

# Aszály: tudomány, eszközök és trendek

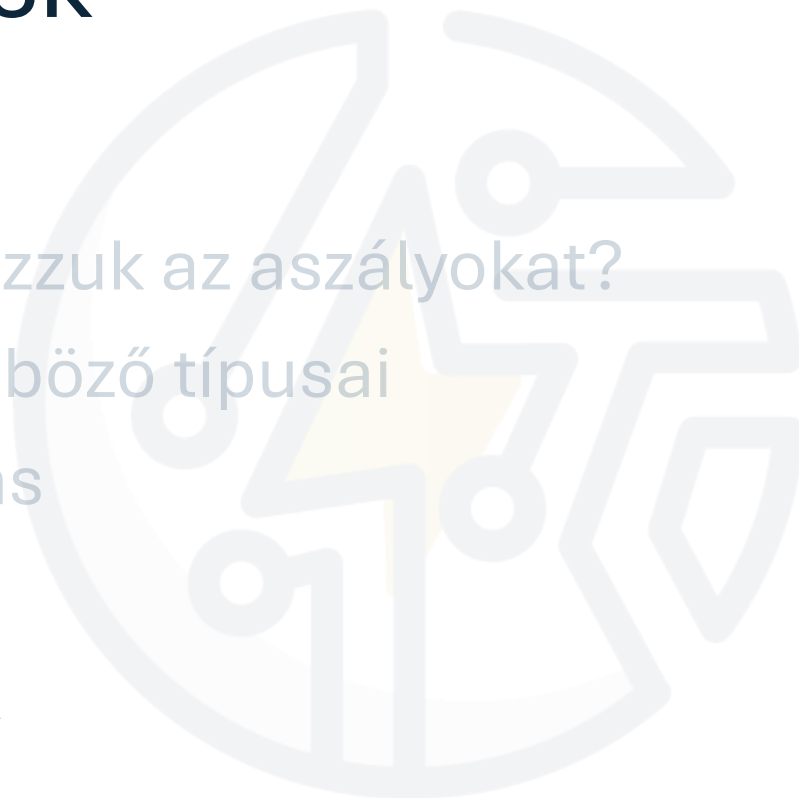
Takumi Therville  
University of Antwerp

# Tartalomjegyzék

1. Mi az aszály?
2. Miért tanulmányozzuk az aszályokat?
3. Az aszályok különböző típusai
4. Aszálymonitorozás
5. Aszálytrendek
6. Jövőbeli kilátások

# Tartalomjegyzék

1. Mi az aszály?
2. Miért tanulmányozzuk az aszályokat?
3. Az aszályok különböző típusai
4. Aszálymonitorozás
5. Aszálytrendek
6. Jövőbeli kilátások



# Az aszály definíciója



Az aszály olyan időszakokra utal, amikor a nedvességi viszonyok az átlagosnál lényegesen alacsonyabbak, általában nagy területeket érintenek, és a vízellátás korlátozottsága negatív hatásokat eredményez a természeti rendszerek különböző elemeiben és a gazdasági szektorokban.



IPCC 2021

# Mi?



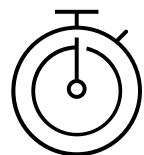
Az aszály olyan időszakokra utal, amikor a nedvességi viszonyok az átlagosnál lényegesen alacsonyabbak, általában nagy területeket érintenek, és a **vízellátás korlátozottsága** negatív hatásokat eredményez a természeti rendszerek különböző elemeiben és a gazdasági szektorokban.

IPCC 2021

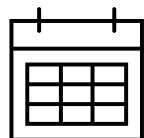
# Mikor?



Néhány naptól és héttől,



néhány hónapon át,



akár több évig is tarthat.



Az aszály olyan időszakokra utal, amikor a nedvességi viszonyok az átlagosnál lényegesen alacsonyabbak, általában nagy területeket érintenek, és a vízellátás korlátozottsága negatív hatásokat eredményez a természeti rendszerek különböző elemeiben és a gazdasági szektorokban.

IPCC 2021

# Mikor? Hol?



Az aszály olyan időszakokra utal, amikor a nedvességi viszonyok az átlagosnál lényegesen alacsonyabbak, általában nagy területeket érintenek, és a vízellátás korlátozottsága negatív hatásokat eredményez a természeti rendszerek különböző elemeiben és a gazdasági szektorokban.

IPCC 2021

# Aszály (Drought) vs. szárazság (Aridity)

Aszály: átmeneti, rendellenesen száraz időszak

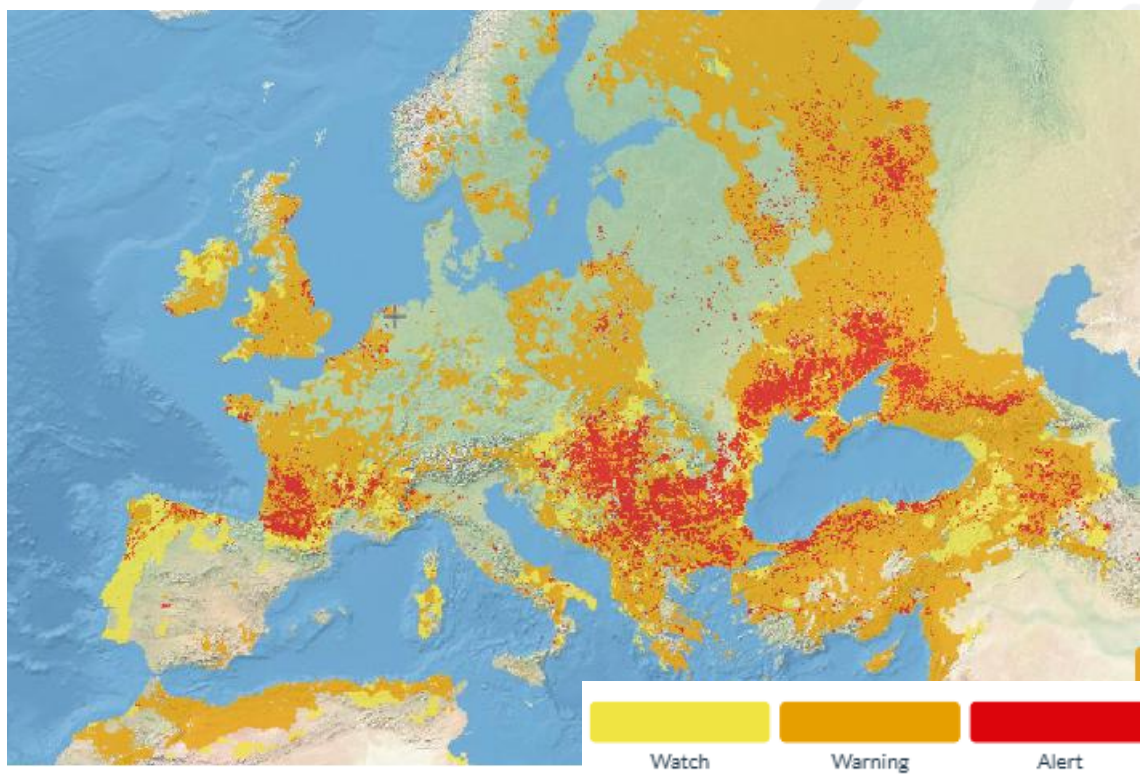
Szárazság: állandó\* éghajlati jellemző



# Aszály (Drought) vs. szárazság (Aridity)

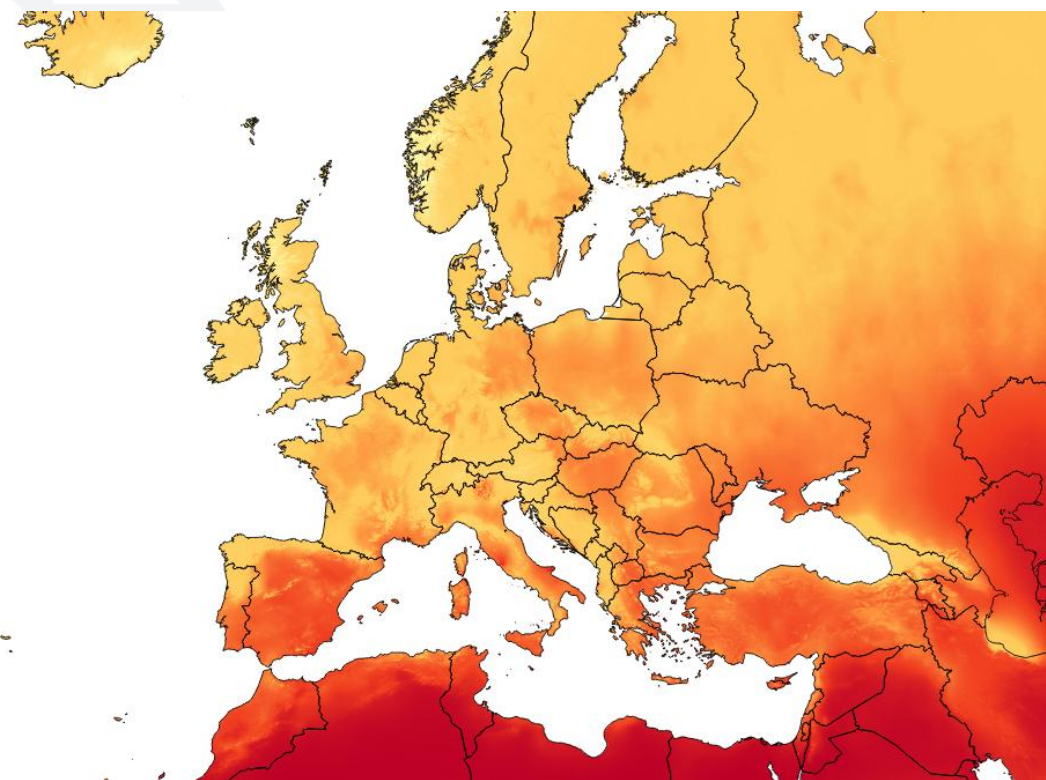
## Aszály

Európai Aszálymegfigyelő (European Drought Observatory, EDO), helyzet 2025. szeptember 1-jén



## Szárazság

(Zomer, R.J., Xu, J. & Trabucco, A, 2022)



# Mi az aszály?



Az aszály olyan időszakokra utal, amikor a nedvességi viszonyok az átlagosnál lényegesen alacsonyabbak, általában nagy területeket érintenek, és a vízellátás korlátozottsága **negatív hatásokat eredményez a természeti rendszerek különböző elemeiben és a gazdasági szektorokban.**

IPCC 2021

# Tartalomjegyzék

1. Mi az aszály?
2. Miért tanulmányozzuk az aszályokat?
  - a) Ökoszisztémás hatások
  - b) Társadalmi hatások
  - c) Gazdasági hatások
3. Az aszályok különböző típusai
4. Aszálymonitorozás
5. Aszálytrendek
6. Jövőbeli kilátások

# Az aszályok hatásai



Növényzeti stressz és pusztulás  
(Powers et al., 2020)

Műholdfelvételek az aszály  
növényzetre gyakorolt hatásáról  
(Cappucci, 2022)



Ökoszisztéma



# Az aszályok hatásai



Erdőtüzek (Littell et al., 2016; JRC 2023)



The Joint Research Centre: EU Science Hub

[Home](#) > [JRC news and updates](#) > [The EU 2022 wildfire season was the second worst on record](#)

NEWS ANNOUNCEMENT | 2 May 2023 | Joint Research Centre | 3 min read

## The EU 2022 wildfire season was the second worst on record

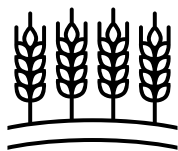
→ Az Európai Unió 2022-es erdőtűzszezonja a második legsúlyosabb volt a feljegyzések kezdete óta



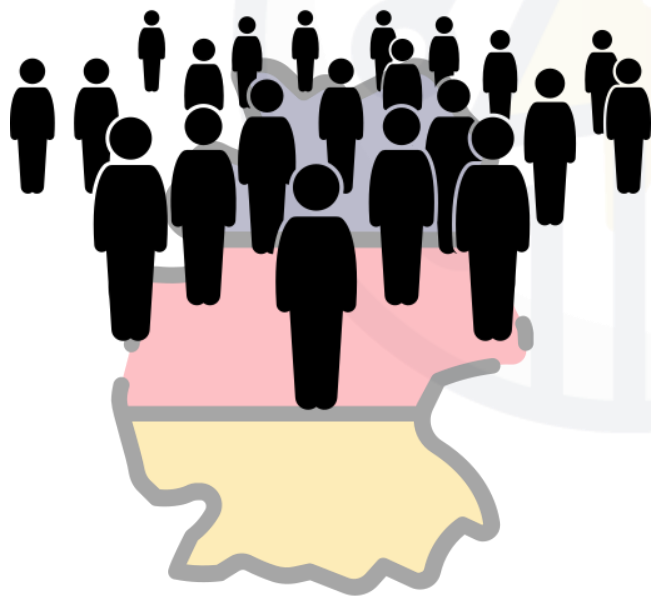
## Ökoszisztéma



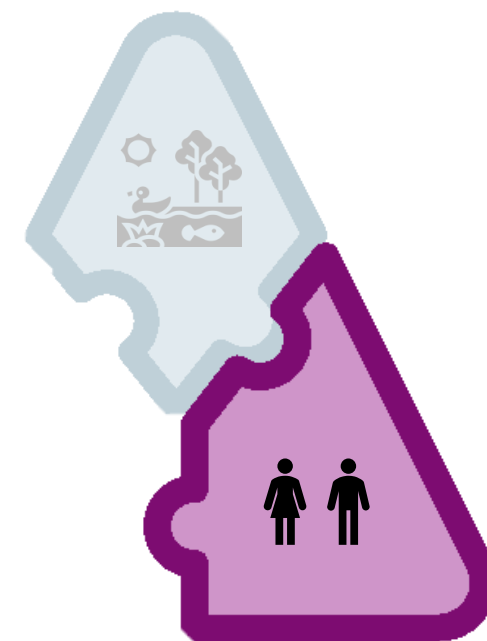
# Az aszályok hatásai



Évente annyi kalória vész el az aszályok miatt, amennyi Németország teljes népességének ellátására elegendő (World Bank, 2017)



