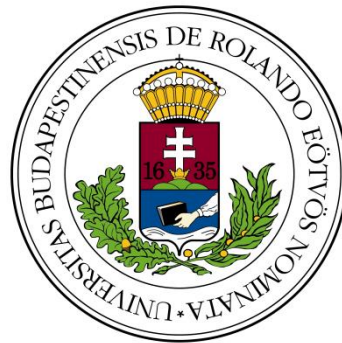


Eötvös Loránd Tudományegyetem  
Földrajz- és Földtudományi Intézet  
Meteorológiai Tanszék

# **Mediterrán ciklonok szinoptikus-klimatológiai vizsgálata**

DIPLOMAMUNKA



Készítette:

**Sebestyén Anna**

Meteorológus mesterszak,  
Időjárás-előrejelző szakirány

Témavezető:

**Fodor Zoltán**

Országos Meteorológiai Szolgálat

Tanszéki konzulens:

**Soósné dr. Dezső Zsuzsanna**

ELTE TTK, Meteorológiai Tanszék

Budapest, 2016

# Tartalomjegyzék

1. Bevezetés .....	3
2. Szakirodalmi áttekintés.....	5
2.1. A mediterrán ciklonok általános jellemzői .....	5
2.2. A mediterrán ciklonok keletkezése .....	6
2.2.1. A Genovai-öbölben képződött ciklonok .....	7
2.2.2. A Szahara térségében képződött ciklonok .....	9
2.2.3. Az Ibériai-félsziget területén képződött ciklonok .....	9
2.2.4. Az Égei-tenger és a Fekete-tenger térségében képződött ciklonok.....	10
2.2.5. Ciprus és a Közel-Kelet térségében képződött ciklonok.....	10
2.3. A hóvastagság előrejelzése .....	11
3. Adatok .....	13
3.1. A tengerfelszín hőmérséklete.....	13
3.2. Geopotenciális magasság .....	14
3.3. Hóvastagság .....	14
3.4. Specifikus nedvesség .....	15
3.5. A 20. századi reanalízis minősége .....	16
4. A Földközi-tenger felszíni hőmérséklete és a mediterrán ciklonok gyakorisága közötti kapcsolat vizsgálata .....	18
4.1. Évi SST átlagok vizsgálata .....	18
4.2. Havi SST átlagok és a mediterrán ciklonok gyakoriságának vizsgálata.....	20
4.2.1. Teljes medence.....	20
4.2.2. Nyugati medence.....	23
4.2.3. Középső medence.....	25
4.2.4. A Genovai-öböl tartalmazó tértartomány.....	28
4.3. Évszakos SST átlagok és a mediterrán ciklonok gyakoriságának vizsgálata .....	31
4.4. Az SST és a mediterrán ciklonok gyakoriságának több évtizedes időskálán vizsgált kapcsolata.....	32
5. A specifikus nedvesség és a hóvastagság közötti kapcsolat vizsgálata.....	38
6. Összefoglalás .....	46
Köszönetnyilvánítás.....	48
Irodalomjegyzék .....	49
Függelék .....	51

# 1. Bevezetés

A Földközi-tenger felett kialakuló mediterrán ciklonok hazánk meghatározó időjárási képződményei. Az ország egyes régióinak számottevő csapadékbevételt biztosítanak, délnyugati tájainkon ősszel másodlagos csapadékmaximumot eredményeznek, és a téli félévben jelentős mennyiségű havat okozhatnak. E képződmények leggyakrabban úgy jönnek létre, hogy az Észak-Európában felhalmozódott hideg levegő egy Nyugat-Európában vagy az Atlanti-óceán keleti területén elhelyezkedő magassági gerinc keleti oldalán dél felé indul, majd a Földközi-tenger medencéjét elérve keveredik az ottani meleg, nedves légtömeggel. Előfordulhat olyan eset is, hogy az észak-atlanti térségből származó alacsony nyomású légörvények a Földközi-tengert megközelítve mediterrán ciklont generálnak. A mediterrán ciklonok által okozott időjárás, és télen elsősorban a várható hó mennyiségének megfelelő prognosztizálása az egyik legnehezebb feladat az operatív előrejelzői gyakorlatban, ugyanakkor ezek az időjárási képződmények télen a nagy havazások mellett hóviharakat is eredményezhetnek hazánkban, komoly hatást gyakorolva a mindennapi életünkre. Ezek a légköri képződmények nemcsak az előrejelzői munka során állnak a kiemelt figyelem központjában, de fontos szereplői a kutatásoknak az éghajlatváltozás vizsgálata és modellezése során.

Főként előrejelzői szakmai körön belül merült fel az utóbbi évek során az a kérdés, hogy vajon a Földközi-tenger felszíni hőmérséklete (SST<sup>1</sup>) hatással lehet-e a mediterrán ciklonok gyakoriságára? A késő őszi, kora téli átlagosnál melegebb tengervíz hőmérsékletből lehet-e arra következtetni, hogy télen több mediterrán ciklon fordulhat elő? Annak érdekében, hogy választ adhassunk a felmerült kérdésekre, reanalízis adatok segítségével több, mint száz évre elemezzük a mediterrán ciklonok és a Földközi-tenger felszíni hőmérséklete között esetlegesen fennálló összefüggéseket. Hazánk területét a Földközi-tenger nyugati felében, különösen a Genovai-öbölben keletkezett ciklonok érintik, ezáltal e munka nem tér ki a tenger keleti részének tanulmányozására. A vizsgálatok középpontjában a téli félév áll, amely időszakban a térségben a genovai légörvények kialakulása a legmeghatározóbb (*Trigo et. al.*, 2002).

---

<sup>1</sup> SST: Sea surface temperature – Tengerfelszín hőmérséklet

Egy másik fontos, a mediterrán ciklonok előrejelezhetőségével kapcsolatban felmerült kérdés, amelyre szeretnénk választ adni, hogy van-e bármilyen olyan egyszerű módszer, könnyen előrejelezhető meteorológiai változó, amely segítségével javítható, pontosabban meghatározható a mediterrán ciklonok alkalmával lehulló hó vastagsága, a várható hó mennyisége. A kérdés felvetődése érthető, hiszen a hidrosztatikus modellek alapvetően csapadékmennyiséget, illetve hó-víz egyenértéket jeleznek előre, amely alapján kell az előrejelzőnek egy becslést adnia a várható hóvastagságra, figyelembe véve a felszínközeli hőmérsékletet, a talaj állapotát, az alsó rétegek telítettségét, az alsó troposzférikus réteg hőmérsékleti rétegződését, a domborzati viszonyokat, a várható szélsőségeket. Mindezek mellett ugyanakkor a nem-hidrosztatikus modellekhez léteznek olyan fizikai parametrizációs csomagok, amelyek alapján lehet hóvastagságot számítani, azonban ezek az előrejelzési eredmények nagymértékben függenek a meghajtó modelltől, a modell beállításaitól és szisztematikus hibáitól, mint pl. a felszínközeli hőmérséklet előrejelzésének szisztematikus felül-, vagy alulbecslése. Ezért tettük fel azt a kérdést, hogy a mediterrán ciklonok pusztán nedvességi karakterisztikáit tekintve, tudunk-e bármilyen becslést adni előzetesen a várható maximális hóvastagságra vonatkozóan.

A második fejezetben bemutatásra kerül a témával kapcsolatos külföldi és hazai szakirodalom, így a mediterrán légörvények legfontosabb tulajdonságai és keletkezésük, valamint a maximális hóvastagság előrejelzésével kapcsolatos néhány módszer. Ezután a harmadik fejezetben a felhasznált adatok és azok minőségének ismertetése következik, majd a negyedik és ötödik fejezetben prezentáljuk vizsgálataink eredményeit. Végül a hatodik fejezetben összefoglaljuk az elemzések során elért eredményeket és az ebből levont következtetéseket.

## 2. Szakirodalmi áttekintés

A mediterrán ciklonok leggyakrabban úgy jönnek létre, hogy az Észak-Európában felhalmozódott hideg levegő egy Nyugat-Európában vagy az Atlanti-óceán keleti területén elhelyezkedő magassági gerinc keleti oldalán dél felé indul, majd a Földközi-tenger medencéjét elérve keveredik az ottani meleg, nedves légtömeggel. Előfordulhat olyan eset is, hogy az észak-atlanti térségből származó alacsony nyomású légörvények a Földközi-tengert megközelítve mediterrán ciklont generálnak. Az észak-afrikai eredetű ciklonok által létrehozott mediterrán ciklonok ritkán fordulnak elő (*Apostol*, 2008). A Földközi-tenger rendkívül tagolt partvidékének köszönhetően a ciklogenezis meghatározott területeken történik, amelyek közül hazánk időjárását leginkább a Genovai-öbölben keletkezett légörvények befolyásolhatják. *Kelemen et al.* (2015) vizsgálatainak eredményei szerint évente megközelítőleg 30 mediterrán ciklon útvonala érinti Magyarország térségét, a legtöbb tavasszal fordul elő.

### 2.1. A mediterrán ciklonok általános jellemzői

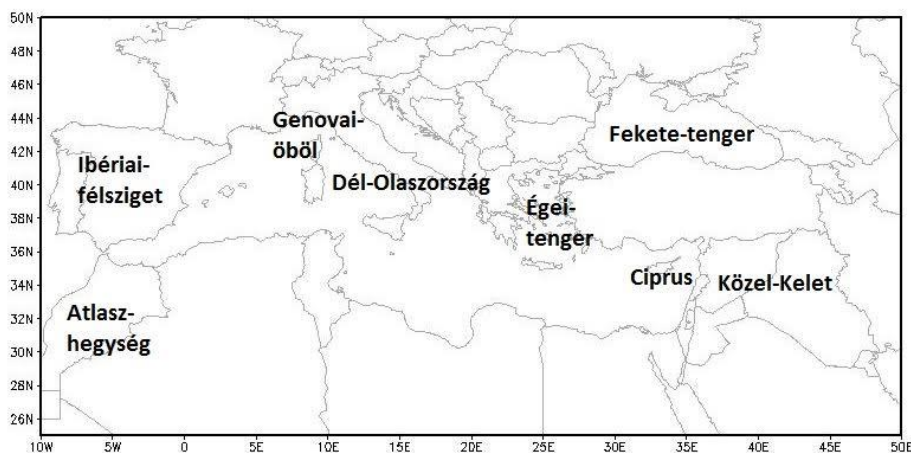
A földközi-tengeri ciklonokat rövid életű képződményeknek tekintjük, mivel átlagos élethosszuk 28 óra, amely jelentősen elmarad az Atlanti-óceán felett előforduló mérsékelt övi ciklonok 3-3,5 napos élettartamától. Horizontális kiterjedésük sem közelíti meg az Atlanti-óceánon uralkodó légörvények nagyságát, hiszen a mediterrán ciklonok több mint 65%-ának sugara 550 km vagy annál kisebb, míg az óceáni képződmények 1000-2000 km-es rádiusszal is rendelkezhetnek. A Földközi-tenger nyugati medencéjéből származó ciklonok általában nagyobb kiterjedésűek és erősebbek, mint a keleti medencében képződő társaik. A mediterrán légörvények a mérsékelt övi ciklonoknál kevésbé mély rendszerek, középpontjukban a légnyomás évi átlagos értéke 1012 hPa, ám ritka esetben előfordulnak 990 hPa-nál alacsonyabb nyomású képződmények is. Jól kimélyülő – 300 hPa-os nyomási szintet elérő – földközi-tengeri ciklonok télen alakulnak ki, nyáron többnyire sekély – 850 hPa-os szintig terjedő – légörvények jellemzők. A mediterrán ciklonok 6 óránként többnyire 1-2 hPa-t mélyülnek, ettől nagyobb mértékű nyomássüllyedés leggyakrabban télen és tavasszal, kevésbé határozott mélyülés pedig

nyáron fordul elő. Néhány alkalommal megfigyeltek 6 óra alatt 10 hPa-t elérő nyomásváltozást is (Trigo *et al.*, 1999; Lionello *et al.*, 2006).

## 2.2. A mediterrán ciklonok keletkezése

A Földközi-tenger medencéje többnyire zártnak tekinthető, mivel csak a Gibraltári-szoroson keresztül érintkezik az óceánnal, amelynek köszönhetően képes biztosítani a ciklonok keletkezéséhez szükséges nedvességet és energiát. A partvidék változatos domborzati jellege, a hegyvidékek áramlási viszonyokra történő hatásai és a számtalan beltenger és öböl következtében a ciklogenezis meghatározott területeken történik. Ezek közül a képződés szempontjából legaktívabb térségek: a Genovai-öböl, az Ibériai-félsziget, Dél-Olaszország, Észak-Afrika, az Égei-tenger, a Fekete-tenger, Ciprus és a Közel-Kelet (1. ábra). Hasonló következtetésekre jutottak vizsgálataikban Kelemen *et al.* (2012) is, aminek során az 1981-2010 közötti időszakban kétféle reanalízis adatsor segítségével elemezték a földközi-tengeri légörvények legmeghatározóbb előfordulási helyeit.

A ciklonok megjelenésének éves menete figyelhető meg, aminek maximuma a téli félévben található, illetve az egyes hónapokon belül is nagy idő- és térbeli változékonyság jellemző (Alpert *et al.*, 1990a, Lionello *et al.*, 2006). A legaktívabb ciklogenezis központokban megjelenő mediterrán ciklonok leggyakoribb előfordulási időszakait és sugaruk átlagos nagyságát az 1. táblázat tartalmazza.



1. ábra – A mediterrán ciklonok leggyakoribb keletkezési helyei

**1. táblázat – A Földközi-tenger legaktívabb ciklogenezis központjai, a ciklonok leggyakoribb előfordulási időszakaival és átlagos sugárméreteivel (Lionello et al., 2006)**

Terület	Évszakos előfordulás	Sugár (km)
Szahara	Tavaszi, nyári	530-590
Genovai-öböl	Egész évben	380-530
Dél-Olaszország	Tél	520
Ciprus	Tavaszi, nyári	330-460
Közép-Kelet	Tavaszi, nyári	320-460
Égei-tenger	Tél, tavasz	500
Fekete-tenger	Egész évben	380-400
Ibériai-félsziget	Nyári	410

### 2.2.1. A Genovai-öbölben képződött ciklonok

A Genovai-öbölben az év bármely szakaszában megfigyelhető ciklonok képződése, de a novembertől februárig tartó időszakban e térség a Földközi-tenger legaktívabb ciklogenezis központja (*Trigo et al.*, 2002). *Reiter* (1975) szerint ennek oka két folyamat együttes megnyilvánulására vezethető vissza. A téli félévben a tenger jóval melegebb a szárazföldnél, amely biztosítja a troposzférában a szenzibilis és látens hőt. Ha a meleg tengerfelszín fölé hideg légtömeg érkezik, a troposféra alacsony szintjén pozitív örvényesség generálódik. Emellett a környező Alpok hegység által okozott orográfiai hatás is hozzájárul az alacsony nyomású légörvények kialakulásához. Ugyanakkor *Alpert et al.* (1990a) vizsgálataik során arra az eredményre jutottak, hogy a Földközi-tenger keleti medencéjében a tengervíz felszíni hőmérséklete sokkal nagyobb szerepet játszik a mediterrán ciklonok kialakulásában, mint a nyugati felében.

A Genovai-öbölben a mediterrán ciklonok kialakulásáért az úgynevezett lee oldali ciklogenezis felelős. A felső troposzférában egy észak, északnyugat felől érkező teknő közelíti meg a hegységet, alacsony szinten hidegadvekiót eredményezve. A poláris eredetű hideg levegő áramlását a hegyvonulatok blokkolják, egy része ugyan átbukik a hegyláncon, de nagyobb hányada körüláramlik az Alpokon, míg a magasban a teknő akadály nélkül halad keresztül a hegységen. Ekkor a tömegegyensúly felbomlik, mivel a magasban közeledő teknő okozta nyomásesést többé nem ellensúlyozza hidegadvekió a talajon, így a hegység szélárnyékos oldalán nyomáscsökkenés figyelhető meg. A nyomáscsökkenés mellett egy másodlagos hatást is figyelembe kell venni. A kvázi-

geosztrófia egyensúlya felbomlik, ami az Alpok lee oldalán emelkedő mozgást eredményez, és ott örvény keletkezik. Tehát a Genovai-öbölben kialakuló mediterrán ciklonok keletkezésében fontos szerepet játszik az orográfia, amely az Alpok vonulatainak köszönhető. E hatás nélkül a ciklogenezis a térségben igen gyenge lenne, vagy akár nem is létezne.

A folyamat kimenetelét nagymértékben meghatározza az Alpokat megközelítő légtömeg irányultsága, a hideg légtömeg vertikális kiterjedése, az advekción mértéke, a teknőben uralkodó felső-troposzférikus potenciális örvényességi maximum, a Földközi-tenger térségéből származó nedvesség, illetve az Alpoktól délre elhelyezkedő légtömeg állapota. E tényezőknek köszönhetően nagyon eltérő eredménnyel zárulhat egy-egy ciklonképződési folyamat (Taffermer, 1990; Baša, 2007).

A lee oldali ciklogenezis esetében is igaz, hogy adiabatikus, súrlódásmentes áramlásban az izentróp potenciális örvényesség az időben állandó:

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

ahol  $PV$  a potenciális örvényesség,  $g$  a nehézségi gyorsulás,  $\zeta$  a relatív örvényesség,  $f$  a planetáris örvényesség,  $\frac{\partial \theta}{\partial p}$  a statikus stabilitás. Tehát a potenciális örvényesség arányos a statikus stabilitással és az abszolút örvényességgel. Mértékegysége a  $PVU^2$  ( $1 PVU = 10^{-6} \text{ Km}^2 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-1}$ ). A potenciális örvényesség megmaradása jelentősen meghatározza a nagyskálájú mozgásokat. Képzeljünk el egy nyugati áramlást, amelyet mozgásában egy hegyvonulat akadályoz, amelyet elérve relatív örvényességének értéke 0. Adiabatikus áramlásról lévén szó, a légrések a  $\theta_0$  és  $\theta_0 + \delta \theta_0$  potenciális hőmérsékletű felületek közt mozognak és a hegységen áthaladva e felületek közt maradnak. Ahogy az áramlás eléri a hegységet, az izentróp felületek által határolt réteg vastagsága nő, ugyanakkor a statikus stabilitás csökken. A potenciális örvényesség megmaradásához az abszolút örvényességnek növekednie kell, ezért a levegő ciklonális görbülettel északi irányba mozog, azaz nő a relatív és a planetáris örvényesség. A hegyen átkelve a levegő vastagsága csökken, miközben nő a légrézsz horizontális kiterjedése. A potenciális örvényesség

---

<sup>2</sup> PVU: Potential Vorticity Unit – Potenciális Örvényességi Egység



megmaradásának értelmében az abszolút örvényesség csökkenése szükséges. Ennek következtében a levegő anticiklonális görbületűvé válik és dél felé helyeződik tovább, így a relatív és planetáris örvényesség is csökken. A hegygerinc felett éri el a levegő a legkisebb vastagságot, abszolút örvényessége itt adódik a legkisebb értékűnek. Ezen áthaladva a levegő leszálló mozgást végez, vastagsága folyamatosan nő, amely növekvő abszolút örvényességet eredményez. Így a hegység közepét elérő légréteg az eredeti pozíciójánál délebbre található, és dél felé mozog ciklonális görbülettel, ellensúlyozva a planetáris örvényesség csökkenését. A hegy lábát elérve a levegő visszanyeri kezdeti vastagságát, ugyanakkor indulási helyzeténél jóval délebbre helyezkedik el. Ezáltal planetáris örvényessége kisebb, amelyet a ciklonális görbületből adódó pozitív relatív örvényesség ellensúlyoz (Holton, 2004).

### **2.2.2. A Szahara térségében képződött ciklonok**

A genovai ciklonokhoz hasonlóan, a Szahara területéről származó mediterrán légörvények is lee oldali ciklogenezissel keletkeznek az Atlasz-hegység déli árnyékában. Leggyakrabban tavasszal figyelhetők meg, ugyanis ekkor az Észak-Afrika térségében jellemző meridionális hőmérsékleti gradiens elősegíti kialakulásukat (Egger *et al.*, 1995; Trigo *et al.*, 2002). A szaharai ciklonok többnyire gyors (10 m/s-ot meghaladó) sebességgel keleti irányban, Afrika északi partjai mentén haladnak végig, és a Földközi-tenger délkeleti részét elérve útvonaluk észak felé folytatódik. Rendszerint erős melegfronttal rendelkeznek, míg hidegfrontjuk általában sekély. Gyakran társul hozzájuk erős szél, amellyel a sivatagi homokot messzi tájakra képesek elszállítani (Alpert és Ziv, 1989).

### **2.2.3. Az Ibériai-félsziget területén képződött ciklonok**

A késő tavaszi, nyári időszakban a Földközi-tenger gyakori képződményei az Ibériai-félsziget térségében keletkezett mediterrán ciklonok. Kialakulásukban meghatározó a szárazföld és a tenger közötti hőmérséklet-különbség (Trigo *et al.*, 1999). A tavasszal és nyáron képződött földközi-tengeri légörvények keletkezésében és fejlődésében fontos szerepet játszik a termikus kényszer, ezáltal a térségben keletkezett ciklonok a hőmérséklet

napi menetét követve a késő délutáni órákban a legerősebbek, míg hajnalban gyengülésük tapasztalható (*Trigo et al.*, 2002).

#### **2.2.4. Az Égei-tenger és a Fekete-tenger térségében képződött ciklonok**

A téli és tavaszi időszak egyik leggyakoribb ciklogenezis központja az Égei-tenger vidékén található. Az itt keletkező ciklonok kialakulásának lehetséges módja, hogy a meleg tengerfelszínnek köszönhetően a térséget alacsony szinten gyenge stabilitás jellemzi, miközben egy magassági teknő közelíti meg a területet. A ciklonok képződését segíti a Balkán-hegység okozta orográfiai hatás, ugyanakkor jelentősége nagymértékben elmarad az Alpok ciklogenezist befolyásoló szerepétől (*Trigo et al.*, 2002).

Az Égei-tenger térségében megfigyelthez hasonló módon alakulnak ki mediterrán ciklonok a Fekete-tenger környezetében, ugyanakkor utóbbi területen gyakoribb a ciklogenezis. E térségben a teljes év során jellemző az alacsony nyomású légörvények képződése, leggyakrabban júliusban és augusztusban fordulnak elő, ekkor átlagosan heti egy mediterrán ciklon keletkezik (*Trigo et al.*, 1999, 2002).

#### **2.2.5. Ciprus és a Közel-Kelet térségében képződött ciklonok**

Ciprus környezetében a mediterrán ciklonok többnyire a Taurus-hegység lee oldalán keletkeznek. Leggyakrabban tavasszal és nyáron fordulnak elő, utóbbi oka a délnyugat-ázsiai monszun következtében, a Perzsa-öbölben megerősödő magassági teknő, amely elősegíti a ciklogenezist (*Maheras et al.*, 2000; *Lionello et al.*, 2006).

A délnyugat-ázsiai monszun kiterjedése meghatározó a Közel-Kelet térségében is, ahol különösen Szíria és Irak területén jellemző az alacsony nyomású légköri képződmények kialakulása. Ugyanakkor e jelenség ciklogenezist elősegítő hatása mellett, a magasban okozott erős leáramlás következtében gátolja a légörvények vertikális fejlődését. Ennek köszönhetően ugyan nyáron gyakoriak a térségben a mediterrán ciklonok, mégis száraz idő jellemző. A legtöbb ciklon augusztusban fordul elő, átlagos élettartamuk 52 óra (*Trigo et al.*, 1999; *Woodward*, 2009).

### 2.3. A hóvastagság előrejelzése

A téli időszak egyik legnagyobb kihívása az előrejelzők számára a hóvastagság prognosztizálása, miközben a lehullott hómennyiség jelentősen meghatározhatja a mindennapi tevékenységeinket. A téli félévben Magyarország térségében nagy mennyiségű csapadékot okozó rendszerek vizsgálatával korábban már több tanulmány is foglalkozott. *Hirsch* (2000) az 1986 és 1997 közötti téli időszakok nagy mennyiségű csapadékkal járó eseményeit elemezve arra a következtetésre jutott, hogy hazánkban ritkák a jelentős (legalább 10 mm) csapadékmennyiséggel járó, tisztán havazásos esetek, amelynek oka, hogy kialakulásukhoz speciális feltételek szükségesek. Kimutatta továbbá, hogy ezen események az ország nyugati felén gyakrabban fordulnak elő, mint a keleti részében, míg az Északi-középhegység térségében a legritkábbak. Utóbbi oka, hogy a nagy csapadékkal járó helyzetek, amelyek során csak havazás figyelhető meg, az országtól délre elhelyezkedő, lassan mozgó mediterrán ciklonokhoz köthetők, amelyek hazánk északi felén ritkán okoznak jelentős mennyiségű csapadékot. *Hirsch* (2006) az 1981/1982 és 2001/2002 közötti 21 téli periódusban vizsgálta azon eseteket, amikor hazánk területének 10%-nál nagyobb hányadán a napi csapadékmennyiség területi átlaga legalább 10 mm volt. Az így kiválasztott eseményeket kilenc szinoptikus helyzetbe sorolta, és megállapította, hogy a nagy csapadékkal járó alkalmak 39%-át biztosan mediterrán ciklonok okozták, és mindössze az esetek 17%-ban zárható ki egyértelműen a földközi-tengeri ciklonok szerepe. *Bednorz* (2011) Európa különböző pontjain, köztük Budapesten is vizsgálta a hóviharak kialakulásának körülményeit. Az elemzéshez az 1960/1961-2009/2010 közötti téli időszakok megfigyeléseit használta, kiválasztva azon napokat, amikor a lehulló hó mennyisége meghaladta a 10 cm-t. Az ötven éves időszak alatt 49 hóviharos esetet talált. Ezek kialakulásáért egy a várostól délnyugatra húzódó, az Appennini-félsziget és az Adriai-tenger feletti középponttal rendelkező, nagy nedvességtartalmú ciklon a felelős, amelynek Budapest az északi, hideg oldalán található. Európa keleti része felett egy anticiklon helyezkedik el, amely biztosítja a poláris eredetű hideg levegőt. A meleg, nedves, valamint a hideg légtömegek találkozása jelentős mértékű havazásban nyilvánulhat meg.

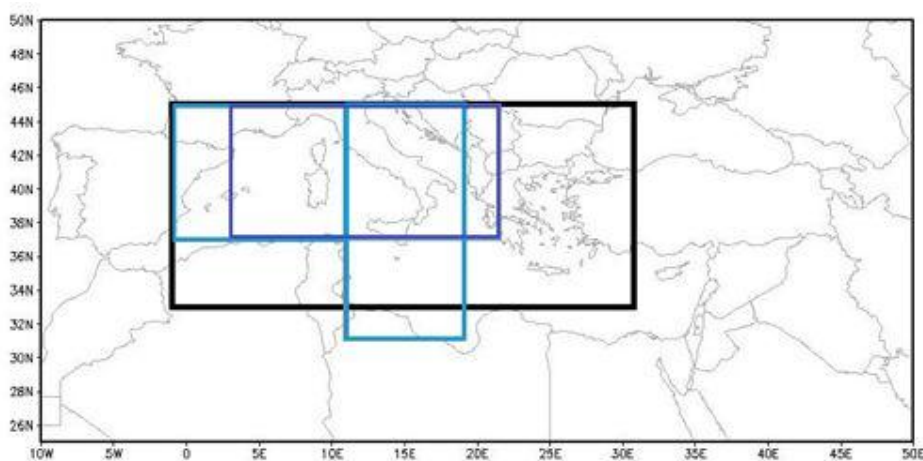
A hóvastagság előrejelzésére többféle módszert is kidolgoztak. *Cook* (1980) technikája arra épül, hogy az alacsony szinten megjelenő képződmény erőssége megmutatkozik a 200 hPa-os szinten elhelyezkedő légtömeg hőmérséklet-eloszlásában. Így

feltéve, hogy a 700 hPa-os szinten melegadvekciónak zajlik, a 24 óra alatt átlagosan lehulló hómennyiség inchben megadva, körülbelül a fele lesz a 200 hPa-os szintre jelzett melegadvekciónak °C-ban kifejezett értékének. Ha a 700 hPa-os szinten hidegadvekciónak megy végbe, az inchben kifejezett hómennyiség a 200 hPa-os szinten zajló melegadvekciónak °C-ban megadott értéke negyedének várható. *Garcia* (1994) módszerében egy 12 órás időszakban várható hómennyiség előrejelzése a keverési arány izentróp felületen vett értékének felhasználásával történik. A havazás várható térsége felett olyan izentróp felületet kell választani, amely metszi a 700-750 hPa-os réteget és az ahhoz kapcsolódó keverési arány értékét átlagoljuk a következő 12 órára előrejelzett maximális keverési arány értékével. Az így kapott mennyiséget kettővel szorozva kapjuk meg a várható hóvastagságot inchben. A módszer segít prognosztizálni a várható maximális hóvastagságot, ugyanakkor nem alkalmas annak pontos helyzetének meghatározására. A LEMO módszer a maximális hóvastagság meghatározásához az 500 hPa-os szint abszolút örvényességének maximum értékét használja fel (*Gordon*, 1998).

