

Finom felbontású regionális éghajlatmodellezés: kihívások és lehetőségek

dr. Torma Csaba Zsolt



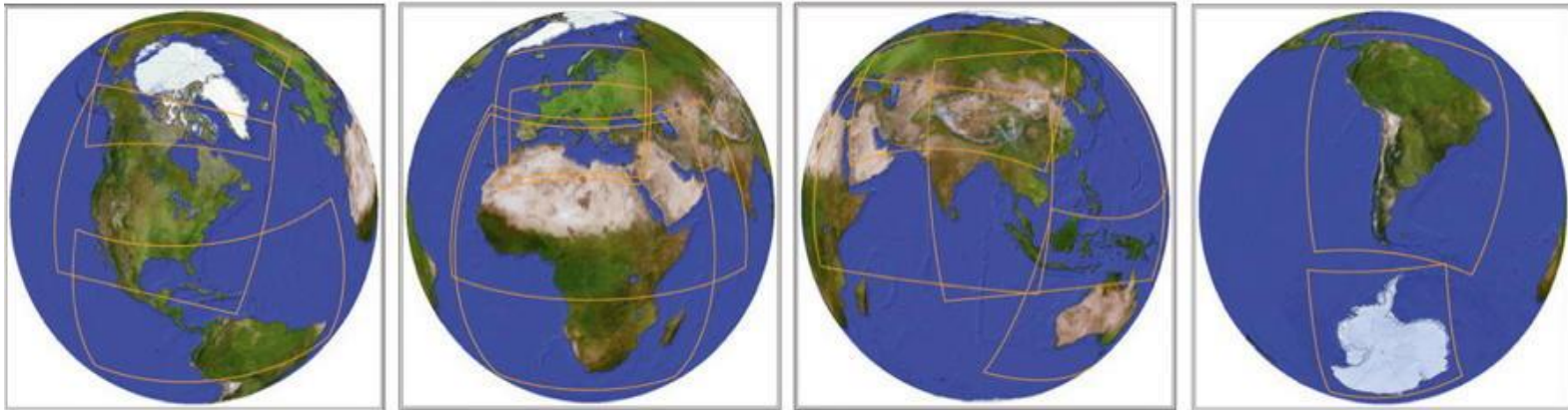
Dévényi Dezső emlékülés
Budapest, 2019. november 18.



CORDEX

14 régió

50, illetve 12 km felbontás



PRUDENCE	0,5 TB
ENSEMBLES	23 TB
CORDEX adat összesen	1.400 TB
CMIP5 (2.3 PB)	2.300 TB

Kevesebb, mint a CMIP5, de nagyságrendekkel több, mint az ENSEMBLES.

Egy A4-es papír 2kB nyomtatott karaktert tartalmaz. Egy papír átlagosan 0.1mm vastag, pl.: 20 MB/m.

PRUDENCE adatok kinyomtatva: **25 km** magas papír halmaz.

ENSEMBLES: 1.100 km

CORDEX: 70.000 km

CMIP5 : 115.000 km

Nem csak az adatok tárolása probléma.

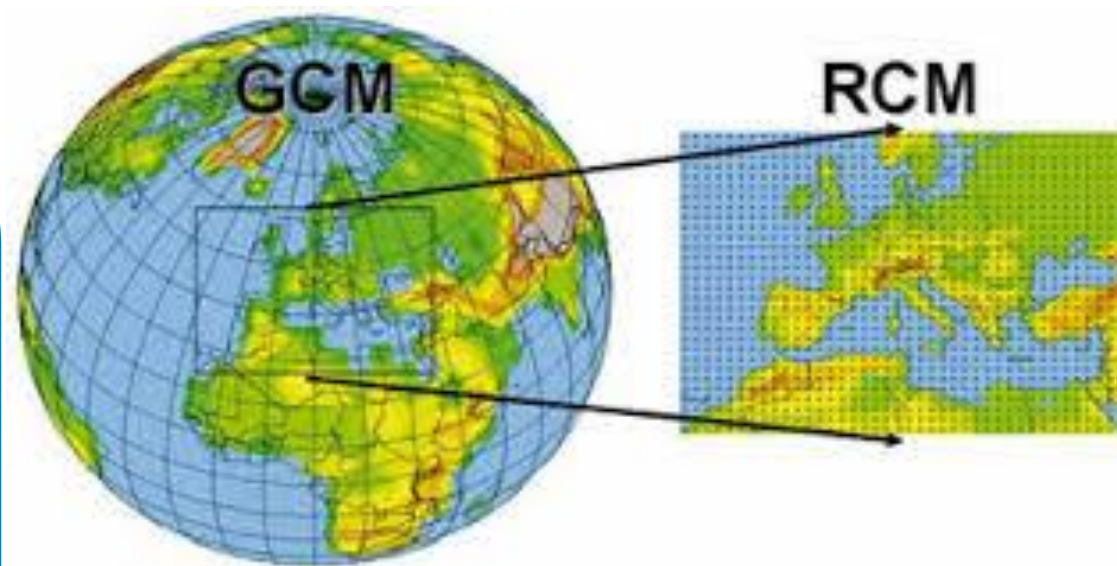
Adatok fel/letöltése 100 MBits-el:

PRUDENCE: 12 óra

ENSEMBLES: 23 nap ...

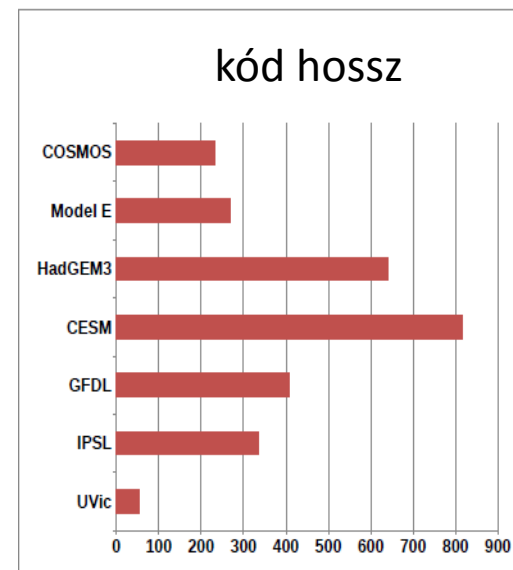
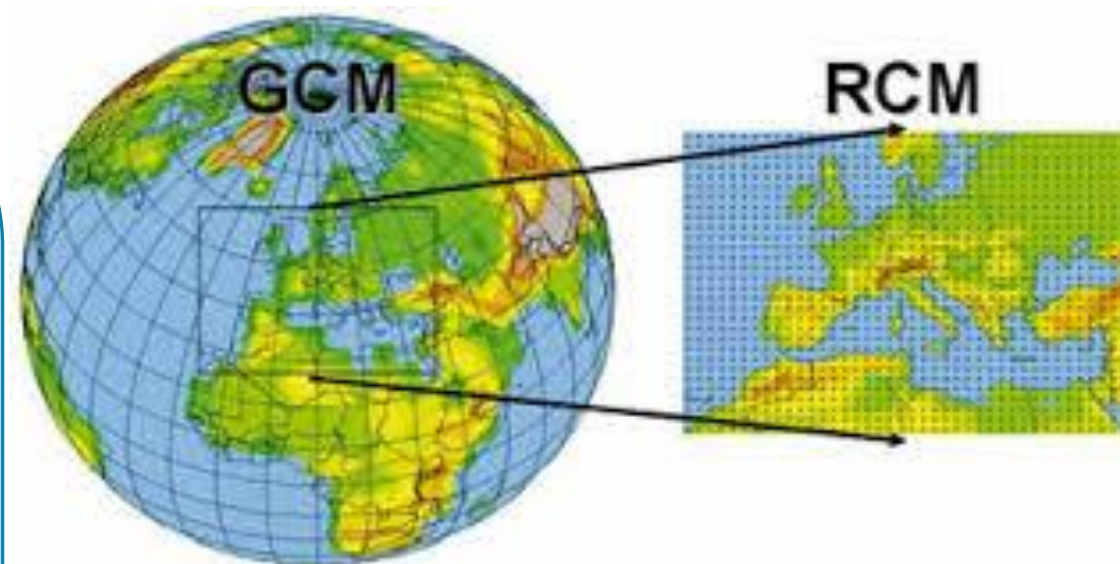
Finomabb felbontás

- részletesebb domborzat (partvidék, hegység)
- részletgazdagabb leírása a növényzetnek
- pontosabb talajtípus besorolás
- extrémumok precízebb leírása
- globális tendenciákkal ellentétes irányú folyamatok



Finomabb felbontás

- részletesebb domborzat (partvidék, hegység)
- részletgazdagabb leírása a növényzetnek
- pontosabb talajtípus besorolás
- extrémumok precízebb leírása
- globális tendenciákkal ellentétes irányú folyamatok

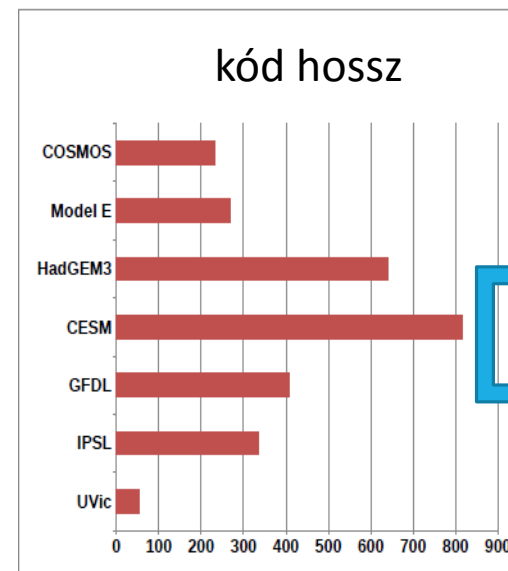
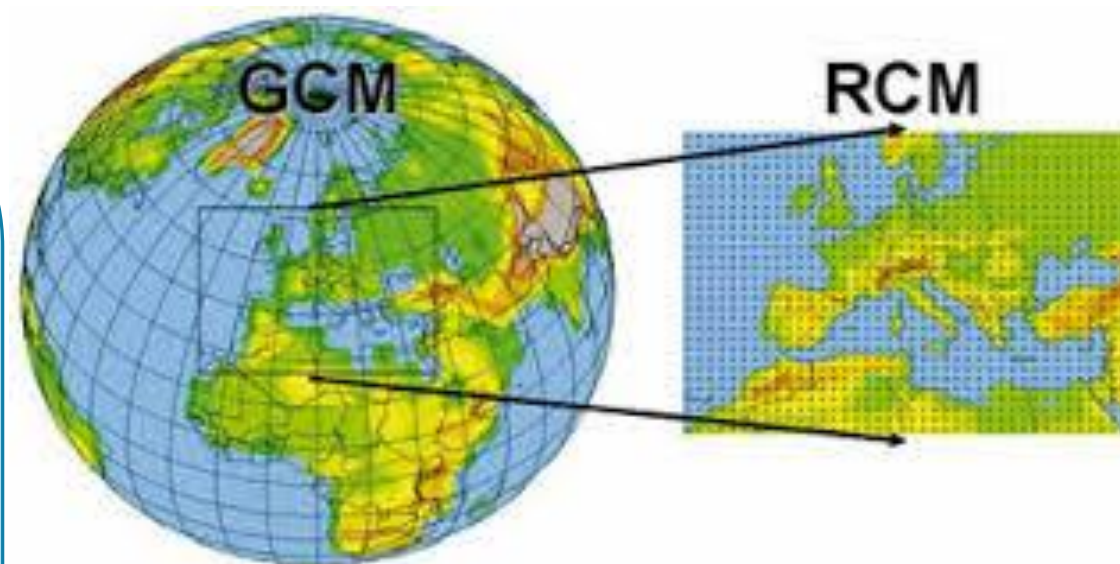


Generated using David A. Wheeler's
"SLOCCount".

(Forrás: Kaitlin Alexander)

Finomabb felbontás

- részletesebb domborzat (partvidék, hegység)
- részletgazdagabb leírása a növényzetnek
- pontosabb talajtípus besorolás
- extrémumok precízebb leírása
- globális tendenciákkal ellentétes irányú folyamatok



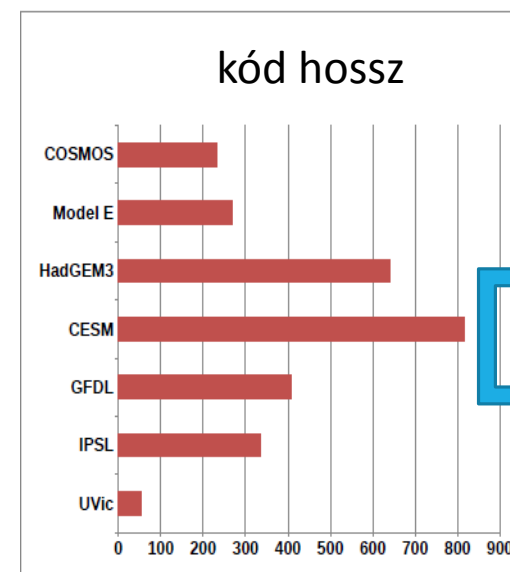
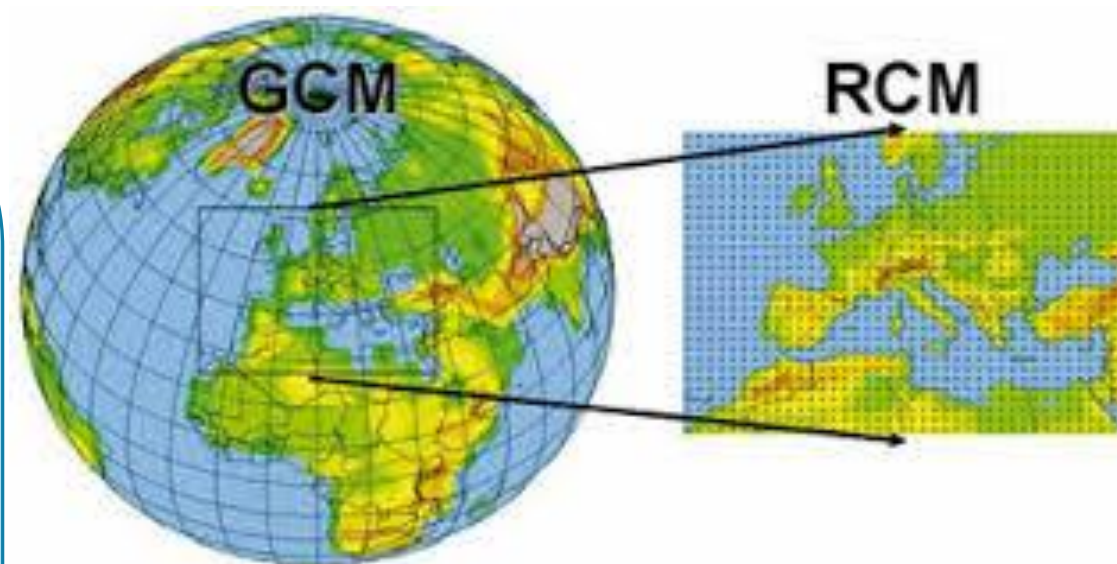
RegCM: > 840 000

Generated using David A. Wheeler's
"SLOCCount".

(Forrás: Kaitlin Alexander)

Finomabb felbontás

- **részletesebb domborzat** (partvidék, hegység)
- részletgazdagabb leírása a növényzetnek
- pontosabb talajtípus besorolás
- **extrémumok precízebb leírása**
- globális tendenciákkal ellentétes irányú folyamatok

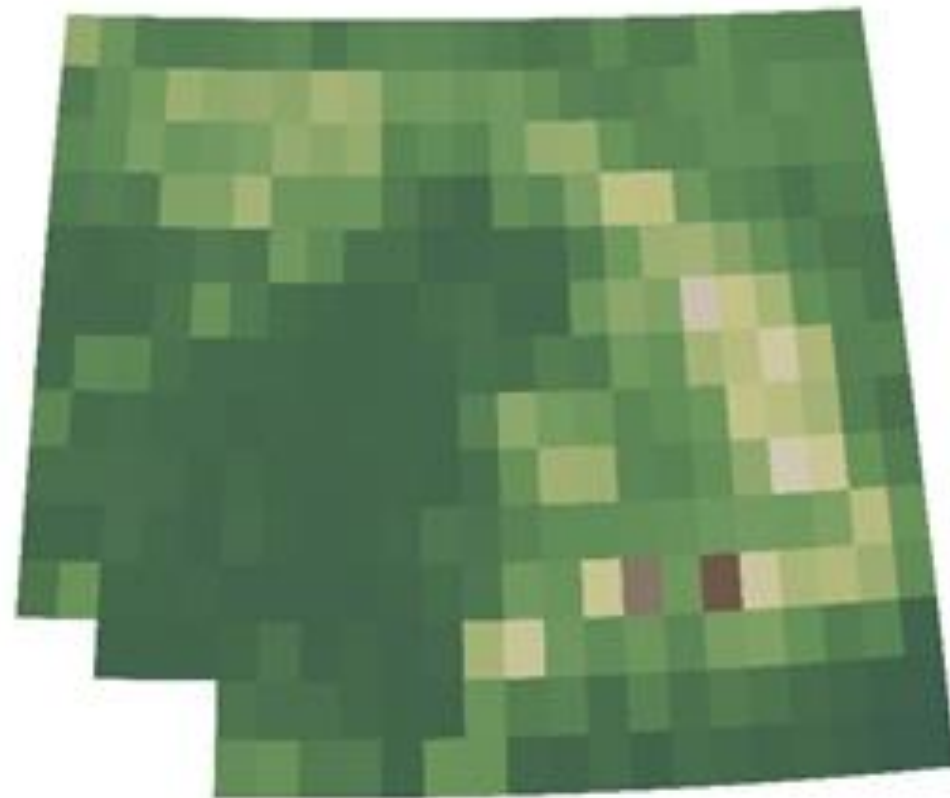


Generated using David A. Wheeler's
"SLOCCount".

