

Összetett szélsőségek: az éghajlatváltozás és a társadalmi-gazdasági fejlődés hatásai

Takumi Therville, University of Antwerp

Tartalomjegyzék

1. Éghajlatváltozás és összetett események
2. Társadalmi-gazdasági fejlődés és összetett események
3. Jövőbeli kilátások

Tartalomjegyzék

1. Éghajlatváltozás és összetett események
2. Társadalmi-gazdasági fejlődés és összetett események
3. Jövőbeli kilátások

Éghajlatváltozás és összetett események

(Zscheischler, J., et al. 2020)

Három mód, ahogyan az éghajlatváltozás hat az összetett eseményekre:

- **Átlageltolódások (mean shifts)**

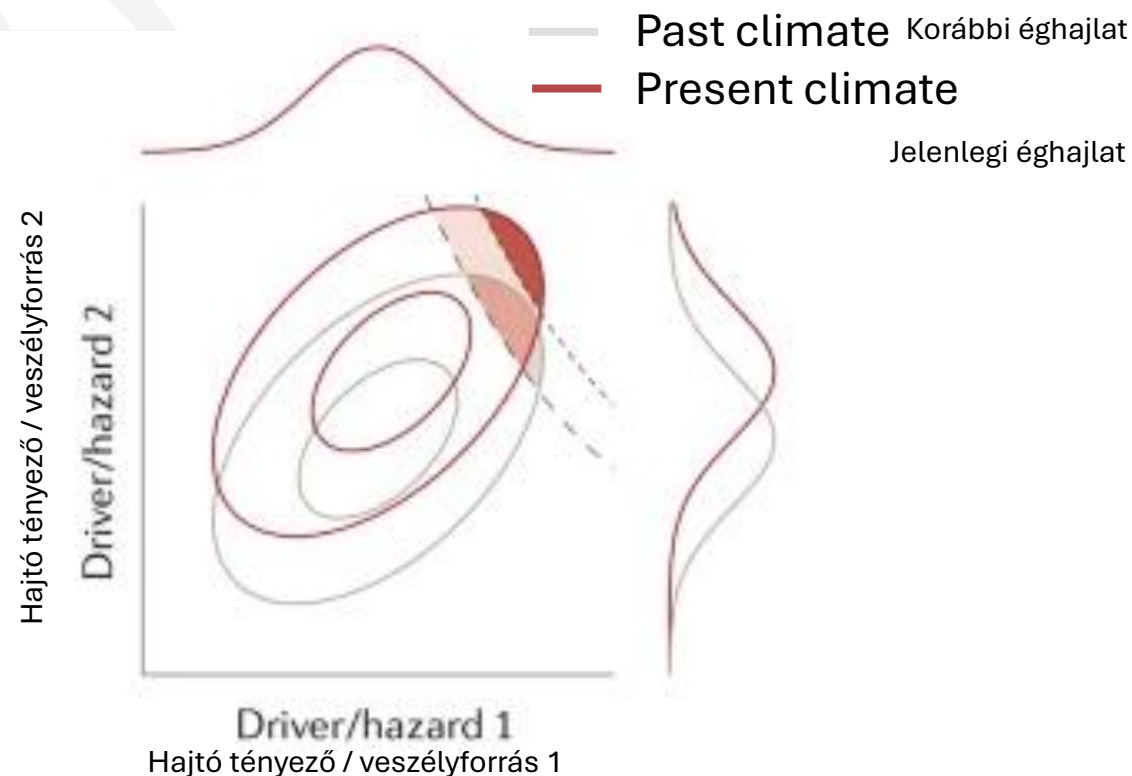


Fig 6 from Zscheischler, J., et al. (2020)

Éghajlatváltozás és összetett események

(Zscheischler, J., et al. 2020)

Három mód, ahogyan az éghajlatváltozás hat az összetett eseményekre:

- Átlageltolódások
- Szóráseltolódások (variance shifts)

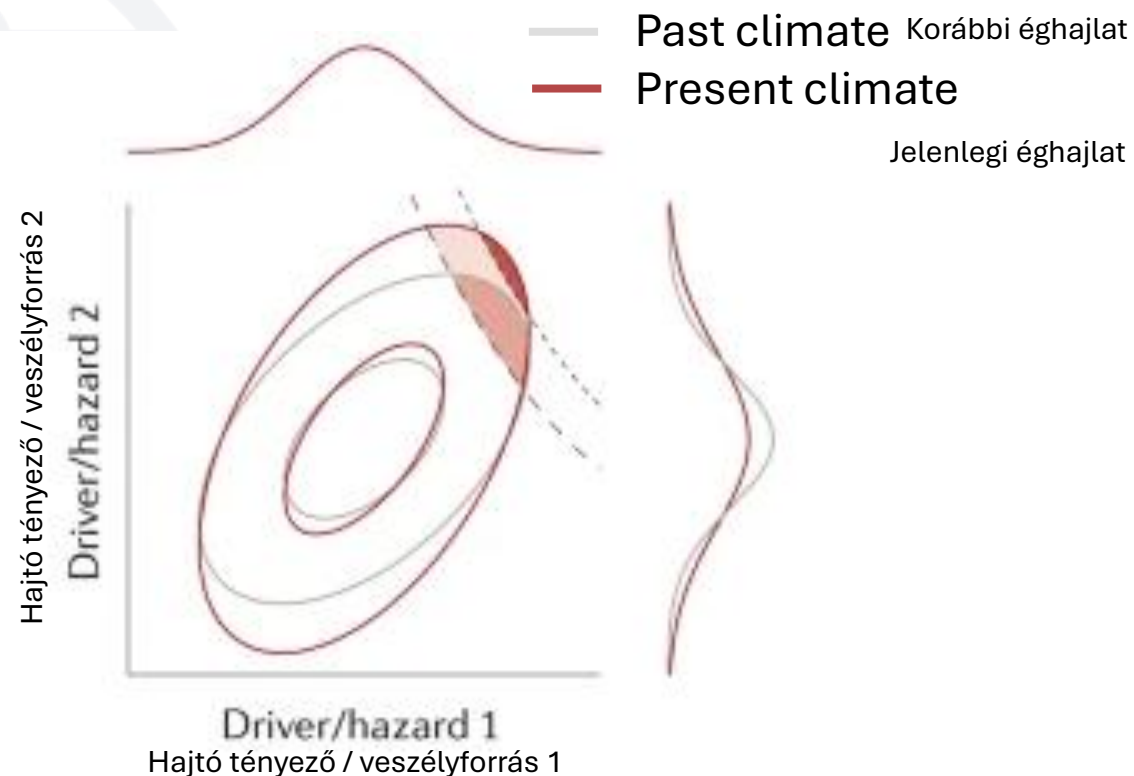


Fig 6 from Zscheischler, J., et al. (2020)

Éghajlatváltozás és összetett események

(Zscheischler, J., et al. 2020)

Három mód, ahogyan az éghajlatváltozás hat az összetett eseményekre:

- Átlageltolódások
- Szóráseltolódások
- Függőségi eltolódások (dependence shifts)

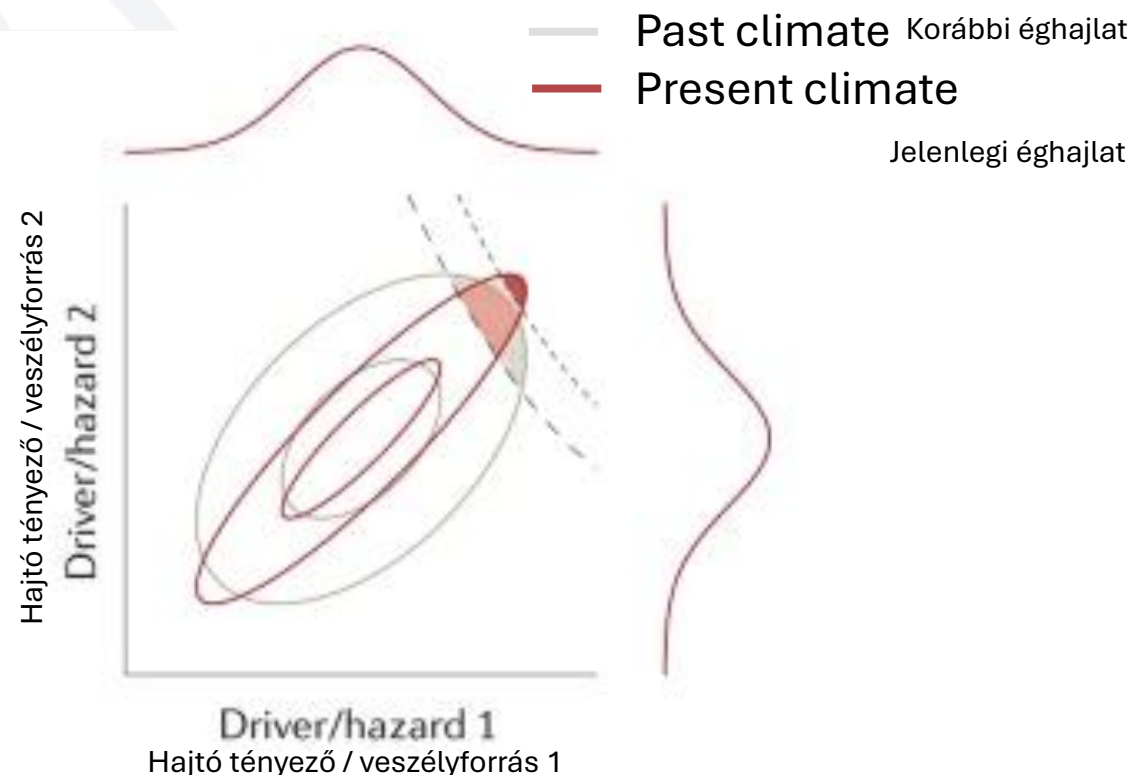


Fig 6 from Zscheischler, J., et al. (2020)

Ismétlés – reggeli szekció

(Zscheischler, J., et al. 2020)

Előfeltételes (preconditioning) összetett események	Időbeli (temporal) összetett események
Térbeli (spatial) összetett események	Többváltozós (multivariate) összetett események

Tartalomjegyzék

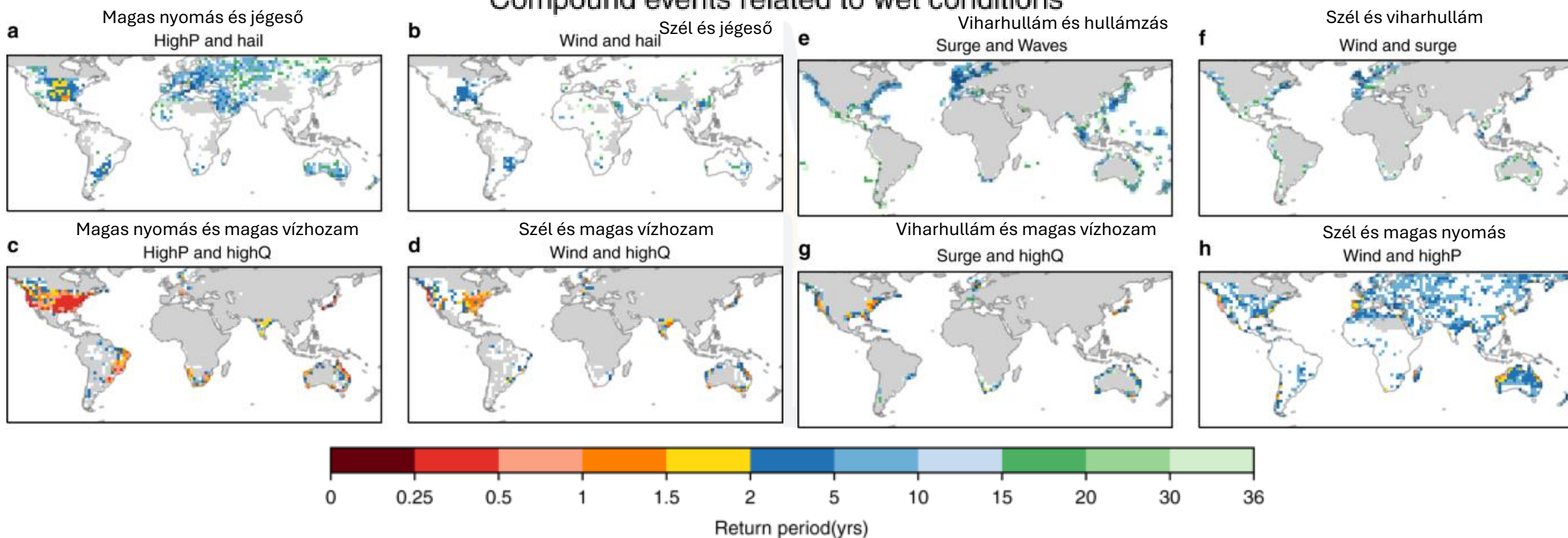
1. Éghajlatváltozás és összetett események
 - a) Többváltozós (multivariate) összetett események
 - b) Időbeli (temporal) összetett események
 - c) Térbeli (spatial) összetett események
2. Társadalmi-gazdasági fejlődés és összetett események
3. Jövőbeli kilátások

Történelmi trendek, összetett események

(Ridder, N.N., et al. 2020)

Nedves körülményekhez kapcsolódó összetett események

Compound events related to wet conditions

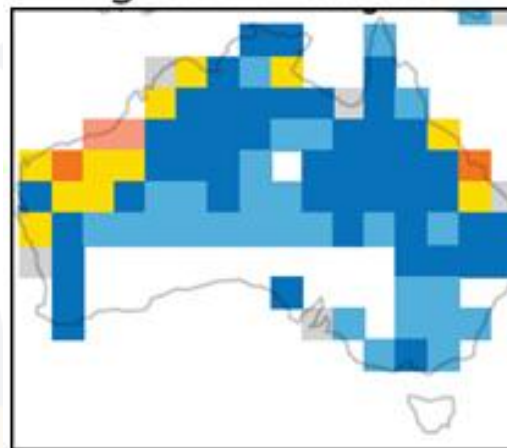


Történelmi összetett események trendje: A regionális sajátosságok fontossága

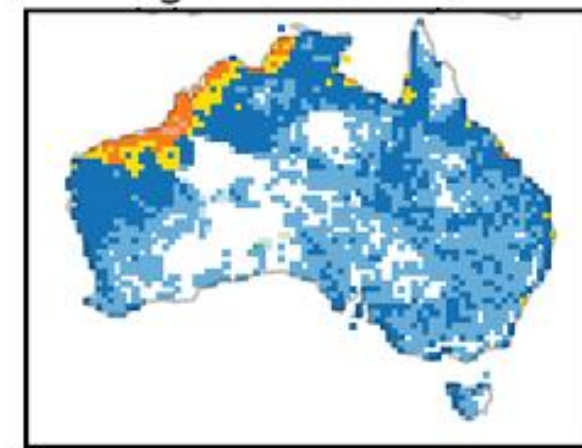
(Ridder, N.N., et al. 2020)

Magas csapadék és szél
High precipitation
and wind

Globális adathalmaz
global dataset

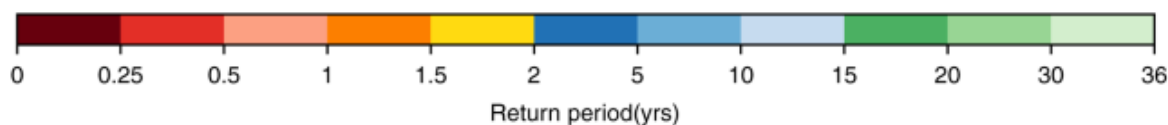
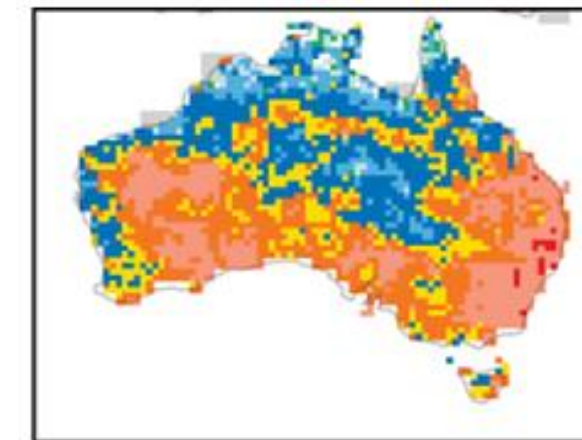
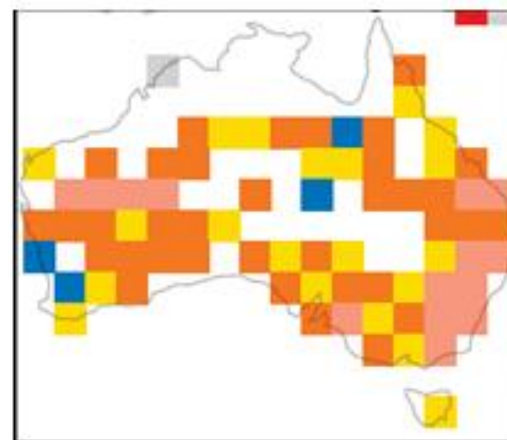


