendszer, Líbia területén egy magasnyomású rendszer helyezkedik el, ez utóbbi megakadályozza, hogy a ciklonok kelet felé mozogjanak tovább. A két rendszer között erős déli, délnyugatis szél alakul ki, ami lehetővé teszi, hogy a Szaharából sivatagi homok jusson el Európa különböző területeire. Ez a helyzet leginkább tavasszal és nyáron van jelen, amikor leggyakrabban alakulnak ki ciklonok az Atlasz hegység déli oldalán (*Trigo et al.*, 2006).

A légköri aeroszolok tömegének körülbelül 40%-át a sivatagi homok alkotja globális szinten, legnagyobb forrásterületnek a Szahara számít, ahonnan mintegy 600 millió tonna sivatagi por jut a légkörbe (*Mona et al.*, 2006). Két fontos dolog van, ami meghatározza, hogy a homok a légkörbe jusson: a talaj szerkezete és a szél erőssége. Általában 6 m/s-os szélsébség kell ahhoz, hogy a 60 µm-nél kisebb részecskék a légkörbe jussanak (*Nagy*, 2009; *Góth*, 2015). A sivatagi por alkotta aeroszolok

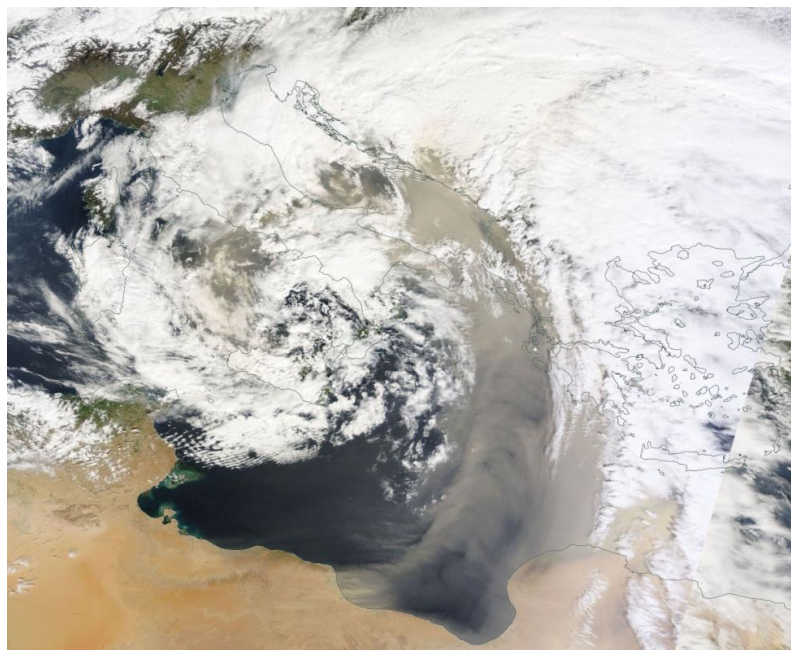


befolyásolják a légkörben a napsugárzás visszaverődését és elnyelődését, illetve a csapadék- és felhőképződést.

*Israelevich et al.*, (2012) egy 10 éves időszak (2001-2010) vizsgálta során a NASA Terra és Aqua műholdjainak felhasználásával megállapította, melyek a jellegzetes útvonalak és időszakok, amikor a Szahara területéről homok érkezik Európa különböző részeire. Három fő időszakot figyelt meg, amikor gyakoriak ezek a jelenségek: március-május (1. időszak), június-július (2. időszak) és augusztus-szeptember (3. időszak). Megállapították, hogy az 1. időszakban Európa egész területére juthat por, de ennek a koncentrációja nyugaton a legalacsonyabb, keleten a legmagasabb. A 2. időszakban elsősorban Közép-Európa területén tapasztaltak poros eseteket. A 3. időszakban Európa keleti részein mértek magas sivatagi por-koncentrációt. A legnagyobb por-koncentráció Észak-Olaszországban (A), Pireneusoktól délkeletre (B), Sierra Nevada-tól keletre (C) és Rila-Hegységtől délre (D) figyeltek meg (11. ábra). Ezekben a területeken a magas koncentráció oka, hogy a délies áramlással érkező sivatagi homokkal teli levegő a hegyek hatására feldúsul és lerakódik. Észak-Olaszországban a magas por-koncentráció mellett a Pó-völgyében zajló ipari tevékenységek miatt a szálló por koncentrációja is igen magas az egész év során (*Israelevich et al.*, 2012). Hazánk területére leggyakrabban a Szahara középső területeiről érkezik a por nagy része, késő ősztől a kora tavaszi hónapokig (*Góth*, 2015). A 12. ábrán egy mediterrán ciklon által okozott portranszport látható.



**11. ábra - Szaharai porkoncentráció területi eloszlása a 3 időszak során (bal), jellemző útvonalak a 3 időszakban (jobb) (Israelevich et al., 2012)**



**12. ábra - Mediterrán ciklon által okozott portranszport 2016. március 23-án [2 – NASA]**

### 3.4. Egyéb jelenségek

A Földközi-tenger vidékén a mediterrán ciklonok hatására különböző időjárási események is előfordulnak. A ciklonok gyakorisága, intenzitása, a tenger és a közvetlen környezete együttesen határozzák meg ezeket az eseményeket.

Viharhullám vagy vihardagály a szél és a légnyomás kölcsönhatása révén jön létre a tenger felszínén. Az alacsony nyomású örvény alatt a tenger vízszintje megemelkedik, eközben a szél párhuzamosan fúj a partvonallal, ami a széliránytól függően csökkentheti vagy növelheti a tengerparti vízszintet. Ez a hatás sekély vízben jobban érvényesül. Velence van leginkább kitéve ennek az eseménynek, mert ha Közép-Európa vagy Észak-Olaszország területén egy ciklon helyezkedik el, hatására megerősödik az Adriai-tengeren fújó Sirocco, ami vihardagályt okozhat ezen a területen.

A hullámokhoz kapcsolódó károkért az erős ciklonok felelősek, amelyek nagy szeleket generálnak. Ebben a tekintetben a vihardagályokkal közös a kialakulásuk oka. A hullámok méretét meghatározza a szélesség és időtartama, a vízmélység és a vízfelszín szélirányra merőleges kiterjedése. Előfordulnak 5-7 méter magas hullámok is. Az Atlanti-óceánon keletkező hullámok jellemzően nagyobbak és tovább fennmaradnak, mint a mediterrán térségben létrejövő hullámok. Legmagasabb hullámok a Földközi-tenger nyugati részén, illetve a Jón-tenger felett alakulnak ki, melynek oka a genovai ciklon hatására megerősödő Misztrál. Nyáron a hullámmagasság az egész medencében kicsi, kivételt képez az Égei-tenger, ahol a nagy hullámokért az erősen fújó Etesztian felelős.

Földcsuszamlások a heves esőzések hatására alakulnak ki ott, ahol a talaj túl vékonyra válik, nem bírja el a rá nehezedő súlyt, megcsúszik, és nagy sebességgel zuhan alá a mélybe, nagy pusztítást végezve. Elsősorban a hosszú életű és a tartós csapadékkal járó ciklonok a felelősek az ilyen eseményekért szerte a világon. A Földközi-tenger nyugati medencéjében, Portugália, Franciaország és Olaszország területén leggyakoribbak a csuszamlások, gyakran súlyos anyagi károkat okoznak (*Lionello et al.*, 2006b).

