

MEDITERRÁN CIKLONOK TRÓPUSI JELLEGÉNEK VIZSGÁLATA

Hérincs Dávid, Dezső Zsuzsanna 

ELTE Eötvös Loránd Tudományegyetem, Földrajz- és Földtudományi Intézet,
Meteorológiai Tanszék, 1117 Budapest, Pázmány Péter sétány 1/A
e-mail: herincs.david@gmail.com

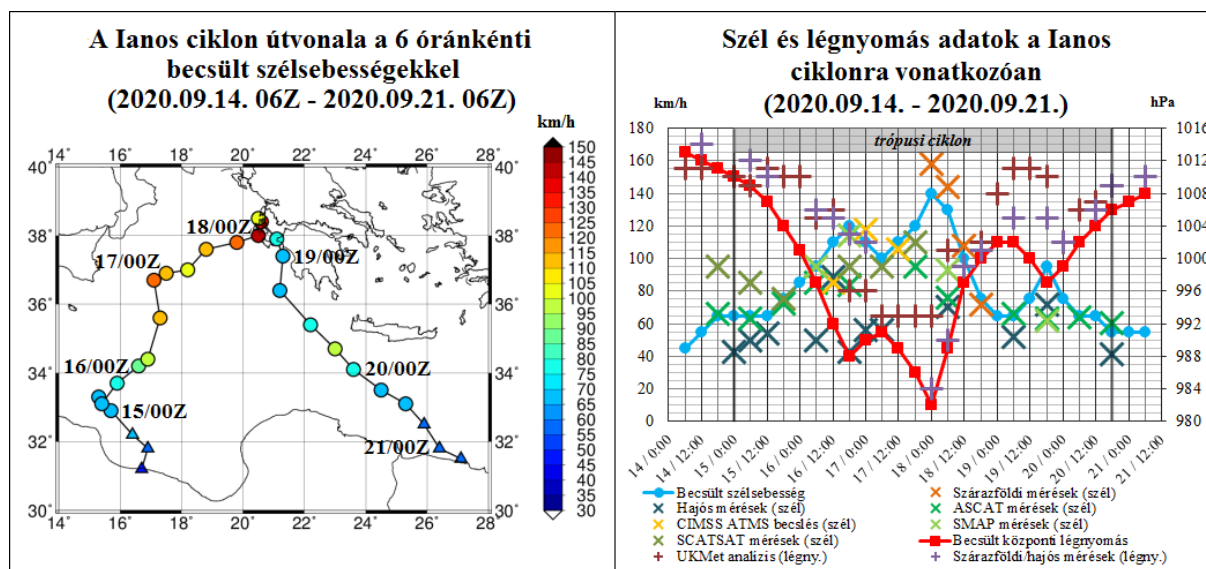
Bevezetés

A mediterrán ciklonok különleges légköri képződmények, melyek bizonyos értelemben a klasszikus mérsékelt övi és a trópusi ciklonok keverékeként tekinthetők. A Földközi-tenger és a környező domborzat ugyanis meglehetősen sajátos kialakulási körülményeket tesz lehetővé: a tengert körülölelő hegyláncok és az azokat megkerülő hideg levegő gyakran elősegíti kialakulásukat (lee-oldali ciklogenezis), miközben a még télen is viszonylag meleg tenger jelentős látens hőt biztosít számukra. Ennek köszönhetően a ciklonok gyakran hibrid jelleget mutatnak, nem, vagy csak rövid ideig rendelkeznek határozott frontokkal, és életük előrehaladtával egyre inkább a konvektív folyamatok dominálnak bennük. Emellett méretük általában kisebb, élettartamuk rövidebb, mint a például az Atlanti-óceán felett létrejövő mérsékelt övi ciklonoké. A mediterrán ciklonok egy külön csoportját alkotják az úgynevezett medikánok, melyek az angol Mediterranean hurricane szavak összevonásából (medicane) kapták a nevüket. Ezek kis méretű, de jól fejlett, többnyire frontmentes ciklonok, melyek kinézetre nagy hasonlóságot mutatnak a trópusi ciklonokkal: többször megfigyelhető a központjukban egy felhőmentes szem, az e körül magasba tornyosuló, olykor teljesen zárt konvektív felhőzet alkotta szemfál, valamint esetenként még külső, spirálisan feltekeredő konvektív felhőkarok is (Miglietta & Rotunno, 2019). Ráadásul apró méretük ellenére lokálisan hasonló károkozásra képesek, mint trópusi társaik, kiemelten a kiadós csapadék révén, de időnként a szél is elérheti bennük a Saffir-Simpson hurrikánskála szerinti 1-es, ritkán a 2-es kategóriának megfelelő erősséget (mint például a következő fejezetben bemutatásra kerülő Ianos ciklon esetében). A medikánok leggyakrabban az őszi és a téli hónapokban jönnek létre, amikor a tenger még viszonylag meleg, ugyanakkor a nyugati áramlásról már le tudnak szakadni ciklonok a térségbe, melyek aztán tartósan a víz felett maradva, részben a látens hőből, részben a tenger és a felső-troposzféra közötti hőmérséklet-különbségből eredő instabilitásból energiát merítve átalakulnak konvektív örvénnyé, amennyiben az egyéb légköri feltételek (például szélnyírás, nedvességi viszonyok) is megfelelőek (Cavicchia et al., 2014). A medikánok tanulmányozása az utóbbi években egyre aktívabbá vált, vizsgálták többek között a kialakulásukat elősegítő tényezőket és a trópusi jellegüket meghatározó strukturális elemeket, mint például a cut-off ciklonokkal érkező potenciális örvényességi szalagok szerepét, vagy a mélykonvekció tartósságát és annak térbeli eloszlását a vertikális szélnyírás függvényében (Dafis et al., 2018; Fita & Flaounas, 2018; Marra et al., 2019; Dafis et al., 2020; Flaounas et al., 2021), továbbá a jövőben várható tendenciákat is (Juan et al., 2019). Utóbbi esetben a ciklonok darabszámára vonatkozóan nem mutatkozott határozott trend, viszont a melegedő tenger hatására gyakoribbá válhatnak az erősebb ciklonok.

Doktori kutatásom elmúlt, első évében a szakirodalmi áttekintésen túl kidolgoztam egy alapvető szinoptikai vizsgálati módszert, melyben főként műholdas mérések és reanalízis adatok felhasználásával vizsgálható a ciklonok trópusi jellege, illetve annak tartóssága. Jelen írásban elsőként ezt mutatnám be a Ianos ciklonon keresztül, majd a második szakaszban néhány jellegzetes ciklont kiválasztva a medikánok egy lehetséges kategorizálását vázolom fel.

Egy közelmúltbeli példa: a Ianos ciklon

A Ianos ciklon 2020 szeptemberében jött létre a Földközi-tenger középső medencéjében, ahol a tenger hőmérséklete 26-27 °C körül alakult. A ciklonnak a megszokottal ellentétben nem volt mérsékelt övi (frontális) előzménye, az eleve egy konvektív örvényként alakult ki, igaz, egy magassági hidegörvénnyel kölcsönhatásban. A légörvény mind élettartamában, mind erősségében kitűnt a korábbiak közül (1. ábra), ugyanis 7 napig életben maradt, és ebből körülbelül 5,5 napig trópusiként viselkedett, többnyire tartós, mély konvekciót produkálva.