Regionális adathalmaz
regional dataset



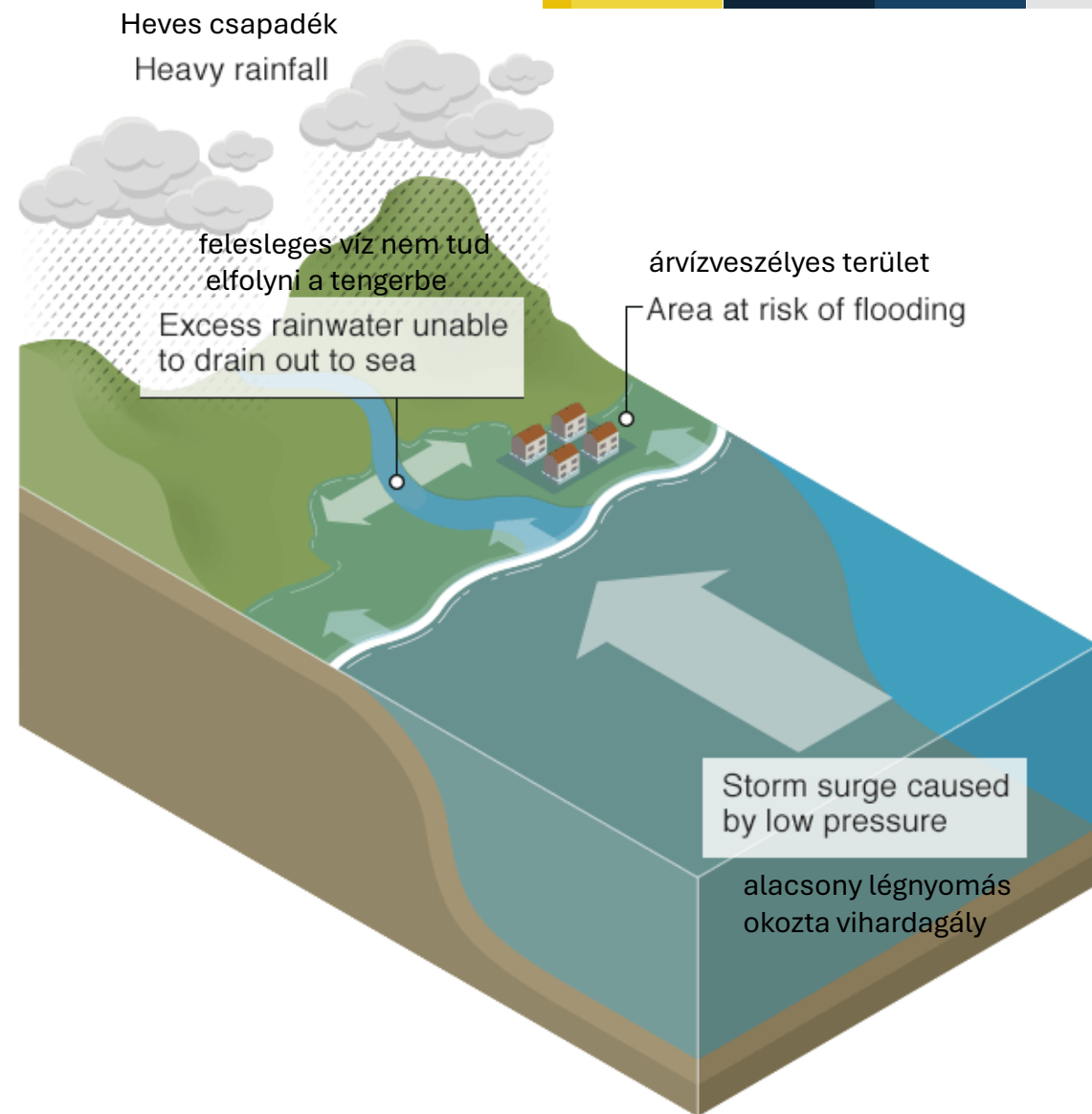
FFDI and drought

FFDI (tűzveszély-index) és aszály



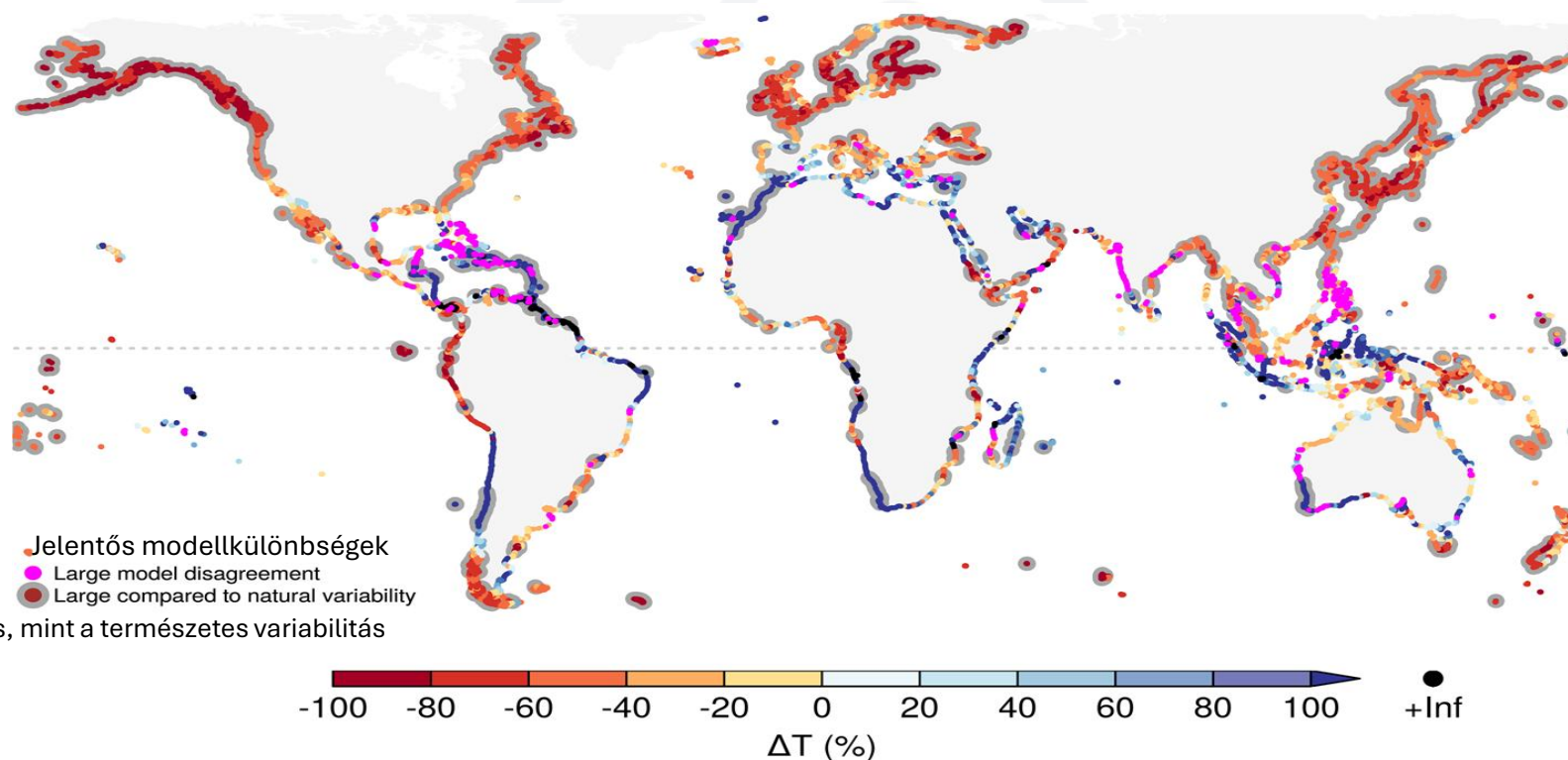
Összetett árvizek

(McGrath, B.M., 2019)



Éghajlatváltozás és többváltozós összetett események: Extrém meteorológiai árapály és csapadék

(Bevacqua, E., et al. 2020)



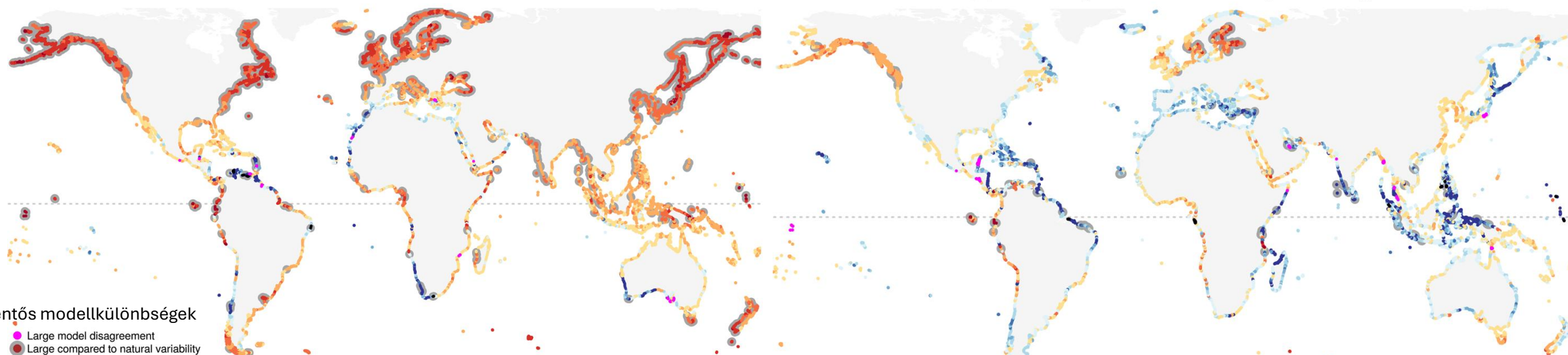
Együttes visszatérési idő (joint return period) változása a jövőbeli (2070–2099) és az alapidőszak (1970–2004) éghajlata között

Éghajlatváltozás és többváltozós összetett események: Extrém meteorológiai árapály és csapadék

(Bevacqua, E., et al. 2020)

(a) Precipitation-related return period change

(c) Meteorological-tide-related return period change



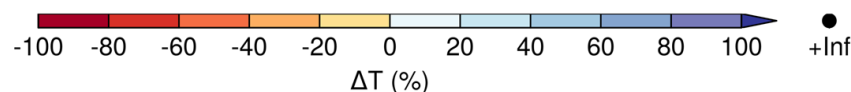
Jelentős modellkülönbségek

- Large model disagreement
- Large compared to natural variability

Nagyobb mértékű eltérés, mint a természetes variabilitás

Csapadékhoz kapcsolódó visszatérési idő-változás

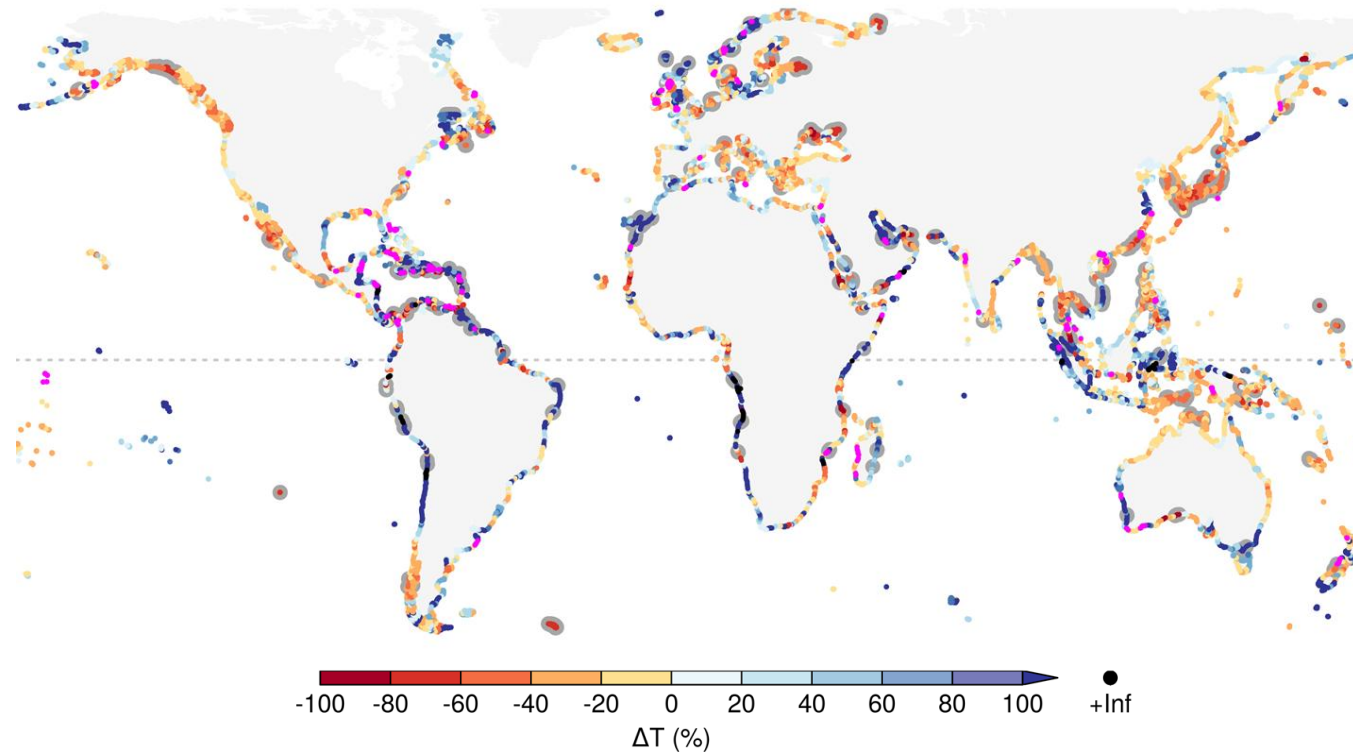
Meteorológiai árapályhoz kapcsolódó visszatérési idő-változás



Éghajlatváltozás és többváltozós összetett események: Extrém meteorológiai árapály és csapadék