## Társadalmi

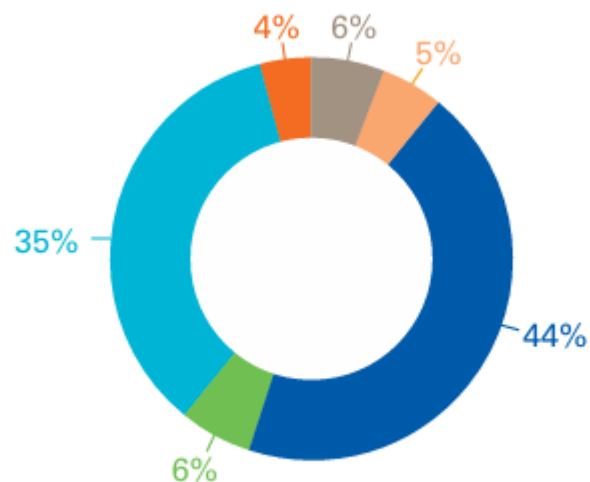


# Az aszályok hatásai

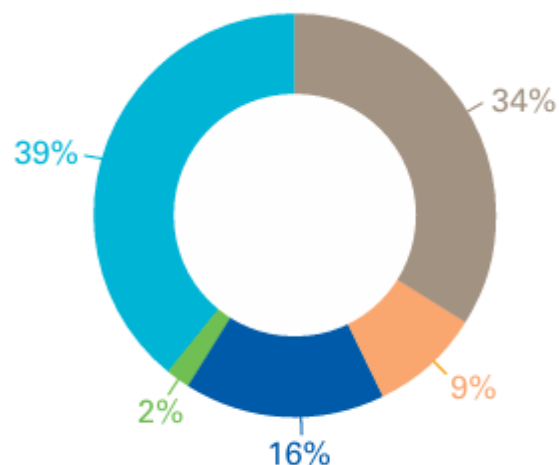


1970–2019 közötti katasztrófák és halálesetek száma (WMO, 2021)

Katasztrófák száma:  
Összesen 11 072

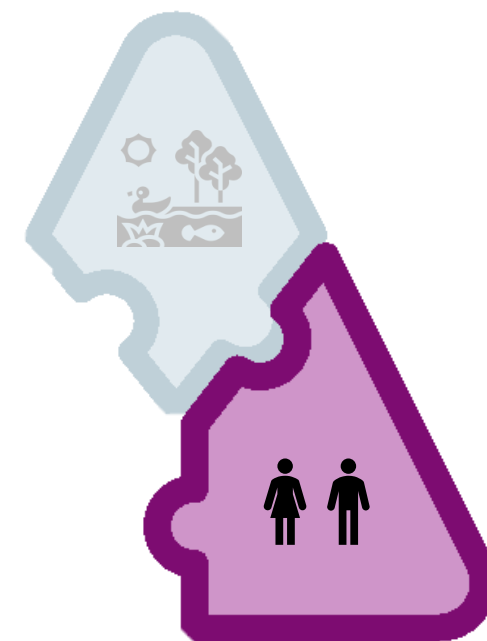


Halálesetek száma:  
Összesen 2 064 929



Drought / Aszály  
 Extreme temperature / Szélsőséges hőmérséklet  
 Flood / Árvíz  
 Landslide / Földcsuszamlás  
 Storm / Vihar  
 Wildfire / Erdőtűz

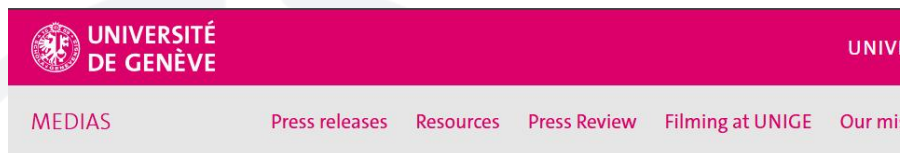
## Társadalmi



# Az aszályok hatásai



Konfliktusok,  
társadalmi  
feszültségek és  
összeomlás  
(Lucchetti, 2017)



2017

## Drought — a cause of riots

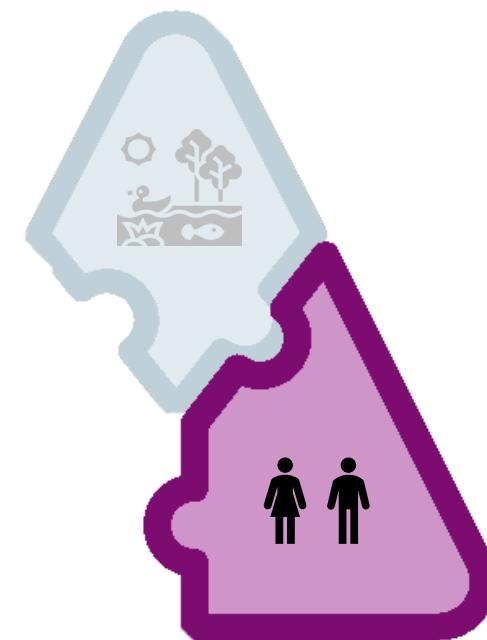
Aszály –

a zavargások egyik kiváltó oka

[Download PDF version](#)

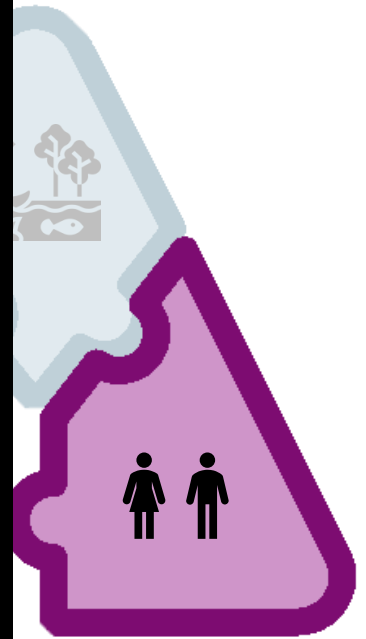
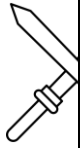


## Társadalmi



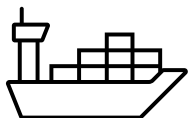
Az

ndalmi

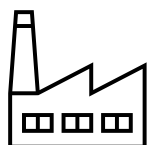


clideo.com

# Aszályok hatásai



Közlekedési és ellátási lánc zavarai



Ipari és energetikai vízkorlátozások

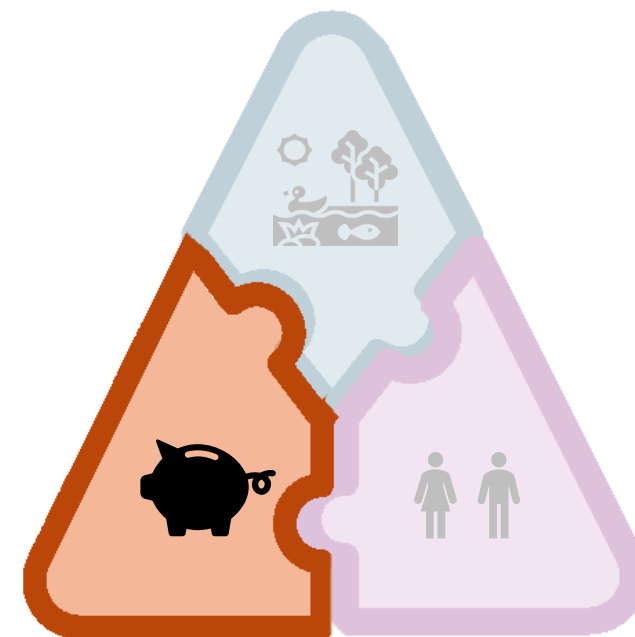
The New York Times

European Heat Wave | What to Know | Maps | Wildfires | Paris Braces for the Future | Spain's Old Ways of Coping | Managing Extreme Heat

## *Europe's Scorching Summer Puts Unexpected Strain on Energy Supply*

The dry summer has reduced hydropower in Norway, threatened nuclear reactors in France and crimped coal transport in Germany. And that's on top of Russian gas cuts.

## Gazdasági

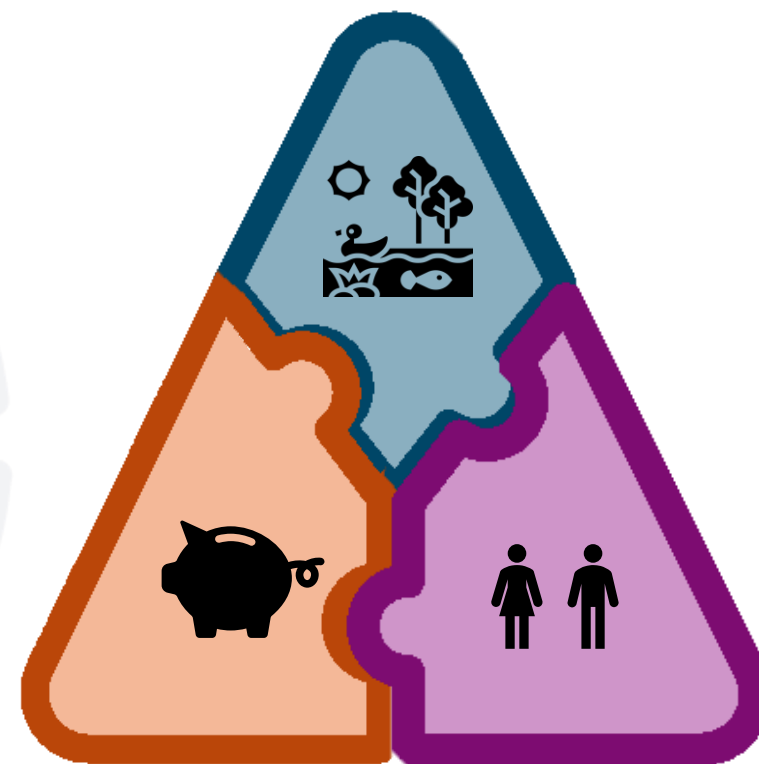


Európa perzselő nyara váratlan terhet ró az energiaellátásra

# Mi az aszály?

Az aszály nem csupán csapadékhiány – ez egy összetett veszély, amelyet a **normális állapothoz viszonyítva határoznak meg**, és amelynek hatásai **láncszerűen terjednek** a rendszereken keresztül.

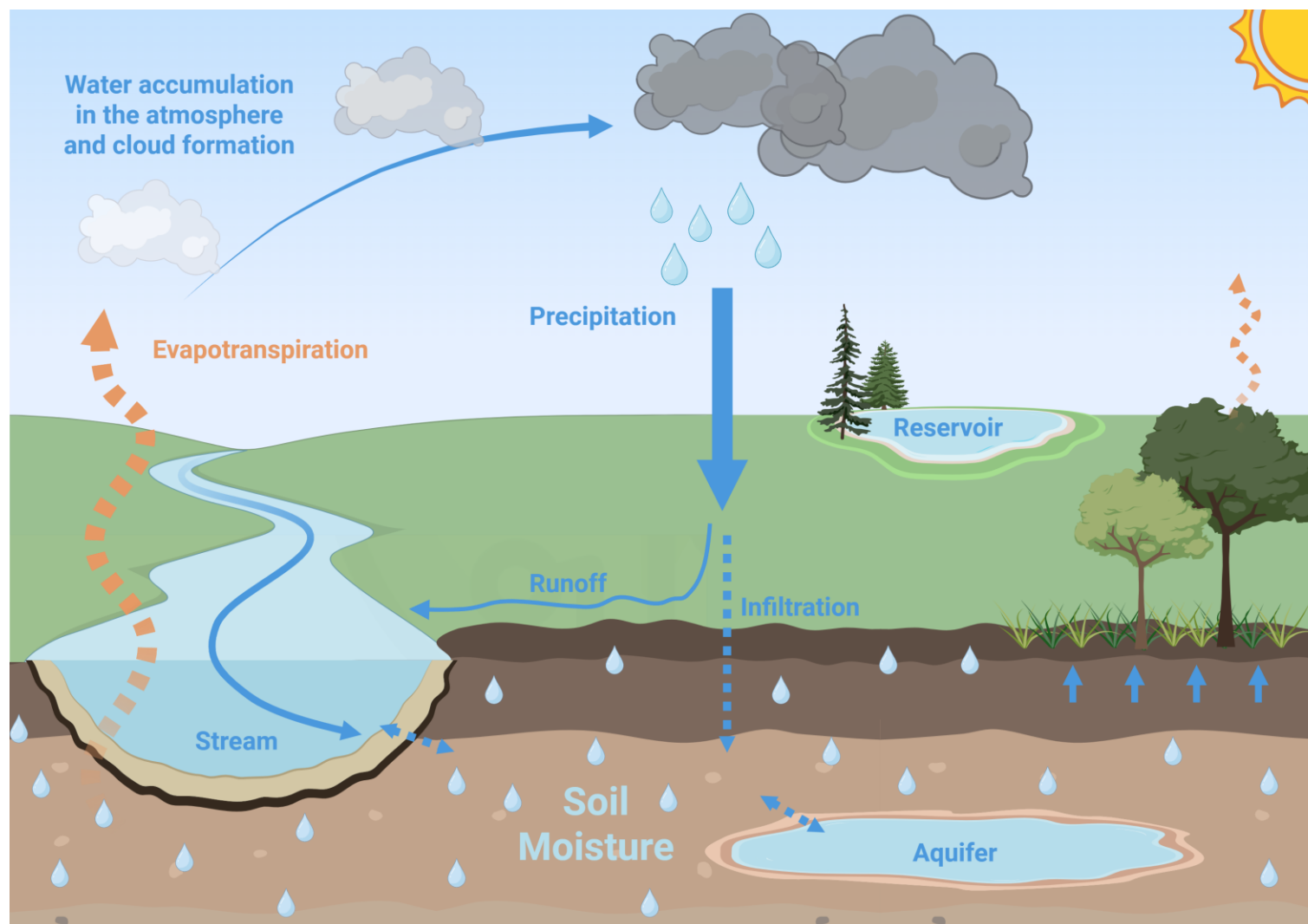
És ami döntő fontosságú: **nincs olyan régió, amely mentes lenne tőle.**



