

MEDITERRÁN CIKLONOK DETEKTÁLÁSA GCM SZIMULÁCIÓKBAN ÉS VALIDÁCIÓJUK AZ ERA5 ADATBÁZISSAL

Dolgos Emília , Pongrácz Rita , Bartholy Judit 

ELTE Eötvös Loránd Tudományegyetem, Földrajz- és Földtudományi Intézet,
Meteorológiai Tanszék, 1117 Budapest, Pázmány Péter sétány 1/A
e-mail: emilia08@student.elte.hu, prita@nimbus.elte.hu, bartholy.judit@ttk.elte.hu

Bevezetés

A mediterrán térség éghajlata nagymértékben függ a ciklonok gyakoriságától és intenzitásától, amely módosulhat az éghajlatváltozás hatására. A mediterrán ciklonokat kísérő időjárási folyamatok miatt előfordulnak extrém időjárási események, mint például erős szelek, intenzív csapadékhullás, árvizek. Ezek az események komoly veszélyt jelentenek az emberi életre, az infrastruktúrára és a gazdaságra is.

Az atlanti ciklonokhoz képest a mediterrán ciklonok általában kisebb átmérővel rendelkeznek, sekélyebbek, és élettartamuk rövidebb (Trigo et al., 1999). Csakúgy, mint az atlanti ciklonok esetén, a mediterrán ciklonok azonosítására sem létezik egységes módszer, illetve kritériumrendszer. Automatizált, objektív detektáláshoz olyan algoritmusokat alkalmazhatunk, amelyek egy vagy több meteorológiai mező értékeit veszik alapul, ezekben keresnek lokális szélsőértékeket. A ciklondetektálási algoritmusokat bemutató és összehasonlító publikációkból többet is találhatunk (pl. Neu et al., 2013; Lionello et al., 2016; Flaounas et al., 2023).

Természetesen más-más algoritmust alkalmazva nem lesz tökéletes egyetértés a ciklonok számában, pályáikban stb., de általános következtetéseket levonhatunk az éves menetről, gyakoriságról, továbbá a változást mutató trendekből.

Felhasznált adatok

A kutatás során az ECMWF¹ ERA5 reanalízis adatbázisában (Hersbach et al., 2023) szereplő átlagos tengerszinti légnyomást (Mean Sea Level Pressure – MSLP), valamint globális éghajlati modellek (Global Climate Models – GCM) produktumait használjuk fel. Az ERA5 adatbázisban rácspontra vonatkoztatott értékek szerepelnek, térbeli felbontásuk 0,25 fok, míg időbeli felbontásuk 1 óra. A GCM-ek esetén ez a térbeli felbontás változó, kb. 1 fok körüli, míg a rendelkezésre álló időbeli felbontás 6 óra. Az összehasonlítás érdekében az adatokat egyforma, 1 fokos felbontásra rácsoztuk át, a vizsgálatot pedig a főterminusokban (0, 6, 12, 18 UTC) végeztük.

A CMIP6² keretében elérhető GCM-ek közül a következő modellek produktumait választottuk ki: CMCC-CM2-SR5; EC-Earth3; HadGEM3-GC31-MM; NorESM2-MM; MPI-ESM1-2-HR; MRI-ESM2-0. A modellek kiválasztásánál elsődleges szempont volt, hogy legalább 1 fok körüli térbeli, valamint 6 órás időbeli felbontással rendelkezzenek. Fontos volt továbbá az is, hogy ezek mind olyan modellek, amelyek esetén elérhetőek a jövőre vonatkozó SSP³ forgatókönyvekre készült szimulációk is, valamint megfelelő felbontással rendelkeznek a csapadéokra vonatkozóan. Ez a kutatásunk későbbi szakasza miatt fontos.