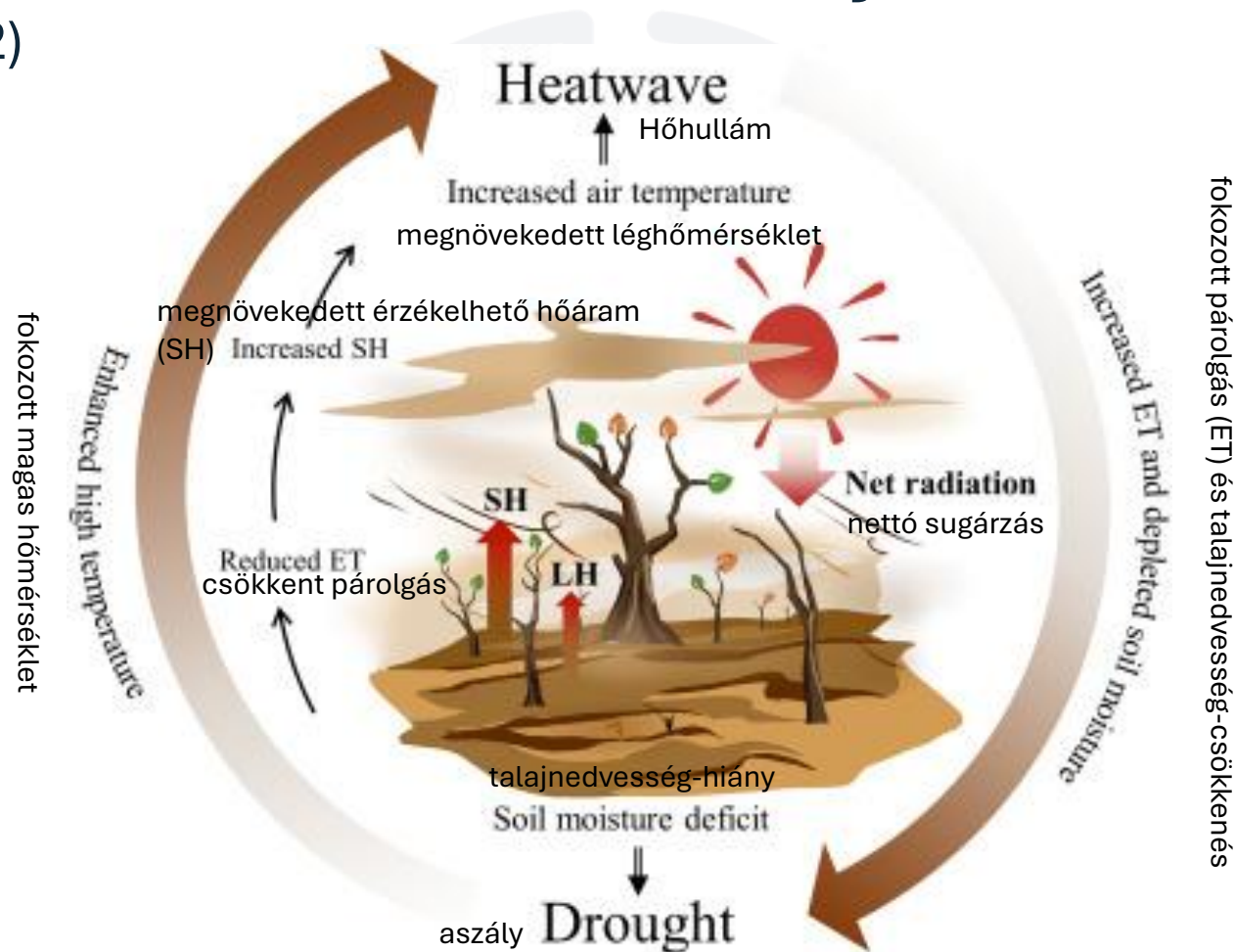
(Bevacqua, E., et al. 2020)

Függőséghez kapcsolódó visszatérési idő-változás
(e) Dependence-related return period change



Összetett forró-száraz események

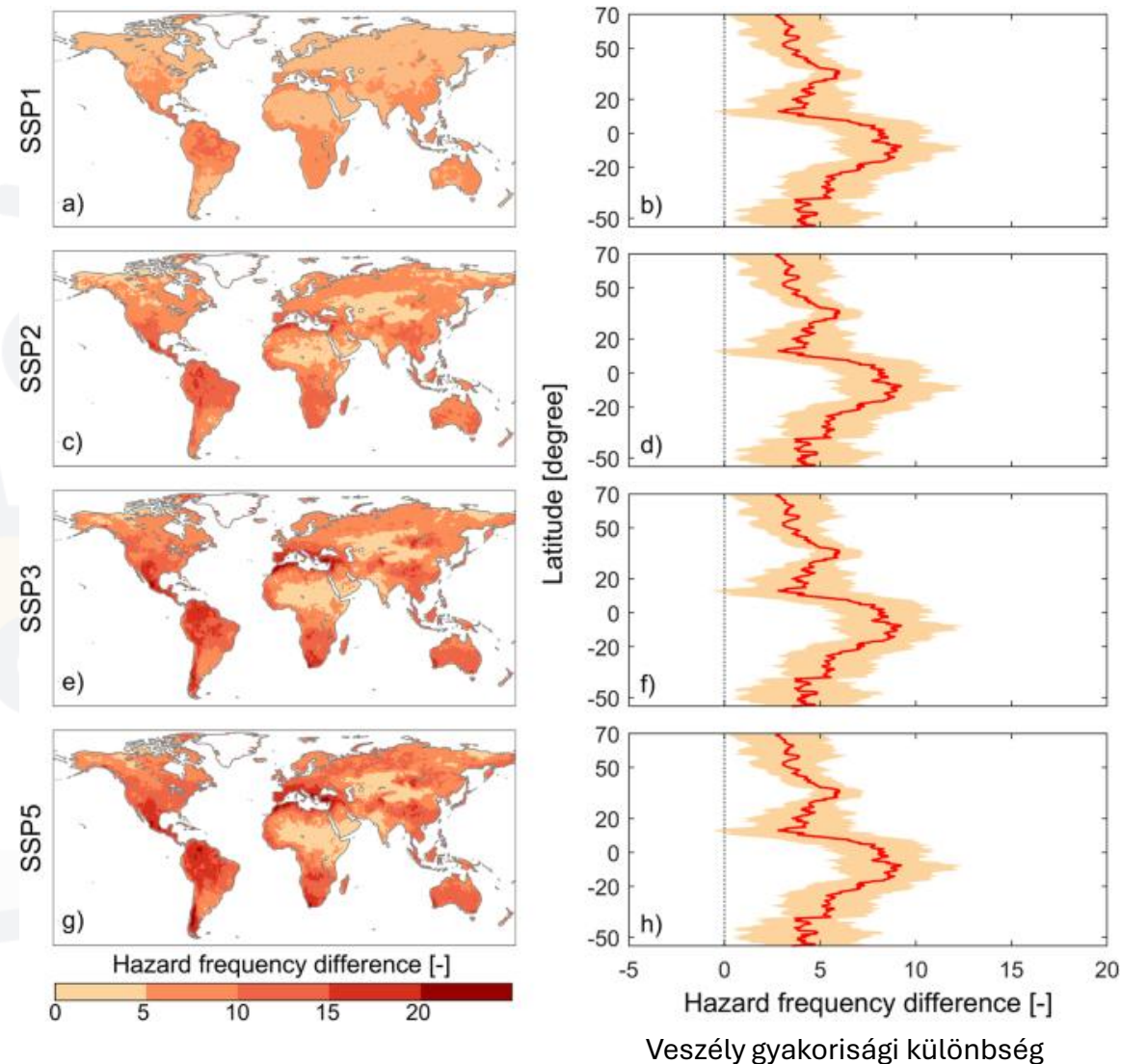
(Hao, Z., et al. 2022)



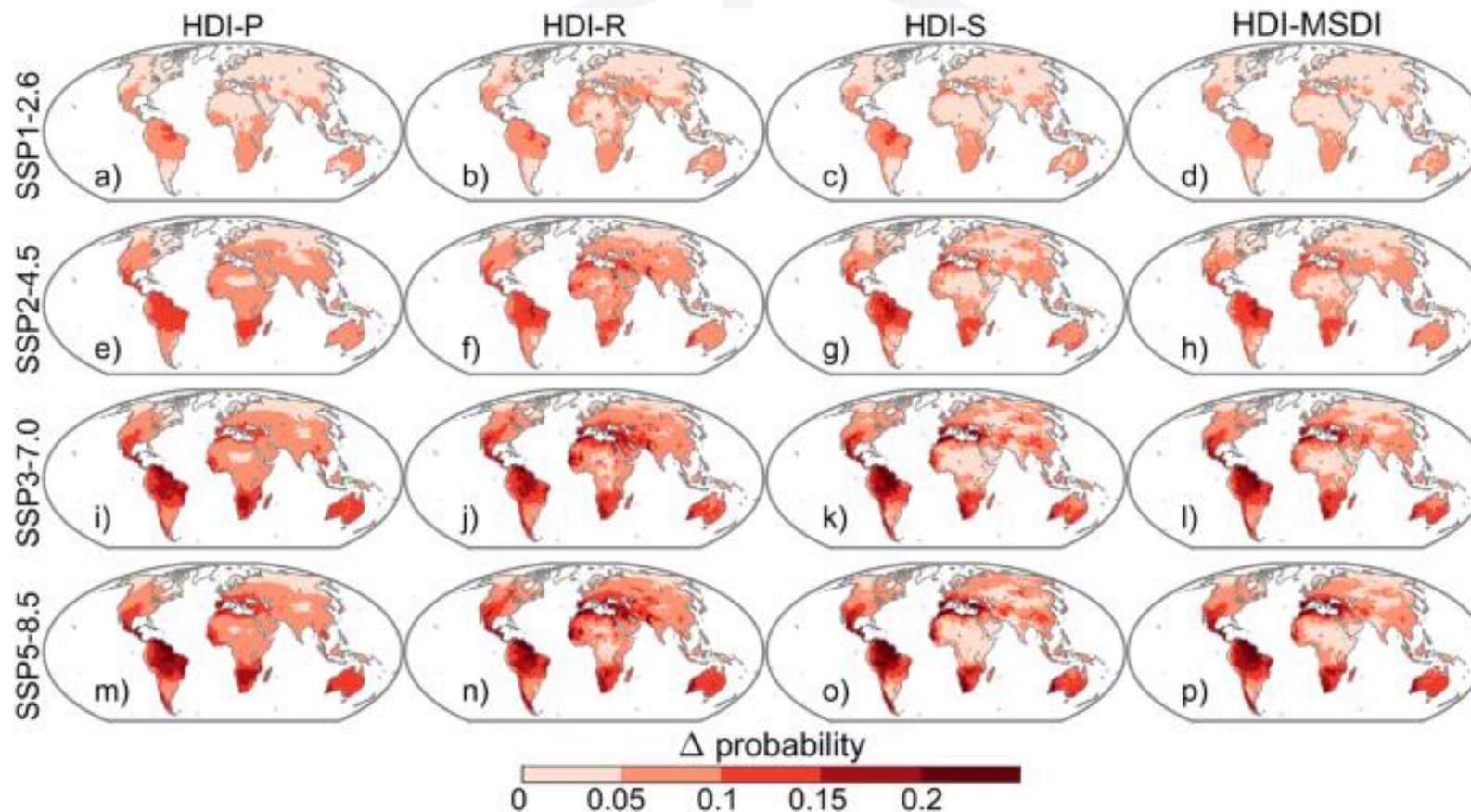
Éghajlatváltozás és többváltozós összetett események: összetett forró-száraz események

(Tabari, H. & Willems, P., 2023)

A CMIP6 modell-ensemble medián gyakoriságának különbsége a 2061–2100 és az 1971–2010 közötti időszakban.

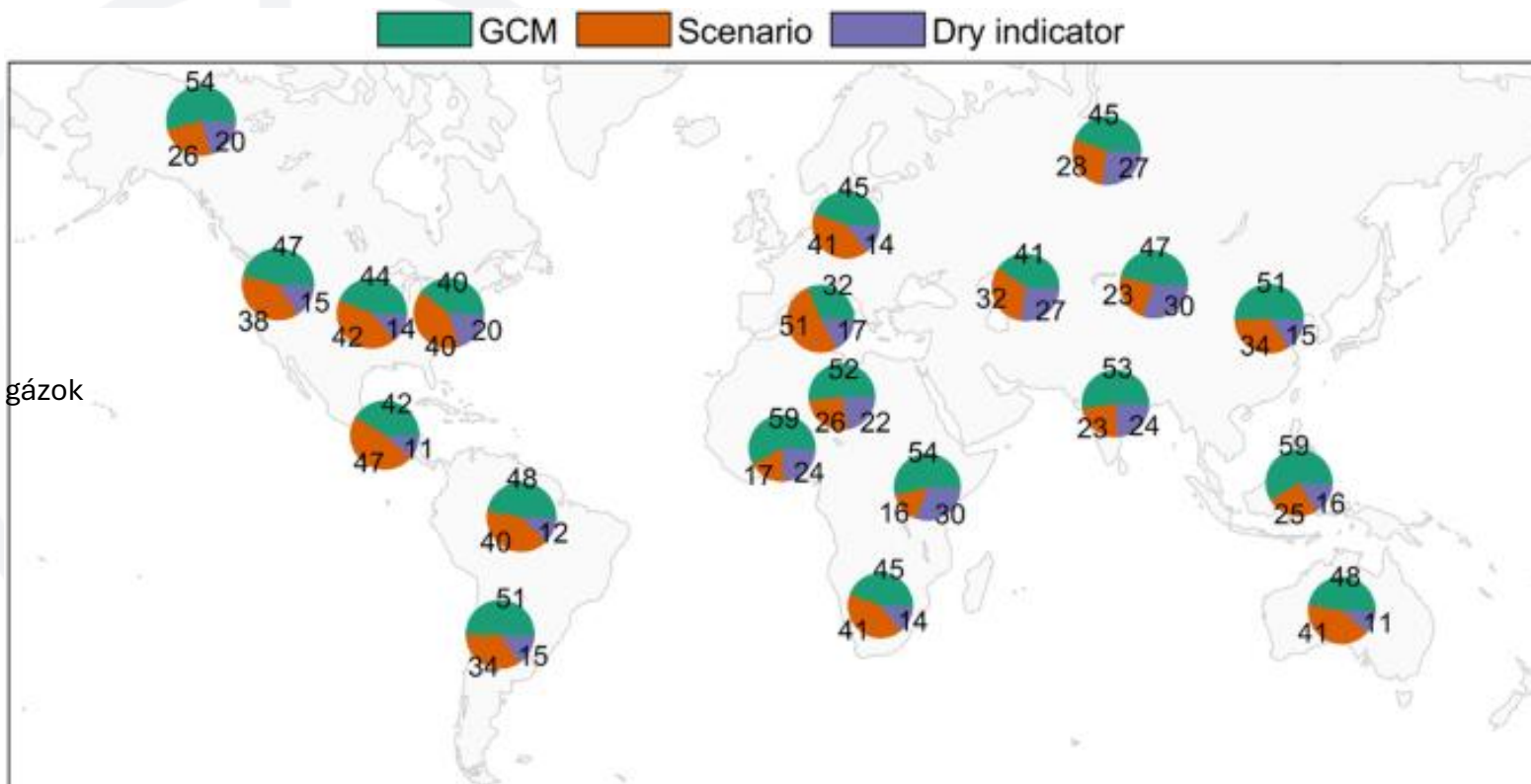
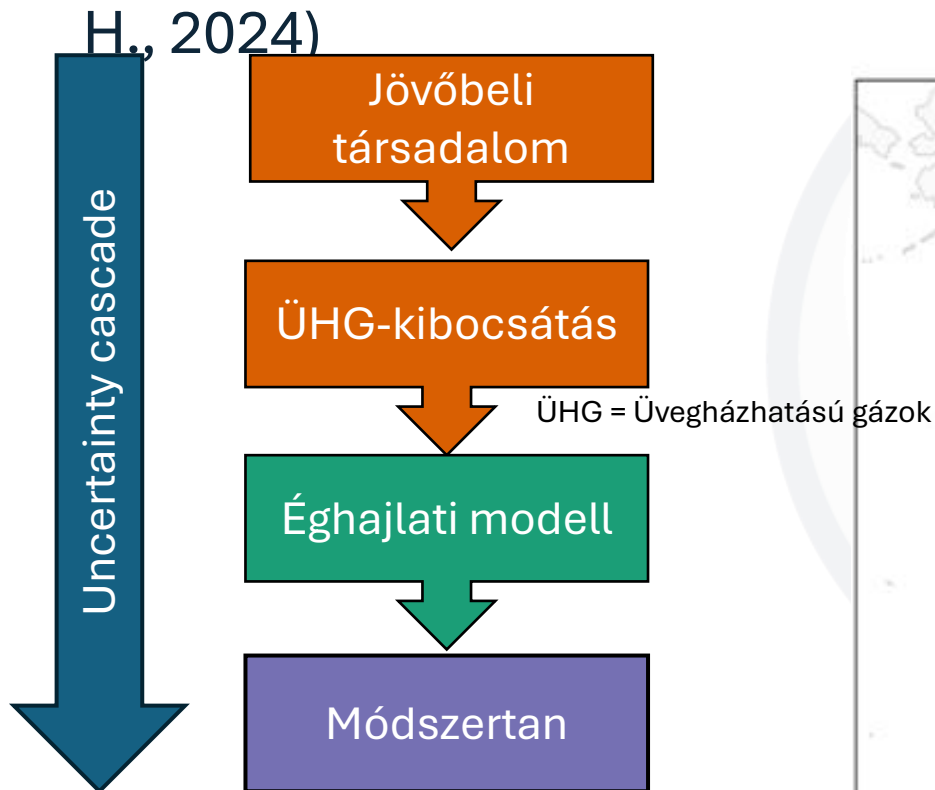


Összetett forró-száraz események és az egyváltozós valószínűség megválasztása (Hosseinzadehtalaei, P., Termonia, P. & Tabari, H., 2024)



Összetett forró-száraz események és az egyváltozós valószínűség megválasztása (Hosseinzadehtalaei, P., Termonia, P. & Tabari, H., 2024)

