

MEDITERRÁN CIKLONOK ELEMZÉSE: A POTENCIÁLIS CIKLON-KÖZÉPPONTOK DETEKTÁLÁSA

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

A közepes földrajzi szélességek meghatározó időjárási folyamatai közé tartoznak a ciklonok. Ezek a rendszerek nagy szerepet játszanak az egyenlítői területek és az alacsony földrajzi szélességek közötti hő- és nedvességszállításban. A mediterrán ciklonok nevükből adódóan olyan alacsony nyomású rendszerek, melyek a mediterrán térségben keletkeznek. A Földközi-tengerből származó hő és nedvesség, valamint a nagy vízfelületet övező hegységek elősegítik a ciklonok kialakulását, a ciklogenezist. A teljes térségen belül az egyes területeken eltérő a ciklogenezis gyakorisága és időbeli eloszlása. A téli évszakban a mediterrán térség északi és középső területein, míg nyáron Afrika északi területein gyakori a ciklonok megjelenése (Alpert et al., 1990). Fontos megjegyezni, hogy az Atlanti-térségben keletkező ciklonokhoz képest a mediterrán ciklonok sekélyebbek, kisebb átmérőjűek, és rövidebb élettartamúak (Trigo et al., 1999), mindezek nehezítik az automatizált detektálásukat. Ugyanakkor jelentős szerepük van a térség csapadék ellátásában, illetve bizonyos ciklonokhoz különféle extrém események is társulhatnak: heves esőzések, árvizek, szélviharok (pl. Lionello et al., 2006). A mediterrán ciklonok útjuk során hazánkat is elérhetik, csapadékot, sőt, esetenként akár sivatagi port szállítanak.

Mivel a mediterrán régió a világ azon területei közé tartozik, amit a klímaváltozás leginkább érint (IPCC, 2021), ezért fontos feladat a ciklonok gyakoriságában, intenzitásában történő változások vizsgálata. Doktori kutatásom célja is ezen változások elemzése globális klímamodellek (GCM¹-ek) segítségével. Az elmúlt évtizedekre vonatkozóan mérési és reanalízis adatsorok állnak rendelkezésre, melyekkel a múltbeli változások és a jelenlegi viszonyok kerülnek majd megállapításra. A kutatás egy későbbi szakaszában pedig azt tervezem megvizsgálni, hogy a már detektált, illetve a jövőben várható változások hogyan befolyásolják Magyarország éghajlatát. A doktori kutatás tervezett lépései az alábbiak:

1. A témához tartozó irodalom áttekintése:

A mediterrán térségben bekövetkező ciklogenezist már a 20. század közepétől kezdve több kutatásban is leírták (pl. Pettersen, 1956), azóta számos kutatás foglalkozott a mediterrán ciklonok klimatológiai vizsgálatával, és folyamatosan jelennek meg publikációk a témában.

2. Közelmúlt elemzése:

Ehhez az elemzéshez először kiválasztásra kerül a vizsgálandó adatbázis. Az adatok feldolgozása érdekében egy ciklonkereső algoritmust fejleszték ki, majd a ciklonpálya követő algoritmust dolgozom ki. Ezek alkalmazása után egy klimatológiai-statisztikai értékelés fog következni.

3. A jövő elemzése a 21. század végéig:

A jövőbeli változások felderítését GCM produktumok felhasználásával kíséreljük meg. A megfelelő GCM-ek kiválasztása esetén fontos lesz, hogy historikus,

¹Global Climate Model

valamint a különböző klimatikus scenáriókra (SSP², RCP³) készített szimulációk is rendelkezésre álljanak.

4. Csapadék vizsgálata:

Azért, hogy az esetleges csapadékmennyiség-változás és a mediterrán ciklonok közötti kapcsolatot felderítsük, a kutatás egy későbbi szakaszában a ciklonok és a hozzájuk tartozó frontok, valamint a csapadékszóna elemzését végezzük majd el.

A doktori kutatás első induló évében az 1-2. lépésre fókuszáltam, így e beszámolóban ezeket foglalom össze tömören.