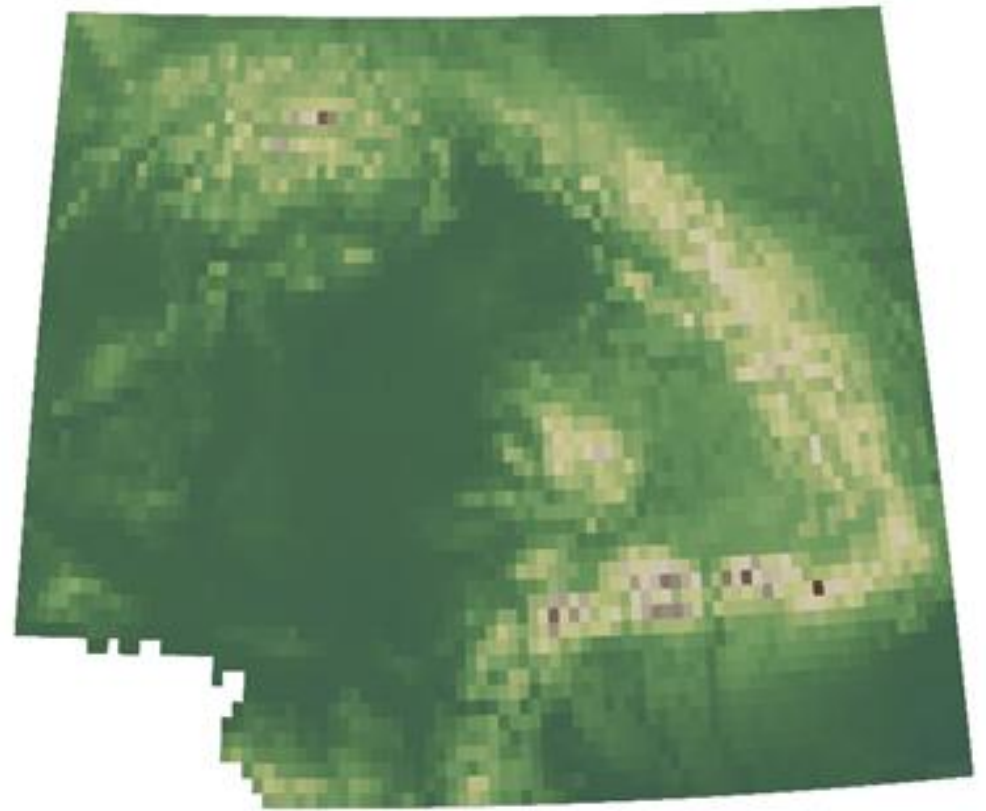
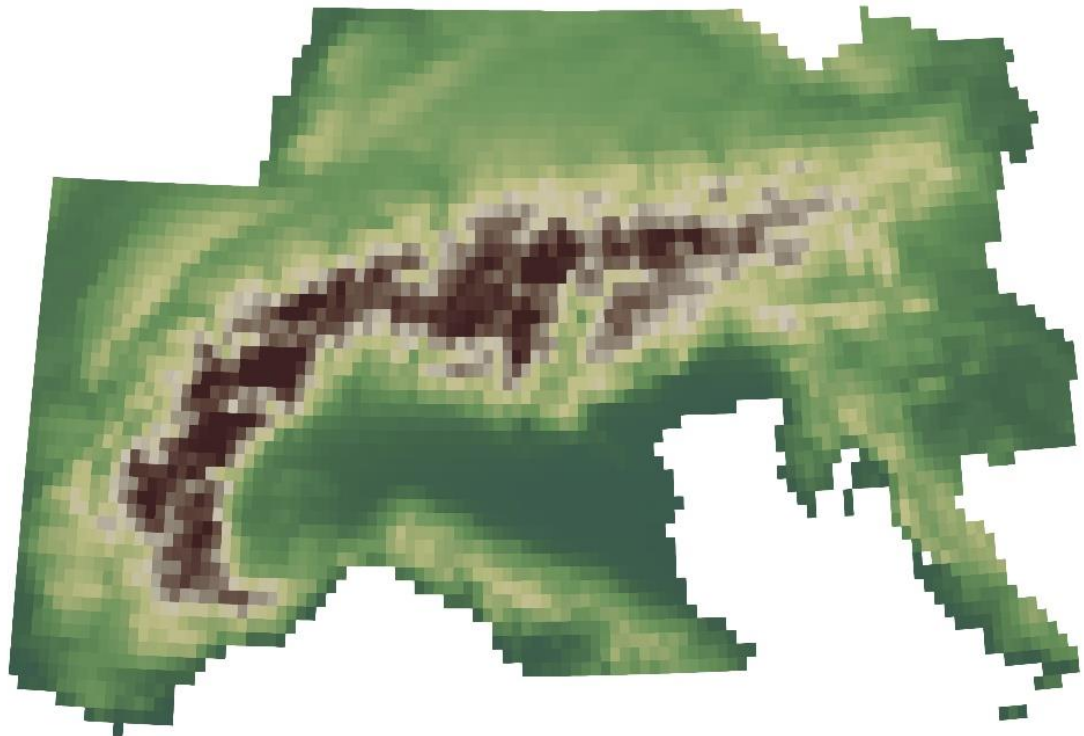
(Forrás: Kaitlin Alexander)

RegCM: > 840 000

Rácsfelbontás: $0,44^\circ$ (~ 50 km)



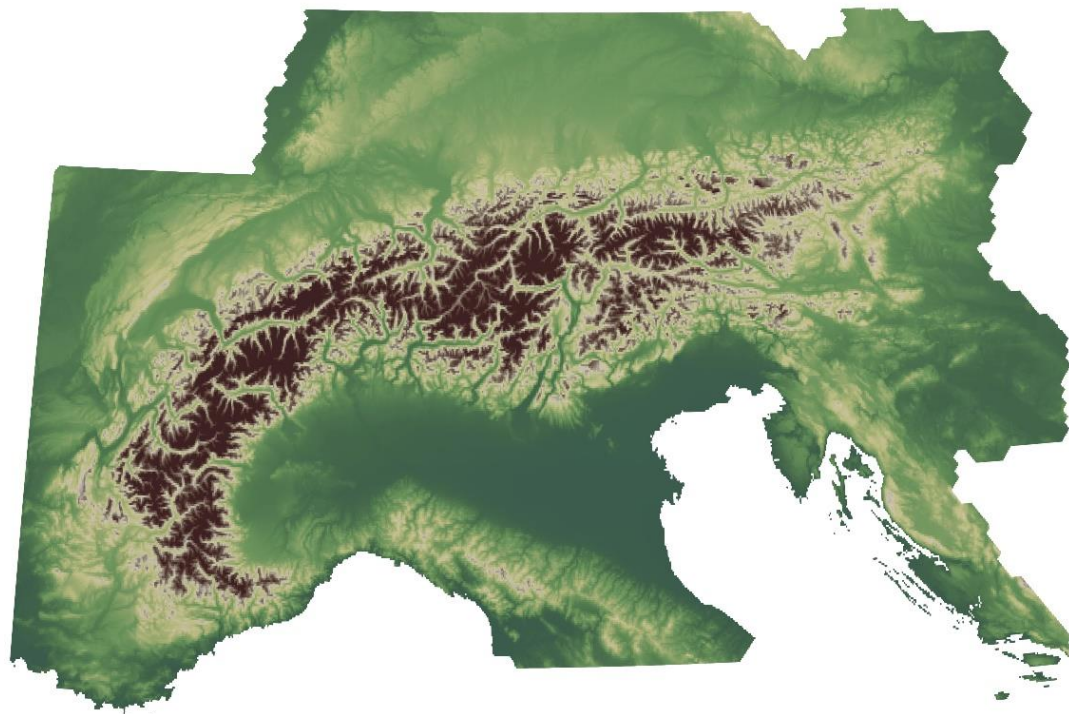
Rácsfelbontás: $0,11^\circ$ (~ 12 km)



Részletesebb domborzat



Rácsfelbontás: 1' (~2 km)



Referencia adatbázis: EURO4M-APGD
(Isotta et al., 2014)

Időszak: 1971-2008

Felbontás: 5 km

Csapadékmérő állomások száma: 5500

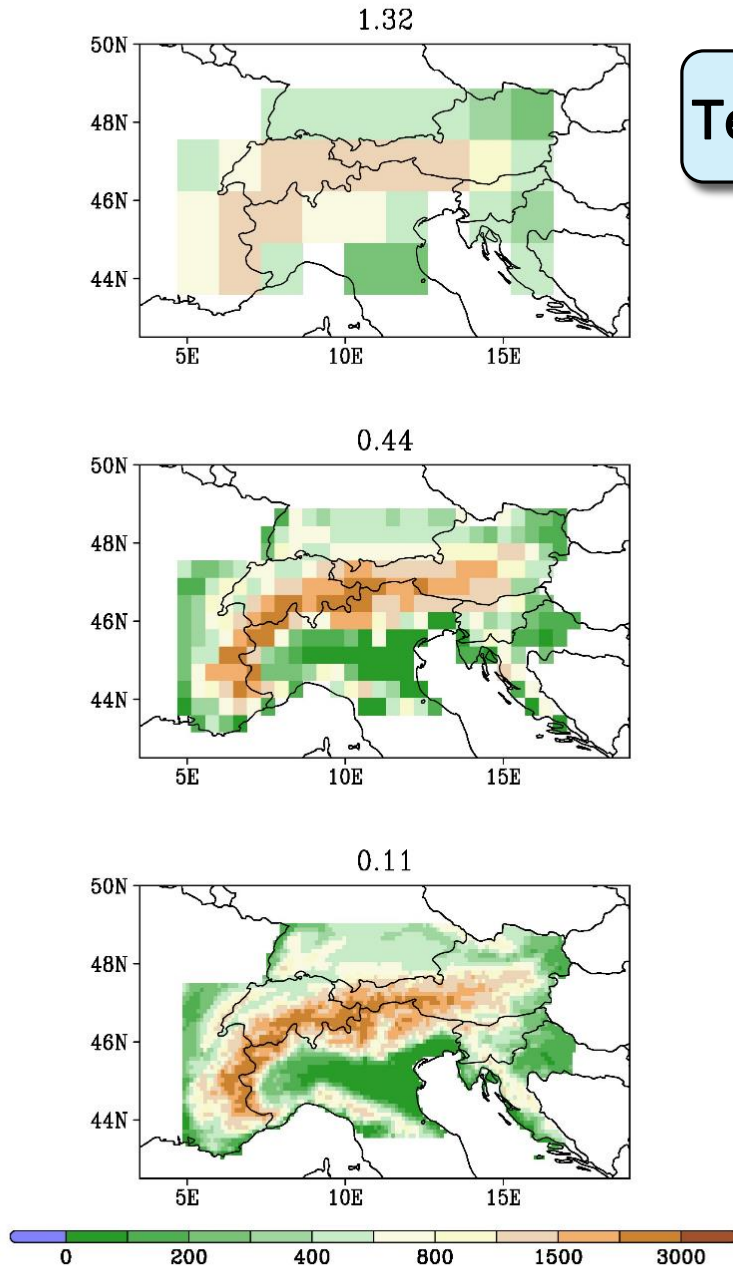


Referencia adatbázis: CARPATCLIM
(Szalai et al., 2015)

Időszak: 1961-2010

Felbontás: ~10 km

Csapadékmérő állomások száma: 904



Térbeli felbontások: 1.32° (~ 150 km), 0.44° (~ 50 km) és 0.11° (~ 12 km)

1976-2005

Globális modellek :

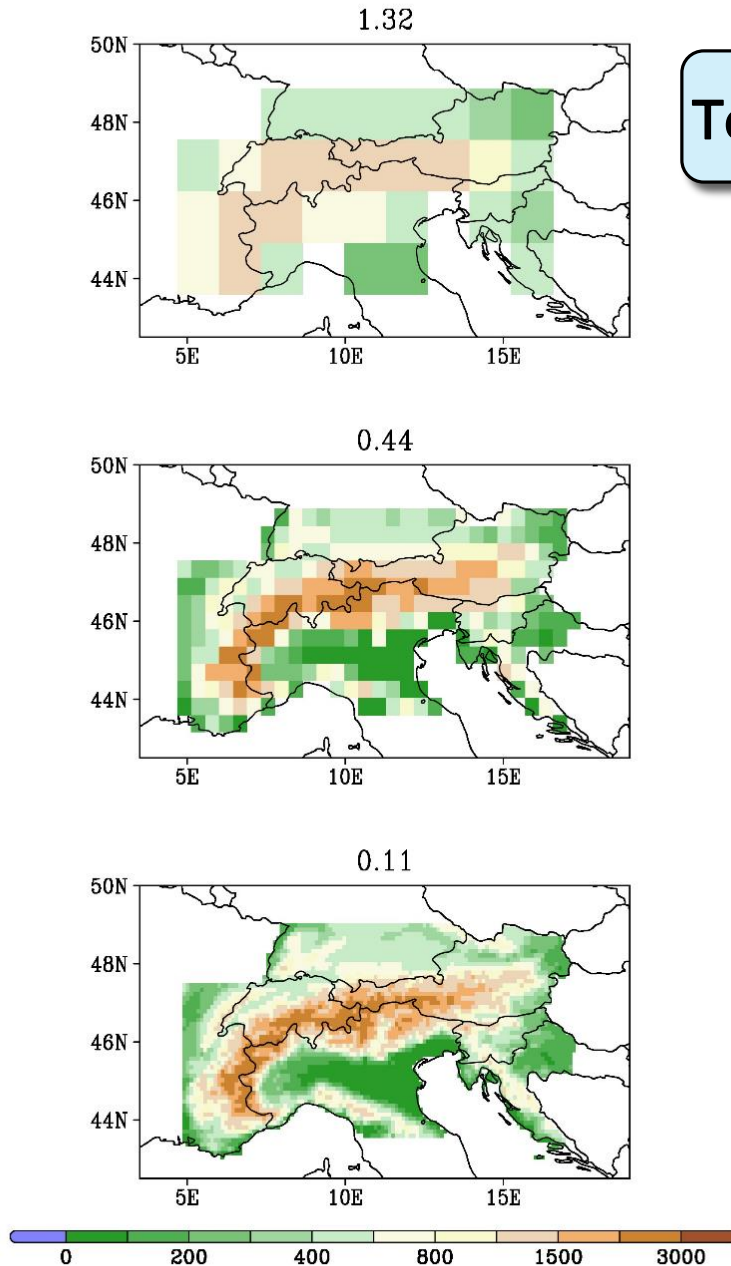
MPI-ES-MR
EC-EARTH
CNRM-CM5
HadGEM-ES

Regionális modellek:

CCLM
RACMO
ALADIN
RegCM4.3
RCA4

Torma et al., 2015 (Journal of Geophysical Research: Atmospheres)

<https://goo.gl/9VmUeE>



Térbeli felbontások: 1.32° (~150 km), 0.44° (~50 km) és 0.11° (~12 km)

1976-2005

Globális modellek :

MPI-ES-MR

EC-EARTH

CNRM-CM5

HadGEM-ES

Regionális modellek:

CCLM

RACMO

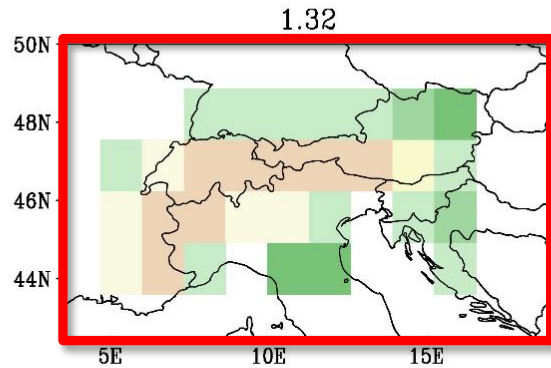
ALADIN

RegCM4.3

RCA4

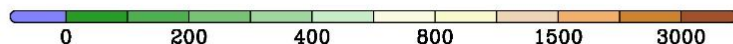
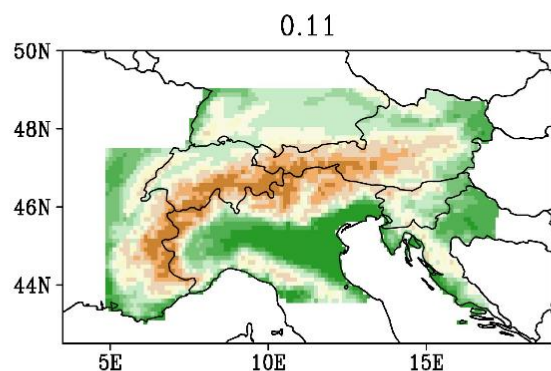
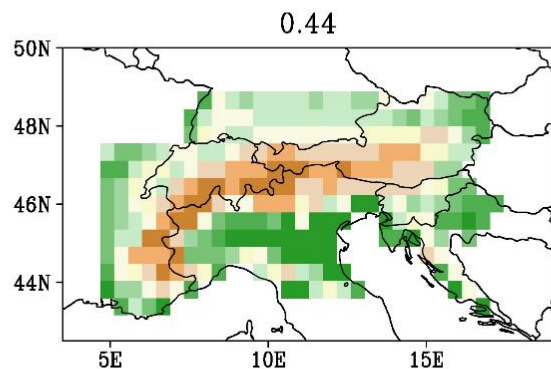
Torma et al., 2015 (Journal of Geophysical Research: Atmospheres)

<https://goo.gl/9VmUeE>



Térbeli felbontások: 1.32° (~150 km), 0.44° (~50 km) és 0.11° (~12 km)

1976-2005



Globális modellek :

MPI-ES-MR

EC-EARTH

CNRM-CM5

HadGEM-ES

Regionális modellek:

CCLM

RACMO

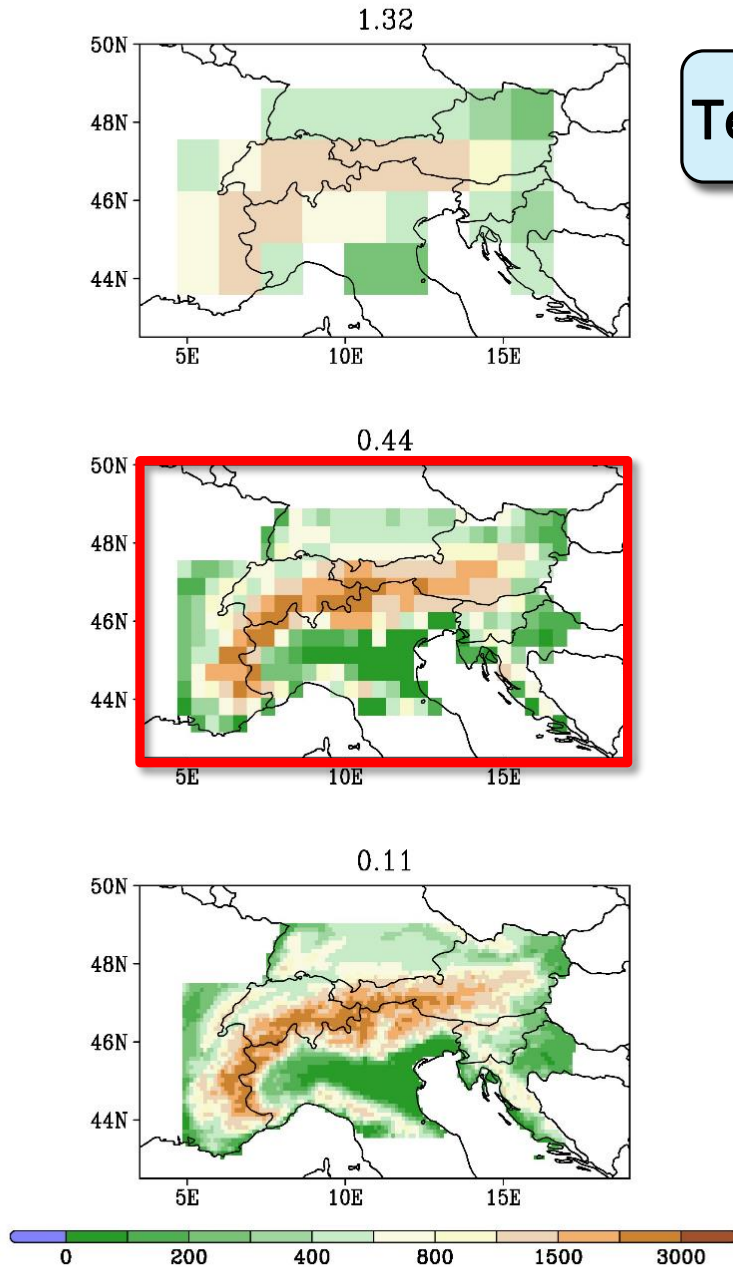
ALADIN

RegCM4.3

RCA4

Torma et al., 2015 (Journal of Geophysical Research: Atmospheres)

<https://goo.gl/9VmUeE>



Térbeli felbontások: 1.32° (~150 km), 0.44° (~50 km) és 0.11° (~12 km)

1976-2005

Globális modellek :

MPI-ES-MR

EC-EARTH

CNRM-CM5

HadGEM-ES

Regionális modellek:

CCLM

RACMO

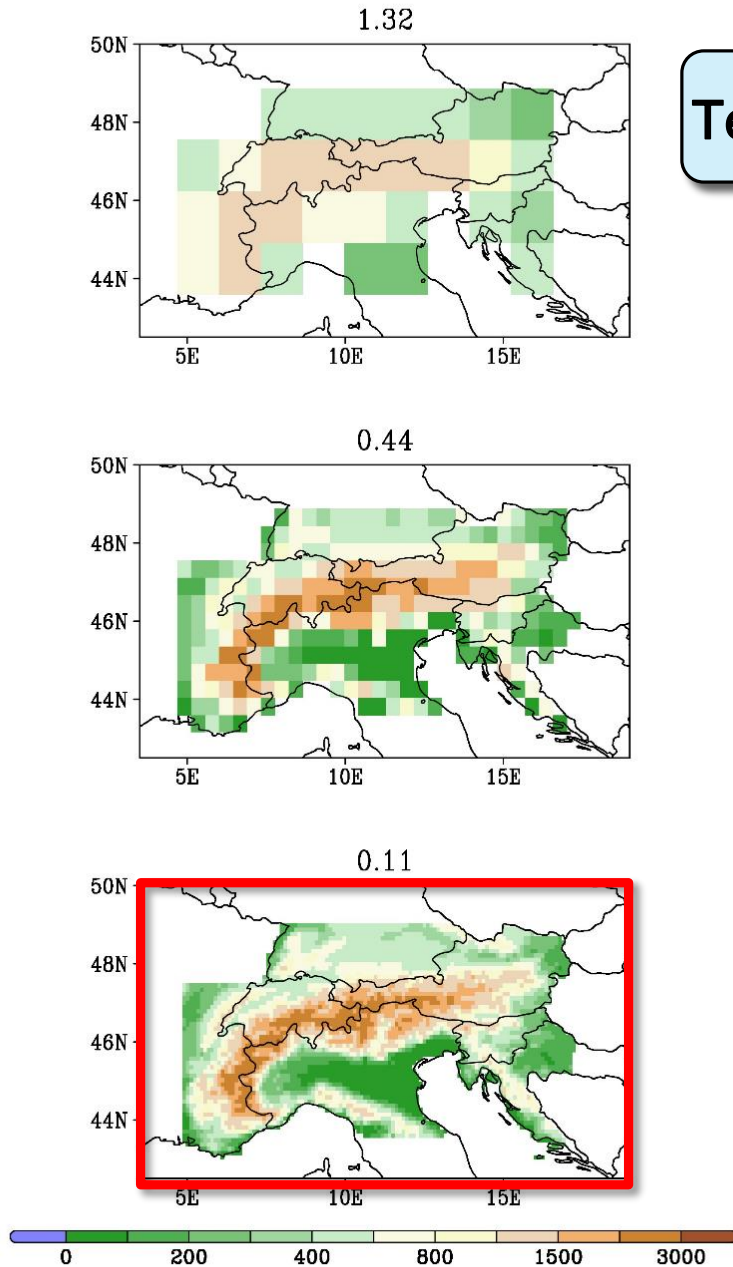
ALADIN

RegCM4.3

RCA4

Torma et al., 2015 (Journal of Geophysical Research: Atmospheres)

<https://goo.gl/9VmUeE>



Térbeli felbontások: 1.32° (~ 150 km), 0.44° (~ 50 km) és 0.11° (~ 12 km)

1976-2005

Globális modellek :

MPI-ES-MR

EC-EARTH

CNRM-CM5

HadGEM-ES

Regionális modellek:

CCLM

RACMO

ALADIN

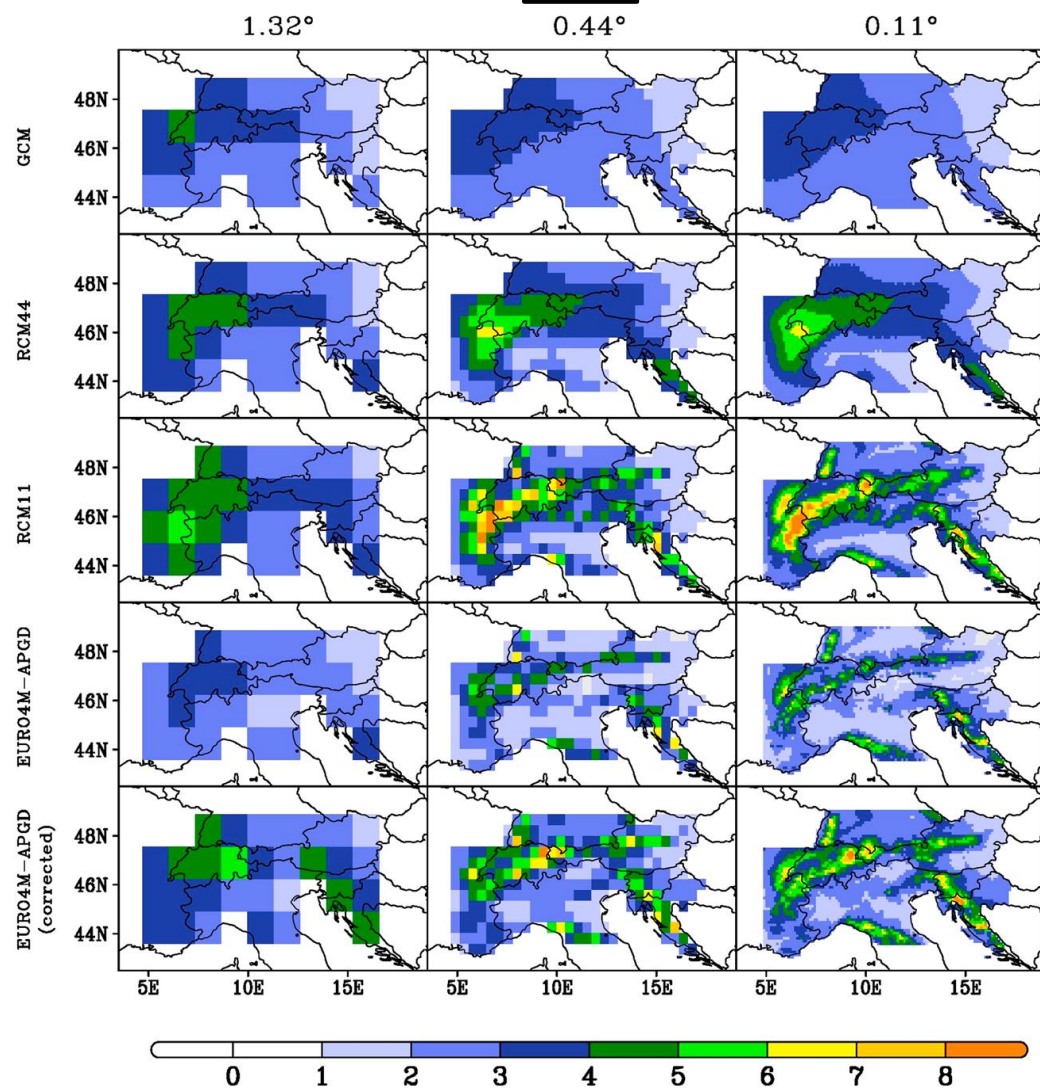
RegCM4.3

RCA4

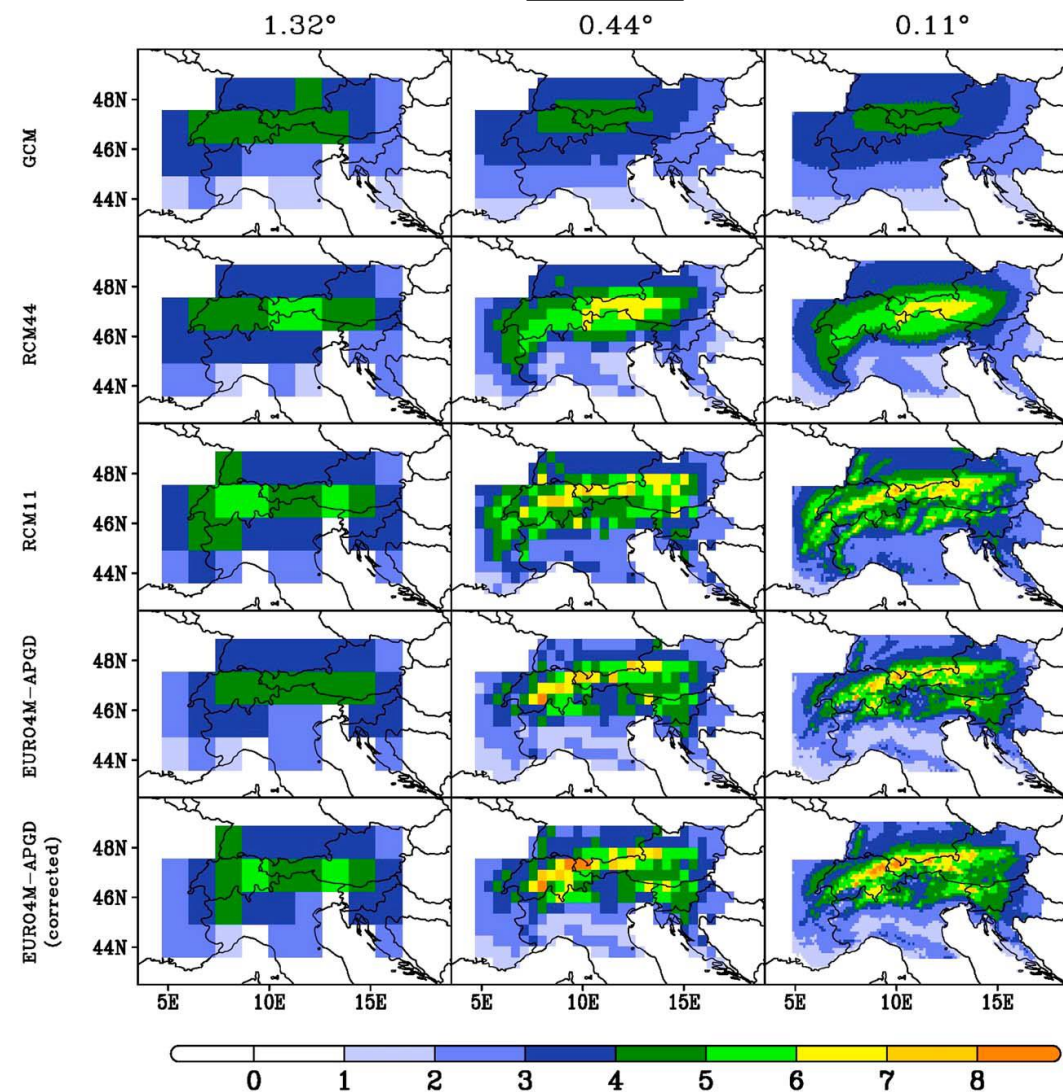
Torma et al., 2015 (Journal of Geophysical Research: Atmospheres)