## 3. Adatok

### 3.1. A tengerfelszín hőmérséklete

Vizsgálataink elvégzéséhez információra volt szükségünk a Földközi-tenger 1900 és 2012 közötti felszíni hőmérsékleti (SST) viszonyairól. Ehhez az Amerikai Egyesült Államok Nemzeti Óceáni és Légköri Hivatalának (NOAA) Nemzetközi Átfogó Óceán-Légkör Adatbázisából (ICOADS) származtatott rekonstruált tengerfelszín hőmérséklet havi átlagait használtuk fel, amelyek az egész Földre  $2^\circ \times 2^\circ$ -os horizontális rácsfelbontással, 1854-től napjainkig állnak rendelkezésre (Huang *et. al.*, 2014). Vizsgálatainkat a  $34^\circ$ - $44^\circ$ É és a  $0^\circ$ - $30^\circ$ K tartományon végeztük, amellyel képet kaptunk a Földközi-tenger vízfelszínének hőmérséklet-eloszlásáról. E térséget további kisebb területekre bontva is elemeztük (2. ábra). Mivel a hazánkat érintő mediterrán ciklonok a Földközi-tenger nyugati részéből származnak (Bartholy *et al.*, 2009), az elemzésből kihagytuk a tenger keleti térségeit. Így a Földközi-tenger nyugati ( $38^\circ$ - $44^\circ$ É és  $0^\circ$ - $10^\circ$ K) és középső ( $32^\circ$ - $44^\circ$ É és  $10^\circ$ - $20^\circ$ K) medencéjét külön-külön is tanulmányoztuk. Mivel a felosztás alapján a Genovai-öbölben keletkezett ciklonok nem tartoznak egyértelműen valamely tartományba, vizsgálatainkat elvégeztük az öböl teljes területét, valamint a szintén gyakori ciklogenezissel bíró dél-olaszországi térséget tartalmazó  $38^\circ$ - $44^\circ$ É és  $4^\circ$ - $20^\circ$ K közötti tértartományra is. Elemzésünkhöz az 1900 és 2012 közötti havi átlagos tengerfelszín hőmérséklet adatokat használtuk fel. Ezekből a GrADS szoftver segítségével a vizsgált időszak évi, havi, illetve az egyes évek őszi és téli átlagait állapítottuk meg a teljes tanulmányozott térségre, valamint az egyes részterületekre.



2. ábra – A vizsgált tértartományok

### 3.2. Geopotenciális magasság

A mediterrán ciklonok detektálását az 1000 hPa-os nyomási szinten jellemző geopotenciális magassági adatok segítségével végeztük. Az adatsorokat az Amerikai Egyesült Államok Nemzeti Óceán és Légköri Hivatalának (NOAA) Huszadik Századi Reanalízis Projekt V2 verziója (20CRv2) szolgáltatta. Az egyes légköri információk a teljes Földre  $2^\circ \times 2^\circ$ -os horizontális rácsfelbontással, 1871. január 1-től 2012. december 31-ig hat óránkénti bontásban, illetve napi átlagos értékekben állnak rendelkezésre. A reanalízis adatok alapja a felszíni légnyomás mérések értékei, míg peremfeltételként a megfigyelt tengerfelszín hőmérséklet, valamint a tengerjég kiterjedése szolgált. Az előállításához az Ensemble Kalman Filter adatasszimilációs módszert alkalmazták (*Compo et al.*, 2011).

A ciklonok detektálásához az 1900. október 1. és 2012. március 31. közötti időszak 1000 hPa-os nyomási szint napi átlagos geopotenciális magasság adatait használtuk fel. Mediterrán ciklonnak tekintettünk minden 125 gpm-nél alacsonyabb középpontú ciklont. A vizsgálatainkhoz GrADS scripteket alkalmaztunk. Az elemzés során a 2.1. pont alatt jelölt tartományokra vonatkozó napi átlagos 1000 hPa-os geopotenciál mezőt vizsgáltuk rácsponttól rácspontra haladva úgy, hogy a vizsgált rácspont egy  $4^\circ$ -os sugarú rácskörnyezetében a következő feltételeknek eleget tesz-e: 125 gpm-nél alacsonyabb értékkel rendelkezik és ez az érték a  $8^\circ \times 8^\circ$ -os rácsrégió a legkisebb érték.

### 3.3. Hóvastagság

További vizsgálataink a hóvastagság és a specifikus nedvesség közötti kapcsolatot hivatottak feltárni hazánk területén, olyan időjárási helyzetekben, amelyek során nagy területen, nagy mennyiségű hó hull. A 26 szinoptikus állomás (2. táblázat) hóvastagság adatait az Országos Meteorológiai Szolgálat bocsátotta rendelkezésünkre. Az egyes állomások megfigyeléseinek időbeli lefedettsége eltérő, a felhasznált adatok az 1980. január 1. és a 2015. április 30. közötti időtartamon belül fordulnak elő. Elemzéseinkhez az 1980. január 1. és 2012. december 31. között megfigyelt hóvastagság értékeket alkalmaztuk.

Az állomások közül néhány a vizsgált időszakon belül áthelyezésre került. A miskolci állomás kezdetben a városban kapott helyett, később a 232 m tengerszint feletti magassággal rendelkező Avas dombon helyezték el. 2013 nyarán az állomás a tenger szintje fölött 162 m-en fekvő Diósgyőrbe költözött. Szentgotthárdon a kezdeti mérések 222 m-rel a tenger szintje felett történtek, majd az állomás 1982-ben Farkasfára költözött, ahol 317 m-es tengerszint feletti magasságon helyezték el. A szentkirályszabadjai állomás a megadott mérési időszakban végig 281 m-es tengerszint feletti magasságon végzett méréseket.

**2. táblázat – A hóvastagság adatokat biztosító meteorológiai állomások és mérési időszakaik**

<b>Állomás helye</b>	<b>Mérési időszak</b>	<b>Állomás helye</b>	<b>Mérési időszak</b>
Baja-Csávoly	1980-2000	Paks	1980-2015
Békéscsaba	1980-2015	Pápa	1980-2015
Budapest (belterület)	1980-2013	Pécs Pogány	1980-2015
Budapest Pestszentlőrinc	1980-2015	Győr-Pér	2006-2015
Debrecen	1980-2015	Sármellék	2006-2015
Győr-Likócs	1980-2007	Siófok	1980-2015
Kaposvár	1980-2005	Sopron Kuruc-domb	1980-2015
Kecskemét	1980-2015	Szeged	1980-2015
Keszthely	1980-1999	Szentgotthárd-Farkasfa	1980-2011
Miskolc	1980-2015	Szentkirályszabadja	1987-2004
Mosonmagyaróvár	1980-2013	Szolnok	1980-2015
Nagykanizsa	1980-2007	Szombathely	1980-2015
Nyíregyháza-Napkor	1980-2003	Zalaegerszeg	1980-1997

### **3.4. Specifikus nedvesség**

A specifikus nedvesség adatokat szintén a NOAA Huszadik Századi Reanalízis Projekt V2 verziója biztosította, amelyek napi átlagai 24 nyomási szintre állnak rendelkezésünkre. Elemzésünkhöz az 1980 és 2012 közötti napi átlagos értékeket használtuk fel. GrADS scriptek segítségével a 40°-55°É és a 10°-30°K tartományon

ábrázoltuk a légkör 1000 hPa-os és 600 hPa-os szintjei közötti specifikus nedvességtartalom horizontális eloszlását azokban az esetekben, amelyek során legalább három szinoptikus állomáson 24 óra alatt minimum 20 cm hó hullott. Továbbá ugyanezen esetekben az egyes állomásokra jellemző vertikális metszeteket állítottunk elő az 1000 hPa-os és a 300 hPa-os szintek közötti specifikus nedvesség értékek felhasználásával. Valamennyi napon, amikor legalább egy állomáson elérte a 24 óra alatt lehullott hó mennyiség a 20 cm-t, meghatároztuk az adott állomás térségében jellemző légköri specifikus nedvességtartalmat.

### **3.5. A 20. századi reanalízis minősége**

*Compo et al.* (2011) a 20CRv2 reanalízis megbízhatóságát 1905 és 2006 közötti magaslégköri megfigyelésekkel történő összehasonlítással vizsgálták. Ennek során mind az 500 hPa-os geopotenciális magasság, mind a 850 hPa-os szint hőmérsékleti megfigyelései esetén a reanalízis adatokkal magas korrelációs értéket tapasztaltak. Az adatállományt összehasonlították az Európai Középtávú Időjárás Előrejelző Központ (ECMWF) ERA-40 reanalízis adatsorával, amely 1957 és 2002 közötti légköri információkat tartalmaz, valamint az NCEP/NCAR 1957 és 1996 közötti időintervallumra vonatkozó reanalízis adatbázisával is, amelyek előállítására felszíni és magaslégköri megfigyeléseket is alkalmaztak. Ennek során azt tapasztalták, hogy az 1958-tól 1978-ig tartó időszakban, amikor még nem állt rendelkezésre megfelelő mennyiségű műholdas megfigyelés, a 20CRv2 reanalízis a 300 hPa-os geopotenciális magassági szinten az északi félgömböt tekintve szoros (0,9-nél, egyes esetekben 0,95-nél magasabb) korrelációt mutat az ERA-40 adatsorral és az NCEP/NCAR reanalízis adatbázissal is erős kapcsolat jellemzi. A trópusi területeken a 20CRv2 és az ERA-40 közti korreláció közepes (0,65), utóbbi szorosabb kapcsolatot mutat a CHUAN adatsorból származó rádiószondás mérésekkel, míg a déli félgömbön a két reanalízis korrelációja tovább csökken, azonban e területeken a 20CRv2 áll nagyobb összhangban a rádiószondás megfigyelésekkel. Hasonló módon vizsgálták a jelentősen több műholdas és rádiószondás információval rendelkező 1979-től 2001-ig tartó időszakot. Ekkor a különböző adatbázisok szoros (többnyire 0,9 feletti, egyes esetekben 0,95 értéket meghaladó) korrelációban állnak az északi és déli félgömb mérsékelt övi



területein, és az egész Földre vonatkozóan is nagy összhang (0,75-nál nagyobb korreláció) jellemzi őket.

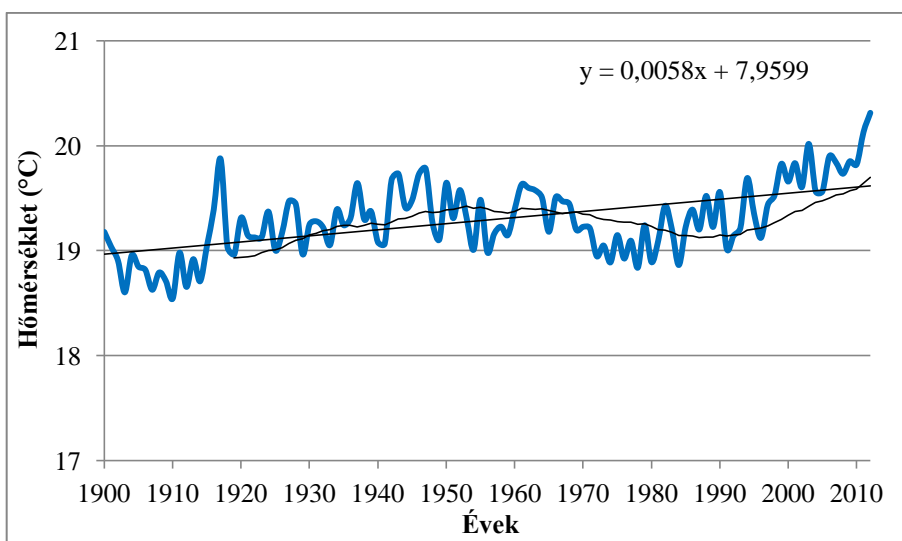
A reanalízis adatsorokat összehasonlítva tengeri légnyomás adatokra vonatkozó, 24 órás előrejelzéseik pontossága alapján, az eredmények azt mutatják, hogy az északi félgömböt tekintve az ERA-40, valamint az NCEP/NCAR prognózisok is jobbnak tekinthetők, mint a 20CRv2 előrejelzések. Ugyanakkor a déli félgömbön a műholdas korszak előtti időszakban (az 1970-es éveket megelőzően) a 20CRv2 prognózisok bizonyulnak jobb minőségűnek.

*Stickler et al.* (2015) összehasonlították a 20. századi reanalízist és az ECMWF 1900-2010-ig tartó időszakot felölelő, felszíni légnyomás és felszíni tengeri szél megfigyelésekből előállított ERA-20C elnevezésű reanalízis adatsorát, az 1925 és 1927 között zajló Német Atlanti Expedíció magaslégköri méréseivel. A vizsgálat során figyelmet fordítottak a hőmérséklet, nedvesség, légnyomás és szél reanalízisei és megfigyelései közötti szisztematikus eltérések és korrelációk alakulására. Az adatsorok és a mérések összességében jó hasonlóságot mutattak, a legtöbb különbség kismértékű volt, de kis számban előfordultak jelentős eltérések is. A hőmérséklet tekintetében a 20CR a déli szélesség 25°-tól délre szoros korrelációban áll a mérésekkel, ugyanakkor a trópusi területeken a korreláció gyenge (átlagosan 5 °C-kal alacsonyabb értékek jellemzik). Az ERA-20C a trópusi övezetben nagyon laza korrelációjú, míg az északi szélesség 15°-tól északra a mért értékeknél (kb. 6 °C-kal) magasabb hőmérsékletek jellemzik. A nedvességi viszonyokat vizsgálva azt figyelték meg, hogy a 20CR reanalízis a trópusokon kevesebb, annak déli részén több nedvességet mutat, míg az ERA-20C éppen ellenkezőleg, előző helyen nedvesebb, utóbbin azonban jelentősen szárazabb. A szél esetében mindkét reanalízis a megfigyeltnél erősebb nyugatias szeleket jelzett a déli mérsékelt övezetben, míg gyengébbet az északi szélesség 5° és 25° között. Összességében a 20CR adatbázisról megállapítható, hogy a trópusi területeken észlelt alacsony anomália korreláció miatt e területen jellemző cirkulációs viszonyokat nem képes kielégítően reprezentálni. Az ERA-20C reanalízis hőmérsékletbeli eltérései, valamint kismértékű anomália korrelációja a trópusokon és a déli mérsékelt övezetben együttesen gátolják az éghajlati változékonyság megfelelő ábrázolását. Az elemzés során arra következtettek, hogy az 1925-1927 közötti időszak esetében nem mutatható ki, hogy az ERA-20C által a reanalízisbe bevont tengeri szélviszonyok jobb minőséget biztosítanak a 20CR adatállománnyal szemben.

## 4. A Földközi-tenger felszíni hőmérséklete és a mediterrán ciklonok gyakorisága közötti kapcsolat vizsgálata

### 4.1. Évi SST átlagok vizsgálata

1900 és 2012 között megvizsgáltuk a Földközi-tenger felszíni hőmérsékletének évi átlagos értékeit. A 3. ábra a teljes medencére vonatkozó megfigyeléseket tartalmazza. Szembetűnő a tenger hőmérsékletének emelkedő tendenciája, amely  $\alpha = 0,1$  szignifikanciaszint mellett szignifikánsnak bizonyult. A vizsgált időszakban a vízhőmérséklet évi átlagos értékének minimuma 1910-ben figyelhető meg, értéke 18,5 °C. Maximumát 2012-ben veszi fel, ekkor értéke 20,3 °C-nak adódott.

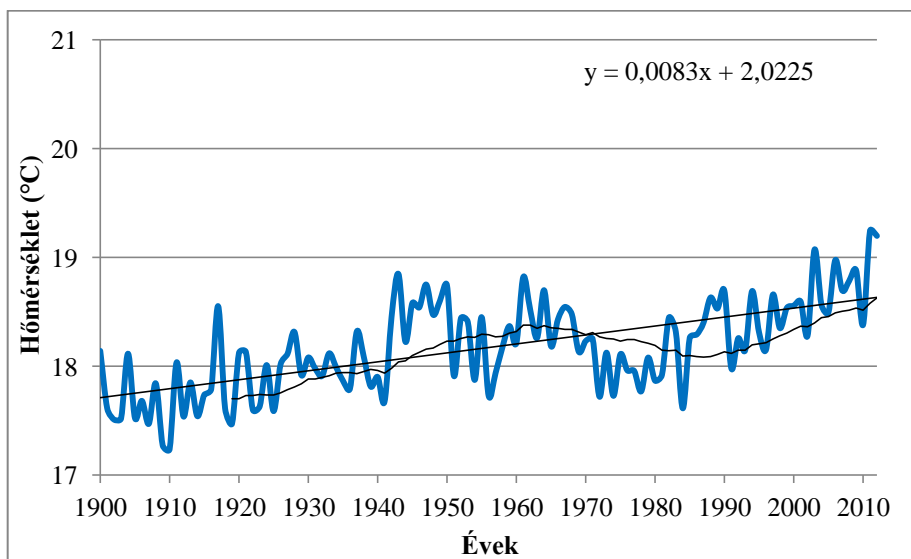


3. ábra – A Földközi-tenger évi átlagos tengerfelszín hőmérsékletének alakulása az 1900-2012 közötti időszakban, a lineáris regressziós egyenes, a trendegyenlet, valamint a 20 éves mozgóátlag feltüntetésével

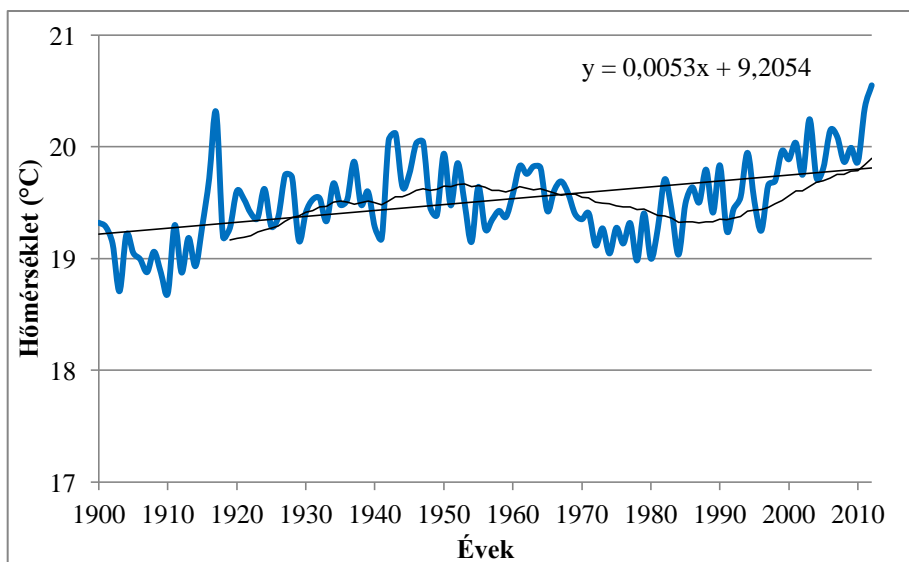
A nyugati medencére vonatkozó évi átlagos SST eloszlást a 4. ábra szemlélteti. A teljes medencéhez hasonlóan itt is megfigyelhető a szignifikáns emelkedő tendencia. További egyezőség a minimum 1910-ben történő megjelenése, amelynek értéke a nyugati medencében 17,2 °C. Maximumát 2011-ben éri el, ekkor értéke 19,2 °C.

Az 5. ábra a Földközi-tenger középső medencéjének évi átlagos tengerfelszín hőmérséklet eloszlását mutatja be. A hőmérséklet szignifikáns emelkedése e térségben is

megfigyelhető. Az előzőekhez hasonlóan a minimum 1910-ben jelentkezik, értéke 18,7 °C, míg a maximum 2012-ben tapasztalható, 20,6 °C-os értékkel.



4. ábra – A Földközi-tenger nyugati medencéjében az évi átlagos tengerfelszín hőmérséklet alakulása az 1900-2012 közötti időszakban, a lineáris regressziós egyenes, a trendegyenlet, valamint a 20 éves mozgóátlag feltüntetésével



5. ábra – A Földközi-tenger középső medencéjében az évi átlagos tengerfelszín hőmérséklet alakulása az 1900-2012 közötti időszakban, a lineáris regressziós egyenes, a trendegyenlet, valamint a 20 éves mozgóátlag feltüntetésével

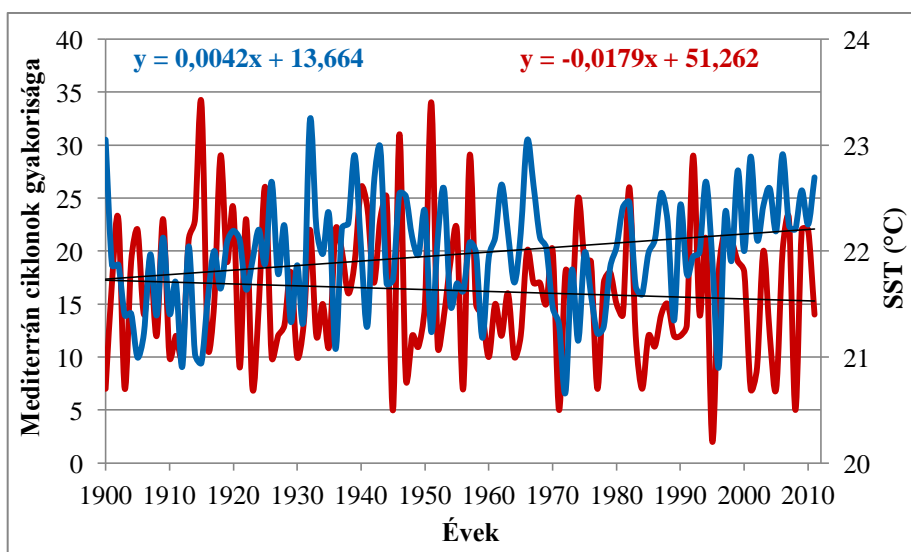
## 4.2. Havi SST átlagok és a mediterrán ciklonok gyakoriságának vizsgálata

Az évi átlagok mellett tanulmányoztuk a téli félév (októbertől márciusig tartó időszak) havi átlagos tengerfelszín hőmérséklet viszonyait, valamint a mediterrán ciklonok gyakoriságát az 1900-2012 közötti időintervallumban a tenger teljes, nyugati és középső medencéjére, illetve az egész Genovai-öböl tartalmazó területre is. A mediterrán ciklonok gyakoriságán azt értjük, hogy az adott hónapban összességében hány földközi-tengeri légörvény fordult elő.

E fejezetben bemutatott ábrák minden esetben az októberi eredményeket szemléltetik, a téli félév további hónapjainak ábrái a *Függelékben* tekinthetők meg.

### 4.2.1. Teljes medence

A Földközi-tenger októberi felszíni hőmérsékletét, valamint a térségben előforduló mediterrán ciklonok gyakoriságát a 6. ábra szemlélteti. Látható, hogy az időszak során az SST emelkedő, ezzel szemben a légörvények gyakorisága csökkenő tendenciát mutat. A *Függelék F1., F3., F5., F7., F9. a) ábráin* megtekinthetők a téli félév további hónapjaira kapott eredmények, amelyekből az egyes tendenciákat nézve hasonló következtetéseket vonhatunk le.

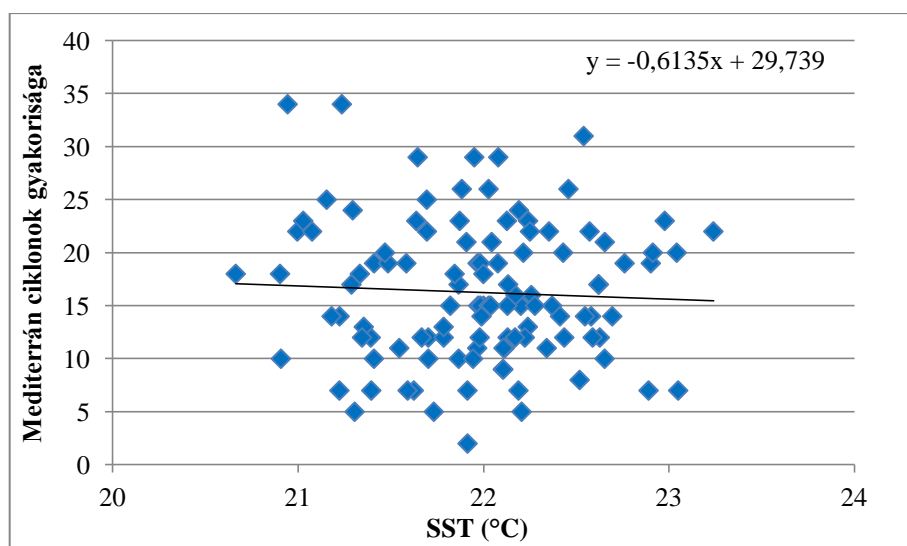


6. ábra – A Földközi-tenger 1900-2011 közötti októberi SST eloszlása (kék) és a mediterrán ciklonok gyakorisága (piros) a lineáris regressziós egyenesek és a trendegyenletek feltüntetésével

Korreláció vizsgálattal próbáltuk feltárni, hogy létezik-e kapcsolat a Földközi-tenger vizének felszíni hőmérséklete, valamint a mediterrán ciklonok gyakorisága között. Az elemzést a téli félév hónapjaira végeztük el, amelynek eredményeit az 3. táblázat tartalmazza. Megfigyelhető, hogy minden hónapra gyenge korrelációt állapítottunk meg, azaz nem áll fenn közvetlen kapcsolat a tenger vizének hőmérséklete és a ciklonok előfordulási gyakorisága között. A kapott eredményeket illusztráltuk is, a 7. ábra az októberi korrelációt mutatja be, míg a többi hónapra vonatkozó kapcsolatokat a *Függelék F1., F3., F5., F7., F9. b) ábrái* szemléltetik.

**3. táblázat – A tengerfelszín hőmérséklet és a ciklonok gyakoriságának korrelációs együtthatói a Földközi-tenger térségében a téli félév egyes hónapjaiban 1900. október és 2012. március között**

Hónap	Október	November	December	Január	Február	Március
<b>Korrelációs együttható</b>	-0,050	-0,052	-0,013	-0,135	-0,242	-0,080



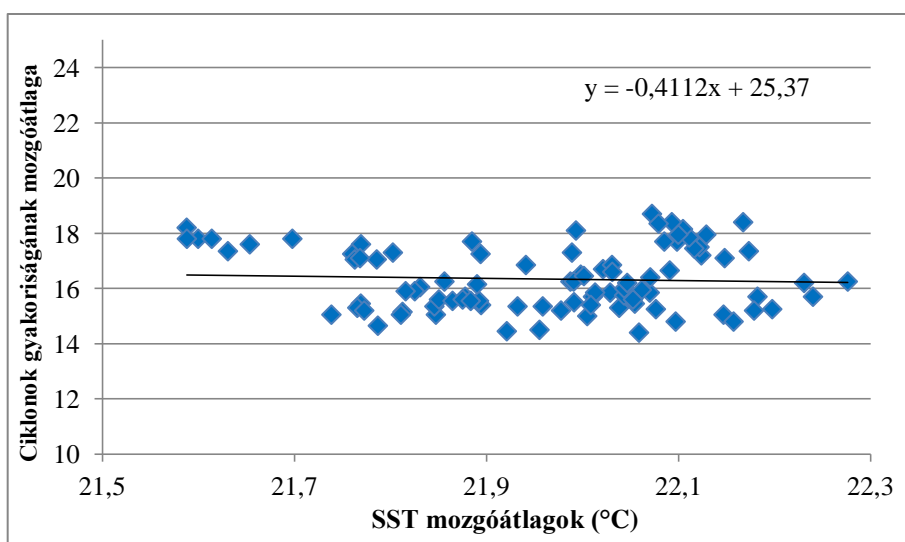
**7. ábra – A Földközi-tengerre vonatkozóan az SST és a ciklonok gyakoriságának októberi korrelációs diagramja a lineáris regressziós egyenes és a trendegyenlet feltüntetésével**

Eredményeink azt mutatják, hogy a térségben nem észlelhető éves szinten egyértelmű kapcsolat a Földközi-tenger vizének hőmérséklete és a mediterrán ciklonok előfordulási gyakorisága között. Ugyanakkor megállapítva és korrelációs vizsgálatnak

kitéve ezek 20 éves mozgóátlagait (több évtizedes skálán vizsgálva a kapcsolatot), a decemberi és februári hónapokra közepes korrelációt fedezhetünk fel (4. táblázat). Ezen eredmények havonta ábrázolásra kerültek. A 8. ábra az októberi, míg a Függelék F1., F3., F5., F7., F9. c) ábrái a téli félév többi hónapjaihoz tartozó korrelációt szemléltetik. Egy mintás t-próba segítségével szignifikancia vizsgálatot végeztünk. Nullhipotézisünk, hogy nincs korreláció, amelyet elvetünk, ha a mozgóátlagok esetében kapott korrelációs együttható abszolút értékben meghaladja a 99%-os konfidencia szinthez tartozó 0,27 kritikus értéket. Ennek alapján kijelenthető, hogy a decemberi, valamint a februári mozgóátlagok korrelációja szignifikáns.

