

Verifikációs módszerek alkalmazása csapadékmérések összehasonlítására

SZAKDOLGOZAT
FÖLDTUDOMÁNYI ALAPSZAK
METEOROLÓGUS SZAKIRÁNY



Készítette:

Várkonyi Anikó

Témavezető:

dr. Breuer Hajnalka

ELTE TTK, Meteorológiai Tanszék

Eötvös Loránd Tudományegyetem

Földrajz- és Földtudományi Intézet

Meteorológiai Tanszék

Budapest, 2016

Tartalomjegyzék

1. Bevezetés.....	3
2. Irodalmi áttekintés.....	5
3. Adatok	9
3.1 Csapadékmérések	9
3.2 A radarok által mért csapadék meghatározása	10
3.3 A MISH interpoláció.....	11
4. Esettanulmányok időjárási helyzete.....	13
5. Verifikációs módszerek.....	21
5.1 Folytonos valószínűségi verifikációs módszerek	21
5.2 Kategorikus verifikációs indexek	22
5.3 Interpolációs módszerek	25
5.3.1 Inverz disztáns interpoláció	25
5.3.2 Block - kriging interpoláció.....	26
6. Eredmények	29
6.1 Állomásokra interpolált értékek összehasonlítása.....	29
6.2 Rácshálóra interpolált értékek összehasonlítása	31
6.3 Csapadékmezők összehasonlítása verifikációs indexek segítségével	38
7. Összefoglalás	42
8. Köszönetnyilvánítás	44
9. Irodalomjegyzék.....	45

1. Bevezetés

A csapadék verifikációs technikák iránti érdeklődés az utóbbi évtizedekben növekvő tendenciát mutat (Ebert *et al.*, 2013). A csapadék verifikációja során különböző csapadékmezőket hasonlíthatunk össze, és ezek alapján adhatunk információt az összehasonlított mezők eltéréseiről. A meteorológia számos területén alkalmazzák ezt a módszert. Vizsgálhatjuk különböző előrejelzési modellek pontosságát (Ebert & McBride, 2000), műholdas mérési adatok pontosságát általában sűrű billenőedényes csapadékmérő hálózattal rendelkező terület felett (Skomorowski *et al.*, 2000; Rubel & Rudolf, 2001; Kottek & Rubel, 2007), radar mérések pontosságát (Wilson, 2001), illetve bármely két általunk választott csapadékmező hasonlóságát (Breuer, 2012).

Az ilyen verifikációs statisztikák készítése során nagyon fontos a tér- és időbeli egyezése az összehasonlítandó csapadékmezőknek, melyet különböző interpolációs technikákkal érhetünk el. Ezek során szabályos rácshálóra vagy a megfigyelési pontok koordinátáira interpoláljuk a megadott adatmezőket. A számszerű verifikációs módszereket két különböző csoportba sorolhatjuk, a folytonos statisztikák alkotják az első csoportot, míg a kontingencia táblázat segítségével kiszámolható kategorikus statisztikák tartoznak a másik csoportba.

Szakdolgozatomban három különböző módszerrel mért adatokat hasonlítottunk össze a verifikációs statisztikák segítségével. Az Országos Meteorológiai Szolgálat kompozit radar adataiból meghatározott napi csapadék adatokat hasonlítottuk össze a magyarországi billenőedényes hálózat -, illetve a MISH adatbázis (Meteorological Interpolation based on Surface Homogenized Data Basis) adataival. A vizsgálatokat a 2012-es és a 2013-as év 8-8 napjára végeztük el, figyelve arra, hogy a választott napokon különböző időjárási helyzetben lehessen megfigyelni a fent említett mérési módszerek viselkedését. Az adatsorok összehasonlítása során kétféle interpolációt is végeztünk, első esetben az inverz disztáns súlyozás módszerével interpoláltuk a radar- és MISH adatokat a csapadékmérő állomások koordinátáira, a másik esetben kriging interpolációs módszer segítségével interpoláltuk mind a három vizsgált adatsort egy szabályos rácshálóra. Az adatok hasonlóságára különböző statisztikákat számoltunk, mind a két interpolációs esetre néztünk minden egyes napra korrelációt és négyzetes hiba értéket. Kategorikus verifikációs indexeket csak a szabályos rácshálóra interpolált adatok esetén számoltunk, szintén minden

napra külön lebontva kontingencia táblázat segítségével, négy különböző csapadékintervallumra vizsgálva.

Munkánk célja az volt, hogy megfigyeljük a vizsgált csapadékmérési módszerek között milyen jellegű és mértékű eltérésre számíthatunk különböző időjárási helyzetekben és csapadéktípusok esetén.

2. Irodalmi áttekintés

A meteorológiai termékek verifikációja manapság egyre fontosabbá válik. A verifikáció nélkülözhetetlen a meteorológiai előrejelzésekben, hiszen így ellenőrizhető az előrejelzés pontossága, ezen keresztül érthetőek meg a hibák, melyek segíthetnek az előrejelzési rendszer javításában. A verifikáció során tekinthetjük a nyers meteorológiai változókat is, de a speciális előrejelzések egyes produktumait is, például szél- és napenergia előrejelzés, hidrológiai előrejelzések és reptéri veszély előrejelzés. Egyre nagyobb az érdeklődés az előrejelzési verifikáció újfajta megközelítésére is éppen a sokrétű modell eredmények és azok felhasználási módjaik miatt. Továbbá a numerikus modellek növekvő felbontása szükségessé teszi az új és különböző diagnosztikai módszereket, hogy megértsék azok korlátait.

Attól függően, hogy milyen mennyiség ellenőrzését hajtjuk végre, különböző módszerekre van szükség a kategorikus verifikációk esetén is. A csapadék jelenlétének és mennyiségének verifikációja az egyik leginkább vizsgált terület.

Bármilyen verifikációs módszert is alkalmazzanak, az összes esetén nagyon fontos a tér- és időbeli egyezés. Többféle módszer létezik ennek megoldására. Egyik féle megoldás a térbeli egyezésre, hogy interpoláljuk vagy a pontbeli megfigyeléseket az előrejelzési mezőre, vagy az előrejelzést a megfigyelési pontokba, illetve a rácsba rendezett méréseket (pl. radar vagy műhold) és a modell értékeket azonos rácsra interpoláljuk. Sok módszer van, amivel a billenőedényes csapadékmérő adatokat egy szabályos rácshálóra interpolálhatjuk, ilyen például az inverz disztáns súlyozás, statisztikus interpoláció (pl. MISH, *Szentimrey & Bihari, 2006*), kriging (pl. *Rubel, 1996*) vagy a spline-módszerek. Természetesen az interpolációs módszer kiválasztásánál fontos szerepe van a csapadék térbeli elrendeződésének is, például az inverz disztáns módszerrel csak akkor készíthetünk mezőt, ha az állomások és a csapadék térbeli eloszlása homogénnek mondható.

A csapadék verifikációja történhet vizuálisan, amely során az előrejelzett csapadék térképet manuálisan hasonlítjuk össze a megfigyelési értékeket ábrázoló térképpel. Az ilyen csapadéktérképek készítése során nagyon fontos a hatásos színek használata, hogy kiemeljük azokat a régiókat, amelyek a csapadék szempontjából legérzékenyebbek az adott térképen. A vizuális verifikáció azonban nem objektív és nagyszámú esetre jelentős időbefektetésre van szükség.

Objektív verifikáció során az esetek száma már nem limitáló tényező. Az objektív verifikációs statisztikákat két fő csoportba különíthetjük el. Elsőbe a folytonos statisztikák tartoznak, amik meghatározzák az előrejelzett csapadékösszeg mennyiségi hibáját, míg a második csoportba tartozó kategorikus statisztikák, melyek a kontingencia táblázatból határozzák meg az előrejelzett csapadék térbeli pontosságának hibáját.

A Meteorológiai Világszervezet (WMO) Előrejelzési Verifikáció Kutatás Közös Munkacsoportja (Joint Working Group on Forecast Verification Research, JWGFVR) 2002-ben alakult, hogy gyűjtőpontként szolgáljon az új verifikációs módszerek fejlesztésében és előterjesztésében. Ezen kívül támogatja a tudományos szakmai képzéseket és a verifikációs módszerekről szóló információk terjesztését. A JWGFVR nemzetközi workshop sorozatot is tart, oktatói kurzusokkal egybehangolva, ahol összegzik az elmúlt évek eredményeit, és megbeszélnek a következő pár évre kitűzött feladatokat.

A JWGFVR álláspontja szerint (*Ebert et al., 2013*) az előrejelzések verifikációjának gyakorlata egyértelműen egyre inkább javuló tendenciát mutat. A jelenlegi verifikációs eredményekre elvégezhetőek megfelelő szignifikancia és konfidencia vizsgálatok, melyek segítenek a verifikációs eredmények megbízhatóságának értelmezésében.

A térbeli verifikációs módszerek használata egyre gyakoribbá és megszokottabbá válik, különösen a nagy felbontású modell eredmények vizsgálatakor, ahol a hagyományos verifikációs metrikák erősen érintettek a kettős pontozás hibájával. Ilyen hiba például egy modellezett csapadérendszer néhány kilométerrel való eltolódása a megfigyelésekhez képest. Ekkor hibának számít a megfigyelt és nem modellezett, illetve a nem megfigyelt és modellezett eset is, kétszeresen is rontva az előrejelzés pontosságát, holott a csapadérendszer kialakulását és jellegét a modell előre jelezte. Ennek kiszűrésére szolgáló térbeli verifikációs módszereknek 4 különböző csoportja van:

- 1) szomszédos módszerek: azért, hogy pozitívan értékeljék a közeli előrejelzéseket,
- 2) skála elkülönítési módszerek: annak érdekében, hogy elkülönítsék a skálafüggő hibákat,
- 3) objektum alapú módszerek: azért, hogy megbecsüljék a rendszer összefüggő tulajdonságait,
- 4) mező deformációs módszerek: annak céljából, hogy felmérjék a fázis és amplitúdó hibákat.

Ezek az új diagnosztikai módszerek komplexebb számításokat igényelnek, mint a hagyományos technikák.

Az utóbbi néhány évben új indexeket és metrikákat fejlesztettek ki a nehéz problémákra, amelyek 3 fő kérdéssel foglalkoznak részletesen:

- Hogyan lehet összeállítani indexeket a csapadék klimatológiai vonatkozásában, amikor figyelni kell arra is, hogy milyen régió vagyunk és melyik évszakban?
- Hogyan értékeljük az olyan ritka események előrejelzését, melyek előfordulási valószínűsége a nullához tart?
- Hogyan adjanak konzisztens verifikációkat a különböző típusú (determinisztikus, ensemble) előrejelzésekre?

A verifikációs módszerek fejlődéséhez azonban elengedhetetlen a kellő számú és minőségű rendelkezésre álló mérés is. Az utóbbi években elérhetővé váltak új föld- és űralapú távérzékelési módszerek, illetve új mérési technikák, amik lehetővé teszik a pontosabb megfigyelési adatok jelenlétét. Ezen kívül a több dimenziós, a felhasználó orientált és a diagnosztikai verifikációk mind a jövőbeli célok közé tartoznak. (*Ebert et al., 2013*)

Kifejezetten a csapadék verifikációs módszerek első összegző anyaga 1976-ban jelent meg (*Woodcock, 1976*). Ebben található meg, a χ^2 eloszláson alapuló kontingencia táblázat csapadék verifikációra történő alkalmazása is. A cikkben továbbá a kontingencia táblázat segítségével kiszámítható verifikációs indexek is megtalálhatók, melyek közül vannak, amelyek nem állták ki az idő próbáját.

Az 1999-ben indult COST-717 projekt témája a radar megfigyelések alkalmazása a hidrológiában és numerikus modellekben volt (*Rossa et al., 2005*), melynek egyik munkacsoportja kifejezetten a verifikációval foglalkozott. Munkájuk során, a kontingencia táblázaton alapuló technikákat részesítették előnyben (*Wilson, 2001*), mely módszereket a radar és interpolált pontbeli csapadékmérések összehasonlítására is használták.

A WMO JWGFVR munkacsoportjának anyagában (JWGFVR, 2008) a napjainkban operatíván, világszerte alkalmazott módszerekről kaphatunk áttekintést, melyek többsége a kontingencia táblázatot alkalmazza.

Számos tanulmányban is verifikációs indexek használatával vizsgálják az egyes modellek, illetve a különböző műszerekkel mért csapadékmezők pontosságát. *Skomorowski et al. (2000)* tanulmányában, az Alpok területén, 2 hónapon át tartó időszakra vizsgálták a műholdas csapadék becslések pontosságát. A cikkben kiemelik a műholdas

adatok fontosságát, hiszen ezek a mérések a Föld olyan területein is elérhetőek, ahol radar-, illetve billenőedényes adatok nem állnak rendelkezésre. A vizsgálatokat a már korábban említett kategorikus verifikációs indexek segítségével végezték. Ennek kiterjesztése volt a Globális Csapadék Klimatológiai Projekt (Global Precipitation Climatology Project, GPCP), ahol műholdas adatokat és az ECMWF (European Centre for Medium Range Weather Forecast) 6–30 órás modell előrejelzési adatait vizsgálták a Föld egészére. A referencia vizsgálat helyszínét úgy választották, hogy a billenőedényes csapadékmérő hálózat elég sűrű legyen ahhoz, hogy pontos vizsgálatokat lehessen végezni. Mind a két esetre kiszámították a folytonos és a kategorikus verifikációs indexek értékeit, és ezek alapján megállapították, hogy GPCP csapadék becslés pontossága hasonló, mint a többi szatellites csapadék becslése (*Rubel & Rudolf, 2001*).

A billenőedényes mérések felhasználásakor fontos az interpolációra alkalmazott módszer. *Kottek & Rubel (2007)* műholdas adatokat hasonlítottak össze billenőedényesekkel, az interpolációt pedig kringing és co-kriging módszerekkel végezték. A vizsgálatot a szárazföldi területeken végezték, ahol a billenőedényes csapadékmérő hálózat adatai elérhetőek.

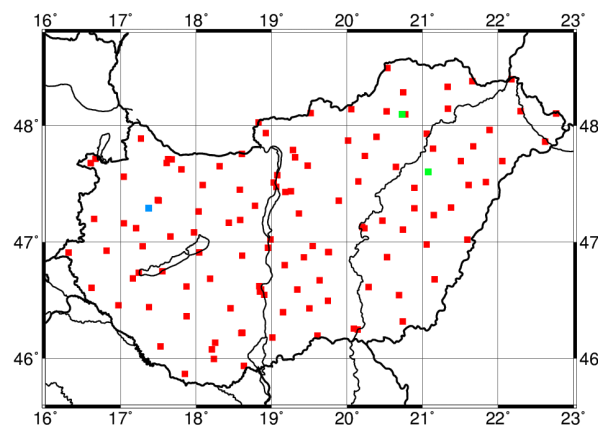
Az újszerű verifikációs módszerekre is találhatunk példát. Az ECMWF és az ALADIN modellek vizsgálatára például egy alternatív skála-intenzitás verifikációt használtak (*Csima & Ghelli, 2008*). Az ALADIN modell Magyarország területén volt vizsgálva, míg az ECMWF modell Franciaországi tartományra. A hagyományos folytonos verifikációs indexek érzékenyek a megszakításokra, a zajokra és a szélsőértékekre, míg a kategorikus indexek a „kitérésekre” és a ritka eseményekre. Ezért a verifikáció során a csapadékinтенzitást vették figyelembe, és ezek alapján vizsgálták a modellek pontosságát. A vizsgálatokat különböző térbeli skálákra is végrehajtották.

3. Adatok

3.1 Csapadékmérések

A csapadék térbeli eloszlása az egyik legfontosabb információ a hidrológiai, klimatológiai és mezőgazdasági tanulmányok számára. A billenőedényes csapadékmérő hálózattal történő mérés a legközvetlenebb módja a felszíni csapadékmennyiség értékének meghatározására, viszont térbeli lefedettsége a Föld sok területén hiányos (*Habib et al., 2012*). Ezen kívül nagyon nehéz egy csapadékmezőt úgy vizsgálni, hogy csak egyes pontokban ismerjük a megfigyelt értékeket, például egy konvektív csapadékszóna esetén (*Yoon et al., 2012*). Ez a probléma azokban a régiókban válik igazán komollyá, ahol a csapadékmező térbeli struktúráját sok lokális hatás is erősen befolyásolja. A mért értékekben előfordulhatnak hibák több okból kifolyólag: például a billenőedény hibás működése miatt vagy a mérési feltételek hibái miatt (pl. szél, párolgás, kifröccsenés, nedvesítés). A billenőedényes csapadékmérővel mért adatok a tér egy adott pontjában ugyanakkor pontosabb mennyiségi értéket adnak, mint a radar adatok, viszont azok a csapadékmező térbeli szerkezetéről, és a csapadékmező időbeli fejlődéséről nyújtanak pontosabb információkat, akár nagy területre is.