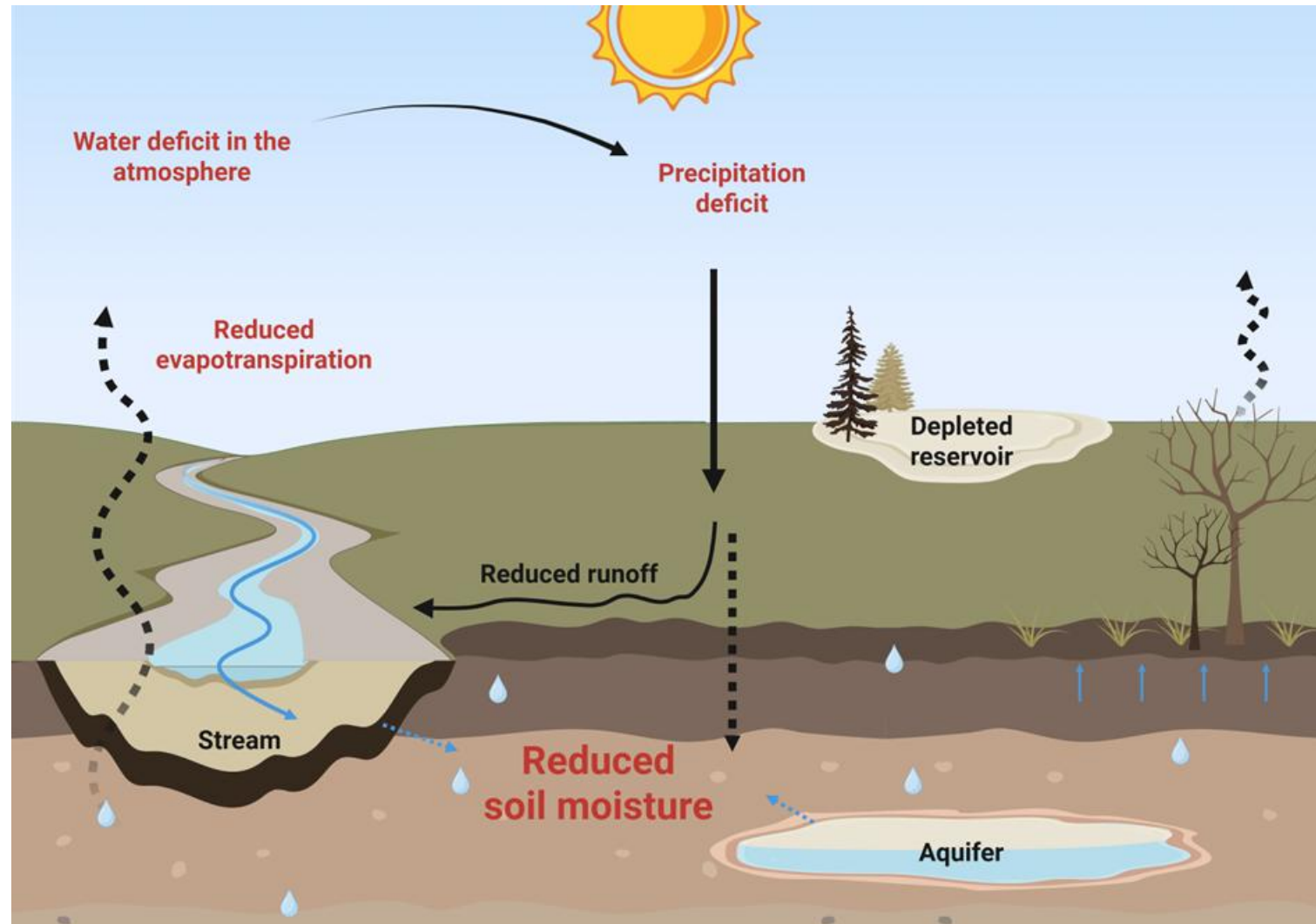
# Tartalomjegyzék

1. Mi az aszály?
2. Miért tanulmányozzuk az aszályokat?
3. **Az aszályok különböző típusai**
4. Aszály-monitorozás
5. Aszálytrendek
6. Jövőbeli perspektívák