4. táblázat – A tengerfelszín hőmérséklet és a ciklonok gyakoriságának 20 éves mozgóátlagaiból számított korrelációs együtthatók a Földközi-tenger térségében a téli félév egyes hónapjaiban, \*-gal jelölve az egymintás t-próbával meghatározott szignifikáns korrelációk

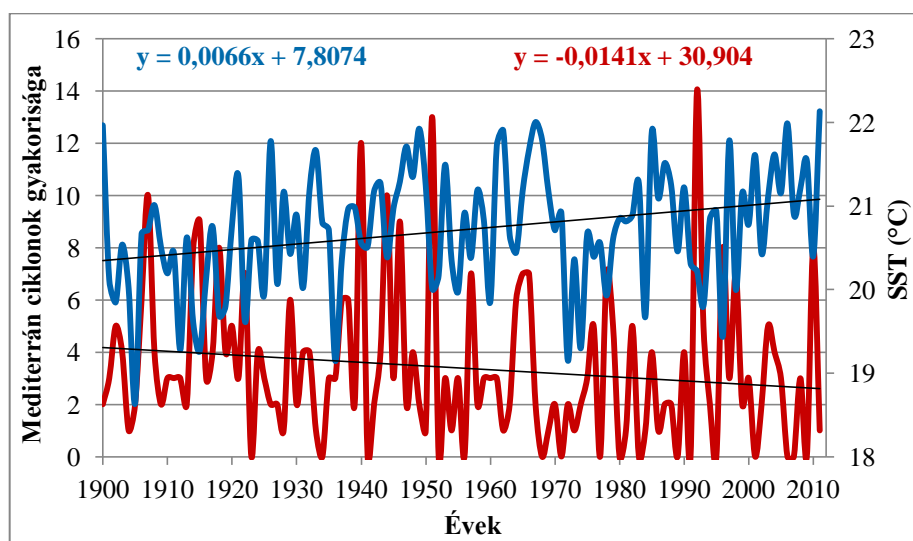
Hónap	Október	November	December	Január	Február	Március
Korrelációs együttható	-0,060	0,135	0,437*	0,129	-0,334*	0,049



8. ábra – Az SST és a ciklonok gyakoriságának 20 éves mozgóátlagaiból számított októberi korrelációs diagram a lineáris regressziós egyenes és a trendegyenlet feltüntetésével

## 4.2.2. Nyugati medence

A 9. ábra bemutatja a Földközi-tenger nyugati medencéjének októberi SST eloszlását, valamint a térségben előforduló mediterrán ciklonok gyakoriságát. A lineáris regressziós egyenesek alapján látható, hogy míg a tengerfelszín hőmérséklete a vizsgált időszakban emelkedett, addig ezzel ellentétes folyamat, vagyis csökkenés figyelhető meg a ciklonok gyakoriságát tekintve.



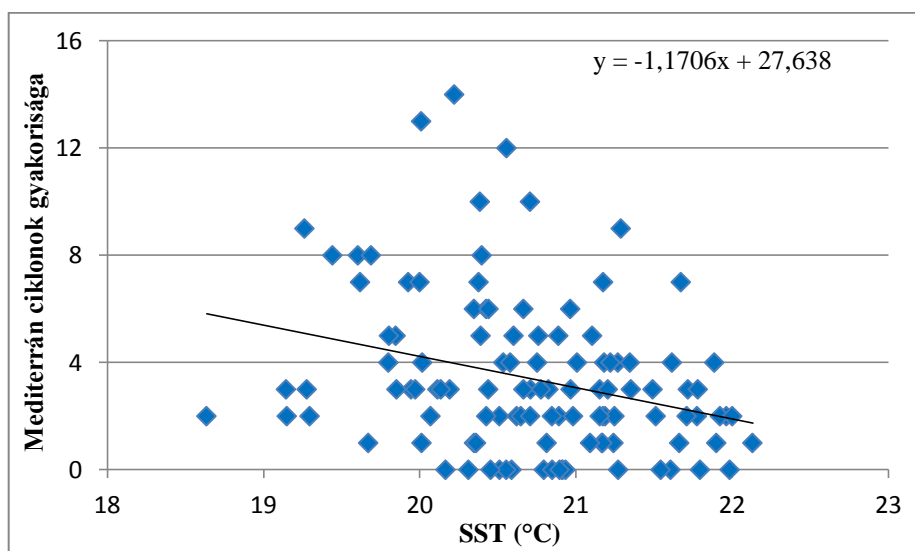
9. ábra – A Földközi-tenger nyugati medencéjének 1900-2011 közötti októberi SST eloszlása (kék) és a mediterrán ciklonok gyakorisága (piros) a lineáris regressziós egyenesek és a trendegyenletek feltüntetésével

A téli félév további hónapjainak hasonló diagramjait a Függelék F1., F3., F5., F7., F9. a) ábrái tartalmazzák. Ezeket áttekintve az tapasztalható, hogy minden egyes hónapban a tengerfelszín hőmérsékletének emelkedése, illetve a ciklonok gyakoriságának csökkenése jellemző. Az ezek között esetlegesen fennálló kapcsolatot korreláció vizsgálattal igyekeztünk megállapítani. Az 5. táblázat tartalmazza az egyes hónapokra kapott korrelációs együtthatók értékét. A korreláció minden esetben negatív és többnyire gyenge, kivéve a közepes korrelációval rendelkező februárban. A 10. ábra szemlélteti az SST és a ciklonok előfordulási gyakoriságának októberi korrelációs diagramját, amely alapján látható, hogy nem állnak szoros kapcsolatban egymással. A téli félév további hónapjaira vonatkozó hasonló diagramokat a Függelék F1., F3., F5., F7., F9. b) ábrái mutatják be, amelyekből szintén a szoros kapcsolat hiányára következtethetünk. A korrelációs együtthatókat szignifikancia vizsgálat alá vetettük. A kapcsolat szignifikánsnak tekinthető,

ha 99%-os konfidencia szint mellett a korrelációs együttható abszolút értékben meghaladja a 0,25 kritikus értéket. Az 5. táblázat alapján látható, hogy ez a kritérium az októberi és a februári esetekben teljesül, azaz ezen hónapok korrelációja szignifikáns.

5. táblázat – A tengerfelszín hőmérséklet és a ciklonok gyakoriságának korrelációs együtthatói a nyugati medencében a téli félév egyes hónapjaiban 1900. október és 2012. március között, \*-gal jelölve az egymintás t-próbával meghatározott szignifikáns korrelációk

Hónap	Október	November	December	Január	Február	Március
Korrelációs együttható	-0,291*	-0,076	-0,146	-0,187	-0,439*	-0,146



10. ábra – Az SST és a ciklonok gyakoriságának nyugati medencére vonatkozó októberi korrelációs diagramja a lineáris regressziós egyenes és a trendegyenlet feltüntetésével

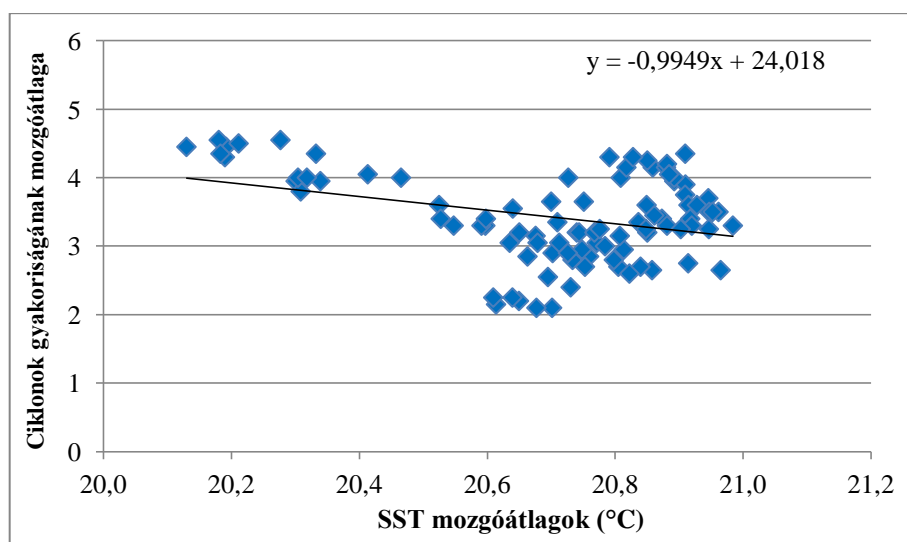
Látható, hogy az egyes hónapokat vizsgálva a nyugati medencében nem mutatható ki éves szinten létező szoros kapcsolat a Földközi-tenger felszíni hőmérséklete és a mediterrán ciklonok előfordulásának gyakorisága között. Ezek után esetleges klimatológiai skálán végbemenő összefüggések után kutattunk. Előállítottuk az SST és a ciklonok gyakoriságának 20 éves mozgóátlagait, amelyek korrelációs együtthatóinak havi alakulását a 6. táblázat tartalmazza. Az elemzés során januárra és februárra közel közepes, a többi hónapra közepes, sőt márciusra közel erős korrelációt kaptunk. A mozgóátlagok korrelációját ábrázoltuk is, a 11. ábra az októberi eredményét szemlélteti, míg a többi



hónapról a *Függelék F1., F3., F5., F7., F9. c) ábrái* adnak felvilágosítást. Látható, hogy a legkevesebb kiugró érték márciusban jellemző, amikor a legmagasabb a korrelációs együttható értéke. Az együtthatókra szignifikancia vizsgálatot végeztünk, 99%-os konfidencia szint és 0,27 kritikus érték mellett. Áttekintve a 6. táblázatot, megfigyelhető, hogy minden egyes hónap mozgóátlagának korrelációja szignifikánsnak adódott.

6. táblázat – A tengerfelszín hőmérséklet és a ciklonok gyakoriságának 20 éves mozgóátlagaiból számított korrelációs együtthatók a nyugati medencében a téli félév egyes hónapjaiban 1900. október és 2012. március között, \*-gal jelölve az egymintás t-próbával meghatározott szignifikáns korrelációk

Hónap	Október	November	December	Január	Február	Március
<b>Korrelációs együttható</b>	-0,345*	-0,541*	-0,499*	-0,295*	-0,293*	-0,686*

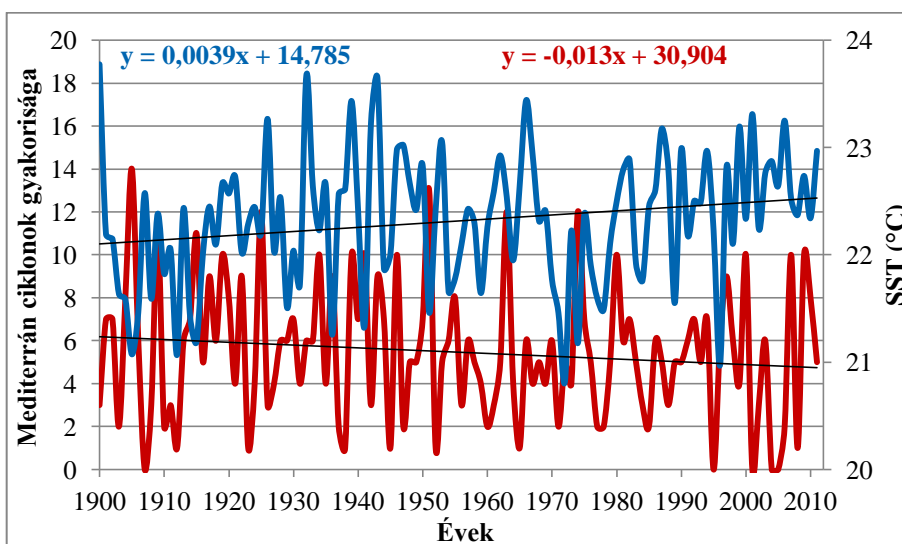


11. ábra – Az SST és a ciklonok gyakoriságának 20 éves mozgóátlagaiból számított októberi korrelációs diagram a lineáris regressziós egyenes és a trendegyenlet feltüntetésével

#### 4.2.3. Középső medence

A 12. ábra szemlélteti a Földközi-tenger középső medencéjében jellemző októberi SST és a mediterrán ciklonok gyakoriságának eloszlását, míg a *Függelék F2., F4., F6., F8., F10. a) ábrái* a további hónapokat mutatják be. Mind a hat esetben a nyugati

medencéhez hasonlóan megjelenik a tengerfelszín hőmérsékletének emelkedő, illetve a ciklonok gyakoriságának csökkenő tendenciája.

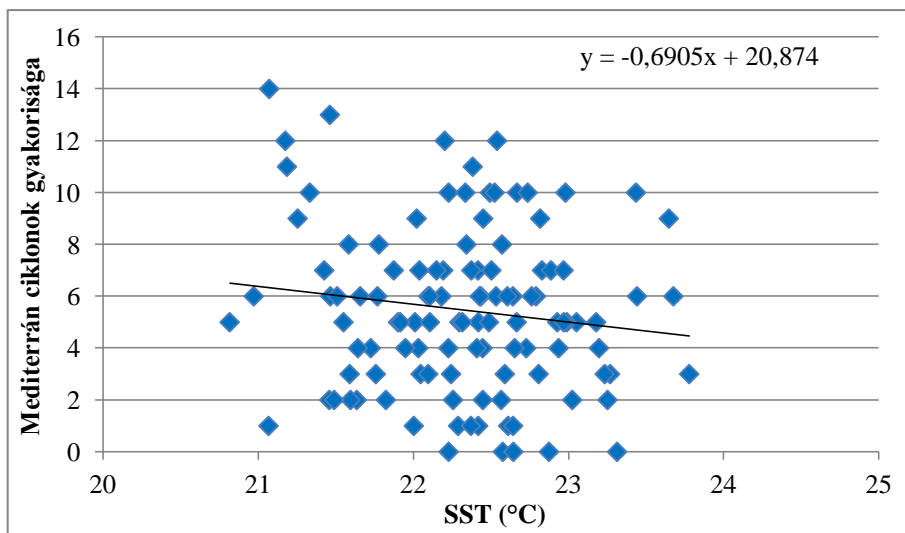


12. ábra – A Földközi-tenger középső medencéjének 1900-2011 közötti októberi SST eloszlása (kék) és a mediterrán ciklonok gyakorisága (piros) a lineáris regressziós egyenesek és a trendegyenletek feltüntetésével

Az előzőekhez hasonlóan elemeztük az SST és a ciklonok gyakoriságának esetleges kapcsolatát. Ennek során a két adatsor segítségével korrelációs vizsgálatot végeztünk, amelynek eredményeit az 7. táblázat tartalmazza. Látható, hogy a korreláció minden esetben gyenge eredménnyel zárult, azaz nem találtunk kapcsolatot az adatsorok között. Ennek szemléltetésére szolgál a 13. ábra, amely az októberi korrelációt hivatott bemutatni, valamint a Függelék F2., F4., F6., F8., F10. b) ábrái, amelyek a téli félév további havi korrelációs eredményeit tartalmazzák.

7. táblázat – A tengerfelszín hőmérséklet és a ciklonok gyakoriságának korrelációs együtthatói a középső medencében a téli félév egyes hónapjaiban 1900. október és 2012. március között

Hónapok	Október	November	December	Január	Február	Március
Korrelációs együttható	-0,136	0,003	0,015	-0,080	-0,154	-0,065

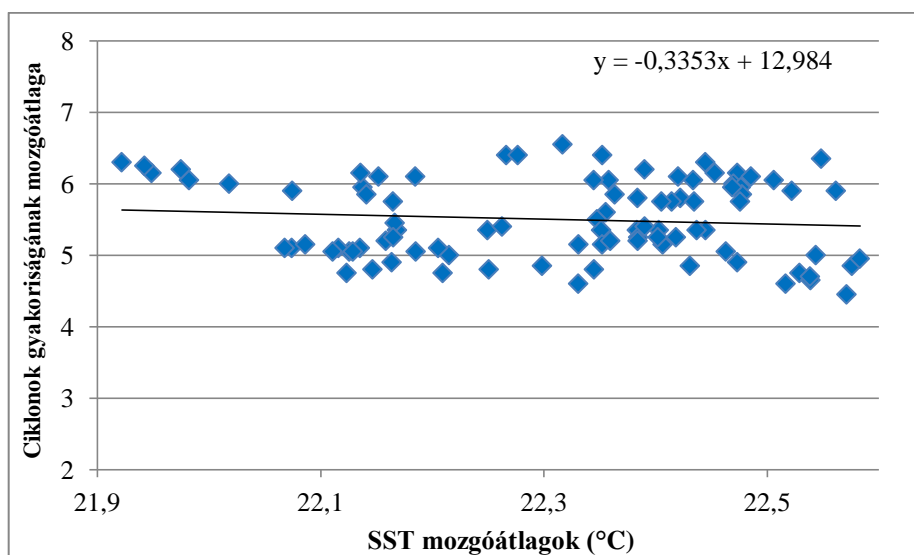


13. ábra – Az SST és a ciklonok gyakoriságának középső medencére vonatkozó októberi korrelációs diagramja a lineáris regressziós egyenes és a trendegyenlet feltüntetésével

A középső medence esetében is meghatároztuk az SST és a ciklonok gyakoriságának 20 éves mozgóátlagait, majd megállapítottuk ezek egymáshoz viszonyított kapcsolatát. Az ezáltal kapott eredményeket a 8. táblázat tartalmazza. Megfigyelhető, hogy a novemberi, decemberi, valamint januári hónapokra közepes, míg a többi esetben gyenge korreláció mutatkozik. Az adatsorok kapcsolatainak érzékeltetésére diagramok szolgálnak. A 14. ábra az októberi korrelációt illusztrálja, a további hónapokra vonatkozó eredmények a Függelék F2., F4., F6., F8., F10. c) ábráin tekinthetők meg. A diagram alapján is látható, hogy a Földközi-tenger középső medencéjében a tengerfelszín hőmérséklet és a mediterrán ciklonok gyakoriságának 20 éves mozgóátlagai gyengébb korrelációban állnak, mint a nyugati medence esetében. A korrelációk szignifikancia vizsgálata során megállapítottuk, hogy 99%-os konfidencia szint mellett a 0,27-nál nagyobb együtthatóval rendelkező hónapok esetében, azaz november, december és január hónapokban a korreláció szignifikáns.

8. táblázat – A tengerfelszín hőmérséklet és a ciklonok gyakoriságának 20 éves mozgóátlagaiból számított korrelációs együtthatók a középső medencében a téli félév egyes hónapjaiban, \*-gal jelölve az egymintás t-próbával meghatározott szignifikáns korrelációk

Hónap	Október	November	December	Január	Február	Március
Korrelációs együttható	-0,105	0,383*	0,488*	0,300*	-0,130	-0,095

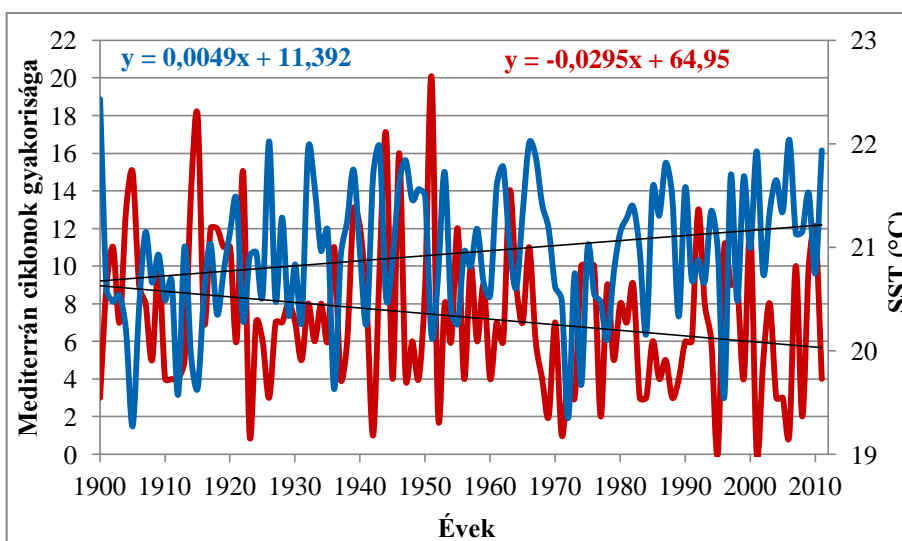


14. ábra – Az SST és a ciklonok gyakoriságának középső medencére vonatkozó 20 éves mozgóátlagaiból számított októberi korrelációs diagram a lineáris regressziós egyenes és a trendegyenlet feltüntetésével

#### 4.2.4. A Genovai-öbölt tartalmazó tértartomány

Mivel a vizsgált térség felosztása során a mediterrán ciklonok képződése szempontjából hazánk számára legjelentősebb Genovai-öbölben keletkezett ciklonok nem tartoztak egyértelműen valamely térrészbe, elemzés alá vontunk egy olyan területet, amely teljes egészében tartalmazza az öböl térségét, valamint a szintén gyakori ciklogenezissel bíró dél-olaszországi területeket. Az erre a térségre vonatkozó októberi SST és a mediterrán ciklonok gyakoriságának eloszlása a 15. ábrán, a téli félév további hónapjaira kapott eredmények pedig a Függelék F2., F4., F6., F8., F10. a) ábráin figyelhetők meg. Hasonlóan a korábbi esetekhez, minden hónapban a lineáris regressziós egyenesek alapján a tengerfelszín hőmérsékletének emelkedése, míg a ciklonok gyakoriságának csökkenése mutatható ki. E tértartományra is elvégeztük a korreláció vizsgálatot, amelynek

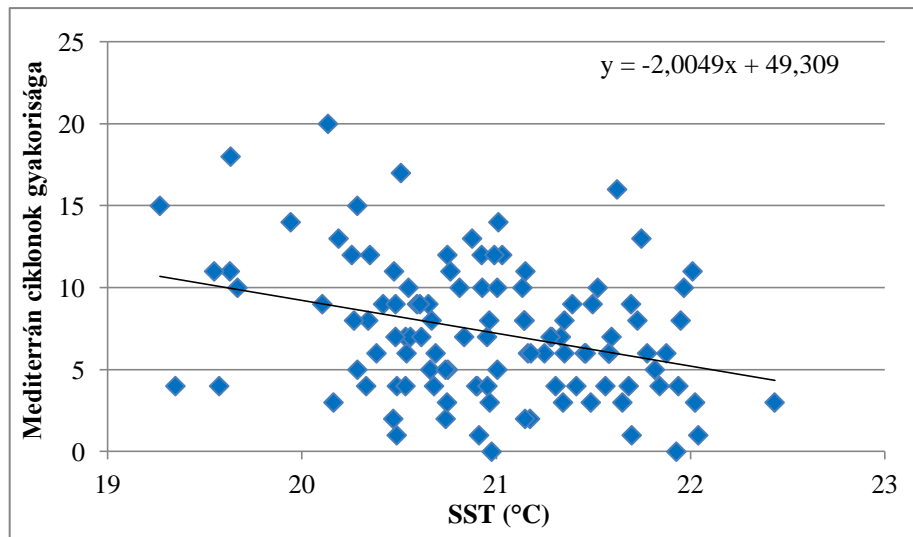
eredményei a 9. táblázatban tekinthetők meg. A hónapok többségére gyenge, ugyanakkor októberre és februárra közepes korrelációt kaptunk, amely minden esetben negatív értékű. Az adatsorok közötti kapcsolatokat diagramon is illusztráltuk. A 16. ábra az októberi, míg a Függelék F2., F4., F6., F8., F10. b) ábrák a többi hónap korrelációit szemléltetik. Az eredmények leginkább a nyugati medencében tapasztalt értékekhez hasonlóak. Az egymintás t-próbával elvégzett szignifikancia vizsgálat kimutatta, hogy 99%-os konfidencia szint és 0,25 kritikus érték mellett az októberi, januári és februári korrelációk szignifikánsak.



15. ábra – A Genovai-öbölt lefedő térrész 1900-2011 közötti októberi SST eloszlása (kék) és a mediterrán ciklonok gyakorisága (piros) a lineáris regressziós egyenesek és a trendegyenletek feltüntetésével

9. táblázat – A tengerfelszín hőmérséklet és a ciklonok gyakoriságának korrelációs együtthatói a Genovai-öbölt lefedő térrészben a téli félév egyes hónapjaiban 1900. október és 2012. március között, \*-gal jelölve az egymintás t-próbával meghatározott szignifikáns korrelációk

Hónapok	Október	November	December	Január	Február	Március
Korrelációs együttható	-0,323*	-0,075	-0,054	-0,277*	-0,433*	-0,139

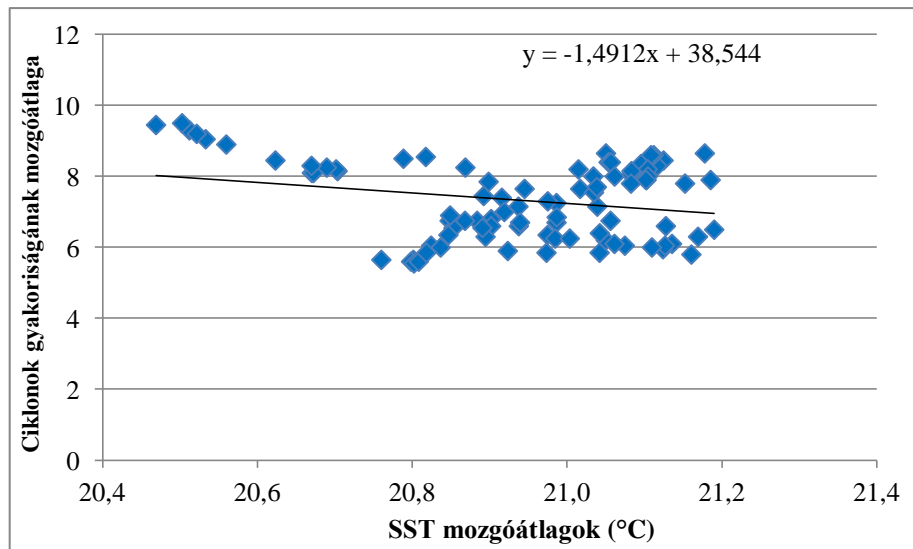


16. ábra – Az SST és a ciklonok gyakoriságának a Genovai-öbölt lefedő térrészre vonatkozó októberi korrelációs diagramja a lineáris regressziós egyenes és a trendegyenlet feltüntetésével

Ezután megállapítottuk a tengerfelszín hőmérsékletének, valamint a ciklonok gyakoriságának 20 éves mozgóátlagait és korrelációs vizsgálatot végeztünk általuk (10. táblázat). Ennek során a februári és márciusi hónapokra negatív, közepes korrelációt kaptunk, míg a többi esetben gyenge kapcsolat áll fenn. Az eredmények szemléltetésére korrelációs diagramokat készítettünk. A 17. ábra a gyenge októberi kapcsolatot, míg a Függelékben található F2., F4., F6., F8., F10. c) ábrák a további hónapok korrelációs értékeit mutatják be. A mozgóátlagok korrelációinak szignifikancia vizsgálata novemberi, februári és márciusi esetekben mutatta ki a kapcsolat szignifikáns jellegét, amely alkalmankorán a 99%-os konfidencia szinthez tartozó 0,27 kritikus érték felett alakult a korrelációs együtthatók abszolút értéke.