¹ European Centre for Medium-range Weather Forecast - Európai Középtávú Időjárás Előrejelző Központ

² Coupled Model Intercomparison Project Phase 6 - Kapcsolt modellek összehasonlító projekt 6.fázisa

³ Shared Socioeconomic Pathways - Közös társadalmi-gazdasági útvonalak

Ciklondetektálás

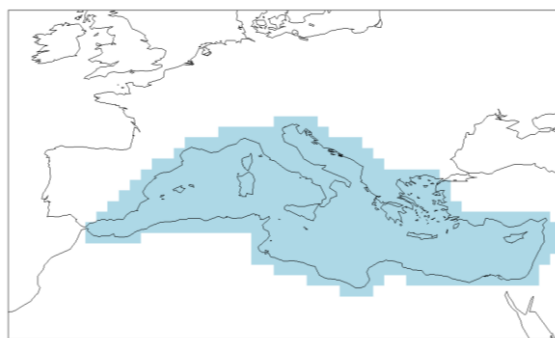
A ciklonok detektálása automatizált algoritmus segítségével történt, amelyet az R programnyelven (R Core Team, 2022) készítettünk el.

Az algoritmus első lépésként a lokális minimumokat azonosítja – ezek lesznek a potenciális ciklonközepponatok. Itt azt a kikötést tesszük, hogy csak az 1013 hPa-t meg nem haladó nyomási értékek legyenek figyelembe véve (Dolgos et al., 2023a). A ciklonazonosítás következő lépése a lehetséges ciklonközepponatok összekötése, amivel a ciklonok trajektóriáját kapjuk meg. Az egymást követő időlépcsőkben detektált minimumokat (potenciális ciklonközepponatokat) akkor nevezzük a megelőző időlépcsőben detektált minimum folytatásának, ha azok bizonyos távolságban találhatók egymáshoz képest. Ha a következő időlépcsőben nincs ilyen minimum, akkor a ciklon megszűnését feltételezzük. Itt is speciális megkötéseket adunk: (i) ha a detektált trajektória hossza (azaz a ciklon élettartama) kevesebb, mint 24 óra, akkor elvetjük a detektált nyomási értékeket, és a továbbiakban nem számolunk velük; (ii) ha a trajektóriában lévő ciklonközepponatok egyszer sem helyezkednek a Földközi-tenger vagy annak közeli térsége felett, akkor szintén elvetjük azt, és nem tekintjük mediterrán ciklonnak.

A detektált trajektóriákat, illetve az azokat alkotó lokális minimumokat mentjük, valamint az azokhoz tartozó legfontosabb jellemzőket: a trajektória azonosító számát, a nyomási értéket, a földrajzi szélességet és hosszúságot, valamint a dátumot.

Eredmények

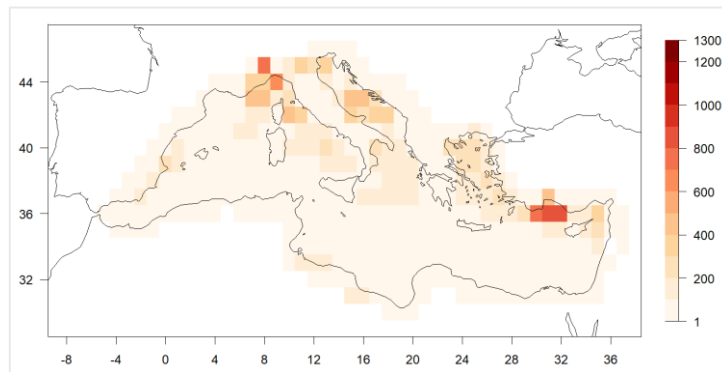
Az algoritmussal az ERA5 adatbázist és a fent említett GCM-ek historikus szimulációját vizsgáltuk az 1950–2014 időszakban. Ezt a teljes 65 éves időszakot 4 egyenlő, 20 év hosszúságú időszakra osztottuk (1950–1969, 1965–1984, 1980–1999, 1995–2014), melyek 5-5 éves átfedő részekkel rendelkeznek. A validáció során az ERA5 adatbázisban detektált ciklonokat tekintjük referenciának, ehhez hasonlítjuk a GCM szimulációkban detektált ciklonokat. A ciklondetektálást egy nagyobb, Európát lefedő kivágaton végeztük, de a ciklonközepponatok gyakoriságának vizsgálatakor egy kisebb, a Földközi-tengert és közvetlen közeli térségét magába foglaló területet vettünk figyelembe (1. ábra).