Lépcsőzetesen továbbgyűrűző bizonytalanságok

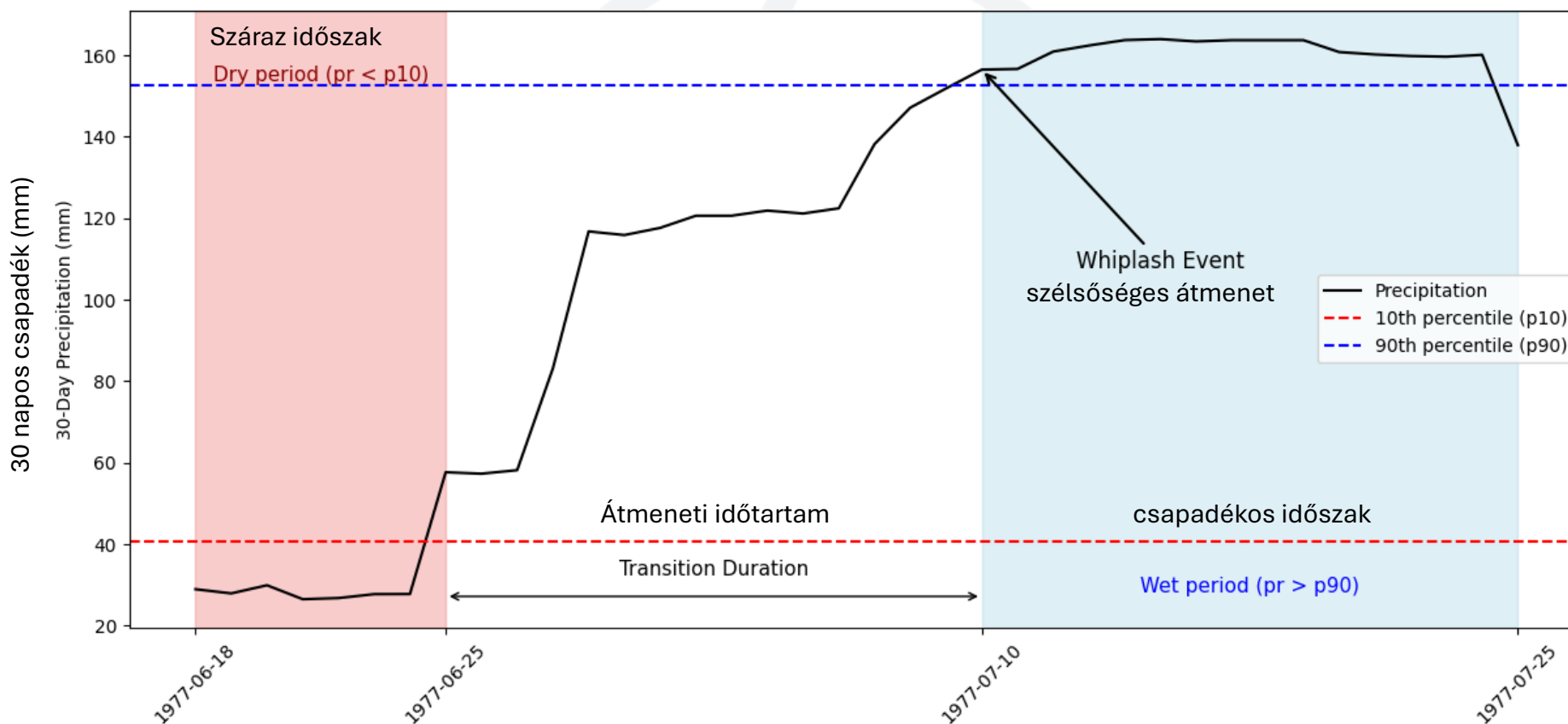


A fenti tényezők hozzájárulása az összetett forró-száraz események előfordulási valószínűségében várható változások teljes bizonytalanságához.

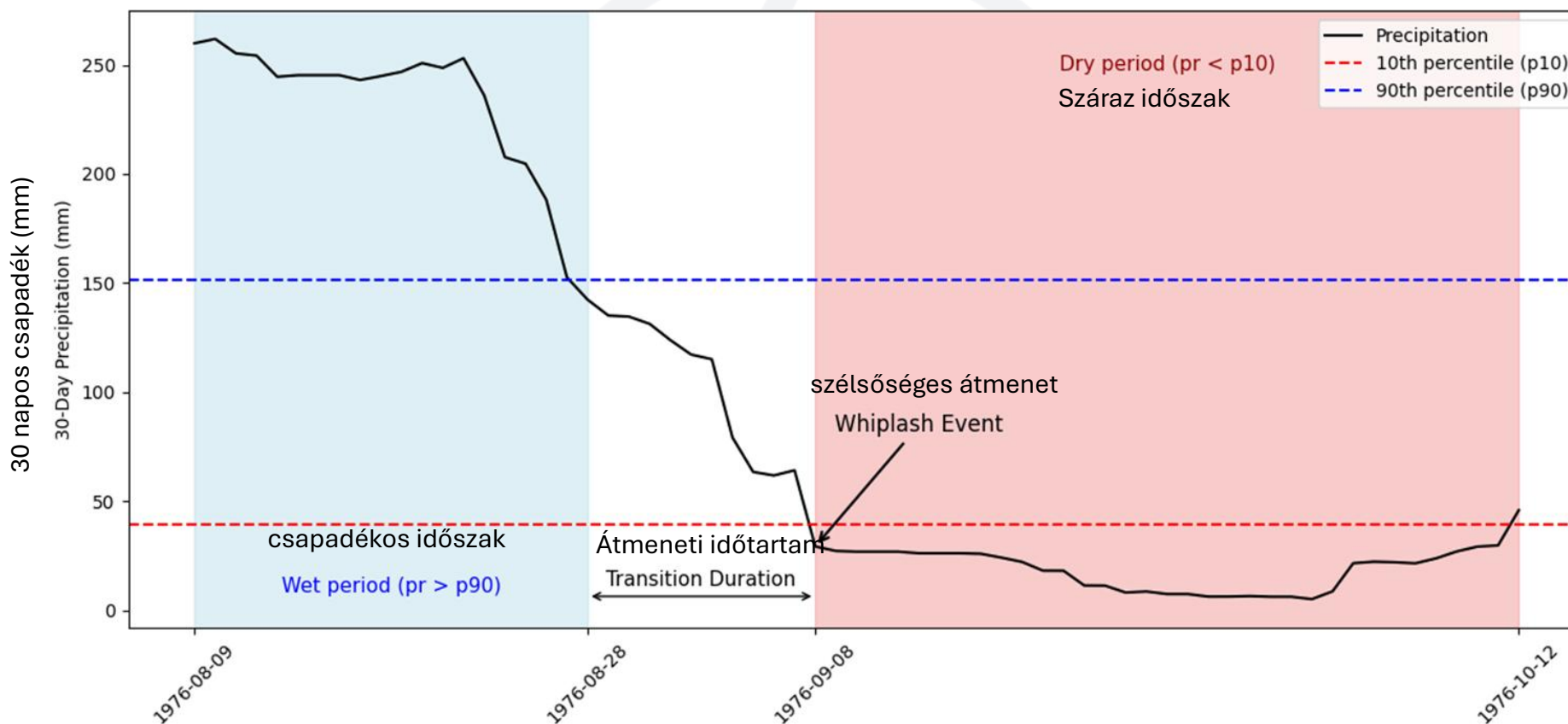
Tartalomjegyzék

1. Éghajlatváltozás és összetett események
 - a) Többváltozós összetett események
 - b) Időbeli összetett események
 - c) Térbeli összetett események
2. Társadalmi-gazdasági fejlődés és összetett események
3. Jövőbeli kilátások

Szélsőséges csapadékváltozás (Precipitation whiplash) (folyamatban lévő kutatás)



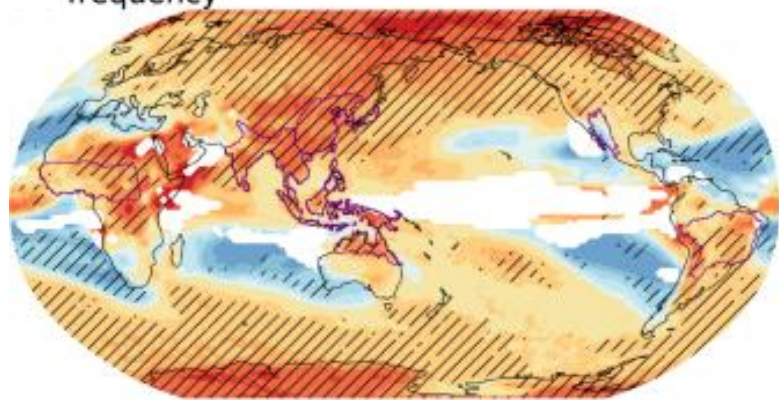
Szélsőséges csapadékváltozás (Precipitation whiplash) (folyamatban lévő kutatás)



Szélsőséges csapadékváltozás

(Tan, X. et al., 2023)

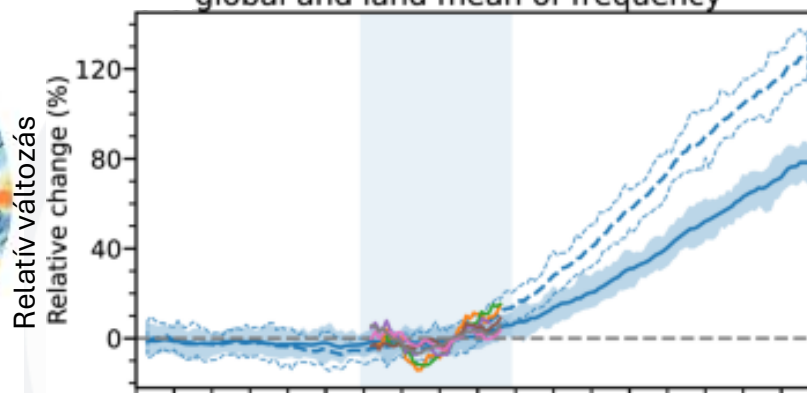
frequency



Dry-to-wet

aszályból csapadékos időszakba

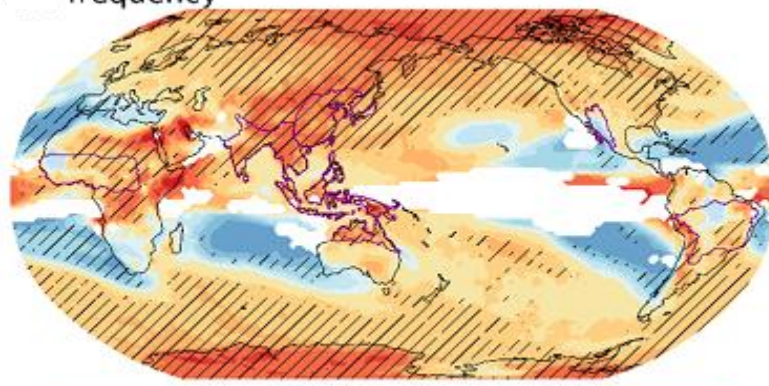
Globális és szárazföldi átlagos gyakoriság
global and land mean of frequency



— CESM-LENS-global — CHIRPS — REGEN_LongTermStns — MERRA2
- - CESM-LENS-land — GPCP — ERA5 — JRA-55

A csapadék whiplash-események (szélsőséges csapadékváltozás) előfordulási gyakoriságának vetített relatív változása (%) a 21. század utolsó négy évtizedében (2060–2099), az RCP8.5 forgatókönyv szerint, a jelenlegi időszakhoz (1979–2019) viszonyítva.

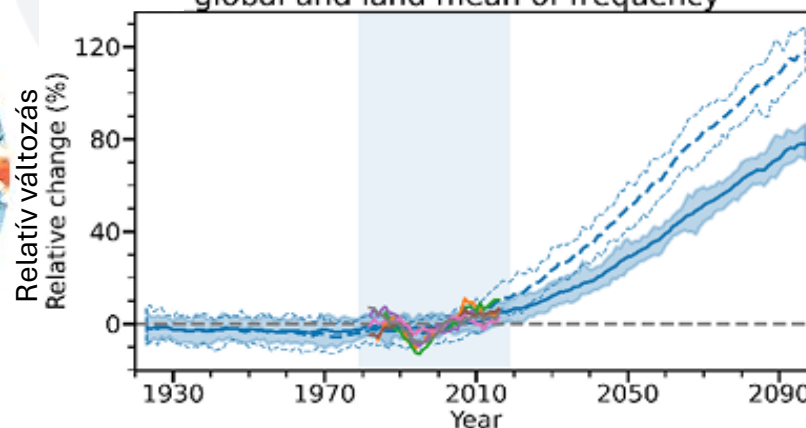
frequency



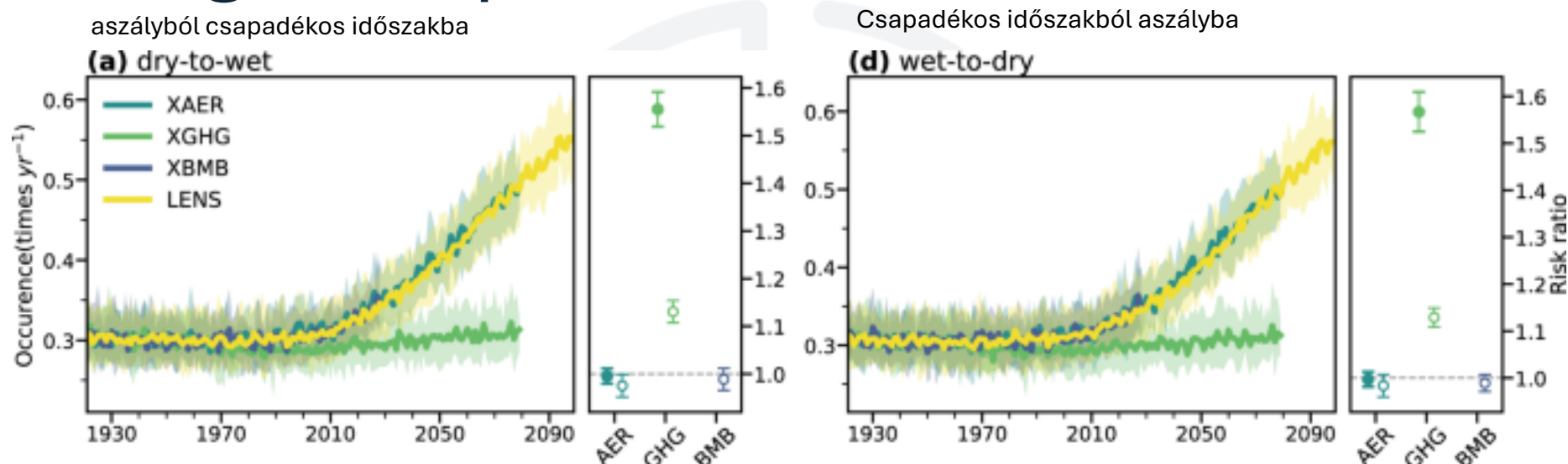
Wet-to-dry

csapadékos időszakból aszályba

Globális és szárazföldi átlagos gyakoriság
global and land mean of frequency



Szélsőséges csapadékváltozás (Tan, X. et al., 2023)