10. táblázat – A tengerfelszín hőmérséklet és a ciklonok gyakoriságának 20 éves mozgóátlagaiból számított korrelációs együtthatók a Genovai-öbölt lefedő térrészben a téli félév egyes hónapjaiban, \*-gal jelölve az egymintás t-próbával meghatározott szignifikáns korrelációk

Hónapok	Október	November	December	Január	Február	Március
Korrelációs együttható	-0,247	0,276*	0,048	-0,252	-0,400*	-0,530*



17. ábra – Az SST és a ciklonok gyakoriságának a Genovai-öbölt lefedő térrészre vonatkozó 20 éves mozgóátlagaiból számított októberi korrelációs diagram a lineáris regressziós egyenes és a trendegyenlet feltüntetésével

### 4.3. Évszakos SST átlagok és a mediterrán ciklonok gyakoriságának vizsgálata

Miután képet kaptunk a Földközi-tenger hőmérsékletének és a mediterrán ciklonok gyakoriságának havi alakulásáról és a köztük lévő kapcsolatról, további figyelmünket az őszi és a téli évszak felé fordítottuk. Igyekeztünk feltárni, milyen hatással lehet az őszi és a téli átlagos tengerfelszín hőmérséklet a téli félévben kialakuló mediterrán ciklonok megjelenésére, továbbá, hogy található-e abban az esetben összefüggés, ha az SST átlagok megállapításánál használt három hónapos időintervallumot a mediterrán ciklonok detektálásánál egy hónapos csúsztatással alkalmazzuk. Ennek során a tengerfelszín hőmérséklet átlagait az őszi félévre a szeptembertől novemberig tartó időszak alapján határoztuk meg, amelyet az októbertől decemberig detektált ciklonok gyakoriságával vetettünk össze. A téli évszak SST átlagait decembertől februárig állapítottuk meg, amelyet a mediterrán ciklonok gyakoriságának januártól márciusig számított átlagával vizsgáltunk. Az elemzéseket mind a négy korábban is vizsgált tértartományra elvégeztük az előzőekhez hasonló szisztéma szerint (11. táblázat).

**11. táblázat – A tengerfelszín hőmérséklet és a ciklonok gyakoriságának, illetve ezek 20 éves mozgóátlagának korrelációs együtthatói az egyes medencékben az őszi és téli évszakokban, \*-gal jelölve az egymintás t-próbával meghatározott szignifikáns korrelációk**

Évszak		Ősz	Tél
Évszakai korrelációs együtthatók	Teljes medence	0,010	-0,130
	Nyugati medence	-0,106	-0,215
	Középső medence	0,117	-0,089
	Genovai-öböl	-0,005	-0,191
20 éves mozgóátlagok korrelációs együtthatói	Teljes medence	0,217	-0,034
	Nyugati medence	-0,368*	-0,574*
	Középső medence	0,455*	0,035
	Genovai-öböl	0,191	-0,450*

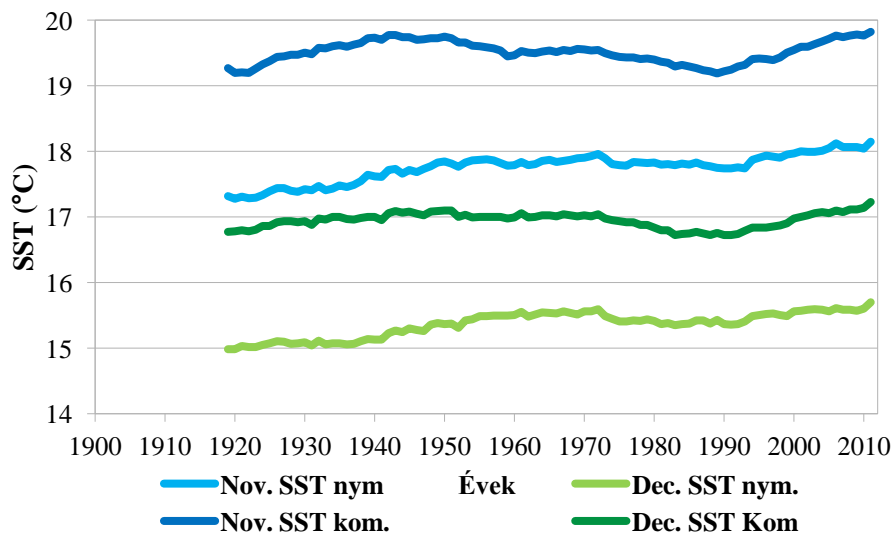
Az eredmények azt mutatják, hogy éves szinten nem mutatható ki kapcsolat az egyes medencék őszi, illetve téli átlagos tengerfelszín hőmérséklete és az adott térségekben előforduló mediterrán ciklonok gyakorisága között. Azonban megvizsgálva ezek 20 éves mozgóátlagait, négy esetben (összesen a nyugati és középső medencében, télen a nyugati medencében és a Genovai-öbölben) szignifikáns közepes korrelációt kaptunk.

#### **4.4. Az SST és a mediterrán ciklonok gyakoriságának több évtizedes időskálán vizsgált kapcsolata**

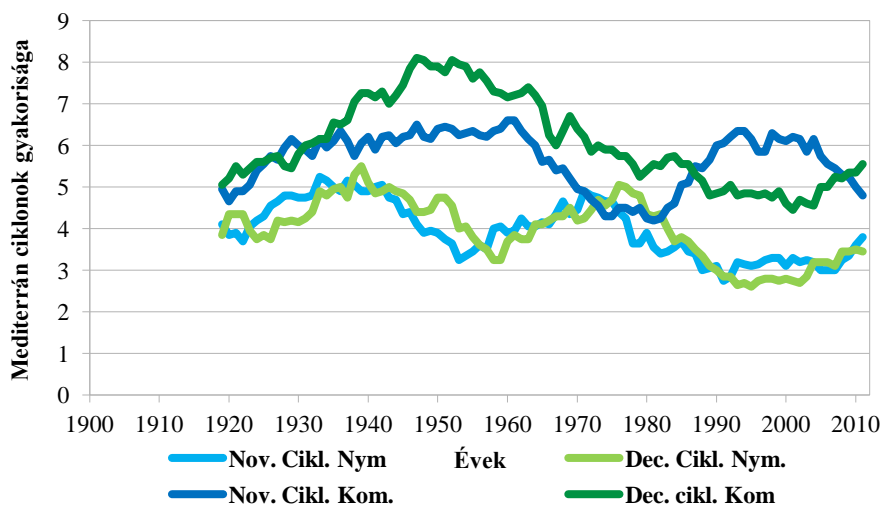
A korábbi elemzések során láthattuk, hogy a nyugati és a középső medencében jellemző novemberi és decemberi átlagos SST 20 éves mozgóátlagának kapcsolata az adott hónap mediterrán ciklon gyakoriságának 20 éves mozgóátlagaival, szignifikáns közepes korrelációt jelzett. Ha e mozgóátlagokat ábrázoljuk (18. és 19. ábra), láthatjuk, hogy az 1940-es évekig mindkét medence esetében a tengerfelszín hőmérsékletének, valamint a mediterrán ciklonok gyakoriságának növekedése tapasztalható. Ugyanakkor az 1940 és 1960 közötti időszakban ellentétes folyamatok mentek végbe a két medencében. Míg a középső medencében a vízfelszín hőmérséklete alig változott, illetve enyhe



csökkenésnek indult, a nyugati medencében a tengervíz felszíni hőmérsékletének emelkedése figyelhető meg. Ezzel együtt a középső medencében nőtt a ciklonok gyakorisága, miközben a nyugati medencében csökkent.



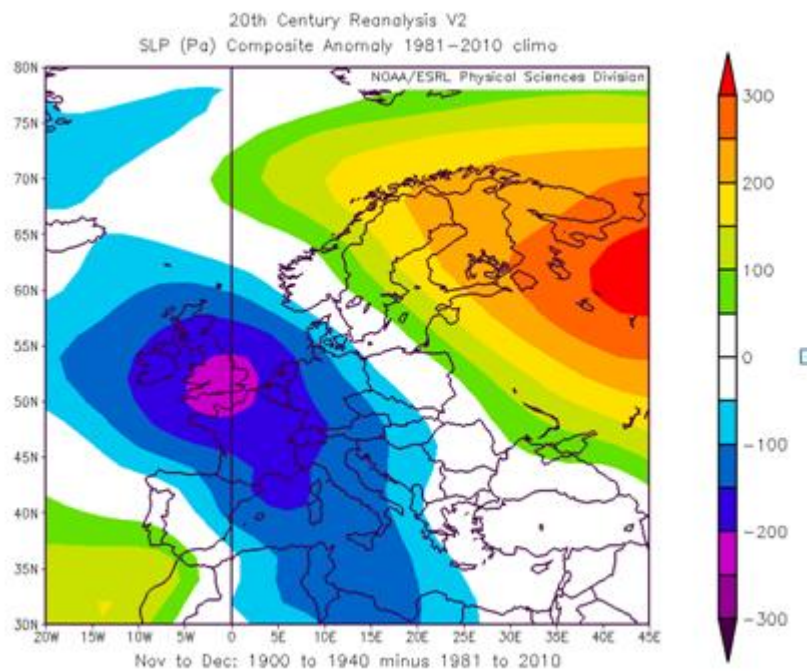
18. ábra – A középső és nyugati medence novemberi és decemberi SST alakulása 1900 és 2010 között



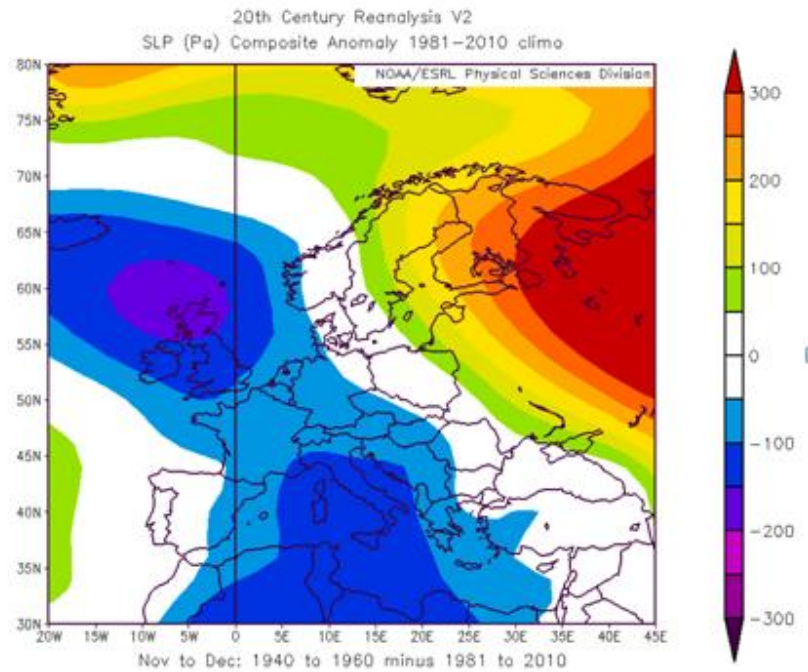
19. ábra – A középső és nyugati medence novemberi és decemberi ciklon gyakoriságának alakulása 1900 és 2010 között

Megfigyeléseinket összevetettük a két időszakban jellemző makroszinoptikus helyzetekkel. A 20. ábra az 1900-1940 közötti novemberi és decemberi – klímaátlaghoz (1981-2010) viszonyított – tengerszinti légnyomás anomáliákat illusztrálja. Látható, hogy mindkét medence esetén a klímaátlaghoz képest alacsonyabb nyomási viszonyok

uralkodnak, azaz ebben az időszakban gyakoriak voltak a ciklonok. Az alacsony értékek elhelyezkedése arra utal, hogy a tenger nyugati és középső medencéje a ciklonok meleg oldalán helyezkedett el, amely magyarázatot adhat az SST növekedésére. Ugyanakkor a 21. ábrán, amely az 1940-1960 közötti időszak makroszinoptikus elrendeződését szemlélteti, látható, hogy az alacsonyabb nyomással rendelkező terület keletebbre tolódott. Ezáltal a középső medence térségében továbbra is gyakoriak maradtak a ciklonok, amely hozzájárulhatott a tengerfelszín hőmérsékletének stagnálásához, illetve gyenge csökkenéséhez, ugyanakkor a nyugati medencében csökkent a mediterrán ciklonok gyakorisága, amely lehetőséget biztosított a tengerfelszín hőmérsékletének növekedéséhez.



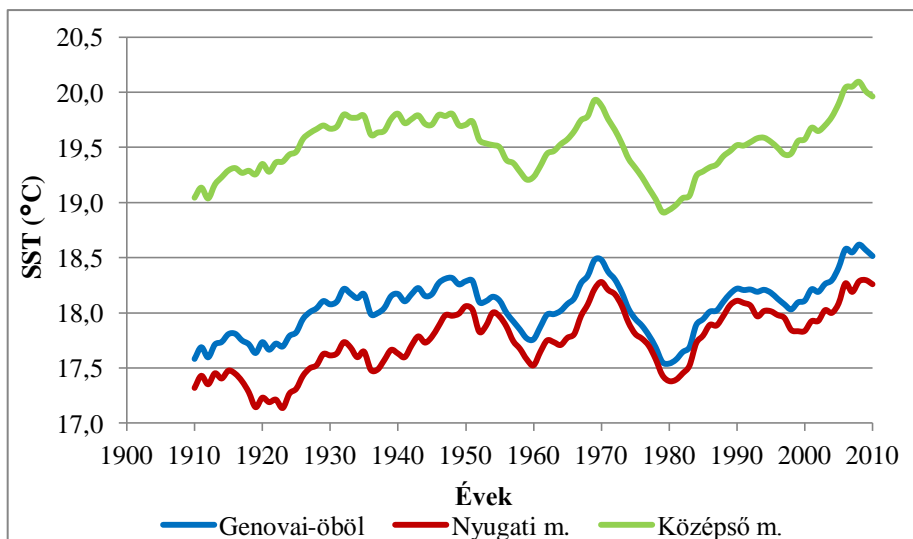
**20. ábra – A klímaátlaghoz (1981-2010) viszonyított 1900 és 1940 közötti novemberi és decemberi tengersizinti légnyomás anomália (Pa)**



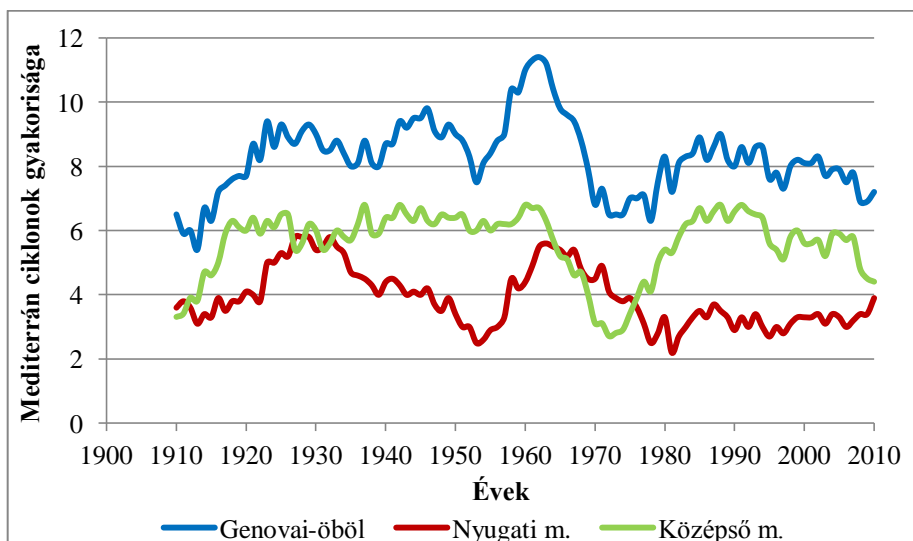
**21. ábra – A klímaátlaghoz (1981-2010) viszonyított 1940 és 1960 közötti novemberi és decemberi tengerszinti légnyomás anomália (Pa)**

E kapcsolatokat látva hasonló elemzéseket végeztünk a vizsgált időszakban a tengerfelszín hőmérséklet (22. ábra) és a mediterrán ciklonok gyakoriságának (23. ábra) novemberi 10 éves mozgóátlagait szemlélve. Ezek egyes évtizedekben megfigyelt tendenciáit összevetettük az 1981-2010-es klímaátlaghoz viszonyított, az adott évtizedben jellemző makroszinoptikus helyzetekkel, amelyek a *Függelék F11. ábráján* tekinthetők meg. Látható, hogy a 20. század első évtizedéhez képest a második évtizedben minden medencében növekedett a mediterrán ciklonok gyakorisága, azonban a nyugati medence és a Genovai-öböl térsége a földközi-tengeri ciklonok keletkezése során leginkább azok hátoldalán helyezkedett el, ezért ott a hidegebb légtömegek betörése következtében az SST csökkent, míg a középső-medencében nőtt. 1921 és 1930 között mindhárom térség jellemzően ciklon előoldali helyzetben volt. Ennek megfelelően enyhe légtömegek érték el a medencéket, amely a tenger felszíni hőmérsékletének emelkedéséhez vezetett. Az 1931-1940 közötti időszakban az előző évtizedhez hasonló makroszinoptikus elrendeződés jellemezte a Földközi-tenger általunk vizsgált területeit. Továbbra is a klímaátlaghoz képest kissé alacsonyabb nyomási értékek figyelhetők meg mindhárom medencében, különösen a középső medence déli részén, és az SST nem változott jelentős mértékben. Az 1941-1950 közötti időszakban a klímaátlaghoz viszonyítva a Földközi-tenger középső

medencéjében és a Genovai-öbölben alacsonyabb nyomási értékek fordultak elő. Ezekben a térségekben az SST változása továbbra sem számottevő. Ezzel egy időben a nyugati medencében a ciklonok száma csökkent az előző évtizedhez képest, ezzel párhuzamosan emelkedett a tengerfelszín hőmérséklete. Az ezt követő évtizedben az alacsony nyomású terület kissé nyugatabbra tolódott, és a nyugati medencében is gyakoribbá váltak a ciklonok, amelyek hozzájárulhattak az időszakban tapasztalható tengerfelszín hőmérséklet csökkenéséhez. 1961 és 1970 között az 1920-as évekhez hasonló makroszinoptikus elrendeződés figyelhető meg, azaz mindhárom vizsgált terület a ciklonok meleg oldalán helyezkedett el, ennek megfelelően minden medencében az SST emelkedése tapasztalható. A következő évtizedre jelentősen csökkent a ciklonok gyakorisága a térségben, a Földközi-tenger jellemzően magas nyomású képződmények előoldalán helyezkedett el, így egy viszonylag stabil északnyugatias áramlással rendszerint hűvösebb légtömegek érték el a régiót, amelynek köszönhetően csökkent a Földközi-tenger felszíni hőmérséklete. Az 1981-1990 közötti periódusban a magas nyomású terület északabbra húzódott, de továbbra is az anticiklonális hatás maradt meghatározó a térségben, amely biztosította a jórészt akadálymentes besugárzást és ezzel az SST emelkedését. Az ezt követő évtizedben továbbra is az anticiklonális irányítás maradt domináns, de alkalmanként a ciklonok elérték a területet, hűvösebb légtömegeket szállítva magukkal. Ennek köszönhetően a tengerfelszín hőmérsékletének növekvő tendenciája megállt, és kismértékű csökkenésnek indult. A vizsgálatunk utolsó évtizedére az előző évtizedhez képest teljes makroszinoptikus átrendeződés következett be. Ennek során kezdetben hasonlóan gyakori volt a mediterrán ciklonok megjelenése az előző évtizedben tapasztalathoz, majd az évtized végére csökkent a ciklonok száma, és többnyire hidegebb léghullámok érték el a Földközi-tengert. Ennek köszönhető, hogy az utolsó néhány évben minden medencében megfigyelhető a tengerfelszín hőmérsékletének csökkenése.



22. ábra – A Genovai-öböl, a nyugati és a középső medence novemberi SST alakulása 1900 és 2010 között



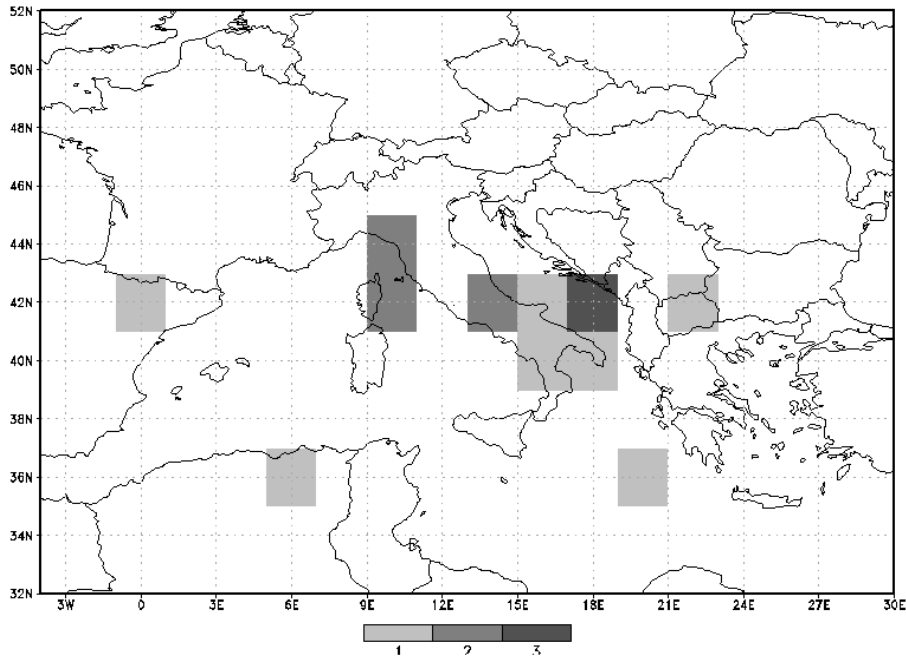
23. ábra – A Genovai-öböl, a nyugati és a középső medence novemberi ciklon gyakoriságának alakulása 1900 és 2010 között

Ezek alapján feltételezhető, hogy a mediterrán ciklonok gyakoriságában nem a Földközi-tenger felszíni hőmérséklete a leginkább meghatározó, hanem a jellemző makroszinoptikus elrendeződés. Korábban bemutattuk, hogy az 1900-2012 közötti időszakban az SST nőtt, míg a mediterrán ciklonok gyakorisága csökkent. A fentebb leírtak alapján feltételezhető, hogy az SST növekedését a globális klímaváltozás mellett a földközi-tengeri ciklonok gyakoriságának csökkenése is okozhatja.

## 5. A specifikus nedvesség és a hóvastagság közötti kapcsolat vizsgálata

Jelen munkában az 1980 és 2012 közötti időszak jelentős mennyiségű hóval járó eseményeit vizsgáltuk. Ez alatt azon eseteket értjük, amikor nagy területen, a 2. táblázatban megadott magyarországi meteorológiai állomások közül legalább 3 állomáson a 24 óra alatt lehulló hőmennyiség elérte vagy meghaladta a 20 cm-t. E kritérium választásának oka, hogy az Országos Meteorológiai Szolgálat havazásra vonatkozó figyelmeztetésének narancs, illetve piros fokozata a legalább egy átlagos magyarországi megyéni területet érintő, 24 óra alatt 20, illetve 30 cm-t meghaladó hótakaró várható kialakulására vonatkozik. A felhasznált szinoptikus állomások elhelyezkedése alapján elmondható, hogy 3 állomás képes lefedni a veszélyjelzés kritériumában meghatározott nagyságú térséget.

A vizsgált események többsége mediterrán ciklonok okozta havazás volt. Ez összhangban áll a korábban ismertetett, magyarországi téli nagy csapadékos helyzeteket tanulmányozó munkák eredményeivel (*Hirsch, 2000; Hirsch, 2006; Bednorz, 2011*). A fenti kritériumoknak megfelelő esetekben ábrázolásra került az alacsony nyomású légörvények középpontjainak jellemző helyzete (*24. ábra*). A legtöbb esetben a ciklonok középpontjai a Korzika–Róma–Dubrovnik által kijelölt tengely mentén helyezkedtek el. Feltételezhető, hogy azon ciklonok esetében, amelyek középpontja e tengelytől északra található, Magyarország a képződmény meleg oldalán helyezkedik el, amely nem kedvez jelentős hótakaró kialakulásának. Ugyanakkor, ha e tengelytől délre helyezkedik el a ciklonközep, hazánk térségét nem tudja elérni a nagy hőmennyiség kialakulásához szükséges nedvesség.



**24. ábra – Magyarország területén legalább 3 meteorológiai állomáson, 24 óra alatt lehullott, minimum 20 cm-es hóvastagságot eredményező mediterrán ciklonok középpontjainak elhelyezkedése és előfordulásaik száma**

A Garcia-módszer a várható hóvastagság előrejelzését a nedvességi viszonyok segítségével kísérli meg. Hasonló elképzelést követve, a napi specifikus nedvességtartalom és a lehullott hó mennyiség közötti kapcsolatot kutattuk az 1980 és 2012 közötti időszakban. A specifikus nedvesség használatának előnye a relatív nedvességgel szemben, hogy előbbi önmagában közvetlen mérőszáma a levegő vízgőztartalmának, míg a relatív nedvesség hasonló szintű alkalmazásához szükséges a hőmérséklet ismerete (*Schultz et al., 2002*). Az elemzéshez kiválasztottuk az előző bekezdésben részletezett kritériumoknak megfelelő eseményeket, amelyekből a 33 év alatt jelen vizsgálat szerint összesen 14 fordult elő. E 14 esetből kigyűjtöttük azokat az állomásokat, amelyeken 24 óra alatt legalább 20 cm hó hullott és ábráztuk a specifikus nedvességtartalom horizontális eloszlását az 1000 és 600 hPa-os szintek között (*Függelék F12-13. ábra*). Az egyes állomások térsége feletti légtömegek vertikális rétegzettségének megismerése céljából, elkészítettük az 1000 és 300 hPa-os nyomási szintek közötti, specifikus nedvességtartalomra vonatkozó vertikális metszetüket, amelyek időrendi sorrendben megtalálhatók a *Függelék F14-19. ábráin*. Ezeket áttekintve általánosságban elmondható, hogy a 600 hPa-os nyomási szint alatt jellemző jelentősebb mennyiségű nedvesség. Ugyanakkor ennek eloszlása az egyes esetekben változó. E különbségek alapján a vertikális metszeteket négy kategóriába

soroltuk. Mivel a felhasznált reanalízis horizontális felbontása egy országunkhoz hasonló méretű területre kevés rácspontot biztosít, előfordult olyan eset, hogy kettő vagy több, egy időben jelentős mennyiségű havat regisztráló állomáshoz tartozó vertikális metszetek megegyeztek. Ilyen egyezés során csak a rácsponthoz legközelebb fekvő állomás került besorolásra valamely csoportba. Emellett azoknál az állomásoknál, amelyek valamely rácshálózati vonaltól 5'-es távolságon belül helyezkedtek el (Baja-Csávoly, Kecskemét, Nagykanizsa, Siófok, Szentgotthárd-Farkasfa, Szentkirályszabadja), az adott rácshálózati vonal által elválasztott két rácspontra jellemző specifikus nedvességtartalom értékek átlagával dolgoztunk.

Az I. kategóriába (12. táblázat) osztottuk azokat a metszeteket, amelyekben a felszínhez közeli levegőréteg viszonylag száraz, azonban a 950 hPa-os szinttől a 800 hPa-os szintig folyamatos és jelentős mértékű a levegő nedvességtartalmának növekedése (25. ábra (a)). E csoportba került esetekben feltételezhető, hogy a kezdeti csapadékhullás az alsó, száraz rétegek nedvességtartalmának növelésére fordítódott, így kevés esetben eredményezett 20 cm-t elérő hómennyiséget a talajon.

**12. táblázat – Az I. kategóriába sorolt vertikális metszetekhez tartozó állomás helye, dátum, hóvastagság (cm) és specifikus nedvességtartalom (g/kg)**

<b>Állomás helye</b>	<b>Dátum</b>	<b>Hóvastagság (cm)</b>	<b>Specifikus nedvességtartalom (g/kg)</b>
Kecskemét	1996.01.25.	21	16,31
Szentkirályszabadja	1996.01.25.	27	16,61
Szolnok	1996.01.25.	25	13,41
Pécs-Pogány	2012.02.04.	22	16,71
Szeged	2012.02.04.	20	18,22

A II. kategóriába (13. táblázat) olyan eseteket soroltunk, amelyekben az alsó légrétegek nedvességtartalma nem elhanyagolható, ugyanakkor a magasabb szinteken tovább nő a levegő vízgőztartalma (25. ábra (b)). E kategóriába került a legtöbb eset és innen került ki a legtöbb 24 óra alatt 30 cm-t elérő vagy meghaladó hóvastagság érték. Látható, hogy e csoportot többnyire magasabb specifikus nedvességtartalom értékek jellemzik, mint az előző kategóriában megjelenő eseteket. Mivel az ezen osztályba került események során az alsó légrétegek többnyire kellő nedvességtartalommal rendelkeztek, illetve a magasabb szinteket erőteljes nedvesség-utánpótlás jellemezte, könnyebben kialakulhatott nagyobb vastagságú hóréteg.