<https://goo.gl/9VmUeE>

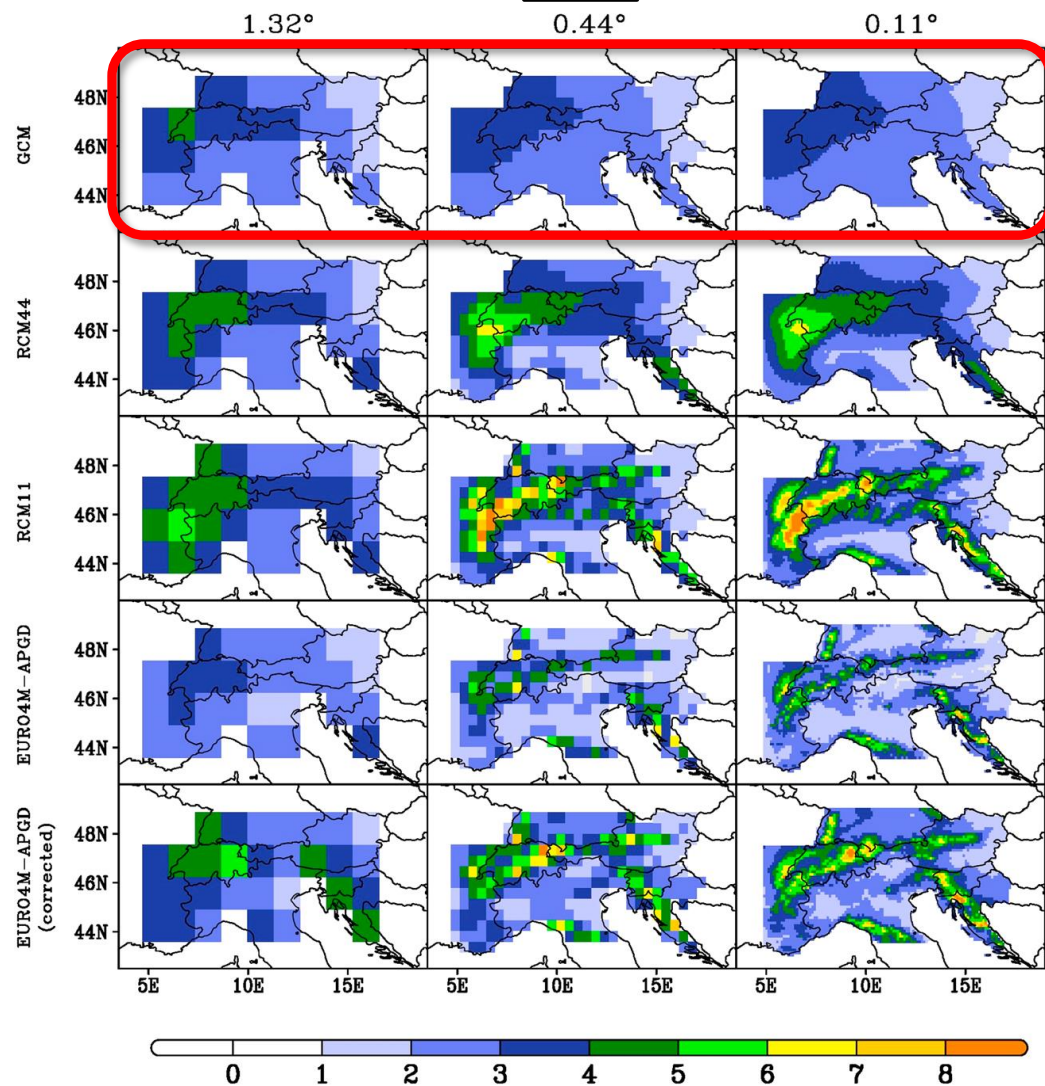
Tél



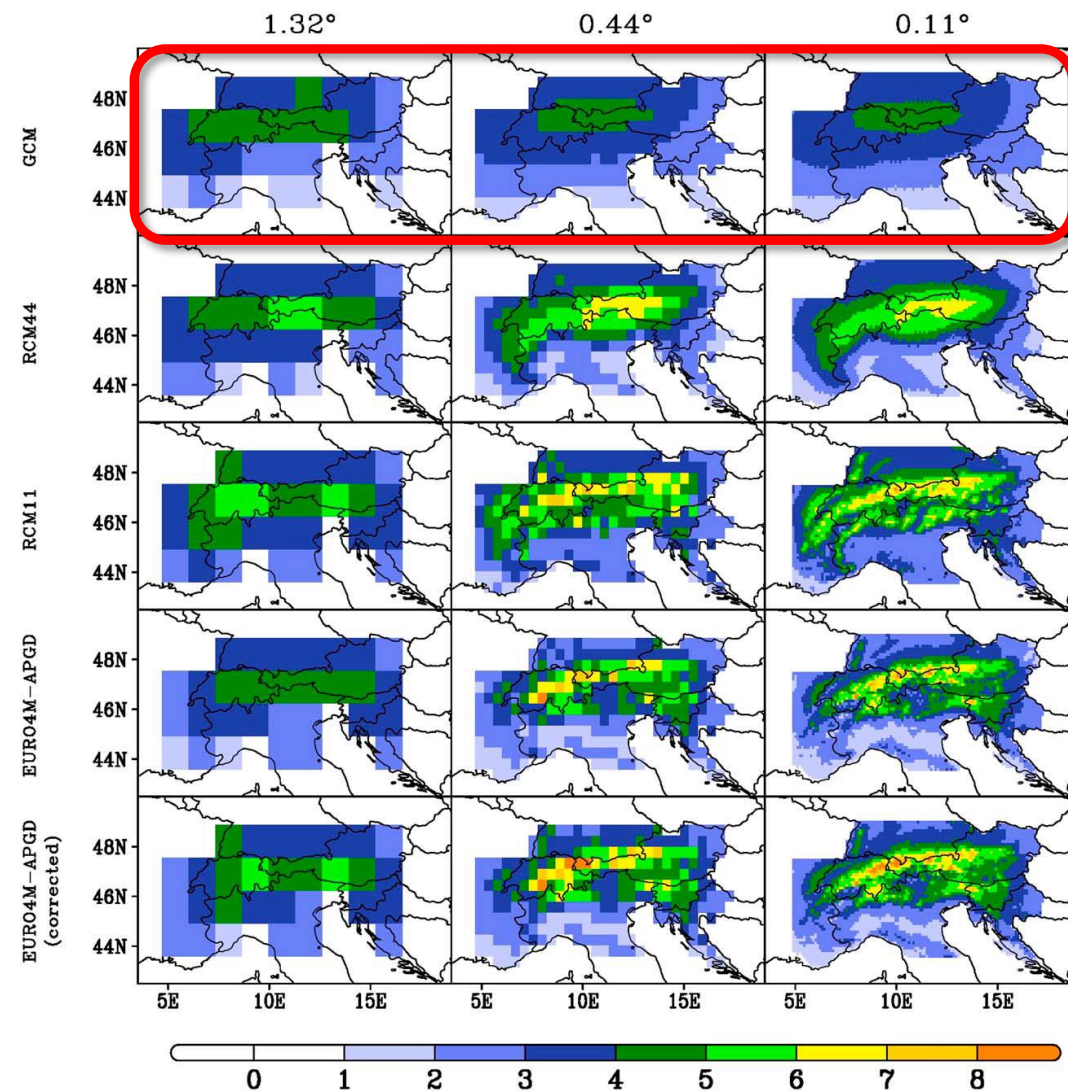
Nyár



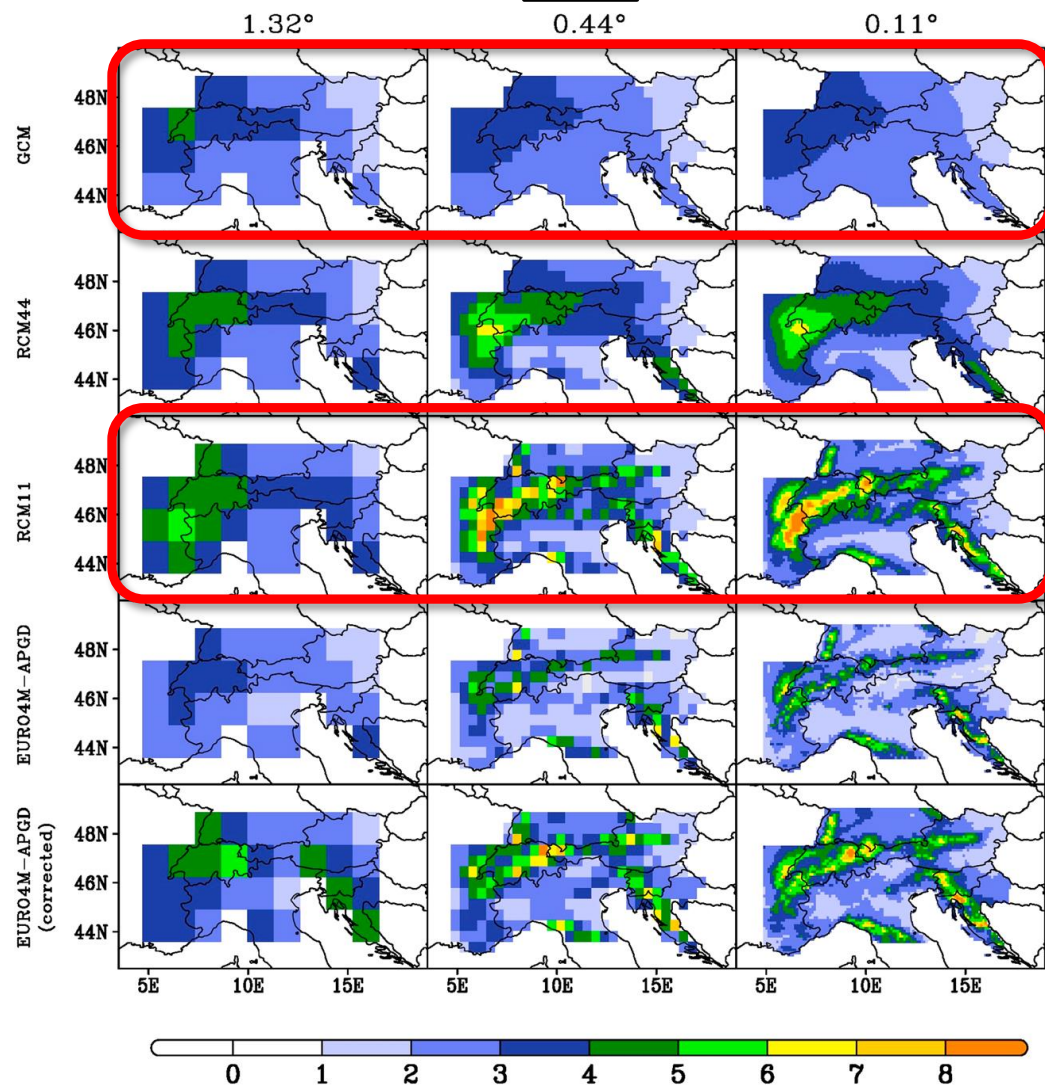
Tél



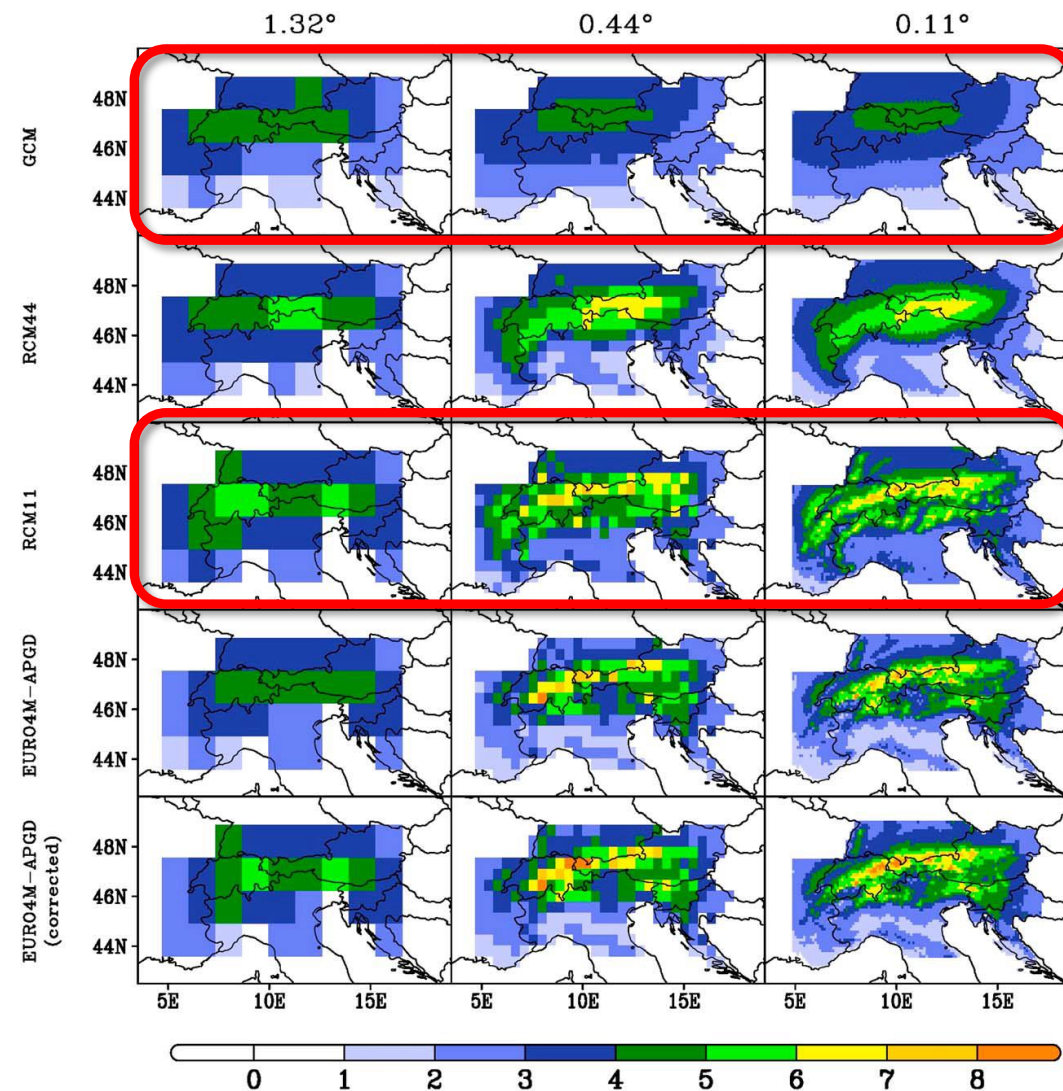
Nyár



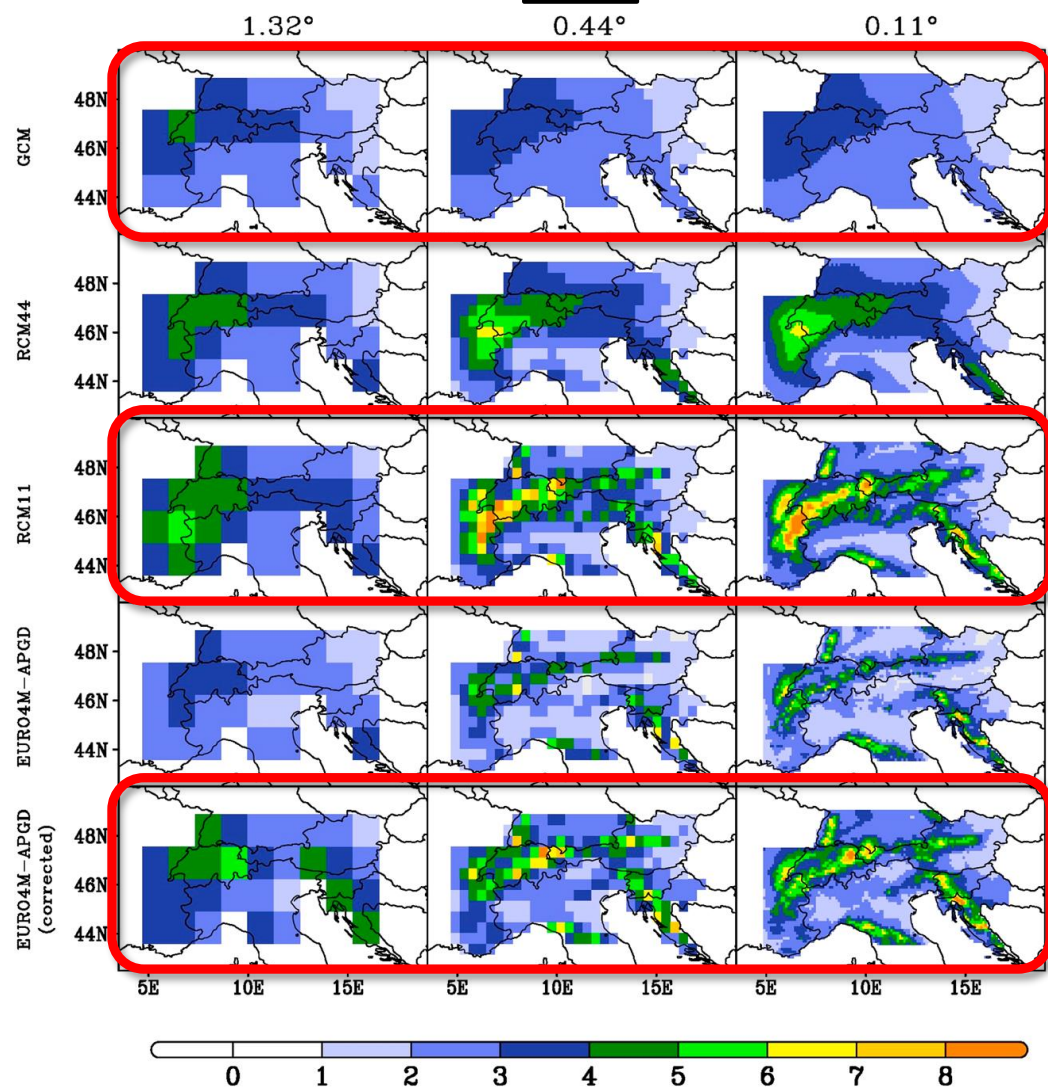
Tél



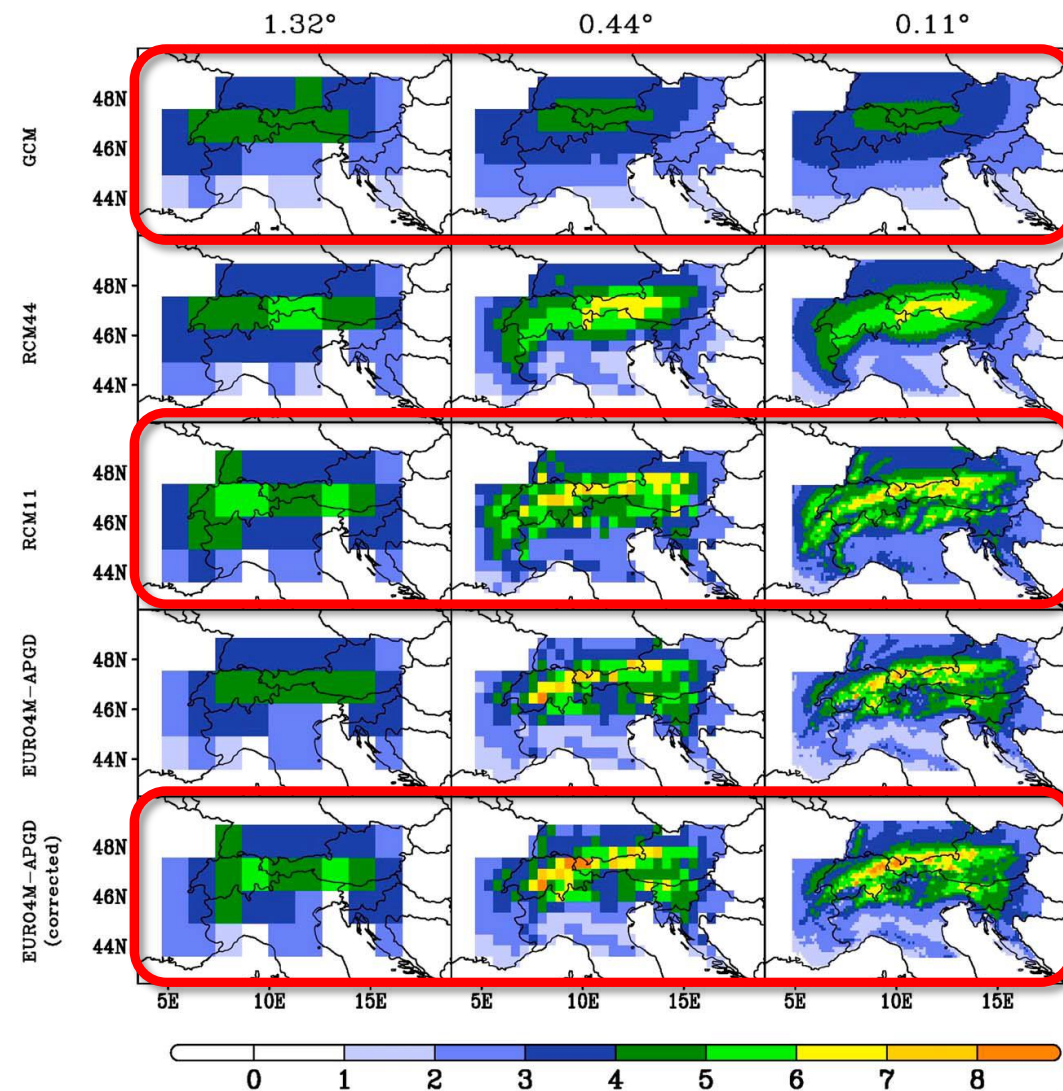
Nyár



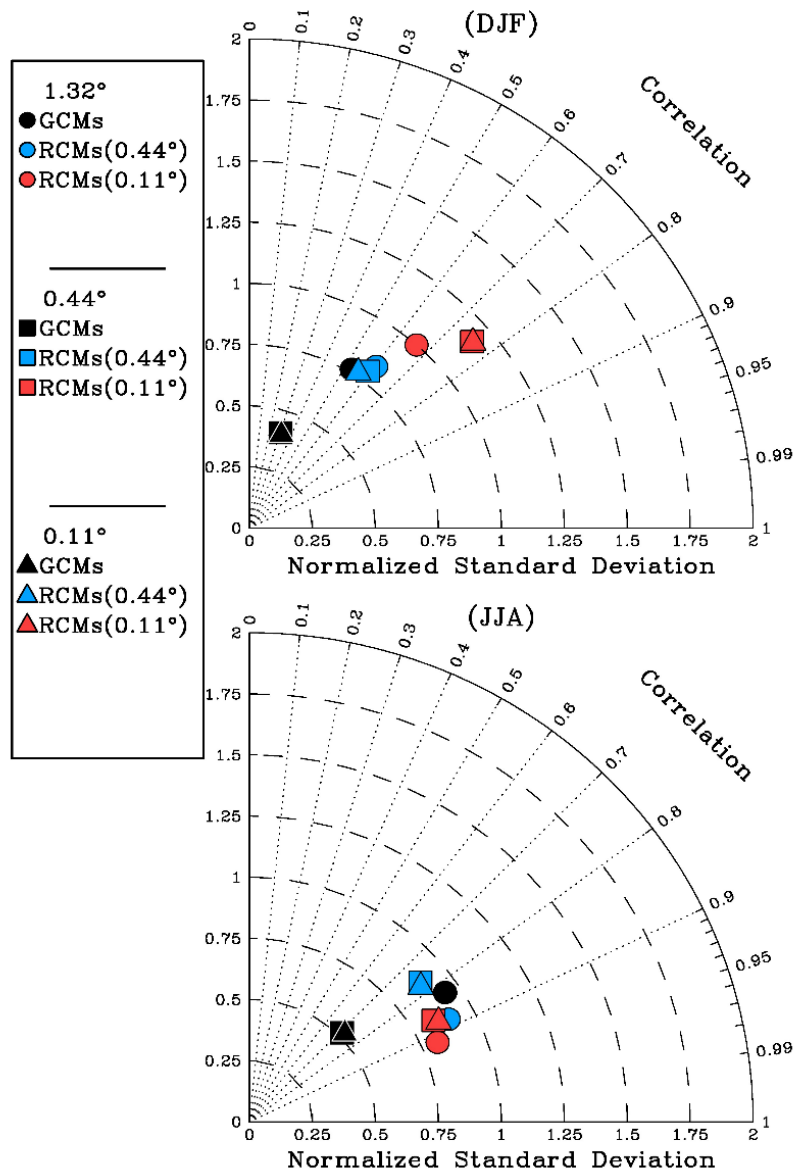
Tél



Nyár



1976-2005



Az Alpok térségére átlagolt értékek.

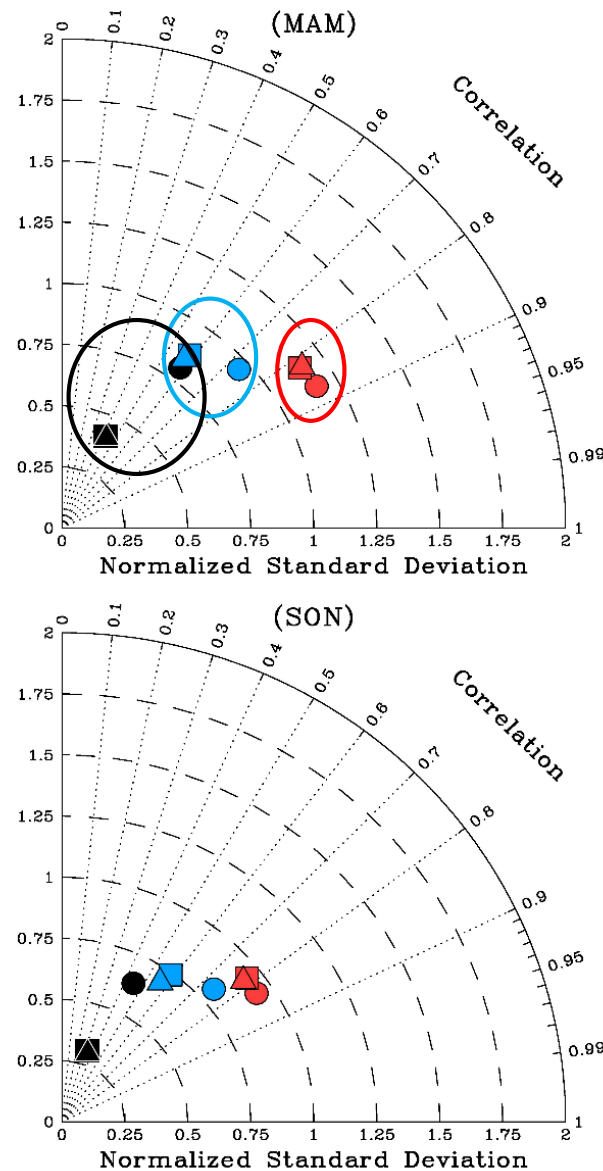
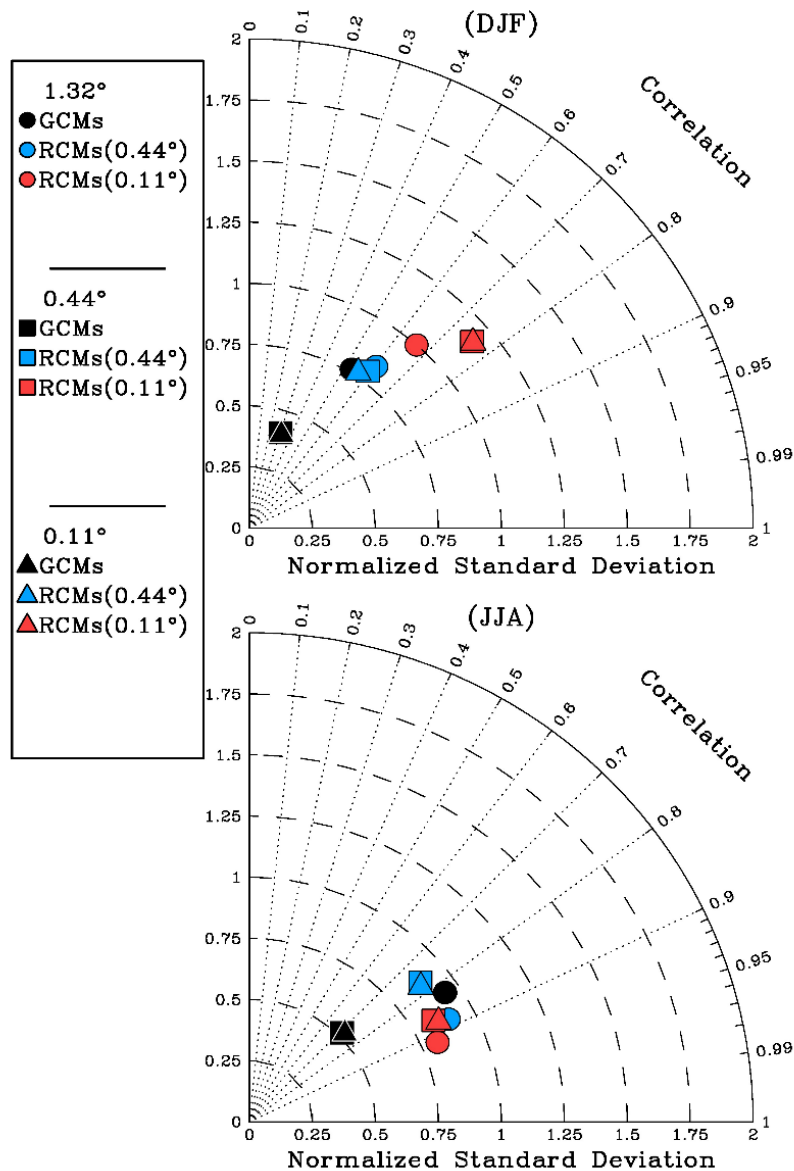
Csoportos átlagok: GCM(4), RCM(5).