## **4. A mediterrán ciklonok kapcsolata a különböző cirkulációs rendszerekkel**

A mediterrán régió időjárásának kialakulásában fontos szerepe van a különböző cirkulációs rendszereknek. Ezek a rendszerek az Észak-atlanti oszcilláció (North Atlantic Oscillation, NAO), az Arktikus oszcilláció (Arctic Oscillation, AO), a Kelet-atlanti/nyugatoszországi rendszer (East Atlantic/Western Russia pattern, EA/WR) és a Skandináv rendszer (Scandinavia pattern, SCAND). Ezeknek a rendszereknek a hatása elsősorban Európa téli időjárásának alakulásában fontos. A Földközi-tenger keleti részének időjárásában az indiai monszonnak is fontos szerepe van.

### **4.1. Észak-atlanti oszcilláció (North Atlantic Oscillation, NAO)**

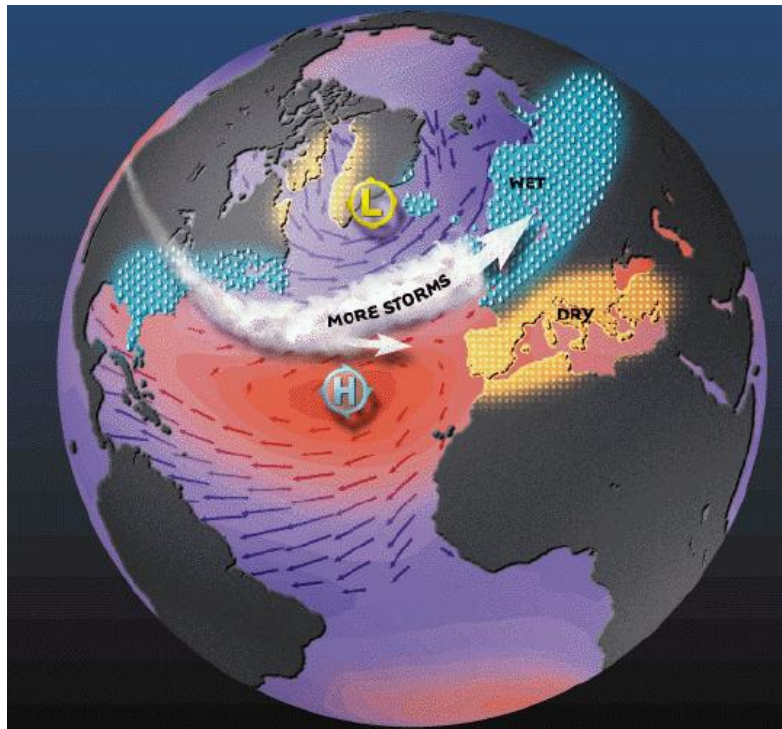
A NAO az egyik legfontosabb cirkulációs rendszer, ami befolyásolja az észak-atlanti térség időjárását, ezen belül pedig hatással van a mediterrán térség éghajlatára is. A NAO utal az észak-déli légtömegek kicserélődésére az Atlanti-óceán szubtrópusi része és a sarkvidéki területek között. Definíciója szerint az Izland térségében lévő alacsony nyomású rendszerek és az Azori-szigetek területén lévő magasnyomású rendszerek közti nyomáskülönbség váltakozását fejezi ki. Bár egész évben jelen van ez a cirkulációs minta, leginkább a téli időszakban érvényesül a hatása, amikor a legdinamikusabb a légkör. Elsősorban a csapadék eloszlását befolyásolja. Mérésére a NAO indexet használják, amely az északi és déli központ közti légnyomáskülönbség számításán alapul, ezek alapján megkülönböztetünk pozitív és negatív fázist. A NAO különböző fázisai hatással vannak a hó és nedvességszállítási folyamatokra az Atlanti-óceán és a környező kontinensek között, befolyásolja a ciklonok pályáját, intenzitását, gyakoriságát és a hozzájuk kapcsolódó időjárást. Tovább befolyásolja az óceánok hőmérsékletét és áramlási rendszerét, még a jégtakarók kiterjedésére is hat (*Stenseth et al.*, 2003).

A NAO pozitív fázisa során a szokásosnál magasabb nyomás uralkodik az Azori-szigetekenél lévő anticiklonban, ugyanekkor az Izland térségében lévő ciklonális rendszernél a megszokottnál alacsonyabb nyomás tapasztalható. Ekkor a két terület között erős nyomási gradiens alakul ki, amelynek hatására megerősödik a nyugati áramlás, meleg és nedves légtömegeket szállítva Európába. A ciklonok pályája eltolódik az északi területek felé, hatására erős ciklontevékenység tapasztalható Dél-Grönlandtól Izlandon át Észak-Európáig, miközben Dél-Európában csökken a ciklonaktivitás. Európa, Eurázsia és Észak-

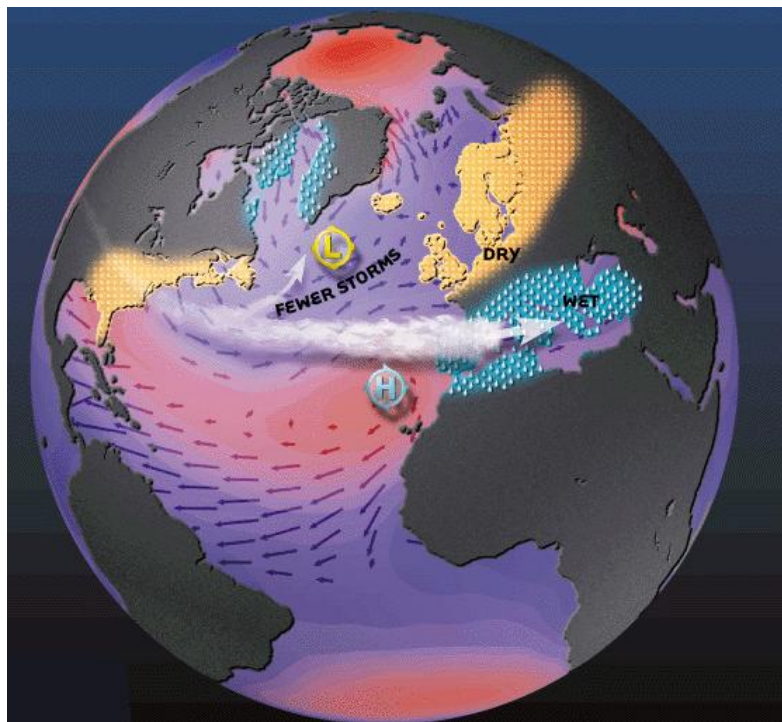
Amerika területén melegedés, Észak-Afrikában és a Közel-Keleten lehűlés tapasztalható. Az átlagosnál szárazabb körülmények érvényesülnek Grönland és Kanada sarkvidéki területein, valamint Közép- és Dél-Európában, a Földközi-tengeren és a Közel-Keleten. Ezzel szemben több csapadék hullik Izlandon és a skandináv országokban (13. ábra) (*Stenseth et al.*, 2003). Pozitív NAO fázis során többnyire zonális áramlások alakítják Európa időjárását, emiatt a sarkvidéki és szubtrópusi légtömegek hatása kisebb (*Zsilinszki*, 2014).