13. táblázat – A II. kategóriába sorolt vertikális metszetekhez tartozó állomás helye, dátum, hóvastagság (cm) és specifikus nedvességtartalom (g/kg)

Állomás helye	Dátum	Hóvastagság (cm)	Specifikus nedvességtartalom (g/kg)
Baja	1984.01.22.	27	24,19
Pécs-Pogány	1984.01.22.	30	24,47
Baja	1993.11.13.	27	29,51
Budapest Pestszentlőrinc	1993.11.13.	21	21,23
Nagykanizsa	1993.11.13.	24	30,45
Pécs-Pogány	1993.11.13.	28	30,52
Szentkirályszabadja	1993.11.13.	20	26,97
Keszthely	1993.11.29.	33	25,91
Nagykanizsa	1993.11.29.	30	25,38
Siófok	1993.11.29.	32	22,89
Sopron	1993.11.29.	21	15,88
Győr-Likócs	1993.12.27.	22	25,89
Nagykanizsa	1993.12.27.	24	29,14
Sopron	1993.12.27.	26	22,66
Szentgotthárd-Farkasfa	1993.12.27.	27	25,14
Zalaegerszeg	1993.12.27.	32	27,63
Keszthely	1995.12.14.	24	31,91
Nagykanizsa	1995.12.14.	24	30,88
Siófok	1995.12.14.	34	29,53
Sopron	1995.12.14.	22	25,36
Szentgotthárd-Farkasfa	1995.12.14.	27	27,61
Zalaegerszeg	1995.12.14.	21	29,84
Békéscsaba	1996.01.25.	21	24,91
Nagykanizsa	2003.01.07.	21	19,05
Pécs-Pogány	2003.01.07.	20	20,80
Szentgotthárd-Farkasfa	2003.01.07.	20	13,51
Szolnok	2003.01.07.	20	14,35

A III. kategóriába (14. táblázat) sorolt eseményekhez tartozó vertikális metszeteken a felszín közelében elhelyezkedő levegő nedvességtartalma magasabbnak adódik, majd a magassággal felfelé haladva, kismértékű csökkenést követően, rövid ideig újra emelkedik (25. ábra (c)). Ugyanakkor e nedvességtartalom-növekedés a II. kategóriában tapasztalhatótnál jóval kisebb rétegvastagságra terjed ki. Ezzel együtt az ebbe a kategóriába tartozó események száma jelentős és több alkalommal fordult elő 24 óra alatt lehulló, 30 cm-t elérő hó mennyiség.

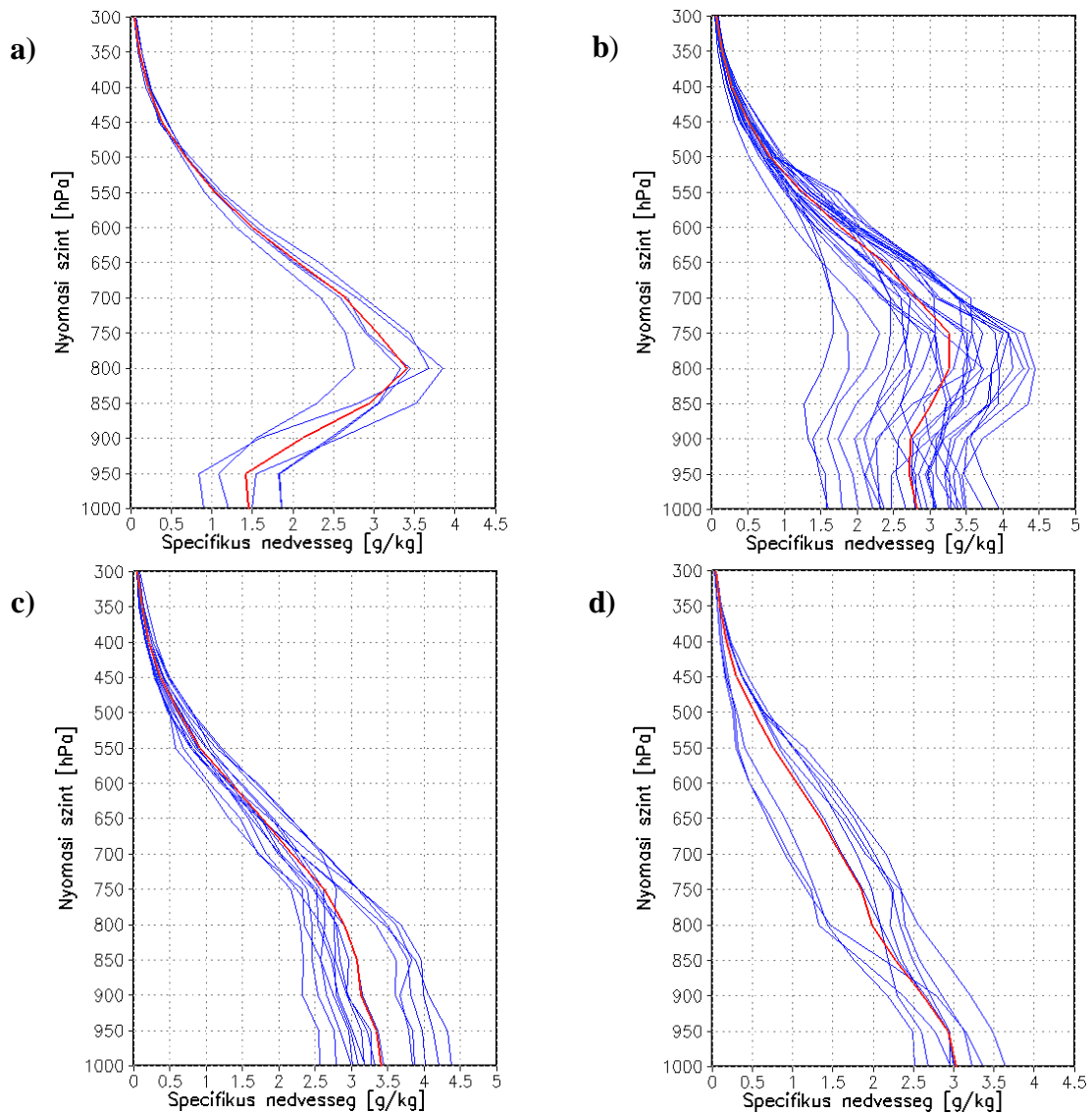
14. táblázat – A III. kategóriába sorolt vertikális metszetekhez tartozó állomás helye, dátum, hóvastagság (cm) és specifikus nedvességtartalom (g/kg)

Állomás helye	Dátum	Hóvastagság (cm)	Specifikus nedvességtartalom (g/kg)
Miskolc	1981.11.29.	21	23,29
Győr-Likócs	1983.02.07.	22	26,38
Miskolc	1983.02.07.	23	27,49
Siófok	1983.02.07.	21	28,19
Keszthely	1986.02.10.	22	21,89
Siófok	1986.02.10.	21	20,00
Szentgotthárd-Farkasfa	1986.02.10.	33	20,27
Szombathely	1986.02.10.	20	18,27
Zalaegerszeg	1986.02.10.	30	22,28
Kaposvár	1999.02.10.	27	29,43
Miskolc	1999.02.10.	23	21,12
Nagykanizsa	1999.02.10.	25	28,61
Nyíregyháza	1999.02.10.	30	22,47
Siófok	1999.02.10.	32	23,64
Debrecen	2003.02.05.	20	24,26

Az utolsó, IV. kategóriába (15. táblázat) csoportosítottuk azon eseteket, amelyekre jellemző az alsó légrétegek magas nedvességtartalma, amely a magassággal fokozatosan, a III. kategóriába soroltaknál gyorsabb ütemben csökken (25. ábra (d)). E szekció az előző két csoportnál kevesebb eseményt tartalmaz és többnyire alacsonyabb specifikus nedvességtartalom értékek jellemzik.

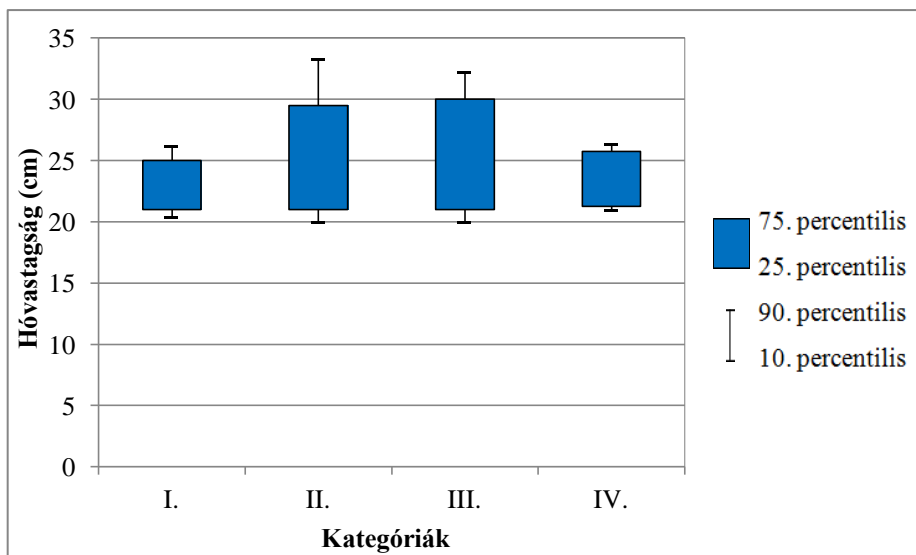
15. táblázat – A IV. kategóriába sorolt vertikális metszetekhez tartozó állomás helye, dátum, hóvastagság (cm) és specifikus nedvességtartalom (g/kg)

Állomás helye	Dátum	Hóvastagság (cm)	Specifikus nedvességtartalom (g/kg)
Kaposvár	1981.11.29.	20	22,88
Pápa	1999.02.10.	25	17,84
Szentgotthárd-Farkasfa	1999.02.10.	24	20,66
Kecskemét	1999.11.20.	26	16,01
Paks	1999.11.20.	29	14,68
Szentgotthárd-Farkasfa	1999.11.20.	23	14,31
Miskolc	2003.02.05.	26	20,60
Paks	2003.02.05.	21	22,03
Szentkirályszabadja	2003.02.05.	22	19,65



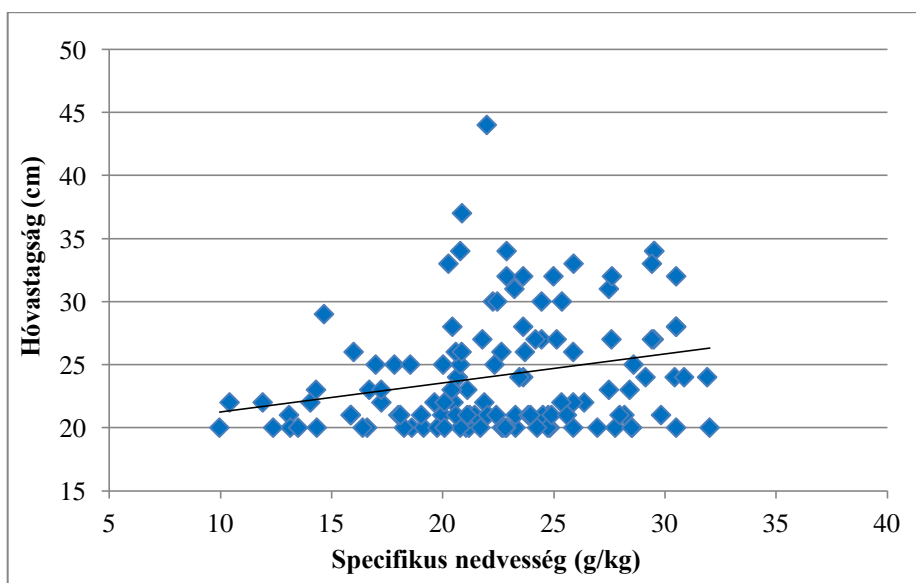
**25. ábra – Az egyes kategóriákhoz tartozó állomások specifikus nedvességre vonatkozó együttes vertikális metszete (kék) az átlag feltüntetésével (piros): I. kategória (a), II. kategória (b), III. kategória (c), IV. kategória (d)**

Az egyes eseményekhez tartozó hóvastagság értékek eloszlását kategóriánként Box-Whisker diagramon illusztráltuk, feltüntetve a 10. 25. 75. és 90. percentilis értékeket (26. ábra). Látható, hogy minden kategóriában előfordul 24 óra alatt hullott, 25 cm-t meghaladó hómenyiség, és a hóvastagságok legnagyobb értékei a II. és III. kategóriákból kerülnek ki.



26. ábra – Az egyes kategóriákhoz tartozó hóvastagság értékek eloszlása

A 33 év alatt valamely napon az egyes állomások által detektált 24 óra alatt lehulló, legalább 20 cm-t elérő hómennyiség és az adott állomásra jellemző specifikus nedvességtartalom kapcsolatát scatter plot diagramon szemléltetjük (27. ábra). Elemzésünk során összesen 126 ilyen esetet találtunk. Az ábra alapján elmondható, hogy 24 óra alatt 30 cm-t elérő hómennyiség kialakulásához a napi átlagos specifikus nedvességtartalomnak minimum 20 g/kg-os értéket kell felvennie.



27. ábra – Az egyes állomások által regisztrált 24 óra alatt lehulló, minimum 20 cm-t elérő hóvastagság és az adott állomásra jellemző specifikus nedvességtartalom értékek kapcsolata

Hasonló módon illusztráltuk az egyes kategóriákban előforduló hóvastagság és az 1000 és 600 hPa-os szintek közötti specifikus nedvességtartalom értékeket, amelyek megtekinthetők a *Függelék F20. ábráján*. A különböző kategóriákat tekintve nem találtunk egyértelmű kapcsolatot a két mennyiség között. Az eredmény érdemben nem változott, ha a vizsgálatot a 900 és 650 hPa-os rétegre végeztük el, ahol a vertikális metszetek alapján a nedvességtartalom fő hányada található. A mediterrán ciklonok okozta havazás során nagy mennyiségű csapadék alakulhat ki azon területeken, ahol összeáramlás figyelhető meg. Jelen vizsgálatunkban csak a nedvességtartalmat elemeztük, ugyanakkor a kialakuló maximális hóvastagság egy másik fontos meghatározó tényezője az alacsonyszintű konvergenciavonalak, illetve a magassági divergencia mezők helyzete, amely a vertikális mozgást, a vertikális nedvességszállítást határozza meg, ilyen módon pedig a csapadékképződési folyamatokat. *Hirsch* (2006) kimutatta, hogy a földközi-tengeri ciklonok azon típusánál, amikor a légörvény középpontja hazánktól jelentősen délebbre, délkeletebbre helyezkedik el, és ezzel egy időben az országtól északra egy anticiklon húzódik, amelyhez tartozó hideg légtömeg körbefolyja a Kárpát-medencét, a Dunántúl keleti részén megjelenik egy határozott észak-dél irányú konvergenciavonal, amely mentén nagy mennyiségű hó hullik. Ugyanakkor ezen összeáramlási vonalak kirajzolódásához a reanalízis adatsort jellemző  $2^{\circ} \times 2^{\circ}$ -os, illetve az ettől finomabb  $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ -os horizontális felbontás sem elegendő. Az alacsonyszintű konvergenciavonalak, a magassági divergencia mező megfelelő szintű vizsgálatához célszerű lenne reanalízis adatokkal futtatott, nem-hidrosztatikus modellszimulációt alkalmazni.

## 6. Összefoglalás

A diplomamunka első része a Földközi-tenger felszíni hőmérséklete és a mediterrán ciklonok kialakulása közötti kapcsolat vizsgálatát tűzte ki célul. Ennek során az 1900 és 2012 közötti időszakra meghatározásra került egy általános kép a tenger évi átlaghőmérsékletének alakulásáról a teljes, a nyugati, valamint a középső medencére, amely a vízfelszín hőmérsékletének szignifikáns emelkedő tendenciáját jelezte. Emellett megállapítottuk a téli félév (októbertől márciusig) egyes hónapjainak SST eloszlását ugyanezen térségekre, valamint a Genovai-öbölt és a dél-olaszországi jellemző ciklogenezis központot tartalmazó tértartományra, és összevetettük az adott területen észlelt mediterrán ciklon gyakorisággal. A korreláció vizsgálatot a havi adatsorokra, valamint azok 20 éves mozgóátlagaira is elvégeztük, és a kapott eredményeket szignifikancia vizsgálat alá vontuk. A havi adatok elemzésekor a nyugati medencében februárra, a Genovai-öbölt tartalmazó térrészben októberre és februárra negatív előjelű, közepes korrelációt kaptunk, a többi esetben gyenge korreláció mutatható ki. A 20 éves mozgóátlagok tekintetében már több hónap elemzésénél jelentkezik közepes korreláció, amely némi kapcsolatot sejtet. A teljes medencében decemberben és februárban, előbbi pozitív, utóbbi negatív előjellel. A nyugati medencében október, november, december és március hónapokban negatív előjellel. A középső medencében november, december és január esetében figyelhető meg pozitív értékkel, míg a Genovai-öbölt tartalmazó térrészben februárban és márciusban jelentkezik negatív előjellel. A közepes korrelációk minden esetben szignifikánsnak bizonyultak.

Az elemzéseket az őszi és téli évszakra is elvégeztük. Ennek során éves szinten létező kapcsolatot egyik térség esetében sem találtunk. A 20 éves mozgóátlagok közötti összefüggések után kutatva néhány alkalommal előfordultak szignifikáns közepes korrelációk: a nyugati medence területén ősszel és télen negatív, a középső medencében az őszi évszakban pozitív, míg a Genovai-öbölt lefedő tértartományban a téli esetben negatív előjellel.

A vizsgálati eredmények azt mutatják, hogy általánosságban nem mutatható ki érdemi kapcsolat a Földközi-tenger felszíni hőmérséklete és a mediterrán ciklonok gyakorisága között. A 20 éves mozgóátlagokra kapott eredmények ugyanakkor azt feltételezik, hogy tendenciózus kapcsolat létezhet, de ez esetben sem lép fel szoros összefüggés. Ezen megállapítások összhangban állnak *Alpert et al.* (1990a) elemzéseinek

kimenetelével, akik a Földközi-tenger felszíni hőmérsékletének ciklogenezisben betöltött szerepét leginkább a tenger keleti térségében vélték meghatározónak, amely területek ugyanakkor nem képezték jelen munka vizsgálati tárgyát. Bár a mediterrán légörvények gyakoriságát a Földközi-tenger felszíni hőmérséklete jelen vizsgálat szerint nem befolyásolja, ugyanakkor hatással lehet a ciklonok kimélyülésének mértékére.

Elemmezve a vizsgált időszakban jellemző makroszinoptikus elrendeződéseket, magyarázatot találhatunk a mediterrán ciklonok gyakoriságának és a Földközi-tenger felszíni hőmérsékletének tendenciáira. E megfigyelések alapján arra következtethetünk, hogy a mediterrán légörvények előfordulási gyakorisága elsősorban nem a földközi-tengeri SST alakulásának, hanem a nagytérségű időjárási helyzetek függvénye.

A diplomamunka további részében a hóvastagság és a specifikus nedvesség közötti kapcsolatot vizsgáltuk Magyarország térségére. Azon eseményeket elemeztük, amelyek esetében 24 óra alatt legalább 20 cm hó hullott. Megállapítottuk, hogy 24 óra alatt lehulló, minimum 30 cm-t elérő hóvastagság kialakulásához a napi átlagos specifikus nedvességtartalomnak legalább 20 g/kg-os értéket kell felvennie. Ha ugyanazon napon minimum 3 meteorológiai állomáson mértek 24 óra alatt kialakuló, 20 cm-t elérő vagy meghaladó hó mennyiséget, az egyes állomások feletti levegő specifikus nedvességtartalmát az 1000 és 600 hPa-os szintek között vertikális metszeten ábrázoltuk és ezeket alakjuk szerint négy kategóriába osztottuk. A legtöbb ilyen esemény mediterrán ciklonok okozta havazáshoz köthető, amelyekben a ciklonközeppontra többnyire a Korzika–Róma–Dubrovnik tengely mentén helyezkedik el. A kategóriák esetében is vizsgáltuk a hóvastagság és a specifikus nedvességtartalom közötti összefüggést, azonban nem találtunk érdemi kapcsolatot.

A maximális hóvastagság előrejelzése kapcsán a vizsgálatokat célszerű lenne kibővíteni finom felbontású előrejelzési modell analízisek, vagy reanalízis adatok felhasználásával futtatott, nem-hidrosztatikus modellek eredményeinek alkalmazásával az alacsonyszintű konvergencia, illetve magassági divergencia mező elemzéséhez. A vizsgálatot továbbá érdemes lenne kiegészíteni a különböző makroszinoptikus helyzetekben ténylegesen lehullott hó vastagsága és a mért csapadékmennyiség közötti arány megállapításával, ezzel is segítséget nyújtva az előrejelző részére a pontosabb hó-víz arány meghatározásában.

## Köszönetnyilvánítás

Szeretném köszönetemet kifejezni *Fodor Zoltánnak* a rengeteg segítségért, ötletért és tanácsért, valamint hogy útmutatásával és rám szánt idejével hozzásegített a diplomamunka elkészítéséhez.

Köszönettel tartozom továbbá *Soósné dr. Dezső Zsuzsannának* munkám ellenőrzéséért és tanácsaiért.

Végül hálámat szeretném kifejezni *családomnak* és *barátaimnak* a diplomamunka írása során tanúsított megértésükért és támogatásukért.



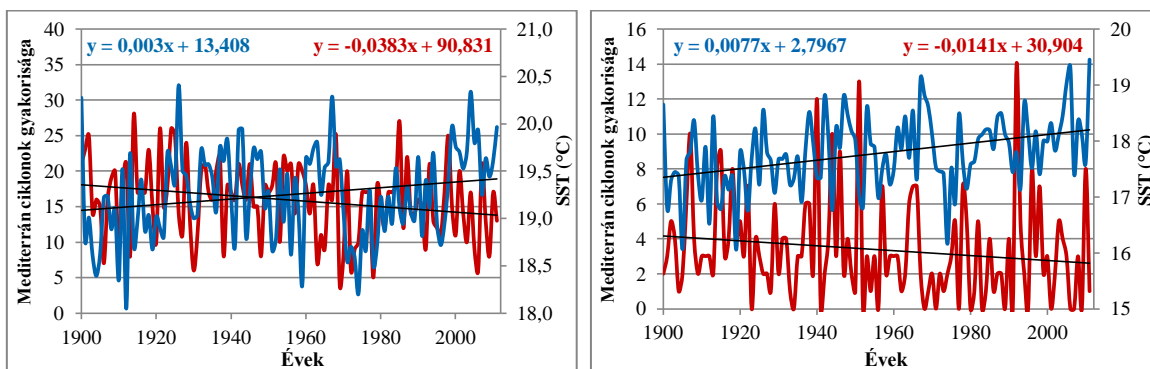
## Irodalomjegyzék

- Alpert, P., and Ziv, B., 1989: The Sharav cyclone: Observations and some theoretical considerations. *J. Geophys. Res.*, 94, 18 495–18 514.
- Alpert, P., Neeman, B.U., and Shay-El, Y., 1990a: Climatological analysis of Mediterranean cyclones using ECMWF data. *Tellus*, 42A, 65–77.
- Apostol, L., 2008: The mediterranean cyclones – The role in ensuring water resources and their potential of climatic risk, in the east of Romania, *Present Environment and Sustainable Development* 2, 143-163.
- Bartholy, J., Pongrácz, R., Pattantyús-Ábrahám, M., 2009: Analyzing the genesis, intensity, and tracks of western Mediterranean cyclones, *Theoretical and Applied Climatology* 96 , 133-144.
- Baša, J., 2007: Lee cyclogenesis, Szemináriumi dolgozat, Faculty of Mathematics and Physics Chair of Meteorology, University of Ljubljana (témavezető: doc. dr Mark Žagar). 16 p.
- Bednorz, E., 2011: Synoptic conditions of heavy snowstorms in Europe, 6th European Conference on Severe Storms (ECSS 2011) , 3 - 7 October 2011, Palma de Mallorca, Balearic Islands, Spain
- Compo, G.P., Whitaker, J.S., Sardeshmukh, P.D., Matsui, N., Allan, R.J., Yin, X., Gleason, B.E., Vose, R.S., Rutledge, G., Bessemoulin, P., Brönnimann, S., Brunet, M., Crouthamel, R.I., Grant, A.N., Groisman, P.Y., Jones, P.D., Kruk, M., Kruger, A.C., Marshall, G.J., Maugeri, M., Mok, H.Y., Nordli, O., Ross, T.F., Trigo, R.M., Wang, X.L., Woodruff, S.D., and Worley, S.J., 2011: The Twentieth Century Reanalysis Project. *Quarterly J. Roy. Meteorol. Soc.*, 137, 1-28. DOI: 10.1002/qj.776.
- Cook, B.J., 1980: A snow index using 200 mb warm advection. *Natl. Wea. Dig.*, 5, 29–40.
- Garcia, C., Jr., 1994: Forecasting snowfall using mixing ratios on an isentropic surface—An empirical study. NOAA Tech. Memo. NWS CR-105, PB 94-188760 NOAA/NWS, 31 p.
- Gordon, J.D., 1998: A comprehensive winter weather forecast checklist. Scientific Services Division Applied Research Paper 18-08, NWS Central Region Headquarters.
- Hirsch, T., 2000: Synoptic-climatological investigation of weather systems causing heavy precipitation in winter in Hungary. *Időjárás*, Vol. 104, No. 3, July-September 2000, 173-196.
- Hirsch, T., 2006: Téli magyarországi nagy csapadékos helyzetek vizsgálata és előrejelzése. Doktori értekezés. ELTE, Budapest. (témavezető: Dr. Iványi Zsuzsa). 86 p.
- Holton, J.R. 2004: *An Introduction to Dynamic Meteorology*, Elsevier Academic Press, 535 p.
- Huang, B., Banzon, V.F., Freeman, E., Lawrimore, J., Liu, W., Peterson, T.C., Smith, T.M., Thorne, P.W., Woodruff, S.D., and Zhang, H.-M., 2014: Extended Reconstructed Sea Surface Temperature version 4 (ERSST.v4): Part I. Upgrades and intercomparisons. *Journal of Climate*, in press, doi:10.1175/JCLI-D-14-00006.1

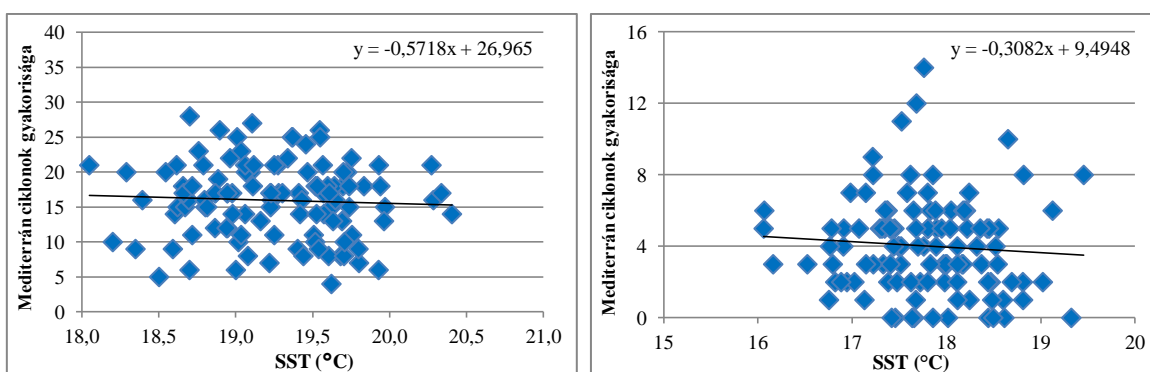
- Kelemen, F. D., Bartholy, J., Pongrácz, R., 2012: A mediterrán ciklonok klimatológiai vizsgálatára reanalízis adatok alapján, *Légtér* 57. évf., 4. szám, 184-187.
- Kelemen, F. D., Bartholy, J., Pongrácz, R., 2015: Multivariable cyclone analysis in the Mediterranean region, *Időjárás*, Vol. 119, No. 2, April-June, 2015, 159-184.
- Lionello, P., Bhandari, J., Buzzi, A., Della-Marta, P. M., Krichak, S. O., Jansá, A., Maheras, P., Sanna, A., Trigo, I. F., Trigo, R., 2006: Cyclones in the Mediterranean Region: Climatology and Effects on the Environment, In: Lionello, P., Malanotte-Rizzoli, P., Boscolo, R. (Eds.), *Mediterranean Climate Variability*. Elsevier, Amsterdam, The Netherlands, 325-372. (Developments in Earth and Environmental Sciences 4 (C)).
- Reiter, E.R., 1975: Handbook for forecasters in the Mediterranean, Tech. Paper No. 5-75, Naval Postgraduate School, Monterey, CA., 344 p.
- Schultz, D.M., Cortinas, J.V., Jr., and Doswell, C.A. III, 2002: Comments on "An operational ingredients-based methodology for forecasting midlatitude winter season precipitation." *Weather Forecasting*, 17, 160-167.
- Stickler, A., Storz, S., Wartenburger, R., Hersbach, H., Compo, G.P., Poli, P., Dee, D., Brönnimann, S., 2015: Upper-air observations from the German Atlantic Expedition (1925–27) and comparison with the Twentieth Century and ERA-20C reanalyses, *Meteorologische Zeitschrift* Vol. 24 No. 5 (2015), 525 – 544.
- Tafferner, A., 1990: Lee cyclogenesis resulting from the combined outbreak of cold air and potential vorticity against the Alps, *Meteorology and Atmospheric Physics*, Volume 43, Issue 1-4, 31-47.
- Trigo, I.F., Davies, T.D., Bigg, G.R., 1999: Objective Climatology of Cyclones in the Mediterranean Region, *Journal of Climate* 12, 1685-1696.
- Trigo, I.F., Bigg, G.R., Davies T.D., 2002: Climatology of Cyclogenesis Mechanisms in the Mediterranean, *Monthly Weather Review* 130, 549-569.
- Woodward, J., 2009: *The Physical Geography of the Mediterranean*, Oxford University Press, Oxford Regional Environments Series, Oxford, 700 p.