1. ábra: A ciklondetektálás során alkalmazott kivágat, benne kézzel a vizsgálat során figyelembe vett célterület.

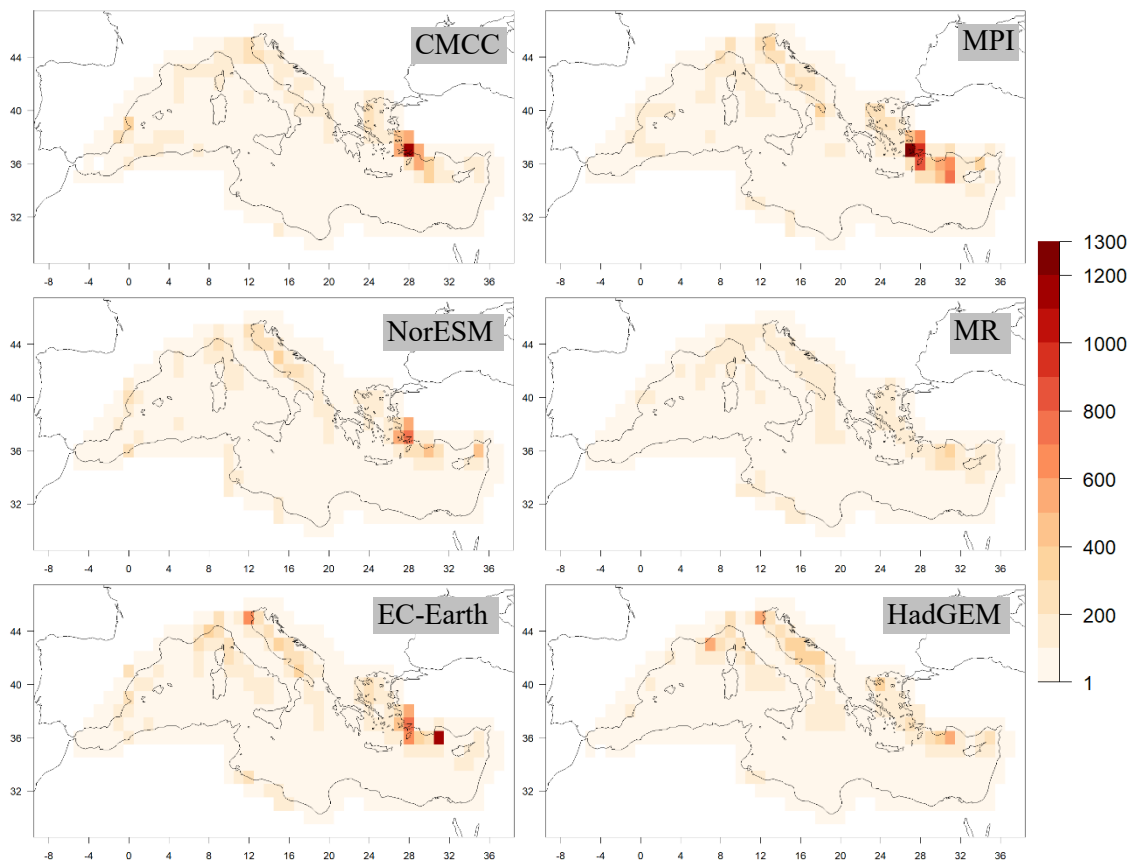
A teljes időszakban az ERA5 adatok felhasználásával 6759 ciklont detektáltunk a mediterrán térségben. Az esetek kb. 77%-ában a ciklonok élettartama nem haladta meg a három napot. A 2. ábrán látható a vizsgált területen a rácspontonkénti ciklonközepponat-gyakoriság. Elmondható, hogy a Genovai-öböl és a Földközi-tenger keleti részén, Ciprustól északra detektált az algoritmus legtöbbször ciklonközepponatokat. Két másik hely – az Adria-

tenger középső, valamint az Égei-tenger – területén detektálhatók még az átlagtól nagyobb számban ciklonközepponatok.