Negatív NAO fázis esetén ellentétes körülmények tapasztalhatóak. Ekkor az átlagosnál magasabb nyomás miatt az izlandi ciklon gyengül, az azori anticiklonban nyomáscsökkenés tapasztalható, a két terület között kisebb lesz a nyomási gradiens, eredményezve a nyugatias áramlás gyengülését. A ciklonok Európa déli részét érintik, melegebb és csapadékosabb időjárást eredményezve. Észak-Európa időjárása szárazabbá és hidegebbé válik (14. ábra) (*Stenseth et al.*, 2003). Negatív NAO fázis során a gyengülő nyomási gradiens miatt gyakrabban alakulnak ki meridionális helyzetek, ezáltal a sarki és szubtrópusi légtömegek szerepe jelentősen megnő. Ez a helyzet kedvezően hat a mediterrán ciklonok kialakulására (*Zsilinszki*, 2014).

A NAO pozitív fázisakor télen a mediterrán térség északi részén melegebb és szárazabb, a déli részén hidegebb és csapadékosabb az időjárás. Negatív fáziskor északon hidegebb és csapadékosabb, délen melegebb és szárazabb az időjárás (*Xoplaki*, 2002). A NAO negatív szakasza során nő a ciklonaktivitás elsősorban a Földközi-tenger nyugati részén. Ez a növekedés a Genovai-öböl területén a legerősebb, átlagosan 9-cel több ciklon alakul ki a téli idényben a NAO negatív szakaszában a pozitív fázishoz képest. A pozitív NAO index esetén a mediterrán térség nyugati részén az Atlanti-óceán felől érkező kevesebb ciklon éri el a területet, miközben a medence délkeleti részén, Izrael területén több ciklon alakul ki (*Nissen et al.*, 2010).



13. ábra NAO pozitív fázisa [5 – ldeo.columbia.edu]

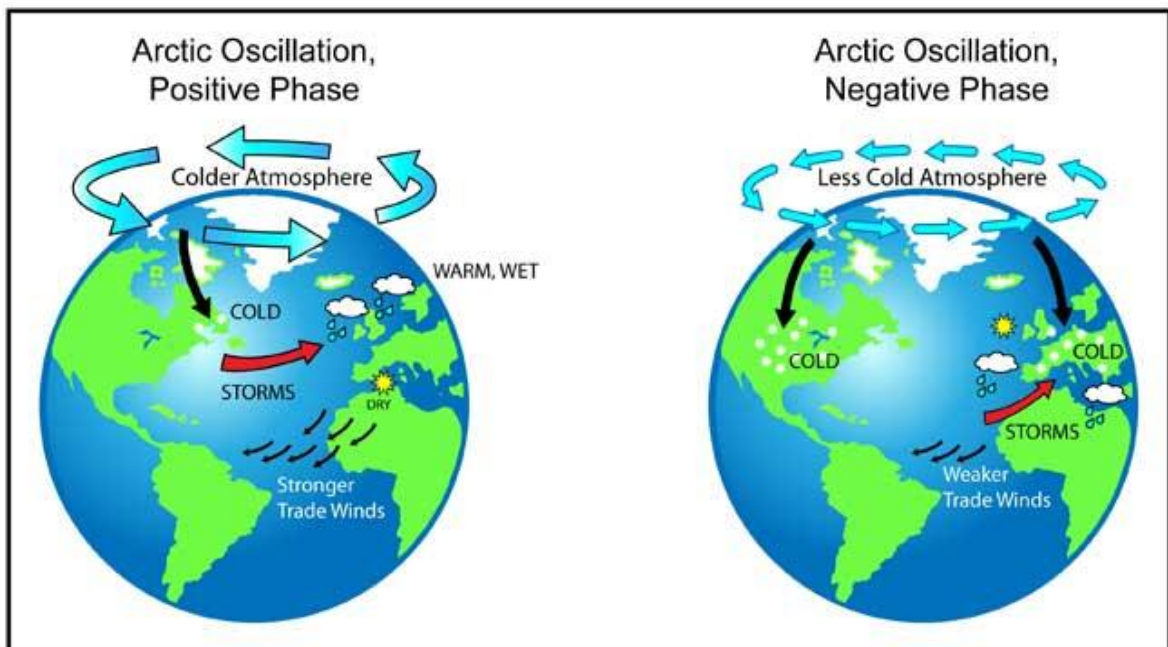


14. ábra - NAO negatív fázisa [5 – ldeo.columbia.edu]

## 4.2. Arktikus oszcilláció (Arctic Oscillation, AO)

Az Arktikus Oszcilláció az északi szélesség 37°-45° és a sarkvidéki területek közötti légnyomáskülönbségen alapul. Térbeli szerkezete hasonlít a NAO-hoz, de az AO zonálisan szimmetrikusabb. Pozitív fázis során alacsony légnyomás uralkodik a sarkvidéken, hatására megerősödik a poláris jet, ami gyűrűként körbeöleli a hideg légtömegeket, megakadályozva, hogy azok lejussanak Európába. Ennek következményeként a hideg levegő egyre jobban felhalmozódik a sarki területeken. Ekkor Európában enyhe időjárás tapasztalható. Az AO negatív fázisa során a sarkvidéki területeken az átlagosnál magasabb lesz a légnyomás, ezzel szemben a közepes szélességeken az átlagosnál alacsonyabb, a poláris jet meggyengül, elkezd meanderezni, hidegbetöréseket eredményezve Európában (15. ábra).

Az AO pozitív fázisa során a mediterrán területeken hideg és száraz az idő, negatív fáziskor meleg és csapadékos. A téli időszakban pozitív (negatív) AO index esetén a Földközi-tenger északi részén melegebb (hidegebb) és szárazabb (nedvesebb) körülmények alakulnak ki, és hűvösebb (melegebb) és nedvesebb (szárazabb) idő a déli területeken. Az AO befolyása a csapadék tekintetében inkább a Balkánt, a Fekete-tenger térségét és Törökország területét érinti (Ambaum et al., 2001; Xoplaki, 2002).



15. ábra - AO pozitív (bal) és negatív (jobb) fázisa  
[6 – NASA]

### **4.3. Kelet-atlanti/nyugat-oroszországi rendszer (East Atlantic/Western Russia pattern, EA/WR)**

Az EA/WR rendszer a NAO mellett a másik legfontosabb cirkulációs rendszer, ami hatással van Európa és Ázsia időjárására. Ez a rendszer minden hónapban kimutatható, kivéve a júniustól augusztusig tartó időszakban. Télen két fő anomália központ különíthető el, az egyik a Kaszpi-tenger területén, a másik Nyugat-Európában található. Tavasszal és ősszel 3 nyomásközpont figyelhető meg. Két, egymással ellentétes előjelű központ található Nyugat-, Északnyugat-Oroszországban és Nyugat-Európában, a harmadik központ, ami ugyanolyan előjelű, mint az oroszországi, tavasszal a portugál partok mentén, ősszel Új-Fundland területén található (*Xoplaki, 2002*). Pozitív fázisban jellemző az alacsony nyomás egész nyugat és délnyugat Oroszország területén és magas nyomás Északnyugat-Európában. Negatív EA/WR fázis során magas nyomás tapasztalható a Kaszpi-tenger és Nyugat-Oroszország területén és alacsony nyomás Északnyugat-Európában (*Krichak and Alpert, 2005*).