# Függelék

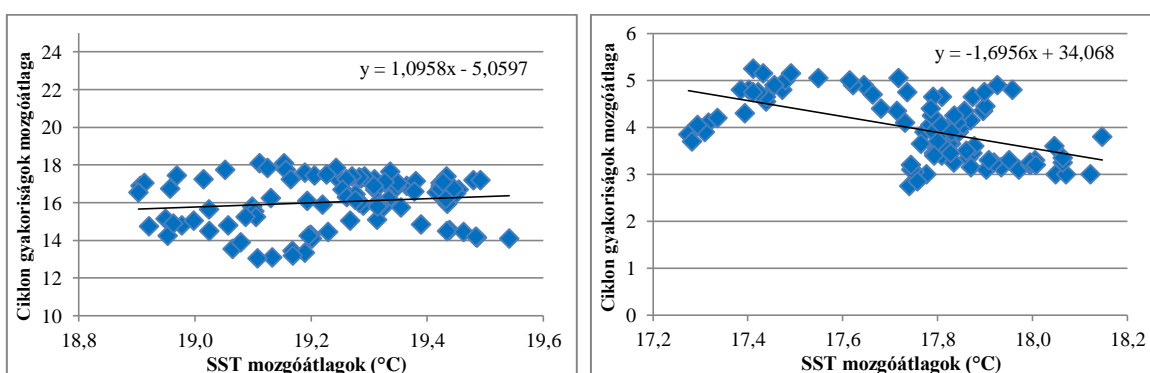
a)



b)

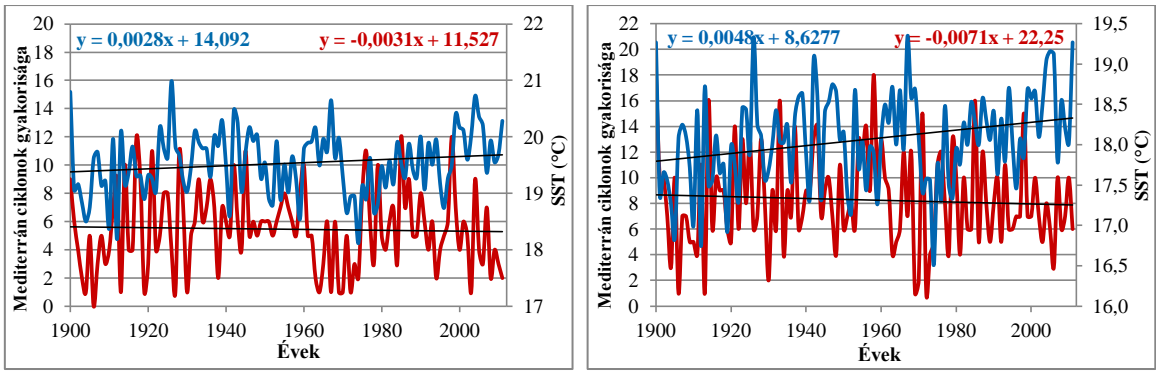


c)

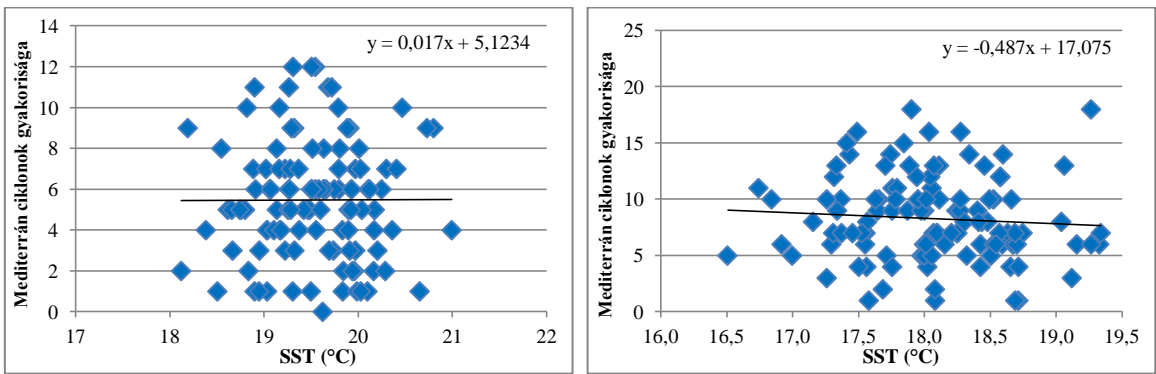


**F1. ábra – A Földközi-tenger teljes (bal oldal) és nyugati medencéjének (jobb oldal) 1900-2011 közötti novemberi SST eloszlása (kék) és mediterrán ciklonok gyakorisága (piros) (a), korrelációs diagramjuk (b), és 20 éves mozgóátlagok korrelációs diagramja (c), a lineáris regressziós egyenesek és a trend egyenletek feltüntetésével**

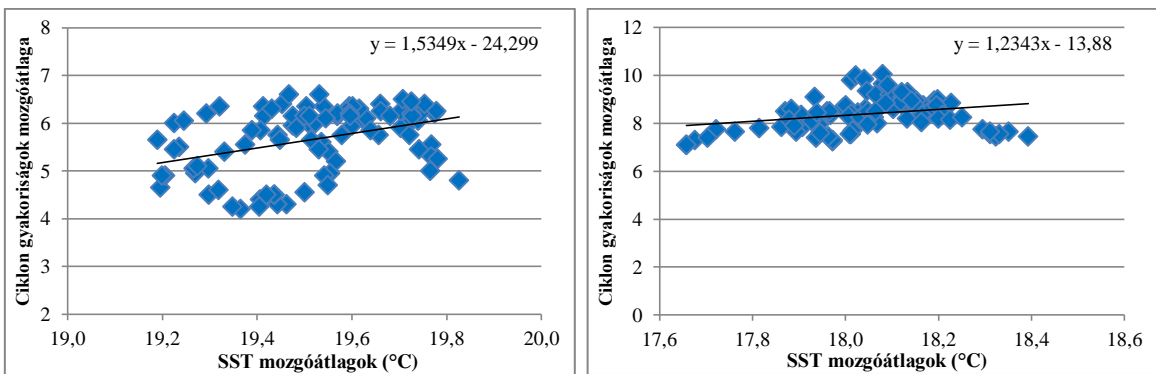
a)



b)

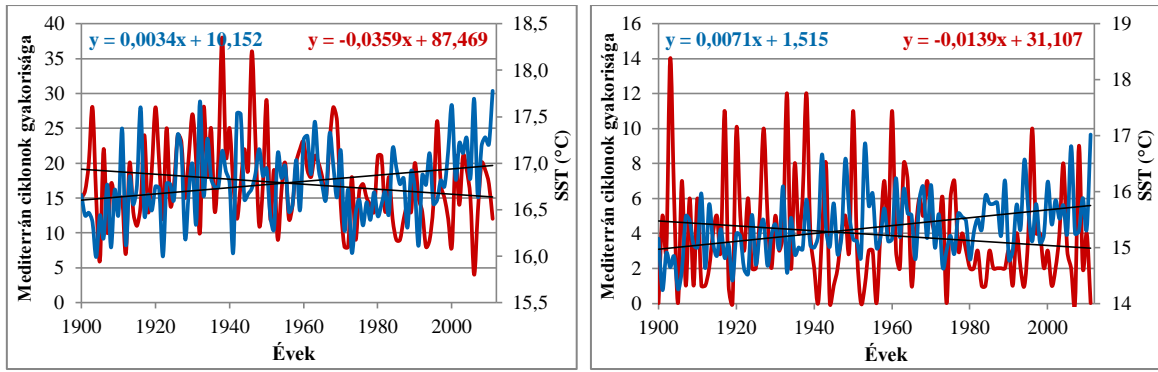


c)

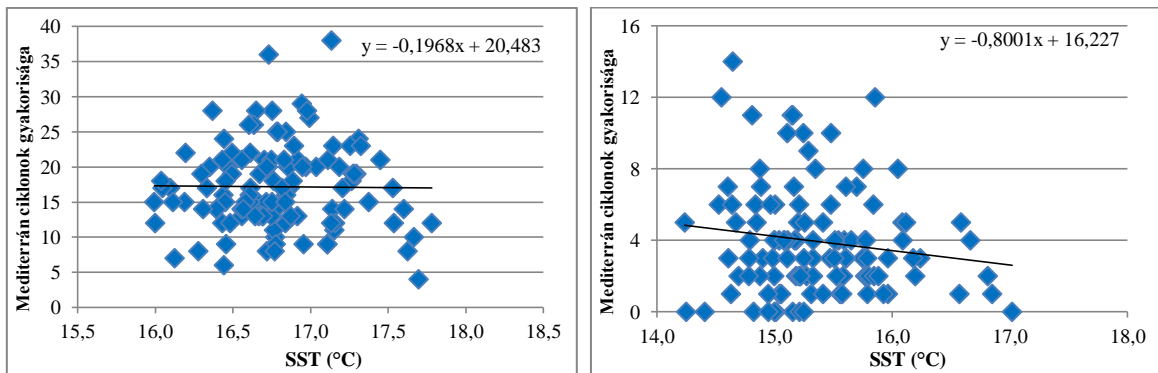


**F2. ábra – A Földközi-tenger középső medencéjének (bal oldal) és a Genovai-öbölt lefedő térrész (jobb oldal) 1900-2011 közötti novemberi SST eloszlása (kék) és mediterrán ciklonok gyakorisága (piros) (a), korrelációs diagramjuk (b), és 20 éves mozgóátlagok korrelációs diagramja (c), a lineáris regressziós egyeneseik és a trendegyenletek feltüntetésével**

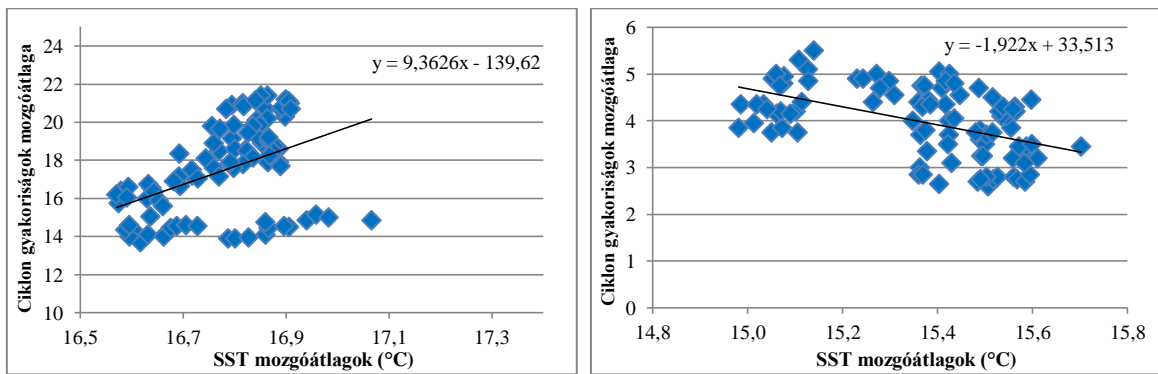
a)



b)

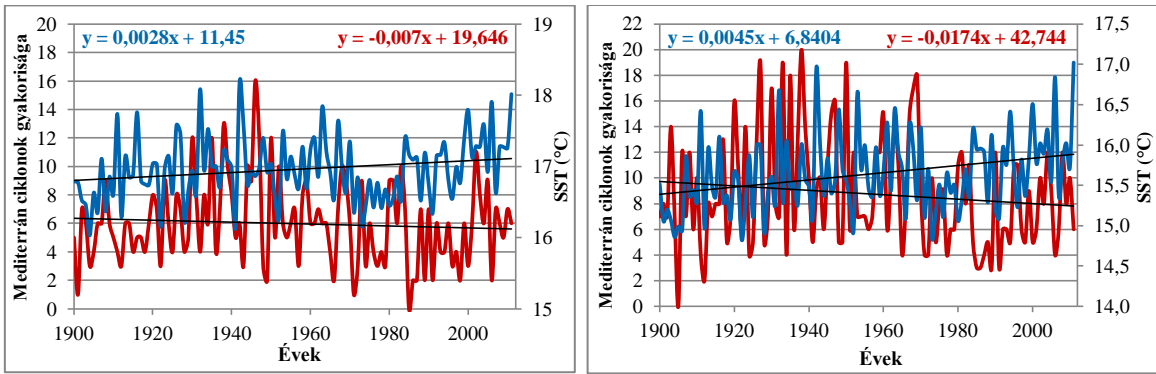


c)

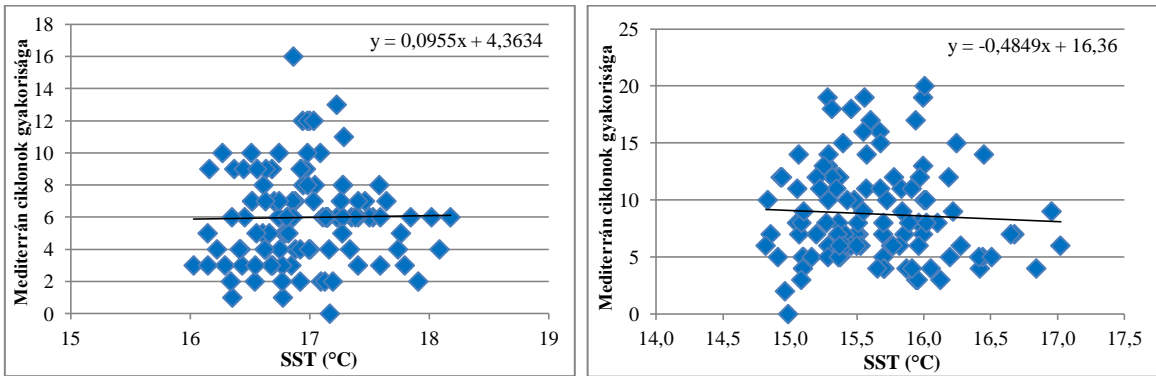


**F3. ábra – A Földközi-tenger teljes (bal oldal) és nyugati medencéjének (jobb oldal) 1900-2011 közötti decemberi SST eloszlása (kék) és mediterrán ciklonok gyakorisága (piros) (a), korrelációs diagramjuk (b), és 20 éves mozgóátlagaik korrelációs diagramja (c), a lineáris regressziós egyenesek és a trendegyenletek feltüntetésével**

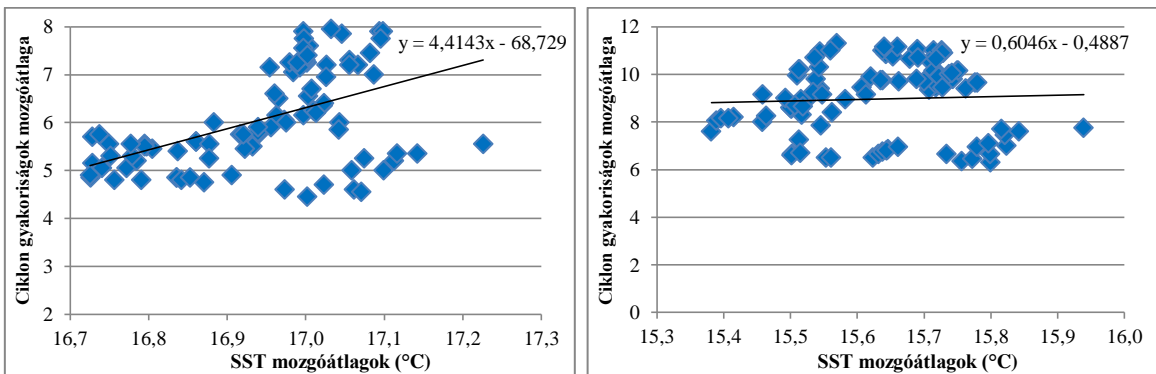
a)



b)

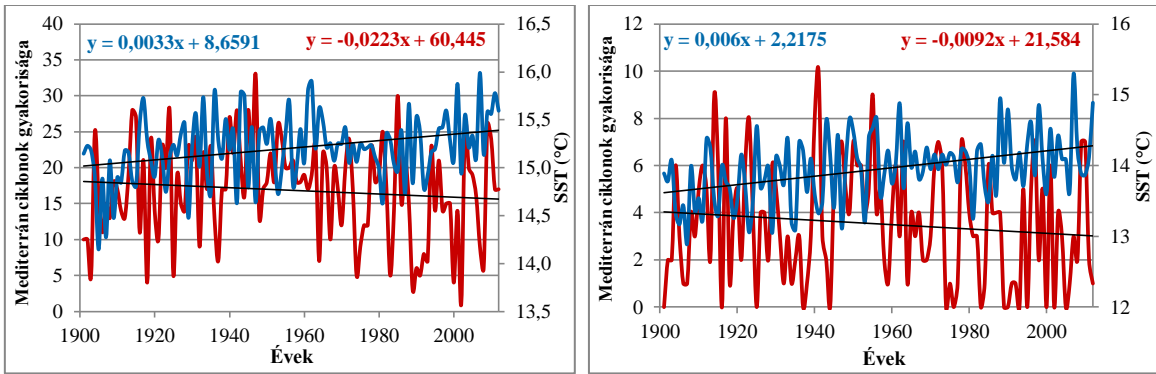


c)

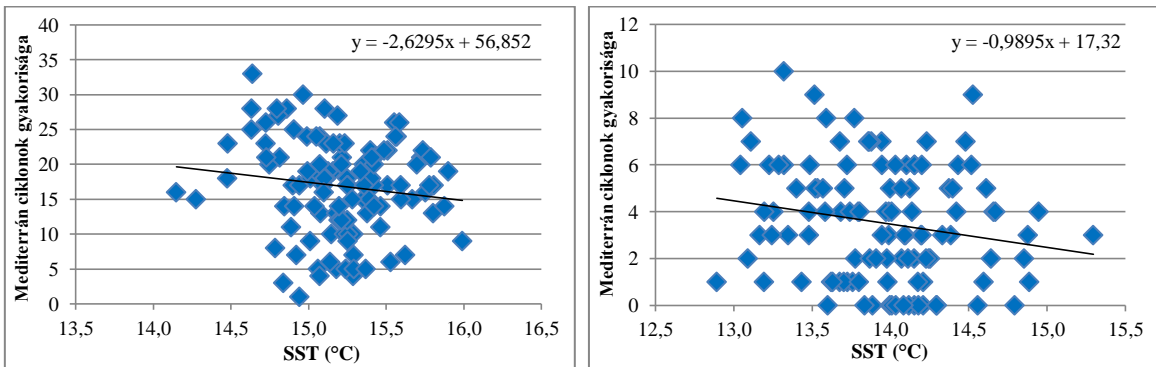


**F4. ábra – A Földközi-tenger középső medencéjének (bal oldal) és a Genovai-öbölt lefedő térrész (jobb oldal) 1900-2011 közötti decemberi SST eloszlása (kék) és mediterrán ciklonok gyakorisága (piros) (a), korrelációs diagramjuk (b), és 20 éves mozgóátlagok korrelációs diagramja (c), a lineáris regressziós egyenesek és a trendegyenletek feltüntetésével**

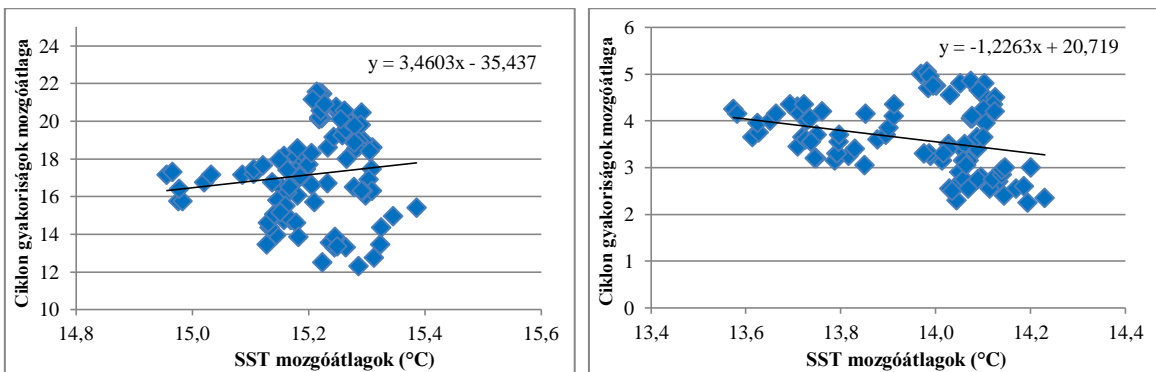
a)



b)

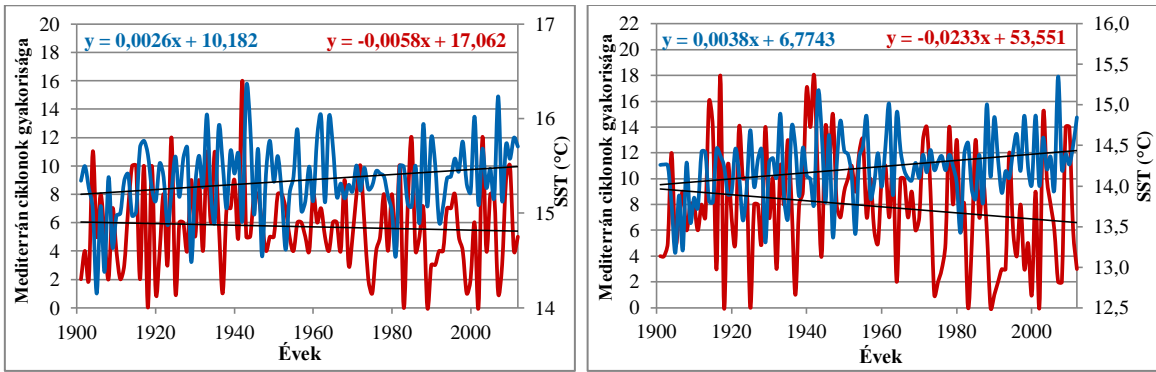


c)

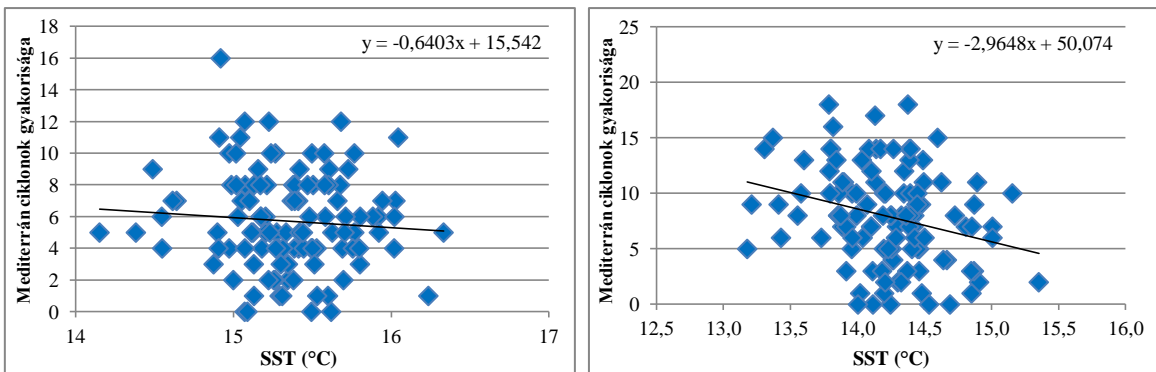


F5. ábra – A Földközi-tenger teljes (bal oldal) és nyugati medencéjének (jobb oldal) 1901-2012 közötti januári SST eloszlása (kék) és mediterrán ciklonok gyakorisága (piros) (a), korrelációs diagramjuk (b), és 20 éves mozgóátlagok korrelációs diagramja (c), a lineáris regressziós egyenesek és a trendegyenletek feltüntetésével

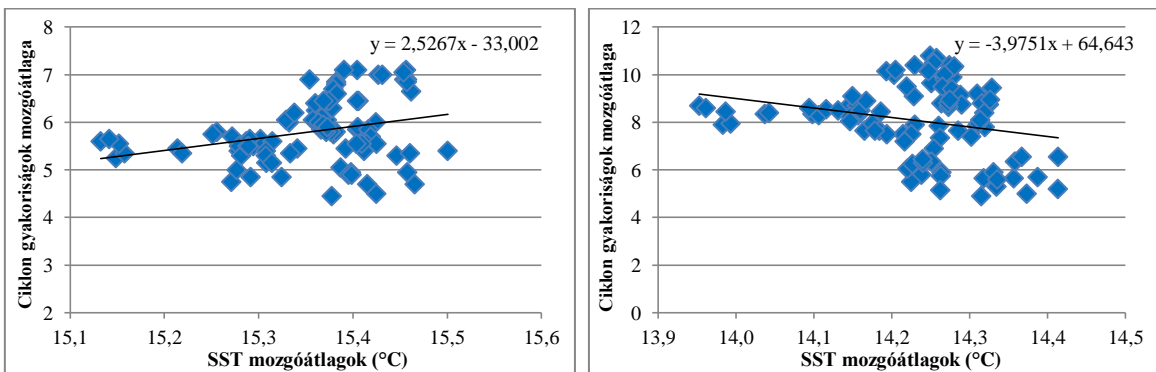
a)



b)



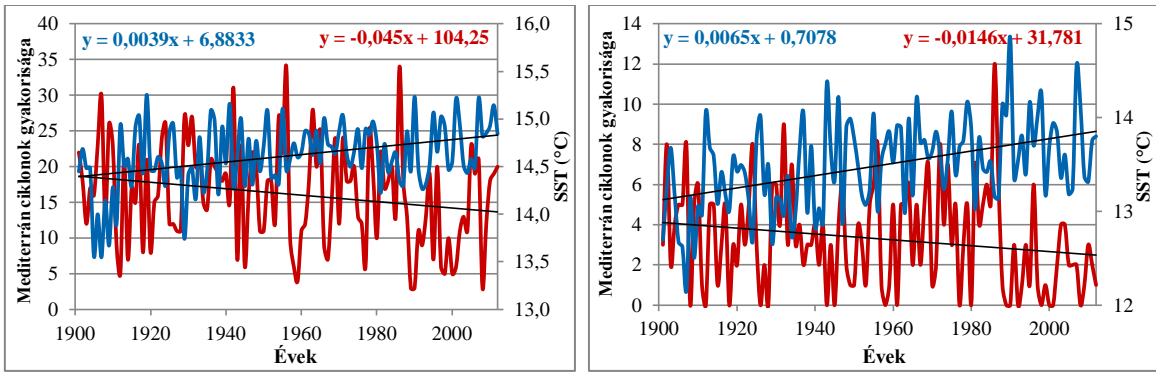
c)