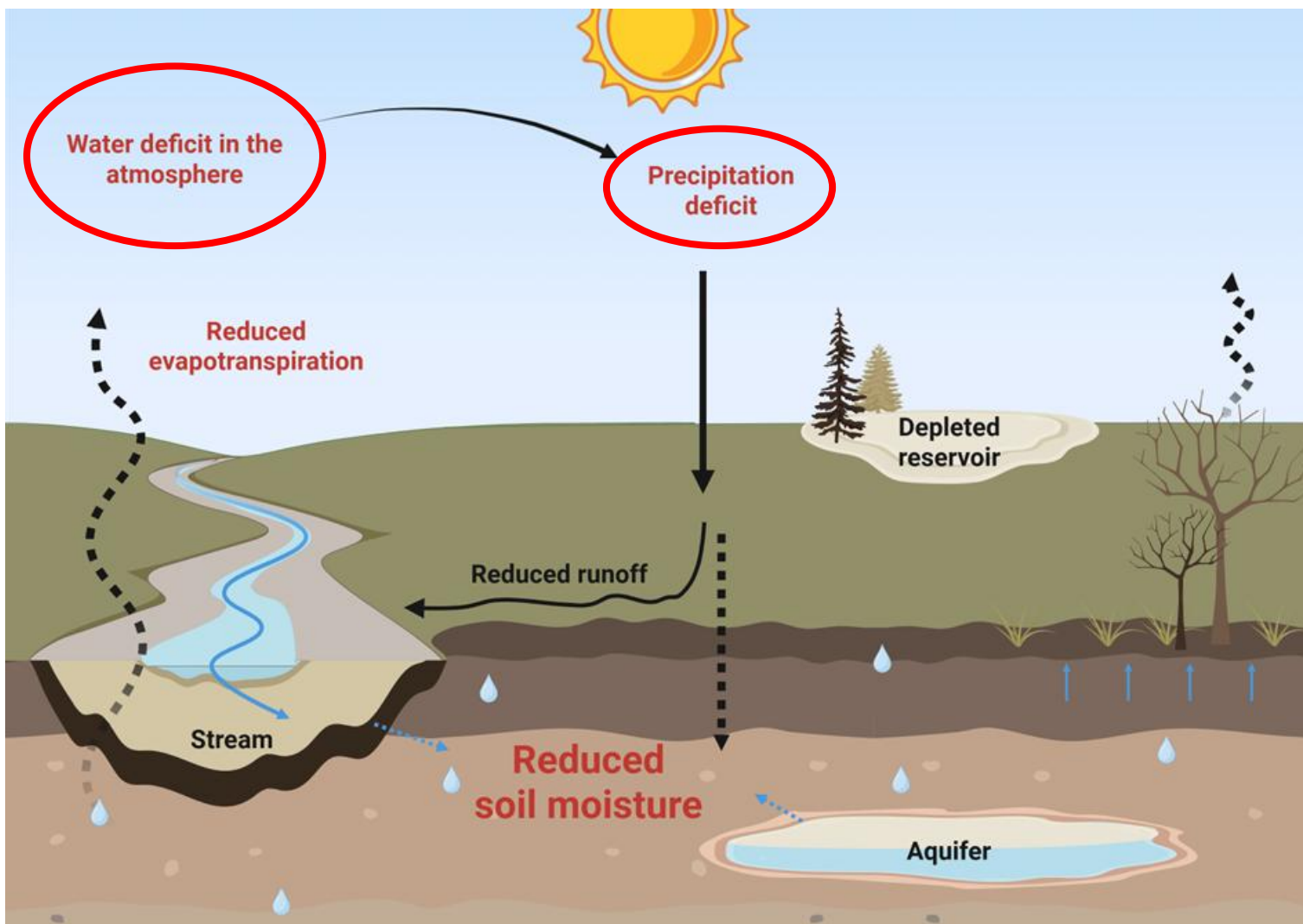
# Fizikai mechanizmusok



# Fizikai mechanizmusok



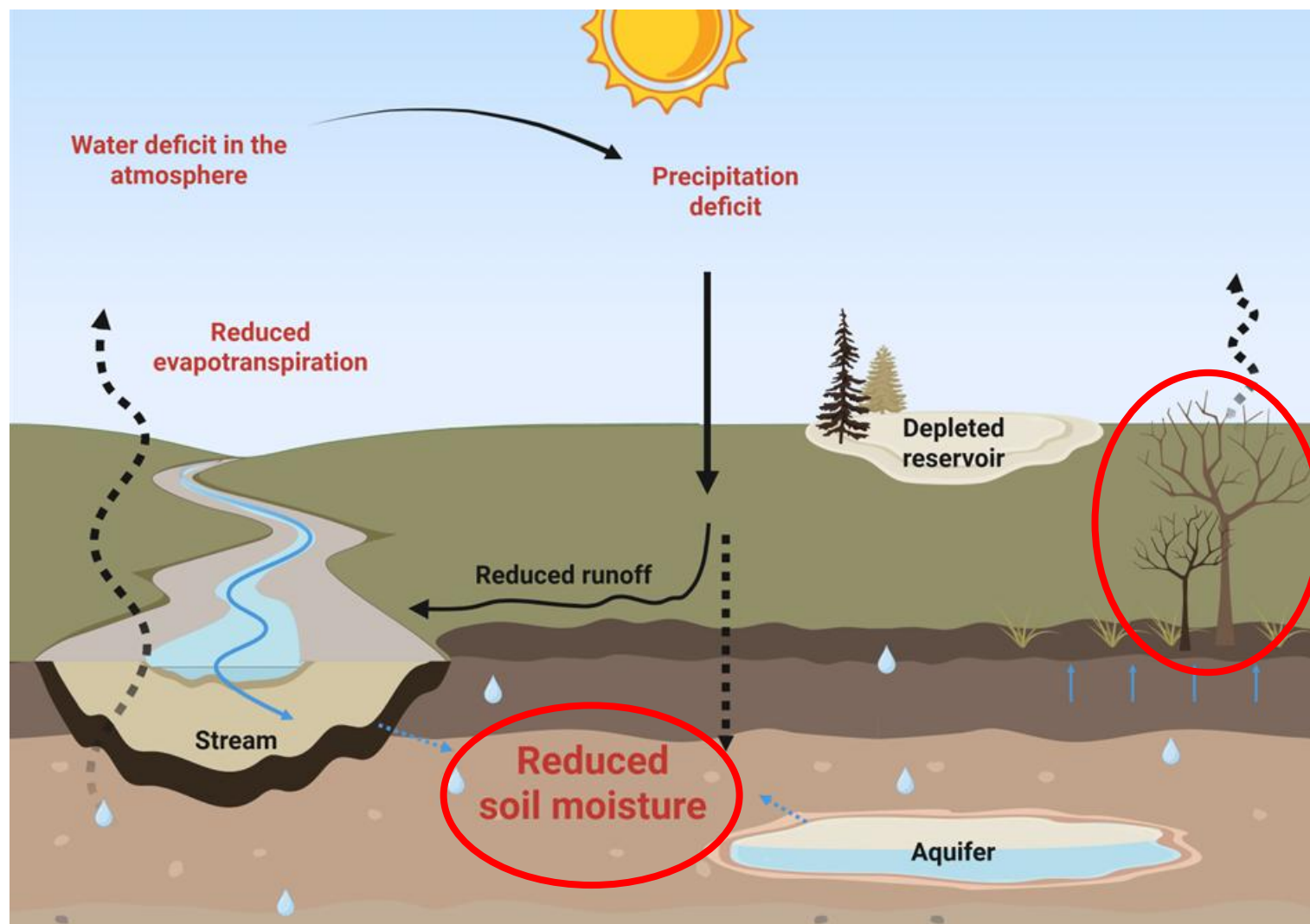
# Különböző aszálytípusok



**Meteorológiai aszály**

- Csapadékhiány
- Vízgőzhiány

# Különböző aszálytípusok



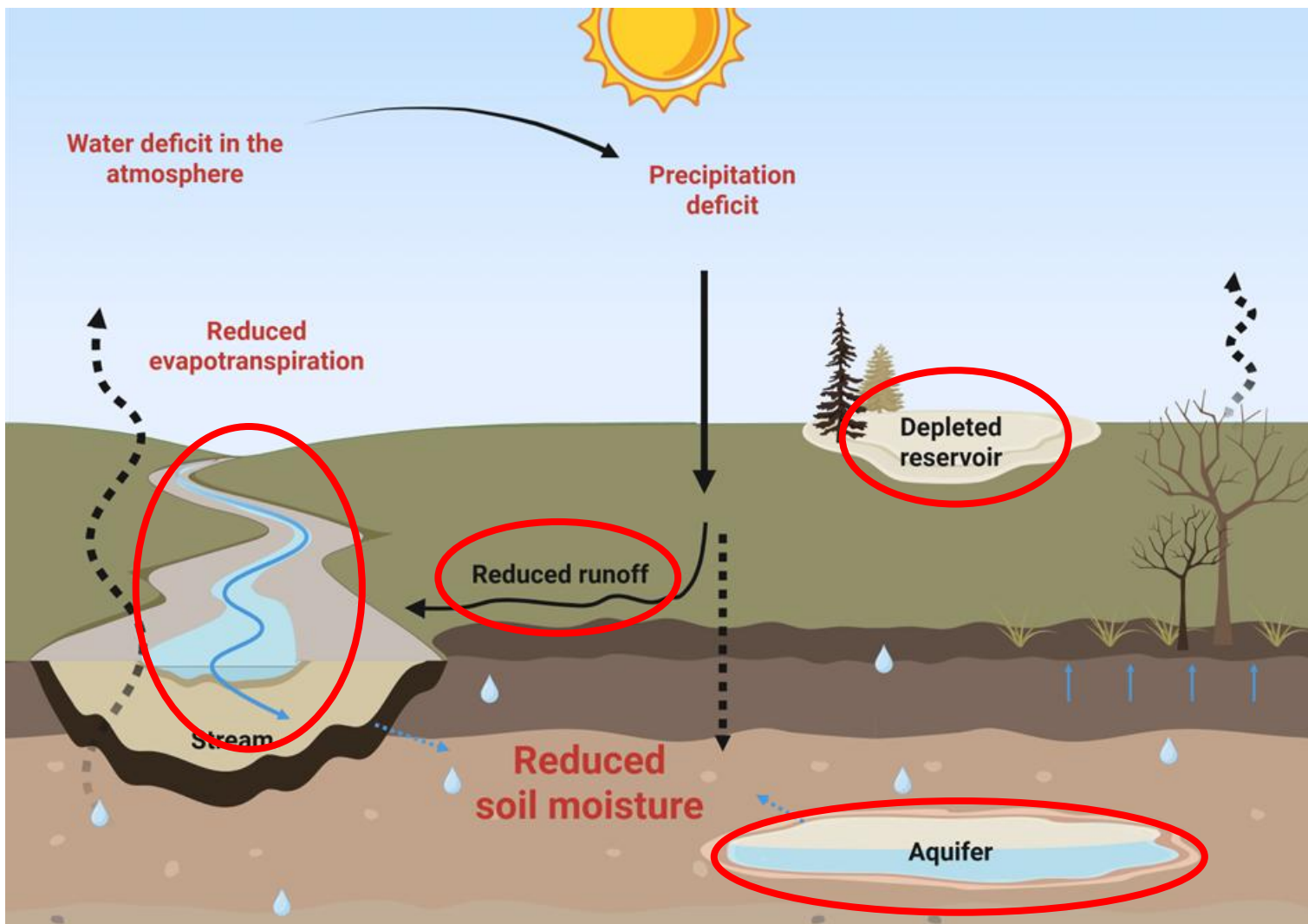
Time (duration)  
Időtartam

Meteorológiai aszály

Mezőgazdasági aszály

- Talajnedvesség-csökkenés
- Vegetációs stressz
- Terméshozam-csökkenés

# Különböző aszálytípusok



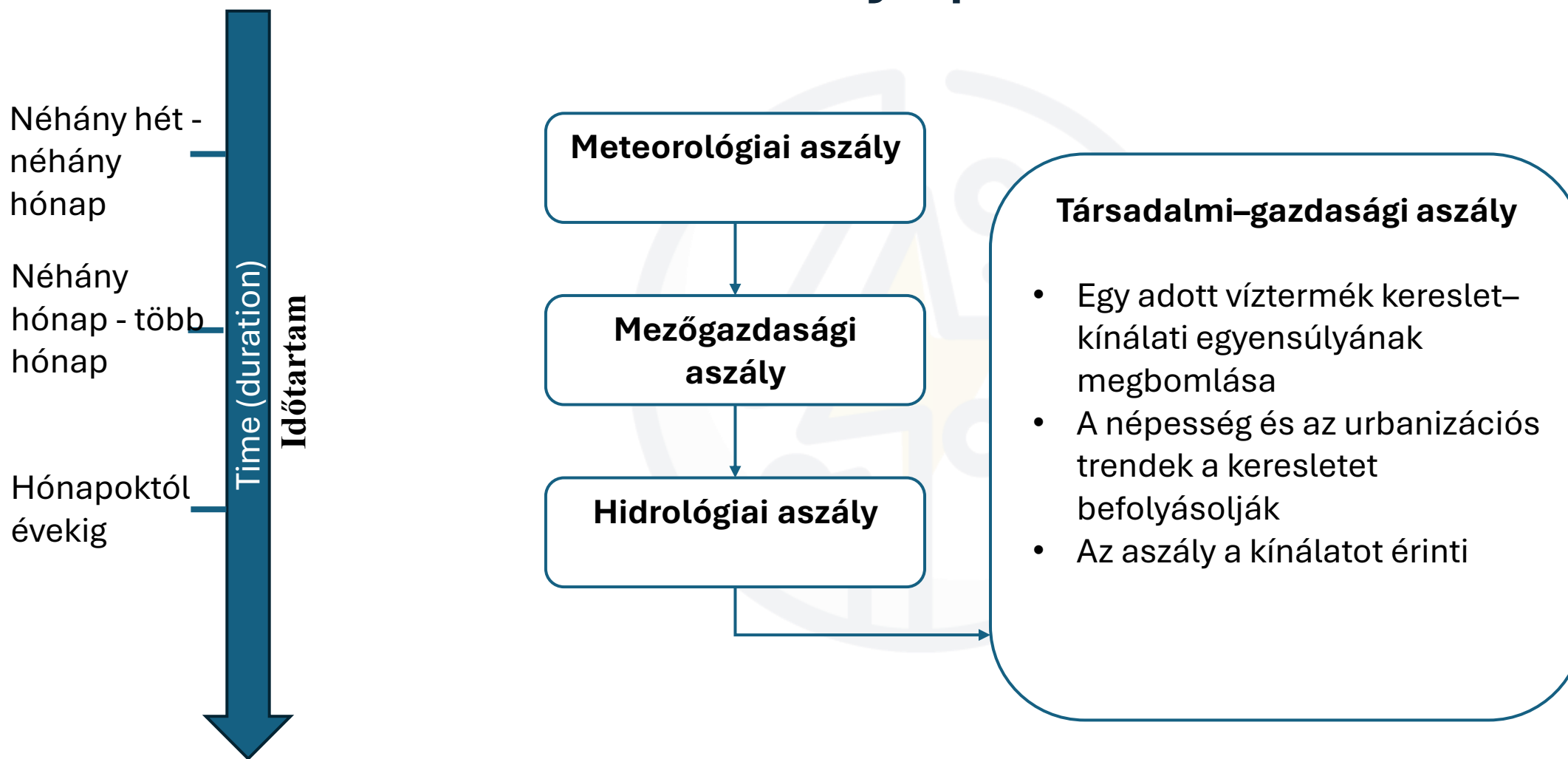
**Meteorológiai aszály**

**Mezőgazdasági aszály**

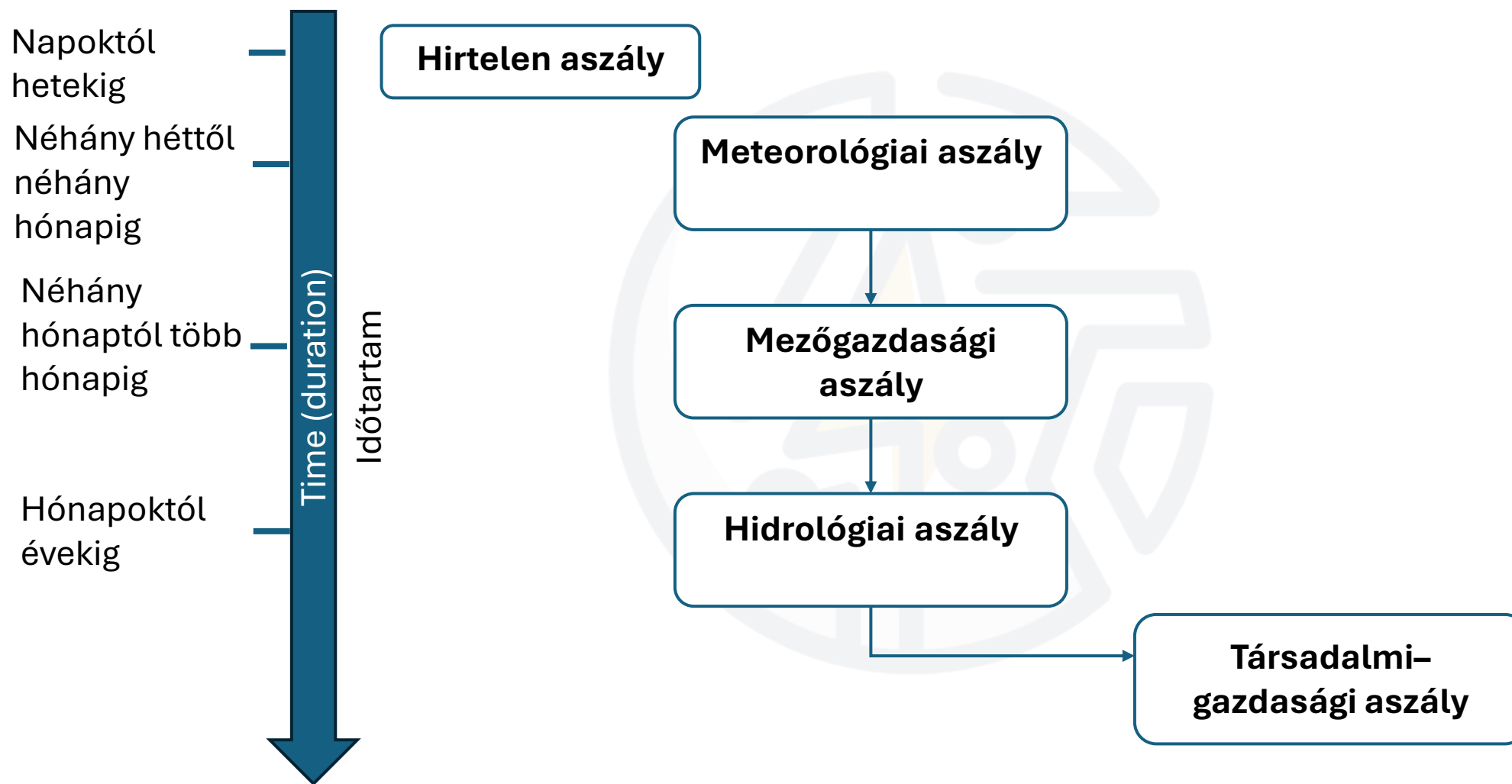
**Hidrológiai aszály**

- Csökkent vízhozam és lefolyás
- Csökkenő felszín alatti víz-, tározó-, tó- stb. szint

# Különböző aszálytípusok (UNISDR, 2009)



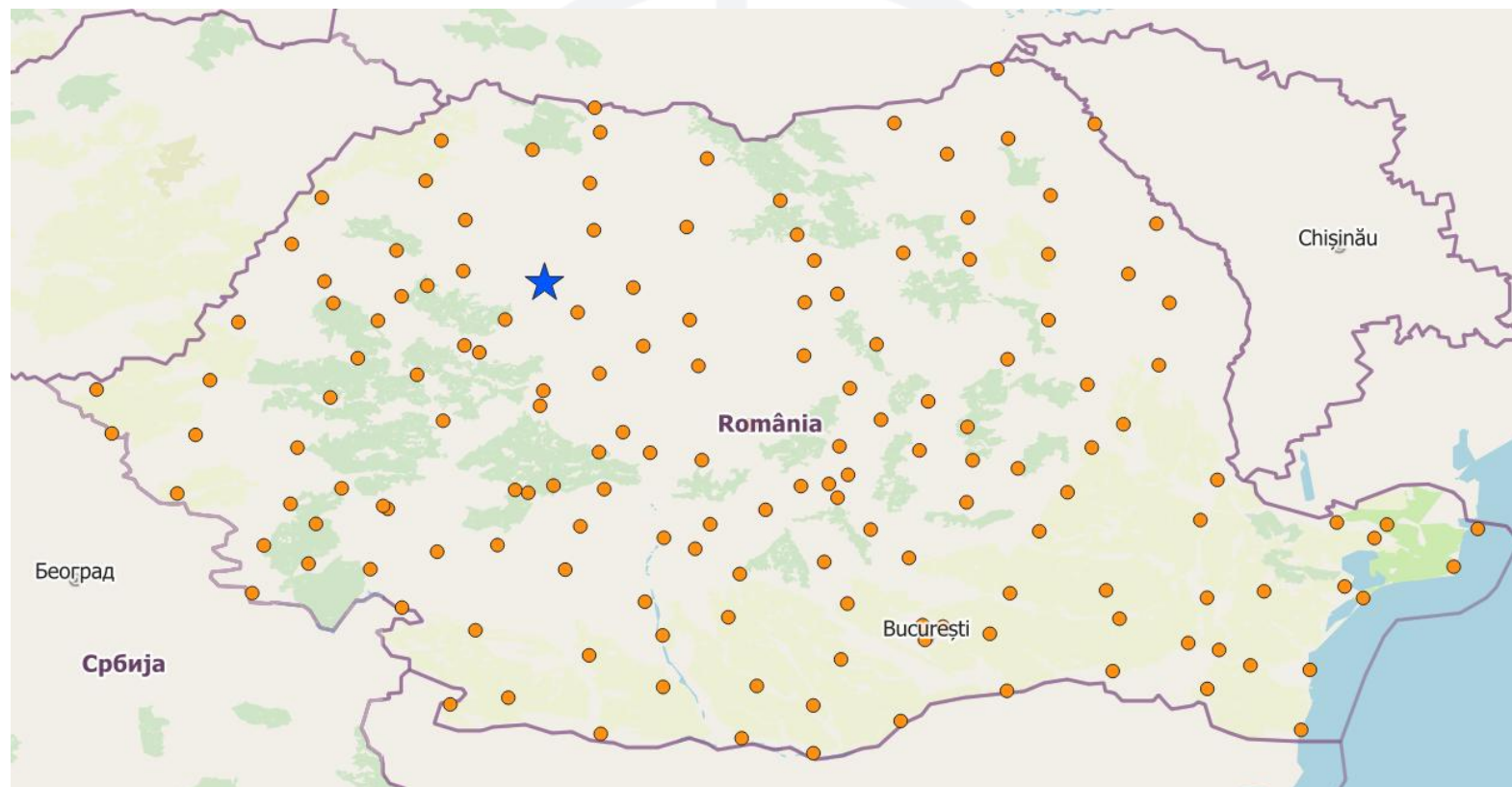
# Different drought types



# Tartalomjegyzék

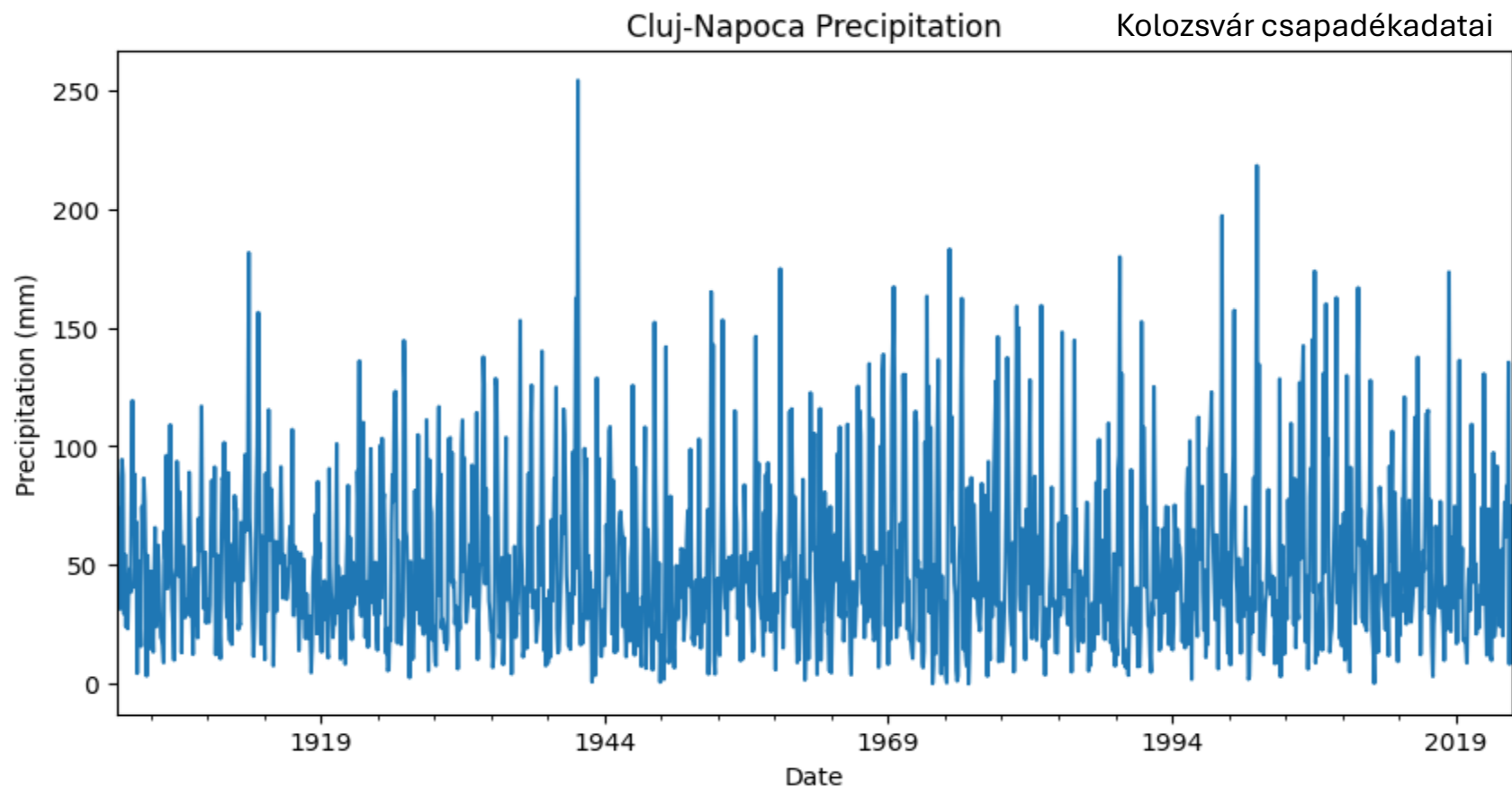
1. Mi az aszály?
2. Miért tanulmányozzuk az aszályokat?
3. Az aszályok különböző típusai
4. Aszály-monitorozás
  1. Aszály kimutatása – aszályindexek: SPI
  2. Egyéb sztenderdizált indexek
  3. Online eszközök az aszály megfigyelésére
5. Aszálytrendek
6. Jövőbeli perspektívák