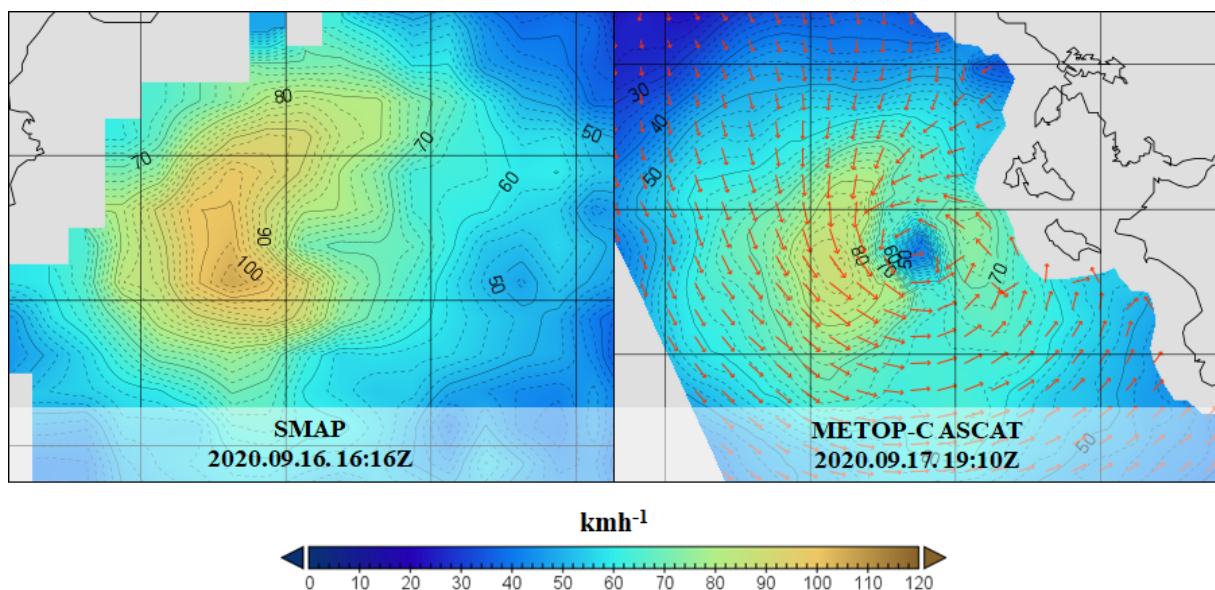


1. ábra: A Ianos ciklon útvonala és 6 óránkénti becsült erőssége a különböző elérhető mérések alapján (a körök jelölik a trópusi stádiumot).

A ciklon 18-án partot ért Kefalónia szigetén, és az északnyugati részén fekvő Palliki-n a szem átvonulását követően a Saffir-Simpson skála esetén használt 1 perces átlagszél maximuma elérte a 158 km/h-t, mely már a 2-es kategória alsó határának volt megfelelő, míg a 194 km/h-s maximális szélökés a 3-as kategóriának. Emellett a légnyomás a mérőállomáson 984 hPa-ig csökkent (Lagouvardos et al., 2022). Ezzel ez lett az első medikán, mely bizonyítottan hurrikán erősségű volt a (szub)trópusi időszakában. Megjegyzendő ugyanakkor, hogy a publikált adatok időbeli lefutása alapján a szélmaximum – a modellek várakozásával és a trópusi ciklonok szélviszonyaival egybecsengve – néhány órával a szem átvonulása után állt be, viszont ugyanakkor rögzítette a műszer a legalacsonyabb légnyomást is, nem a szem – kissé délebbre történő – átvonulása idején. Mivel a településtől keletre és északra hegyvidéki területek találhatóak, feltételezhető, hogy a domborzat lejtőviharszerűen ráerősíthetett a ciklon nyugati oldalán tapasztalható északias irányú szélre, egy kisebb alacsony nyomású zónát létrehozva a hegység lee oldalán (Durran, 2003). Mindazonáltal a szemben tapasztalható légnyomás hasonló lehetett a mért értékhez, és az atlanti hurrikánok esetében jellemző légnyomás-szél kapcsolatok alapján az 1-es kategória középső tartományát (~140 km/h) mindenképpen elérhette a Ianos legnagyobb becsült erőssége. A ciklonról több, a trópusi ciklonok esetében is operatíván használt műholdas széladat elérhető volt. Mivel az e szenzorok által mért szélességek általában a 10 perces átlagszéllal ekvivalensek, ezeket a WMO által jelenleg elfogadott 1,075-ös szorzóval átkonvertálva megkaphatók a Saffir-Simpson skálának megfelelő 1 perces átlagszelek (Harper et al., 2010). A szélirány és szélerősség mérésére is alkalmas ASCAT¹ szenzorok (A, B, C) adataiban jól nyomon követhető volt a ciklon

¹ Advanced Scatterometer

cirkulációjának fokozatos megerősödése és egyre kiterjedtebbé válása, mely mindvégig meglehetősen szimmetrikus volt, abban frontális jellegű „törések” és szélsébség-eltérések nem mutatkoztak. Csupán a ciklon északi oldalán jelent meg egy határozottabb konvergencia zóna, mely spirálisan betekeredett a központi magba. A legnagyobb, 1 perces átlagra átszámítva 95 km/h-s szélerősséget a 17-én 19:10 UTC-kor készült mérés rögzítette (2. ábra) néhány órával a partot érés előtt, mely jóval elmarad a Paliki-n mért értékektől. Azonban a ciklon ekkor még erősödőben volt, továbbá ismert, hogy a kis méretű trópusi ciklonok esetében az ASCAT szenzorok nem tudják kellő pontossággal mérni a szélerősséget – ezt például az amerikai Nemzeti Hurrikánközpont is figyelembe szokta venni és olykor ki is emeli az atlanti vagy csendes-óceáni ciklonokról szóló valós idejű diszkusszióiban –, illetve ilyen értéktartományban már eleve csökken a mérési pontosság. A nagyobb szélsébségeknél is pontosabb, de csak erősséget mérő SMAP² szenzor kevesebb mérést végzett a ciklonról, és a legnagyobb intenzitás idejéből nem volt elérhető adat. Ugyanakkor előző nap, 16-án 16:16 UTC-kor átszámítva 114 km/h-s szélsébséget mért, mely alig maradt el az 1-es kategória alsó határától (2. ábra). Ezen a napon kissé korábban, 09:00 UTC-kor egy hajó 89 km/h-s 10 perces átlagszelet jelentett a ciklonközpont közeléből. A Ianos ciklon ekkor jelentős átalakuláson ment keresztül, miközben mindvégig intenzív mélykonvekciót produkált: a nap első felében a délies irányú vertikális szélnyírás miatt az alacsonyszintű központja még a zivatartömbök déli peremén helyezkedett el, később azonban a szélnyírás gyengülésével a konvekció gyorsan és teljesen felcsavarodott a központ körül, igaz, nem sokkal ezután le is gyengült.



2. ábra: A legnagyobb értékeket mutató SMAP és ASCAT mérések a Ianos ciklonról („nyers” adatok, azaz ~10 perces átlagok).