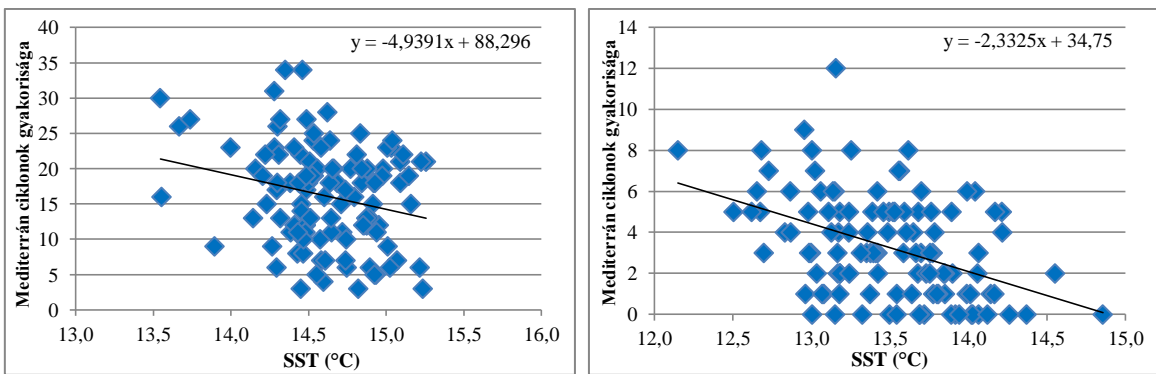
**F6. ábra – A Földközi-tenger középső medencéjének (bal oldal) és a Genovai-öbölt lefedő térrész (jobb oldal) 1900-2011 közötti januári SST eloszlása (kék) és mediterrán ciklonok gyakorisága (piros) (a), korrelációs diagramjuk (b), és 20 éves mozgóátlagaik korrelációs diagramja (c), a lineáris regressziós egyeneseik és a trendegyenletek feltüntetésével**



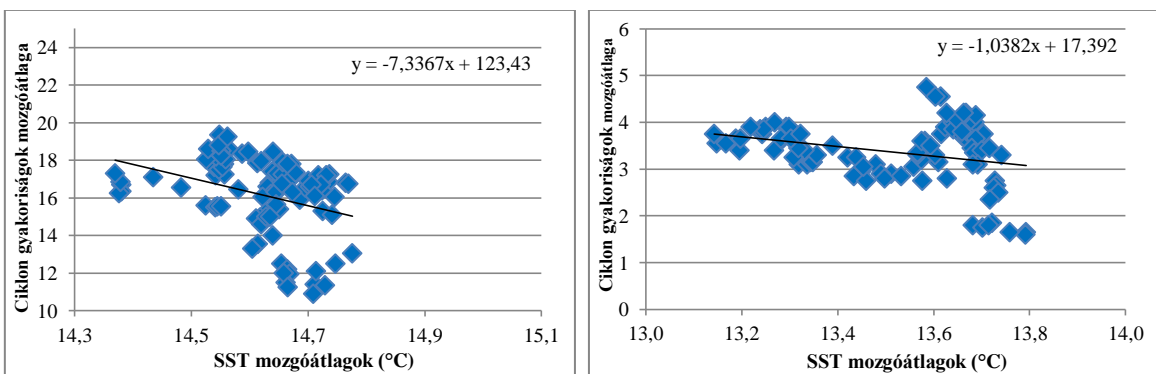
a)



b)

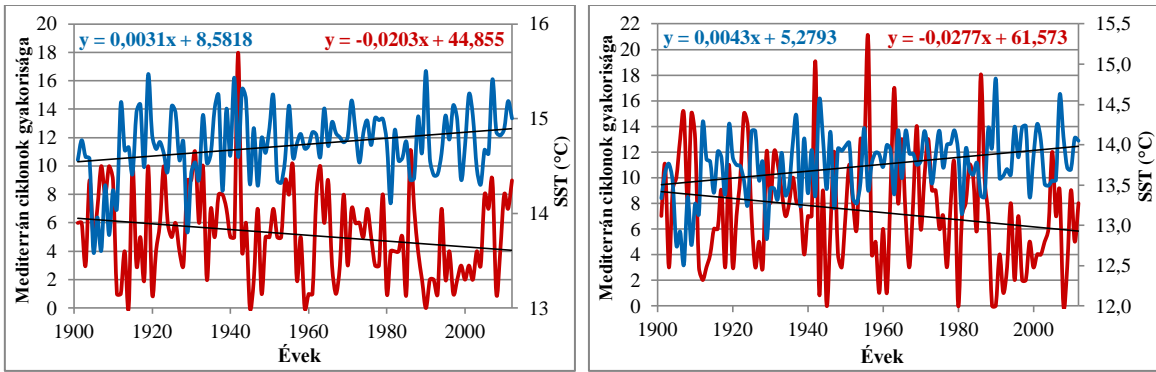


c)

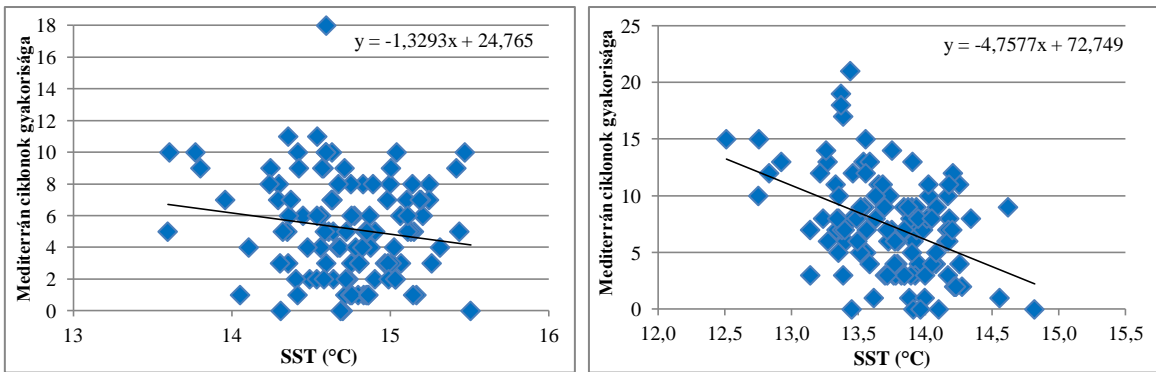


F7. ábra – A Földközi-tenger teljes (bal oldal) és nyugati medencéjének (jobb oldal) 1901-2012 közötti februári SST eloszlása (kék) és mediterrán ciklonok gyakorisága (piros) (a), korrelációs diagramjuk (b), és 20 éves mozgóátlagok korrelációs diagramja (c), a lineáris regressziós egyenesek és a trend egyenletek feltüntetésével

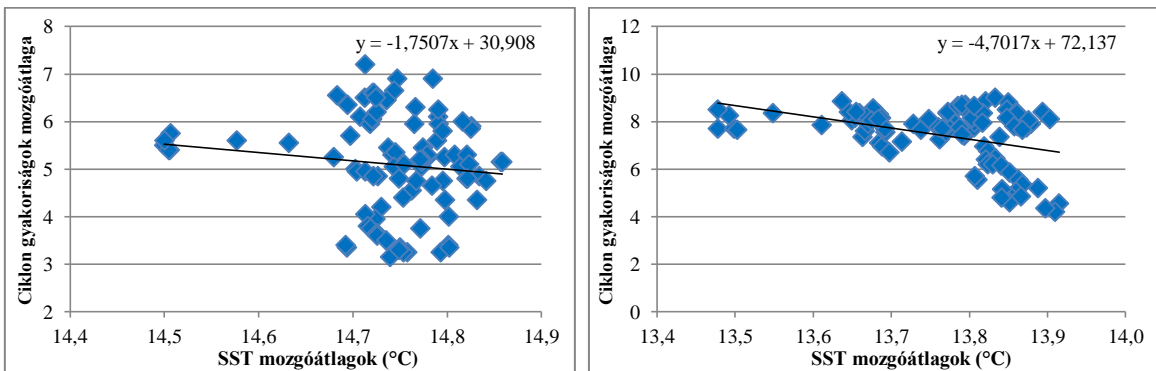
a)



b)

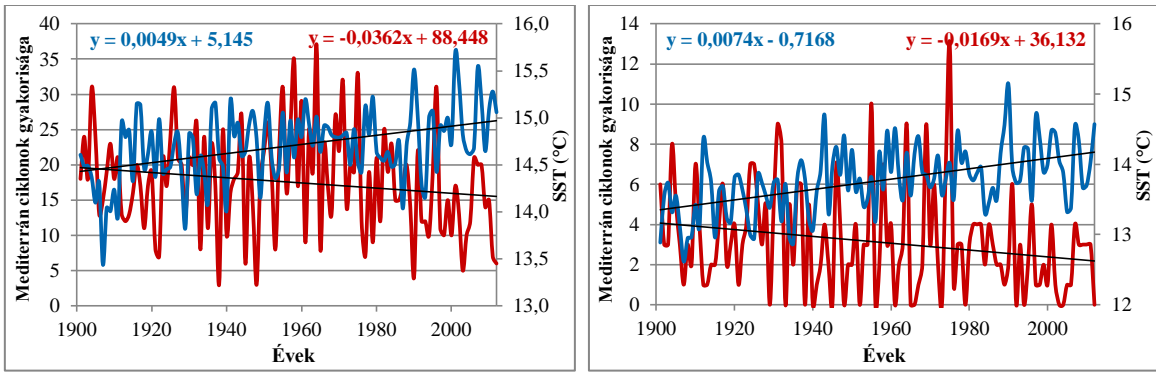


c)

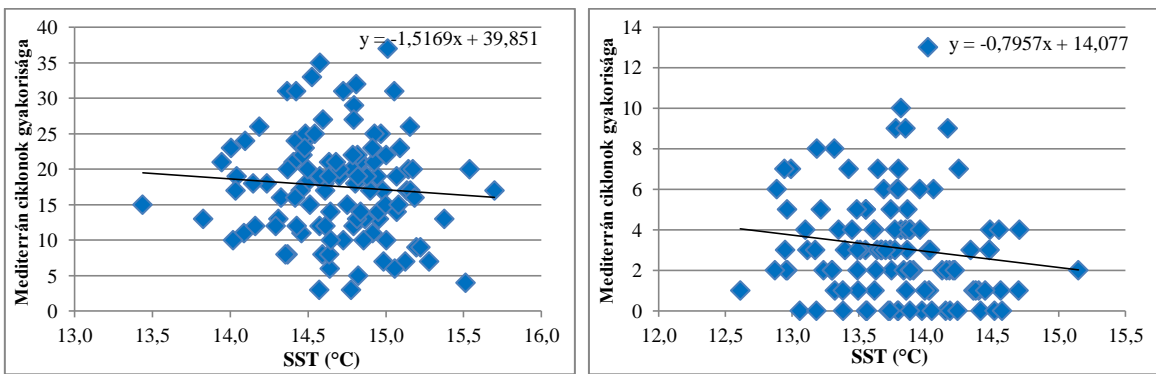


**F8. ábra – A Földközi-tenger középső medencéjének (bal oldal) és a Genovai-öbölt lefedő térrész (jobb oldal) 1900-2011 közötti februári SST eloszlása (kék) és mediterrán ciklonok gyakorisága (piros) (a), korrelációs diagramjuk (b), és 20 éves mozgóátlagok korrelációs diagramja (c), a lineáris regressziós egyenesek és a trendegyenletek feltüntetésével**

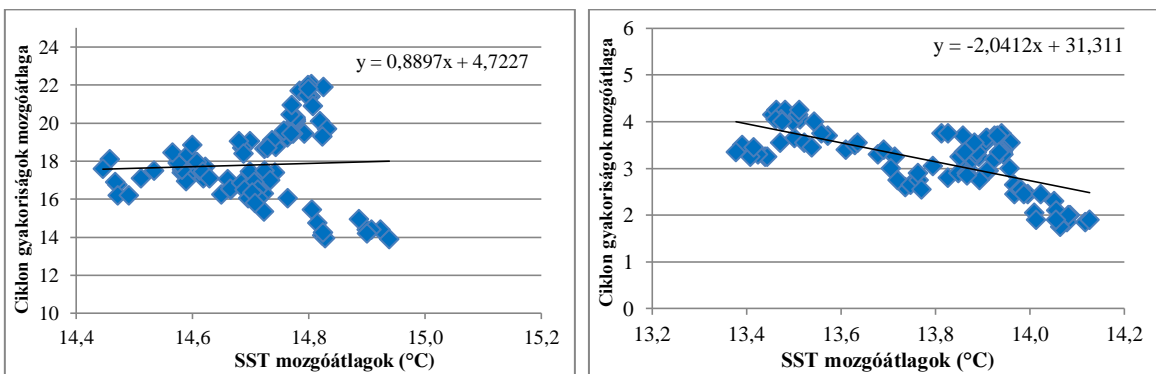
a)



b)

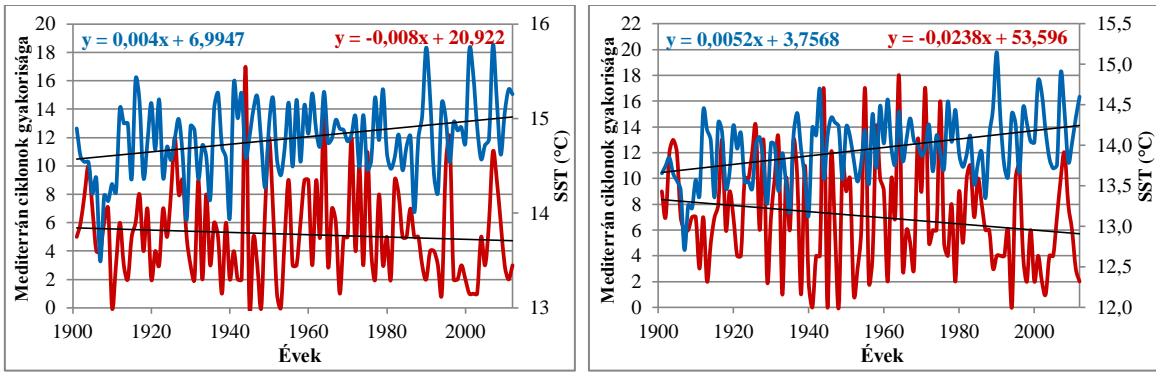


c)

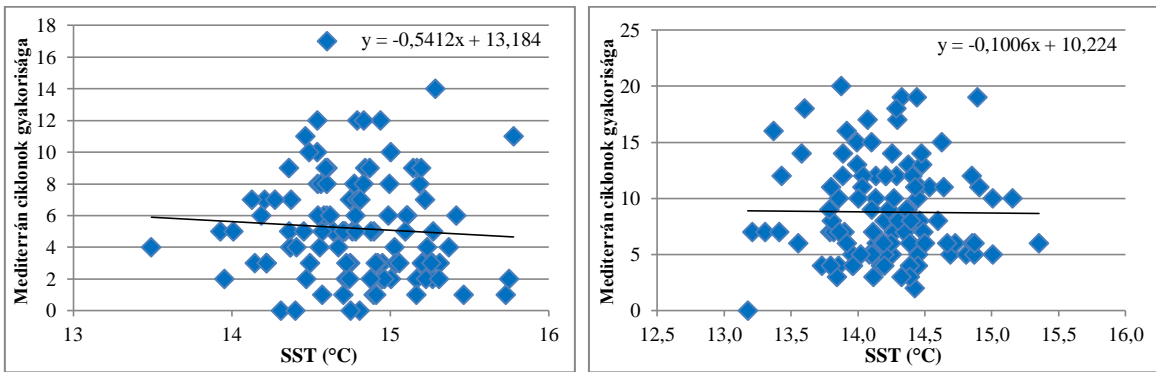


**F9. ábra – A Földközi-tenger teljes (bal oldal) és nyugati medencéjének (jobb oldal) 1901-2012 közötti márciusi SST eloszlása (kék) és mediterrán ciklonok gyakorisága (piros) (a), korrelációs diagramjuk (b), és 20 éves mozgóátlagaik korrelációs diagramja (c), a lineáris regressziós egyenesek és a trendegyenletek feltüntetésével**

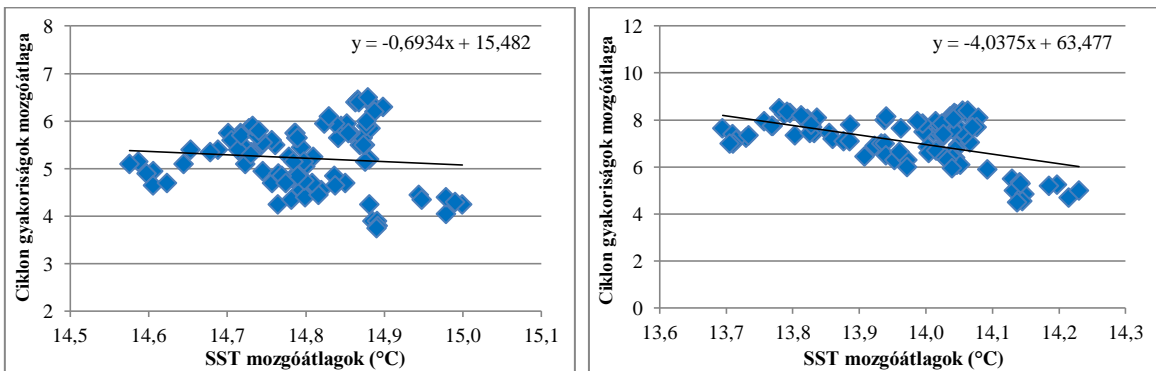
a)



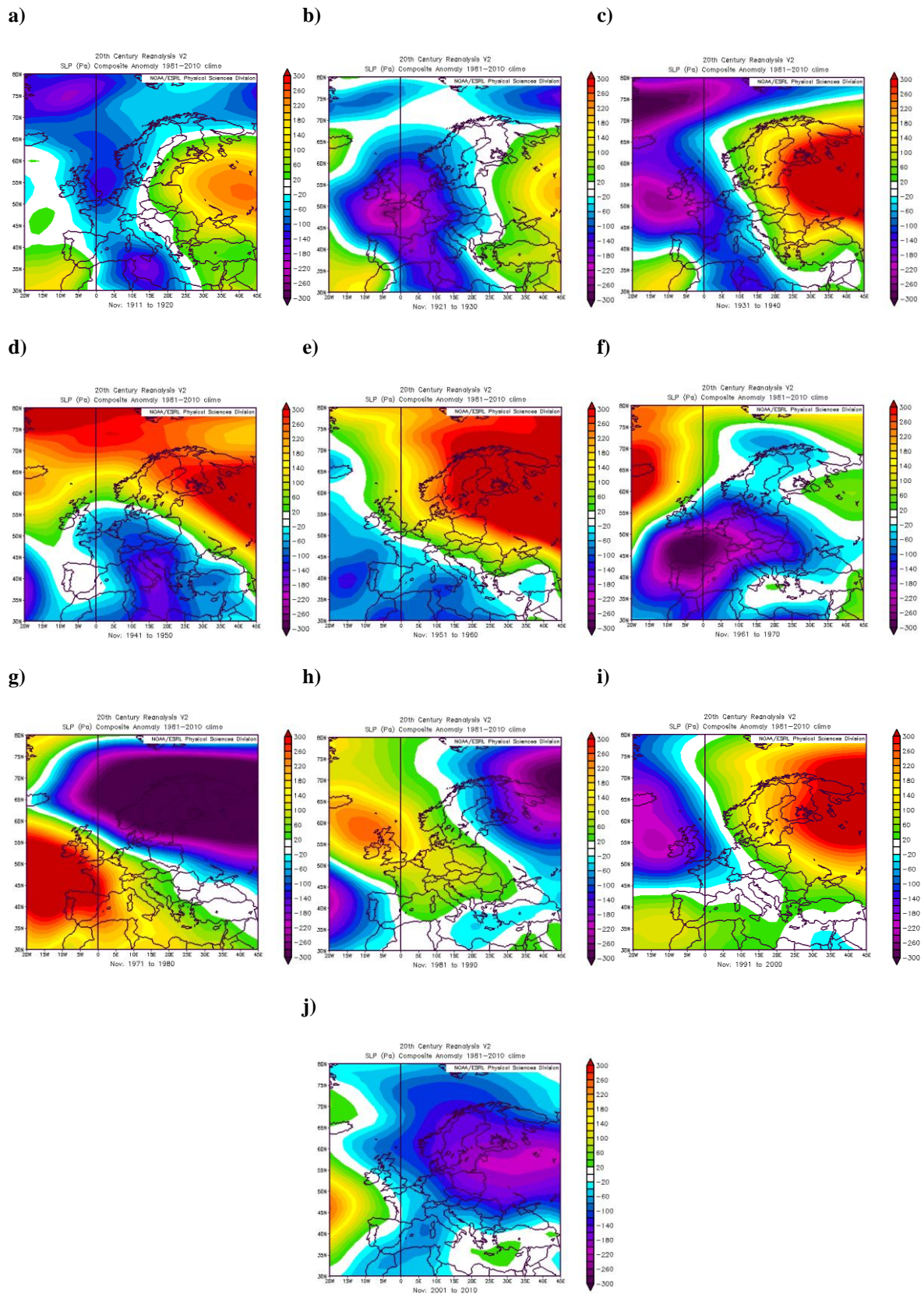
b)



c)



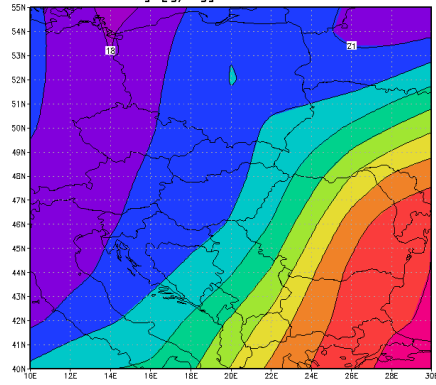
**F10. ábra – A Földközi-tenger középső medencéjének (bal oldal) és a Genovai-öbölt lefedő térrész (jobb oldal) 1900-2011 közötti márciusi SST eloszlása (kék) és mediterrán ciklonok gyakorisága (piros) (a), korrelációs diagramjuk (b), és 20 éves mozgóátlagaik korrelációs diagramja (c), a lineáris regressziós egyenesek és a trendegyenletek feltüntetésével**



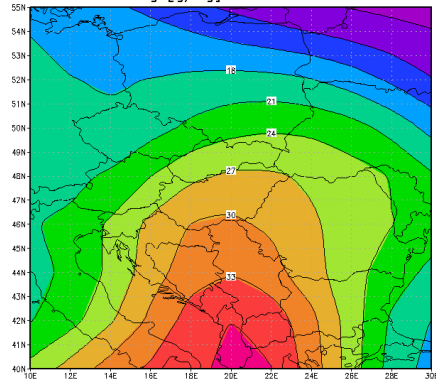
**F11. ábra – A klímaátlaghoz (1981-2010) viszonyított 1911-2010 közötti novemberi tengerszintű légnyomás anomáliák (Pa): 1911-1920 (a), 1921-1930 (b), 1931-1940 (c), 1941-1950 (d), 1951-1960 (e), 1961-1970 (f), 1971-1980 (g), 1981-1990 (h), 1991-2000 (i), 2001-2010 (j)**



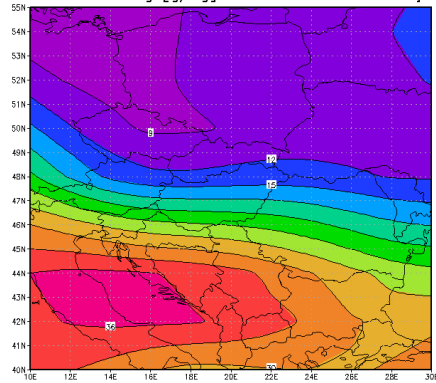
Specifikus nedvesseg [g/kg] 1000–600 hPa 1981. nov. 29.



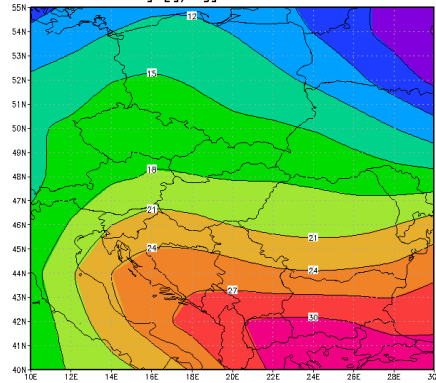
Specifikus nedvesseg [g/kg] 1000–600 hPa 1983. feb. 7.



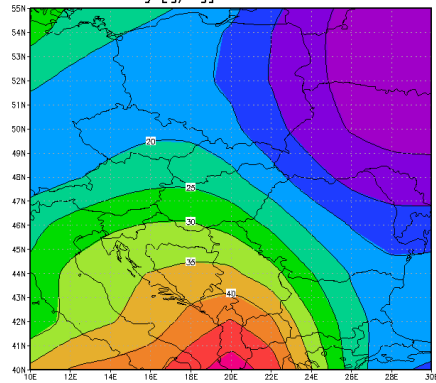
Specifikus nedvesseg [g/kg] 1000–600 hPa 1984. jan. 22.



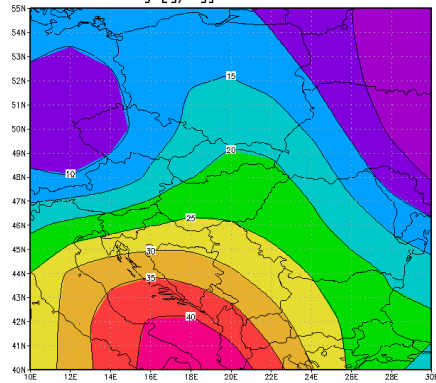
Specifikus nedvesseg [g/kg] 1000–600 hPa 1986. feb. 10.



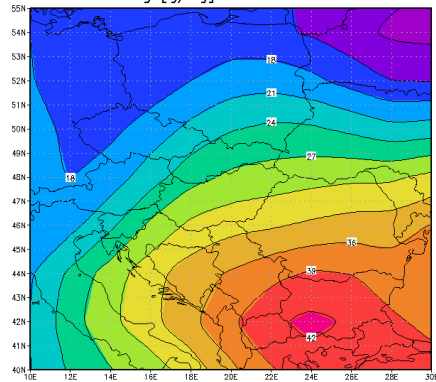
Specifikus nedvesseg [g/kg] 1000–600 hPa 1993. nov. 13.



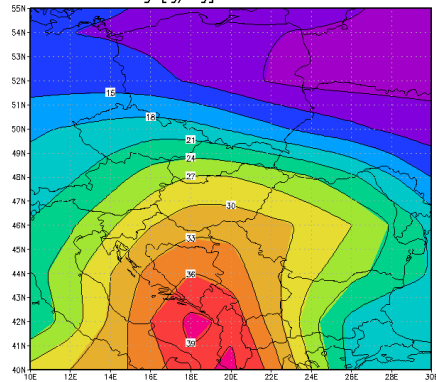
Specifikus nedvesseg [g/kg] 1000–600 hPa 1993. nov. 29.



Specifikus nedvesseg [g/kg] 1000–600 hPa 1993. dec. 27.

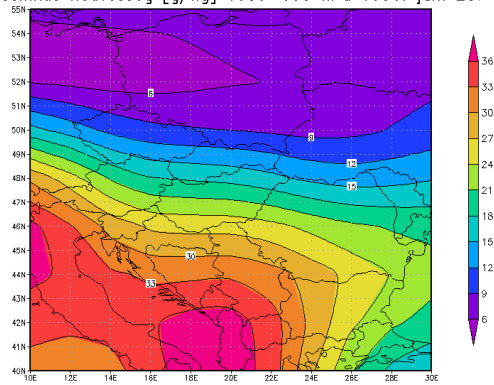


Specifikus nedvesseg [g/kg] 1000–600 hPa 1995. dec. 14.

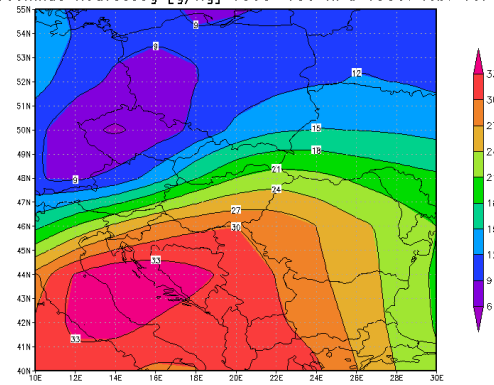


**F12. ábra – A specifikus nedvességtartalom horizontális eloszlása az 1000 és 600 hPa-os rétegben az 1981. november 29. és 1995. december 14. közötti esetekben**

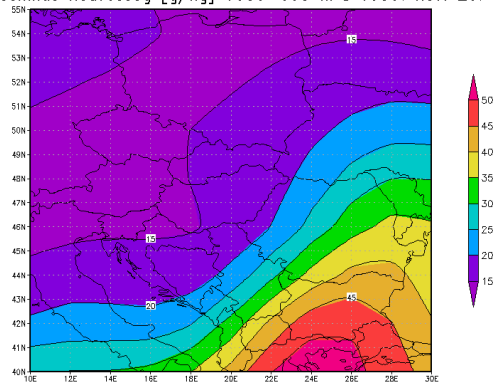
Specifikus nedvesseg [g/kg] 1000–600 hPa 1996. jan. 25.