Az EA/WR fázisai befolyásolják a ciklonok számát és a csapadék eloszlását a Földközi-tenger térségében. A negatív (pozitív) EA/WR fázis során, csapadékosabb (szárazabb) időjárási körülmények figyelhető meg a Földközi-tenger nagy részén. A mediterrán térség keleti területeinek csapadékos helyzeteit befolyásolja, hogy milyen nyomásközpont található a Kaszpi-tengeren és Nyugat-Európában. Pozitív (negatív) EA/WR fázisok során csapadékos (száraz) téli hónapok jellemzik a keleti területeket (*Krichak and Alpert, 2005*). A ciklonok száma az észak-mediterrán területeken csökken az EA/WR pozitív fáziskor, a legerősebb csökkenése Közép-Olaszországban és az Adriai-tenger mentén figyelhető meg, átlagosan 6 ciklon fordul elő a téli szezonban. Ezzel szemben a Közel-Keletet több ciklon érinti a pozitív fáziskor (*Nissen et al., 2010*).

### **4.4. Skandináv rendszer (Scandinavia pattern, SCAND)**

A SCAND fontos cirkulációs rendszer, amelynek központja Skandináviában és a Jeges-tenger észak-szibériai részén található. Két további, ellenkező előjelű, gyengébb központ helyezkedik el Nyugat-Európában és Mongólia, Nyugat-Kína területén. Egész évben jelen van ez a rendszer, kivételt képez a június és július. Ennek a rendszernek a pozitív fázisa magasnyomású anomáliákkal társul a Skandináv területeken és Nyugat-Oroszországban, miközben az Ibériai-félszigeten és Északnyugat-Afrikában egy alacsony



nyomású anomália található. A pozitív fázis néha egy jelentős blokkoló anticiklonnal társul, ami gátolja a ciklonok beérkezését Európába.

Az egész mediterrán térség téli csapadékeloszlása jelentős összefüggést mutat a SCAND rendszerrel. Egy erős pozitív nyomású anomália Skandinávia és Nyugat-Oroszország területén, illetve egy negatív anomália az Ibériai-félszigeten, keleti vagy délkeleti légáramlást okoz a keleti medencében, és délnyugati vagy déli áramlást a központi medencében. Az együttes hatása ezen légtömegeknek, kapcsolódva a viszonylag meleg Földközi-tengerhez, különböző ciklonkeletkezési folyamatokkal társulva nagy csapadékot okoz Olaszországban, valamint az Adriai-tenger keleti partján, és az Alpok déli részén (*Xoplaki, 2002; Trigo et al., 2006*).

## **4.5. Indiai monszun**

Az indiai monszunnak kulcsfontosságú szerepe van a Földközi-tenger keleti területeinek időjárásának alakításában. Dinamikai kapcsolat van a monszonnal járó feláramlás és a mediterrán régió keleti területein történő leáramlás között. A monszunhoz tartozó diabotikus folyamatok képesek Rossby-hullámot generálni a nyugati területeken. Ennek a hullámnak a déli oldalán kialakuló magasnyomású képződmény erős leáramlást eredményez a közel-keleti területeken. Ez a leáramló levegő elsősorban a közepes szélességekről származik, tehát a monszun nem közvetlenül eredményezi a leáramló mozgást. Ezt a folyamatot nevezik monszun-sivatag mechanizmusnak. A leáramlás gátolja a konvektív események kialakulását, száraz időjárást eredményezve elsősorban nyáron. Ezek a hatások leginkább a Földközi-tenger keleti részét, a Kelet-Szaharát és az Aral-tó vidékét érintik. A leáramlás erősen függ attól, hogy a monszun mely szélességen hat, ugyanis ha a monszun délebbi területeken helyezkedik el, akkor az csapadékos időjárást eredményez Délkelet-Európában (*Rodwell and Hoskins, 1996; Xoplaki, 2002*).

## 5. Az éghajlatváltozás hatása a mediterrán térségben

Az éghajlati modellezés számos bizonytalanságot rejt magában, a különböző forgatókönyvek között gyakran nagy a szórás, ezért sem lehet pontos képet adni a jövőbeli változásokról. Mivel a mediterrán régió átmeneti zónát képez a száraz éghajlatú Észak-Afrika és a mérsékelt csapadékos Közép-Európa között, ezért fontos szerepe van annak, hogy a trópusi és a közepes szélességek folyamatai milyen kölcsönhatásba kerülnek ebben a térségben az éghajlatváltozás hatására. Ezek a folyamatok jelentős mértékben módosíthatják a Földközi-tenger éghajlatát (*Giorgi and Lionello, 2008*).

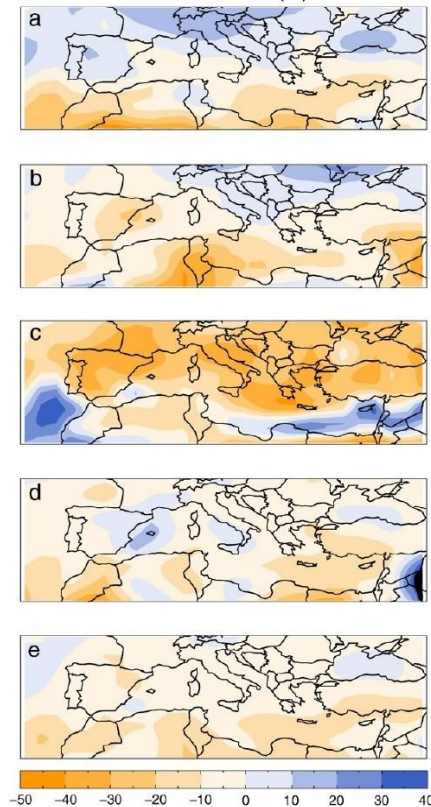
Az éghajlatváltozás hatása a Föld egész területén érezhető. Az üvegházgázok koncentrációja folyamatosan nő az ipari forradalom kezdete óta, fokozva az üvegházhatást, hatására módosulnak a különböző időjárási paraméterek, amelyek befolyásolják a mediterrán ciklonok keletkezését is. A XXI. század végéig körülbelül 2-6°C-kal nőhet a Föld átlaghőmérséklete jelen körülmények között, szélsőséges éghajlati változásokat eredményezve. A mediterrán térség az éghajlatváltozás hatásainak tekintetében jelentős „forró pont” lehet (*Diffenbaugh et al., 2007*). Gyakoriak lesznek a forró és száraz nyarak, megváltozhat a csapadék területi és évszakos eloszlása, a hőmérsékleti viszonyok, a ciklonok pályája, gyakorisága és intenzitása (*Giorgi and Lionello, 2008; Lionello et al., 2014; Nissen et al., 2014*). A felmelegedés hatással lesz az emberi tevékenységekre (turizmus, mezőgazdaság, energiaigény, vízgazdálkodás) és a természetes ökoszisztémákra (gyakoribb erdőtüzek) (*Xoplaki, 2002*). A jégsapkák olvadásának hatása már a vízszint változásában is megjelent. A megfigyelések kezdete óta 1960-as évek végéig átlagosan évente 1,8 milliméterrel nőtt a tengervízszint. Ez a folyamat az 1990-es évek kezdete óta jelentősen megváltozott, évente 2-3 centiméterrel nő a vízszint (*Lionello et al., 2006a*). Az elmúlt évtizedekben az átlaghőmérséklet nagyobb mértékben növekedett a mediterrán térségben, mint globális szinten. Csökkenő tendenciát mutat a csapadék éves mennyisége. Egyre gyakoribbak és hosszabbak a hóhullámok. Az 1960-as évek kezdete óta a hóhullámok hossza és intenzitása a mediterrán térség keleti területein ötszörösére nőtt (*Ruti et al., 2015*).