# Miért van szükségünk aszályindexekre?

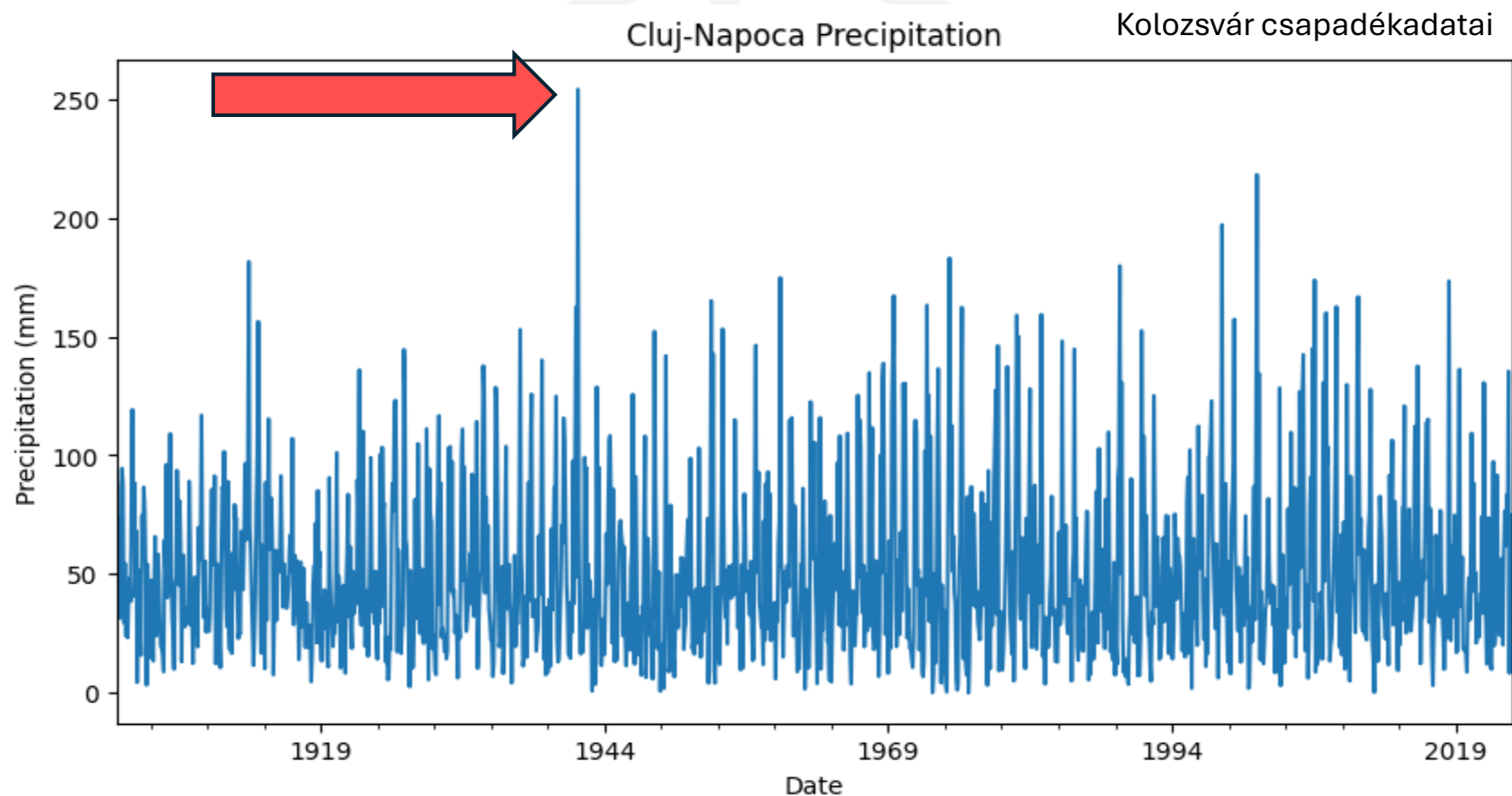


Data from Dumitrescu, A. et al. (2025)

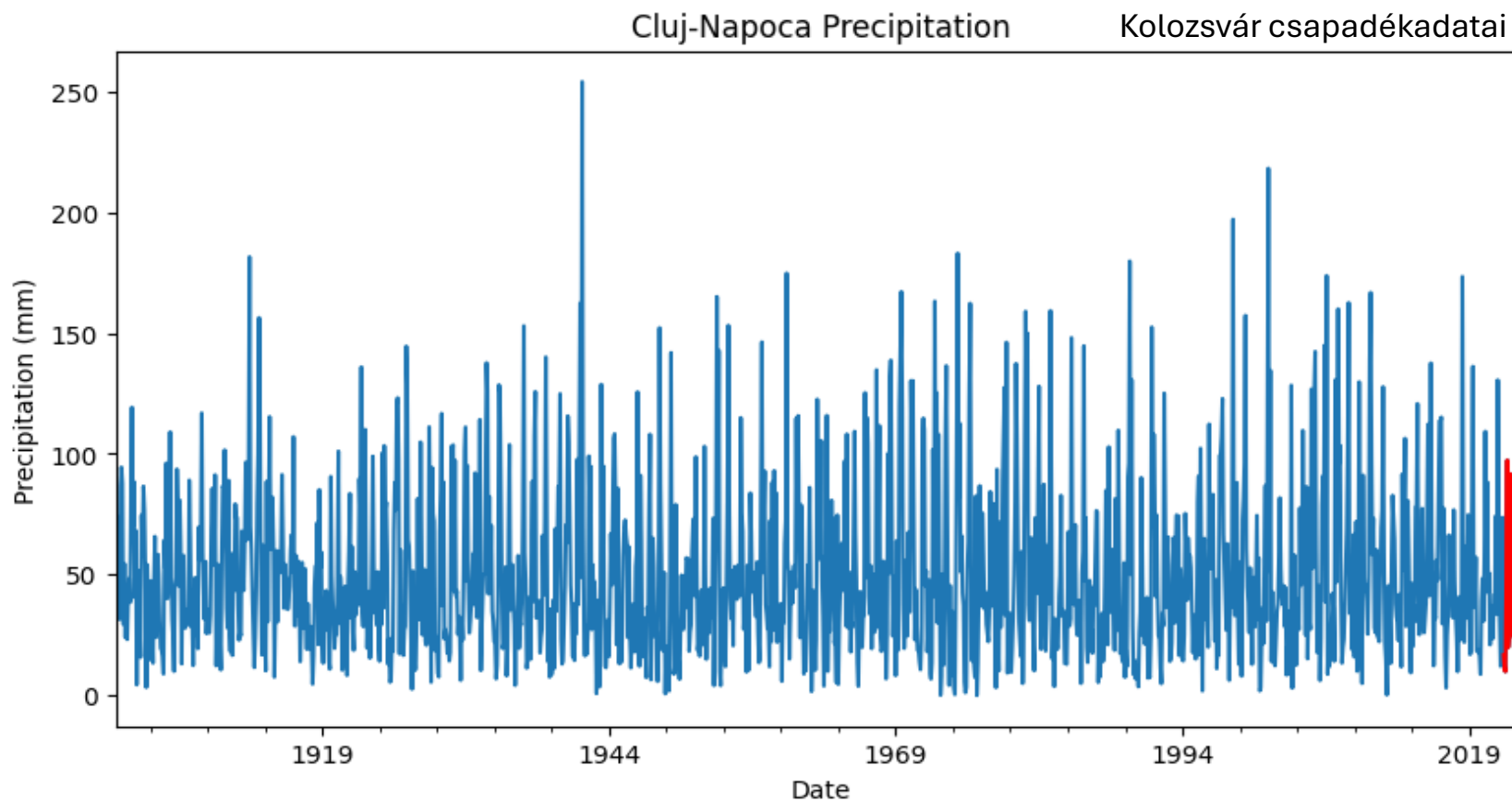
# Miért van szükségünk aszályindexekre?



# Miért van szükségünk aszályindexekre?



# Miért van szükségünk aszályindexekre?

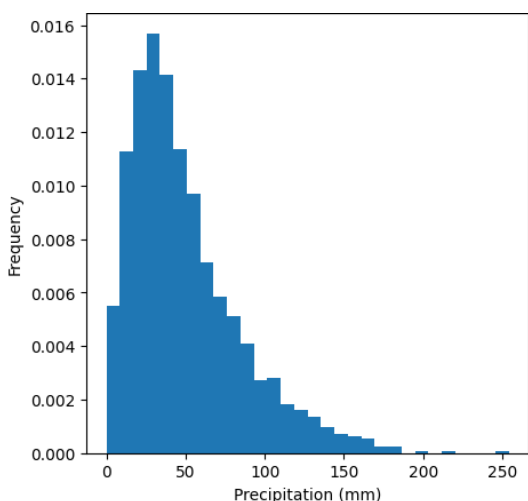


# Aszályindexek

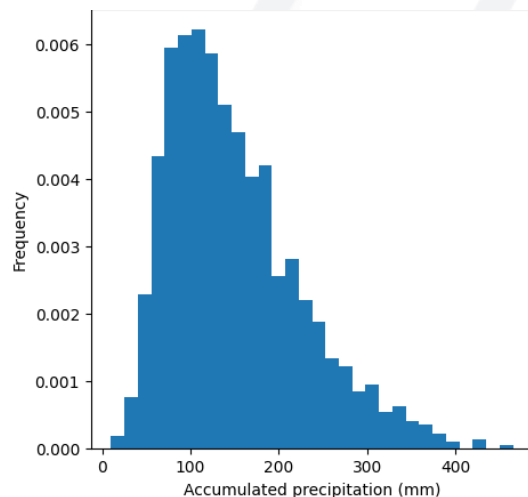
Többidőskálás	Különböző időskálákon alkalmazható
Összehasonlítható	Összehasonlítható értékeket biztosít az éghajlati régiók között
Értelmezhető	Könnyen kapcsolható megfigyelt hatásokhoz (küszöbértékek, súlyosság)
Hozzáférhető	Számítható rendelkezésre álló adatokból
Érzékeny	Egyértelműen reagál a vízhiányokra

# A Standardizált Csapadékindex (SPI)

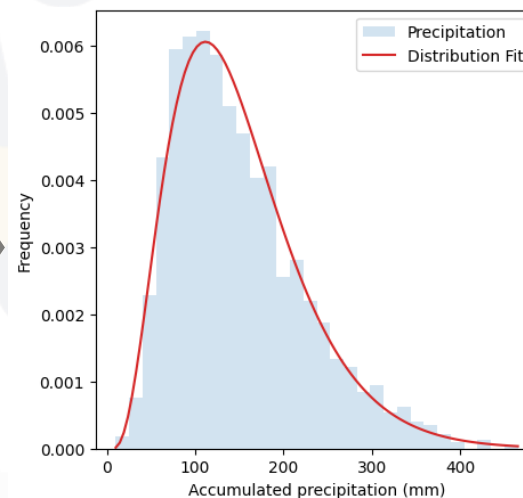
(McKee et al., 1993)



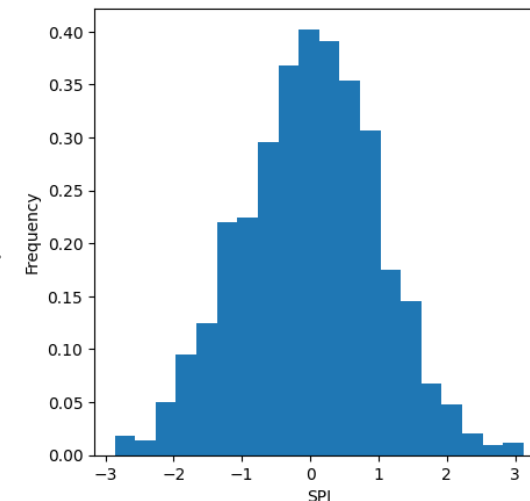
**Nyers csapadékadatok**



**Csapadékösszeg kiszámítása egy választott időszakra**



**A csapadék valószínűségének meghatározása az adott időszakra**



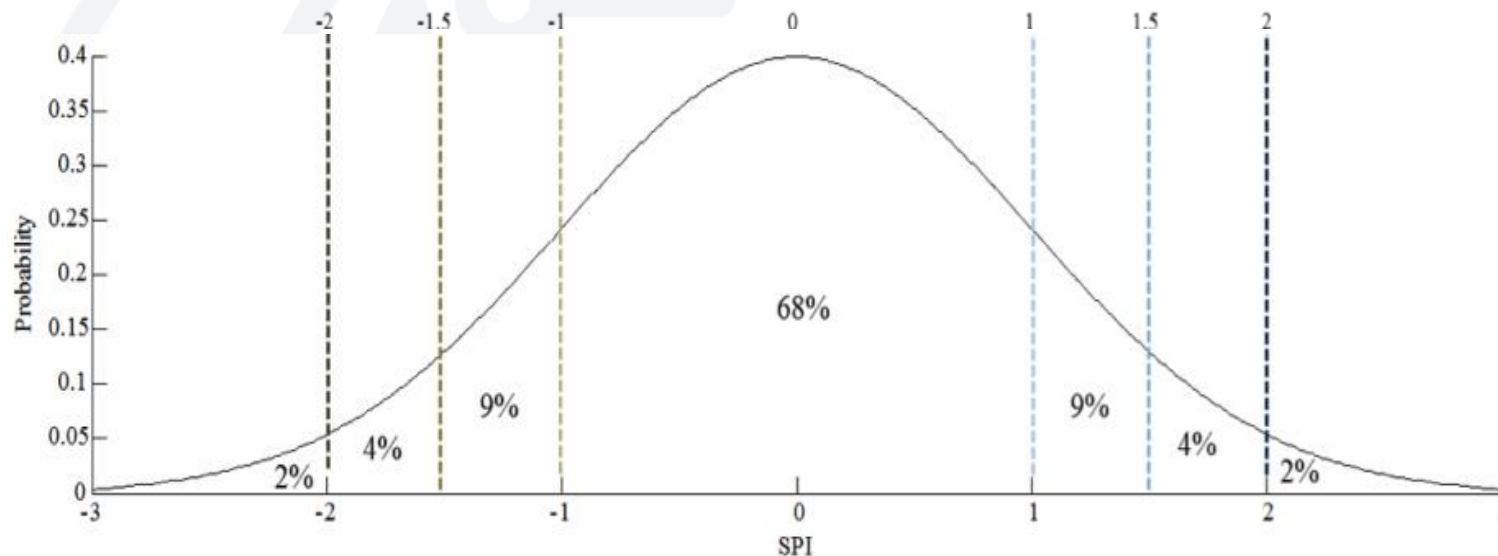
**Átalakítás standard normál eloszlásba**

# SPI : Standardizált Csapadékindex

Többidőskálás	Különböző időskálákon alkalmazható.	✓
Összehasonlítható	Összehasonlítható értékeket biztosít az éghajlati régiók között.	✓
Értelmezhető	Könnyen kapcsolható megfigyelt hatásokhoz (küszöbértékek, súlyosság).	
Hozzáférhető	Számítható rendelkezésre álló adatokból.	✓
Érzékeny	Egyértelműen reagál a vízhiányokra.	