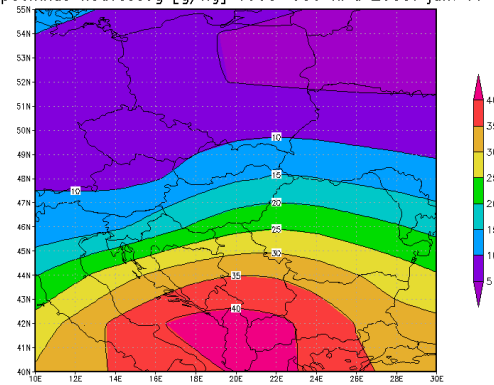
Specifikus nedvesseg [g/kg] 1000–600 hPa 1999. feb. 10.



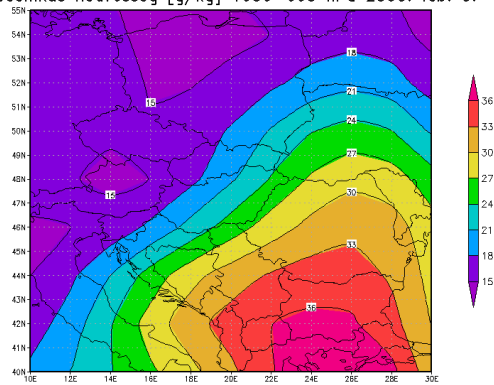
Specifikus nedvesseg [g/kg] 1000–600 hPa 1999. nov. 20.



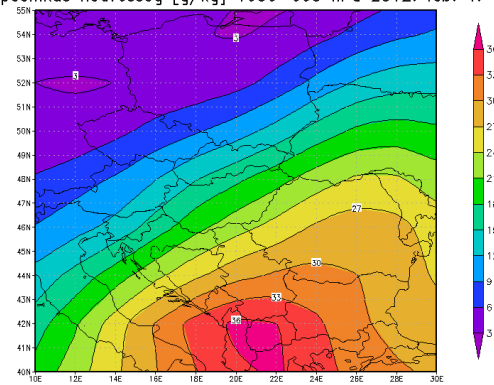
Specifikus nedvesseg [g/kg] 1000–600 hPa 2003. jan. 7.



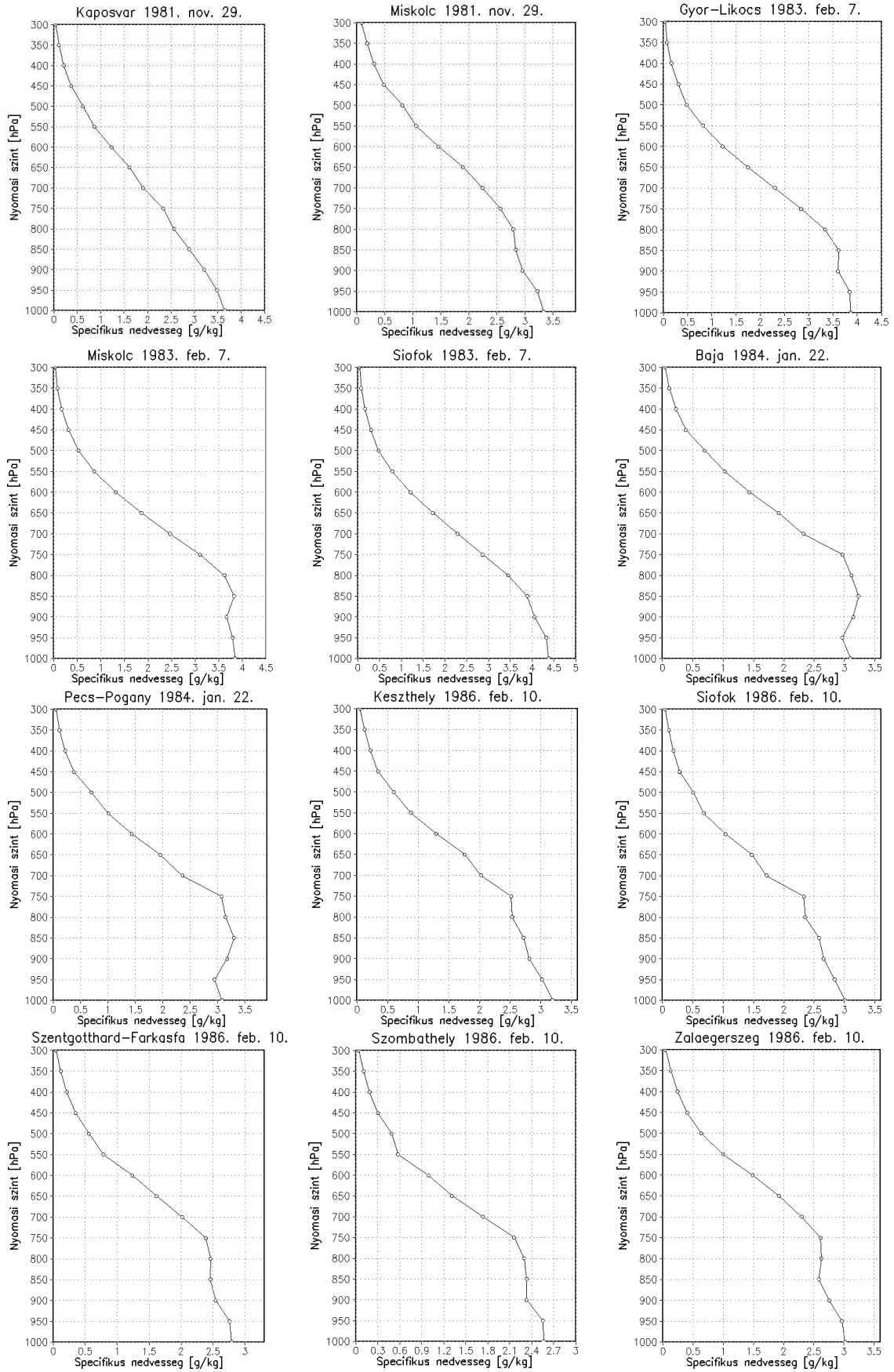
Specifikus nedvesseg [g/kg] 1000–600 hPa 2003. feb. 5.



Specifikus nedvesseg [g/kg] 1000–600 hPa 2012. feb. 4.

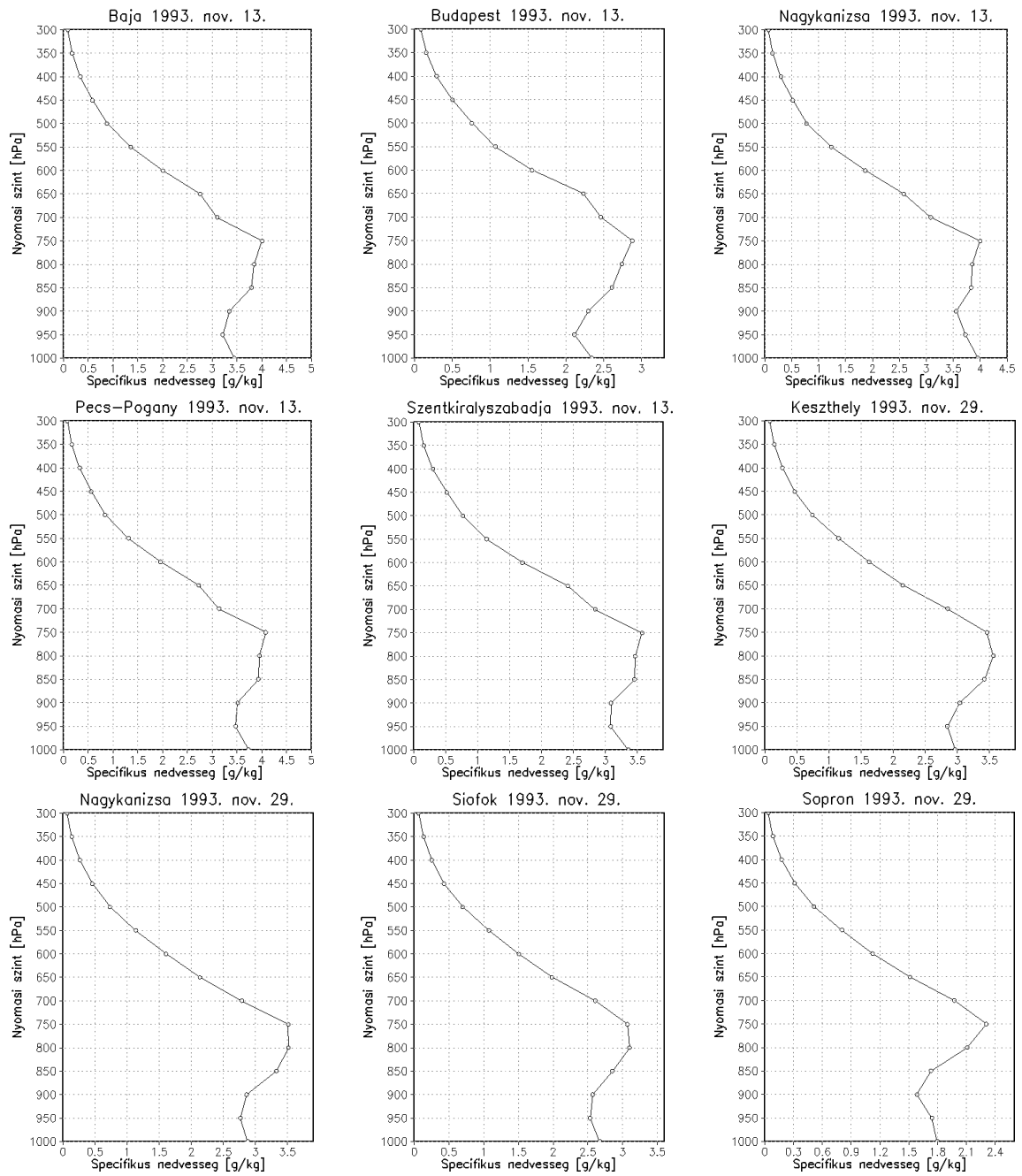


**F13. ábra – A specifikus nedveségtartalom horizontális eloszlása az 1000 és 600 hPa-os rétegben az 1996. január 25. és 2014. február 4. közötti esetekben**

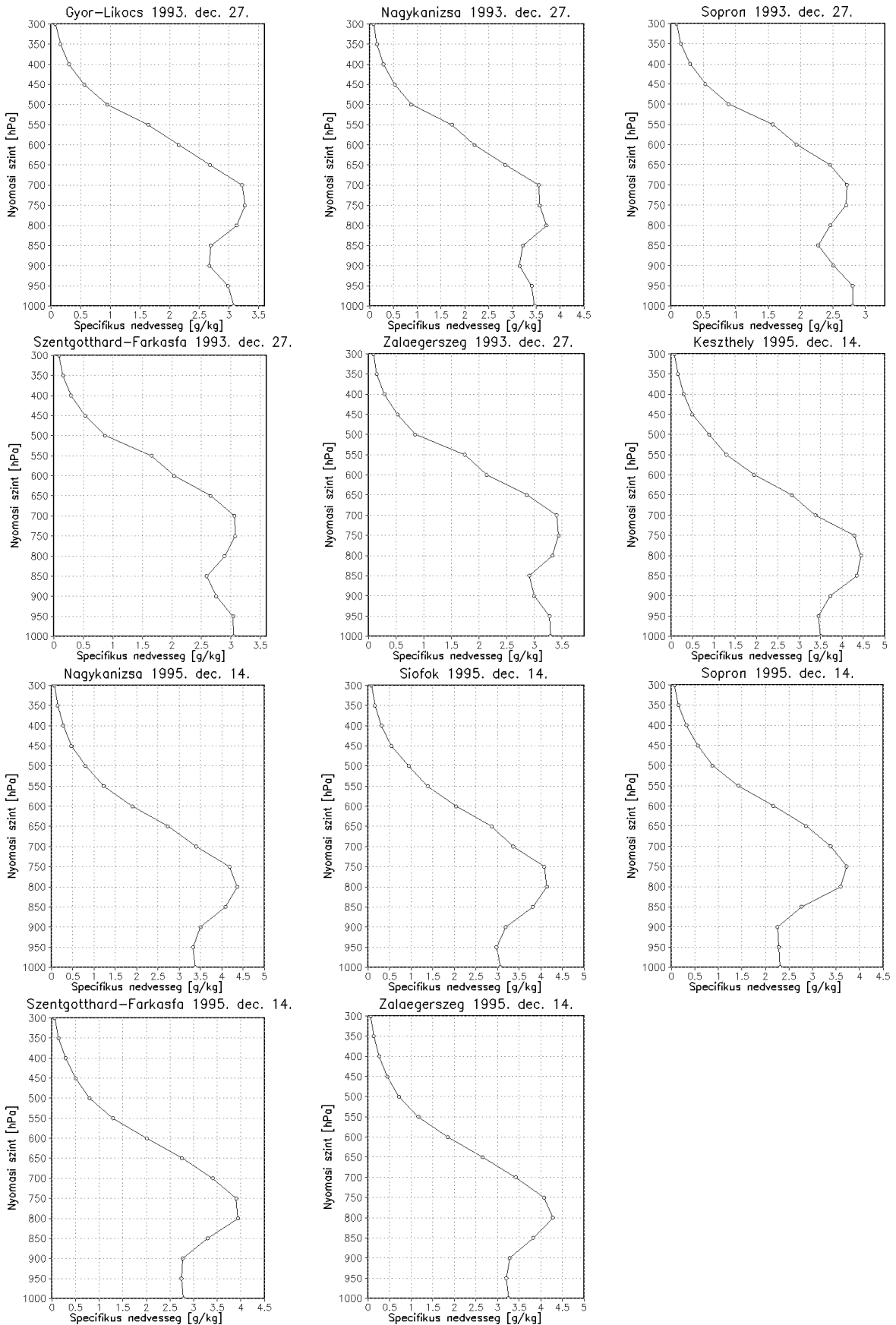


**F14. ábra – Az egyes állomások specifikus nedvességre vonatkozó vertikális metszete 1981. november 29. és 1986. február 10. között**

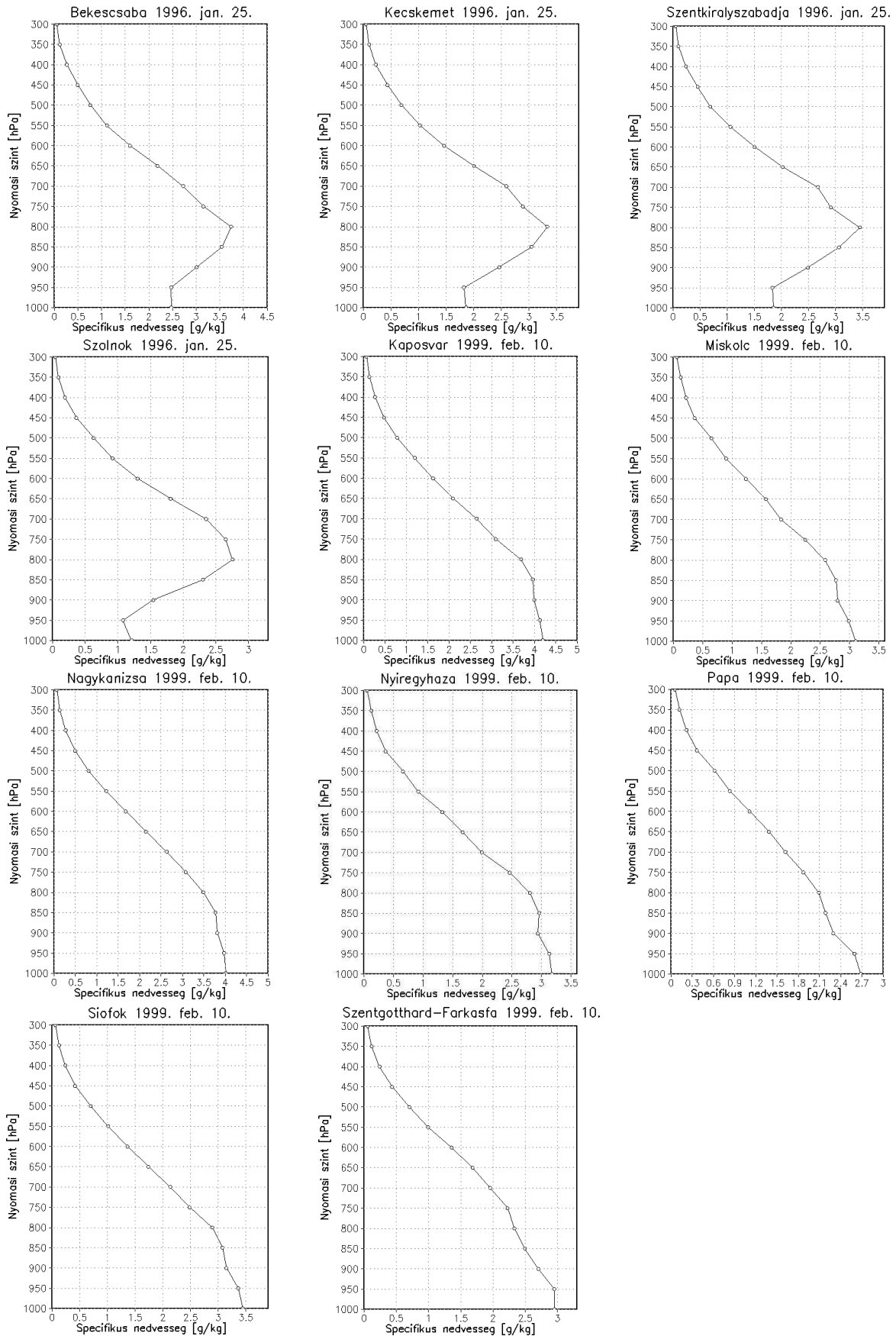




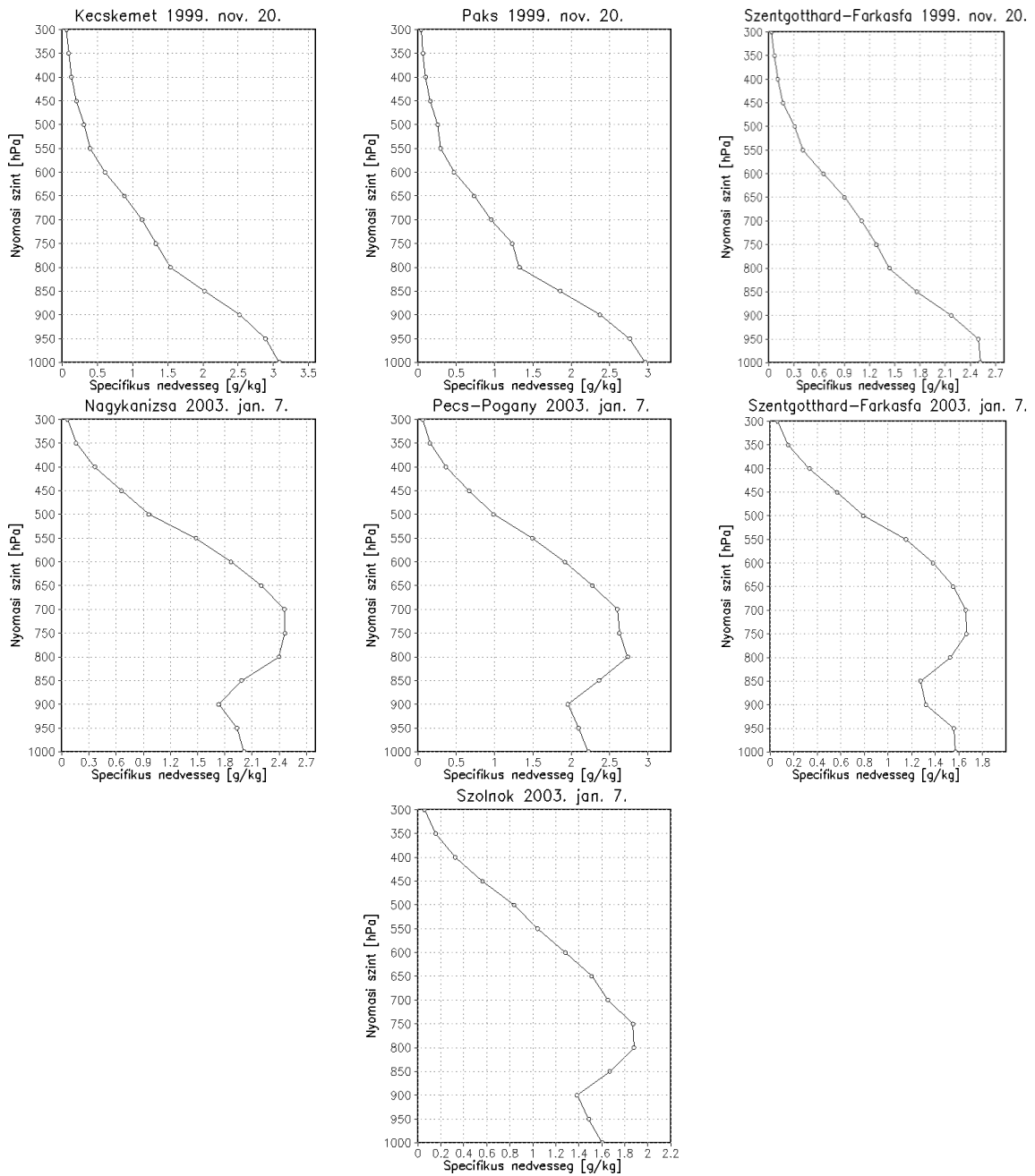
**F15. ábra – Az egyes állomások specifikus nedvességre vonatkozó vertikális metszete 1993. november 13. és 1993. november 29. között**



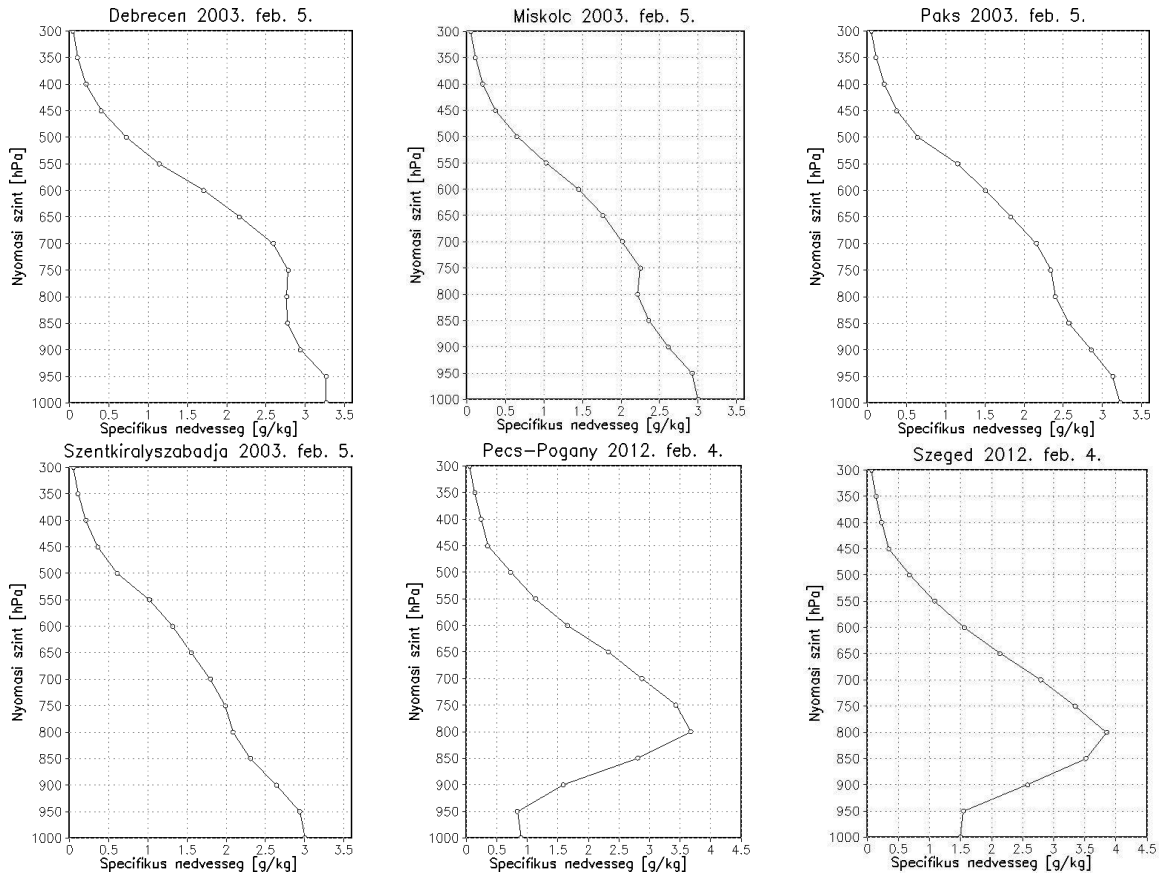
F16. ábra – Az egyes állomások specifikus nedvességre vonatkozó vertikális metszete  
1993. december 27. és 1995. december 14. között



**F17. ábra – Az egyes állomások specifikus nedvességre vonatkozó vertikális metszete 1996. január 25 és 1999. február 10. között**

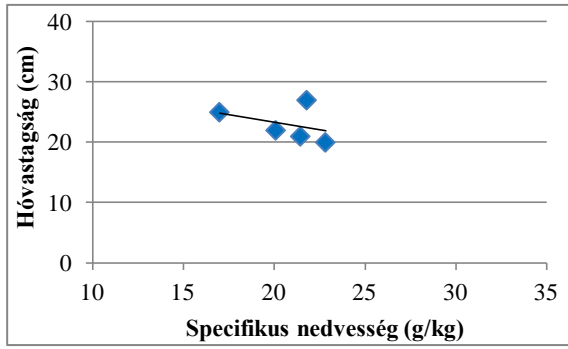


**F18. ábra – Az egyes állomások specifikus nedveségre vonatkozó vertikális metszete 1999. november 20. és 2003. január 7. között**

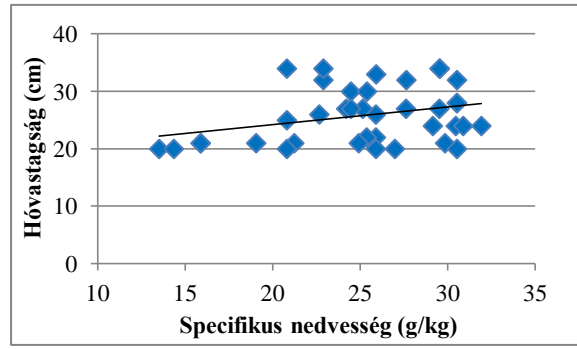


**F19. ábra – Az egyes állomások specifikus nedvességre vonatkozó vertikális metszete 2003. február 5. és 2012. február 4. között**

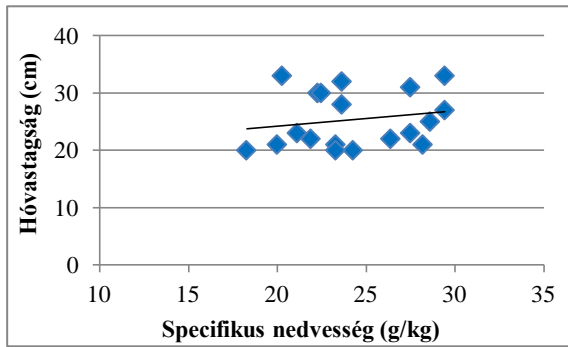
a)



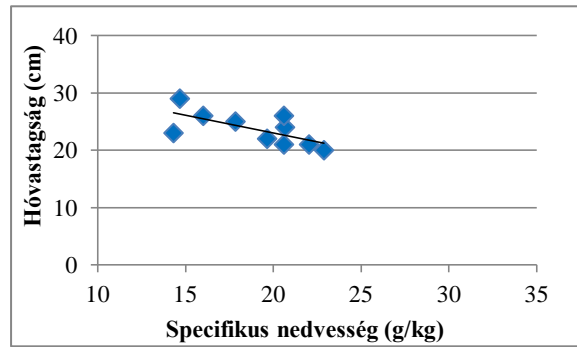
b)



c)



d)



F20. ábra – Az egyes kategóriákra jellemző hóvastagság és specifikus nedvességtartalom értékek kapcsolata: I. kategória (a), II. kategória (b), III. kategória (c), IV. kategória (d)