Ciklon azonosítás lehetőségei

Csakúgy, mint az atlanti, a mediterrán ciklonok azonosítására is többféle eljárás létezik. Hagyományosan szinoptikus térképek segítségével lehetséges a ciklonok (és anticiklonok) manuális azonosítása. Ez a módszer azonban nagy adatmennyiség vizsgálatakor, hosszú időszak esetén igencsak időigényes. Ilyen esetekben célszerűbb egy olyan feltételrendszert felállítani, melyet beprogramozva számítógép segítségével hatékonyan és relatíve gyorsan alkalmazhatunk a ciklonok objektív detektálására. Ezen algoritmusok többsége valamelyik meteorológiai mezőben történő szélsőértékek megkeresésen alapulnak. Egyes algoritmusokban több mező is megvizsgálásra kerül, valamint további kritériumok kerülnek megadásra (pl. Kelemen et al., 2015).

Mivel a ciklonok alacsony-nyomású rendszerek, ezért gyakori, hogy a felszíni légnyomás-mezőben lokális minimum értékek keresésével történik a ciklonok középpontjának beazonosítása. A nyomási mező helyett a geopotenciális szintek magasság értékeiben is történhet a lokális minimum keresés. Mindezeket kiegészítheti az örvényességi mező felhasználása, ahol viszont a lokális maximumok detektálása segítheti a ciklonok beazonosítását. A ciklonok pályáinak megállapítása az idővel elmozduló ciklonközéppontok összekötésével történik. A ciklon azonosításhoz és középpont követéshez használt különböző módszerek azt eredményezik, hogy a detektált ciklonok száma és útvonala is eltérő lesz a módszer megválasztásától függően (Neu et al., 2013). Fontos megjegyezni, hogy egyik módszert sem lehet jobbnak nevezni a többinél, hiszen a különböző kutatásokban eltérő lehet a rendelkezésre álló adat, vagy akár az a kritériumrendszer, amivel a ciklonokat definiálják. Ezen kívül a különböző mezők a ciklonok különböző karakterisztikáit képesek jellemezni. Általánosan elmondható, hogy a tengerszinti légnyomás és a geopotenciális magasság mező a nagyobb, míg az örvényesség a kisebb térbeli jellemzők kimutatására alkalmas (Hoskins & Hodges, 2002).

Felhasznált adatok

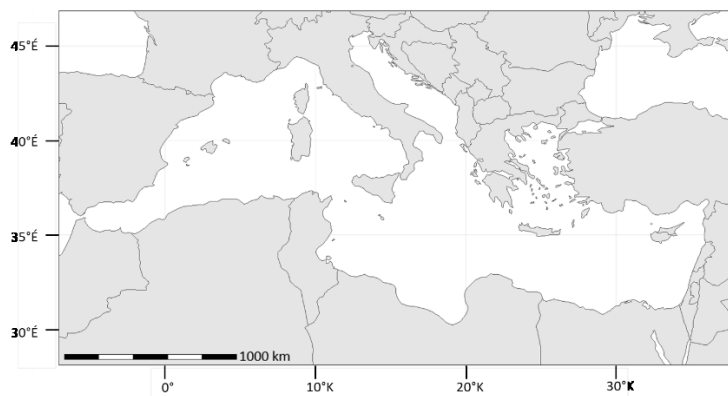
Az alacsony-nyomású központok azonosítása az ECMWF⁴ által előállított ERA-20C reanalízis adatbázis segítségével történt, amely 1900 és 2010 közötti időszakra tartalmaz meteorológiai adatokat az egész világra. Az adatok regisztráció után bárki által szabadon letölthetők az internetről. A vizsgálathoz 1°-os horizontális felbontással és 6 órás időbeli felbontással dolgoztunk. Az azonosításhoz kijelölt terület az északi szélesség 29°–46°, valamint a nyugati hosszúság 5° és keleti hosszúság 36° között fekszik (1. ábra). A vizsgálathoz az átlagos tengerszinti légnyomásértékek kerültek felhasználásra.