# SPI aszály meghatározása

SPI range	Condition
$SPI \geq 2$	Extremely wet
$1.5 \geq SPI > 2$	Severely wet
$1 \geq SPI > 1.5$	Moderately wet
$1 > SPI > -1$	Normal
$-1 \geq SPI > -1.5$	Moderately dry
$-1.5 \geq SPI > -2$	Severely dry
$-2 \geq SPI$	Extremely dry

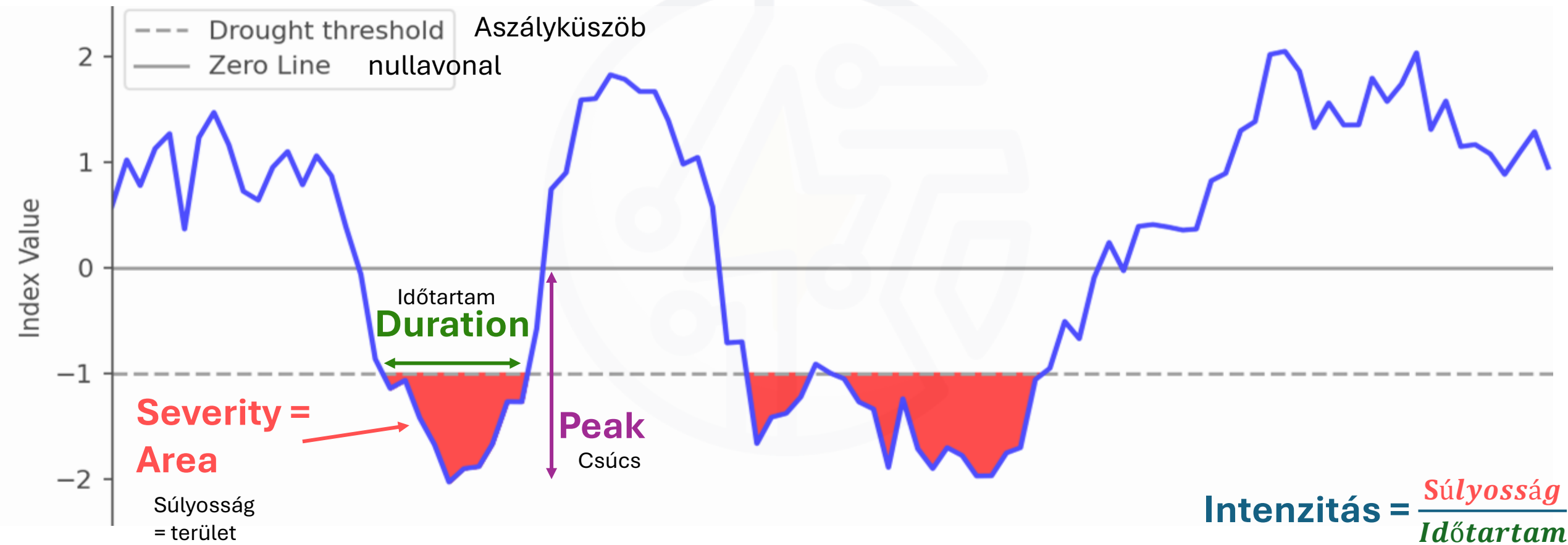


(Keyantash & National Center for Atmospheric Research Staff (Eds)., 2025)

# SPI : Standardizált Csapadékindex

Többidőskálás	Különböző időskálákon alkalmazható.	✓
Összehasonlítható	Összehasonlítható értékeket biztosít az éghajlati régiók között.	✓
Értelmezhető	Könnyen kapcsolható megfigyelt hatásokhoz (küszöbértékek, súlyosság).	✓
Hozzáférhető	Számítható rendelkezésre álló adatokból.	✓
Érzékeny	Egyértelműen reagál a vízhiányokra.	

# Aszálykimutatás a „run theory” alapján



# SPI : Standardizált Csapadékindex

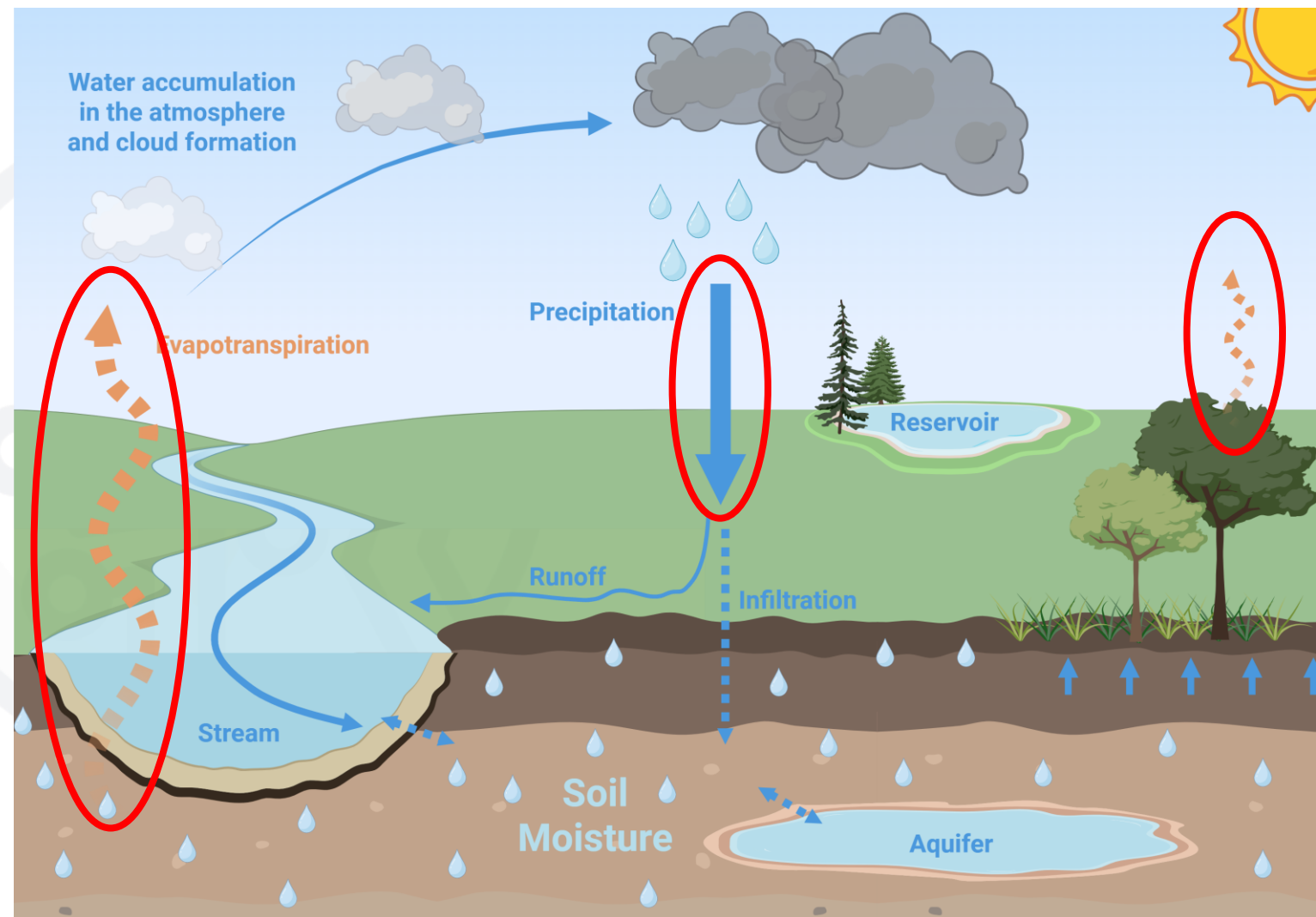
Többidőskálás	Különböző időskálákon alkalmazható.	✓
Összehasonlítható	Összehasonlítható értékeket biztosít az éghajlati régiók között.	✓
Értelmezhető	Könnyen kapcsolható megfigyelt hatásokhoz (küszöbértékek, súlyosság).	✓
Hozzáférhető	Számítható rendelkezésre álló adatokból.	✓
Érzékeny	Egyértelműen reagál a vízhiányokra.	✓

# SPEI

(Vicente-Serrano et al., 2010)

- A standardizálási eljárást a következőre alkalmazzuk:  

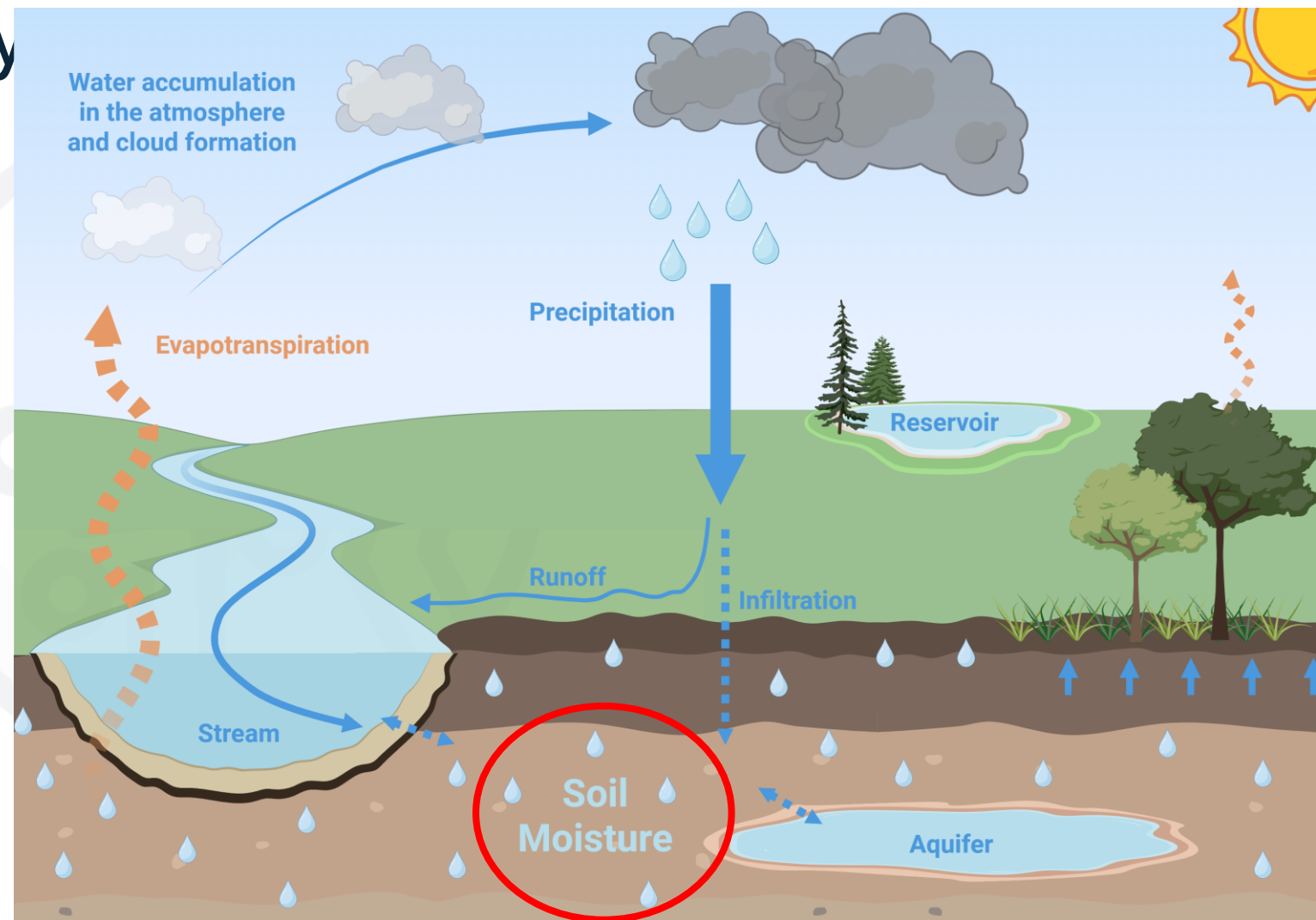
$$D = precip - PET$$
 ahol a *PET* a potenciális evapotranszspiráció
- Figyelembe veszi a hőmérséklet hatását a vízkörforgásra



# Mezőgazdasági aszály – SSI

(Sheffield, J. & Wood, E.F., 2008)

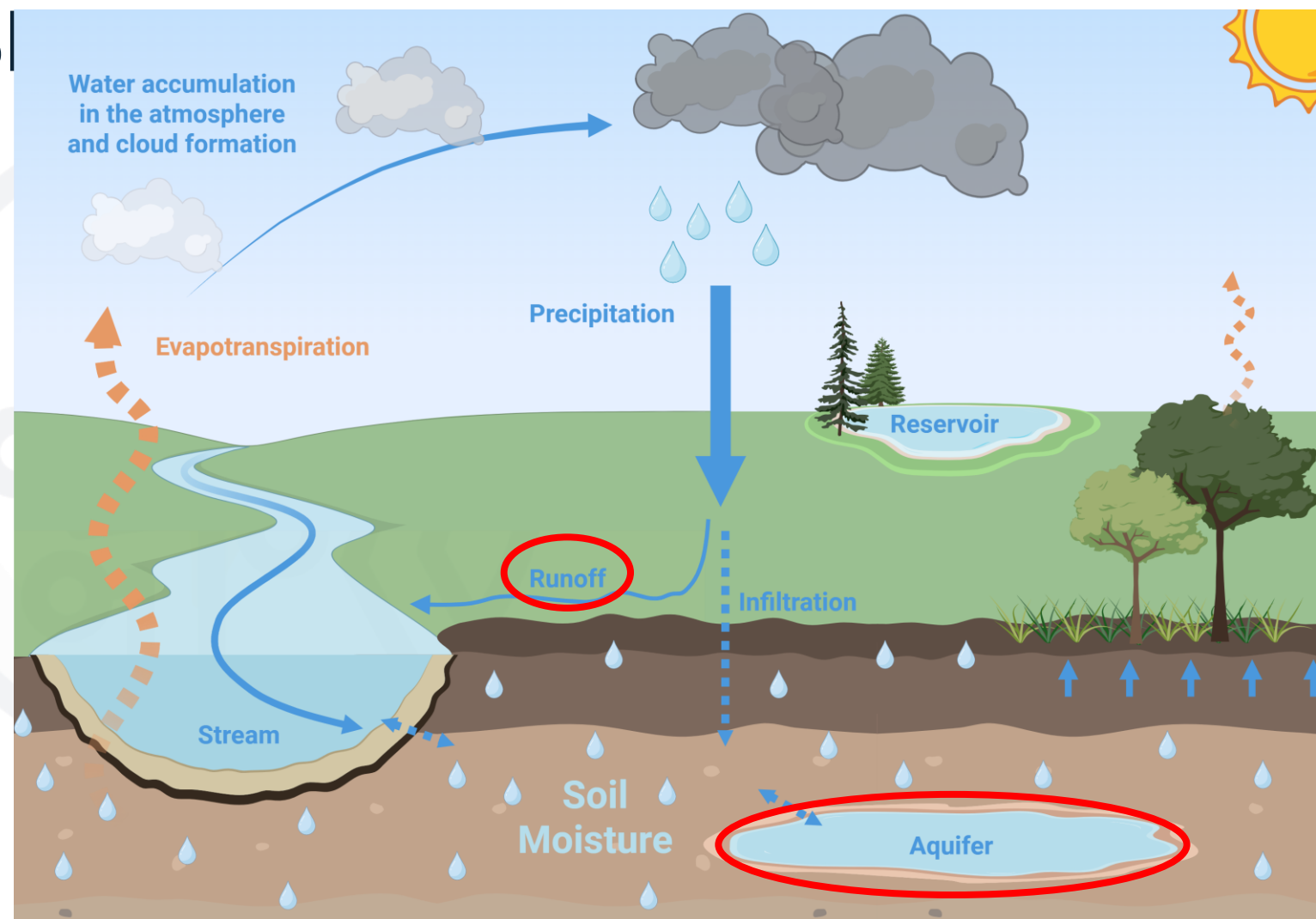
- A standardizálási folyamatot a talajnedvességre alkalmazzuk
  - Egy adott mélységben
  - A teljes talajoszlopban
- Különböző növények eltérő talajnedvesség-mélységet használnak
- Adathiány és modellspecifikus feltételezések befolyásolják