Szakdolgozatomban az Országos Meteorológiai Szolgálat automata, billenőedényes csapadékmérőinek adatait dolgoztam fel. A 2012-es napok esetén 121 állomás adataival dolgoztam, míg a 2013-as napok esetén 122 állomás adatait használtam fel. Az 1. ábrán kék jelölést kaptak azok az állomások, amelyek adatait csak a 2012-es évben, és zöldet azok, amelyeket csak a 2013-as évben használtam fel, illetve pirossal azon állomások vannak jelölve, amelyek adatait mind a két évben felhasználtam.



1. ábra: A szakdolgozatban felhasznált csapadékmérő állomások elhelyezkedése.

3.2 A radarok által mért csapadék meghatározása

A radarok a mikrohullámú tartományban működnek, egy adó-vevő-antenna és egy megjelenítő berendezésből állnak. A radar működésének elve, hogy mozgó antennájukkal másodpercenként több mint százszor bocsátanak ki kb. 1 fokos nyílású nagyfrekvenciás impulzusokat. A sugárzás útjába eső tárgyak részben elnyelik, részben pedig visszaverik a sugárzást. A visszavert sugárzást detektálja a radar, és megállapítható a tárgy visszaverő képessége, más szóval a reflektivitása. A visszaverődő hullámok alapján továbbá meghatározható a visszaverődést okozó tárgy relatív helyzete.

Ahhoz, hogy az átlagos visszaérkezett energiából a reflektivitást megkapjuk, az általános radar egyenletet kell használni (Řezáčová et al., 2016). A radar reflektivitás, az egységnyi térfogatban a visszaszóródás keresztmetszetének az összege. A radar reflektivitás helyett, a vele közeli kapcsolatban álló, de a meteorológiai célt szemléletesebben jellemző paramétert, a radar reflektivitási tényezőt szokás használni, amely az egységnyi térfogaton belül található egyes részecskék keresztmetszetének az összege. Ha ismert az adott részecskék méret szerinti eloszlása, akkor a radar reflektivitási tényezőt a következőképpen írhatjuk fel:

$$Z = \sum_V D^6 = \int_0^\infty N(D) D^6 dD, \quad (1)$$

ahol V az egységnyi térfogat, D a gömb alakú részecskék átmérője és $N(D)$ a részecskék méret szerinti eloszlása. A Z mértékegysége mm^6m^{-3} . Gyakran a reflektivitási tényezőt logaritmikus skálán határozzák meg ($10\log Z$), és az így kapott dBZ (decibel Z) értékeket használják. A reflektivitási tényező átalakítható radar alapú csapadékintenzitás becslésre, a tapasztalati Z - R összefüggés segítségével. A legáltalánosabb képlet erre az összefüggésre:

$$Z = aR^b, \quad (2)$$

ahol Z mm^6m^{-3} , az R pedig mmh^{-1} mértékegységben vannak megadva, az a és b pedig tapasztalati konstansok. A korábbi méréseken alapuló Z - R összefüggés számításakor a paraméter értékeket $a=200$ és $b=1,6$ -nak határozták meg (Marshall & Palmer 1948), amelyeket gyakran tekintenek elfogadott értékeknek. Az a és b értéke széles skálán mozog, függ a cseppek méret szerinti eloszlásától és az optimalizálástól (Yoon et al., 2012).

A számítások során felhasznált adatok, az Országos Meteorológiai szolgálat által, a radar reflektivitásból számolt napi, korrigálatlan csapadékösszegek voltak. A mező szabályos, 2×2 km-es rácsfelbontású és 250×400 rácspontot tartalmaz.

3.3 A MISH interpoláció

A GIS (Geographical Information Systems) térinformatikai rendszerbe beépített interpolációs módszerek pl. általános kriging, univerzális kriging, amelyeket manapság a meteorológia területén alkalmaznak, bár matematikai szempontból teljesen korrektek, de meteorológiai szempontból mégse tekinthetők optimálisnak, hiszen a hosszú adatsorok éghajlati információinak felhasználására nem képesek. Ezért az OMSZ szakemberei (*Szentimrey Tamás és Bihari Zita*) a meteorológiai elemek földfelszíni értékeinek interpolációjára kifejlesztette a MISH rendszert (Meteorological Interpolation based on Surface Homogenized Data Basis), amely képes az éghajlati információk együttes alkalmazására.

Az interpoláció során becslést adunk az ismeretlen $Z(s_i, t)$ ($i=1, \dots, M$) értékekre az ismert $Z(s_0, t)$ prediktor értékek alapján, ahol s a helyvektort jelöli, t pedig az időt.

A különböző meteorológiai elemek esetén más-más interpolációs formula használandó, ami az interpolálandó meteorológiai elem valószínűségi eloszlásától függ. Normális eloszlású meteorológiai elem esetén, mint pl. hőmérséklet, az additív interpolációs formula a megfelelő:

$$\hat{Z}(s_0, t) = w_0 + \sum_{i=1}^M w_i \cdot Z(s_i, t), \quad (3)$$

ahol $\sum_{i=1}^M w_i = 1$, $w_i \geq 0$ ($i=1, \dots, M$), ahol w_0, w_i ($i=1, \dots, M$) interpolációs paraméterek, melyek egyértelműen meghatározhatók a lokális statisztikai paraméterek (várható értékek, szórások) és a sztochasztikus kapcsolatok (korrelációk) segítségével.

A különböző geostatistikai módszerek (pl. kriging) ugyanezzel a fenti additív formulával dolgoznak, a különbség csupán az optimális interpolációs paraméterek megválasztása. A MISH rendszer hosszú adatsorok alapján a szükséges lokális paramétereket és sztochasztikus kapcsolatokat modellezi, amelyek segítségével meghatározhatók az optimális interpolációs paraméterek.

Kvázi-lognormális eloszlású meteorológia elem esetén, mint pl. a csapadékösszeg a multiplikatív interpolációs formula használandó:

$$\hat{Z} = \vartheta \cdot \left(\prod_{q_i \cdot Z(s_i, t) \geq \vartheta} \left(\frac{q_i \cdot Z(s_i, t)}{\vartheta} \right)^{w_i} \right) \cdot \left(\sum_{q_i \cdot Z(s_i, t) \geq \vartheta} w_i + \sum_{q_i \cdot Z(s_i, t) < \vartheta} w_i \cdot \left(\frac{q_i \cdot Z(s_i, t)}{\vartheta} \right) \right), \quad (4)$$

ahol $\vartheta > 0$, $q_i > 0$, $\sum_{i=1}^M w_i = 1$ és $w_i \geq 0$ ($i=1, \dots, M$), és q_i , w_i ($i=1, \dots, M$) interpolációs paraméterek, melyek bizonyos éghajlati statisztikai paraméterek (lokális statisztikai, sztochasztikus kapcsolatokat jellemző paraméterek) segítségével egyértelműen meghatározhatók.

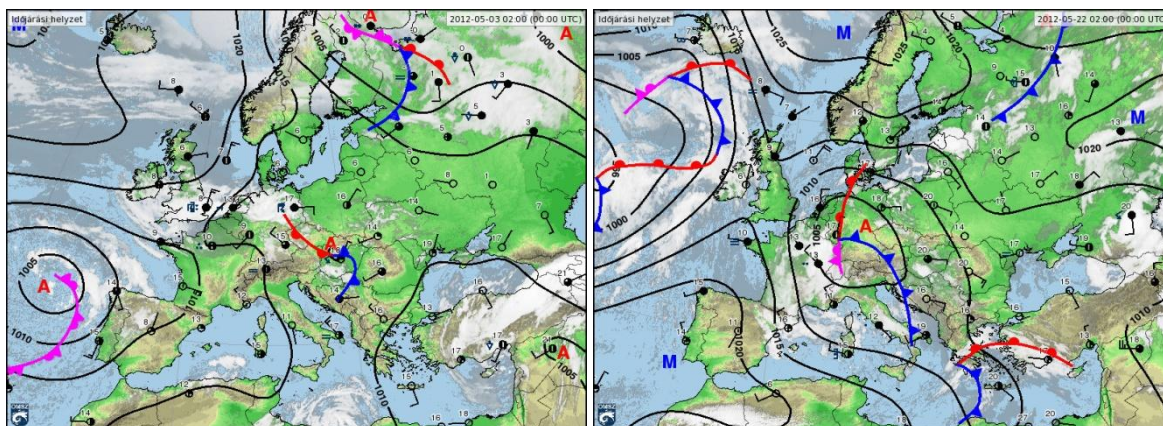
A MISHv1.01 programrendszer valójában két részre bontható, a modellező és az interpolációs részre. E két rendszer összefügg, hiszen az interpolációs rendszer a modellező rendszer eredményei alapján dolgozik. A modellező részben történik az optimális interpolációs paraméterek kiszámítása a hosszú homogenizált és determinisztikus modellváltozók (pl. topográfia) alapján. Az interpoláció előtt elegendő egyszer elvégezni a paraméterek kiszámítását. Az interpoláló részben az interpolálandó meteorológiai elem eloszlásától függően az additív- (normális eloszlás esetén), illetve a multiplikatív (kvázi lognormális eloszlás esetén) interpolációs formula segítségével végezhetjük el az interpolációt. Az interpolációhoz használhatóak napi és havi értékek, illetve sokévi átlagok is interpolálhatók. Kevés prediktor esetén is jó lehet az interpoláció, tekintettel a korábbi modellezésre. Az interpoláció során lehetőség van háttér-információk használatára, mint pl. műhold, radar, előrejelzés, illetve adatsorok rácspontra való interpolációjával.

A MISH interpolációs eljárással előállított adatsorban nem csak a billenőedényes, automatikus mérések, hanem a hagyományos mérések is szerepelnek, így a Meteorológiai Szolgálat közel 600 állomásának mérései vannak interpolálva. A felhasznált adatmező 1x1 km-es rácsfelbontású, 389x853 adatot tartalmaz, azonban Magyarország határain kívül adathiány van az adatsorban.

4. Esettanulmányok időjárási helyzete

A különböző csapadék adatok összehasonlítását 16 napra végeztem el, melyek során mind nagyskálájú, mind lokális eredetű és különböző halmazállapotú csapadék képződött.

1) 2012.05.03. Európa időjárását ezen a napon ciklonális helyzetek alakították (2. ábra, bal). Ennek következményeképpen sok helyen felhős volt az ég, néhol előfordult eső, zápor, és zivatar. Hazánk időjárását egy kialakuló peremciklon hidegfrontja határozta meg. Magyarországon a hajnali hőmérséklet $9\text{ }^{\circ}\text{C}$ és $18\text{ }^{\circ}\text{C}$ között volt. A hőmérséklet nappali csúcértéke $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ és $32\text{ }^{\circ}\text{C}$ között alakult. Napközben keleten derült idő volt, míg az ettől nyugatabbra eső területeken előfordultak záporok és zivatarok. Déltől kezdődően keleten is előfordultak záporok, zivatarok. Az éjszaka folyamán az ország egész területén előfordult csapadék, zápor és zivatar formájában. A reggelig lehullott csapadék mennyisége csapadéknym és 23 mm között alakult, egyes helyekről ennél magasabb 50 mm körüli értéket jelentettek.



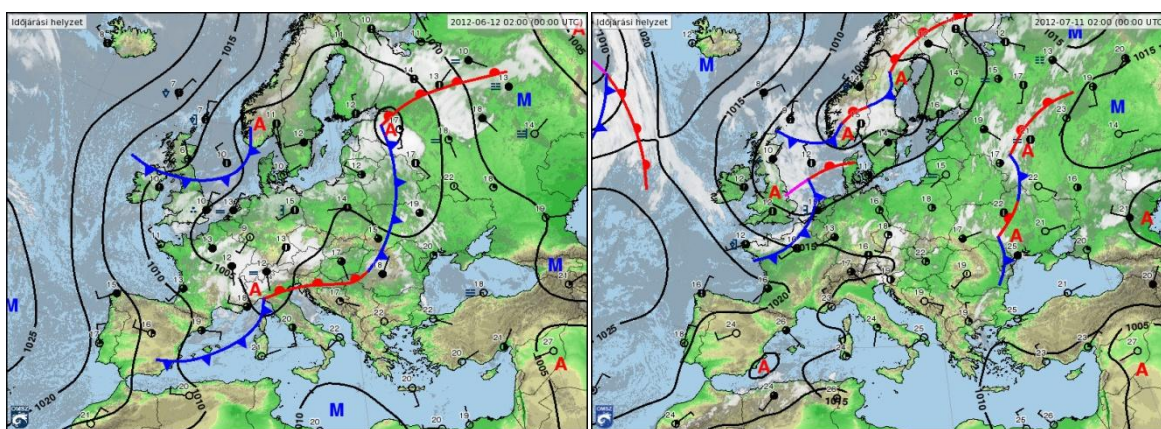
2. ábra: Európai időjárási helyzetkép 00 UTC-kor, bal) 2012.05.03., jobb) 2012.05.22. napokon.
Forrás: OMSZ.

2) 2012.05.22. Európa időjárása igencsak változatos volt ezen a napon (2. ábra, jobb). Nyugat- és Közép-Európa felett sok volt a felhő, ami egy, az Alpok vonulatától északnyugatra elhelyezkedő középponttal rendelkező nagy kiterjedésű ciklon következménye volt, így ezeken a területeken előfordult eső, zápor és zivatar. A Kárpát-medence időjárását is ez a ciklon alakította. A hajnali hőmérséklet $13\text{ }^{\circ}\text{C}$ és $18\text{ }^{\circ}\text{C}$ között alakult. Napközben a hőmérséklet csúcértéke az ország délnyugati felén $16\text{ }^{\circ}\text{C}$ és $23\text{ }^{\circ}\text{C}$, az ország többi részén $24\text{ }^{\circ}\text{C}$ és $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ között volt. A délelőtti órákban északkeletet

leszámítva helyenként előfordult intenzív zápor, néhol zivatar is. A legintenzívebb zivatarok a Győr-Békéscsaba vonal mentén pattantak ki. Az éjszakai órákban egyre kevesebb helyen fordult elő csapadék. A reggeli órákig lehullott csapadék mennyisége csapadéknym és 30 mm között volt.

3) 2012.06.12. Európa időjárását egy hatalmas kiterjedésű, többközepontú ciklonrendszer határozta meg, így erősen felhős volt az ég, rövidebb napos időszakok voltak a jellemzőek, eső, zápor, zivatar is többfelé előfordult (3. ábra, bal). A Kárpát-medencébe a Mediterrán térségből nedves és labilis légtömegek áramlottak be. A hajnali hőmérséklet 10 °C és 17 °C között változott. A nap folyamán is felhős idő volt a jellemző, rövidebb napos időszakokkal. A hőmérséklet csúcértéke 17 °C és 27 °C között volt. Az éjszaka folyamán északnyugaton mértek csak csapadékot. A reggelig hullott csapadék mennyisége 2 és 20 mm között volt, Nyíregyházáról 60 mm csapadékot is jelentettek.

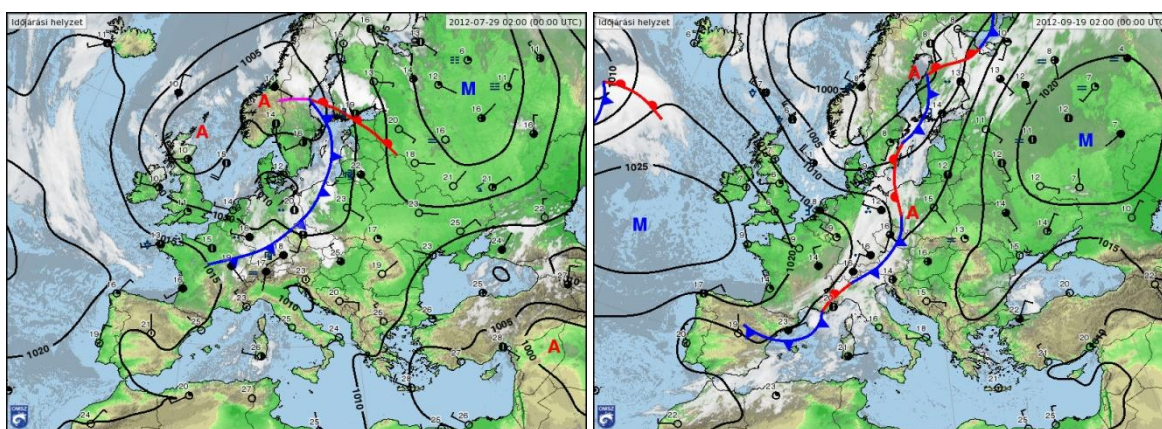
4) 2012.07.11. Közép-Európában helyi hatások alakítják az időjárást, a sok napsütés mellett egyes helyeken a megnövekvő gomolyfelhőzetből zápor és zivatar is kialakult (3. ábra, jobb). Másnap estig a Kárpát-medencébe eleinte labilis, majd egyre stabilabb levegő áramlott. A hőmérséklet a hajnali órákra 14 °C és 21 °C közé hűlt. A napi csúcshőmérséklet 27 °C és 34 °C között alakult. Eleinte az ország északi részén fordult elő zápor és zivatar, majd nyugat felől felszakadozott a felhőzet. Az ország többi részén a délelőtti zavartalan napsütés után, a délutáni órákban beindult a gomolyfelhő képződés, ami néhol záporok és zivatarok kialakulásához vezetett. Éjszaka a délnyugati tájakon fordult elő csapadék, záporok és zivatarok formájában. A reggelig lehullott csapadék mennyisége csapadéknym és 48 mm között alakult.