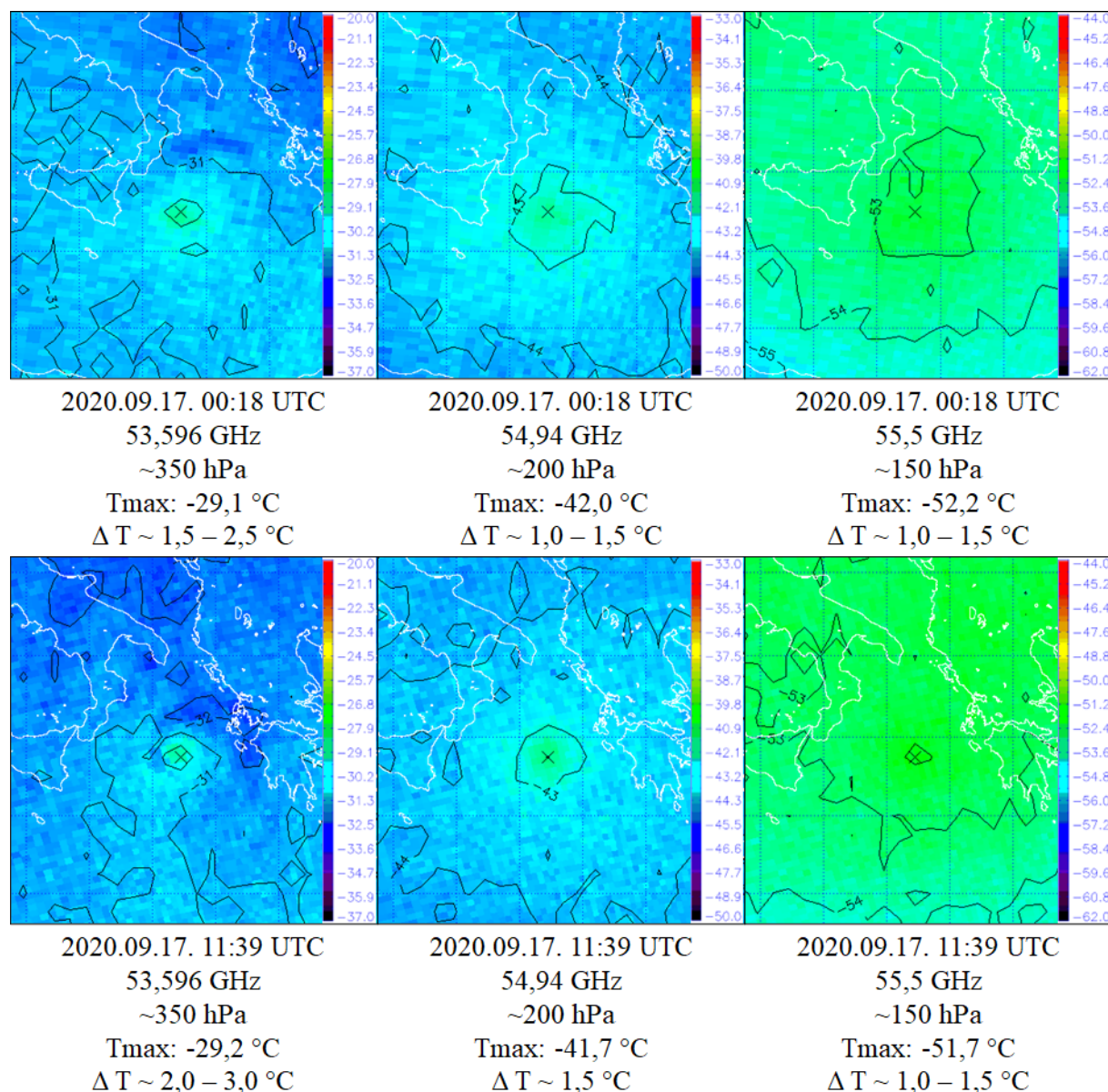
A Ianosról a trópusi ciklonokat monitorozó CIMSS³ szervezet is készített műholdas (ATMS⁴) alapú intenzitás becsléseket, és 17-én 00:18 UTC-kor, már jóval a mélykonvekció megszűnése után 118 km/h-s szélerősséget becsültek a ciklonban. A mérési adatok, valamint a strukturális átalakulás okán valószínűsíthető, hogy a Ianos átmenetileg már 16-án este is elérte a hurrikán erősséget, az 1-es kategória alsó határának megfelelő ~120 km/h-s szélsébséggel. A CIMSS ATMS becslésekkel együtt elérhetőek voltak 50-58 GHz közötti tartományú műholdas mérések is, melyek prezentálták a hőmérsékleti viszonyokat a troposzféra felső

² Soil Moisture Active Passive

³ Cooperative Institute for Mesoscale Meteorological Studies

⁴ Advanced Technology Microwave Sounder

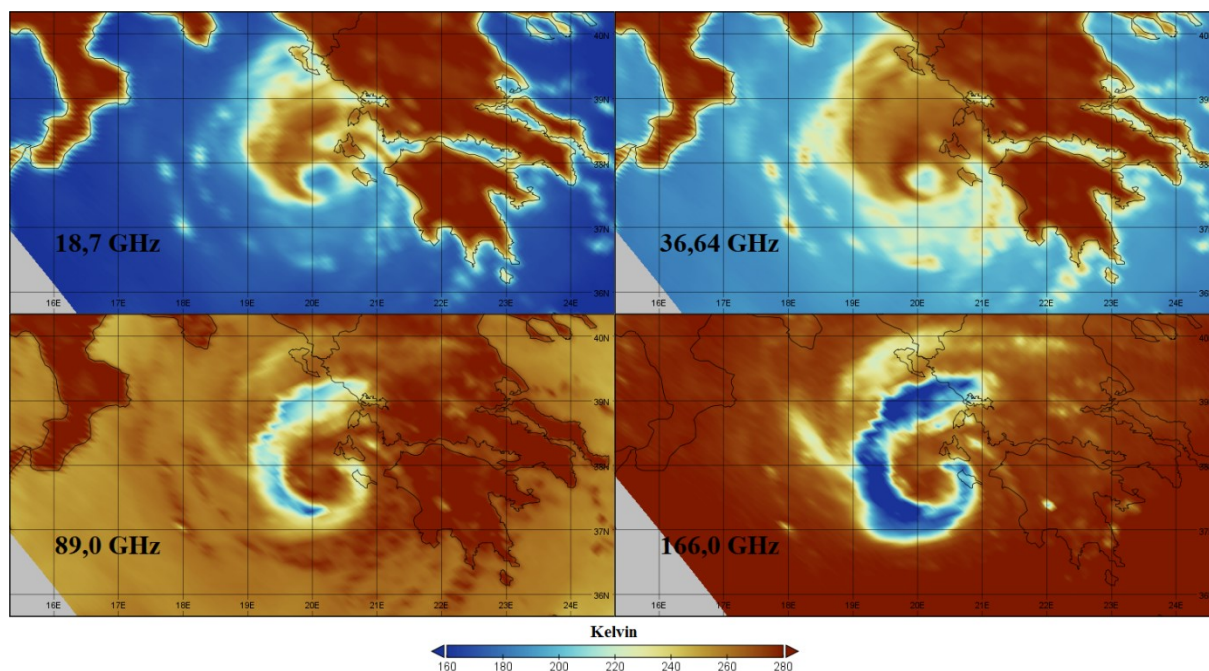
résében. Ezek megerősítették, hogy a ciklon mély és határozott meleg maggal rendelkezett, ami a trópusi légörvények legfőbb sajátossága. A már említett 17-ei 00:18 UTC-s, valamint egy későbbi, 11:39 UTC-s időpontban a ~ 350 hPa-os magasságnak megfelelő 53,596 GHz-es mérésen $2\text{--}2,5$ °C-os, míg a ~ 200 hPa-nak megfelelő 54,94 GHz-es és a ~ 150 hPa-nak megfelelő 55,5 GHz-es méréseken $1\text{--}1,5$ °C-os meleg mag volt azonosítható (3. ábra), mely az atlanti hurrikánokkal összevetve megfelel az 1-es, 2-es kategóriájú ciklonok esetében ott is gyakran tapasztalható értékkel.