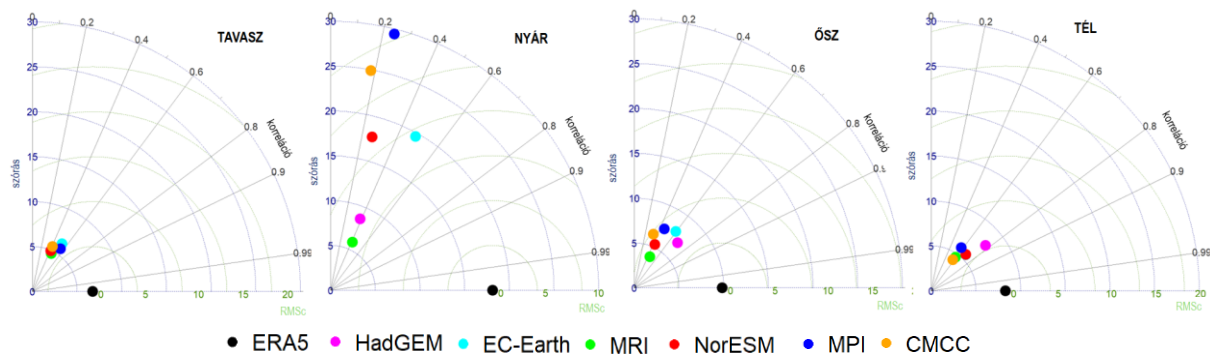
2. ábra: Ciklonközepponatok összes előfordulása a vizsgált területen a teljes 1950–2014 időszakban az ERA5 adatbázis alapján.

Ugyanígy a teljes időszakra a 3. ábrán láthatók a GCM szimulációkban detektált ciklonközepponat-gyakoriságok. A térképsorozaton jól látható, hogy a Genovai-öböl környékén megjelenő átlag feletti gyakoriságokat nem minden modellszimuláció képes reprodukálni. A CMCC, MPI, NorESM, EC-Earth modellek historikus szimulációjában az Égei-tenger, illetve Ciprus környékén találhatóak a gyakoriságok maximumai. Ennek oka az lehet, hogy a GCM-ek – felbontásukból adódóan – nem eredményeznek a valósághoz hasonló ciklogenezis folyamatokat a Genovai-öböl környékén.



3. ábra: Ciklonközepponatok összes előfordulása a vizsgált területen az 1950–2014 időszakban a modellszimulációk alapján.

A szimulációk eredményeit a referenciával összevetettük, mely során többek között kiszámoltuk a térbeli korrelációt a gyakoriságok között. Ez alapján a legjobban teljesítő modell a HadGEM (korrelációs együttható: 0,71), míg leggyengébben a CMCC modell teljesített (korrelációs együttható: 0,32) a teljes időszakra nézve. A kapott gyakoriságokat az utolsó időszakban (1995–2014) szezonális vonatkozásban is megvizsgáltuk Taylor-diagramok (Taylor, 2001) segítségével (4. ábra).



4. ábra: Taylor-diagramok az 1995–2014 időszak négy évszak szerinti ciklonközéppont-gyakoriságokra.

A diagramok x tengelyén az ERA5 referencia gyakoriságok szórása látható fekete ponttal. A diagramokról leolvasható, hogy a tavaszi, az őszi és a téli évszakban hasonlóan viselkedtek a modellek. A nyári hónapokban viszont jelentős különbségek jelentek meg a modellszimulációkban. Ebben az évszakban a korreláció és szórás tekintetében a CMCC és MPI modellek teljesítettek a legrosszabbul, a legjobban pedig a HadGEM, MRI és EC-Earth modellek.

Összefoglalás és további tervek

Vizsgálatunkban 6 GCM historikus szimulációban és az ERA5 reanalízis adatbázisban detektált ciklonközéppontokat vetettük össze. A térbeli korreláció alapján a HadGEM modell teljesített a legjobban.