3. ábra: Európai időjárás helyzetkép 00 UTC-kor, bal) 2012.06.12., jobb) 2012.07.11. napokon.
Forrás: OMSZ.

5) 2012.07.29. Északkelet-, Kelet-, és Közép-Európában magas nyomású légtömeg uralkodott, ennek megfelelően ezeken a területeken derült idő volt a jellemző, a megnövekvő gomolyfelhőzetből néhol előfordult zápor, zivatar (4. ábra, bal). Skandinávia és Nyugat Európa időjárását egy ciklon határozta meg, melynek hidegfrontja elérte a Kárpát-medencét is, hatására záporok, zivatarok alakultak ki országszerte. Magyarországon tekintetében hajnalban a levegő hőmérséklete 17 °C és 21 °C között alakult, míg napközben 27 °C és 36 °C között tetőzött. A délelőtti folyamán egyre kisebb területen alakultak ki záporok, zivatarok, az ország túlnyomó részén derült volt az idő. Kora délutántól kezdve gomolyfelhő-képződés indult meg, melynek hatására a délután folyamán kialakultak hevesebb zivatarok is. Az éjszaka folyamán záporok, zivatarok voltak megfigyelhetők. A reggelig lehullott csapadék mennyisége csapadéknym és 33 mm között alakult, Királyrétről kimagaslóan magas, 94 mm-t is jelentettek.

6) 2012.09.19. Európában egy hullámzó frontrendszer húzódott a Barents-tengertől a Baltikumon át az Alpok déli részéig (4. ábra, jobb). A front által érintett területeken gyakran fordult elő csapadék, néhol záport és zivatart is megfigyeltek. A Kárpát-medencét nyugat felől egy hidegfront érte el. Magyarországon hajnalban a hőmérséklet 8 °C és 16 °C közé hűlt, míg a nappali csúcshőmérséklet 23 °C és 29 °C között alakult. A délelőtti órákban a Dunántúl kivételével általában felhős volt az ég. A megnövekvő felhőzetből az ország keleti felén egy-egy zápor előfordult. Napközben a Dunántúlon helyenként megnövekedett a felhőzet, még az ország középső és keleti területei felett felszakadozott a felhőzet. A reggelig mért csapadék mennyisége általában 5 és 25 mm között változott, de egyes helyekről ennél lényegesen nagyobb, 45-50 mm-es mennyiséget jelentettek.

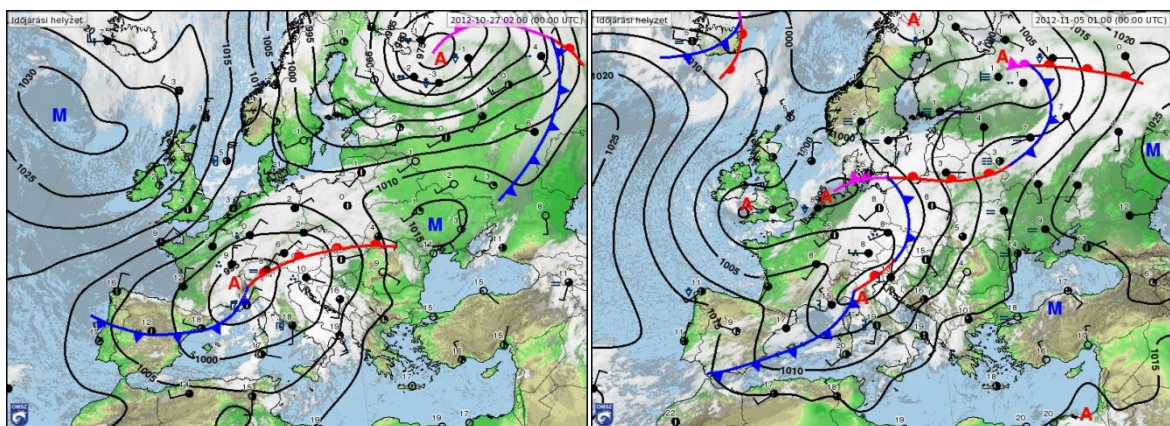


4. ábra: Európai időjárási helyzetkép 00 UTC-kor, bal) 2012.07.29., jobb) 2012.09.19. napokon.

Forrás: OMSZ.

7) 2012.10.27. Északkelet-Európa és az Alpok térsége fölött ciklonok örvénylenek, melyek borult időt eredményeznek az említett helyeken (5. ábra, bal). A megnövekvő felhőzetből többfelé csapadék is hullott, délen még zivatarok is kialakultak. A Kárpát-medencébe eleinte ciklon előoldali enyhe levegő áramlott, majd este egy markáns hidegfront érkezett. Hazánkban, hajnalban a levegő hőmérséklete 5 °C és 11 °C között, míg a nappali csúcstérték 10 °C és 17 °C között alakult. Az ország egész területén elég változatos időjárás volt a jellemző, néhol borult, párás, másutt napos időszakokkal. A délután folyamán a nyugati országrészben gyenge eső alakult ki. Az éjszaka folyamán a Tiszántúl északkeleti területeinek kivételével mindenütt beborult az ég, északon és nyugaton többfelé eleredt az eső. A reggelig lehullott csapadék mennyisége igen változatos eloszlású volt, általában 1 és 33 mm között volt.

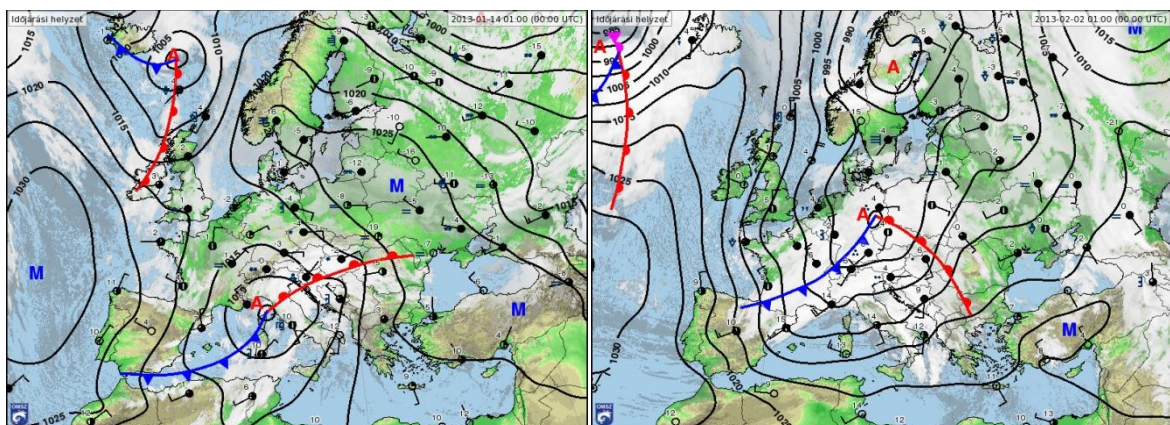
8) 2012.11.05. Európa időjárását egy többközepű ciklonrendszer alakítja, melyhez egy hullámszerű frontálzóna tartozik, amelyik délnyugat felől északkelet felé halad (5. ábra, jobb). Ennek következményeképpen egész Európa felett sok a felhő, és a frontálzóna közelében több helyen előfordult eső, záporosó. A Kárpát-medencébe eleinte nedves, majd szárazabb, és egyre hidegebb levegő áramlott. Magyarországon a hajnali hőmérséklet 8 °C és 15 °C között, míg a csúcshőmérséklet 15 °C és 21 °C között alakult. Többnyire a változó felhőzet mellett napos idő volt a jellemző, ez alól kivételek az északkeleti területek, illetve Sopron térsége. Északkeleten a felhős ég, míg Sopron térségében a párás levegő volt a jellemző. Délutántól nyugat felől felhősödés kezdődött és a korai esti órákban a Dunántúlon, illetve Budapest környékén is eleredt az eső. Az éjszaka folyamán tovább növekedett a felhőzet, és az északi tájakon az éjszaka második részében eső is esett. A reggelig lehullott csapadék mennyisége többnyire 5 és 20 mm között volt, a Nyugat-Dunántúlon helyenként 35–40 mm-t is mértek.



5. ábra: Európai időjárási helyzetkép 00 UTC-kor, bal) 2012.10.27., jobb) 2012.11.05. napokon.
Forrás: OMSZ.

9) 2013.01.14. Európa középső és déli területein felhős idő volt egy mediterrán ciklon hatásaként, ezeken a területeken többfelé fordult elő csapadék (6. ábra, bal). A délkeleti és délnyugati területeken anticiklonális helyzet volt a meghatározó. A Kárpát-medence fölé nedves, egyre enyhébb levegő áramlott. Magyarországon hajnalra a hőmérséklet $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ és $-11\text{ }^{\circ}\text{C}$ közé hűlt, míg napközben a hőmérséklet $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$ és $+3\text{ }^{\circ}\text{C}$ közé melegedett. Az ország legtöbb területén borult volt az idő egész nap, ez alól kivételt képez a Dél-Alföld, ahol kezdetben kisütött a nap, és csak utána borult be az ég. Eleinte az ország északi-és északkeleti területein fordult elő hőszállingózás, majd délután délnyugat felől egyre több helyen kezdett havazni. Éjszaka az északkeleti országrész kivételével több helyen fordult elő csapadék, hó, havas eső, ónos eső formájában. A reggelig mért csapadék mennyisége többnyire csapadéknym és 8 mm között alakult, ennél többet a Dunántúl és az Északi-khg. térségeiből jelentettek, ezeken a területeken 10 és 25 mm között mérték a lehullott csapadék mennyiségét.

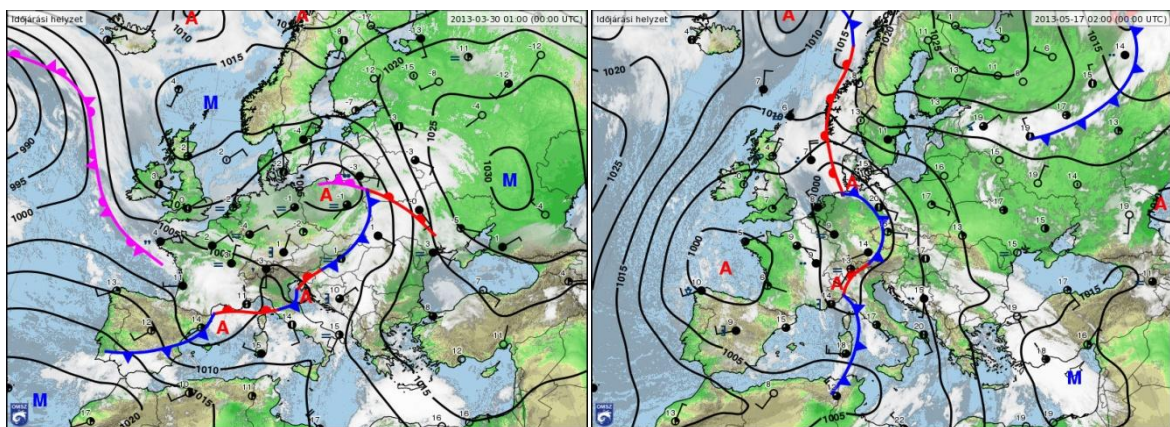
10) 2013.02.02. Európa időjárását egy többközéppontú ciklonrendszer határozta meg, ennek megfelelően a kontinens nagy részén borult idő volt a jellemző, és többfelé fordult elő eső, illetve északon és északkeleten hó (6. ábra, jobb). A Kárpát-medence fölé eleinte nedves, majd szárazabb és hidegebb levegő áramlott. Hazánkban, hajnalban a levegő hőmérséklete $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ és $+8\text{ }^{\circ}\text{C}$ között alakult, a nappali csúcshőmérséklet $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ és $13\text{ }^{\circ}\text{C}$ között volt. Napközben felhőátvonulások voltak a jellemzőek, majd délnyugat felől megvastagodott a felhőzet. Csapadék csak az éjszakai órákban fordult elő, ekkor több helyről is jelentettek esőt és záporosót. A reggelig lehullott csapadék mennyisége 10 és 35 mm között volt, a legtöbb csapadék Nyíregyházán hullott, itt 43 mm-t mértek.



6. ábra: Európai időjárási helyzetkép 00 UTC-kor, bal) 2013.01.14., jobb) 2013.02.02. napokon.
Forrás: OMSZ.

11) 2013.03.30. Európa déli és középső területei felett egy ciklonrendszer helyezkedett el, ennek megfelelően alakult e területek időjárása (7. ábra, bal). Itt borult volt az ég, több helyen eleredt az eső. A keleti területeken, illetve a Skandináv-félsziget felett a leszálló légáramlás volt a jellemző, ennek megfelelően itt derült, napos idő volt a jellemző. A Kárpát-medence időjárását is egy, a térségen átvonuló ciklon határozta meg. Magyarországon a hajnali hőmérséklet $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$ és $+5\text{ }^{\circ}\text{C}$ között volt, a hőmérséklet csúcértéke $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ és $16\text{ }^{\circ}\text{C}$ között alakult. Dél előtt az északi területek felett elvékonyodott a felhőzet, de az ország többi részén borult maradt az idő. Délre már mindenütt megszűnt a csapadék, majd a délután folyamán délnyugat felől egyre több helyen eredt el az eső. A reggelig lehullott csapadék mennyisége 4 mm és 31 mm között volt.

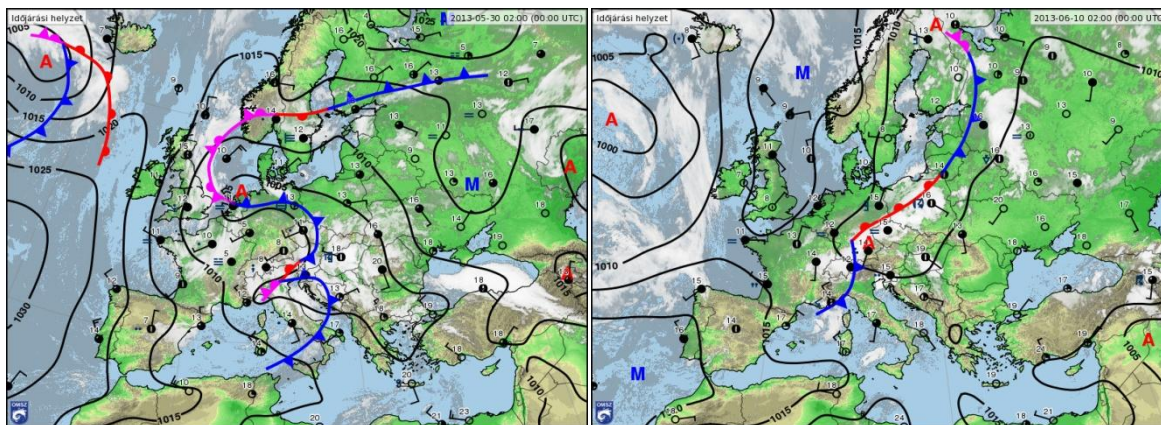
12) 2013.05.17. Európa nyugati részén egy többközpontú ciklonrendszer helyezkedett el, és a hozzátartozó frontálzóna mentén többnyire felhős és csapadékos idő volt (7. ábra, jobb). Kelet-Európában egy anticiklon határozta meg az időjárást. A Kárpát-medence területére eleinte nedves és labilis levegő, majd az átvonuló hidegfront mögött egyre szárazabb levegő áramlott. Hajnalra a levegő hőmérséklete $8\text{ }^{\circ}\text{C}$ és $16\text{ }^{\circ}\text{C}$ közé hűlt le, míg a nappali csúcshőmérséklet $23\text{ }^{\circ}\text{C}$ és $28\text{ }^{\circ}\text{C}$ között alakult. Az ország egész területére jellemző volt napközben a napsütés, amelyet csak a fátyolfelhőzet akadályozott. A délutáni óráktól kezdődően a délnyugat felől a hidegfront hatására megvastagodó felhőzetből estig csak a Nyugat-Dunántúlon fordult elő zápor. Az éjszaka folyamán tovább vastagodó felhőzetből az ország többi részén is előfordult kisebb eső, záporosó. A reggelig mért csapadék mennyisége többnyire csapadéknym és 28 mm között volt, néhány helyről jelentettek csak ennél magasabb $35\text{--}40\text{ mm}$ -es értéket.