3. ábra: A CIMMS által közzétett műholdas magassági hőmérséklet mérések (°C-ban) 2020. szeptember 17-én [1 – tropic].

A trópusi ciklonok struktúrájának analízisét segítik az alacsonyabb és magasabb, különösen a ~ 19 GHz-es, a ~ 24 GHz-es, a ~ 37 GHz-es, a ~ 89 GHz-es és a ~ 160 GHz-es frekvenciákon történő mérések. Ezek ugyanis egybeesnek a vízgőz és a jég különböző elnyelési sávjaival, így alkalmasak a víz- és jégtartalmú felhők elkülönítésére, illetve az egyes csapadékelemek mennyiségének, közvetetten pedig a csapadék intenzitásának becslésére. E mérések közül a két

legjobb felbontású a GCOM-W1⁵ műhold AMSR-2⁶ valamint a GPM⁷ műhold GMI⁸ szenzora. Ezek alapján jól követhető volt a Ianos klasszikus, trópusi ciklonokéhoz hasonló fejlődése, a belső mag és a külső, spirális csapadéksávok kialakulása. A GMI szenzor nem sokkal a partot érés előtt, 17-én 22:31 UTC-kor végzett mérése alacsonyabb szinteken (18,7 és 36,64 GHz) szinte teljesen zárt szemet mutatott, a szemfalban magas értékekkel, ami intenzív csapadékra utalt. A magasabb szinteken (89,0 és 166,0 GHz) az alacsonyabb hőmérsékletű területek jelzik az intenzív konvekcióra utaló, magasba nyúló (jég)felhőzetet, mely elsősorban a ciklon északi, nyugati és déli részén volt jelen, de kisebb mértékben a keleti oldalra is átcsavarodott (4. ábra).



4. ábra: A GPM műhold GMI szenzorának mikrohullámú tartományú mérései (a vertikális és horizontális polarizációjú mérések kompozitja) a Ianos ciklonról annak legerősebb időszakában, 2020. szeptember 17-én 22:31 UTC-kor.

Mivel ekkor a műhold szinte közvetlenül a ciklon felett haladt végig, a szűkebb sávban pásztázó DPR⁹ szenzorának mérései is érintették azt. Ezek közül elsősorban a 3-dimenziós radarmérések, valamint a csapadékintenzitás és felhőtető-magasság (a mérhető radarjelek maximális magassága) adatok emelendők ki. Ezek megerősítették a mikrohullámú mérésekből levonható következtetéseket: a csapadék a ciklon északi és nyugati oldalán volt a legintenzívebb (~50 dBz), és a radaron egyértelműen megjelent a szemfal, mely a délkeleti ténegyedben gyengébb, részben nyitott volt. Az északnyugati, északi szemfal csapadéka azonban viszonylag alacsony felhőzethez kapcsolódott, míg a nyugati, déli és keleti oldalon intenzívebb konvekció volt jelen 8-10 km körüli, helyenként 10 km feletti felhőtetőkkal. Emellett hasonló értékeket mért a szenzor az északra lévő spirálkarok területén is, melyek szintén jól elkülöníthetők voltak a radaron (5. és 6. ábra).

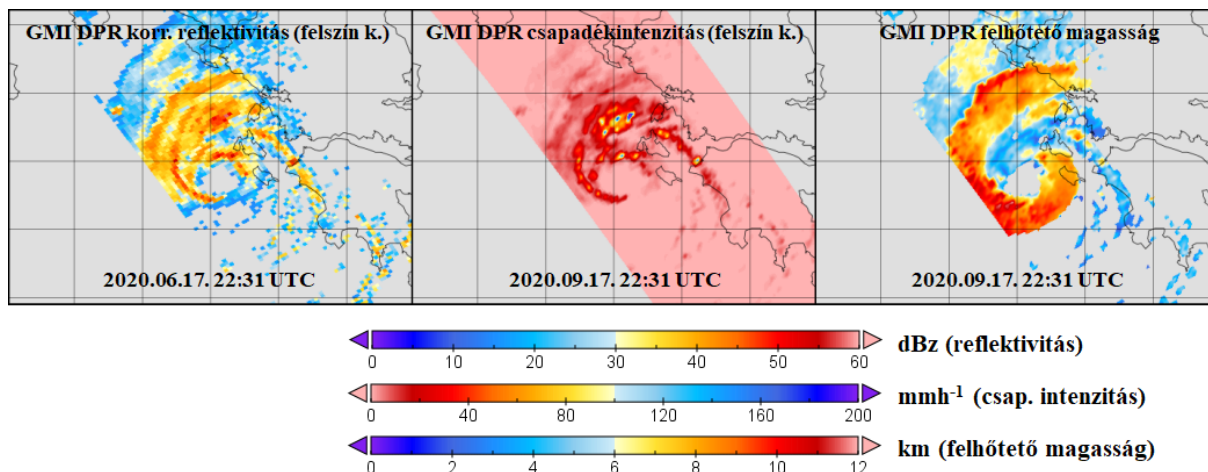
⁵ Global Change Observation Mission - Water

⁶ Advanced Microwave Scanning Radiometer-2

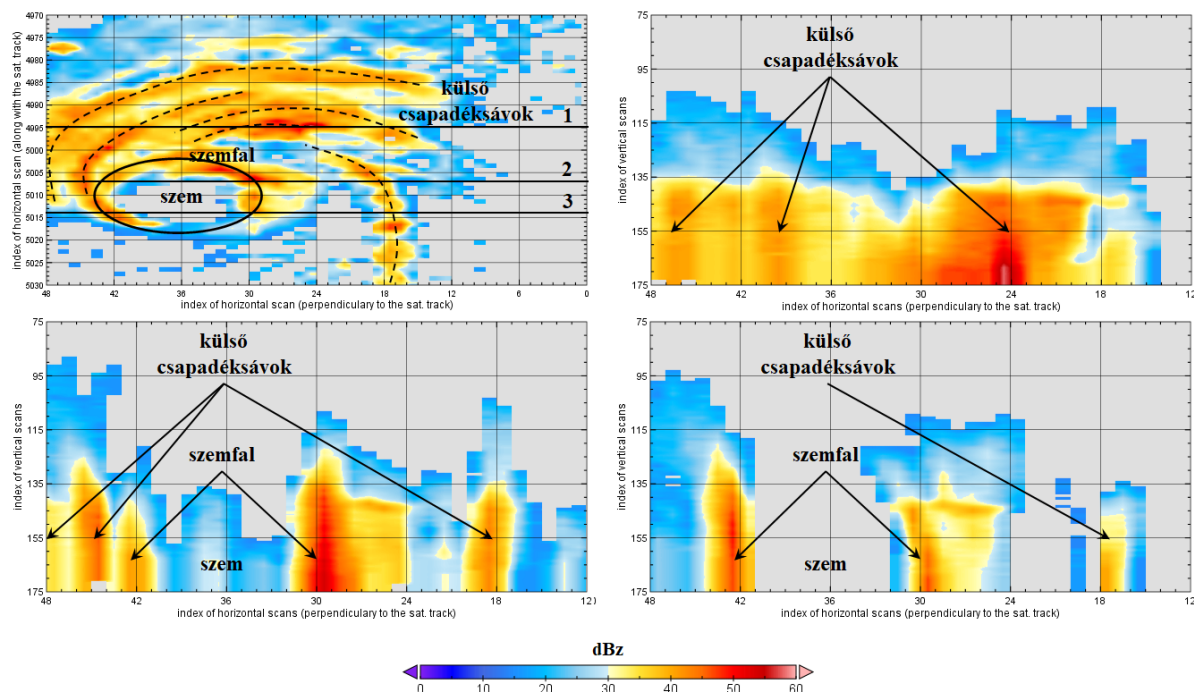
⁷ Global Precipitation Measurement Mission