²Shared Socioeconomic Pathways – közös társadalmi-ökológiai útvonalak

³Representative Concentration Pathways – reprezentatív koncentrációs nyomvonalak

⁴European Centre for Medium-Range Weather Forecasts – Európai Középtávú Előrejelző Központ

A későbbiekben GCM produktumok kerülnek majd kiválasztásra a CMIP6⁵ online elérhető adatbázisából. A GCM-ek kiválasztáshoz az elérhető produktumoknak meg kell felelniük néhány fontos szempontnak. (i) Elvárás, hogy létezzen historikus szimuláció a múltra, valamint a jövőre vonatkozóan az SSP1-2.6, SSP2-4.5, SSP3-7.0, SSP5-8.5 éghajlati szcenáriókra készített szimulációk is elérhetők legyenek. (ii) A szimulált mezőkre legyen igaz, hogy a horizontális felbontás legalább 100 km-es, (iii) tartalmazzanak csapadékösszeget legalább napi felbontásban, (iv) álljon rendelkezésre legalább 6 órás felbontásban tengerszinti légnyomás, valamint (v) zonális és meridionális irányú szélkomponens a fontosabb izobár szintekre.



1. ábra: A ciklonközéppont kereséséhez kijelölt terület.

Ciklonkereső algoritmus

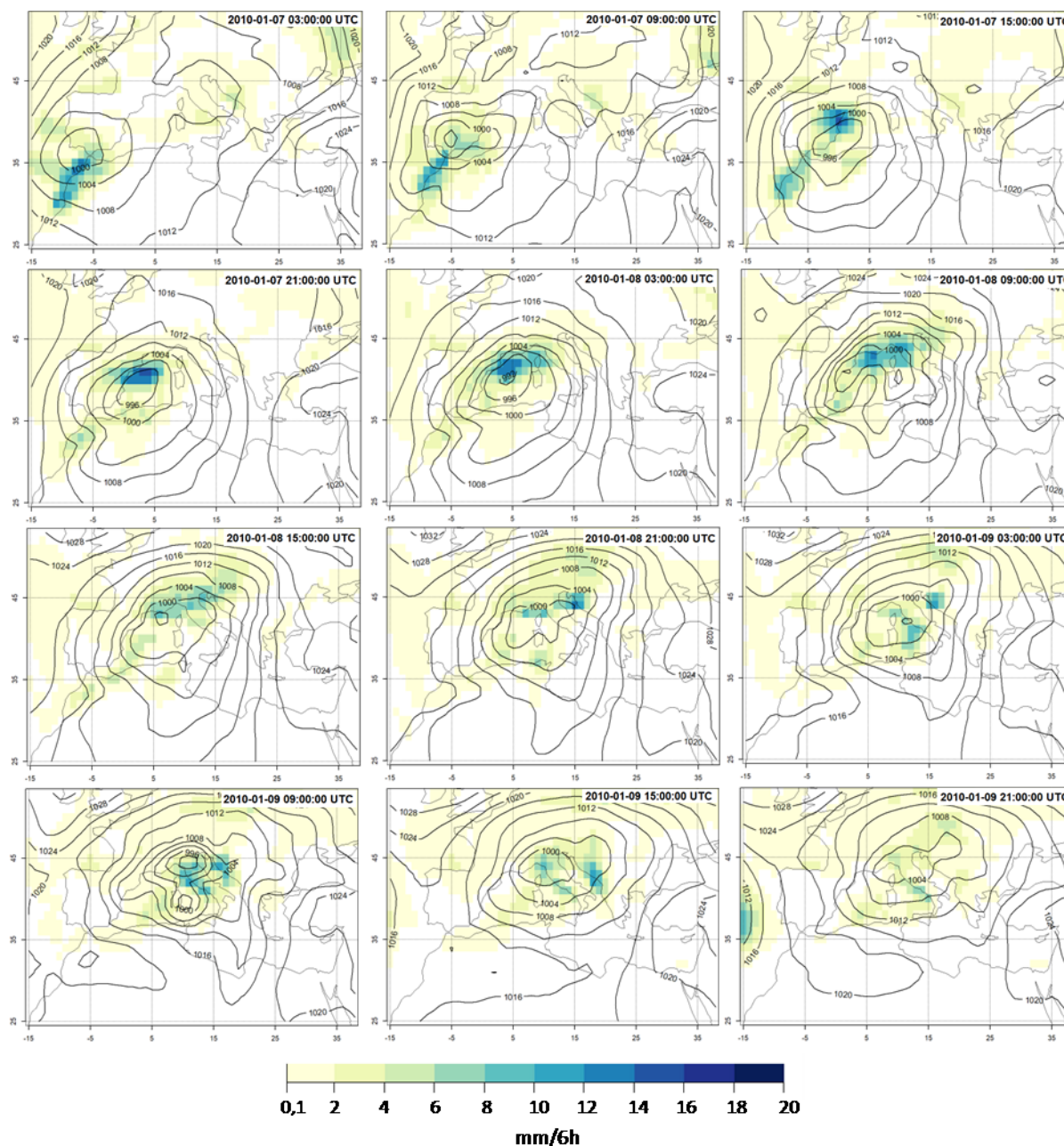
A ciklonkereső algoritmus az újabban egyre inkább terjedő R programnyelven (R Core Team, 2022) készült. A detektálás lokális minimumértékek keresésével történt a tengerszinti légnyomásmezőben. Első lépésként egy $10^\circ \times 10^\circ$ -os ablakon belül történt a minimum keresés, amellyel végighaladunk az egész vizsgálandó területen. Az algoritmus a keresést a kijelölt terület nyugati oldalának legészakibb szegmensén kezdi, majd a ciklus minden lépésében az ablakot 1° -kal keletre tolva végigfut a teljes területen, amíg a keleti határt el nem éri. A kijelölt terület határát elérve a kiindulási helyzettől képest 1° -kal délebbre tolódik az ablak, majd a nyugat-keleti irányú elmozdulás itt is megtörténik, minden ablakban megkeresve a minimumokat.