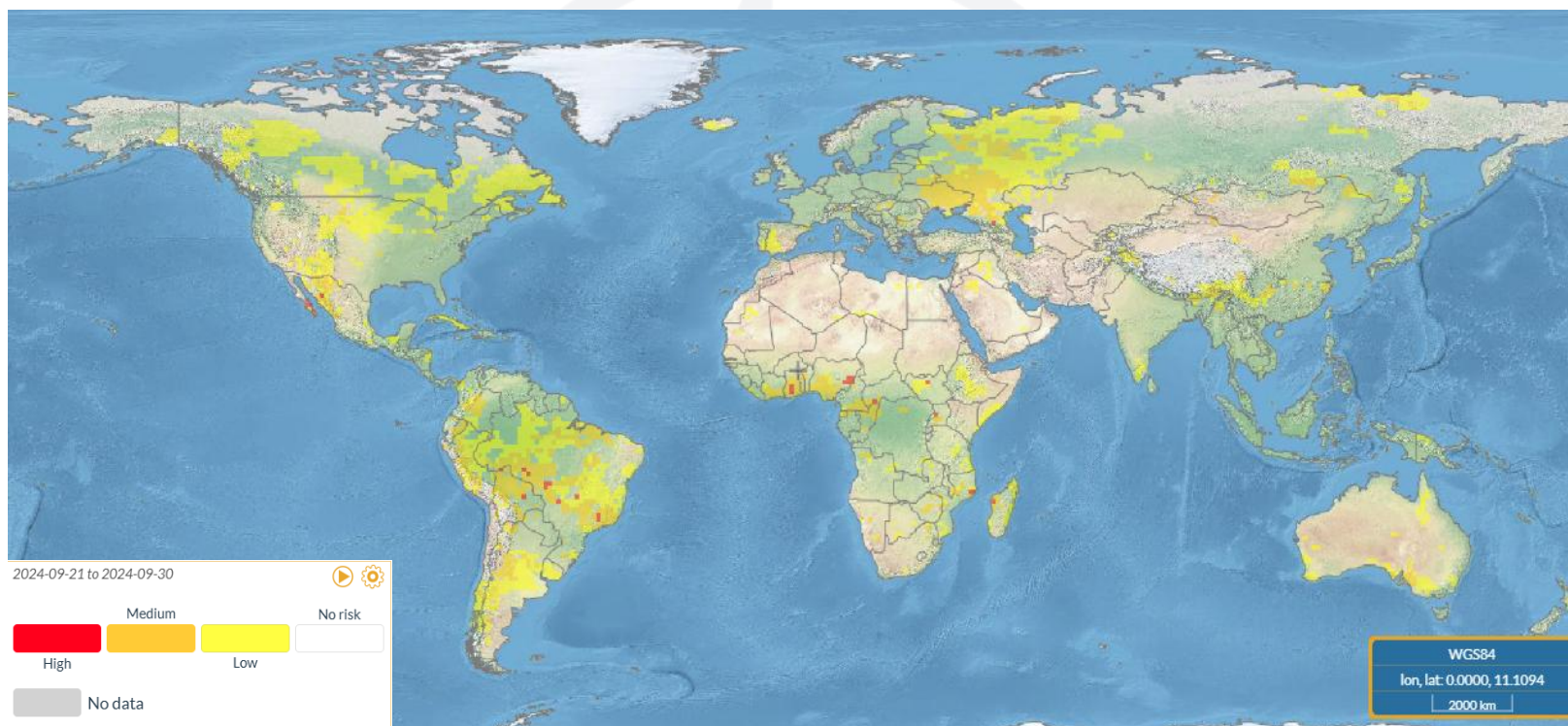


A szárazból nedvesbe való szélsőséges átmenetek (dry-to-wet whiplash) előfordulási gyakoriságának globális, terület szerint súlyozott átlaga, amely a következő modell-összeállításokból származik: CESM-LENS (sárga), minden kivéve az ipari aeroszolókat (XAERs, cián), minden kivéve az üvegházhatású gázokat (XGHGs, zöld), valamint minden kivéve a biomassza-égetésből származó aeroszolókat (XBMB, lila).

Tartalomjegyzék

1. Klímaváltozás és összetett események
 - a) Többváltozós (multivariate) összetett események
 - b) Időbeli (temporal) összetett események
 - c) Térbeli (spatial) összetett események
2. Társadalmi-gazdasági fejlődés és összetett események
3. Jövőbeli kilátások

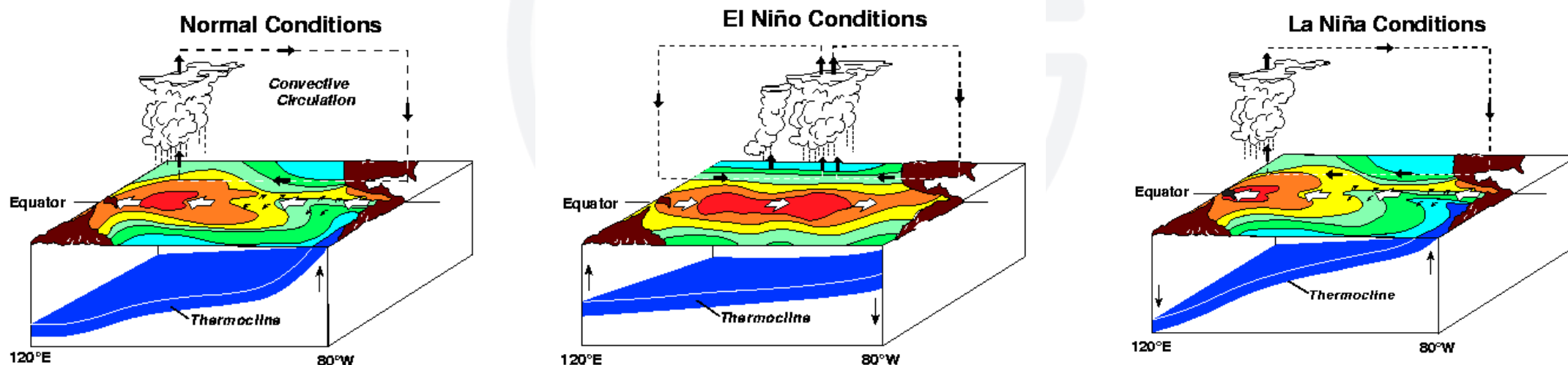
Térbeli aszály



A mezőgazdasági aszálykockázati helyzet 2024.09.21–2024.09.30. között a global drought observatory (Globális Aszálymegfigyelő) adatai alapján.

Klímaváltozás és térbeli összetett események

A nagyléptékű légköri mintázatok a világ távoli régióiban is befolyásolják az éghajlatot. Pl: ENSO (El Niño-Southern Oscillation)

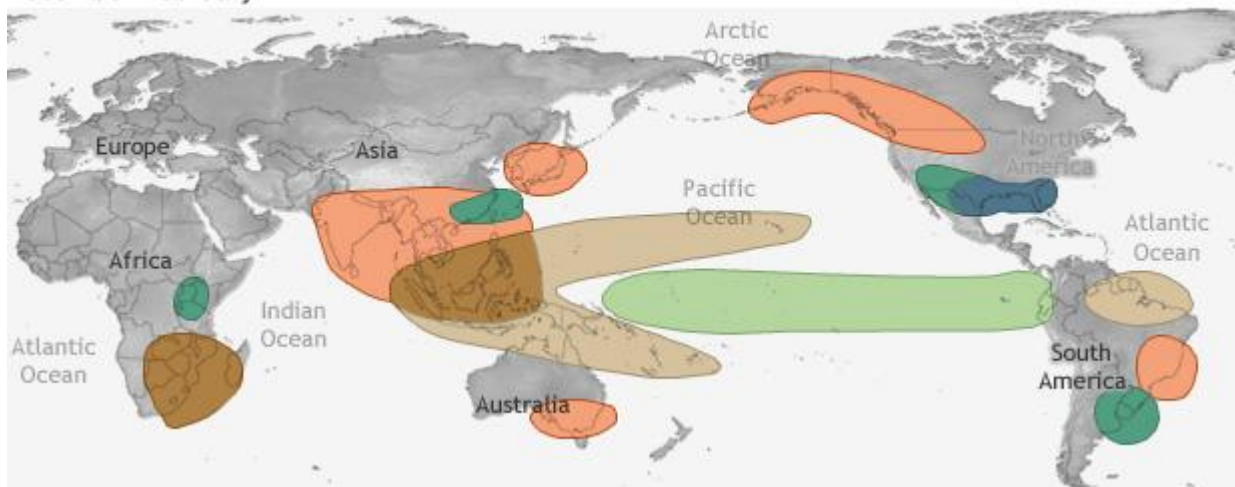


NOAA schematic diagrams, accessed 01/08/2025

Klímaváltozás és térbeli összetett események: ENSO

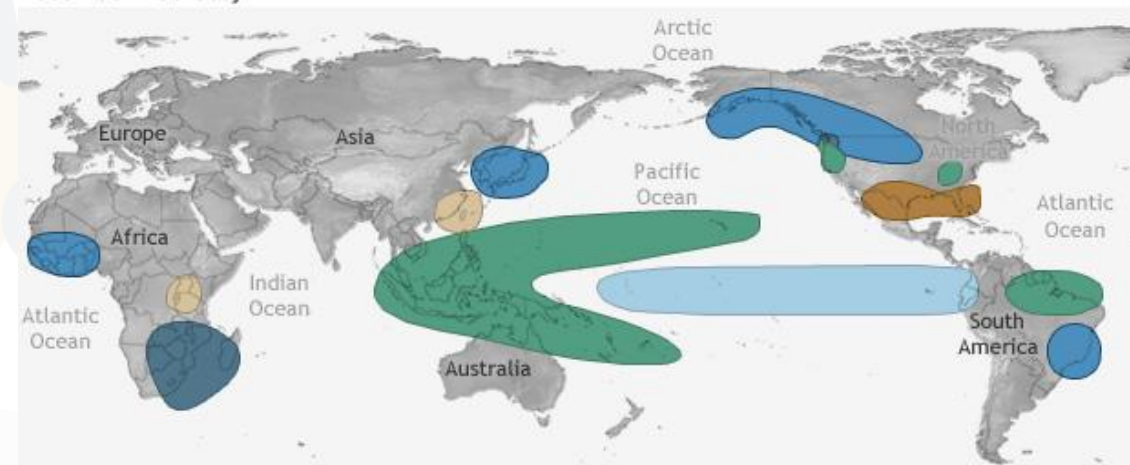
EL NIÑO CLIMATE IMPACTS

December-February



LA NIÑA CLIMATE IMPACTS

December-February

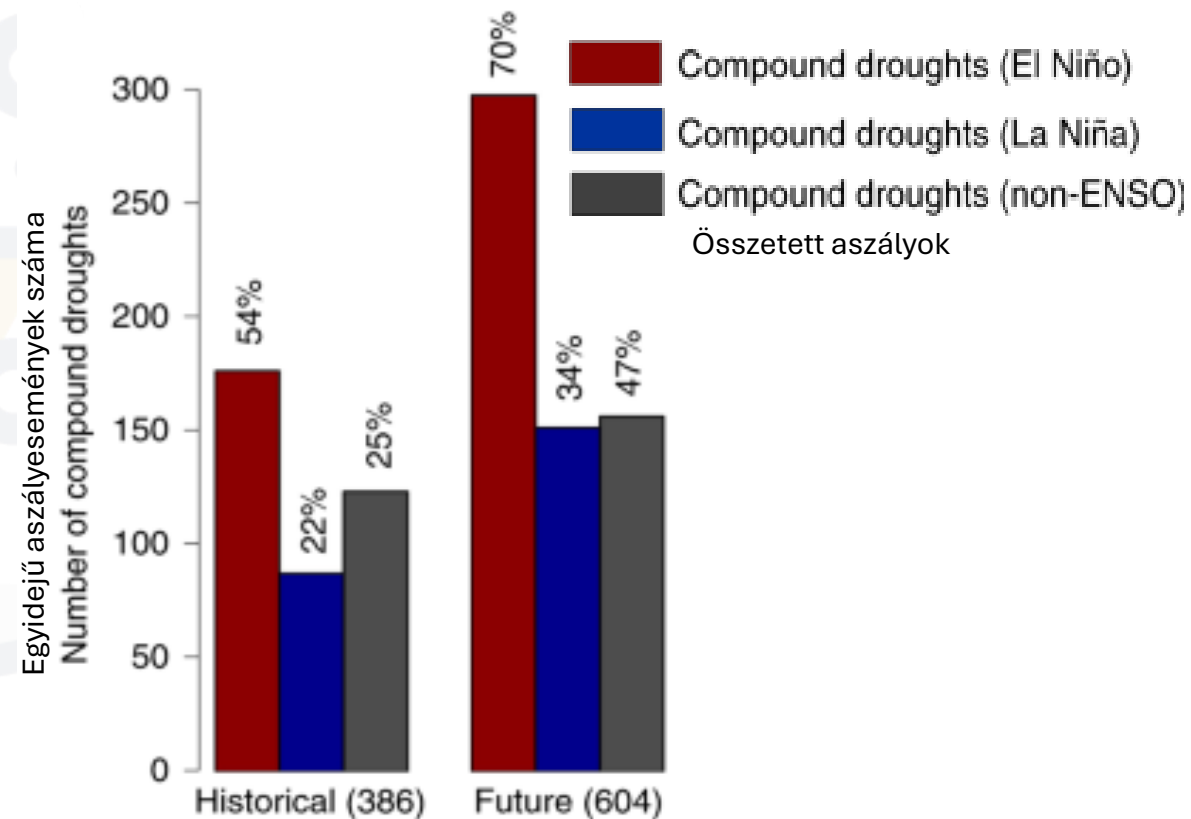
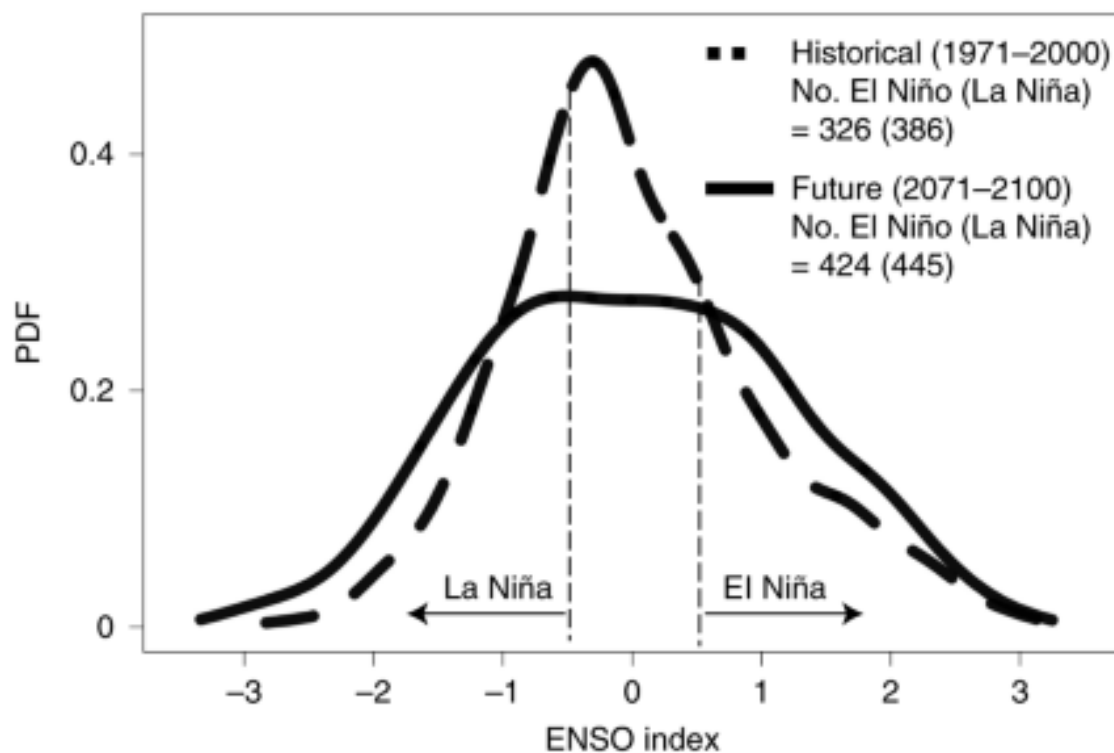


NOAA (2016), accessed 01/08/2025

Resource for ENSO impacts on Europe :
<https://confluence.ecmwf.int/display/COPSRV/ENSO+impacts+on+Europe>