⁸ GPM Microwave Imager

⁹ Dual-frequency Precipitation Radar



5. ábra: A GPM műhold DPR szenzorának csapadékhoz kapcsolódó mérései 2020. szeptember 17-én 22:31 UTC-kor.



6. ábra: A GPM műhold DPR szenzora által mért radar-reflektivitás adatok vertikális metszetei 3 kiválasztott tengely mentén 2020. szeptember 17-én 22:31 UTC-kor.

A Ianos ciklon néhány korábbi „társa” – pl. a 2017-es Numa és a 2018-as Zorbas – mellett szintén megmutatta, hogy a medikánok is képesek a trópusi ciklonokhoz hasonló károkozásra. Görögországban a nyugati szigetekeken pusztító szél mellett többfelé hullott 100 mm feletti, sőt, főként Kefalónia hegyeinek északi, valamint a Píndosz-hegység keleti oldalán az áramlási viszonyok miatt fellépő torlasztó hatás révén 200-300 mm-t is meghaladó csapadék. A Meteo.gr [2 – meteo.gr] mérőhálózatában elérhető adatok alapján 4 nap alatt Pertouli-ban esett a legtöbb, 317,4 mm csapadék, és itt, valamint Mouzaki-ban 18-án a napi csapadékösszeg is meghaladta a 200 mm-t. A Kefalónia északi csücskében fekvő Antipata-n azonban ezen a napon a csapadékösszeg elérte a 644,7 mm-t (Lagouvardos et al., 2022). Emellett 17-én a ciklon egy heves külső csapadéksávjából Olaszország legdélebbi részén, 20-ára virradóan pedig Krétán is előfordultak intenzív zivatarok. Az olasz területen Campolongo/Isola di Capo Rizzuto

állomáson mérték a legmagasabb, 167,4 mm-es összeget (0-0 UTC között), míg Krétán a szintén hegyvidéki Askyfou-n, 140,0 mm-t. A heves esőzések mindegyik térségben áradásokhoz vezettek, melyek főként Görögországban okoztak jelentős károkat, a megáradt folyók és a földcsuszamlások több helyen utakat, hidakat, vasútvonalakat mostak el (Zekkos et al., 2020).

A ciklonok kategorizálása

Az amerikai Nemzeti Hurrikánközpont már évek óta hivatalosan besorolja (szubtrópusi vagy trópusi minősítéssel) azokat a ciklonokat is, melyek az óceán északabbi területén (hozzávetőlegesen az északi szélesség 25-40° között), gyakran a nyugati áramlásról leszakadó, és a melegebb óceán felett megrekedő, átalakuló mérsékelt övi ciklonokból jönnek létre. Ott jól ismert az átalakulási folyamat konceptuális modellje: kezdetben a ciklon felett elhelyezkedő hidegebb levegő a melegebb tengervízzel kölcsönhatva növeli az instabilitást, mely konvekció kialakulásához vezet a ciklon központi régiójában, gyakran a leszakadó okklúziós fej mentén. Alacsonyabb szinteken a Shapiro-Keyser ciklonmodellnek (Shapiro & Keyser, 1990) megfelelően ezek a ciklonok olykor már eleve meleg magvúként záródott okklúzióval rendelkeznek, azonban a konvekció által felszabaduló látens hő fokozatosan felmelegíti a magasabb rétegeket is. Ezután a ciklon két irányba fejlődhet tovább. Ha a tengerfelszín és a felső-troposzféra hőmérséklet-különbsége nem elég nagy, a felszabaduló hő jelentősebben csökkent a labilitást, így a konvekció viszonylag szervezetlen és sekélyebb marad, a magasabb szinteken pedig megmarad a ciklon hidegebb magja (gyakran magával a kezdeti ciklonális örvénnyel együtt). Ebben az esetben a rendszer szubtrópusi besorolást kap. Azonban ha a konvekció egyre szervezettebbé és mélyebbé tud válni, és idővel a ciklon teljes vertikális kiterjedésében meleg mag jön létre, a magasban pedig szétáramlás fejlődik ki a ciklon felett, akkor a rendszer trópusi besorolást kap. A leggyakoribb fejlődési menet során egy légörvény mérsékelt öviből előbb átmenetileg szubtrópusi ciklonná alakul, majd ezután fejlődik tovább trópusivá (González-Alemán et al., 2015, Tang et al., 2020).