Minden futás minden felbontáson.

Évszaktól függetlenül a finom felbontású futások mutatnak jobb eredményt.

Durva felbontású eredmények elkülönülnek.

1976-2005



Az Alpok térségére átlagolt értékek.

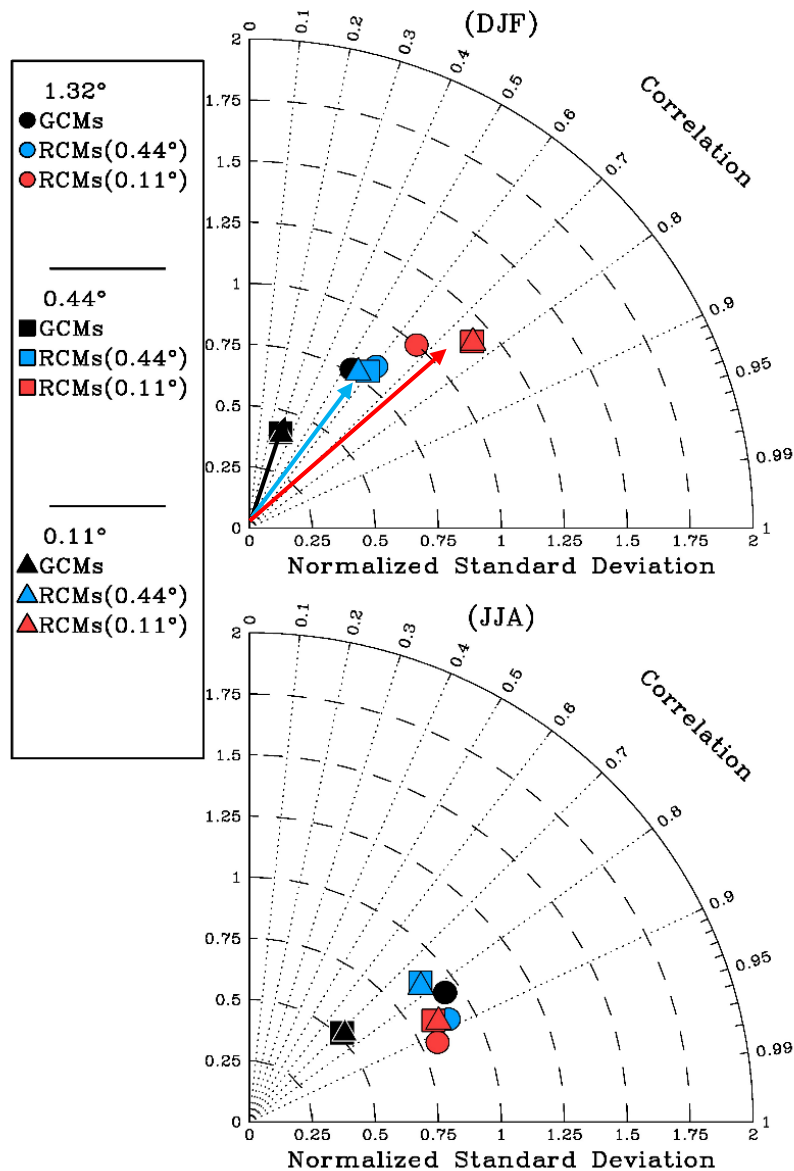
Csoportos átlagok: GCM(4), RCM(5).

Minden futás minden felbontáson.

Évszaktól függetlenül a finom felbontású futások mutatnak jobb eredményt.

Durva felbontású eredmények elkülönülnek.

1976-2005



Az Alpok térségére átlagolt értékek.

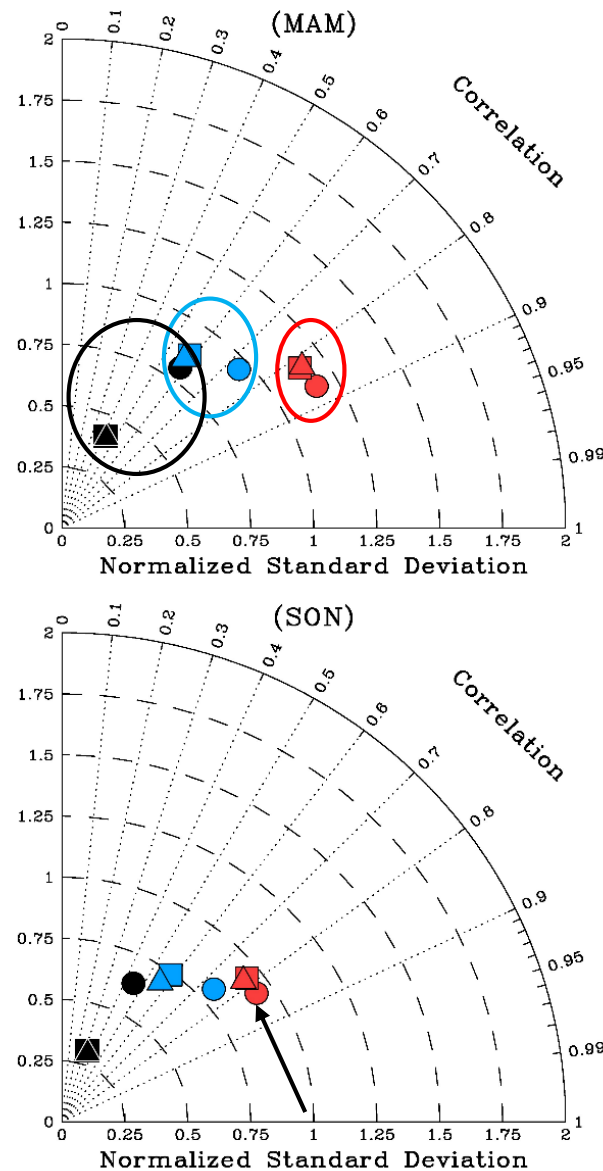
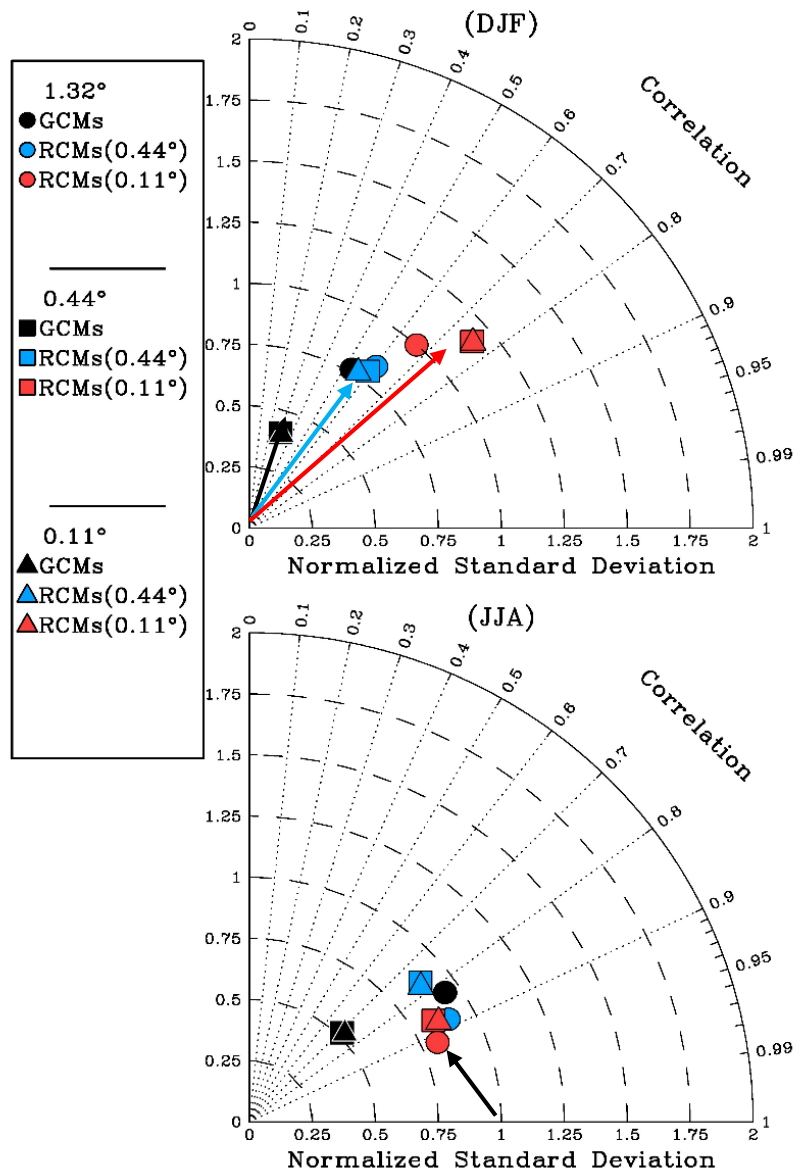
Csoportos átlagok: GCM(4), RCM(5).

Minden futás minden felbontáson.

Évszaktól függetlenül a finom felbontású futások mutatnak jobb eredményt.

Durva felbontású eredmények elkülönülnek.

1976-2005



Az Alpok térségére átlagolt értékek.

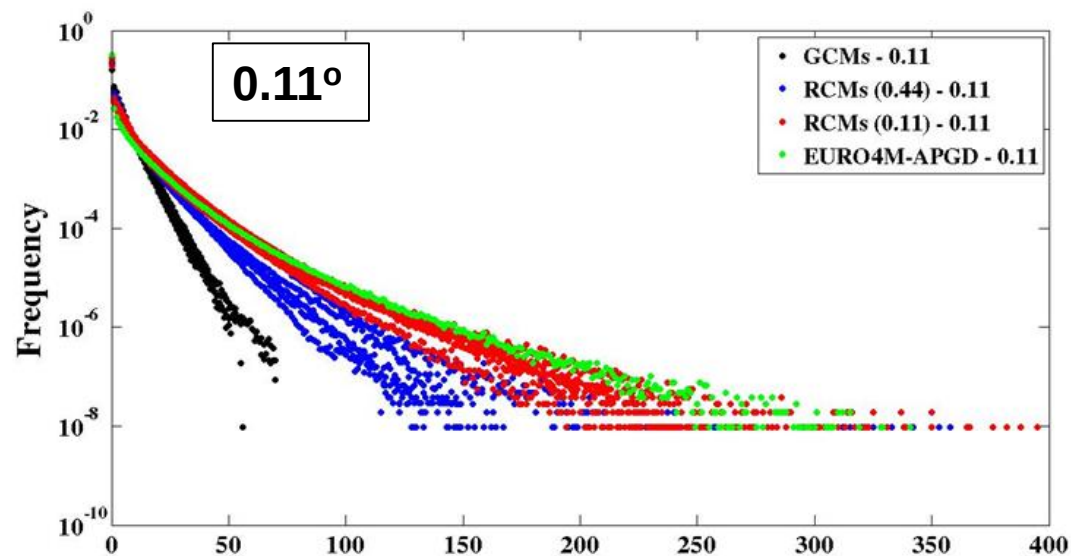
Csoportos átlagok: GCM(4), RCM(5).

Minden futás minden felbontáson.

Évszaktól függetlenül a finom felbontású futások mutatnak jobb eredményt.

Durva felbontású eredmények elkülönülnek.

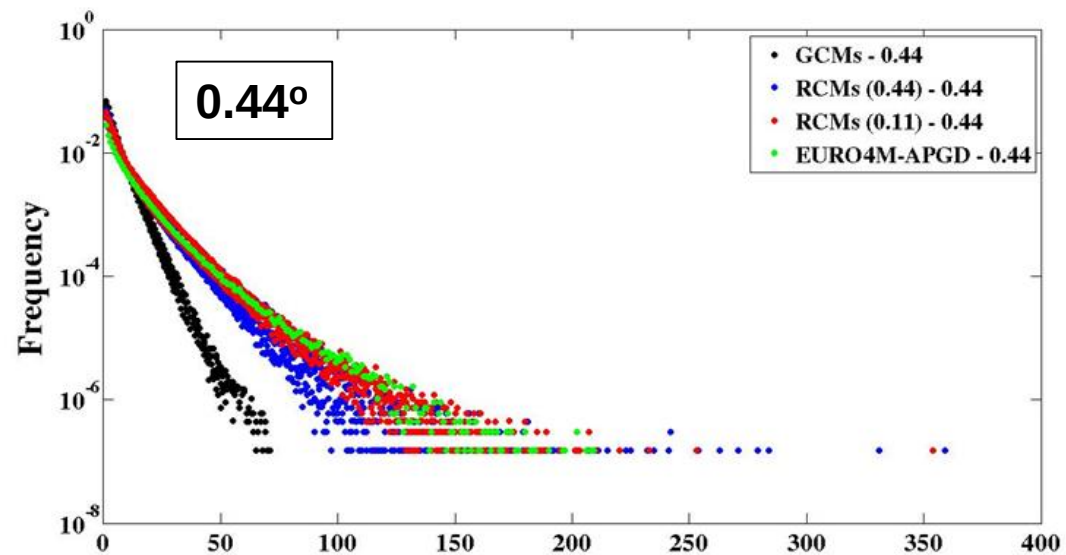
1976-2005



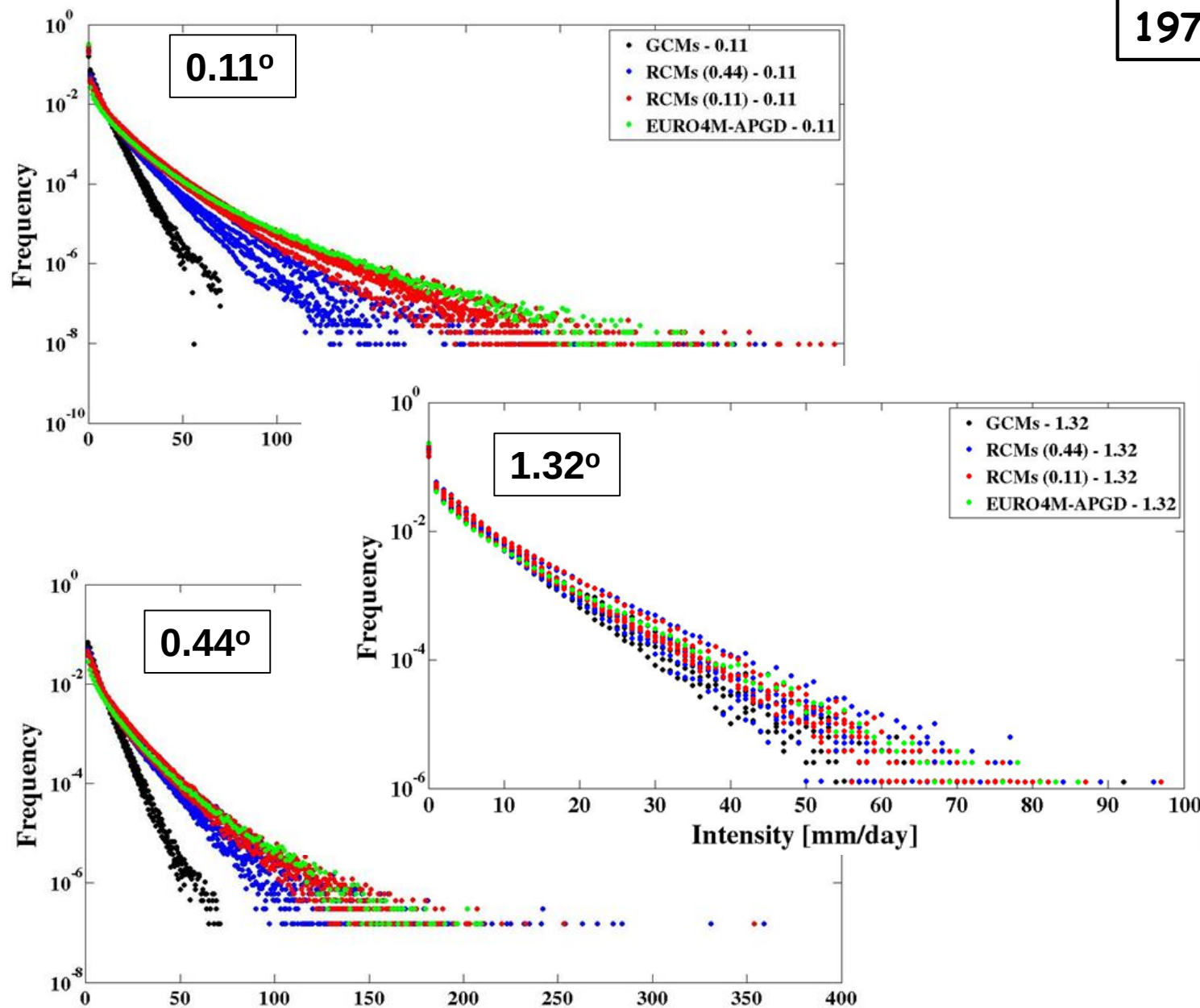
Napi adatsorok.

Az összes vizsgált szimuláció, minden rácsponti adat feltüntetve.

A regionális modellek a globális modellekhez viszonyítva minden felbontás mellett a megfigyelésekkel összevetve egyezőbb eredménnyel szolgáltak.