További feltételek is megadásra kerültek: (1) ha egy ugyanazon a szélességen és hosszúságon lévő minimum értéket több ablak is megtalál, akkor csak az első találat kerül megjegyzésre; (2) ha a talált minimum értéke nagyobb, mint 1013 hPa, akkor az elvetésre kerül. Ezen szűrések után is előfordulhat az, hogy egymáshoz közeli, ugyanazon rendszerhez tartozó nyomási értékeket találunk meg. Ennek elkerülése érdekében újabb szűréseken esnek át az azonosított minimumértékek. Ez a szűrés kétféle kritériummal is megtörténik. Az egyik kritérium szerint, (a) ha a talált minimumérték földrajzi helyétől bármilyen irányban 1° -os távolságban a vizsgált minimumértéknél alacsonyabb nyomási minimumot találunk, akkor az eredetileg vizsgált minimumértéket elvetjük mint lokális minimumot. Szemléletesen: a talált minimum értékeket egy $3^\circ \times 3^\circ$ -os kivágat közepére képzeljük, akkor a középső érték szomszédságában nem lehet nála alacsonyabb minimumérték. Egy másik esetben (b) a minimumérték 2° -os környezetére alkalmazzuk ugyanezt a kritériumot. Ebben az esetben az előző példa helyébe egy $5^\circ \times 5^\circ$ -os kivágatot képzelhetünk.

⁵Coupled Model Intercomparison Project Phase 6 – Csatlott Modellek Összehasonlító Projekt hatodik szakasza