## 5.1. Csapadék

A csapadék változása területenként és évszakonként eltérő lesz az előrejelzések szerint. A változásban fontos szerepe van annak, hogy a tengerfelszín hőmérsékletének növekedése milyen mértékű lesz, illetve hogyan módosulnak a ciklonok pályái és kialakulásuk gyakorisága.

A tengerfelszín hőmérséklete fontos szerepet játszik a ciklonpályák kialakulásában. A növekvő hőmérséklet hatására ezek az útvonalak elmozdulnak, gyökeres változásokat okozva a térség időjárásának alakulásában (*Bengtsson et al.*, 2006). A globális felmelegedés hatására a szubtrópusi öv kiterjedhet a mediterrán térség magasabb szélességű területei felé. Gyakoribbak lesznek az anticiklonális helyzetek a Földközi-tenger középső területein, aminek hatására a ciklonok pályái elmozdulnak az északi területek felé. Az anticiklonális helyzetek stabil időjárási körülményeket eredményeznek, amelyek kedvezőtlenül hatnak a ciklonok kialakulására. Ezen változások hatására az egész mediterrán térségben csökkenhet a csapadék mennyisége, miközben Európa északibb részein növekedni fog (*Muskulus and Jacob*, 2005; *Giorgi and Lionello*, 2008).

Tél kivételével erőteljes csapadécsökkenés várható az egész mediterrán térségben, különösen az Ibériai-fennsík területén, az Atlasz hegyég nyugati oldalán, a Balkán-félsziget keleti oldalán és a Közel-Keleten. Tavasszal, nyáron és ősszel a Földközi-tenger déli területein feltételezhető jelentős csökkenés a csapadékban. A nyugati területeken az Atlanti-óceán felől érkező ciklonális rendszerek miatt várhatóan nőni fog a csapadékmennyiség (*Lionello and Giorgi*, 2007; *Giorgi and Lionello*, 2008). Törökország délkeleti részén körülbelül 24%-os csapadékmennyiség-csökkenés várható. Mivel ezen a területen ered a Tigris és az Eufrátesz, a csapadékmennyiség csökkenése a folyók vízhozamára negatívan fog hatni, ami súlyos következményekkel járhat Törökország és a környező országok vízellátásában (*Lionello et al.*, 2014). Habár a melegebb éghajlatnak köszönhetően erőteljesebb lesz a párolgás, mégis jelentősebb lesz a tengeri területeken a csapadék mennyiségének csökkenése, ennek elsődleges oka lehet a ciklonpályák északi irányba való elmozdulása. Az 16. ábra bemutatja a csapadék várható évszakos és területi változását az elkövetkezendő évtizedekben.

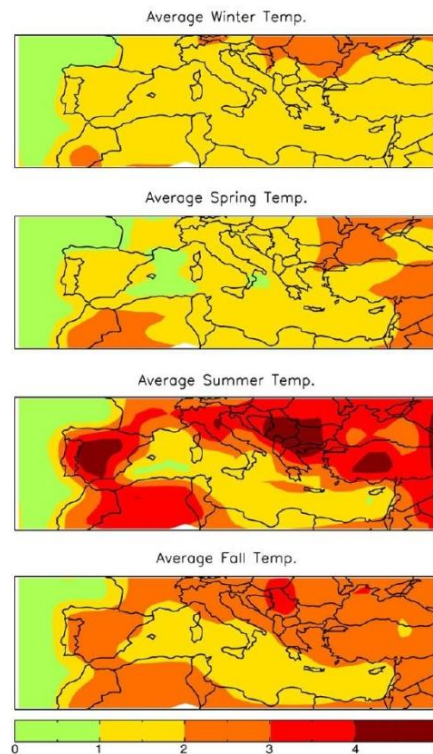


**16. ábra - Százalékos változás az éves csapadékmennyiségben (2031-2060) a téli (a), tavaszi (b), nyári (c), őszi (d) időszakban és a teljes évben (e), referencia időszak:1961-1990 (Giannakopoulos et al., 2009)**

## 5.2. Hőmérséklet

A legtöbb tanulmány egyetért abban, hogy a Földközi-tenger egész területén emelkedni fog a hőmérséklet, jobban, mint globális átlagban. Általánosan elfogadott tény a 3-7°C-os hőmérséklet-növekedés a következő évtizedekben, legnagyobb változás a hőmérséklet alakulásában nyáron várható (*Lionello et al.*, 2006a). Gyakoribbá válnak majd a hóhullámok. Mivel nyáron emellett, hogy melegebb lesz, a csapadék mennyisége is csökkenni fog, ezért gyakoribb jelenség lesz az aszály (*Giorgi and Lionello*, 2008). Nemcsak a léghőmérséklet, hanem a tengervíz hőmérséklete is nőni fog. A melegebb tengerfelszín-hőmérséklet növeli az esélyét, hogy a mediterrán térségben kialakuljanak nagyon erős trópusi jellegű viharok. Trópusi ciklonkeletkezéshez általában legalább 25-26°C-os tengerfelszín hőmérséklet szükséges, de a megfigyelések azt mutatják, hogy 20-21°C-nál melegebb tenger felett is kialakulhatnak trópusi jellegű mediterrán ciklonok (*Hérincs*, 2017). Nyáron jelentős felmelegedés várható, akár 4°C-os változás is bekövetkezhet az átlaghőmérsékletben, leginkább érintett területek a Balkán, Törökország,

Észak-Olaszország és Spanyolország. Ősszel körülbelül 2°C-os, tavasszal és télen körülbelül 1°C-os emelkedés várható az átlaghőmérsékletben (Giannakopoulos *et al.*, 2009). A 17. ábra bemutatja, hogy milyen mértékben fog emelkedni az átlaghőmérséklet az egyes évszakokban.

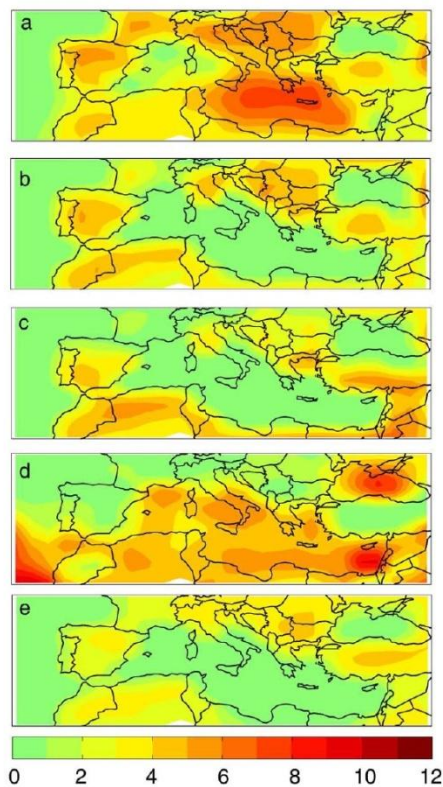


**17. ábra - Az átlaghőmérsékletben várható változás (2031-2060) télen, tavasszal, nyáron és ősszel, referencia időszak:1961-1990 (Giannakopoulos *et al.*, 2009)**

A 1. táblázat a szélsőséges hőmérsékleti indexek definícióit írja le. A legnagyobb növekedés a nyári napok és a trópusi éjszakák számában várható, ez főleg a part menti területeket, különösen a Földközi-tenger keleti részét érinti. Évente körülbelül harminccal több nyári nap várható, ezek száma az északi partok mentén nő jobban, kevésbé a keleti részen és a szárazföldi szakaszokon. Az egyre hosszabb nyarak kiegészülnek a trópusi éjszakákkal, ami szintén a part menti területeket érinti. Ezeknek az értékeknek a területi eloszlását a 18. ábra mutatja be (Giannakopoulos *et al.*, 2009).