1976-2005



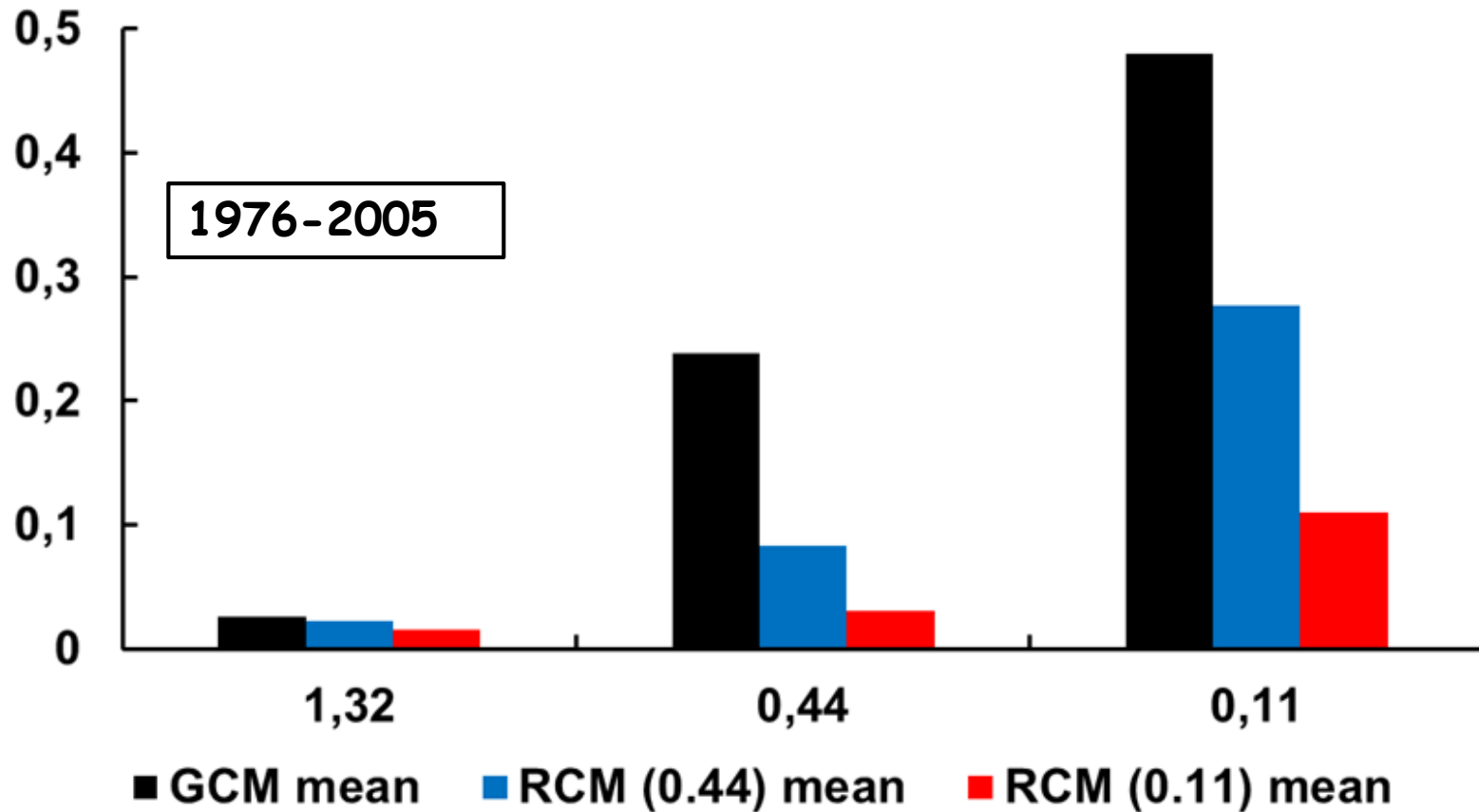
Napi adatsorok.

Az összes vizsgált szimuláció, minden rácsponti adat feltüntetve.

A regionális modellek a globális modellekhez viszonyítva minden felbontás mellett a megfigyelésekkel összevetve egyezőbb eredménnyel szolgáltak.

Kolmogorov-Smirnov távolság

$$d_{KS}(F, G) = \sup_{t \in \mathbb{R}} |F(t) - G(t)|$$

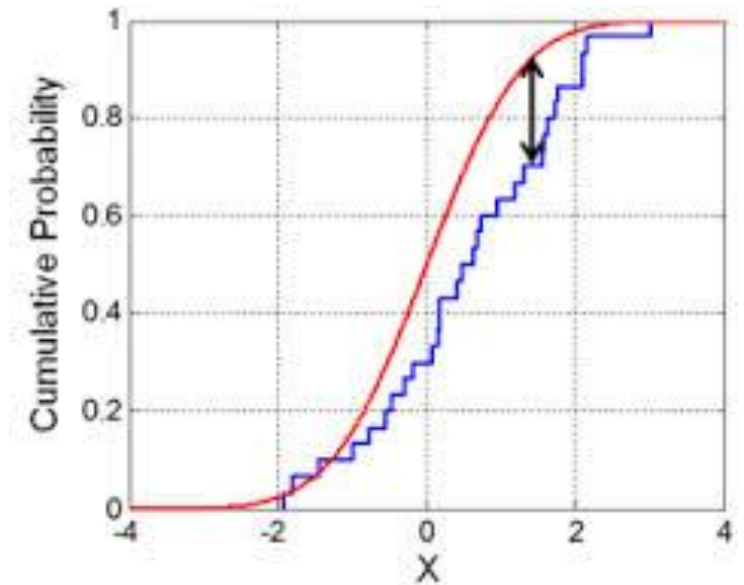
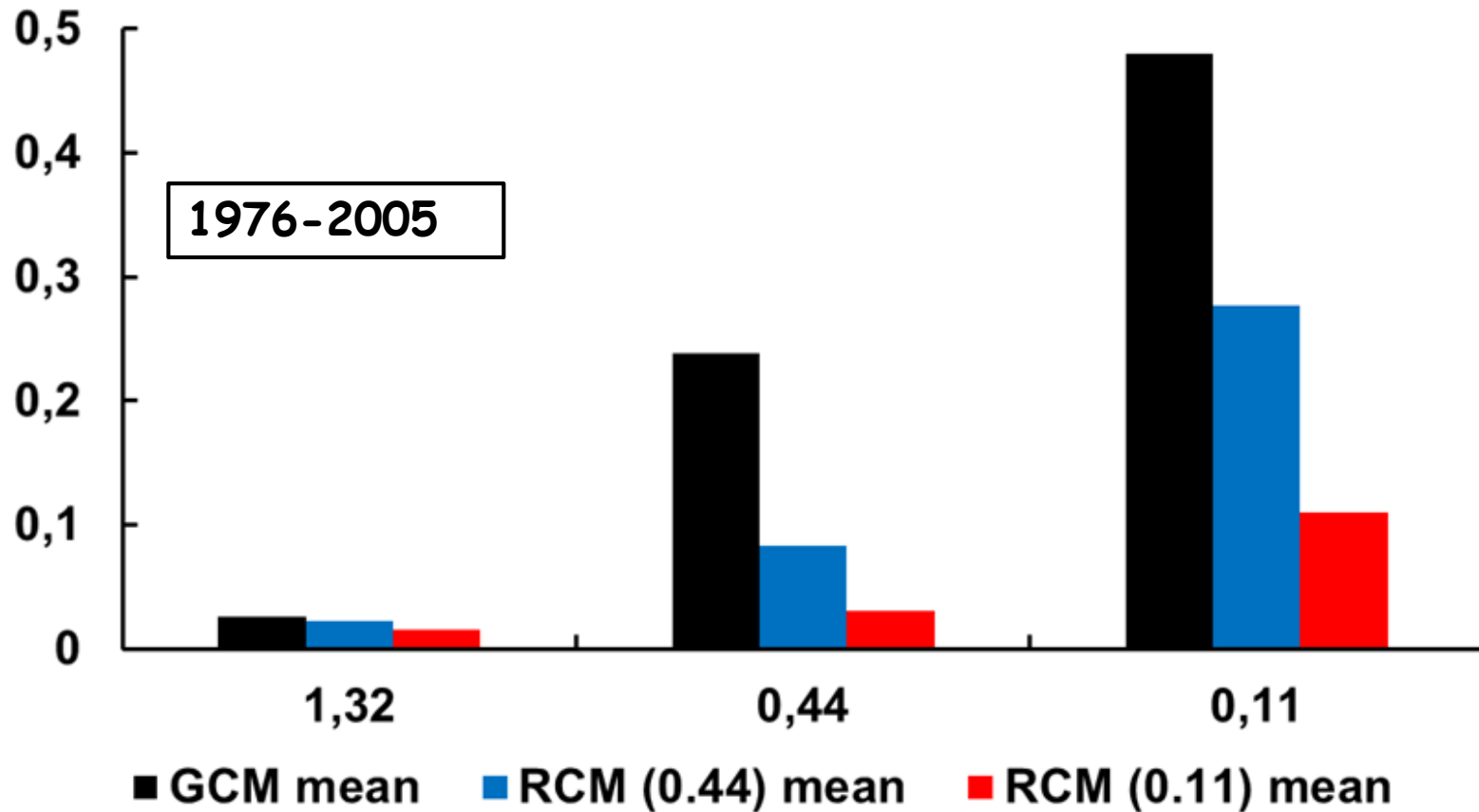


K-S távolság fordított arányban áll a rácshálózattal

K-S távolság minimális: RCM11
(minden rácshálózaton)

Kolmogorov-Smirnov távolság

$$d_{KS}(F, G) = \sup_{t \in \mathbb{R}} |F(t) - G(t)|$$



K-S távolság fordított arányban áll a rácshálózattal

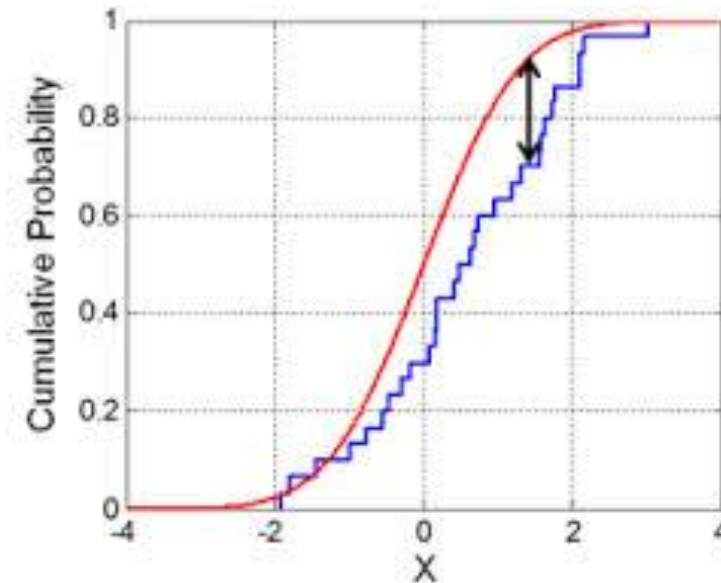
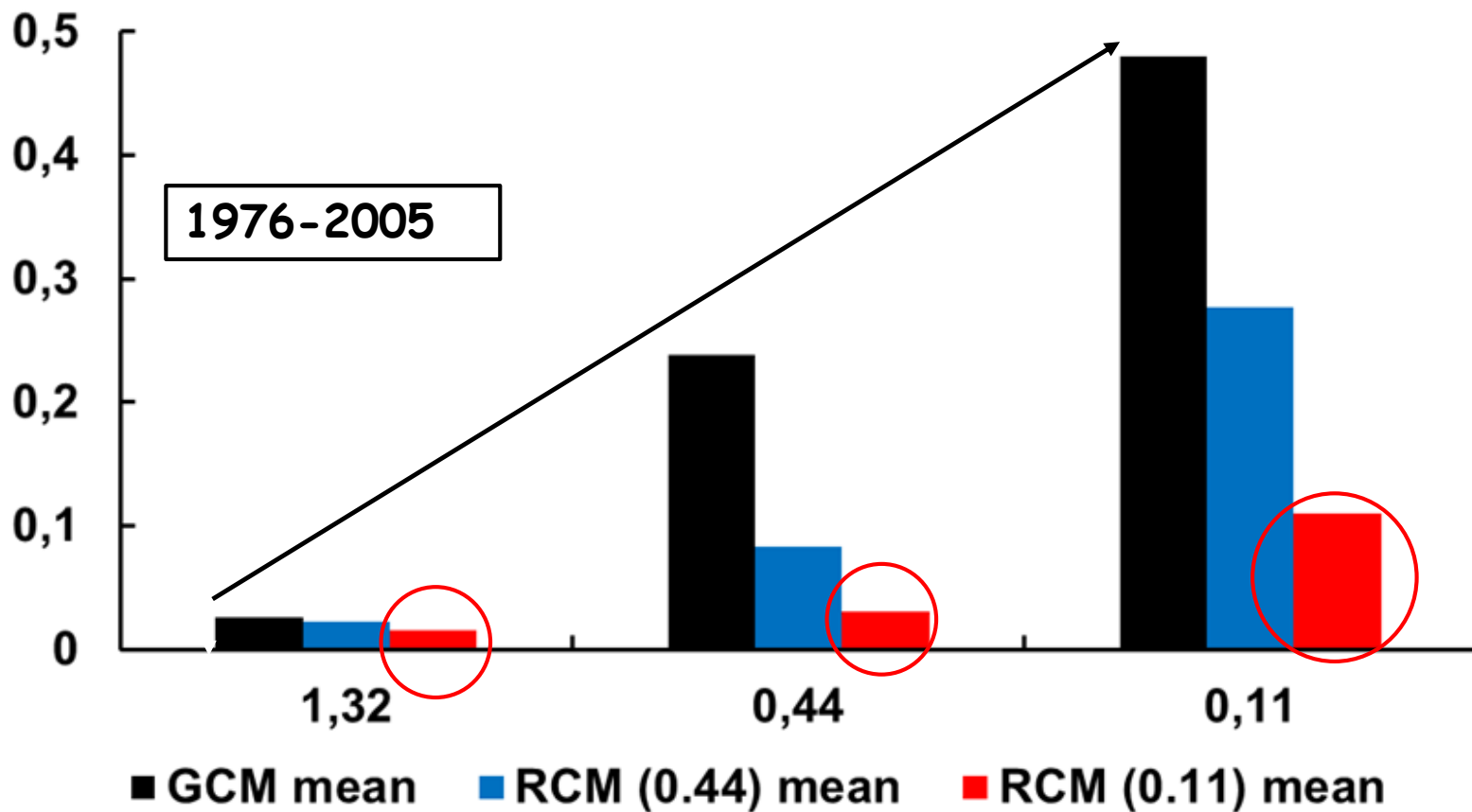
K-S távolság minimális: RCM11
(minden rácshálózaton)

Extrémumok pontosabb leírása



Kolgomorov-Smirnov távolság

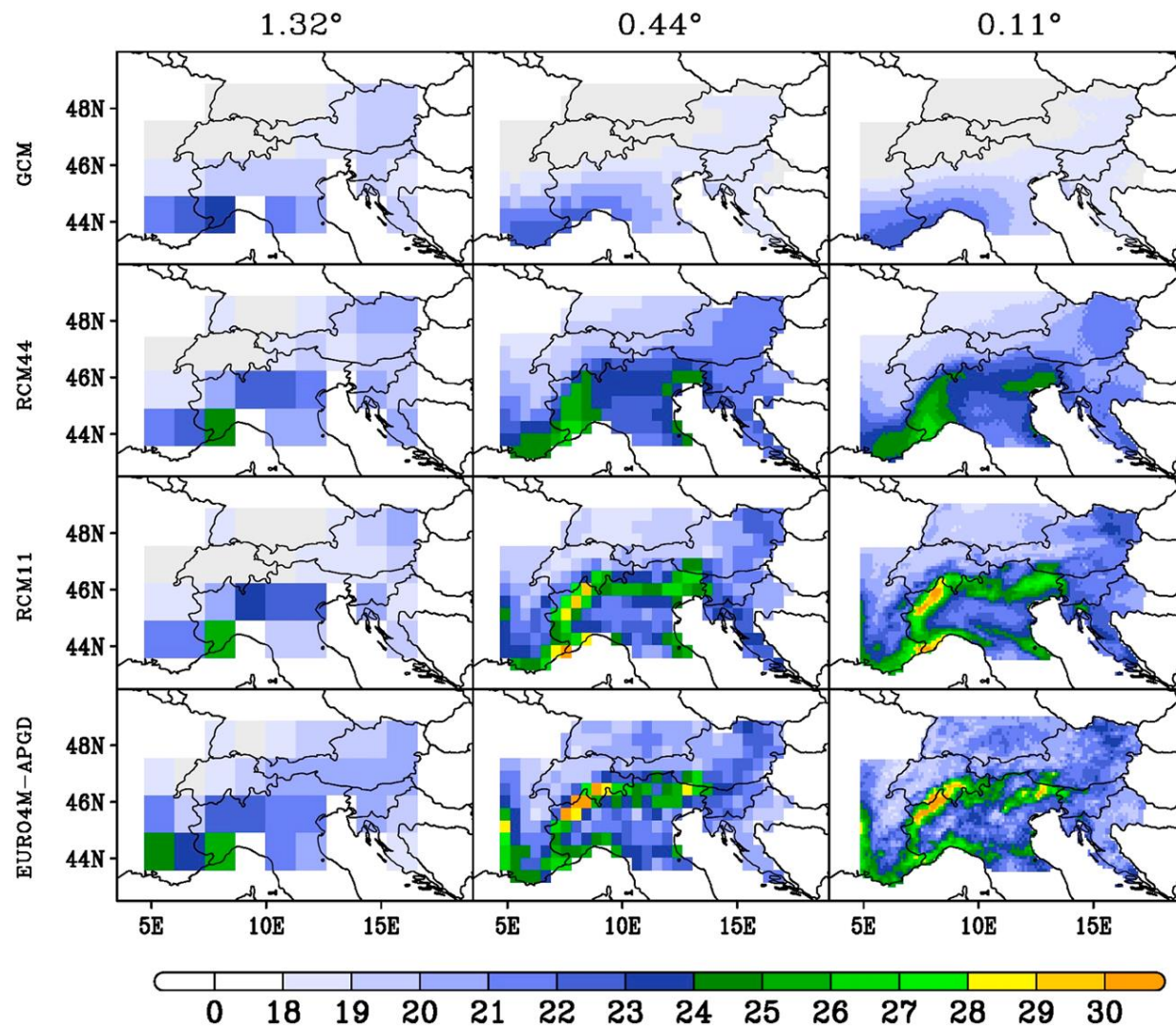
$$d_{KS}(F, G) = \sup_{t \in \mathbb{R}} |F(t) - G(t)|$$



K-S távolság fordított arányban áll a rácshálózattal

K-S távolság minimális: RCM11
(minden rácshálózaton)