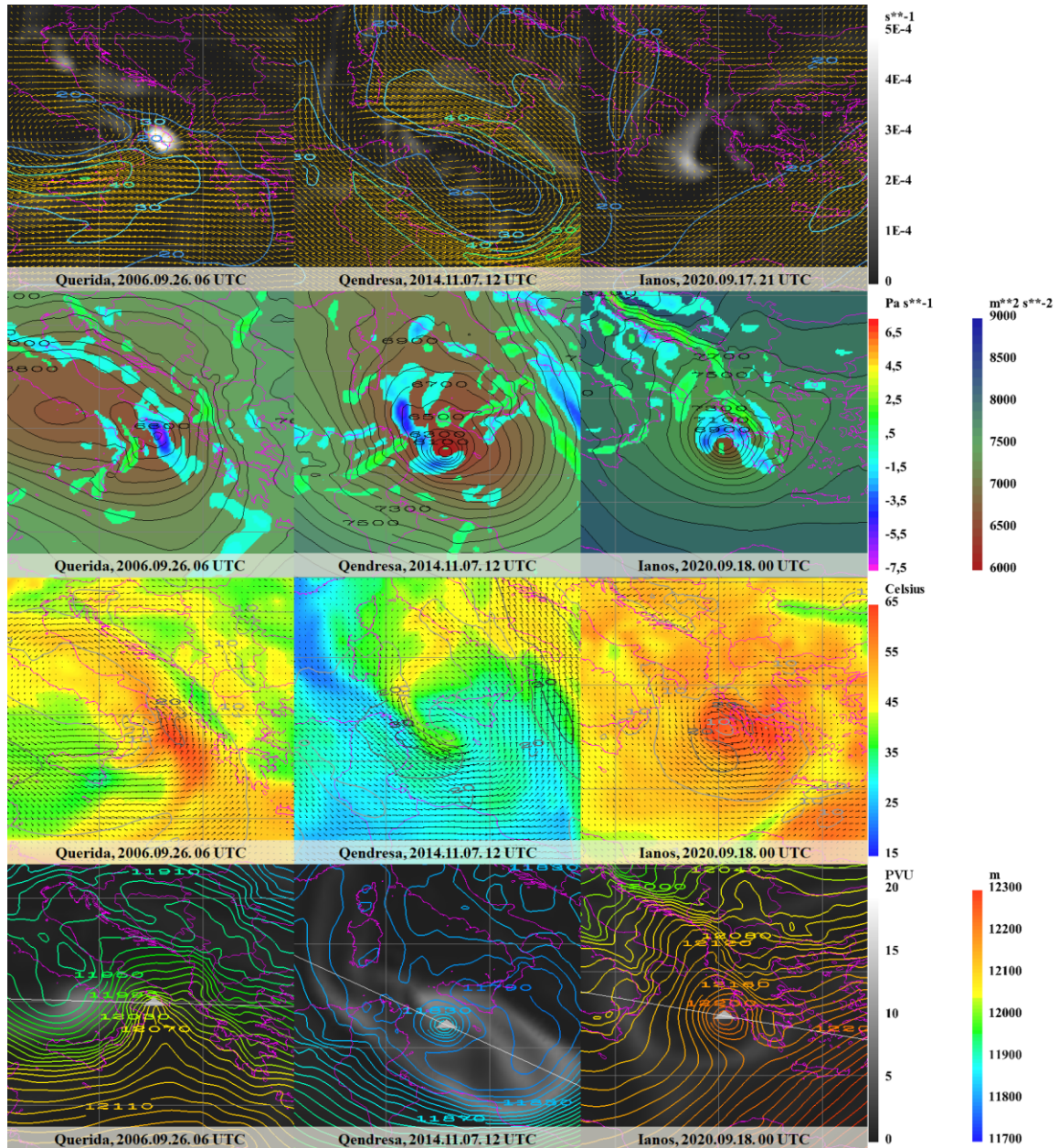
Mivel a medikánok többségének létrejötte rendkívül hasonló ehhez a folyamathoz, a kategorizálásuk alapötletét szintén ez a módszer adta. Itt ugyanakkor esetenként már az okkludálódás során megjelenik határozottabb trópusi struktúra, így az első stádiumként a meleg magvú okkludált ciklon lett meghatározva, és ezután következik a szubtrópusi, majd a trópusi állapot. Mivel a medikánok általában még az említett, átlagosan 3-4 napos élettartammal bíró „hibrid” atlanti ciklonoknál is rövidebb életűek, ezért természetesen itt is előfordul, hogy egy adott ciklon megreked az első, vagy a második fejlettségi szinten. Negyedik, „kiegészítő” kategóriaként szerepel még a trópusi jellegű mediterrán ciklon, mely azokat a légörvényeket fedi le, melyek ugyan határozott trópusi struktúrával rendelkeznek, de csak nagyon rövid ideig, vagy időszakosan. Ide elsősorban a sekélyebb, eleve konvektív túlsúlyú ciklonok tartoznak, de olykor cirkuláris zivatarrendszerek is felvehetnek hasonló kinézetet. A kategorizálás a fentebb részletezett elemzésen túl 0,075°-os felbontású ECMWF¹⁰ reanalízis adatok segítségével történt, olyan paramétereket választva, melyek jellegzetesen elkülönülnek a mérsékelt övi, a szubtrópusi és a trópusi ciklonok esetében. Így figyelembe lett véve a magassági (250-300 hPa) szél, divergencia és potenciális örvényesség, az alacsony szinteken (850-925 hPa) lévő szél, vertikális sebesség, relatív örvényesség, geopotenciál, valamint a 200-1000 hPa közötti rétegvastagság. Jelen írásban 3 „prototípus” ciklon kerül bemutatásra: a 2006-os Querida, a 2014-es Qendresa és a 2020-as Ianos, melyek sorrendben a 3 fejlődési stádiumnak is megfelelő kategóriát – meleg magvú okkludált-, szubtrópusi-, trópusi ciklon, a továbbiakban (1), (2) és (3) eset – reprezentálják (7. ábra). A Ianos ciklon korábban már bemutatott, sajátos kialakulási

¹⁰ European Centre for Medium-Range Weather Forecasts

folyamatával szemben a másik kettő a klasszikus utat követve egy-egy mérsékelt övi légörvény átalakulásával jött létre. A Querida ciklon egy hullámozó hidegfront mentén keletkezett egy intenzív, kis méretű peremciklonként az olasz csizma sarkánál, ám mivel csak rövid időt töltött a víz felett, illetve mindvégig kapcsolatban maradt a fő ciklon frontrendszerével, nem tudott tovább fejlődni. Strukturálisan azonban szervezett volt, tartósabb mélykonvekcióval a központja körül, ahol rövid időre még egy apró szemszerű képződmény is megjelent. A Qendresa ciklon kialakulása hasonló folyamatként indult, de ez sokkal gyorsabban és jobban kimélyült, mérések alapján 982 hPa-ig csökkent a központjában a légnyomás, és közel hurrikán erősségnek megfelelő, 110 km/h körüli szélsőbességeket produkált 120-150 km/h-s lökésekkel. Ez már hosszabb ideig a tenger felett maradt, így volt ideje a szubtrópusi átalakulásra, amint a központi konvektív örvény leszakadt a gyengülő frontokról.