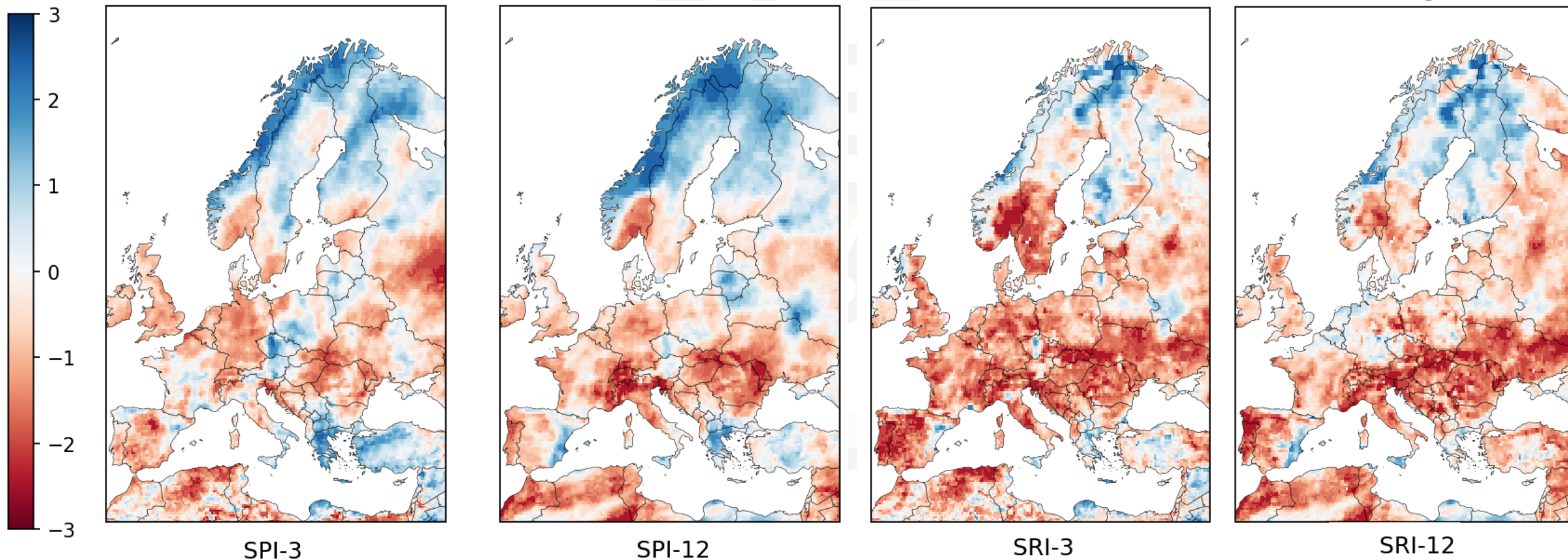
# Hidrológiai aszály – SGI és SGI

(Shukla, S. & A. W. Wood, 2008; Bloomfield, J. P. & Marchant, B. P., 2013)

- A standardizálási eljárást a következőkre alkalmazzuk:
  - Lefolyás
  - Felszín alatti vízszint
- Adatgyűjtési nehézségek
- Nagyon lokalizált folyamat



# Aszály monitorozás a gyakorlatban: 2022-es példa

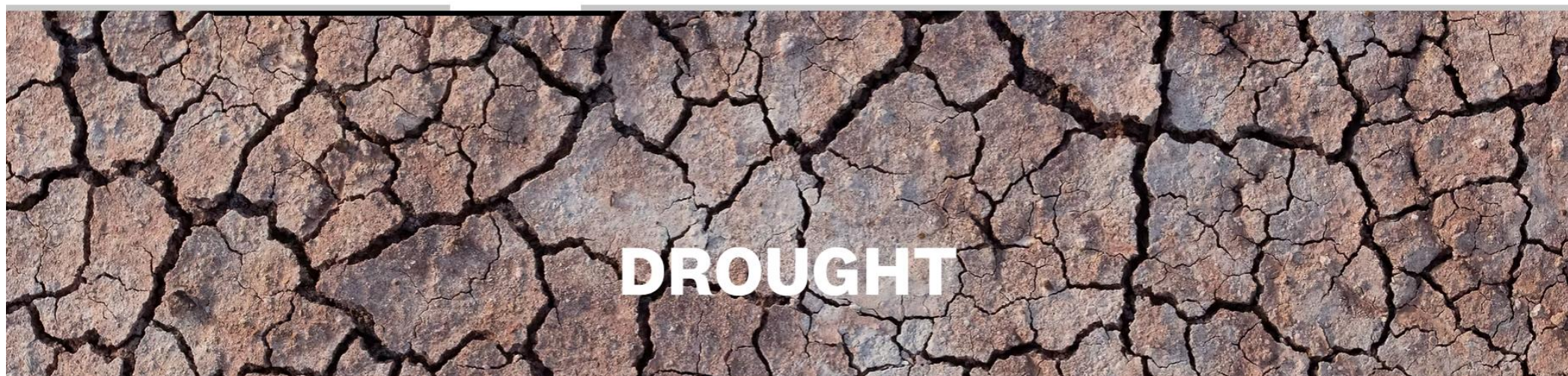


# Online aszály megfigyelő eszközök és források



Sustainability Nexus Analytics, Informatics, and Data (AID) Programme

HOME ABOUT AID **MODULES**



<https://www.sustainabilityaid.net/drought>



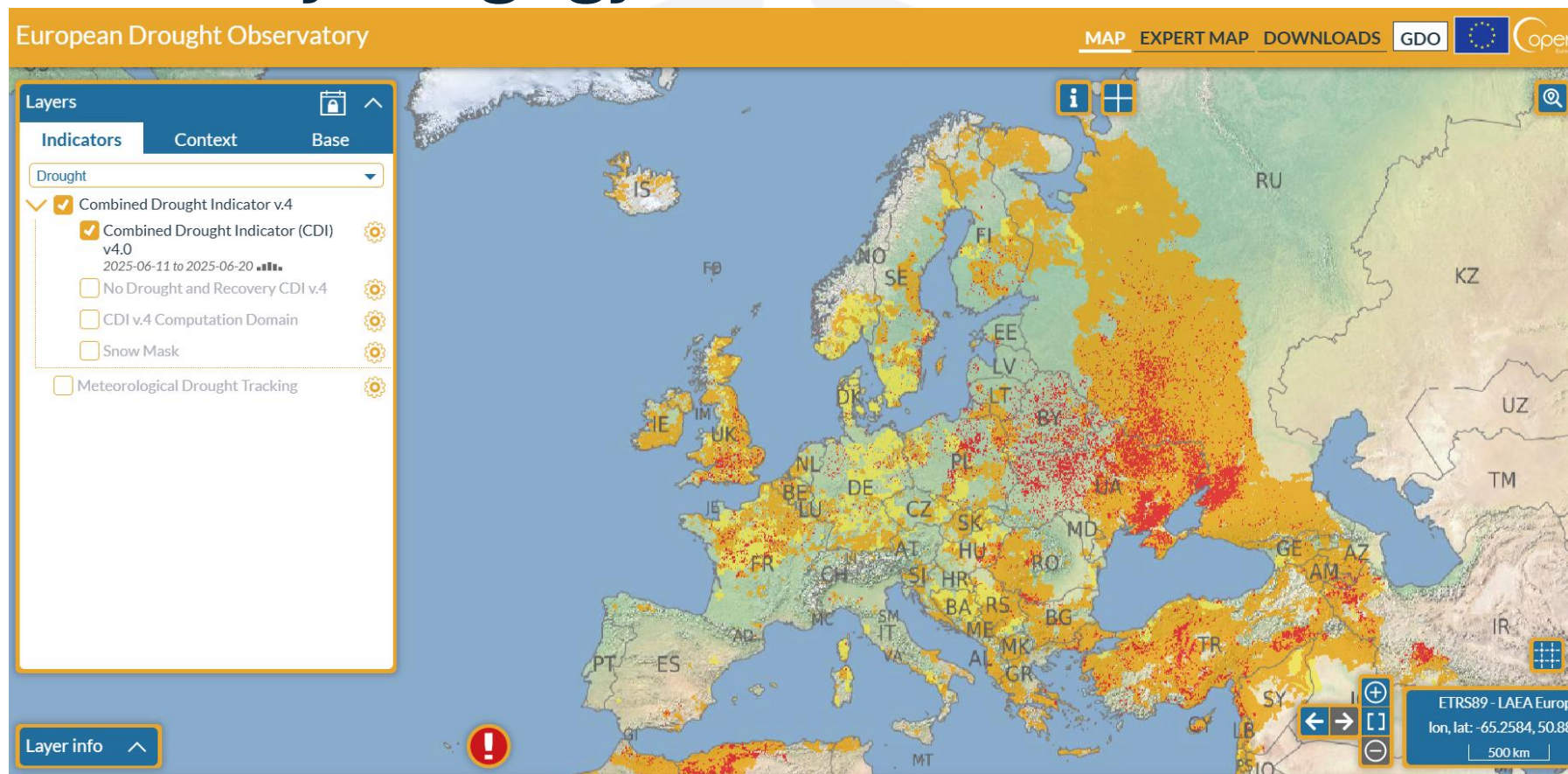
Sustainability Nexus Analytics, Informatics, and Data (AID) Programme

HOME ABOUT AID **MODULES**



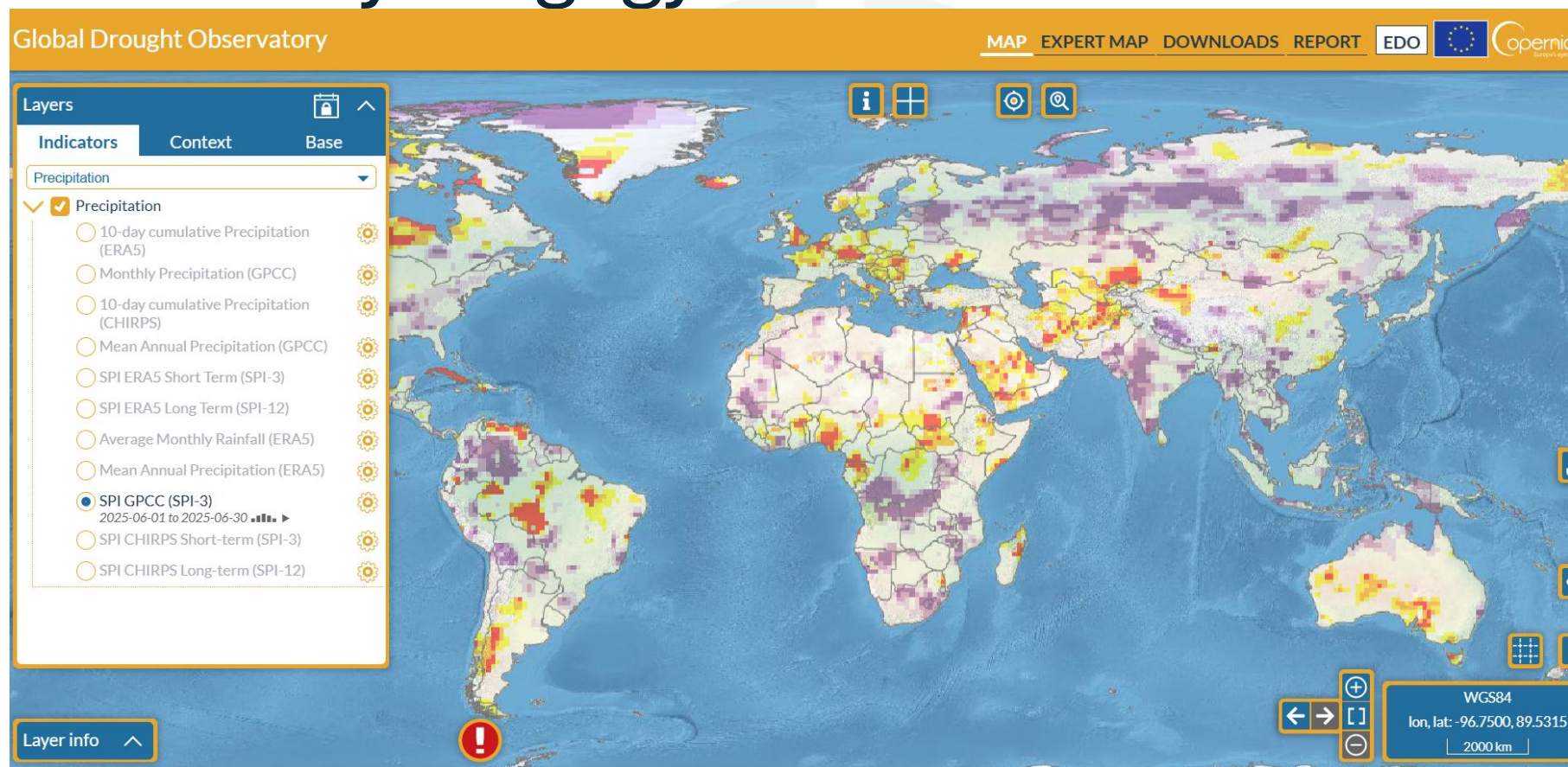
<https://www.sustainabilityaid.net/drought>