Extrémumok pontosabb leírása



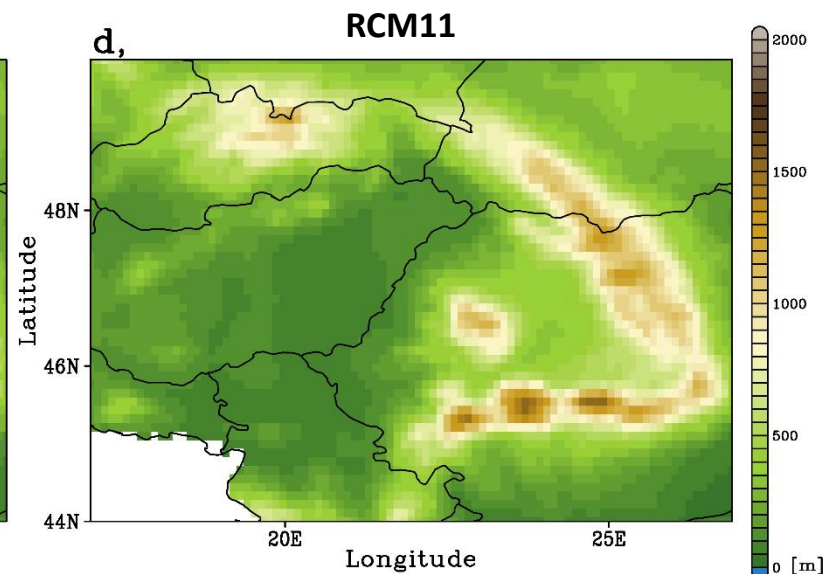
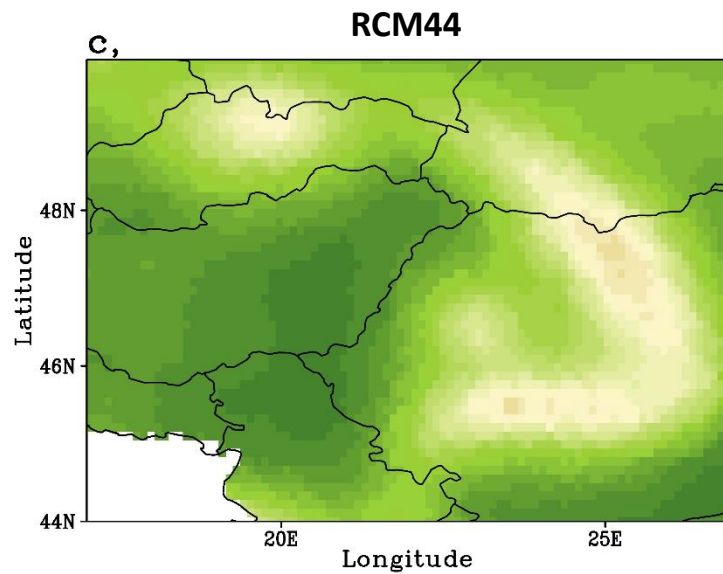
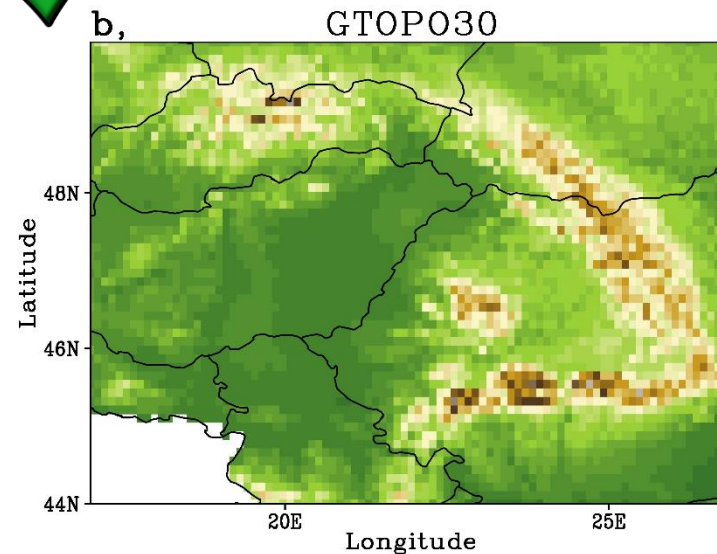
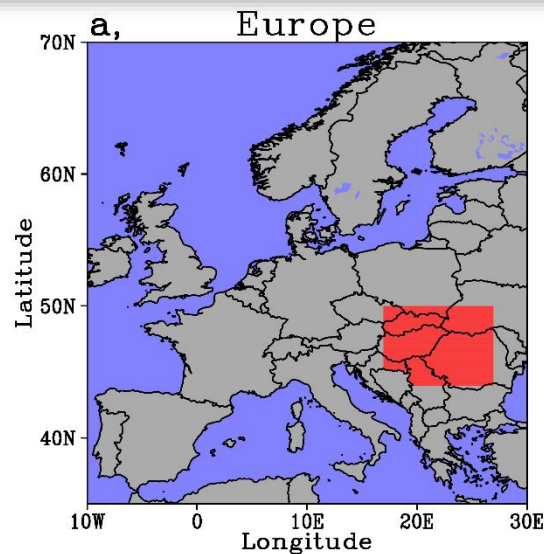
R95

Extrémum pontosabb leírása

Lokális maximum

Térbeli eloszlás

Részletesebb domborzat



Meghajtó mezők:

ERA-Interim

1989-2008

Regionális modellek:

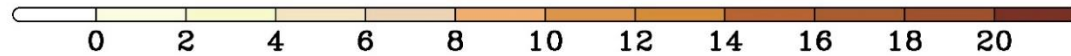
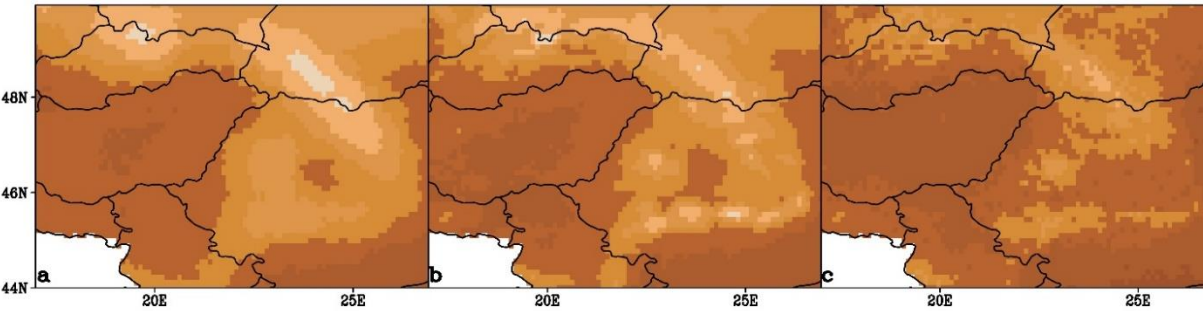
CCLM
REMO
RACMO
ALADIN
RegCM4.3
RCA4
WRF
HIRHAM5
PROMES

CDD

RCM44

RCM11

CARPATCLIM

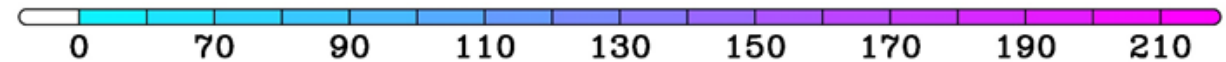
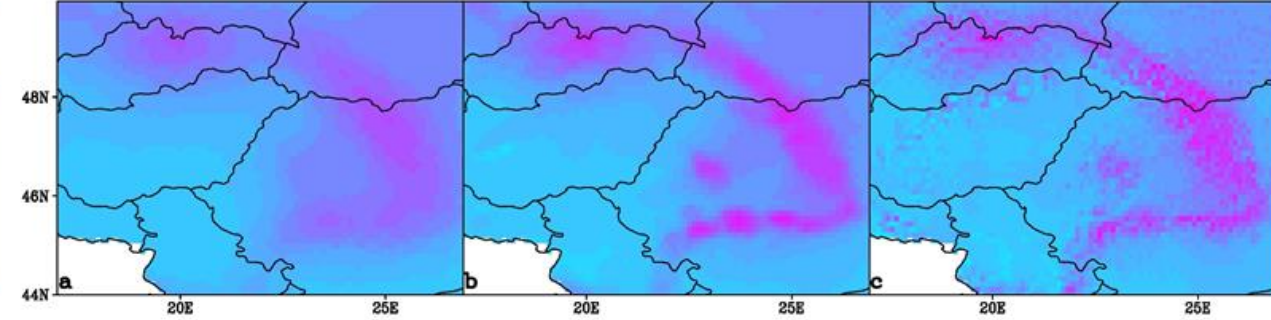


Fagyos napok ($T_{\min} < 0\text{ }^{\circ}\text{C}$)

RCM44

RCM11

CARPATCLIM



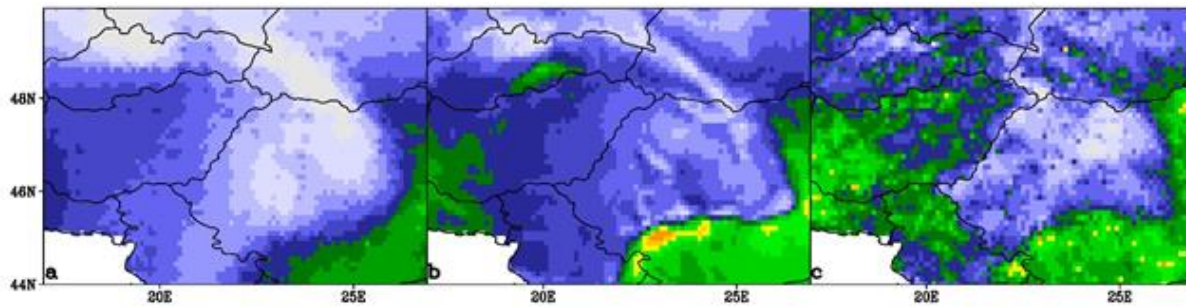
1989-2008

R95

RCM44

RCM11

CARPATCLIM

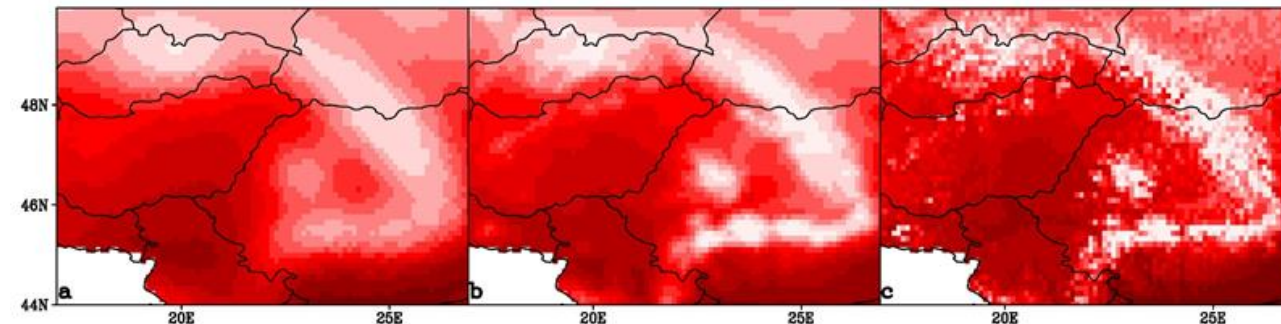


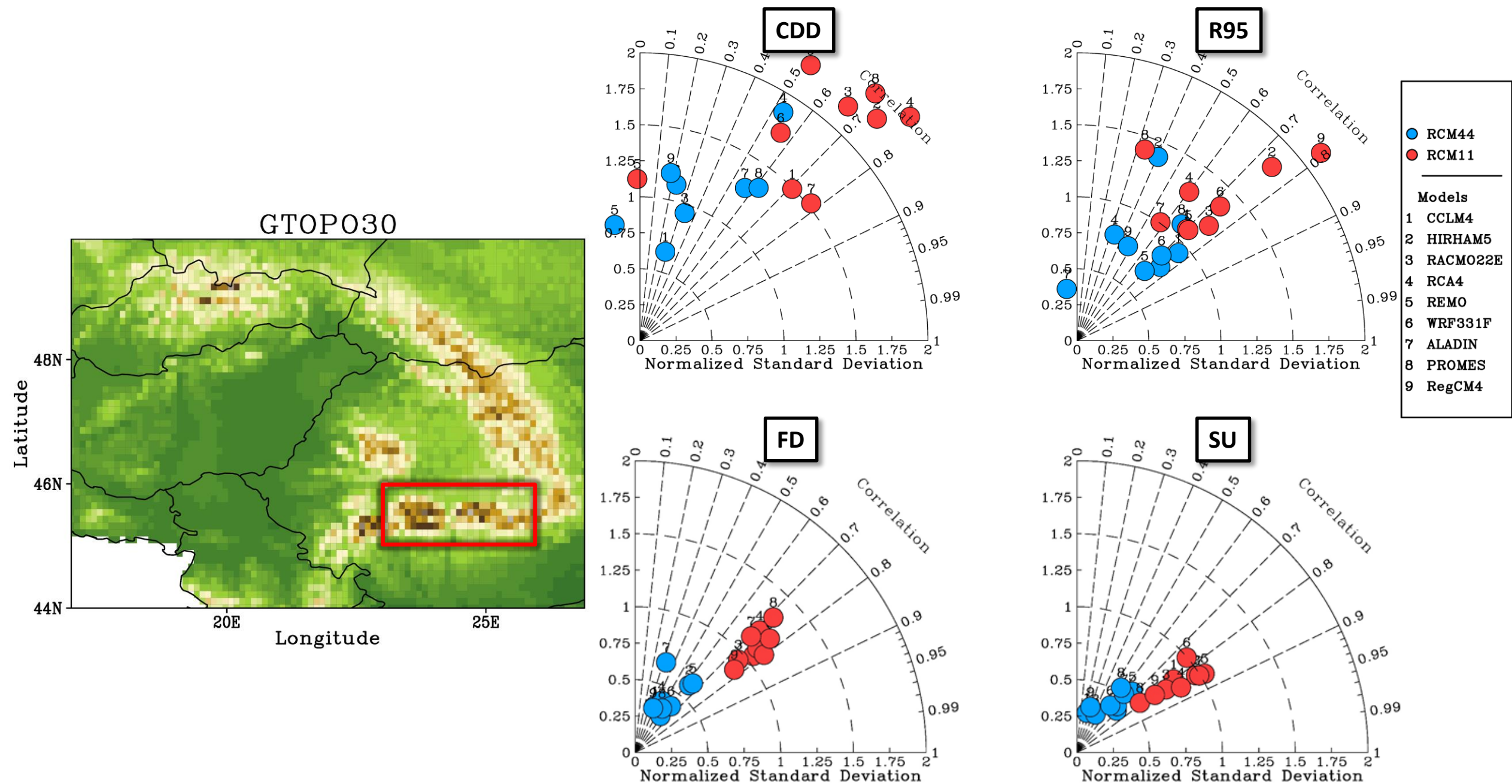
Nyári napok ($T_{\max} > 25\text{ }^{\circ}\text{C}$)

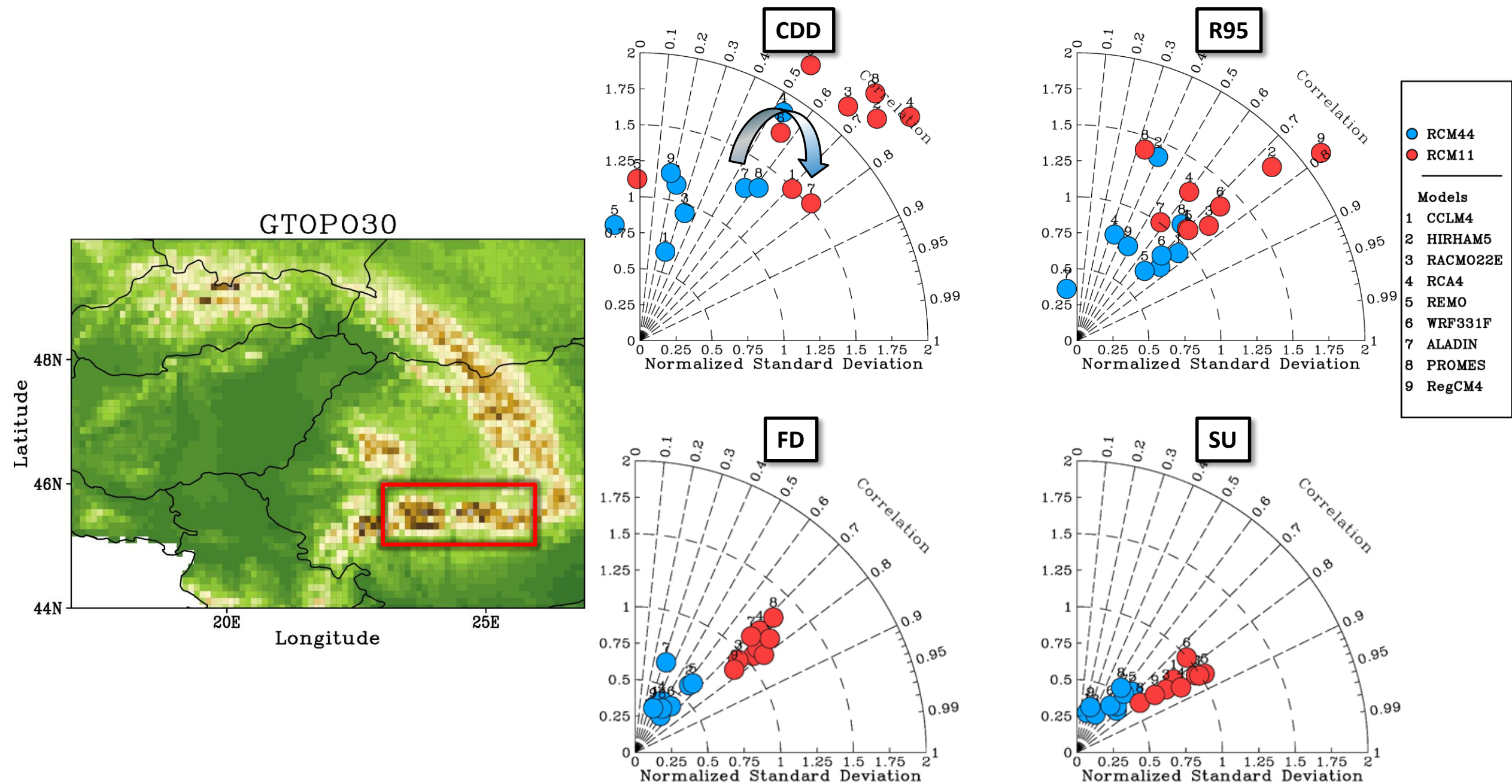
RCM44

RCM11

CARPATCLIM



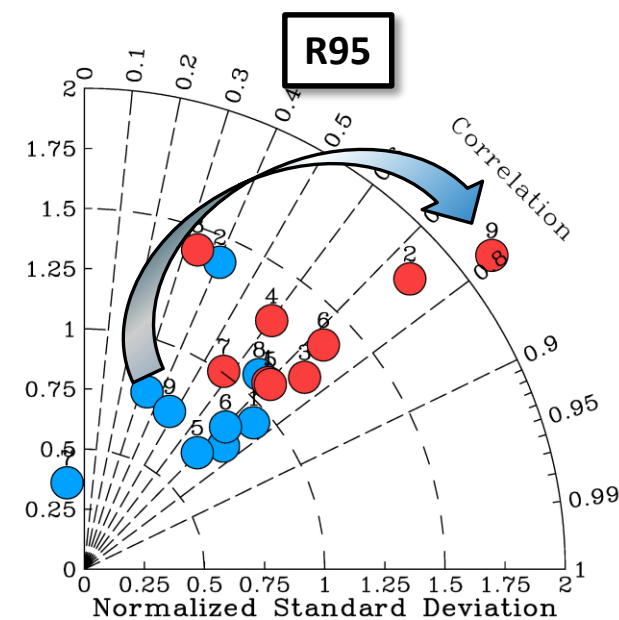
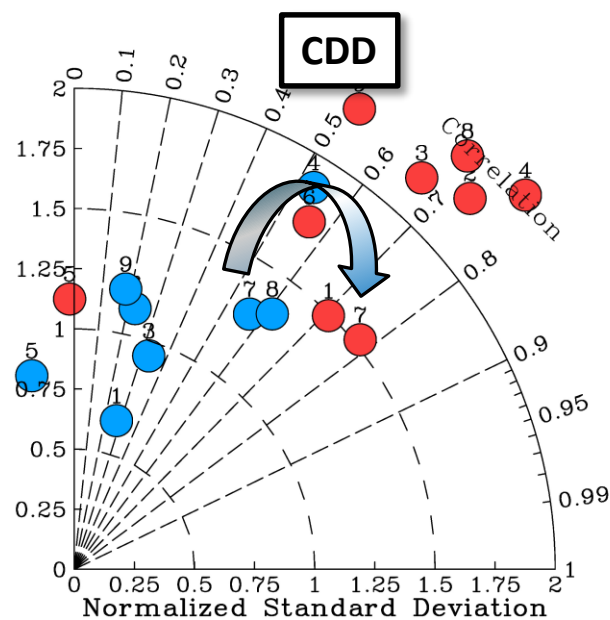
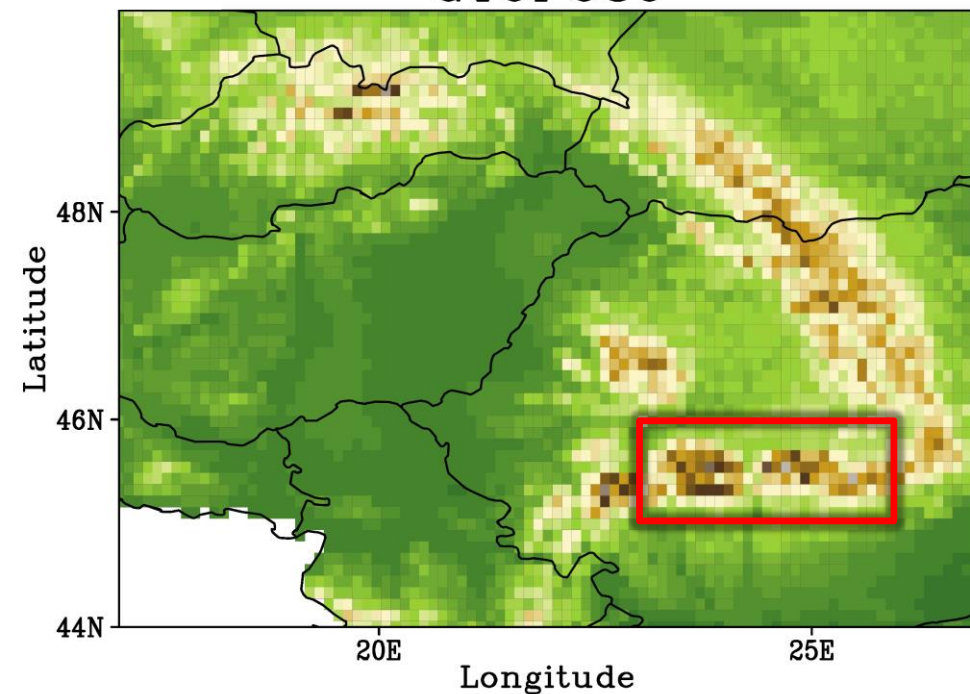