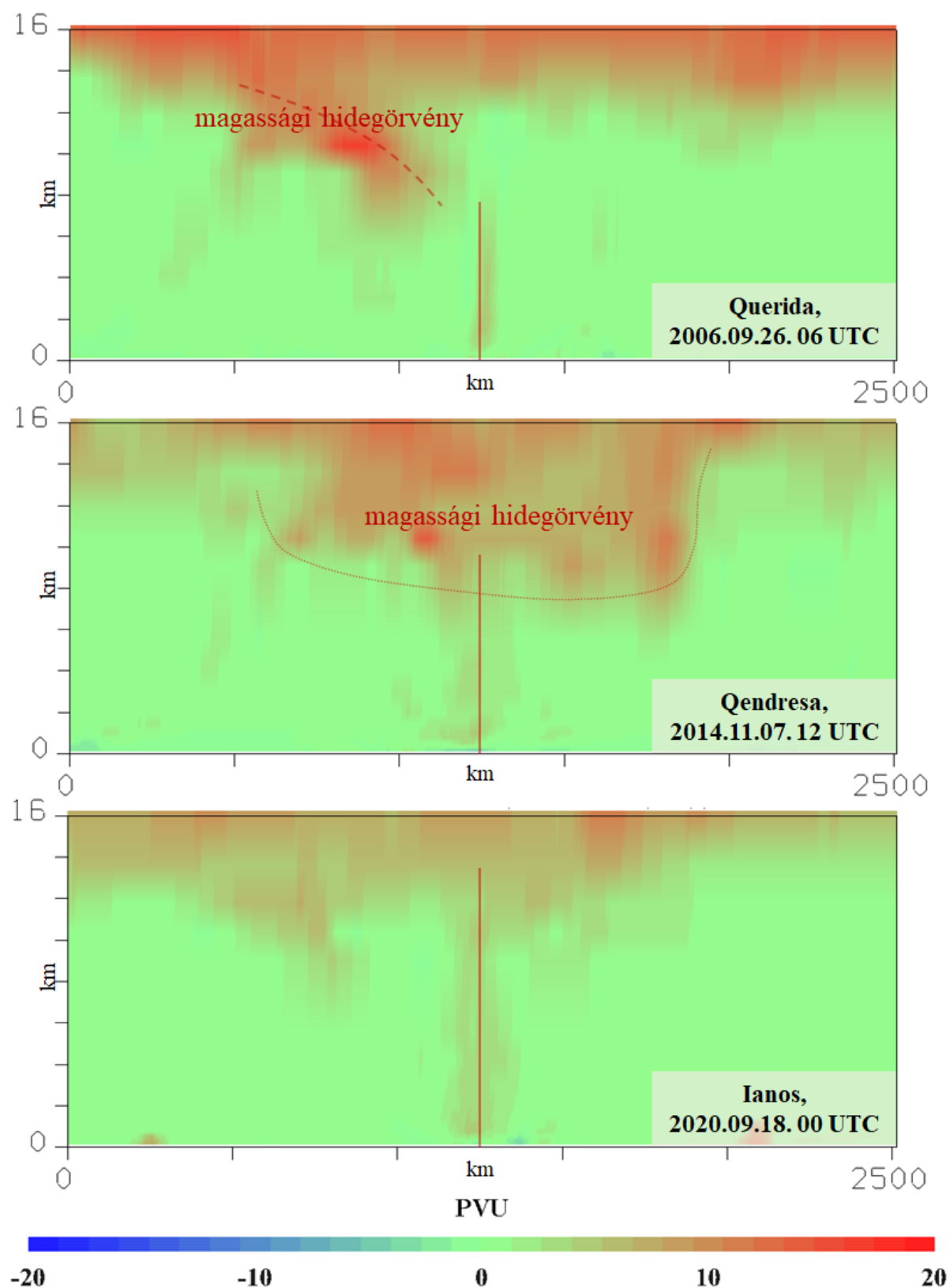
A feltüntetett kivágatok mindhárom esetben a ciklonok legjellegzetesebb időpillanatait ábrázolják, és ez által mind a köztük, mind pedig az egyes fejlődési stádiumok között lévő alapvető szinoptikai különbségek megjelennek. (1) és (2) esetében egyértelmű a nagytérségi baroklin behatás, ugyanis mindkét esetben egy-egy magassági ciklon kapcsolódik a talajciklonhoz – az (1)-es esetben attól nyugatra, a (2)-es esetben felette elhelyezkedve –, valamint határozott hőmérséklet-különbség és -advekción volt megfigyelhető a térségükben. Az (1)-es esetben a ciklogenezist leginkább a nyugatra elhelyezkedő jet mag által előidézett markáns magassági divergencia, az alacsonyabb szinteken dél felől a térségbe áramló meleg, páradús légtömeg (850 hPa-on meleg, nedves szállítószalag, illetve markáns gradiens a rétegvastagságban), valamint a front menti erőteljes relatív örvényesség (nem mutatva) és a magassági pozitív potenciális örvényességi advekción segítette. A (2)-es esetben a ciklon gyors fejlődéséhez a magasban érkező markáns potenciális örvényességi mező is hozzájárult, mely később „felcsavarodott” a ciklon körül. A többi esethez képest itt hidegebb volt a ciklon környezetében a légkör, ami részben abból adódott, hogy a télhez közeledve csökken a tropopauza magassága, azonban a ciklonhoz kapcsolódó intenzív magassági hidegörvény és a hátoldali hidegadvekción is hozzájárult ehhez, és mindezek egyben limitálták a konvekcion lehetséges maximális erősségét. Ebben az esetben a ciklon már határozott meleg maggal rendelkezett a rétegvastagság mező alapján, de ez be volt ágyazódva az időközben a talajciklon fölé helyeződő magassági örvény alacsonyabb értékeket mutató területébe. Ez utóbbi a magassági szélmezőn is látható volt, a központi gyengébben szeles zóna pedig ideális, szélnyírásmentes feltételeket teremtett a ciklon központja körül kialakuló konvekcion számára, ezért az szervezetté tudott válni, időszakosan szemszerű képződményt kialakítva. A (3) esetben nem volt analizálható jelentősebb magassági futóáramlás a ciklon környezetében, tőle délre, délkeletre húzódott csak egy gyengébb, 30-40 m/s közötti szélmaximummal. A rétegvastagság alapján számottevő hőmérsékleti kontraszt sem volt jelen, egy általános, északnyugatról délkeletre történő növekedés mutatkozott kis gradienssel, melyben egyértelműen kitűnt a meleg magvű ciklon. A magassági potenciális örvényességnek ez esetben nem volt határozott maximuma, csupán egy gyengébb PV-szalag volt megfigyelhető a ciklon körül. Ez a korábbi fejlődési szakaszban átmenetileg kapcsolatba került vele, de később eltávolodott tőle, ugyanakkor idővel a ciklonközponthban is megnövekedett kissé az örvényesség mértéke, mely az egyre magasabb szinteken és egyre jobban melegebbé váló magra utalhatott. A többi ciklonnal ellentétben határozott szétáramlás alakult ki a ciklon felett a magasban, különösen annak északi és nyugati oldalán, ahol két, a trópusi ciklonok esetében jellegzetes és általában kedvező hatású pólusirányú szétáramlási csatorna is létrejött, tovább erősítve a divergenciát (Chen & Gray, 1985). A geopotenciál mezőben is határozott különbség mutatkozott meg, ugyanis jóval szimmetrikusabb és egyben kompaktabb volt a paraméteren a ciklon megjelenése, mint az (1)-es és (2)-es esetben, amikor a mérsékelt övi előzmény miatt nagyobb területre kiterjedtek az alacsonyabb értékek. Az ekvivalens potenciális hőmérséklet mezőn viszonylag homogén terület vette körül a ciklon magas értékekkel rendelkező magját, az előző két esetben jelen lévő

nagyobb, frontális gradiensek nem voltak kimutathatók. A potenciális örvényesség vertikális metszeteit vizsgálva (8. ábra) mindegyik ciklonnál megjelent egy függőleges tengelyű PV-torony a központban. Az (1)-es esetben ez sekélyebb volt, illetve nem vált el élesen az említett nyugatra elhelyezkedő magassági örvény által generált határozott maximumtól, mely által a magasban a ciklon a mérsékelt övi típusra jellemző ferde tengellyel rendelkezett. A (2)-es és (3)-as esetekben már a ciklonok teljes vertikális kiterjedésben megfigyelhető volt a PV-torony, ugyanakkor a (2)-esnél a felső-troposzférában markánsan megmutatkozott a magassági hidegörvény kiterjedt, erős pozitív anomáliája is. A (3)-asnál viszont már nem volt kimutatható különösebb eltérés, csak a korábban említett kisebb PV-szalag gyenge pozitív anomáliái.



7. ábra: A 3 fő ciklontípusra vonatkozó alapvető szinoptikai paraméterek. Első sor: szél és divergencia 300 hPa-on – a Ianos ciklon esetében 250 hPa-on; második sor: 925 hPa-os geopotenciál és vertikális sebesség 850 hPa-on; harmadik sor: szél és ekvivalens potenciális hőmérséklet 850 hPa-on; negyedik sor: 200-1000 hPa közötti rétegvastagság és potenciális örvényesség 300 hPa-on.