Esettanulmány

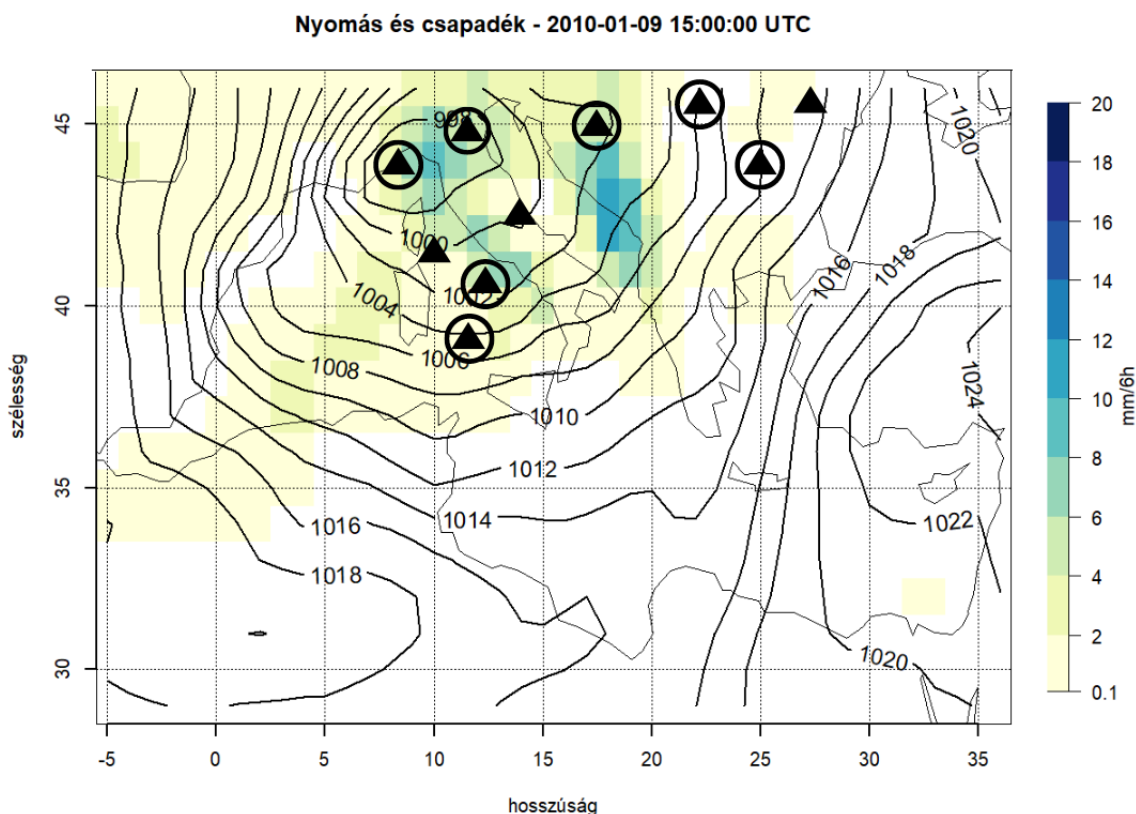
A ciklonkereső algoritmus tesztelésre 2010 január hónapját választottuk ki. Ebben az időszakban számos mediterrán ciklon volt detektálható a Földközi-tenger térségében, melyek közül az egyik legintenzívebb január 7. és 10. között volt jelen. A reanalízis adatok alapján a legalacsonyabb középponti légnyomásérték 992 hPa volt az esemény során. A 72-órás csapadékösszeg egyes területeken az 50 mm-t is meghaladta, maximális értéke pedig 59 mm volt. A ciklon vonulását és a lehulló csapadék mennyiségét a 2. ábra mutatja 6 órás időközönként.



2. ábra: Mediterrán ciklon haladása 2010. január 7. 03 UTC és 2010. január 9. 21 UTC között.
A fekete vonalak jelölik az izobárokat, a színezés pedig a megelőző 6 óra alatt lehullott csapadék mennyiségét.

A ciklon az Atlanti-óceán felől, a Gibraltári-szoroson keresztül jutott a mediterrán térségbe. Innen északkeleti irányba haladt, mialatt mélyülni kezdett. A ciklonnal érkező havazás több európai országban okozott fennakadásokat. Repülőjáratokat kellett törölni Svájcban és Németországban, Lengyelországban pedig áramkimaradást okozott a lehullott hó [1 – NOAA]. Január 8-án a Kárpát-medencét is elérte a mediterrán ciklon. Hazánk területén havazást, havas esőt, esőt, ónos esőt okozott. Nyugati tájainkon egyes állomásokon 24 óra alatt 17 mm csapadékösszeget detektáltak [2 – OMSZ].