1. táblázat - Szélsőséges hőmérsékletek (Giannakopoulos et al., 2009)

Név	Definíció
Nyári nap	$T_{\max} > 25 \text{ } ^\circ\text{C}$
Forró nap	$T_{\max} > 30 \text{ } ^\circ\text{C}$
Hőségnap	$T_{\max} > 35 \text{ } ^\circ\text{C}$
Trópusi éjszaka	$T_{\min} > 20^\circ\text{C}$
Fagyos éjszaka	$T_{\min} < 0^\circ\text{C}$



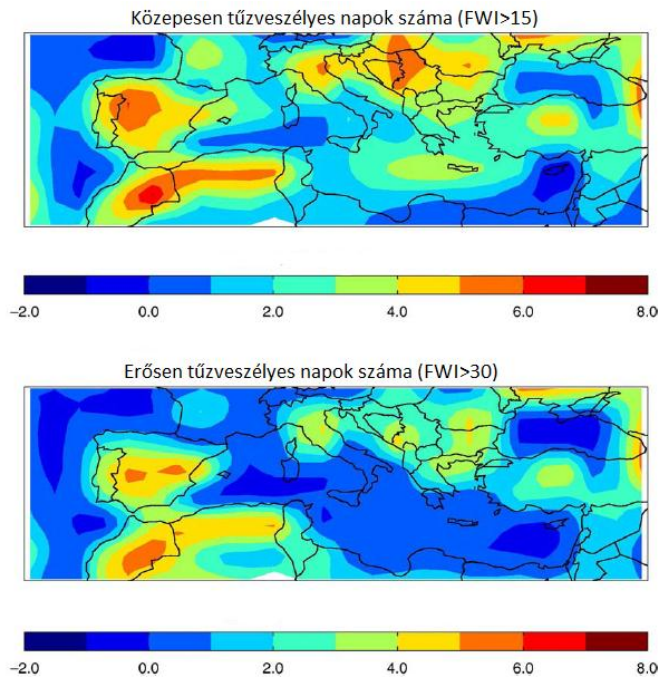
18. ábra Várható emelkedés (2031-2060) a nyári napok (a), forró napok (b), hőségnapok (c), trópusi éjszakák (c) számában és csökkenés a fagyos napok (e) számában, referencia időszak:1961-1990 (Giannakopoulos et al., 2009)

### 5.3. Ciklongyakoriság

A kutatások azt mutatják, hogy a klímaváltozás hatására az elkövetkezendő évtizedekben kevesebb lesz a mediterrán ciklon, de gyakoribbá válhatnak az erős ciklonok (*Nissen et al., 2014*). Az intenzívebb ciklonok összefüggésben állhatnak a megnövekedett látenshő - felszabadulással, ami a légkörben jelen lévő nagyobb mennyiségű vízgőznek köszönhető. Gyakoribbá válhatnak a jelentős károkat okozó szélsőséges időjárási események, mint például a heves esőzések hatására bekövetkező árvizek. A nyugati területeken, ahol az atlanti ciklonpályák érintik a térséget, ott várhatóan nagyobb lesz a ciklonaktivitás, miközben a közel-keleti területeken feltételezhetően kevesebb ciklon fog kialakulni (*Bengtsson et al., 2006; Lionello and Giorgi, 2007*). Egy friss kutatás szerint Marokkóban és a közel-keleti térségben több lehet a ciklon (*Lionello et al., 2014*).

### 5.4. Erdőtüzek

A felmelegedés és a csapadékmennyiség csökkenésének hatására gyakoribbá válnak majd az erdőtüzek, ilyen időszakok május és október között várhatóak. Nyár folyamán, különösen augusztusban fordulhatnak elő nagy tüzesetek, különösen a Balkán, Észak-Adria, Közép-Spanyolország és Törökország területén. A tűzveszélyes időszakok leírására széles körben használt index a Tűz Időjárás Index (Fire Weather Index, FWI), amit a tűzveszélyes helyzetek feltérképezésére és tűz megelőzés céljából alkalmaznak. Az FWI érték meghatározásához figyelembe kell venni a rendelkezésre álló éghető anyag mennyiségét, területi kiterjedését, nedvességtartalmát és az időjárási paramétereket (hőmérséklet, relatív nedvesség, szél, csapadékmennyiség az elmúlt 24 órában). Ezeknek az értékeknek az ismeretében számítógép segítségével kiszámolhatóak az FWI értékek. Alacsony kockázat esetén  $FWI < 15$ , közepes kockázat esetén  $FWI > 15$ , erős kockázat esetén  $FWI > 30$  (*Giannakopoulos et al., 2009*). A 19. ábra bemutatja a várható tüzesetek területi eloszlását.



**19. ábra - Várható változások (2031-2060) a közepesen tűzveszélyes (felső) és az erősen tűzveszélyes (alsó) napok számában, referencia időszak: 1961-1990 (Giannakopoulos et al., 2009)**

## 5.5. Társadalmi és gazdasági hatások

A mediterrán régió a világ egyik legnépszerűbb és legsikeresebb idegenforgalmi célpontja, mintegy 200 millió látogató jön ide évente (Xoplaki, 2002). Mivel a klímaváltozás hatására megváltozik az éghajlat a Földközi-tenger vidékén, ez nagy hatással van az ott élő emberek életvitelére is. A nyári hőmérsékletek várható alakulása a következő évtizedekben nagyon fontos kérdés, hiszen a változékonyságának jelentős társadalmi és gazdasági következményei lehetnek. A gyakoribb és hosszabb hőhullámok növelik a halálozási arányt, különösen a városi területeken (Xoplaki, 2002). A nagyon forró és száraz nyarak miatt vízellátási problémák és erdőtüzek alakulhatnak ki, az emberi szervezet is erősen megviseli a melegebb időjárás, mindez negatívan befolyásolja a turizmust, ezért a tavasz és az ősz válhat az idegenforgalom ideális időszakává. Az aszályok és az vízkészletek csökkenése miatt komoly problémák alakulhatnak ki a mezőgazdaságban, csökkenhet a termelés, különösen a szőlő, olajbogyó és búza esetében, ami maga után vonja az árak emelkedését is (Xoplaki, 2002). Azokban a mediterrán országokban, ahol már most érezhető a klímaváltozás negatív hatása, komoly demográfiai, társadalmi, kulturális és környezeti változások alakulhatnak ki (Lionello et al., 2014).