Utóbbin a fehér vonalak jelzik a 8. ábrán bemutatott vertikális metszetek helyzetét.



8. ábra: A potenciális örvényesség vertikális metszetei a 3 esetben.

Összefoglalás

A doktori képzés első évében célkitűzésként szerepelt a medikánokról szóló aktuális szakirodalom és kutatási témák, módszerek áttekintése, illetve a saját kutatás alapvető módszereinek kidolgozása. Ennek első lépését képviseli a bemutatott mérési, műholdas és reanalízis adatok feldolgozása, melyek alapján az egyes ciklonok kategorizálhatóvá válnak. Miután az utóbbi néhány év tanulmányaiban a medikánok sok fizikai-meteorológiai tulajdonságát vizsgálták, jelenleg éppen a kategorizálás kérdése az egyik aktív kutatási terület, mivel rendkívül széles spektrumban képesek megjelenni a rövid élettartamú örvénylő zivatarrendszerektől kezdve a meleg magvú, fejlett, de részben frontális struktúrával rendelkező példányokon át a teljes mértékben trópusinak tekinthető ciklonokig. Bár a 2011-es Rolf és a 2016-os Trixie ciklont a NOAA¹¹ egyik, trópusi ciklonokat is monitorozó alszervezete (Satellite Analysis Branch) besorolta trópusi viharként, illetve a 2010-es évek legvégétől az angol UK Met Office is több ciklont trópusinak nyilvánított, jelenleg nincs olyan szervezet, mely hivatalosan is kategorizálná és elnevezné a medikánokat. Doktori kutatásaimban a továbbiakban WRF modell segítségével szeretném vizsgálni a ciklonokat, elsősorban arra fókuszálva, hogy mik azok a feltételek, amik lehetővé teszik, vagy éppen megghiúsíthatják a szubtrópusi és trópusi átalakulást.

Hivatkozások

- Cavicchia, L., von Storch, H., Gualdi, S., 2014: A long-term climatology of medicanes, *Climate Dynamics*, 43: 1183–1195. <https://doi.org/10.1007/s00382-013-1893-7>
- Chen, L., Gray, W. M., 1985: Global view of the upper level outflow patterns associated with tropical cyclone intensity change during FGGE, *Atmospheric Science Papers* (Blue Books), Colorado State University Department of Atmospheric Science, Fort Collins, Colorado
- Dafis, S., Claud, C., Kotroni, V., Lagouvardos, K., Rysman, J-F., 2020: Insights into the convective evolution of Mediterranean tropical-like cyclones, *Q. J. of the Royal Met. Soc.*, 146(733): 4147–4169. <https://doi.org/10.1002/qj.3896>
- Dafis, S., Rysman, J-F., Claud, C., Flaounas, E., 2018: Remote sensing of deep convection within a tropical-like cyclone over the Mediterranean Sea, *Atmospheric Science Letters*, 19(6): e823 1–7. <https://doi.org/10.1002/asl.823>
- Durran, D. R., 2003: Downslope Winds, *Encyclopedia of Atmospheric Sciences*, 644–650. Academic Press <https://doi.org/10.1016/B0-12-227090-8/00288-8>
- Fita, L., Flaounas, E., 2018: Medicanes as subtropical cyclones: the December 2005 case from the perspective of surface pressure tendency diagnostics and atmospheric water budget, *Q. J. of the Royal Met. Soc.*, 144(713): 1028–1044. <https://doi.org/10.1002/qj.3273>
- Flaounas, E., Gray, S. L., Teubler, F., 2021: A process-based anatomy of Mediterranean Cyclones: from baroclinic lows to tropical-like systems, *Weather and Climate Dynamics*, 2(1): 255–279. <https://doi.org/10.5194/wcd-2-255-2021>
- González-Alemán J. J., Valero, F., Martín-León, F., Evans, J. L., 2015: Classification and Synoptic Analysis of Subtropical Cyclones within Northeastern Atlantic Ocean, *Journal of Climate*, 28(8): 3331–3352. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-14-00276.1>
- Harper, B. A., Kepert, J. D., Ginger, J. D., 2010: Guidelines for converting between various wind averaging periods in tropical cyclone conditions, WMO/TD-No. 1555.
- Juan J. González-Alemán, J. J., Pascale, S., Gutierrez-Fernandez, J., Murakami, H., Gaertner, M. A., Vecchi, G. A., 2019: Potential Increase in Hazard From Mediterranean

¹¹ National Oceanic and Atmospheric Administration

- Hurricane Activity With Global Warming, *Geophysical Research Letters*, 46(3): 1754–1764. <https://doi.org/10.1029/2018GL081253>
- Lagouvardos, K., Karagiannidis, A., Dafis, S., Kalimeris, A., Kotroni, V., 2022: Ianos - A hurricane in the Mediterranean, *Bulletin of the American Meteorological Society*, 103(6): 1621–1636. <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-20-0274.1>
- Marra, A. C., Federico, S., Montopoli, M., Avolio, E., Baldini, L., Casella, D., D’Adderio, L. P., Dietrich, S., Sanò, P., Torcasio, R. C., Panegrossi, G., 2019: The Precipitation Structure of the Mediterranean Tropical-Like Cyclone Numa: Analysis of GPM Observations and Numerical Weather Prediction Model Simulations, *Remote Sensing*, 11(14): 1690. <https://doi.org/10.3390/rs11141690>
- Miglietta, M. M., Rotunno, R., 2019: Development Mechanisms for Mediterranean tropical-like cyclones (Medicanes), *Q. J. of the Royal Met. Soc.*, 145(721): 1444–1460. <https://doi.org/10.1002/qj.3503>
- Shapiro, M. A., Keyser, D., 1990: Fronts, Jet Streams and the Tropopause, American Meteorological Society Extratropical Cyclones, The Erik Palmén Memorial Volume 167–191. https://doi.org/10.1007/978-1-944970-33-8_10
- Tang, B. H., Fang, J., Bentley, A., Kilroy, G., Nakano, M., Park, M-S., Rajasree, V.P.M., Wang, Z., Wing, A. A., Wu, L., 2020: Recent advances in research on tropical cyclogenesis, *Tropical Cyclone Research and Review*, 9(2): 87–105. <https://doi.org/10.1016/j.tcr.2020.04.004>
- Zekkos, D., Zalachoris, G., Alvertos, A. E., Amatya, P. M., Blunts, P., Clark, M., Dafis, S., Farmakis, I., Ganas, A., Hille, M., Kalimogiannis, V., Karagiannidis, A., Karantanellis, E., Khan, K., Kirshbaum, D., Kourkoulis, R., Kotroni, V., Ktenidou, O.-J., Lagouvardos, K., Loli, M., Makrinikas, A., Marinos, V., Manousakis, J., Nikas, K., Panousis, D., Papathanassiou, G., Saroglou, C., Simopoulos, A., Stanley, T., Tsavalas, A., Valkaniotis, S., 2020: The September 18-20 2020 Medicanes Ianos Impact on Greece - Phase I Reconnaissance Report, Geotechnical Extreme Events Reconnaissance Report, GEER-068 <https://doi.org/10.18118/G6MT1T>

Internetes hivatkozások

- [1 – tropic] <http://tropic.ssec.wisc.edu/>
[2 – meteo.gr] <https://www.meteo.gr/Gmap.cfm>

ORCID

Dezső Zs.  <https://orcid.org/0000-0003-1325-1303>