A ciklonkereső algoritmus által detektált lokális minimumokat ezen esemény egy időpontja – 2010. január 9. 15 UTC – segítségével mutatjuk be. A 3. ábrán láthatók a vizsgált időpontban fennálló légnyomás viszonyok (fekete vonallal az izobárok), valamint az időpontot megelőző 6 óra alatt lehullott csapadék mennyisége (színezés). Fekete háromszögek jelölik azokat a minimumértékeket, amelyek beazonosítása az algoritmus leírásánál az (a) pontban leírtak szerint történt. Ilyen feltételekkel 10 minimumértéket találtunk. Fekete körrel körülvéve pedig azok a háromszögek láthatók, amely minimumok 2°-os környezetében nincsen alacsonyabb légnyomásérték ((b) pont). A vizsgált időpontban 7 ilyen minimumérték volt azonosítható. A berajzolt izobárok és a megtalált minimumok helyzetéből látható, hogy olyan lokális minimumhelyek is bekerültek a potenciális ciklon-középpontok közé, amelyek valójában nem a ciklon közepén találhatók. Ezen ál-ciklonközéppontok terveink szerint a minimumhely követésével kisszűrhetővé válnak majd. Végeredményben ezzel a módszerrel megkaphatjuk a ciklonok trajektóriáját. A doktori kutatás következő évében kerül sor erre a lépésre, az azonosított ciklonok trajektóriájának meghatározására.



3. ábra: A ciklonközéppont kereső algoritmus alkalmazása 2010. január 9. 15 UTC-kor. Fekete vonalak jelölik az izobárokat, a színezés pedig a megelőző 6 óra alatt lehullott csapadék mennyiségét; fekete háromszög jelzi az (a) pontban leírtak szerint, míg fekete kör a (b) pont alapján beazonosított lokális minimumértékeket.

Köszönetnyilvánítás

A kutatás az Éghajlatváltozás Nemzeti Multidiszciplináris Laboratórium RRF-2.3.1-21-2022-00014 számú projekt, valamint a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Alap K-120605 és K-129162 számú projektjei keretében valósul meg.

Hivatkozások

- Alpert, P., Neeman, B.U., Shay-El, Y., 1990: Climatological analysis of Mediterranean cyclones using ECMWF data. *Tellus A: Dynamic Meteorology and Oceanography*, 42(1): 65–77.
<https://doi.org/10.3402/tellusa.v42i1.11860>
- IPCC, 2021: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2391 pp.
<https://doi.org/10.1017/9781009157896>
- Hoskins, B.J., Hodges, K.I., 2002: New perspectives on the Northern Hemisphere winter storm tracks. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 59(6): 1041–1061.
[https://doi.org/10.1175/1520-0469\(2002\)059<1041:NPOTNH>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0469(2002)059<1041:NPOTNH>2.0.CO;2)
- Kelemen, F.D., Bartholy, J., Pongrácz, R., 2015: Multivariable cyclone analysis in the Mediterranean region. *Időjárás*, 119(2): 159–184.
- Lionello, P., Malanotte-Rizzoli, P., Boscolo, R., 2006: Cyclones in the Mediterranean Region: Climatology and Effects on the Environment. In: *Mediterranean climate variability*. Elsevier, Amsterdam, The Netherlands. 325–372.
- Neu, U., Akperov, M.G., Bellenbaum, N., Benestad, R., Blender, R., Caballero, R., Coccozza, A., Dacre, H.F., Feng, Y., Fraedrich, K., 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>
- Petterssen, S., 1956: Weather analysis and forecasting, vol 1., McGraw-Hill, New York, USA. 428.
- R Core Team, 2022: R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <https://www.R-project.org/>
- 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)

Internetes hivatkozások

- [1 – NOAA] <https://www.ncei.noaa.gov/access/monitoring/monthly-report/hazards/201001>
[2 – OMSZ] https://www.met.hu/idojaras/aktualis_idojaras/napijelentes_2005-2019/
-

ORCID

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