## 6. Összefoglalás

Dolgozatomban szakirodalmi áttekintést végeztem a mediterrán ciklonokkal kapcsolatban. A Földközi-tenger vidékén 8 olyan központ különíthető el, ahol gyakran alakulnak ki alacsonynyomású képződmények. A Genovai-öböl a legaktívabb térség, egész évben zajlik a ciklonkeletkezés, de a tél kiemelkedő időszaknak számít, amikor is hosszabb az élettartamuk és intenzívebbek, mint a többi évszakban. Az itt kialakuló ciklonok gyakran eljutnak hazánk területére, kiadós csapadékkal társulva a kora tavaszi és őszi időszakban. A mediterrán ciklonok kialakulásában nagyon fontos szerepe van az orografikus hatásoknak. Az útvonalak évszakonként és területenként változatosak.

A ciklonokhoz kapcsolódó jelenségek meghatározzák a régió időjárását. Különböző erősségű szelek alakulnak ki a térségben. A Földközi-tenger partvidékén hulló csapadék nagy része a mediterrán ciklonokból ered, a legtöbb csapadék az őszi és téli időszakban hullik. A heves esőzések gyakran okoznak főleg a nyugati területeken földcsuszamlásokat, amelyek komoly anyagi károkat okoznak. Az erős ciklonok a tenger felett gyakran korbácsolnak akár 5-7 méter magas hullámokat, ami a hajózás szempontjából komoly veszélyeket jelent.

A terület időjárásának alakításában fontos szerepe van a különböző cirkulációs rendszereknek, amelyek eltérő fázisai eltérő időjárást eredményeznek. A legfontosabb rendszer az Észak-atlanti oszcilláció (NAO), amelynek pozitív fázisa során szárazabb, negatív fázisa során nedvesebb időjárás tapasztalható a térségben. Ezen kívül fontos szerepe van még az Arktikus oszcillációnak (AO), a Kelet-atlanti/nyugat-oroszországi rendszernek (EA/WR), a Skandináv rendszernek (SCAND) és az indiai monszonnak.

A jelenlegi kutatások szerint a Földközi-tenger vidéke az egyik leginkább befolyásolt területté válhat az éghajlatváltozás során. Körülbelül 3-7°C-os hőmérséklet-növekedés várható a következő évtizedekben, elsősorban nyáron, amikor gyakrabban alakulhatnak ki hosszantartó hóhullámok és aszályok. Mivel a tenger hőmérséklete is emelkedni fog, ezért gyakrabban fordulhatnak elő trópusi jellegű mediterrán ciklonok. Szinte az egész térségében várhatóan csökkeni fog a csapadék mennyisége és területi eloszlása, amely összefüggésben áll a ciklonpályák északabbra tolódásával és a csökkenő ciklongyakorisággal. Ezen hatások miatt fontos, hogy a társadalom és a gazdaság is alkalmazkodni tudjon a megváltozott helyzethez.

## **Köszönetnyilvánítás**

Szeretném megköszönni témavezetőimnek, Leelőssy Ádámnak és Soósné dr. Dezső Zsuzsannának hasznos tanácsaikat és segítségüket, amivel hozzájárultak a dolgozat megírásához. Köszönettel tartozom a családomnak és a barátaimnak, amiért támogattak a dolgozat megírása közben.

# Irodalomjegyzék

- Alpert, P., Neeman, B.U., and Shay-El, Y., 1990: Intermonthly Variability of Cyclone Tracks in the Mediterranean. *Journal of Climate*, 3, 1474–1478. doi:10.1175/1520-0442(1990)003<1474:IVOCTI>2.0.CO;2
- Ambaum, M.H.P., Hoskins, B.J., and Stephenson, D.B., 2001: Arctic Oscillation or North Atlantic Oscillation? *Journal of Climate*, 14, 3495–3507. doi:10.1175/1520-0442(2001)014<3495:AOONAO>2.0.CO;2
- Apostol, L., 2008: The mediterranean cyclones – The role in ensuring water resources and their potential of climatic risk, in the east of Romania. *Present Environment and Sustainable Development*.
- Bartholy, J., Pongrácz, R., and Pattantyús-Ábrahám, M., 2009: Analyzing the genesis, intensity, and tracks of western Mediterranean cyclones. *Theoretical and Applied Climatology*, 96, 133–144. doi:10.1007/s00704-008-0082-9
- Bengtsson, L., Hodges, K.I., and Roeckner, E., 2006: Storm Tracks and Climate Change. *Journal of Climate*, 19, 3518–3543. doi:10.1175/JCLI3815.1
- Bjerknes, J., and Solberg, H., 1922: Life cycle of cyclones and the polar front theory of atmospheric circulation. *Geofysiske Publikationer*.
- Bottyán, E., 2015: A magyarországi csapadék forrásrégióinak vizsgálata. Diplomamunka. Eötvös Loránd Tudományegyetem, Budapest.
- Breuer, H., Dezső, Z., and Leelőssy, Á., 2016: *Synoptic meteorology*.
- Czelnai, R., 1983: Bevezetés a meteorológiába II. A mozgó légkör és óceán. Tankönyvkiadó, Budapest.
- Diffenbaugh, N.S., Pal, J.S., Giorgi, F., and Gao, X., 2007: Heat stress intensification in the Mediterranean climate change hotspot. *Geophysical Research Letters*, 34, L11706. doi:10.1029/2007GL030000
- Giannakopoulos, C., Le Sager, P., Bindi, M., Moriondo, M., Kostopoulou, E., and Goodess, C.M., 2009: Climatic changes and associated impacts in the Mediterranean resulting from a 2 °C global warming. *Global and Planetary Change*, 68, 209–224. doi:10.1016/j.gloplacha.2009.06.001
- Giorgi, F., and Lionello, P., 2008: Climate change projections for the Mediterranean region. *Global and Planetary Change, Mediterranean climate: trends, variability and change* 63, 90–104. doi:10.1016/j.gloplacha.2007.09.005
- Góth, R., 2015: A Szahara térségéből a Kárpát-medencébe érkező trajektóriák elemzése. Szakdolgozat. Eötvös Loránd Tudományegyetem, Budapest, 41 p.
- Hérincs, D., 2017: Mediterrán ciklonok kategorizálása trópusi jelleg szerint. Diplomamunka. Eötvös Loránd Tudományegyetem, Budapest, 92 p.
- Holton, J.R., and Hakim, G.J., 2012: *An Introduction to Dynamic Meteorology*. Academic Press, 553 p.
- Israelevich, P., Ganor, E., Alpert, P., Kishcha, P., and Stupp, A., 2012: Predominant transport paths of Saharan dust over the Mediterranean Sea to Europe. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 117, D02205. doi:10.1029/2011JD016482
- Kelemen, F.D., Bartholy, J., and Pongrácz, R., 2015: Multi-variable cyclone analysis in the Mediterranean region. *Időjárás*, 159–184.
- Kreienkamp, F., Spekat, A., and Enke, W., 2010: A robust method to identify cyclone tracks from gridded data - ProQuest 10.
- Krichak, S.O., and Alpert, P., 2005: Decadal trends in the east Atlantic–west Russia pattern and Mediterranean precipitation. *International Journal of Climatology*, 25, 183–192. doi:10.1002/joc.1124
- Lionello, P., Malanotte-Rizzoli, P., Boscolo, R., Alpert, P., Artale, V., Li, L., Luterbacher, J., May, W., Trigo, R., Tsimplis, M., Ulbrich, U., and Xoplaki, E., 2006a: The Mediterranean climate: An overview of the main characteristics and issues, In: *Developments in Earth and Environmental Sciences, Mediterranean* (ed. P. Lionello, P.M.-R. and R.B.). Elsevier, 1–26.
- Lionello, P., Bhend, J., Buzzi, A., Della-Marta, P.M., Krichak, S.O., Jansà, A., Maheras, P., Sanna, A., Trigo, I.F., and Trigo, R., 2006b: Chapter 6 Cyclones in the Mediterranean region: Climatology and effects on the