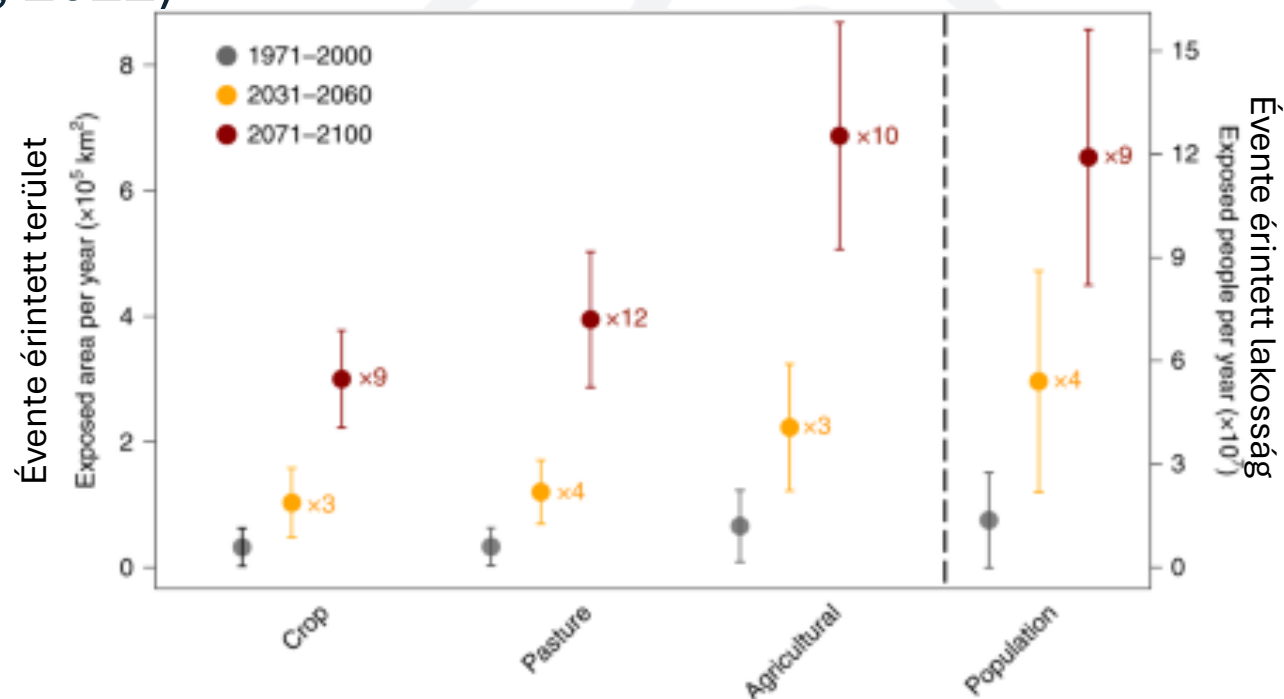
Klímaváltozás és térbeli összetett események: Egyidejű aszályesemények

(Singh, J. et al., 2022)



Klíímaváltozás és térbeli összetett események: Egyidejű aszályesemények

(Singh, J. et al., 2022)

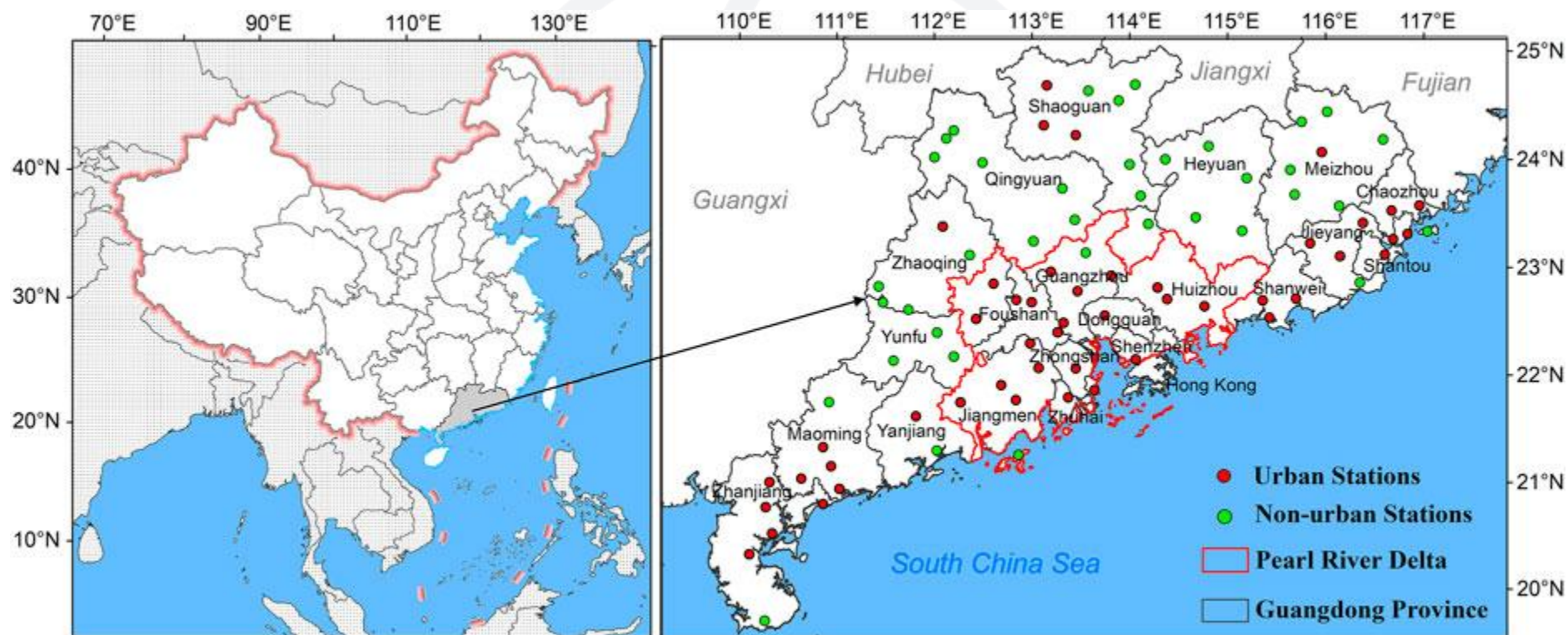


Mezőgazdasági területek és népesség kitettségi kockázata
súlyos, összetett aszályokra

Table of content

1. Klímaváltozás és összetett események
2. Társadalmi-gazdasági fejlődés és összetett események
 - a) Földhasználat-változás
 - b) Kockázati keretrendszer
3. Jövőbeli kilátások

Városiasodás és összetett hőmérsékleti és csapadékesemények (Wu, S., et al., 2021)

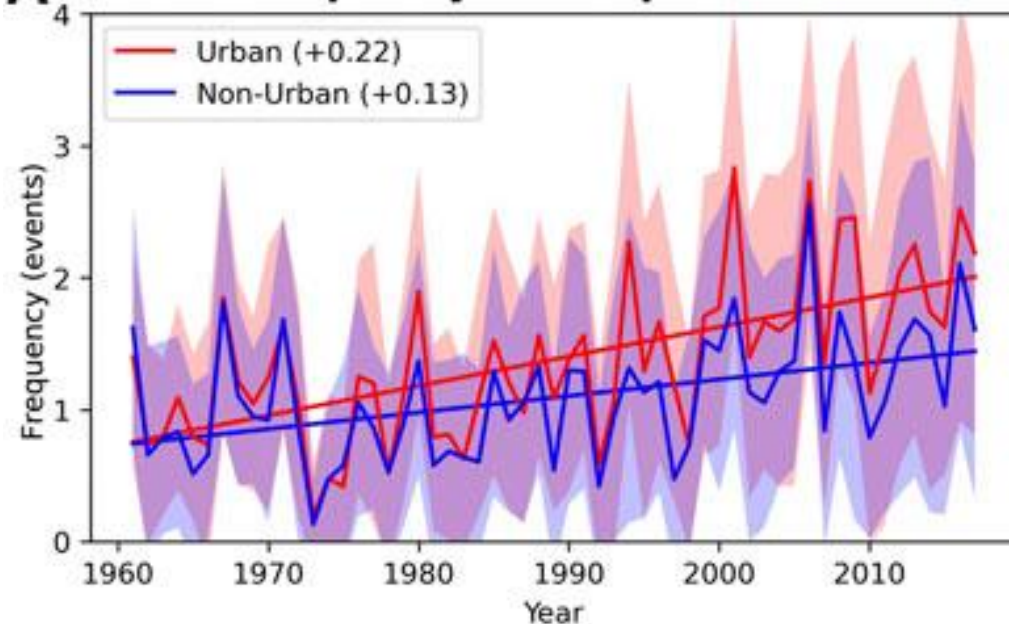


Városiasodás és összetett hőmérsékleti és csapadékesemények (Wu, S., et al., 2021)

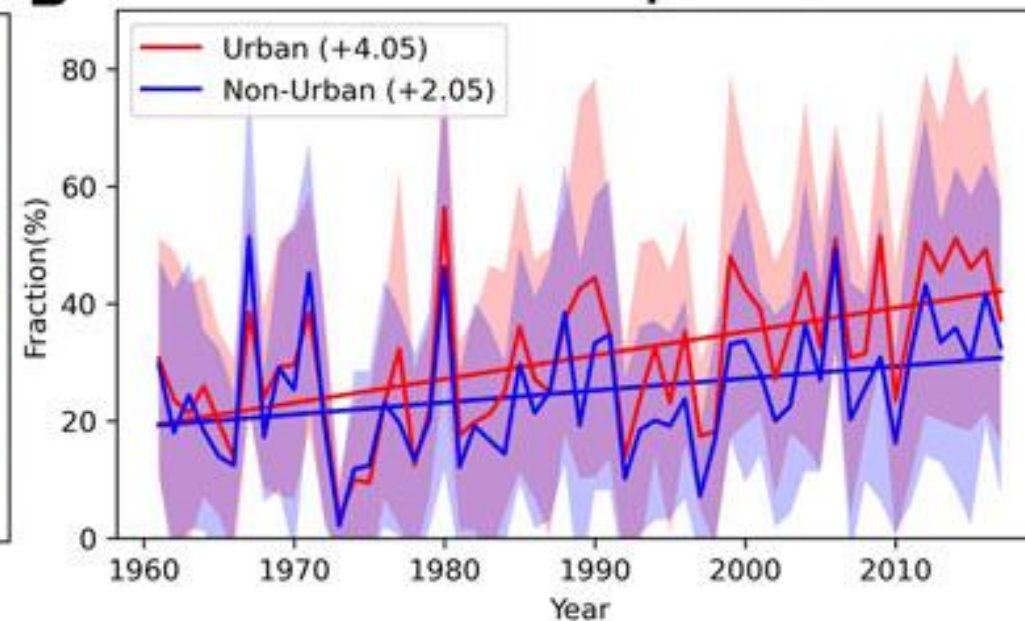
Az összetett események gyakorisága

Az összetett események aránya

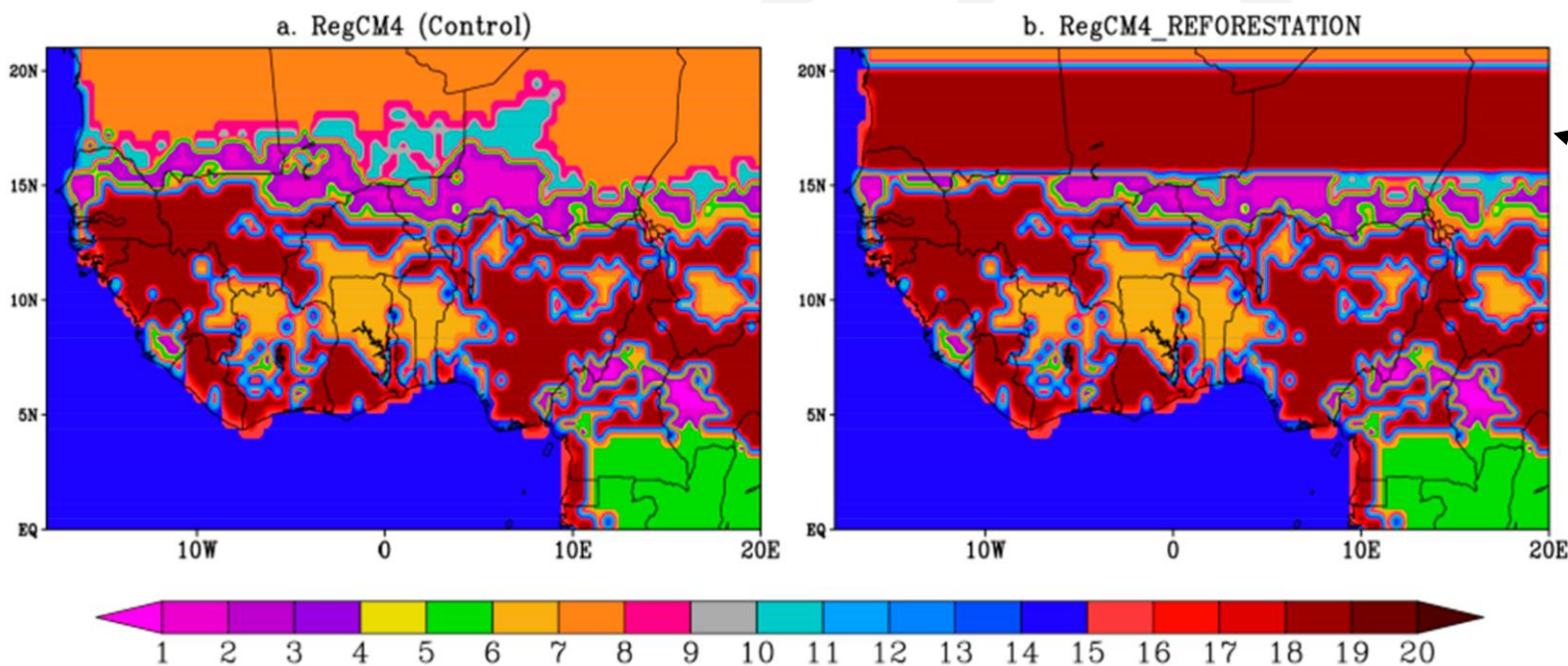
A Frequency of compound events



B Fraction of compound events



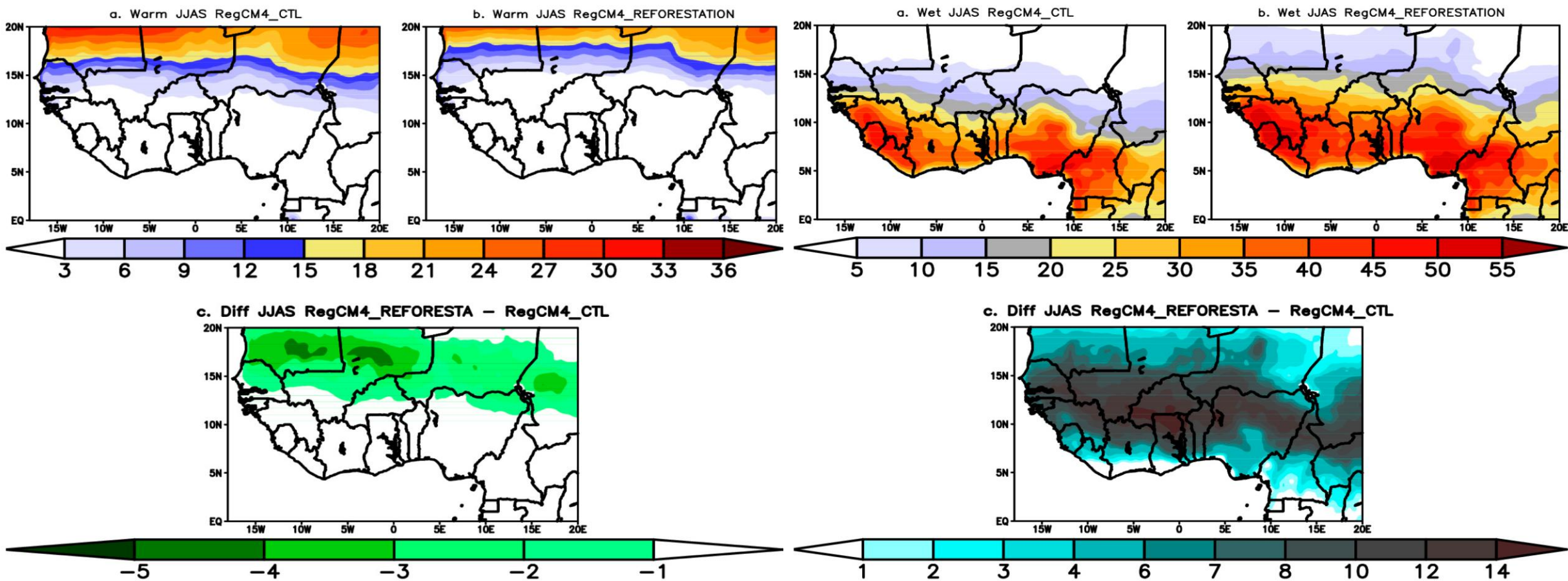
A földhasználat változása és az összetett meleg- csapadékos (nedves) események (Camara, M., Diba, I., & Diedhiou, A., 2022)