7. ábra: Európai időjárási helyzetkép 00 UTC-kor, bal) 2012.05.03., jobb) 2012.05.22. napokon.
Forrás: OMSZ.

13) 2013.05.30. Európa középső és déli részének időjárását egy sekély ciklon alakította (8. ábra, bal). Ennek megfelelően az előbb említett területeken borult volt az ég, és sokfelé esett az eső, néhol zivatar is előfordult. A Kárpát-medence időjárását is ez a ciklon határozta meg, így jelentős mennyiségű csapadék esett. Magyarországon hajnalban a levegő hőmérséklete 9 °C és 16 °C között alakult. Nappal a csúcshőmérséklet 22 °C és 27 °C között volt. A nap folyamán átmenetileg mindenütt csökkent a felhőzet, majd dél, délnyugat felől ismét egyre több volt a felhő. Helyenként kialakultak záporok, az északi területeken még zivatar is volt. Az éjszaka folyamán is esett az eső, záporosó, néhol zivatar is előfordult. A reggelig hullott csapadék mennyisége, 3 és 27 mm között volt, egy-két helyen mértek csak ennél magasabb 40 mm körüli értéket.

14) 2013.06.10. Európa időjárását egy frontrendszer osztotta ketté, amely a Földközi-tenger medencéjétől a Barents-tengerig húzódott (8. ábra, jobb). A front környezetében sok volt a felhő, csapadék is előfordult ezeken a területeken. A Kárpát-medence időjárását is ez a front befolyásolta, így pár fokkal visszaesett a hőmérséklet. Magyarországon hajnalban 13 °C és 19 °C között lehetett mérni hőmérsékletet. A csúcshőmérséklet értéke 24 °C és 28 °C között tetőzött. Déltől kezdve egyre erőteljesebb volt a gomolyfelhő-képződés, a délután folyamán záporok, jégesővel kísért zivatarok is kialakultak. Éjszaka a keleti, délkeleti területek felett csökkent a felhőzet, ugyanakkor a Nyugat-Dunántúlon egyre többfelé eleredt az eső, zivartartevékenységet nem figyeltek meg az éjszaka folyamán. Csapadéknym 5 és 30 mm között volt a reggelig lehullott csapadék mennyisége.

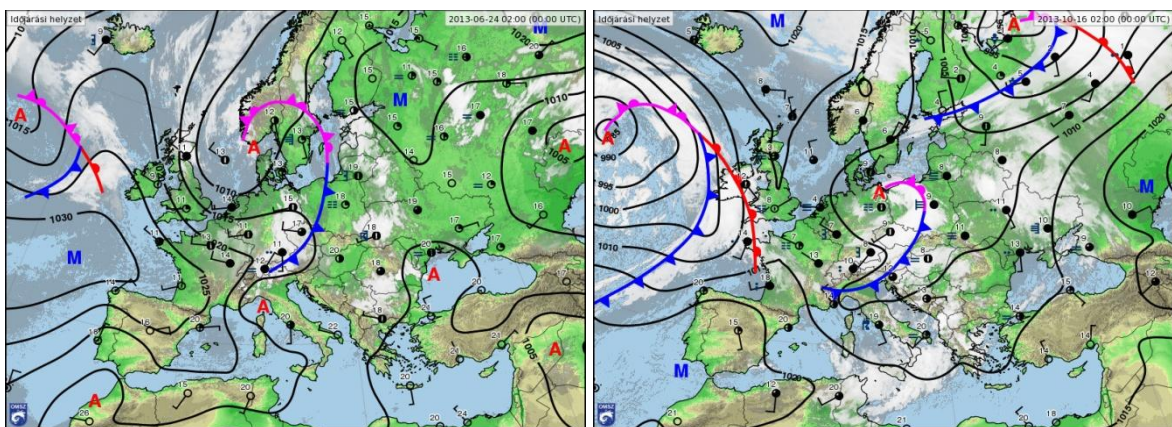


8. ábra: Európai időjárási helyzetkép 00 UTC-kor, bal) 2012.05.30., jobb) 2012.06.10. napokon.
Forrás: OMSZ.

15) 2013.06.24. Európa északkeleti és délnyugati területeire anticiklonális időjárás volt jellemző (9. ábra, bal). Ezeken a területeken napos idő volt, számottevő

csapadék nélkül. Európa más területein egy többközéppontú ciklonrendszer húzódott, emiatt felhős idő volt, és több helyen kialakult eső, zápor, zivatar. A Kárpát-medencébe hűvösebb, nedvesebb levegő áramlott be. Magyarországon hajnalban 12 °C és 19 °C közötti hőmérsékletet mértek. A hőmérséklet csúcsértéke a Dunántúlon az átvonuló hidegfront mögött 14 °C és 23 °C között, a hidegfront előtti területeken pedig 24 °C és 31 °C között alakult. A délelőtti folyamán a nyugati területek felett erősen felhős volt az ég, a hidegfront mentén többfelé eső is előfordult, míg az ország más területein napos idő volt. A délután folyamán a megnövekedett felhőzetből egyre több helyen alakult ki zápor, zivatar. Az éjszaka folyamán csak az ország északkeleti részén mértek csapadékot. A reggelig lehullott csapadék mennyisége több helyen meghaladta a 10 mm-t, volt ahol 20 mm-nél is magasabb értéket mértek.

16) 2013.10.16. Európa szinte egész területén ciklonális hatások érvényesültek (9. ábra, jobb). A Kárpát-medence időjárását is egy ciklon határozta meg, így borult, hűvös és esős volt az időjárás, majd a ciklon elvonulását követően szárazabb levegő áramlott be a Kárpát-medencébe. Magyarországon a hajnali hőmérséklet 4 °C és 12 °C között volt, míg a hőmérséklet csúcsértéke 15 °C és 22 °C között alakult. A Dunántúlon napközben változatos volt az időjárás, de csapadékot sehonnan sem jelentettek. A Dunától keletre eső területeken, a délelőtti folyamán, még felhős, borult volt az idő, több helyen esett az eső, záporosó, és néhol még zivatar is előfordult. Délutánról kezdődően egyre kevesebb helyen fordult elő zápor és zivatar. Az éjszaka folyamán mindenütt beborult az ég, az éjszaka második felében több helyen eleredt az eső. A reggelig hullott csapadék mennyisége általában 10 és 37 mm között változott.



9. ábra: Európai időjárási helyzetkép 00 UTC-kor, bal) 2016.06.24., jobb) 2012.10.16. napokon.
Forrás: OMSZ.

5. Verifikációs módszerek

5.1 Folytonos valószínűségi verifikációs módszerek

A két adatsor közötti lineáris kapcsolat erősségének vizsgálatára a korreláció (5) használható. A korreláció értéke -1 és +1 között változhat. Ha a korreláció értéke 1, akkor a két változó között tökéletes egyenes arányosság áll fenn. Amennyiben -1 a korreláció értéke, az azt jelenti, hogy a két változó fordítottan arányos, ha az érték 0, akkor a két változó között semmilyen lineáris kapcsolat nem mutatható ki, tehát akkor független változóknak nevezzük őket. Több megközelítés létezik a korreláció értékéből a kapcsolatra való következtetésre, *Tóthné* (2011) alapján:

- $|0-0,25|$: nincs kapcsolat
- $|0,25-0,5|$: laza kapcsolat
- $|0,5-0,75|$: érzékelhető kapcsolat
- $|0,75-0,9|$: szoros kapcsolat
- $|0,9-1|$: rendkívül szoros kapcsolat

A korreláció (R) értékét úgy kaphatjuk meg, hogy az adatsorok kovarianciáját ($cov(x,y)$) osztjuk az egyes adatsorok szórásának (D) szorzatával (*Dévényi & Gulyás, 1988*):

$$R(X, Y) = \frac{cov(X,Y)}{D(X) \cdot D(Y)} \quad (5)$$

A kovariancia két valószínűségi változó centrált szorzatának a várható értéke:

$$cov(X, Y) = E[(X - E(X))(Y - E(Y))] \quad (6)$$

A négyzetes hiba a becslés értékének a megfigyelt értéktől való eltérésének mértékére használható mérőszám. A négyzetes hiba a következő képlettel számolható:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - y_i)^2}{n}} \quad (7)$$

Ahol az $\hat{y}_i$ az i -edik pontban a becsült értéket jelöli, az y_i pedig az i -edik pontban a megfigyelt érték. Ennek a két mennyiségnek a különbsége lehet pozitív és negatív érték is, attól függően, hogy alul- vagy felülbecslésről beszélünk. Az n a megfigyelési pontok száma.

A négyzetes hiba értéke ugyanakkor mindig pozitív szám, és a becsült és megfigyelt érték eltérésének mértékével arányosan növekszik.

5.2 Kategorikus verifikációs indexek

Szakdolgozatomban a vizsgált 16 nap csapadéértékeire verifikációs indexeket határoztunk meg. Az indexeket a billenőedényes csapadékatok és a radar adatok között, illetve a radar adatok és a MISH adatok között határoztuk meg. Ezen belül négy tartományt vizsgáltunk:

1. volt-e csapadék,
2. 2 mm-nél több csapadék esett-e,
3. 5 mm-nél több csapadék esett-e,
4. 10 mm-nél több csapadék esett-e.

A verifikációs indexeket az ún. kontingencia táblázatban található értékek alapján lehet kiszámítani (1. táblázat). Ebben a táblázatban négyféle variáció létezik: mind a két adatsor alapján esett az adott mennyiségű csapadék (a, helyes találat), a referencia szerint nem esett annyi, de a hasonlítandó adatsor szerint igen (b, hibás riasztás), illetve ez megfordítva (c, elvetés), és az utolsó variáció, az egyik szerint sem esett a megfelelő mennyiségű csapadék (d, helyes elvetés). Mind a három adatsort egy közös rácshálóra kell interpolálni, majd megszámolni mind a 16 napra külön, hogy hány darab eset kerül a kontingencia táblázat egyes részeibe, és ezek után meg lehet határozni a különböző verifikációs indexeket.

1. táblázat: A vizsgálatban alkalmazott kontingencia táblázat.

		Radar adatok		
	esemény	igen	nem	
MISH/ billenőedényes adatok	igen	a	b	
	nem	c	d	
				$n=a+b+c+d$

A szakdolgozatomban az alábbi verifikációs indexeket használtuk fel (Ebert & McBride, 1997; Nurmi, 2003):

I. A BIAS index az előrejelzések és a megfigyelések arányát írja le. A BIAS index értéke mindig nagyobb, mint 0, az ideális érték 1. Amennyiben a $BIAS > 1$, akkor az azt jelenti, hogy a MISH-, illetve a billenőedényes adatok többször tartalmaztak a meghatározott tartományban adatot, amikor a radar adatok nem estek az adott tartományba. Ha a $BIAS < 1$, akkor a radar adatok voltak többször az adott tartományban, amikor a MISH-, illetve billenőedényes adatok nem estek bele az adott tartományba. Amennyiben értéke pontosan 1, az még nem jelent tökéletes előrejelzést, a csapadékos rácspontok elhelyezkedése teljesen eltérő lehet.

$$B=(a+b)/(a+c) \quad (8)$$

II. A PC (Proportion of Correct) index az egyik legegyszerűbb verifikációs index, hiszen azt az arányt írja le, amikor az összehasonlított adatok közül, mind a két adatsor adatai beleesnek az adott tartományba, illetve egyik adatsor adatai sem esnek bele az adott tartományba. Értéke általában nagyon félrevezető, mivel az „igen” és a „nem” előrejelzések is hasonlóképpen vannak súlyozva. Emiatt száraz illetve alig csapadékos esetben annak ellenére lehet magas az értéke, hogy a csapadékos rácspontok teljesen rosszul adóttak. A PC index értéke 0 és 1 közötti lehet, az ideális értéke 1.

$$PC=(a+d)/n \quad (9)$$

III. A POD (Probability Of Detection) index megmutatja annak a hányadát, amikor a vizsgált két adatsor közül mind a kettő beleesik az adott tartományba, amikor csak a radar esik bele, de a másik adatsor nem. Be lehet bizonyítani, hogy mesterségesen létre lehet hozni határozott „igen” előrejelzést, ha növeljük a találatok számát (pl. sok csapadékos rácspont van a nem-csapadékoshoz képest). Értéke 0 és 1 közötti lehet, az ideális értéke 1.

$$POD=a/(a+c) \quad (10)$$

IV. A FAR (False Alarm Ratio) index arról az arányról tájékoztat, amikor MISH-, illetve a billenőedényes adatok tartományba esnek, míg a radar adatok nem esnek bele, illetve amikor mind kettő adatsor adatai beleesnek a tartományba (hibás csapadék aránya, az összes hasonlítandó csapadékhoz képest). Értéke 0-tól 1-ig vehet fel értékeket, az ideális értéke a 0. A POD és a FAR indexet együtt kell vizsgálni.

$$FAR= b/(a+b) \quad (11)$$

V. Az F (False Alarm Rate) index azt az arányt mutatja meg, amikor MISH-, illetve a billenőedényes adatok tartományba esnek, míg a radar adatok nem esnek bele, illetve amikor egyik adatsor adatai sem esnek bele a tartományba (hibás csapadék aránya, az összes intervallum alatti referencia csapadékhöz képest). Értékei a FAR indexéhez hasonlóan, 0 és 1 között változhat, az ideális érték 0.

$$F=b/(b+d) \quad (12)$$

VI. A TS (Threat Score) vagy más néven CSI (Critical Success Index) gyakori verifikációs index. A POD és FAR indexszel szemben mind a hibás riasztást, mind a téves elvetést tartalmazza, így kiegyensúlyozottabb index. Akkor ad megfelelő értéket, ha a korrekt „nem” előrejelzéseket nem vesszük figyelembe. TS index érzékeny az események éghajlati gyakoriságára, mivel pár találat csak azért van, mert véletlen esemény következett be. Értéke 0-tól 1-ig változhat, ideális értéke az 1.

$$TS=a/(a+b+c) \quad (13)$$

VII. Az ETS (Equitable Threat Score) a TS index klimatológiai érzékenységét hivatott javítani egy random gyakoriság (*ar*) megadásával. Ezt a random értéket úgy adják meg, hogy feltételezik, az előrejelzések teljesen függetlenek a megfigyeléstől és az előrejelzés csak véletlenül fogja visszaadni a megfigyelést. Az ETS index értéke -1/3-tól 1-ig változik, ideális értéke 1.

$$ETS=(a-ar)/(a+b+c-ar) \quad (14)$$

$$ar=(a+b)(a+c)/n \quad (15)$$

VIII. A HSS (Heidke Skill Score) index az egyik leggyakrabban használt mutató ahhoz, hogy összefoglaljuk egyben a 2x2-es kontingencia táblázatot. A HSS megadja a helyes előrejelzések arányát, miután korrigálták azt a random helyes találatokkal. Értéke mínusz végtelentől 1-ig változik, a megfelelő értéke az 1.

$$HSS=2(ad-bc)/\{(a+c)(c+d)+(a+b)(b+d)\} \quad (16)$$

IX. Az (Odds Ratio Skill Score) indexet igen ritkán alkalmazzák meteorológiai előrejelzésnél. Emiatt és az egyszerűsége miatt gyakorlatilag ezt kísérletezésre használják.

$$ORSS=(ad-bc)/(ad+bc) \quad (17)$$

5.3 Interpolációs módszerek

5.3.1 Inverz disztáns interpoláció

Ez egy nem geometriai interpolációs technika, mely az interpolált értéket ($Z(s_0)$) a megfigyelések súlyozott átlaga segítségével becsüli (Shephard, 1968). Ez az adott $\underline{s_0}(x_0, y_0)$ koordinátákra:

$$\hat{Z}(s_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i \cdot Z(s_i) \quad (18)$$

A képletben a $Z(\underline{s_i})$ $i=1,2,\dots,n$ jelöli a megfigyeléseket, a $\lambda_i(s_0)$ pedig a pontok távolságának fordított arányából számított súlyokat. $\lambda_i(s_0)$ -t a következőképpen kaphatjuk meg (Hengl, 2007):

$$\lambda_i(\underline{s_0}) = \frac{\frac{1}{d^{\beta}(\underline{s_0}, \underline{s_i})}}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{d^{\beta}(\underline{s_0}, \underline{s_i})}} \quad , \beta > 0 \quad (19)$$

ahol $d^{\beta}(\underline{s_0}, \underline{s_i})$ a két pont közötti távolságot jelöli. A β jelöli az együttthatót, aminek az értéke változtatható az interpoláláshoz felhasznált mérésektől függően, de hagyományosan 1. A β értékének növelésével egyre nagyobb hangsúlyt kapnak a közeli pontok. A becslés torzítatlanságához a λ_i súlyok összegének 1-gyel kell, hogy egyenlő legyen.

$$\sum_{i=1}^n \lambda_i = 1 \quad (20)$$

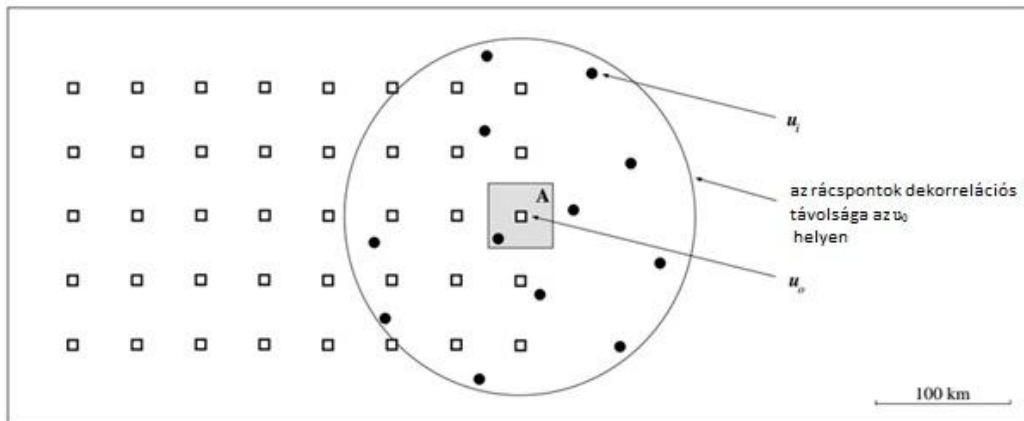
Első közelítő becslésnek alkalmazható, ha a mérések elég reprezentatívak a területre, és a területen belül nem fordulnak elő a mérések átlagánál szignifikánsan alacsonyabb valamint magasabb értékek. Mivel sok adat esetén ez a módszer igencsak időigényes lehet, ezért az adott pont becslésére használt mérések számát érdemes csökkenteni ennek kiküszöbölése érdekében, ami maximális elemszám vagy maximális interpolációs távolság megadásával lehetséges.