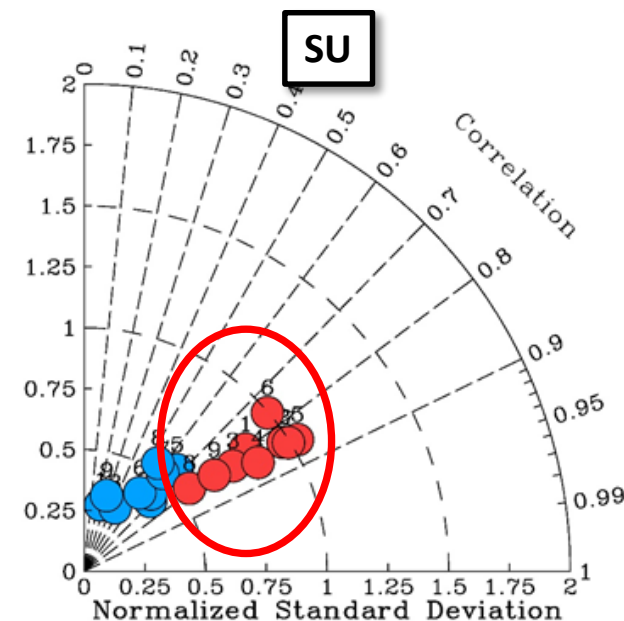
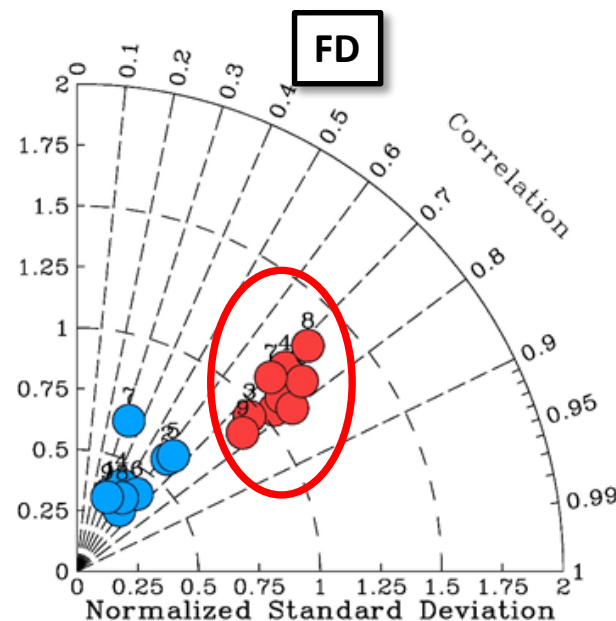
Extrémumok pontosabb leírása



GTOP030



●	RCM44
●	RCM11
Models	
1	CCLM4
2	HIRHAM5
3	RACMO22E
4	RCA4
5	REMO
6	WRF331F
7	ALADIN
8	PROMES
9	RegCM4



Jelenlegi kutatásaim:

Hibakorrigált adatbázis (csapadék): Torma Cs., Kis A, Pongrácz R.: Evaluation of EURO-CORDEX and Med-CORDEX precipitation simulations for the Carpathian Region: Bias corrected data and projected changes (*Időjárás*)

Inverziós helyzet vizsgálata: Torma Cs., Dezső Zs.: Európai példák inverziós helyzetre: 2015. december (*Légkör*)

Kárpátok és a csapadék kapcsolata: Torma Cs., Giorgi F.: On the evidence of orographical modulation of regional fine scale precipitation change signals: The Carpathians. (*Atmospheric Science Letters*)

Csapadékváltozás a tengerszint feletti magasság függvényében: az Alpok és a Kárpátok térségének összehasonlító elemzése: ÚNKP Bolyai+

Gleccserek ellenállóképessége: Colucci R.R, Glasser F.N., Maset E., Torma Cs. Zs., Žebre M.: Resilience of small glaciers in a warmer world: the Julian Alps (*Climate Dynamics*)

Klímaváltozás városi környezetben: Giorgi F., Raffaele F., da Rocha R.P., Halenka T., Im E.S., Torma Cs., Ivusic S., Sawadogo W., Stefanelli M.: Future climate trajectories for major cities in the world (*International Journal of Climatology*)

Hőstresszes helyzetek vizsgálata: Im E.S., Torma Cs., et al.: Ubiquitous increase of extreme heat stress under global warming from CORDEX-CORE climate projections (*International Journal of Climatology*)

Vízmérleg vizsgálata CORDEX régiókra: Llopart M., Torma Cs., et al.: Water Balance using RegCM4 projections over multiple CORDEX domains

Jelenlegi kutatásaim:

Hibakorrigált adatbázis (csapadék): Torma Cs., Kis A, Pongrácz R.: Evaluation of EURO-CORDEX and Med-CORDEX precipitation simulations for the Carpathian Region: Bias corrected data and projected changes (*Időjárás*)

Inverziós helyzet vizsgálata: Torma Cs., Dezső Zs.: Európai példák inverziós helyzetre: 2015. december (*Légkör*)

Kárpátok és a csapadék kapcsolata: Torma Cs., Giorgi F.: On the evidence of orographical modulation of regional fine scale precipitation change signals: The Carpathians. (*Atmospheric Science Letters*)

Csapadékváltozás a tengerszint feletti magasság függvényében: az Alpok és a Kárpátok térségének összehasonlító elemzése: ÚNKP Bolyai+

Gleccserek ellenállóképessége: Colucci R.R, Glasser F.N., Maset E., Torma Cs. Zs., Žebre M.: Resilience of small glaciers in a warmer world: the Julian Alps (*Climate Dynamics*)

Klímaváltozás városi környezetben: Giorgi F., Raffaele F., da Rocha R.P., Halenka T., Im E.S., Torma Cs., Ivusic S., Sawadogo W., Stefanelli M.: Future climate trajectories for major cities in the world (*International Journal of Climatology*)

Hőstresszes helyzetek vizsgálata: Im E.S., Torma Cs., et al.: Ubiquitous increase of extreme heat stress under global warming from CORDEX-CORE climate projections (*International Journal of Climatology*)

Vízmérleg vizsgálata CORDEX régiókra: Llopart M., Torma Cs., et al.: Water Balance using RegCM4 projections over multiple CORDEX domains

Jelenlegi kutatásaim:

Hibakorrigált
precipitation sim

Inverziós hely

Kárpátok és a
precipitation ch

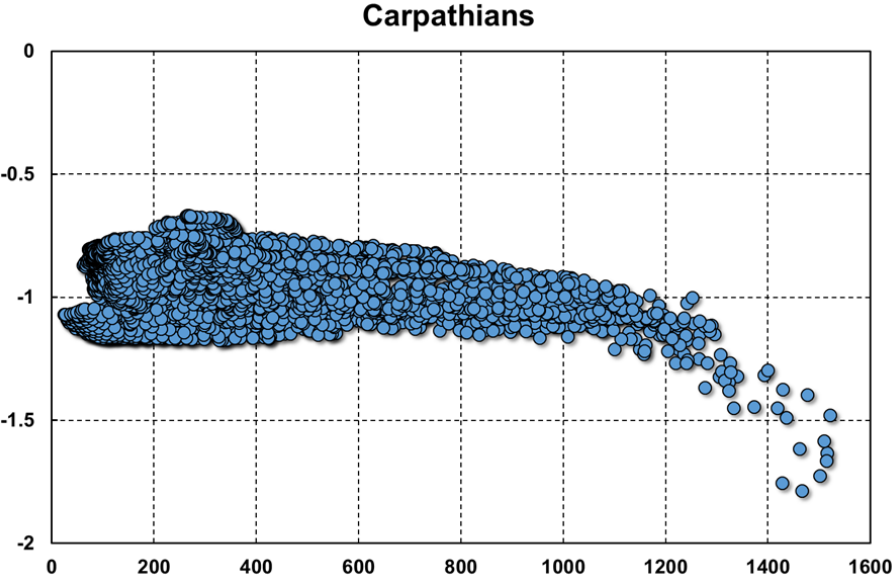
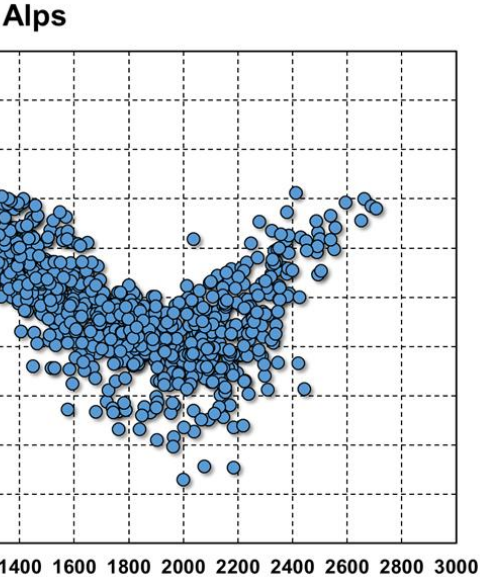
Csapadékválto
elemzése: ÚN

Gleccserek ellenállóképessége: Col
warmer world: the Julian Alps (*Climate*

Klímaváltozás városi környezetben:
Stefanelli M.: Future climate trajectorie

Hőstresszes helyzetek vizsgálata: Il
from CORDEX-CORE climate projecti

Vízmérleg vizsgálata CORDEX régió
CORDEX domains



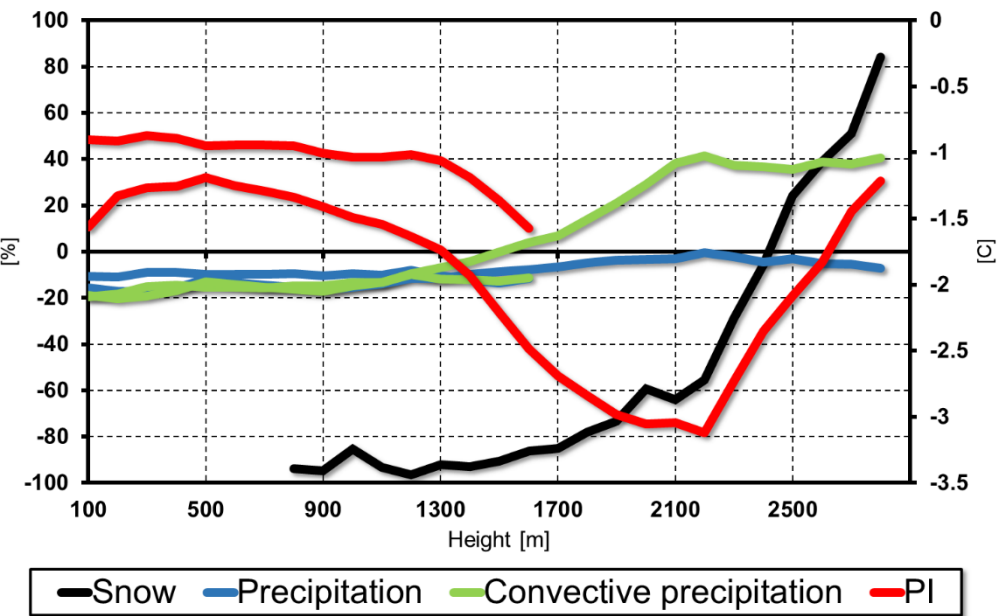
CORDEX

(kör)

onal fine scale

zehasonlító

Change (2070-2099)-(1976-2005)



› M.: Resilience of small glaciers in a

› S., Torma Cs., Ivusic S., Sawadogo W.,
Climatology)

› the heat stress under global warming

› RegCM4 projections over multiple

Jelenlegi kutatásaim:

Hibakorrigált adatbázis (csapadék): Torma Cs., Kis A, Pongrácz R.: Evaluation of EURO-CORDEX and Med-CORDEX precipitation simulations for the Carpathian Region: Bias corrected data and projected changes (*Időjárás*)

Inverziós helyzet vizsgálata: Torma Cs., Dezső Zs.: Európai példák inverziós helyzetre: 2015. december (*Légkör*)

Kárpátok és a csapadék kapcsolata: Torma Cs., Giorgi F.: On the evidence of orographical modulation of regional fine scale precipitation change signals: The Carpathians. (*Atmospheric Science Letters*)

Csapadékváltozás a tengerszint feletti magasság függvényében: az Alpok és a Kárpátok térségének összehasonlító elemzése: ÚNKP Bolyai+

Gleccserek ellenállóképessége: Colucci R.R, Glasser F.N., Maset E., Torma Cs. Zs., Žebre M.: Resilience of small glaciers in a warmer world: the Julian Alps (*Climate Dynamics*)

Klímaváltozás városi környezetben: Giorgi F., Raffaele F., da Rocha R.P., Halenka T., Im E.S., Torma Cs., Ivusic S., Sawadogo W., Stefanelli M.: Future climate trajectories for major cities in the world (*International Journal of Climatology*)

Hőstresszes helyzetek vizsgálata: Im E.S., Torma Cs., et al.: Ubiquitous increase of extreme heat stress under global warming from CORDEX-CORE climate projections (*International Journal of Climatology*)

Vízmérleg vizsgálata CORDEX régiókra: Llopart M., Torma Cs., et al.: Water Balance using RegCM4 projections over multiple CORDEX domains

Jelenlegi kutatásaim:

Hibakorrigált adatbázis (csapadék): Torma Cs., Kis A, Pongrácz R.: Evaluation of EURO-CORDEX and Med-CORDEX precipitation simulations for the Carpathian Region: Bias corrected data and projected changes (*Időjárás*)

Inverziós helyzet vizsgálata: Torma Cs., Dezső Zs.: Európai példák inverziós helyzetre: 2015. december (*Légkör*)

Kárpátok és a csapadék kapcsolata: Torma Cs., Giorgi F.: On the evidence of orographical modulation of regional fine scale precipitation change signals: The Carpathians. (*Atmospheric Science Letters*)

Csapadékváltozás a tengerszint feletti magasság függvényében: az Alpok és a Kárpátok térségének összehasonlító elemzése: ÚNKP Bolyai+

Gleccserek ellenállóképessége: Colucci R.R, Glasser F.N., Maset E., Torma Cs. Zs., Žebre M.: Resilience of small glaciers in a warmer world: the Julian Alps (*Climate Dynamics*)

Klímaváltozás városi környezetben: Giorgi F., Raffaele F., da Rocha R.P., Halenka T., Im E.S., Torma Cs., Ivusic S., Sawadogo W., Stefanelli M.: Future climate trajectories for major cities in the world (*International Journal of Climatology*)

Hőstresszes helyzetek vizsgálata: Im E.S., Torma Cs., et al.: Ubiquitous increase of extreme heat stress under global warming from CORDEX-CORE climate projections (*International Journal of Climatology*)

Vízmérleg vizsgálata CORDEX régiókra: Llopart M., Torma Cs., et al.: Water Balance using RegCM4 projections over multiple CORDEX domains

Összefoglalás

- Különböző modellmetrikák támasztják alá az RCM-ek **értékes hozzájárulását** a regionális klímakutatáshoz
- Részletesebb felbontású modellekkel lehetőség nyílik az **összetett domborzattal**, illetve **hegyvidéki környezettel** jellemzett térségek klímájának pontosabb leírására (**extrémumok**)
- Finom felbontású, megbízható **megfigyeléseken alapuló adatbázisok** rendkívül fontosak a modellek kiértékeléséhez

Köszönöm a figyelmet!

Források:

Isotta et al. 2014: The climate of daily precipitation in the Alps: development and analysis of a high-resolution grid dataset from pan-Alpine rain-gauge data. Int. J. Climatol., 34 (5), 1657-1675.

Szalai, S., Auer, I., Hiebl, J., Milkovich, J., Radim, T., Stepanek, P., Zahradnicek, P., Bihari, Z., Lakatos, M., Szentimrey, T., Limanowka, D., Kilar, P., Cheval, S., Deak, Gy., Mihic, D., Antolovic, I., Mihajlovic, V., Nejedlik, P., Stastny, P., Mikulova, K., Nabyvanets, I., Skyryk, O., Krakovskaya, S., Vogt, J., Antofie, T., and Spinoni, J., 2013: Climate of the Greater Carpathian Region. Final Technical Report. <http://www.carpatclim-eu.org>. ; <http://www.clker.com/clipart-15149.html>

Torma, Cs., F. Giorgi, and E. Coppola 2015: Added value of regional climate modeling over areas characterized by complex terrain-Precipitation over the Alps., J. Geophys. Res. Atmos., 120, 3957-3972, DOI:10.1002/2014JD022781.

Giorgi F., Cs. Torma, E. Coppola, N. Ban, C. Schär, S. Somot 2016: Enhanced summer convective rain at Alpine high elevations in response to climate warming., Nature Geoscience, doi:10.1038/ngeo2761