A következő lépésként a jövőre vonatkozó SSP szimulációkat fogjuk vizsgálni. A doktori kutatás végső célja a frontrendszer és csapadékszónák összekapcsolása a mediterrán ciklonokkal. Ezzel tisztább képet kapunk arról, hogy a jövőben hogyan változhatnak a csapadékminták a célterületen, illetve specifikusabban a Kárpát-medencében.

A doktori kutatás aktuális, eddigi eredményeiről az EGU2024 (Dolgos et al., 2024) és az EMS2023 (Dolgos et al., 2023b) konferencián számoltunk be.

Köszönetnyilvánítás

A kutatás az Éghajlatváltozás Nemzeti Multidiszciplináris Laboratórium RRF-2.3.1-21-2022-00014 számú projekt és a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Alap K-129162 számú projektje keretében valósul meg, továbbá része a COST Action CA19109 (MedCyclones) európai hálózatépítő programnak.

Hivatkozások

- Dolgos E., Bartholy J., Pongrácz R., 2023a: Statistical climatological analysis of the Western Mediterranean cyclones. In: *103rd Annual Meeting of the American Meteorological Society*. Denver, CO. Paper 808, 4p.
<https://ams.confex.com/ams/103ANNUAL/mediafile/Manuscript/Paper422410/808-Extended-Paper-DE-BJ-PR.pdf>
- Dolgos E., Pongrácz R., Bartholy J., 2023b: Analysis of Western Mediterranean cyclones and their precipitation zones. *EMS Annual Meeting 2023*, Bratislava, Slovakia, 4–8 Sep 2023, EMS2023-516. <https://doi.org/10.5194/ems2023-516>
- Dolgos E., Pongrácz R., Bartholy J., 2024: Validation of Mediterranean cyclones in GCM simulations against reanalysis. *EGU General Assembly 2024*, Vienna, Austria, 14–19 Apr 2024, EGU24-15940. <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu24-15940>
- Flaounas, E., Aragão, L., Bernini, L., Dafis, S., Doiteau, B., Flocas, H., ... & Ziv, B.: 2023: A composite approach to produce reference datasets for extratropical cyclone tracks: application to Mediterranean cyclones. *Weather and Climate Dynamics*, 4: 639–661.
<https://doi.org/10.5194/wcd-4-639-2023>
- Hersbach, H., Bell, B., Berrisford, P., Biavati, G., Horányi, A., Muñoz Sabater, J., ... & Thépaut, J.-N., 2023: ERA5 hourly data on single levels from 1940 to present. *Copernicus Climate Change Service (C3S) Climate Data Store (CDS)* (Hozzáférés:2023. 03. 10.).
<https://doi.org/10.24381/cds.adbb2d47>
- Lionello, P., Trigo, I.F., Gil, V., Liberato, M.L., Nissen, K.M., Pinto, ... & Ulbrich, S., 2016: Objective climatology of cyclones in the Mediterranean region: a consensus view among methods with different system identification and tracking criteria. *Tellus A: Dynamic Meteorology and Oceanography*, 68(1): p.29391. <https://doi.org/10.3402/tellusa.v68.29391>
- Neu, U., Akperov, M.G., Bellenbaum, N., Benestad, R., Blender, R., Caballero, R., ... & Grieger, J., 2013: IMILAST: A community effort to intercompare extratropical cyclone detection and tracking algorithms. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 94(4): 529–547. <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-11-00154.1>
- R Core Team, 2022: R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <https://www.R-project.org/>
- Taylor, K.E., 2001: Summarizing multiple aspects of model performance in a single diagram. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 106: 7183–7192.
<https://doi.org/10.1029/2000JD900719>
- Trigo, I.F., Davies, T.D., Bigg, G.R., 1999: Objective climatology of cyclones in the Mediterranean region. *Journal of Climate*, 12(6): 1685–1696.
[https://doi.org/10.1175/1520-0442\(1999\)012<1685:OCOCIT>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(1999)012<1685:OCOCIT>2.0.CO;2)
-

ORCID

- Dolgos E.  <https://orcid.org/0000-0002-7709-7926>
Pongrácz R.  <https://orcid.org/0000-0001-7591-7989>
Bartholy J.  <https://orcid.org/0000-0002-3911-7981>