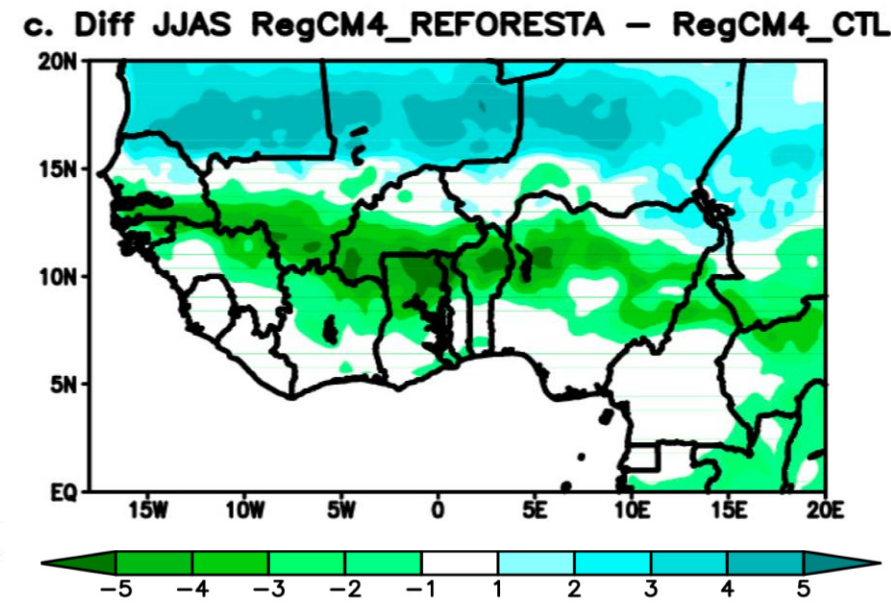
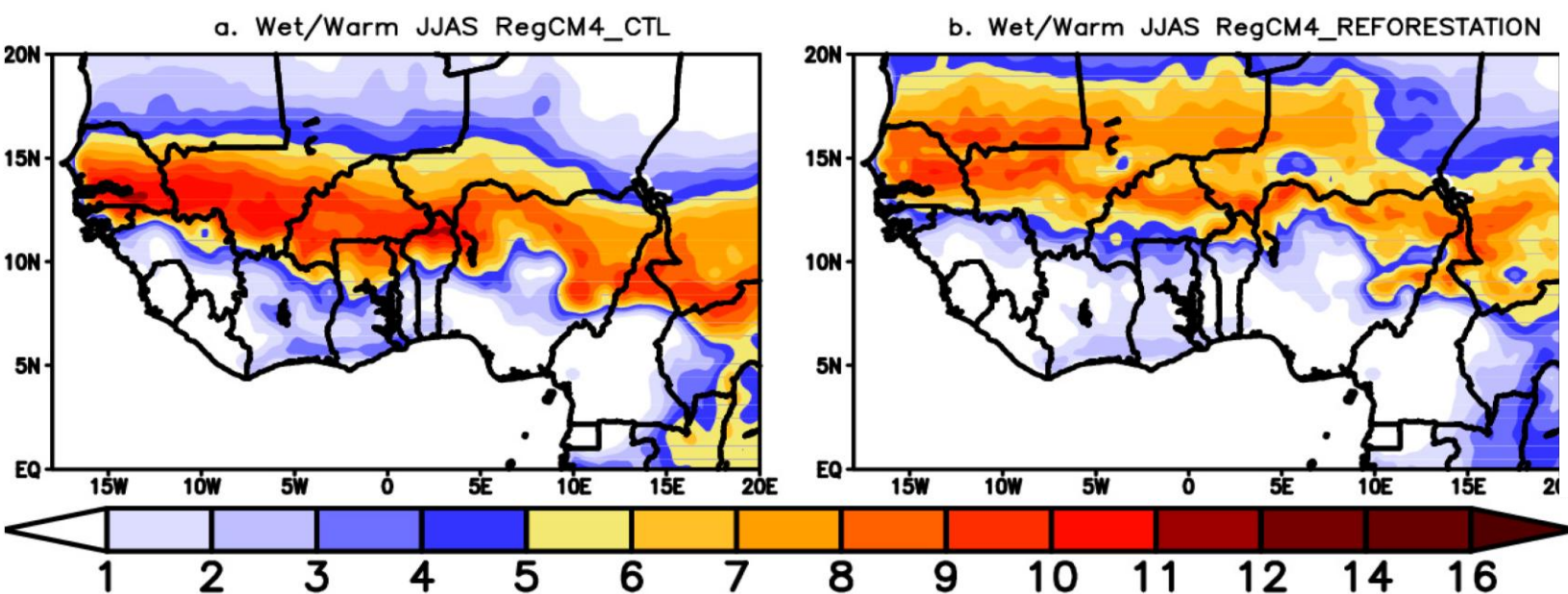
Két éghajlati modellfuttatás:

- Egy kontrollfuttatás
- Egy módosított földhasználattal, amely az északi Száhel–Szahara határzóna újraerdősítését tartalmazza

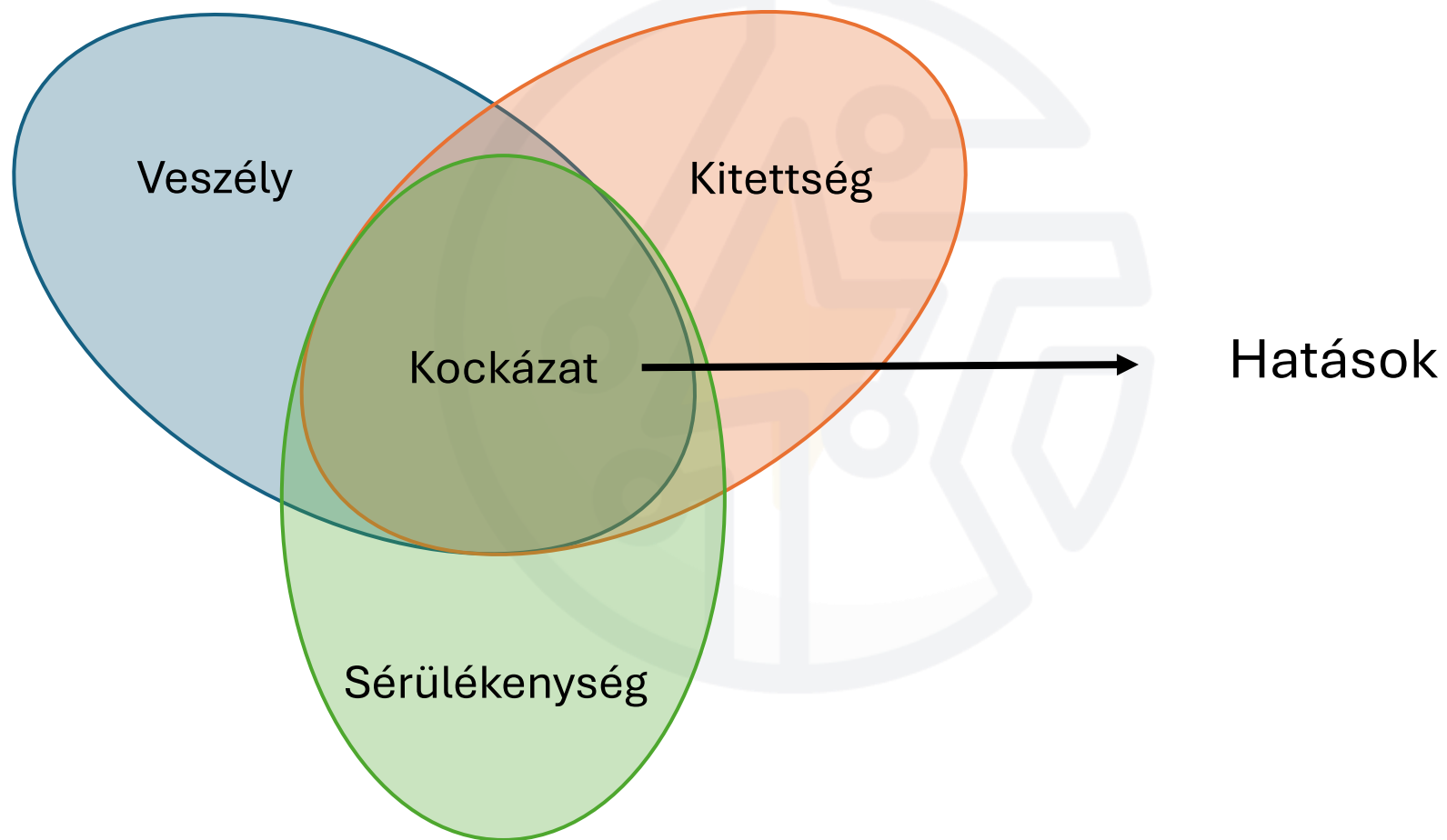
A földhasználat változása és az összetett meleg-csapadékos (nedves) események (Camara, M., Diba, I., & Diedhiou, A., 2022)



A földhasználat változása és az összetett meleg-csapadékos (nedves) események (Camara, M., Diba, I., & Diedhiou, A., 2022)

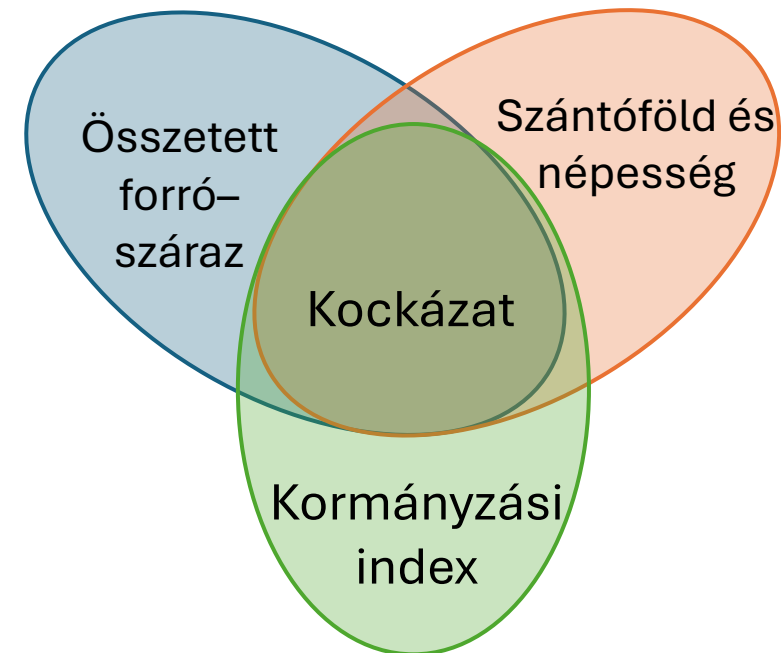
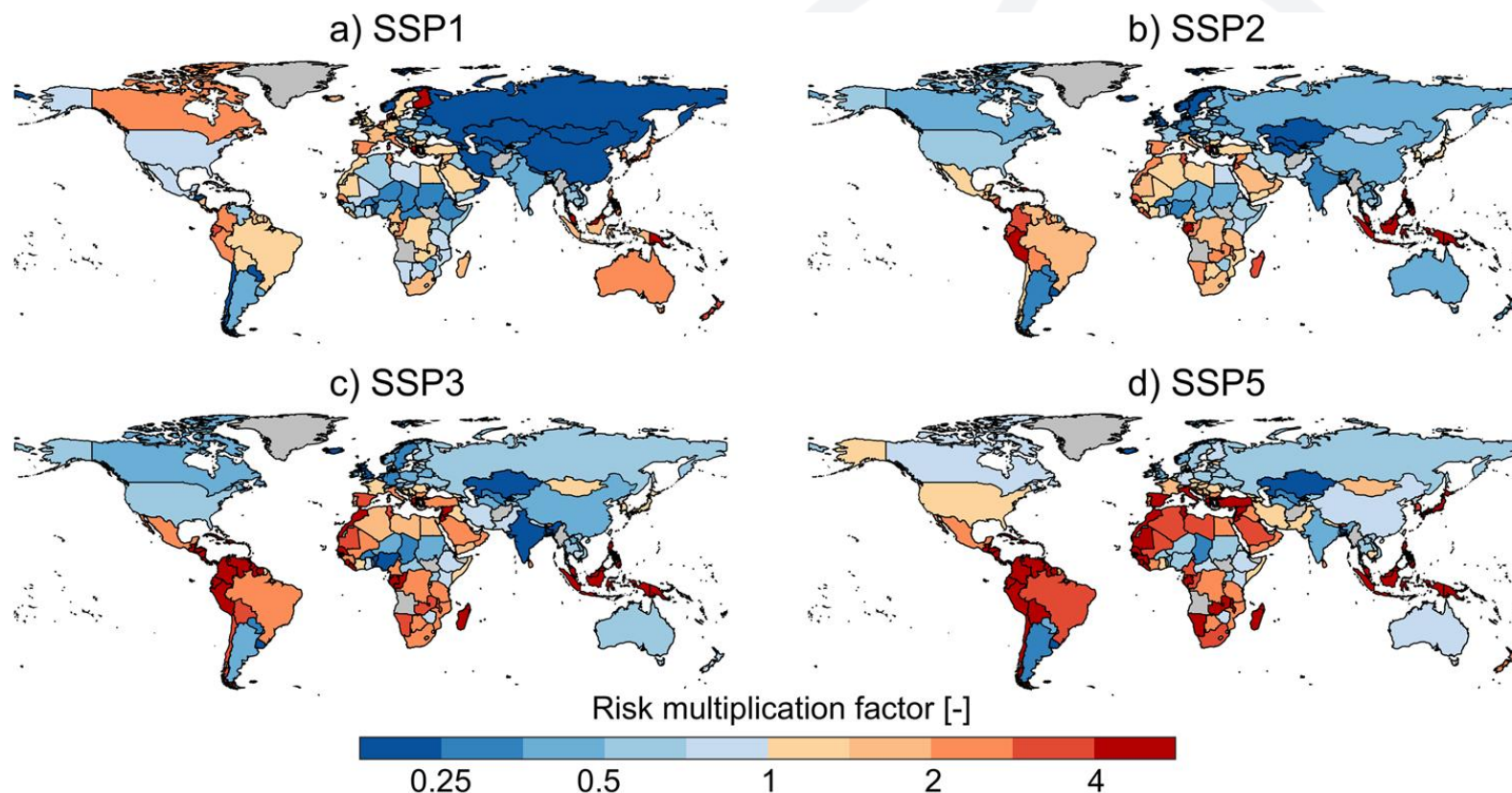


Kockázati keretrendszer (IPCC AR5)



Kockázat és összetett forró-száraz események

(Tabari, H., Willems, P, 2023)



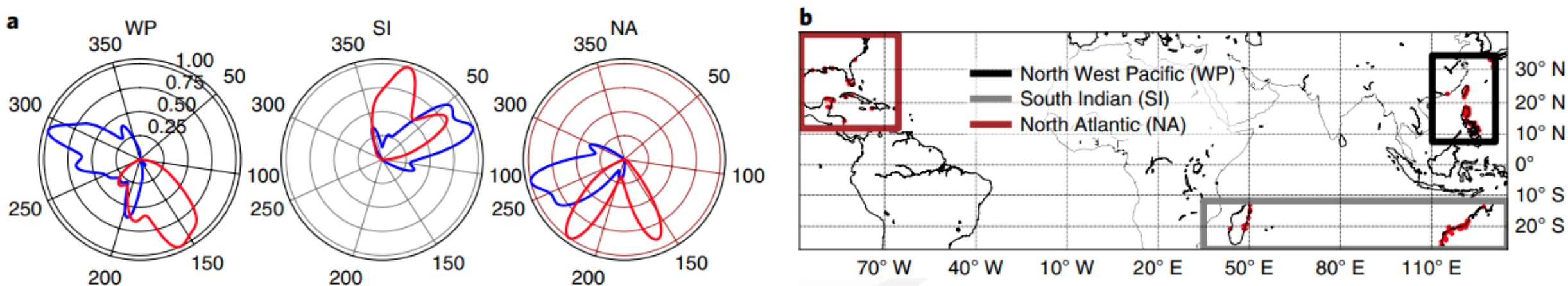
Jövőbeli kilátások – Éghajlatváltozás

- Új összetett események
- Bizonytalansági elemzés
- Éghajlati modellek felbontása



Jövőbeli kilátások: Éghajlatváltozás – újonnan megjelenő összetett események

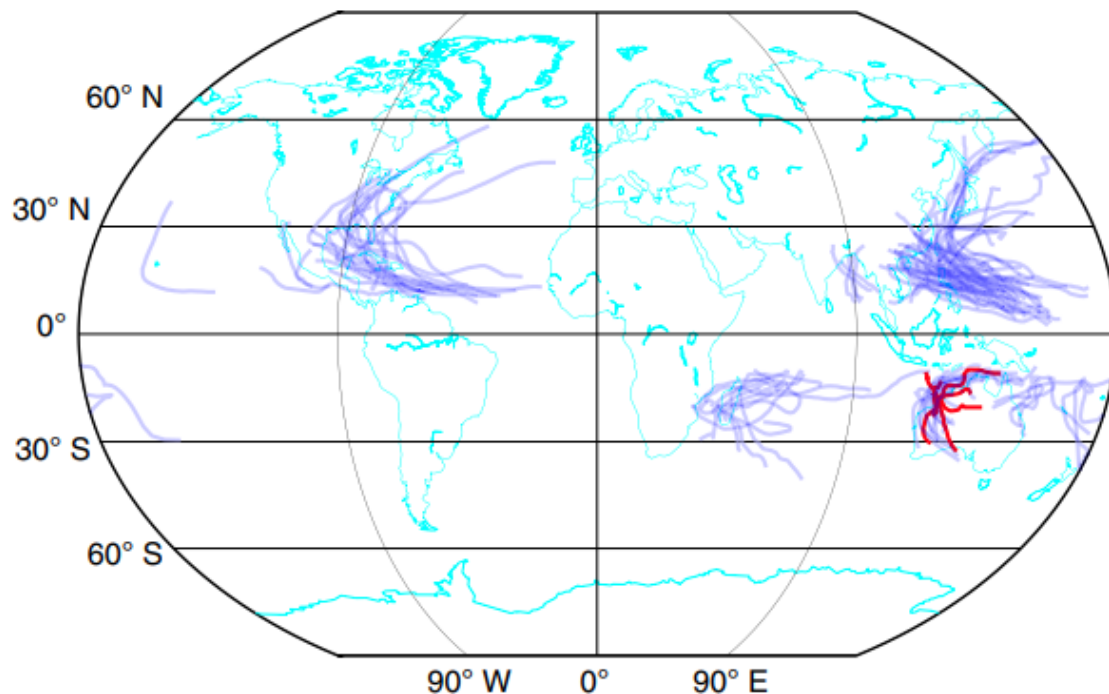
(Matthews, T., et al., 2019)



A Hőindex (HI, piros) és a trópusi ciklonok (TC, kék) szezonális csúcsainak történelmi aszinkronitása a fő trópusi ciklonrégiókban.