5.3.2 Block - kriging interpoláció

A három csapadékmező összehasonlítását csak úgy lehet megfelelően elvégezni, ha mindhármát ugyanolyan, előre meghatározott rácshálóra interpoláljuk. A feladat végrehajtását a földtudományokban is gyakran alkalmazott kriging (Krige, 1962) interpoláció segítségével hajtottuk végre. A kriging interpoláció azon alapszik, hogy az interpolálandó paramétert regionalizált változóként tekintjük. Ez azt jelenti, hogy a mérési pontok adott környezetben belül korrelálnak egymással, de egy bizonyos távolságon kívül már nem (Davis, 1987).

Egy rácsháló adott pontjaiba az úgynevezett általános kriging segítségével becsülhetjük meg az ott hullott csapadék mennyiségét. A becslést szabálytalanul elhelyezkedő mérési pontok alapján végezzük a következő analízis segítségével.

A terület nagysága A , aminek a közepén található u_0 pontra végezzük az interpolációt, a hozzá legközelebbi n darab dekorrelációs távolságon belüli megfigyeléssel. A megfigyeléseket felhasználva meghatározható az egyes $i=1,2,...,n$ megfigyelési pontokból interpolált csapadékösszeg ($Z(u_i)$) és az interpoláció hibája ($\delta(u_i)$), majd ennek segítségével adható becslés a csapadék A területre átlagolt értékére ($Z_A(u_0)$).



10. ábra: A kriging interpolációnál felhasznált pontok elhelyezkedésének sematikus ábrája (Rubel, 1996).

Ezek értelmében a csapadék valós értéke úgy kapható meg, hogy vesszük a teljes csapadékmennyiség ($Z(u)$) A -ra vett integrálját, ahol $u(x,y)$ pontban helyezkedik el, az A területen belül (Kottek & Rubel, 2007):

$$Z_A(u_0) = \frac{1}{A} \int_A Z(u) dx dy \quad (21)$$

A Z_A integrál becslése a következő lineáris kombinációval definiálható:

$$\widehat{Z}_A(u_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i [Z(u_i) + \delta(u_i)] \quad (22)$$

Itt $Z(u_i)$, $i=1,2,\dots,n$ a mért csapadéértékeket jelöli az n legközelebbi pontban. A $\delta(u_i)$ az adott pontokban a megfigyelési/mérési hibát jelöli, ami általában ismeretlen. A feltételezések szerint, a billenőedényes mérési hibák véletlenszerűek, átlaguk nulla, térben nem korrelálnak, és az átlagos négyzetes hibájuk állandó a vizsgált területre tekintve.

A lineáris kombináció a legjobb (lineáris) torzítatlan becslés a λ_i -re, $i=1,2,\dots,n$, ha a következő feltételek teljesülnek.

- Torzítatlanság: a becslés várható értékének (E) egyenlőnek kell lennie a valós érték várható értékével:

$$E[\widehat{Z}_A(u_0)] = E[Z_A(u_0)] = m(u_0) . \quad (23)$$

- Szórásnégyzet minimális: a becslés szórásnégyzetének (σ) az összes létező realizáció közül a legkisebbnek kell lennie a λ_i -k tekintetében:

$$\sigma_E^2(u_0) = \text{Var}[\widehat{Z}_A(u_0)] = E[(Z_A(u_0) - \widehat{Z}_A(u_0))^2] = \text{Min}. \quad (24)$$

A (24)-ből az (21)-es és (22)-essel kombinálva kapjuk, hogy:

$$\sigma_E^2(u_0) = E \left[\left(\frac{1}{A} \int_A Z(u) dx dy - \sum_{i=1}^n \lambda_i [Z(u_i) + \delta(u_i)] \right)^2 \right] \quad (25)$$

Feltételezve, hogy a csapadékmező homogén és iránytól független, a λ_i súlyozási együtthatók a becslés szórásnégyzetének minimalizálásával számíthatók. Ha továbbá:

- feltételezzük, hogy a kovariancia függvény ismert,
- normalizálva a szórást ($\sigma_\epsilon^2 = \sigma_E^2 / \sigma^2$),
- fenntartva, hogy az interpolációs hiba mértéke minimális és a súlyozási együtthatók (λ) összege 1 ($\sum_{i=1}^n \lambda_i = 1$),
- és alkalmazva a szórásnégyzetre a Lagrange-i módszert (Rubel, 1996), a becslés szórása (25) úgy írható fel, mint:

$$\sigma_\epsilon^2(u_0) = \frac{1}{A^2} \int_A \int_A R(u, u') dx dy dx' dy' - \sum_{i=1}^n \lambda_i \frac{1}{A} \int_A R(u, u_i) dx dy - \mu \quad (26)$$

Így, ha a korreláció (R) ismert, akkor azonnal megoldható az egyenletrendszer. Meg kell jegyezni, hogy a távolság növekedésével az erősödő megfigyelési hiba, a λ_i súlyozási faktorok közt csökkenést idéz elő, és emiatt simított lehet a csapadékmező.

A gyakorlatban ez a korreláció függvény ismeretlen. Helyette a tapasztalati becsült $\hat{R}(\rho)$ függvényt használjuk (Rubel, 1996).

$$\begin{aligned}\hat{R}(\rho) &= R(\rho) - \Delta^2 & \rho > 0 \\ \hat{R}(\rho) &= 1 & \rho = 0\end{aligned}\quad (27)$$

Ebben az esetben, egy exponenciális függvényt választunk autokorrelációs függvénynek, amely a szinoptikus skálájú csapadékok esetén használható (Rubel, 1996).

$$R(\delta) = c_1 \cdot \exp(-c_2 \delta^{c_3}) \quad (28)$$

A c_1 paramétert 0,95-nek választjuk, amely a mérési hiba nagyságát fejezi ki. A többi paraméter értéke a legkisebb négyzetek módszerével határozható meg a vizsgált rácsponatok közti távolság és autokorreláció alapján (Kottek & Rubel, 2007).

Így a (26)-os egyenletrendszer korrelációi helyére az autokorrelációs függvény kerül. A normalizált becslés szórása a következő:

$$\sigma_\epsilon^2(u_0) = \frac{1}{A^2} \int_A \int_A \hat{R}(u, u') dx dy dx' dy' - \sum_{i=1}^n \lambda_i \frac{1}{A} \int_A \hat{R}(u, u_i) dx dy - \mu \quad (29)$$

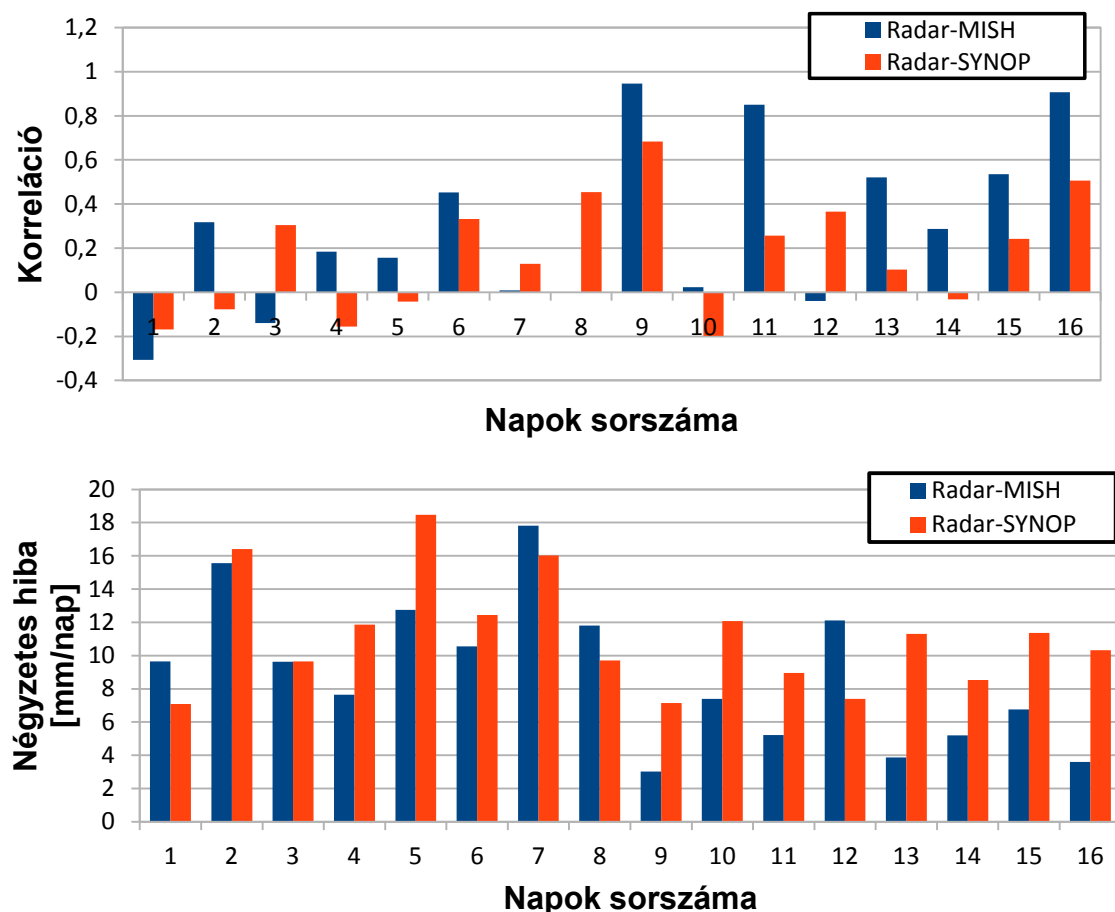
Ezt azonnal megkaphatjuk, mert a kettős integrált elég csupán egyszer kiszámítanunk a modell területére, és a második integrál tagot már korábban ki kellett számítani.

A becslés szórásnégyzete (29) adott külön-külön minden egyes rácspontra, és az analízis minőségének a mértéke (interpoláció hibája) is. Ez függ a vizsgált terület nagyságától, hiszen ha a terület nagy, akkor a kettős integrál tag kicsi. Ha a területet csökkentjük egy ponttal, akkor ez a tag növekszik egy egységgel. Másrészt a becslés szórásnégyzete függ az állomások sűrűségétől és a mező statisztikai szerkezetétől is (Rubel, 1996).

6. Eredmények

6.1 Állomásokra interpolált értékek összehasonlítása

Az eredmények elemzését a pontbeli mérések és a radar illetve MISH adatsor összehasonlításával kezdem. Jól látható a diagramokon (11. ábra), hogy a 2013-as évben vizsgált napok esetén a radar és a MISH adatok közötti korrelációk szembetűnően magasabbak, mint a 2012-es év napjainál. Ez a rácshálóra interpolált értékek esetén is megfigyelhető lesz. A korrelációk értéke egyes esetekben negatív, de többnyire közepes korrelációval találkozhatunk (0,2 és 0,6 között). A négyzetes hibák esetén már nem figyelhetünk meg ekkora eltérést az adatsorok között, de a 2013-as javulás itt megfigyelhető, sőt 2013-ban több napon is a radar és a MISH adatok között számított négyzetes hiba 4 mm körüli értéket vett fel, szemben a 2012-es 10 mm értékkel. Az itt látható hibák magyarázatául kiválasztottunk néhány napot.



11. ábra: A szinoptikus állomásra interpolált radar és MISH adatok, illetve a radar és szinoptikus állomások (SYNOP) adatainak korrelációja (felül) és négyzetes hibája (alul).

2012.07.29. (5. nap) A radar és a szinoptikus állomások adatai közötti korreláció negatív értéket vett fel, és a MISH és a radar adatok közötti korreláció is nagyon alacsony, 0,2 alatti. A radar és a szinoptikus adatok közötti négyzetes hiba ennek megfelelően kimagaslóan magas, 18,5 mm, a radar és a MISH adatok között kisebb, de így is 12,7 mm-nek adódott.

A jelentős eltérések oka, hogy a nap folyamán a csapadék záporok, zivatarok eredményeképpen hullott. Az ÉNY-i országrészen a zivatarok voltak jellemzőek, míg az ÉK-i országrészen inkább záporosó hullott. Ilyen esetekben, amennyiben az állomás közelében volt csapadéktevékenység, az állomásra történő interpoláció során megjelenik a távérzékelt csapadék mennyisége, jelentős különbséget eredményezve.

2013.01.14. (9. nap) A radar és a szinoptikus állomások közötti korreláció ezen a napon volt a legmagasabb, 0,7 körüli, míg a radar és a MISH adatok közötti szintén ekkor vette fel a legmagasabb értéket, 0,95-öt.

Az ország északi és nyugati területein ezen a napon főként gyenge havazás volt, a déli területeken csendes eső, záporosó, és ónos eső volt a jellemző. Északon átlagosan 20 mm, délen 5 mm csapadék hullott a nap folyamán. Nagy skálájú időjárási jelenségek esetén, főként területileg homogén eloszlású csapadéokra az állomások jól reprezentálják a csapadéktevékenység jellegét és mennyiségét.

2013.02.02. (10. nap) Mind a két esetre számított korreláció 0-hoz közeli értéket vett fel. A radar és a szinoptikus állomások által meghatározott csapadékmező között számított korreláció értéke a negatív tartományban található.

Az ország területén többféle csapadékfajta is hullott. Az ország legnagyobb részén csendes eső vagy havazás volt, de pár helyről jelentettek záporosót is, déli határ mentén zivatar is előfordult a nap folyamán. Ugyanakkor megjegyzendő, hogy a nap folyamán a csapadékrendszer területi elrendeződése változékony volt, mely hasonló eredménnyel járt, mint a zárporos nyári nap esetén, kis egyezést eredményezve az egyes adatsorok között.