- environment, In: *Developments in Earth and Environmental Sciences, Mediterranean* (ed. P. Lionello, P.M.-R. and R.B.). Elsevier, 325–372.
- Lionello, P., and Giorgi, F., 2007: Winter precipitation and cyclones in the Mediterranean region: future climate scenarios in a regional simulation. *Adv. Geosci.*, 12, 153–158. doi:10.5194/adgeo-12-153-2007
- Lionello, P., Abrantes, F., Gacic, M., Planton, S., Trigo, R., and Ulbrich, U., 2014: The climate of the Mediterranean region: research progress and climate change impacts. *Regional Environmental Change*, 14, 1679–1684. doi:10.1007/s10113-014-0666-0
- Maheras, P., Flocas, H. a., Patrikas, I., and Anagnostopoulou, C., 2001: A 40 year objective climatology of surface cyclones in the Mediterranean region: spatial and temporal distribution. *International Journal of Climatology*, 21, 109–130. doi:10.1002/joc.599
- Mehta, A.V., and Yang, S., 2008: Precipitation Climatology over Mediterranean Basin from Ten Years of TRMM Measurements.
- Mona, L., Amodeo, A., Pandolfi, M., and Pappalardo, G., 2006: Saharan dust intrusions in the Mediterranean area: Three years of Raman lidar measurements. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 111, D16203. doi:10.1029/2005JD006569
- Muskulus, M., and Jacob, D., 2005: Tracking cyclones in regional model data: the future of Mediterranean storms. *Advances in Geosciences*, 2, 13–19.
- Nagy, A., 2009: Magyarország szaharai port szállító időjárási helyzetek elemzése MSG műholdképek alapján. Diplomamunka. Eötvös Loránd Tudományegyetem, Budapest, 82 p.
- Nissen, K.M., Leckebusch, G.C., Pinto, J.G., Renggli, D., Ulbrich, S., and Ulbrich, U., 2010: Cyclones causing wind storms in the Mediterranean: characteristics, trends and links to large-scale patterns. *Natural Hazards and Earth System Science*, 10, 1379–1391.
- Nissen, K.M., Leckebusch, G.C., Pinto, J.G., and Ulbrich, U., 2014: Mediterranean cyclones and windstorms in a changing climate. *Regional Environmental Change*, 14, 1873–1890. doi:10.1007/s10113-012-0400-8
- Rodwell, M.J., and Hoskins, B.J., 1996: Monsoons and the dynamics of deserts. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 122, 1385–1404. doi:10.1002/qj.49712253408
- Ruti, P.M., Somot, S., Giorgi, F., Dubois, C., Flaounas, E., Obermann, A., Dell’Aquila, A., Pisacane, G., Harzallah, A., Lombardi, E., Ahrens, B., Akhtar, N., Alias, A., Arsouze, T., Aznar, R., Bastin, S., Bartholy, J., Béranger, K., Beuvier, J., Bouffies-Cloch e, S., Brauch, J., Cabos, W., Calmanti, S., Calvet, J.-C., Carillo, A., Conte, D., Coppola, E., Djurdjevic, V., Drobinski, P., Elizalde-Arellano, A., Gaertner, M., Gal n, P., Gallardo, C., Gualdi, S., Goncalves, M., Jorba, O., Jord , G., L’Heveder, B., Lebeaupin-Brossier, C., Li, L., Liguori, G., Lionello, P., Maci s, D., Nabat, P.,  nol, B., Raikovic, B., Ramage, K., Sevault, F., Sannino, G., Struglia, M.V., Sanna, A., Torma, C., and Vervatis, V., 2015: Med-CORDEX Initiative for Mediterranean Climate Studies. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 97, 1187–1208. doi:10.1175/BAMS-D-14-00176.1
- Stenseth, N.C., Ottersen, G., Hurrell, J.W., Mysterud, A., Lima, M., Chan, K.-S., Yoccoz, N.G., and  dlandsvik, B., 2003: Review article. Studying climate effects on ecology through the use of climate indices: the North Atlantic Oscillation, El Ni o Southern Oscillation and beyond. *Proceedings of the Royal Society of London B: Biological Sciences*, 270, 2087–2096. doi:10.1098/rspb.2003.2415
- Trigo, I.F., Davies, T.D., and Bigg, G.R., 1999: Objective Climatology of Cyclones in the Mediterranean Region. *Journal of Climate*, 12, 1685–1696. doi:10.1175/1520-0442(1999)012<1685:OCOCIT>2.0.CO;2
- Trigo, I.F., Bigg, G.R., and Davies, T.D., 2002: Climatology of Cyclogenesis Mechanisms in the Mediterranean. *Monthly Weather Review*, 130, 549–569. doi:10.1175/1520-0493(2002)130<0549:COCMIT>2.0.CO;2
- Trigo, R., Xoplaki, E., Zorita, E., Luterbacher, J., Krichak, S.O., Alpert, P., Jacobeit, J., S enz, J., Fern andez, J., Gonz lez-Rouco, F., Garcia-Herrera, R., Rodo, X., Brunetti, M., Nanni, T., Maugeri, M., T rke , M., Gimeno, L., Ribera, P., Brunet, M., Trigo, I.F., Crepon, M., and Mariotti, A., 2006: Chapter 3 Relations between variability in the Mediterranean region and mid-latitude variability, In: *Developments in Earth and Environmental Sciences, Mediterranean* (ed. P. Lionello, P.M.-R. and R.B.). Elsevier, 179–226.
- Xoplaki, E., 2002: Climate variability over the Mediterranean. PhD dolgozat. University of Bern, Sv jc, 213 p.
- Zsilinszki, A., 2014: A 2012-13-as t l szinoptikus saj tosságainak  rt kel se NAO, AO t vkapcsolat elemz sek bevonásával. Diplomamunka. E tv s Lor nd Tudományegyetem, Budapest, 76 p.

## Internetes hivatkozások

[1 – EUMETSAT]

[http://www.eumetsat.int/website/home/Images/ImageLibrary/DAT\\_IL\\_12\\_10\\_28.html](http://www.eumetsat.int/website/home/Images/ImageLibrary/DAT_IL_12_10_28.html)

[2 – NASA]

<https://worldview.earthdata.nasa.gov/>

[3 – EUMETSAT]

[http://www.eumetsat.int/website/home/Images/ImageLibrary/DAT\\_IL\\_09\\_03\\_06.html](http://www.eumetsat.int/website/home/Images/ImageLibrary/DAT_IL_09_03_06.html)

[4 – met.hu]

[http://www.met.hu/idojaras/aktualis\\_idojaras/napijelentes/](http://www.met.hu/idojaras/aktualis_idojaras/napijelentes/)

[5 – Ideo.columbia.edu]

<http://www.ldeo.columbia.edu/res/pi/NAO/>

[6 – NASA]

[https://en.wikipedia.org/wiki/File:Arctic\\_Oscillation-01.jpg](https://en.wikipedia.org/wiki/File:Arctic_Oscillation-01.jpg)