Jövőbeli kilátások: Éghajlatváltozás – újonnan megjelenő összetett események

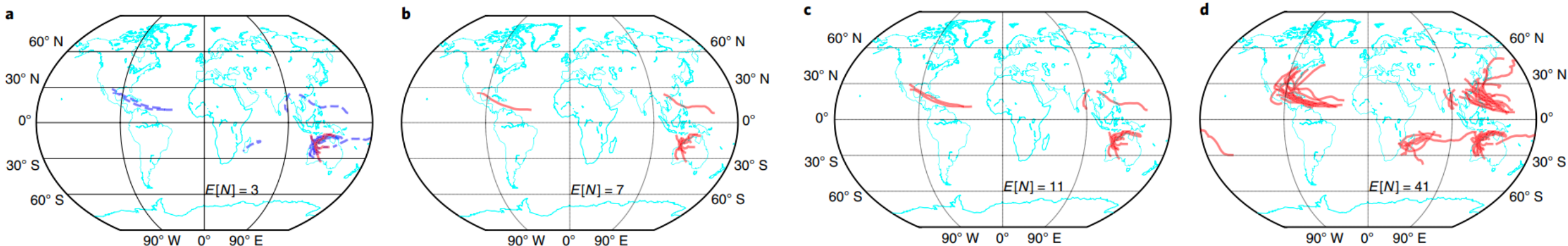
(Matthews, T., et al., 2019)



Történelmi 121 jelentős trópusi ciklonpálya (kék), a piros szín azt a négy nagy TC-t jelöli, amelyet 40,6-os vagy annál nagyobb HI követett a szárazföldi érintkezést követő 30 napon belül.

Jövőbeli kilátások: Éghajlatváltozás – újonnan megjelenő összetett események

(Matthews, T., et al., 2019)



Valószínűsíthető TC-pályák (legalább 50%-os valószínűséggel tapasztalnak HI 40,6-ot a szárazföldi érkezést követő 30 napon belül) különböző globális felmelegedési szintek mellett: Alaphelyzet (a), 1,5 °C (b), 2,0 °C (c), 4,0 °C (d). A pontozott kék vonalak a potenciális TC-pályákat jelzik (amelyeket nem nulla valószínűséggel követ HI 40,6).

Jövőbeli kilátások - Éghajlatváltozás

- Új összetett események
- Bizonytalansági elemzés
- Éghajlati modellek felbontása



Jövőbeli kilátások - Éghajlatváltozás

- Új összetett események
- Bizonytalansági elemzés
- Éghajlati modellek felbontása



Jövőbeli kilátások - Társadalmi-gazdasági fejlődés



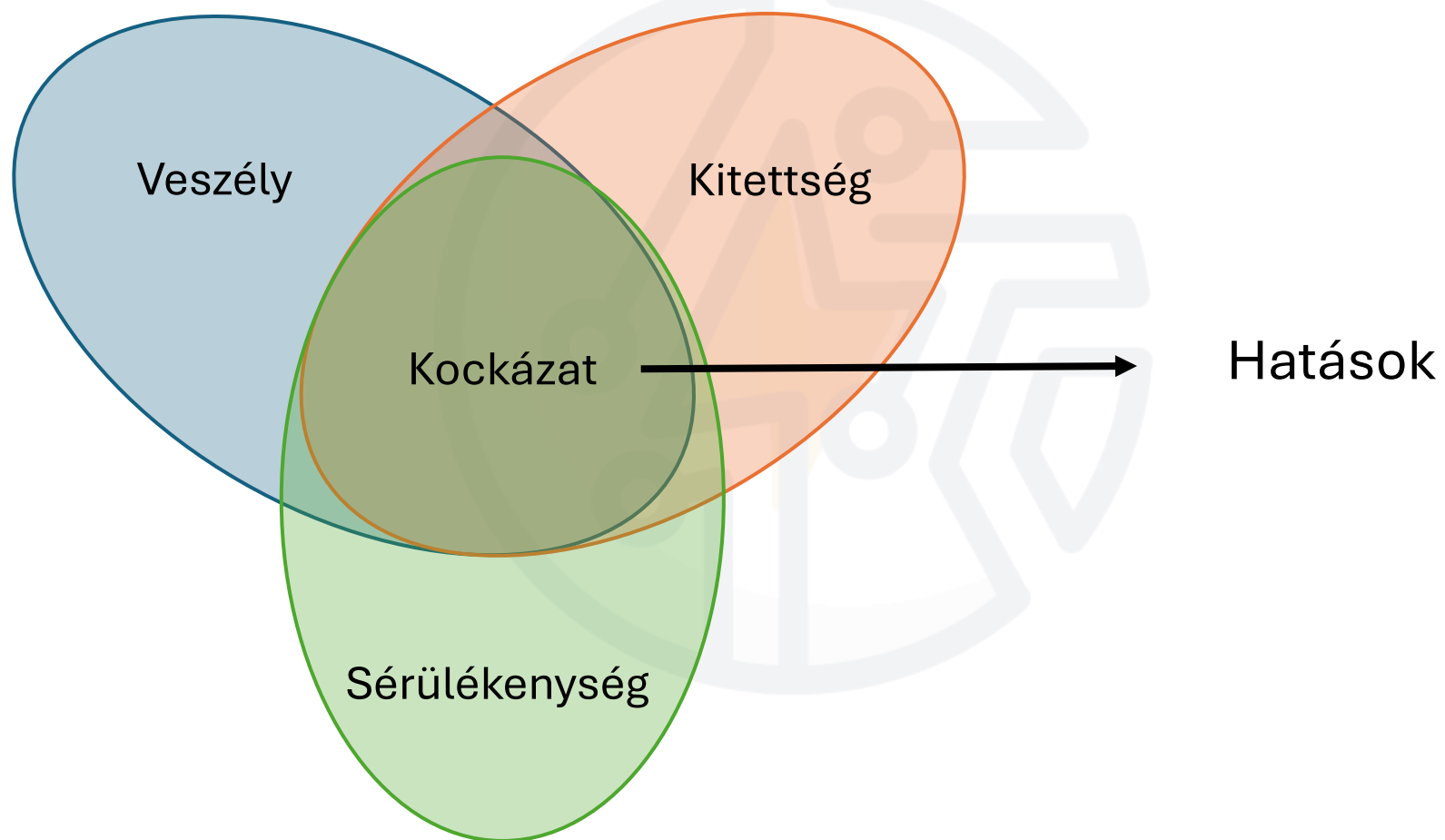
- Éghajlati modellek felbontása
- Kockázatértékelés
- Alkalmazkodás és mérséklés

Jövőbeli kilátások - Társadalmi-gazdasági fejlődés



- Éghajlati modellek felbontása
- Kockázatértékelés
- Alkalmazkodás és mérséklés

Kockázati keretrendszer (IPCC AR5)

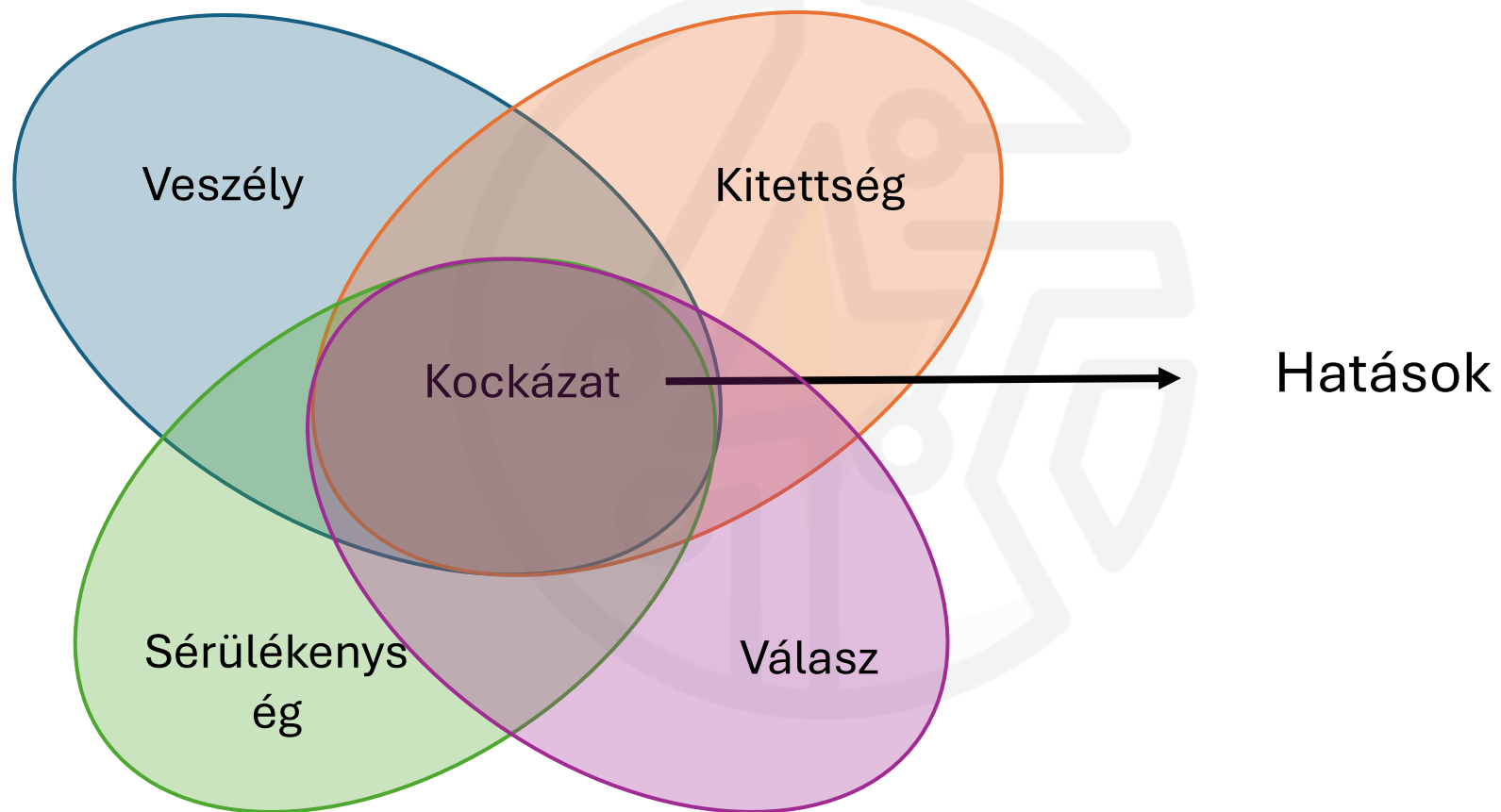


Jövőbeli kilátások – Társadalmi-gazdasági fejlődés



- Éghajlati modellek felbontása
- Kockázateértékelés
- Alkalmazkodás és mérséklés

Kockázati keretrendszer (IPCC AR6)



Köszönöm a figyelmet!



University of Antwerp
M4S |
Modelling For Sustainability

Takumi Therville
Modelling for Sustainability (M4S)
University of Antwerp, Belgium
takumi.Therville@uantwerpen.be

Hivatkozások

- Zscheischler, J., Martius, O., Westra, S. *et al.* A typology of compound weather and climate events. *Nat Rev Earth Environ* **1**, 333–347 (2020). <https://doi.org/10.1038/s43017-020-0060-z>
- Ridder, N.N., Pitman, A.J., Westra, S. *et al.* Global hotspots for the occurrence of compound events. *Nat Commun* **11**, 5956 (2020). <https://doi.org/10.1038/s41467-020-19639-3>
- Hao, Z., Hao, F., Xia, Y., Feng, S., Sun, C., Zhang, X., Fu, Y., Hao, Y., Zhang, Y., & Meng, Y. (2022). Compound droughts and hot extremes: Characteristics, drivers, changes, and impacts. *Earth-Science Reviews*, 235, 104241. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2022.104241>
- Tabari, H., Willems, P. Global risk assessment of compound hot-dry events in the context of future climate change and socioeconomic factors. *npj Clim Atmos Sci* **6**, 74 (2023). <https://doi.org/10.1038/s41612-023-00401-7>
- Hosseinzadehtalaei, P., Termonia, P. & Tabari, H. Projected changes in compound hot-dry events depend on the dry indicator considered. *Commun Earth Environ* **5**, 220 (2024). <https://doi.org/10.1038/s43247-024-01352-4>
- McGrath, B. M. (2019, September 18). Climate change: Warming to drive “robust increase” in UK flooding. <https://www.bbc.com/news/science-environment-49731591>
- Bevacqua, E., Vousdoukas, M.I., Zappa, G. *et al.* More meteorological events that drive compound coastal flooding are projected under climate change. *Commun Earth Environ* **1**, 47 (2020). <https://doi.org/10.1038/s43247-020-00044-z>
- Whiplash under review
- Tan, X., Wu, X., Huang, Z. *et al.* Increasing global precipitation whiplash due to anthropogenic greenhouse gas emissions. *Nat Commun* **14**, 2796 (2023). <https://doi.org/10.1038/s41467-023-38510-9>
- NOAA. Schematic Diagrams : El Nino Theme Page - A comprehensive Resource. (s. d.). Accessed 1st of August 2025 at https://www.pmel.noaa.gov/el_nino/schematic-diagrams
- NOAA. Global impacts of El Niño and La Niña. (2016). NOAA Climate.gov. <https://www.climate.gov/news-features/featured-images/global-impacts-el-ni%C3%B1o-and-la-ni%C3%B1a>
- Singh, J., Ashfaq, M., Skinner, C.B. *et al.* Enhanced risk of concurrent regional droughts with increased ENSO variability and warming. *Nat. Clim. Chang.* **12**, 163–170 (2022). <https://doi.org/10.1038/s41558-021-01276-3>
- Camara, M., Diba, I., & Diedhiou, A. (2022). Effects of Land Cover Changes on Compound Extremes over West Africa Using the Regional Climate Model RegCM4. *Atmosphere*, **13**(3), 421. <https://doi.org/10.3390/atmos13030421>
- Wu, S., Chan, T. O., Zhang, W., Ning, G., Wang, P., Tong, X., Xu, F., Tian, H., Han, Y., Zhao, Y., & Luo, M. (2021). Increasing compound heat and precipitation extremes elevated by urbanization in south China. *Frontiers in Earth Science*, **9**. <https://doi.org/10.3389/feart.2021.636777>
- Matthews, T., Wilby, R.L. & Murphy, C. An emerging tropical cyclone–deadly heat compound hazard. *Nat. Clim. Chang.* **9**, 602–606 (2019). <https://doi.org/10.1038/s41558-019-0525-6>