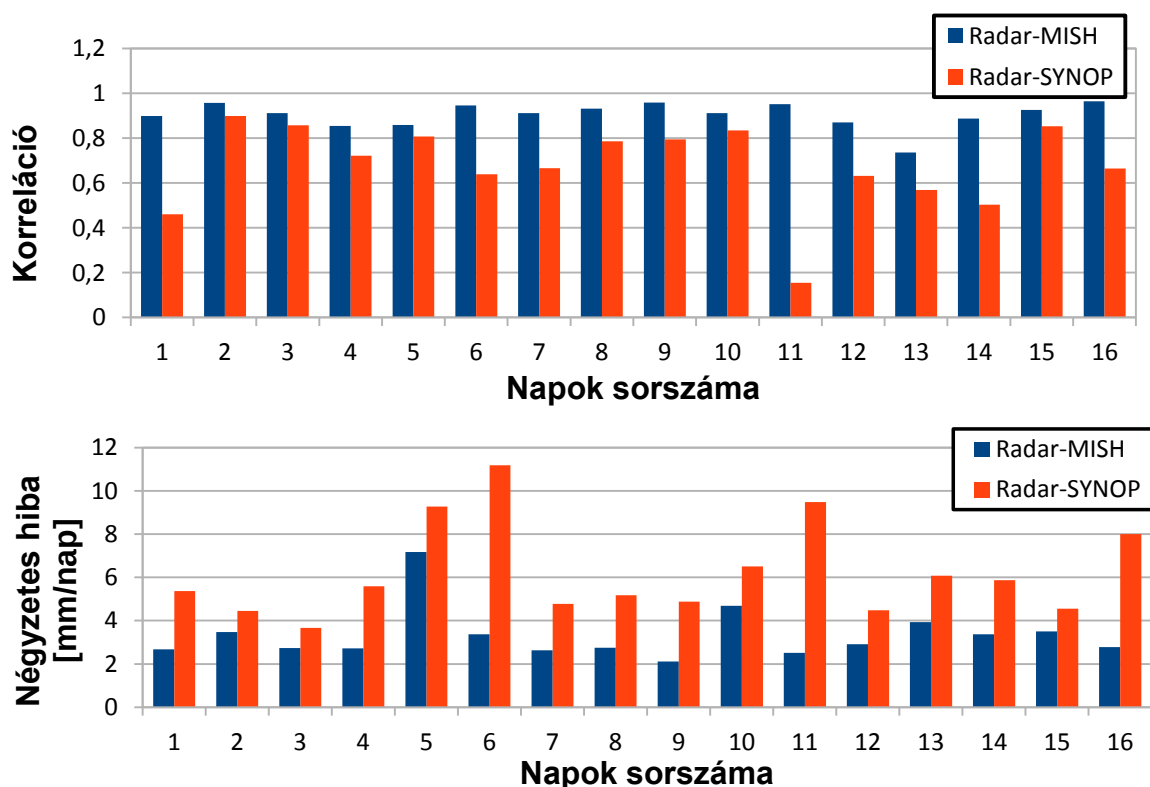
6.2 Rácshálóra interpolált értékek összehasonlítása

Ebben a részben az adatok rácshálóra interpolált értékeit fogom összehasonlítani. Az összehasonlításakor figyelembe vettük az adatmezők között számított korrelációkat, illetve a négyzetes hibák értékeit. Több esetben megfigyelhető, hogy az adatmezők között csupán térbeli eltérések vannak, és nem mennyiségbeli különbségek.

Az alábbi diagramokon (12. ábra) jól megfigyelhető, hogy a korrelációk és a négyzetes hibák között is nagy eltérések vannak. A korrelációk értéke 0,15-től 0,96-ig terjed, míg a négyzetes hibák esetén az értékek 2,11 és 11,18 között mozognak.

A korrelációs diagramon szembetűnő, hogy a radar adatok és a MISH adatok közötti korreláció mindig nagyobb, mint a szinoptikus állomások adatai és a radar adatok közötti korreláció. Ezen kívül megfigyelhető még, hogy a 2013-as évben a radar és a MISH adatok közötti korrelációs értékek magasabbak, mint a 2012-es évi napok esetén, ahogyan ezt az állomásokra interpolált értékek esetén is láthattuk.

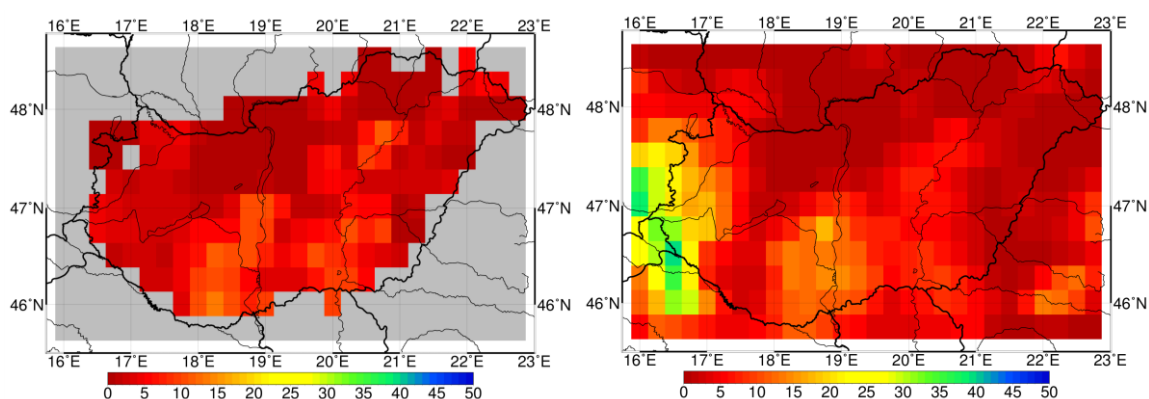
A négyzetes hibákat ábrázoló diagramon egyértelműen látszik, hogy általánosságban a radar és a szinoptikus adatok közötti négyzetes hibák nagyobbak, mint a radar és a MISH adatok között, egyetemben a korrelációval.



12. ábra: A szabályos rácshálóra interpolált radar és MISH adatok, illetve a radar és szinoptikus állomások (SYNOP) adatainak korrelációja (felül) és négyzetes hibája (alul).

2012.05.03. (1. nap) A radar és a MISH adatmező közötti korreláció 0,9 körüli értéket vett fel, míg a radar csapadékmező és a szinoptikus állomások által mért adatok közötti korreláció jóval kisebb volt, 0,45 körül alakult. Ennek ellenére a négyzetes hibák között alig figyelhető meg egy kis eltérés, mind a két esetben 5 körüli, illetve az alatti érték volt.

A nap folyamán több helyen is előfordultak zivatarok. A radar és a MISH csapadékmező között főként területi eltérések figyelhetők meg, mennyiségi eltérések kevésbé. Viszont a szinoptikus állomások adatai segítségével létrehozott csapadékmezőn (13. ábra, bal), a radar adatmező (13. ábra, jobb) nyugati határ mentén megfigyelhető zivatarából semmi sem észlelhető. Ezen a részen található a legnagyobb eltérés a két csapadékmező között, általában 15–20 mm-rel nagyobb értékeket tartalmaz a radar adatmező ezen a területen. A határ mentén a késő éjszaka, kora hajnali időszakban átvonult zivatarrendszer hatására volt magas a csapadékösszeg, azonban a közelben található magyarországi szinoptikus mérőállomásokat alig érte.

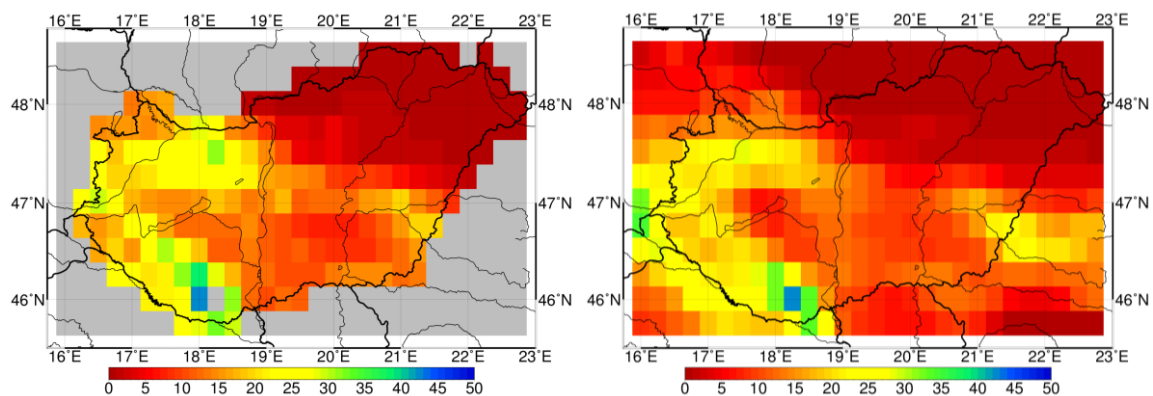


13. ábra: Napi interpolált csapadékösszeg 2012. május 3.-án, bal) szinoptikus állomások, jobb) radar adatok alapján (szürke színnel az interpolációs tartományból kieső rácpontok vannak jelölve).

2012.05.22. (2. nap) Ezen a napon a radar adatok és a MISH adatok közötti korreláció, illetve a szinoptikus állomásokon mért adatok és a radaros adatok közötti korreláció is egyaránt magas volt, 0,9 körüli értékeket vett fel. A négyzetes hiba értéke is hasonló, mind a két esetben 4,5 mm alatti érték volt.

Az adatmezők között főként az ország ÉNY-i és DNY-i területein, illetve Békéscsaba környékén figyelhetőek meg számottevő különbségek, körülbelül 5–10 mm-es eltérések, ezeken a helyeken esett a nap folyamán a legtöbb csapadék, zivatarok kíséretében, általában 20 és 30 mm között. Szombathely környékén gyenge záporosó volt,

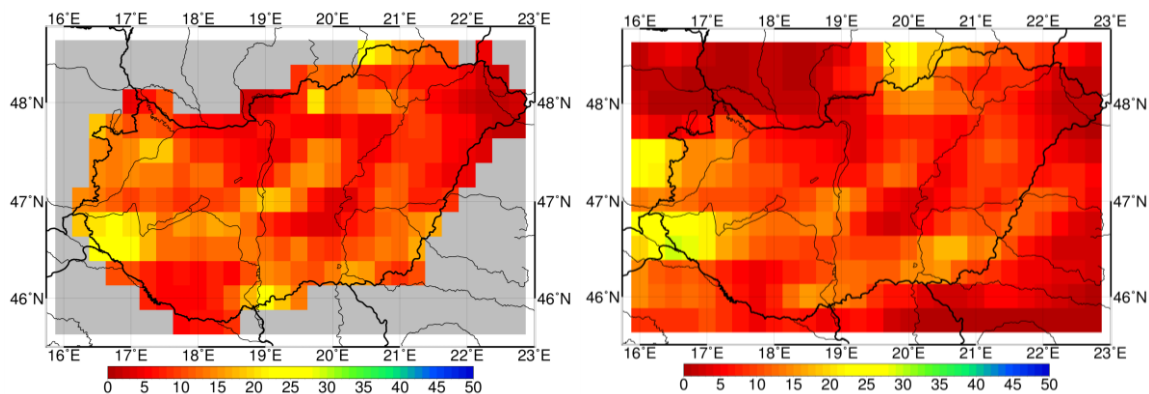
ezen a területen a radar adatok (14. ábra, jobb) magasabbak voltak, mint a MISH adatok (14. ábra, bal) és a szinoptikus állomások adatai. Az ország más területein csapadéknym és 15 mm közötti csapadék hullott, ezeken a területeken a három adatmező által mért adatok nagyjából megegyeznek.



14. ábra: Napi interpolált csapadékösszeg 2012. május 22.-én, bal) MISH adatok, jobb) radar adatok alapján (szürke színnel az interpolációs tartományból kieső rácpontok vannak jelölve).

2012.07.11. (4. nap) A korreláció a radar és a MISH adatok között 0,85-ös értéket, míg a radar és a szinoptikus állomásokon mért adatok között 0,7-es értéket vett fel.

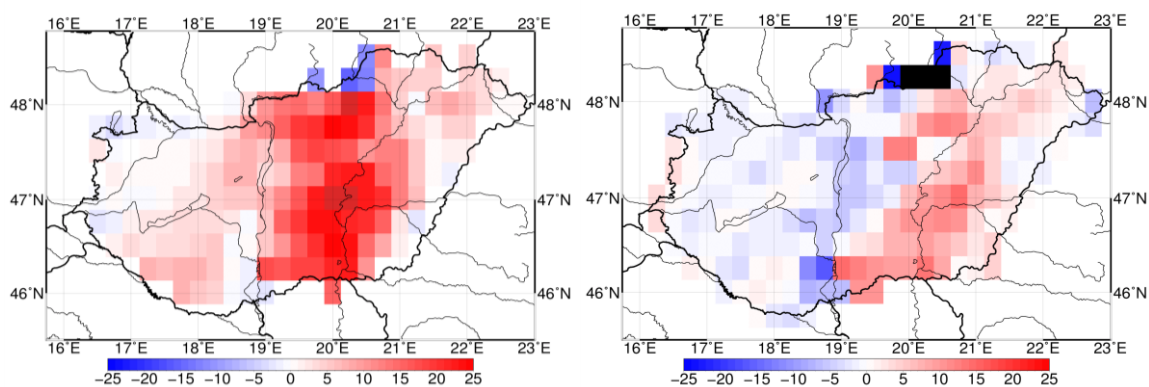
A nap folyamán több zivatar is előfordult az ország területén. A radar (15. ábra, jobb) és a MISH csapadékmező (15. ábra, bal) közötti különbség abból adódik, hogy a zivatarok pontos helye nem ugyanott található meg a két adatmező esetében. A zivatarok kiterjedésében is némi különbség megfigyelhető, a csapadék mennyisége a legtöbb esetben megegyezik. A radar és a szinoptikus állomások adatai alapján elkészített csapadékmezők között nagy különbség a keleti országrész területén figyelhető meg, itt általában 5–10 mm-es eltérések figyelhetők meg.



15. ábra: Napi interpolált csapadékösszeg 2012. július 11.-én, bal) MISH adatok jobb) radar adatok alapján (szürke színnel az interpolációs tartományból kieső rácpontok vannak jelölve).

2012.09.19. (6. nap) A radar és a MISH adatmező között számított korreláció 0,94 feletti, míg a radar adatok és a szinoptikus állomások adatai közötti korreláció csak 0,6 körüli. A négyzetes hibák ennek megfelelően fordítottan arányosan alakultak, a második esetben kifejezetten magas, 10 mm feletti érték volt.

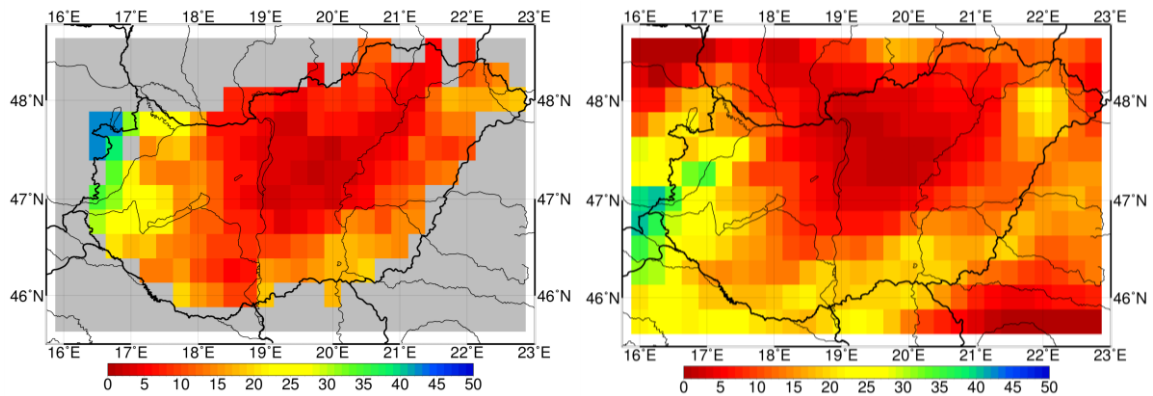
A nap folyamán a nyugati országrészben csendes eső volt a jellemző, néhány helyen fordult csak elő gyenge záporosó. A keleti országrész időjárását főként zivatarok határozták meg. A radar és a MISH adatmező között (16. ábra, jobb) megfigyelhető, hogy a radar adatok kicsit magasabbak, de átlagosan 5 mm eltérés figyelhető meg a zivataros keleti országrészen. Ennél jóval nagyobb különbségek láthatóak a radar adatok és a szinoptikus állomások adatai között (16. ábra, bal), ahol a keleti országrész esetén egyértelműen sokkal magasabbak a radar értékek, nem ritka a 25 mm-es eltérés sem. A nyugati országrész esetén nem figyelhetőek meg ekkora különbségek.



16. ábra: Napi interpolált csapadékösszeg különbsége 2013. szeptember 19.-én, bal) radar adatok és szinoptikus állomások, jobb) radar és MISH adatok alapján.

2012.11.05. (8. nap) A radar adatmező összehasonlítása során, a MISH adatmező és a szinoptikus állomásokon mért adatokkal vett korreláció is 0,9 érték felett volt. A négyzetes hibák szintén elég hasonlóan alakultak, mind a két esetben 6 mm alatti érték volt.

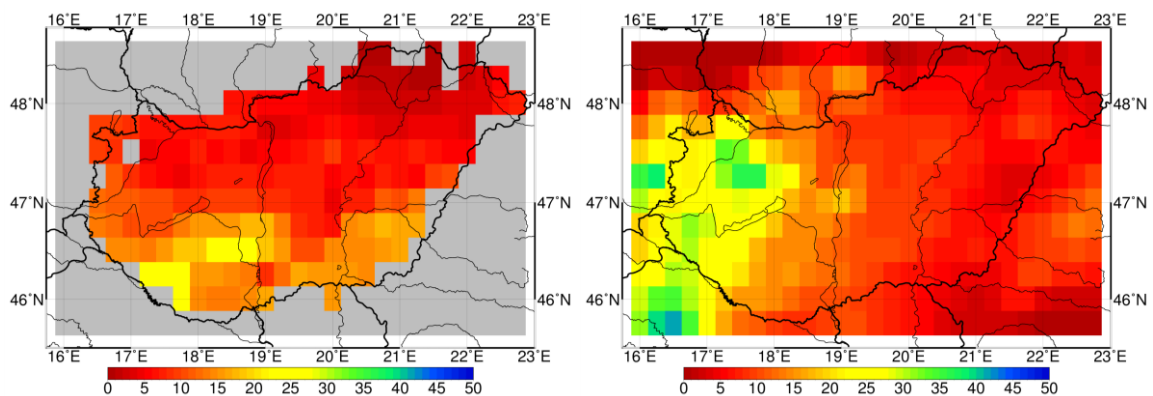
A radar és a MISH csapadékművelet szinte mindenütt elég hasonló értékeket mutat, sehol nem látható 5–10 mm-nél nagyobb eltérés. A szinoptikus állomásokon mért adatokat (17. ábra, bal) a radaros adatmezővel (17. ábra, jobb) összehasonlítva megfigyelhető, hogy főként területi eltolódások vannak. A radaros csapadékművelet. Szentgotthárd környékén megfigyelhető záporosó, a szinoptikus állomásokon mért adatokból készített csapadékművelet északra, Sopronnál észlelhető.



17. ábra: Napi interpolált csapadékösszeg 2012. november 5.-én, bal) szinoptikus állomások, jobb) radar adatok alapján (szürke színnel az interpolációs tartományból kieső rácsponatok vannak jelölve).

2013.03.30. (11. nap) Ezen a napon a radar és a MISH adatmezők közötti korreláció igen magas 0,95 feletti értéket vett fel, míg a szinoptikus állomásokon mért adatok és a radar adatok közti korreláció nagyon alacsony 0,2 alatti érték volt. A négyzetes hibák között is megfigyelhető ez a hatalmas eltérés.

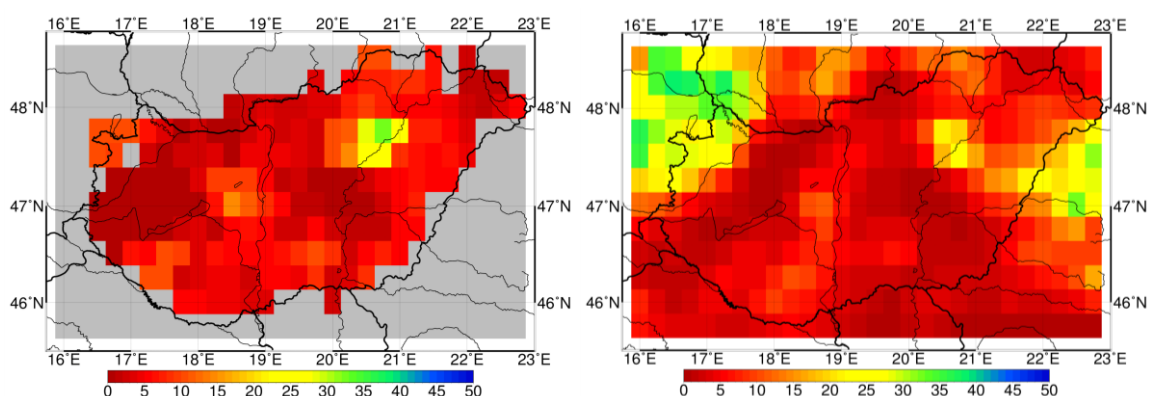
A nap folyamán az egész ország területéről csendes esőt jelentettek, kisebb megszakitásokkal. A radar és a MISH adatmezők nagyjából mindenütt megegyeznek, az eltérések általában 5 mm körüliek. A szinoptikus állomások adatai (18. ábra, bal) és a radar adatok (18. ábra, jobb) viszont nagy eltérést mutatnak, nem ritkák több helyen a 20–25 mm-es eltérések sem. A legnagyobb különbségek az ország ÉNY-i tájain figyelhetők meg, ahol a nap folyamán a legtöbb csapadék hullott, az éjszaka átvonuló hidegfront nyomán. Itt a radar adatok akár 25 mm-rel is többet mutatnak, mint a szinoptikus állomások adatai. A DK-i országrésznél figyelhetünk meg még eltéréseket, ahol 10 mm alatti csapadékmennyiség hullott. Itt a radar adatok voltak kisebbek, viszont az eltérés ebben az esetben kisebb, átlagosan 5 mm.



18. ábra: Napi interpolált csapadékösszeg 2013. március 30.-án, bal) szinoptikus állomások, jobb) radar adatok alapján (szürke színnel az interpolációs tartományból kieső rácsponatok vannak jelölve).

2013.06.10. (14. nap) A radar és a MISH adatmezők közötti korreláció 0,9 körül alakult, míg a radar által, illetve a szinoptikus állomások által mért csapadékok közti korreláció 0,5-ös értéket vett fel.

A radar és a MISH adatmezők is a Sopron környéki zivatar esetében elég hasonló értékeket mutatnak, a különbség csupán a zivatar területi kiterjedésében van. E két adatmező esetén eltérést a keleti országrész zivatarai esetében figyelhetünk meg. Ez is inkább területi eltérés, mert a csapadékmennyiség igencsak hasonló értékek között mozog, 25–30 mm csapadék esett. A radar adatmező (19. ábra, jobb) és a szinoptikus állomások (19. ábra, bal) adatai közt ugyanakkor nagy eltérések figyelhetők meg, Sopron környéki zivatar esetén a 20 mm-t is meghaladja ez a különbség. A keleti ország zivatarai esetében hasonló a helyzet, mint a MISH adatok esetén, hogy területi eltérések figyelhetők meg, bár ezek sokkal kisebbek, mint az előző esetben.

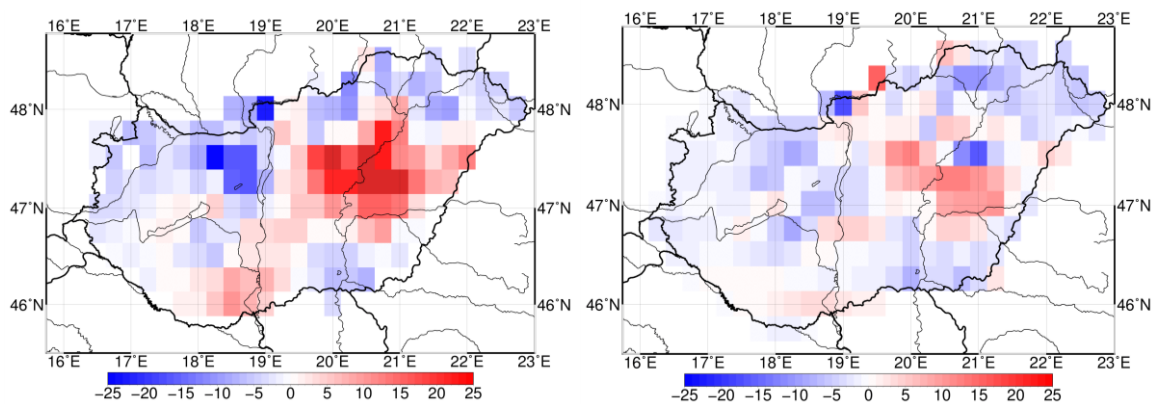


19. ábra: Napi interpolált csapadékösszeg 2013. június 10.-én, (bal) szinoptikus állomások, (jobb) radar adatok alapján (szürke színnel az interpolációs tartományból kieső rácsponatok vannak jelölve).

2013.10.16. (16. nap) A radar és a MISH adatmezők korrelációja kiemelkedően magas 0,96 körüli érték volt, míg a radar adatok és a szinoptikus állomások adatai között 0,65 körüli korrelációs érték volt megfigyelhető. A négyzetes hibák ennek megfelelően alakultak, az első esetben 3 mm, míg a második esetben 8 mm körüli értéket vettek fel.

A radar és a MISH csapadékmező (20. ábra, jobb) is hasonlóan alakult, nem látszanak számottevő különbségek, csupán maximum 5–10 mm-es eltérések. A radar és a szinoptikus adatok közt (20. ábra, bal) azonban több helyen is 25 mm-es eltérések figyelhetők meg. A legnagyobb különbség a keleti országrészben figyelhető meg, ahol a nap folyamán zivatarokat is megfigyeltek. Itt a radaros adatok akár 25 mm-rel is meghaladják a szinoptikus állomások adatait. Ezen kívül nagyobb eltérés figyelhető meg

Tatabánya környékén, ahol csendes eső volt kisebb megszakításokkal. Itt a szinoptikus állomások adatai a magasabbak, egyes helyeken 20 mm-el is meghaladták a radar által mért adatokat.



20. ábra: Napi interpolált csapadékösszeg különbsége 2013. október 16.-án, bal) radar adatok és szinoptikus állomások, jobb) radar és MISH adatok alapján.

6.3 Csapadékmezők összehasonlítása verifikációs indexek segítségével

A BIAS indexnél mind a két esetben megfigyelhető, hogy az index sokszor veszi fel az ideális értéket, amely ebben az esetben 1. Az első sorban csak ezt az ideális értéket találjuk, ami azt jelenti, hogy mind a 16 nap esetén az adatsorok jelentősen megegyeztek a csapadékos rácsponthoz számában. Az oszlopokon belül lefelé haladva látszódik, hogy az 1-től egyre jobban eltérő értékek vannak. A MISH és radar adatok közötti BIAS index esetén látható, hogy 1-nél alacsonyabb érték csak 1 esetben szerepel. Az 1-nél magasabb értékek arra utalnak, hogy a MISH adatok többször tartalmaztak a meghatározott tartományban adatot, amikor a radar adatok nem estek bele az adott tartományba. A színop és a radar adatok esetén találunk 1-nél kisebb, illetve nagyobb értékeket is vegyesen.

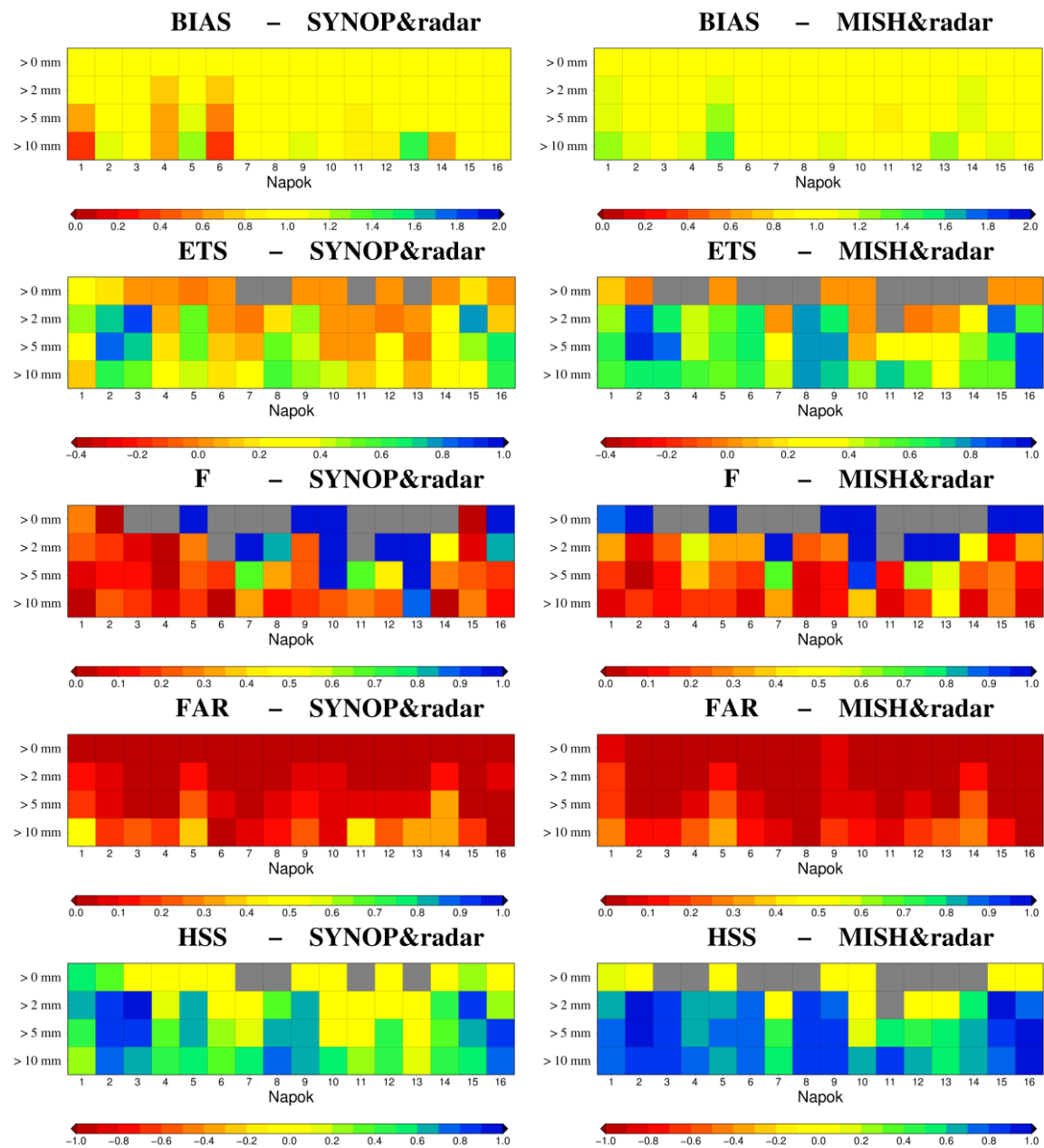
Az ETS indexnél az optimálissal pontosan ellentétes ábrát láthatunk. Ennek oka, hogy a képletben található a_r (random találat) értéke nagyon magas volt a kisebb csapadékmennyiségek esetén. Az oszlopokon belül lefelé haladva, egyre közelebb kerül az index értéke az optimális 1-hez, de sehol nem veszi fel ezt az értéket. A szürke kockák azon esetekben jelentek meg, amikor az index képletében a nevező értéke pontosan 0-val volt egyenlő.

Az F index ábrája is eltér az optimálistól. A 10 mm feletti tartományban találhatóak az optimális értékek. Az első sorban található 0-s értékek úgy jöttek ki, hogy egyrészt az érintett napok esetén nem volt olyan rácsponthoz, amely a MISH, illetve billenőedényes és a radar adatok alapján egyaránt csapadékmentes. Másrészt nem volt olyan eset, hogy az állomási adatok tartalmaztak a radar viszont nem tartalmazott csapadékot. Így a b és a d értéke is nullával volt egyenlő, ennek következtében az index képletének a számlálójában, illetve nevezőjében a két szám összegeként 0 szerepelt.

A FAR indexnél megfigyelhető, hogy az egyre nagyobb csapadéértékek felé, egyre jobban eltérnek az index értékei az optimális 0-s értéktől. Megfigyelhető, hogy a MISH és radar adatok között számított FAR index értékek közelebb vannak az optimálishoz, mint a radar és a billenőedényes adatok közötti FAR indexek.

A radar és MISH adatok között számított HSS index értékénél több olyan napot láthatunk, ahol az ideális 1-hez közeli érték van. Mind a két esetben az egyre nagyobb csapadéktartományok felé haladva egyre közelebb kerülünk az ideális értékhez. Ennek az oka, hogy a kisebb csapadékok esetén a számláló értéke gyakran 0. A szürke kockák itt

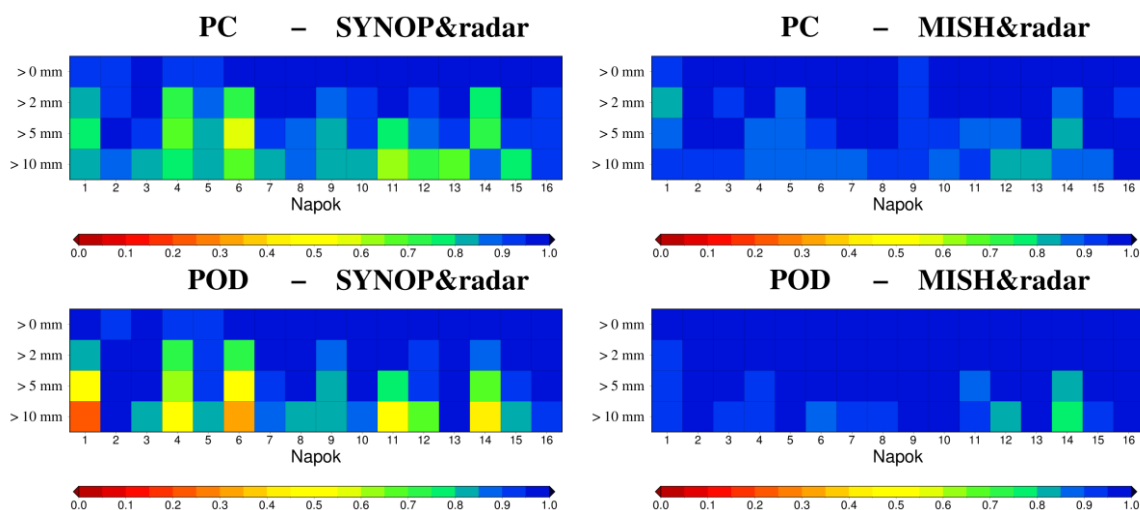
is azokban az esetekben jelentek meg, amikor a nevezőben található tagok összege pontosan 0-val volt egyenlő.



21. ábra: Az interpolált csapadékmérések összehasonlítása radarból származtatott csapadékmennyiségekkel, verifikációs indexekkel, a vizsgált napokra és csapadékmennyiség intervallumokra.

A PC index esetén is a legtöbb érték az ideálshoz, azaz 1-hez közeli értéket vett fel. Az index azt az arányt írja le, hogy az összehasonlított adatok közül, hány esetben van, hogy mind a két adatsor adatai beleesnek az adott tartományba, illetve egyik adatsor adatai sem esnek bele az adott tartományba. Az 1-től való eltérés azt fejezi ki, hogy van olyan hely, ahol a két éppen vizsgált adatsor közül az egyik beleesik, míg a másik nem esik bele az adott tartományba.

A POD index ábrái esetén jól látható a szabályosság, ahogyan az egyre nagyobb mennyiségű csapadékok felé haladva egyre rosszabb a POD index értéke. Az 1-től való eltérés abból adódik, hogy vannak olyan helyek, ahol a radar adatok beleesnek az adott tartományba, miközben ugyanezen a helyen a másik adatsor adatai nem.

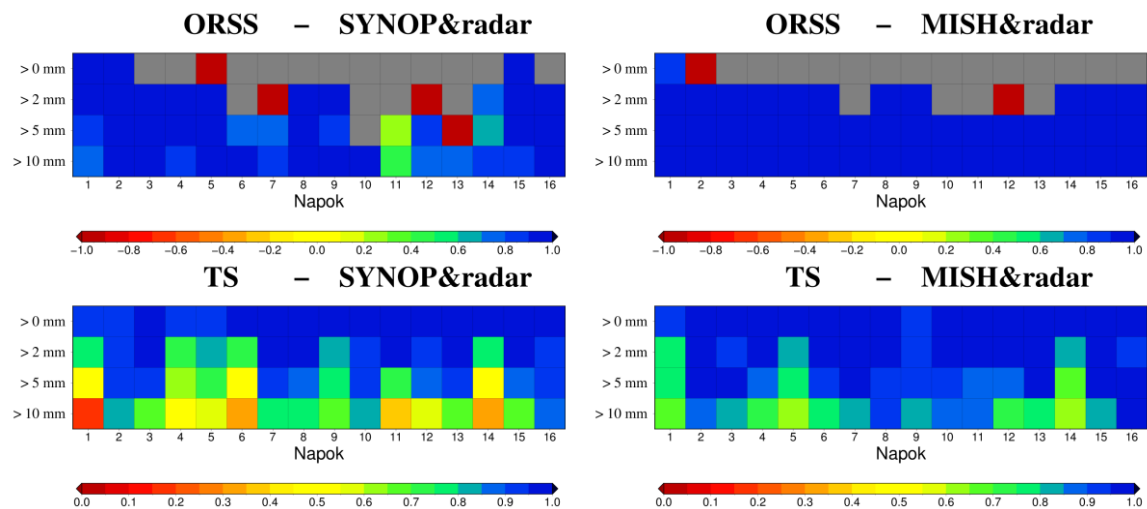


22. ábra: Az interpolált csapadékmérések összehasonlítása radarból származtatott csapadékmennyiségekkel, verifikációs indexekkel, a vizsgált napokra és csapadékmennyiség intervallumokra.

A MISH és a radar adatok között számított ORSS index nagyon egyhangúan az 1-et, vagy ahhoz közeli értéket vett fel, egy kivételével. A billenőedényes és a radar adatok közötti ORSS értékek már nem ennyire egyhangúak, jobban szétszórt értékekkel találkozunk. A szürke kockák az index képletében a hányados 0-val egyenlő értékének a következményei. A legrosszabb egyezést a 11. nap mutatja, amikor a nyugati határvidék menték hullott jelentős mennyiségű csapadék, melynek nagy része nem érintette a billenőedényes csapadékmérőket.

A TS index esetén jól látható, hogy az első sorban, mind a 2 esetben több nap esetén is az ideális 1 értéket láthatjuk. A billenőedényes és a radar adatok között számított TS index esetén megfigyelhetők a 10 mm feletti tartományban 0-hoz közeli, tehát elég

rossz értékek. A radar és a MISH adatok közötti index esetén a legalacsonyabb értékek is 0,5 körül alakultak.



23. ábra: Az interpolált csapadékmérések összehasonlítása radarból származtatott csapadékmennyiségekkel, verifikációs indexekkel, a vizsgált napokra és csapadékmennyiség intervallumokra.

Általánosságban szembevetendő az indexek értékeinek vizsgálatakor, hogy azokon a napokon, amelyeken záporok és zivatarok voltak a jellemzők (1., 5., 14. nap), a nagyobb csapadékintervallumok felé haladva az indexek értékei az átlagosnál jobban eltérnek az optimális értéktől. A verifikációs indexek mind a két vizsgált esetben (radar vs. MISH és radar vs. SYNOP) azokon a napokon vették fel az optimálisához legközelebbi értékeket, amikor csendes és eső formájában hullott csapadék, és zápor, zivatar nem alakult ki az ország területén (3., 8., 10., 16. nap).

Az indexek értékeit a korrelációk és négyzetes hibák értékeivel összevetve elmondható, hogy ha a korreláció értéke egy adott napra alacsony értéket vett fel, akkor a verifikációs indexek értékei is jobban eltértek az optimális értéktől, mint a többi nap esetén. Az indexek romlását általában abban az esetben is megfigyelhetjük, hogyha a korreláció értéke nem kimagaslóan alacsony, viszont az adott napra számított négyzetes hiba értéke magas.

7. Összefoglalás

A szakdolgozatban különböző módszerekkel kapott csapadékmezők összehasonlítását végeztük verifikációs statisztikák segítségével. Munkánk során a 16 vizsgált napra lebontva három csapadékmezőt hasonlítottunk össze: egy radar általi méréseket tartalmazót, egy MISH rendszer által készítettet és az automatikus billenőedényes hálózat által mért adatokból létrehozottat. A számítások nagy részét fortran90-es programnyelvben végeztük. Számoltunk korrelációkat, négyzetes hibákat, illetve a kontingencia táblázat segítségével kategorikus verifikációs indexek értékeit. A vizsgált napok időjárási helyzetét elemezve próbáltunk konklúziót levonni a különböző csapadékmérési módszerek tulajdonságairól, pontosságukról.

Első lépésként interpolálnunk kellett a különböző adatmezőket. Az első esetben az állomások koordinátaira inverz disztáns súlyozás módszerével, második esetben egy szabályos rácshálóra kriging módszerrel végeztük az interpolációkat. Az interpoláció kulcsfontosságú feladat volt a számításaink során, hiszen e nélkül nem tudtuk volna összehasonlítani a vizsgált háromféle csapadékmezőt, hiszen mind a három mező esetén különböző pontokban voltak az adatok megadva. Az interpolált adatmezőket térképeken is megjelenítettük, illetve az adatmezők eltérését ábrázoló térképeket is készítettünk az eredmények könnyebb átláthatósága érdekében.

Az interpolálást követően kezdtük el a különböző statisztikák kiszámítását. Az eredményeket általában diagramokon ábráztuk a könnyebb áttekinthetőségért.

Az eredményeink alapján egyértelműen látható volt, hogy a MISH és a radar adatok sokkal jobban egyeznek, mint a radar és a szinoptikus állomások adatai, hiszen mind két adatbázis magas térbeli felbontással és nagyszámú adatforrással rendelkezik. A szabályos rácstra történő interpolálás esetén általában 0,3–0,6-del magasabb korreláció és alacsonyabb négyzetes hiba értékeket figyelhettünk meg. A mezők közötti eltérések gyakran a csapadékszónák területi eltolódásaiból adódtak, és nem csak mennyiségi eltérésekből. Általában megfigyelhető volt, hogy csendes esőzések esetén a radar által mért adatok alulmaradnak a billenőedényes hálózat méréseitől, illetve záporok és zivatarok esetén pont fordított a helyzet, a radar adatok általában felülbecslik a szinoptikus állomásokon mért adatokat. Ennek oka a radar egyenletben megadott paraméterek és a csapadékelemek tényleges mérete közötti eltérésből adódik. A nyári félévben a paraméterek nagy keresztmetszetű, vegyes halmazállapotú csapadékelemekre van

optimalizálva. Nyáron, a zivatarfelhőkben előforduló nagy jégszemek magas reflektivitást okoznak, amely azonban nem tükrözi a lehulló csapadék mennyiségét. Ha a nyári félévben rétegfelhőből származik a csapadék, a kis keresztmetszetű csapadékelemek kisebb reflektivitással látszódnak, így az átszámított csapadék-intenzitás is kisebb lesz. Ezen kívül rétegfelhők esetén, különösen, ha alacsony felhőalappal rendelkeznek, a radar által mért reflektivitásban a Föld görbülete miatt a felhőelemek sűrűsége alul becsült.

A kategorikus verifikációs statisztikák esetén négy különböző csapadékindervallumra végeztük el indexek értékeinek a kiszámítását és ábrázolását. A legtöbb index esetében megfigyelhető volt az a tendencia, hogy az egyre nagyobb csapadékösszegek felé haladva az index értéke egyre jobban eltér az ideális értéktől, ez alól kivételt képeztek az ETS és az F index értékei. Ennél a résznél is megfigyelhető volt a radar és a MISH adatok viszonylag jó egyezősége, hiszen a számítások esetén erre a két adatsorra nézett indexek gyakrabban vették fel az ideális értéket, mint a radar és a billenőedényes adatok közt számított indexek.

8. Köszönetnyilvánítás

Elsősorban köszönetet szeretnék mondani témavezetőmnek dr. Breuer Hajnalkának, hogy a kezdeti lépésektől szakdolgozatom befejezéséig támogatta és figyelemmel kísérte munkámat. Nem tudok elég hálás lenni azért a rengeteg segítségért, amit az elmúlt két év során kaptam tőle. Bármilyen problémám merült fel, hozzá bizalommal fordulhattam. Az ő segítő munkája nélkül ez a szakdolgozat sem jöhetett volna létre.

Köszönöm az Országos Meteorológiai Szolgálatnak, hogy szakdolgozatomhoz a felhasznált adatokat biztosította.

Ezen kívül szeretném megköszönni szüleimnek, páromnak és a barátaimnak a kitartó támogatást, és hogy türelemmel várták munkám elkészülését.

9. Irodalomjegyzék

- Breuer, H., 2012: A talaj hidrofizikai tulajdonságainak hatása a konvektív csapadéokra és a vízmérleg egyes összetevőire: meteorológiai és klimatológiai vizsgálatok Magyarországon, Eötvös Loránd Tudományegyetem, Budapest, (témavezető: Dr. habil. Ács Ferenc, Dr. Horváth Ákos), 114 p.
- Csima, G., Ghelli, A., 2008: On the use of the intensity-scale verification technique to assess operational precipitation forecasts, *Meteorological Applications*, 15, 145-154.
- Davis, B.M., 1987: Uses and abuses of cross-validation in geostatistics. *Mathematical Geology*, 19, 241–248.
- Dévényi, D., Gulyás, O., 1988: Matematikai módszerek a meteorológiában, Tankönyvkiadó, Budapest, 443 p.
- Ebert, E.E., Wilson, L., Weigel, A., Mittermaier, M., Nurmi, P., Gill, P., Göber, M., Joslyn, S., Brown B., Fowler T., Watkins A., 2013: Progress and challenges in forecast verification, *Meteorological Applications*, 20, 130-139.
- Ebert, E.E., McBride, J.L., 1997: Methods for verifying quantitative precipitation forecast: application to the BMRC LAPS model 24-hour precipitation forecast. BMRC Techniques development report No. 2., Melbourne, Australia, 87 p.
- Ebert, E.E., McBride, J.L., 2000: Verification of precipitation in weather systems: determination of systematic errors, *Journal of Hydrology*, 239, 179-202.
- Habib, E., Haile, A.T., Tian, Y., Joyce, R..J., 2012: Evaluation of the High-Resolution CMORPH Satellite Rainfall Product Using Dense Rain Gauge Observations and Radar-Based Estimates, *Journal of Hydrometeorology*, 13, 1784-1798.
- Hengl, T., 2007: A Practical Guide to Geostatistical Mapping of Environmental Variables, EUR 22904 EN Scientific and Technical Research series, Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg, 143 p.
- Kottek, M., Rubel, F., 2007: Global daily precipitation field from bias-corrected rain gauge and satellite observations. Part I: Design and Development, *Meteorologische Zeitschrift*, 16(5), 525–539.
- Krige, D.G., 1962: Statistical applications in mine valuation. *J. Inst. Min. Survey S. Afr.*, 12, 45–84; 12, 95–13.
- Marshall, J.S., Palmer, W., 1948: The distribution of raindrops with size, *Journal of Meteorology*, 5, 165–166.
- Nurmi, P., 2003: Recommendations on the verification of local weather forecasts. ECMWF Technical Memorandum, 430, 18 p.
- Řezáčová, D., Szintai, B., Jakubiak, B., Yano, J.I., Turner, S., 2016: Verification of high resolution precipitation forecast by radar-based data, In *Parameterization of atmospheric convection : Current issues and new theories*, London, Imperial College Press, 173–214.
- Rossa, A., Bruen, M., Frühwald, D., Macpherson, B., Holleman, I., Michelson, D., Michaelides, S., 2005: Use of Radar Observations in Hydrological and NWP Models, COST 717 Final Report, 285 p.
- Rubel, F., 1996: PIDCAP- Quick Look Precipitation Atlas, Österreichische Beiträge zu Meteorologie und Geophysik, Wien, 97 p.

Rubel, F., Rudolf, B., 2001: Global daily precipitation estimates proved over the European Alps, *Meteorologische Zeitschrift*, 10(5), 407–418.

Shephard, D., 1968: A two-dimensional interpolation function for irregularly spaced data, *Proceedings of the 1968 ACM National Conference*, 517–524.

Skomorowski, P., Rubel, F., Rudolf, B., 2000: Verification of GPCP-1DD Global Satellite Precipitation Products Using MAP Surface Observations, *Physics and Chemistry of the Earth (B)*, 26, 403–409.

Szentimrey, T., Bihari, Z., *Meteorológiai interpolációs rendszer (MISH) éghajlati információk felhasználásával*, III. Magyar Földrajzi Konferencia Tudományos közleményei, Budapest, 2006. szeptember 6-7, ISBN: 963 9545 12 0, 10 p.

Tóthné, P.L., 2011: *A kutatómódszertan matematikai alapjai*, Eszterházy Károly Főiskola nyomdája, Eger, 134 p.

Wilson, C., 2001: COST717- Working Group 2 Working Area 2: Approaches to verification: WP2.1 Review of current methods and tools for verification of numerical forecasts of precipitation, 14 p.

Woodcock, F., 1976: The Evaluation of Yes/No Forecasts for Scientific and Administrative Purposes, *Monthly Weather Review*, 104(10), 1209–1214.

Yoon, S.S., Phuong, A.T., Bae, D.H., 2012: Quantitative Comparison of the Spatial Distribution of radar and Gauge Rainfall Data, *Journal of Hydrometeorology*, 13, 1939–1953.

Internetes hivatkozások:

http://www.met.hu/idojaras/aktualis_idojaras/napijelentes/