# Online aszály megfigyelő eszközök és források



<https://drought.emergency.copernicus.eu/tumbo/edo/map/>

# Online aszály megfigyelő eszközök és források



<https://drought.emergency.copernicus.eu/tumbo/gdo/map/>

# Online aszály megfigyelő eszközök és források

Make Map    Make Graph    INFO

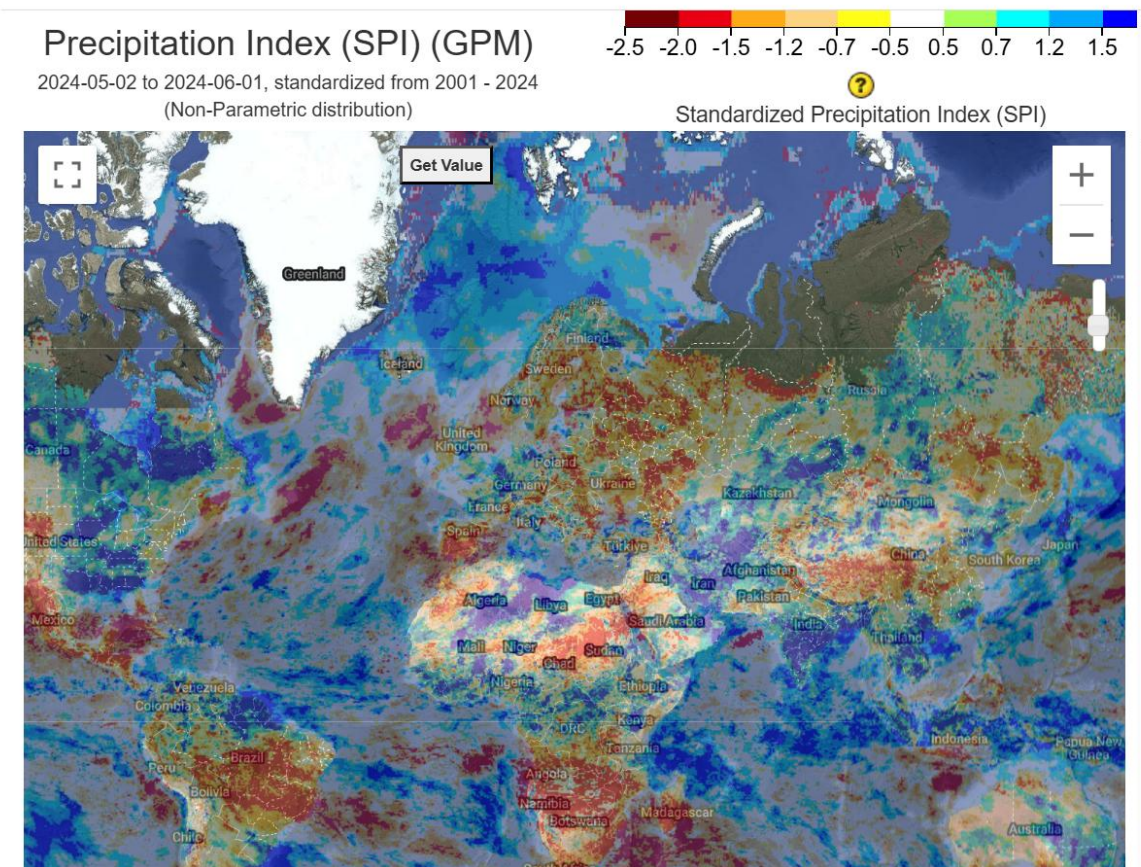
**GET MAP LAYER**

**Visualization Layer** ?  
Raster

**Variable** ?  
Type: Search Datasets  
Climate & Hydrology  
Dataset: ?  
GPM - 11km - Daily  
Variable: ?  
Standardized Precipitation Index (SPI)

**Computation Resolution (Scale):** ?  
11000 m (1/10-deg)

**Processing** ?  
Statistic (over day range): ?  
No Statistic  
Calculation: ?



<https://app.climateengine.org/climateEngine>

# Online aszály megfigyelő eszközök és források

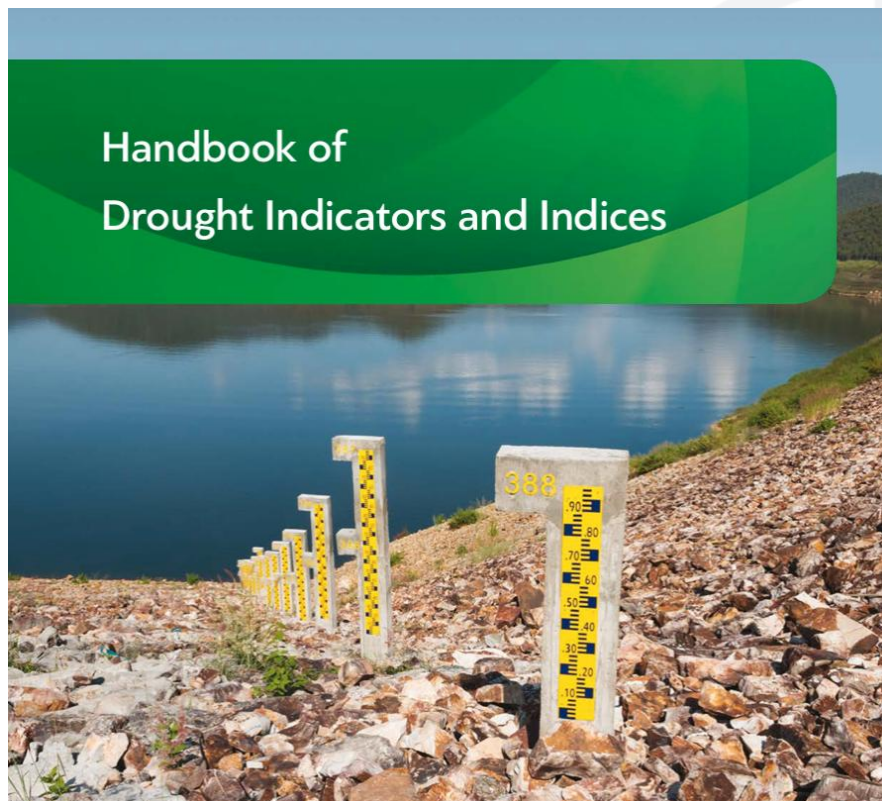


Table 1. Indicators and indices listed in this handbook

Meteorology	Page	Ease of use	Input parameters	Additional information
Aridity Anomaly Index (AAI)	11	Green	P, T, PET, ET	Operationally available for India
Deciles	11	Green	P	Easy to calculate; examples from Australia are useful
Keetch-Byram Drought Index (KBDI)	12	Green	P, T	Calculations are based upon the climate of the area of interest
Percent of Normal Precipitation	12	Green	P	Simple calculations
Standardized Precipitation Index (SPI)	13	Green	P	Highlighted by the World Meteorological Organization as a starting point for meteorological drought monitoring
Weighted Anomaly Standardized Precipitation (WASP)	15	Green	P, T	Uses gridded data for monitoring drought in tropical regions
Aridity Index (AI)	15	Yellow	P, T	Can also be used in climate classifications
China Z Index (CZI)	16	Yellow	P	Intended to improve upon SPI data
Crop Moisture Index (CMI)	16	Yellow	P, T	Weekly values are required
Drought Area Index (DAI)	17	Yellow	P	Gives an indication of monsoon season performance
Drought Reconnaissance Index (DRI)	17	Yellow	P, T	Monthly temperature and precipitation are required
Effective Drought Index (EDI)	18	Yellow	P	Program available through direct contact with originator
Hydro-thermal Coefficient of Selyaninov (HTC)	19	Yellow	P, T	Easy calculations and several examples in the Russian Federation

<https://www.drought.gov/documents/handbook-drought-indicators-and-indices>

# Online aszály megfigyelő eszközök és források

**Index name:** Standardized Precipitation Evapotranspiration Index (SPEI).

**Ease of use:** Yellow.

**Origins:** Developed by Vicente-Serrano et al. at the Instituto Pirenaico de Ecología in Zaragoza, Spain.

**Characteristics:** As a relatively new drought index, SPEI uses the basis of SPI but includes a temperature component, allowing the index to account for the effect of temperature on drought development through a basic water balance calculation. SPEI has an intensity scale in which both positive and negative values are calculated, identifying wet and dry events. It can be calculated for time steps of as little as 1 month up to 48 months or more. Monthly updates allow it to be used operationally, and the longer the time series of data available, the more robust the results will be.

**Input parameters:** Monthly precipitation and temperature data. A serially complete record of data is required with no missing months.

**Applications:** With the same versatility as that of SPI, SPEI can be used to identify and monitor conditions associated with a variety of drought impacts.

**Strengths:** The inclusion of temperature along with precipitation data allows SPEI to account for the impact of temperature on a drought situation. The output is applicable for all climate regimes, with the results being comparable because they are standardized. With the use of temperature data, SPEI is an ideal index when looking at the impact of climate change in model output under various future scenarios.

**Weaknesses:** The requirement for a serially complete dataset for both temperature and precipitation may limit its use due to insufficient data being available. Being a monthly index, rapidly developing drought situations may not be identified quickly.

**Resources:** SPEI code is freely available and the calculations are also described in the literature, <http://sac.csic.es/spei/>.

**Reference:** Vicente-Serrano, S.M., S. Begueria and J.I. Lopez-Moreno, 2010: A multi-scalar drought index sensitive to global warming: the Standardized Precipitation Evapotranspiration Index. *Journal of Climate*, 23:1696–1718.

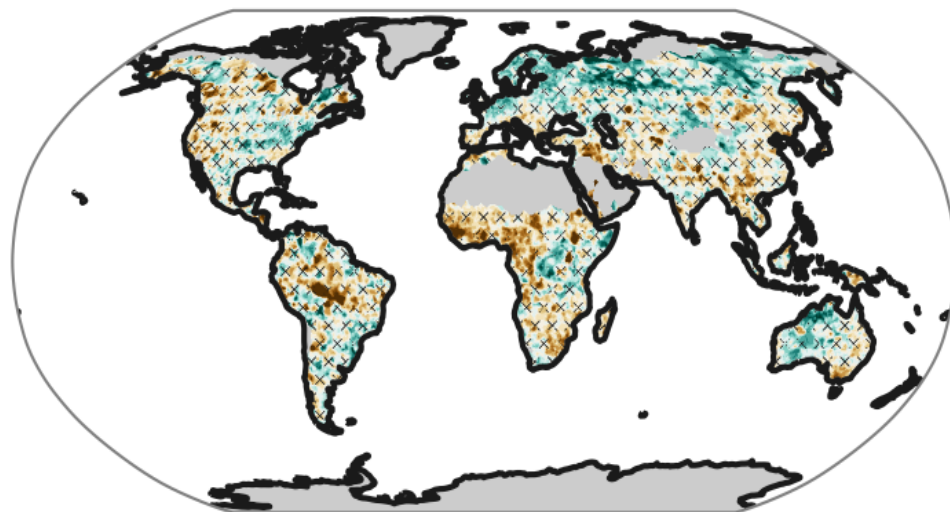
<https://www.drought.gov/documents/handbook-drought-indicators-and-indices>

# Tartalomjegyzék

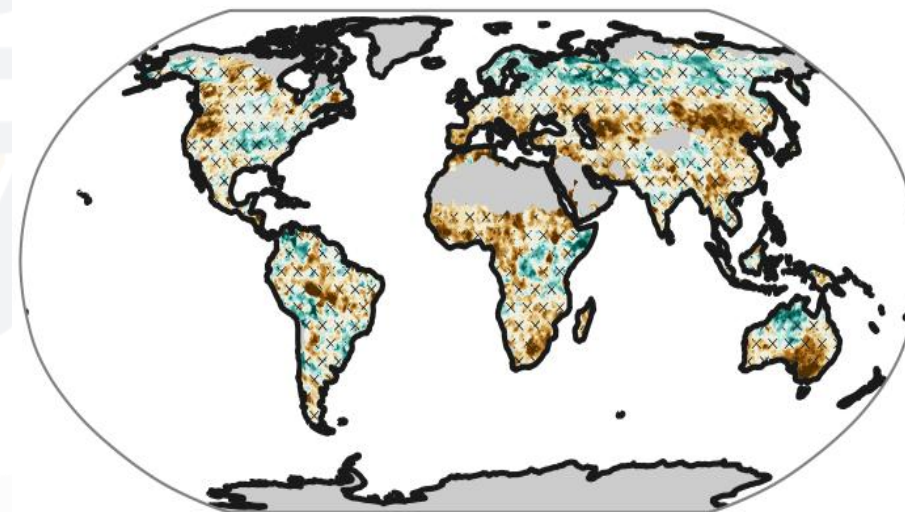
1. Mi az aszály?
2. Miért tanulmányozzuk az aszályokat?
3. Az aszályok különböző típusai
4. Aszály-monitorozás
5. Aszálytrendek
  1. Történelmi trendek
  2. Jövőbeli trendek
  3. Jövőbeli kockázati trendek
6. Jövőbeli perspektívák

# Aszálytrendek – történelmi

Standardizált Csapadékindex (SPI)-12  
Standardized Precipitation  
Index (SPI-12)



Standardizált Csapadék–Evapotranszpirációs Index (SPEI-12)  
Standardized Precipitation-  
Evapotranspiration Index (SPEI-12)



Colour Significant trends  
XXXX Non-significant trends  
No data

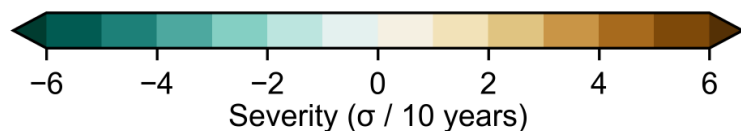
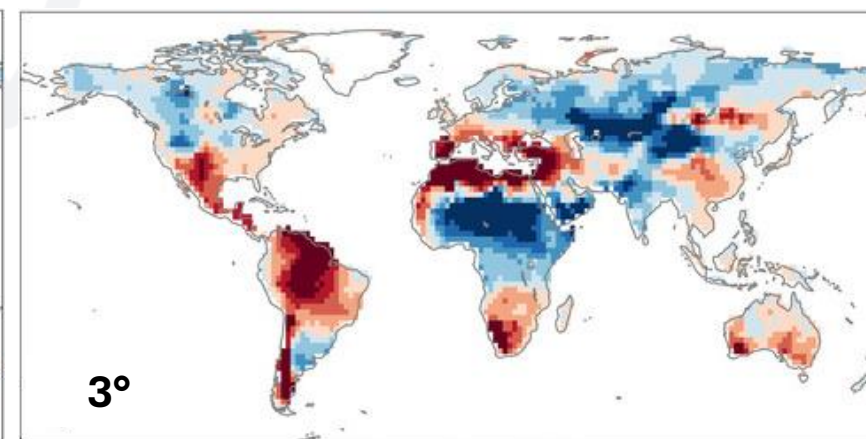
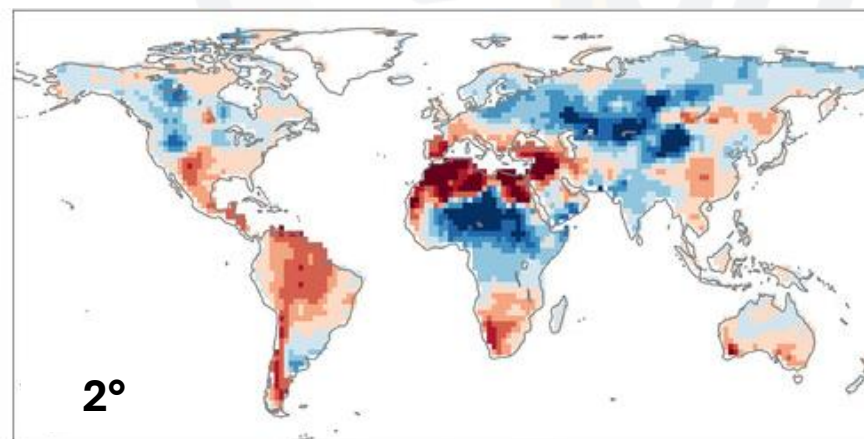
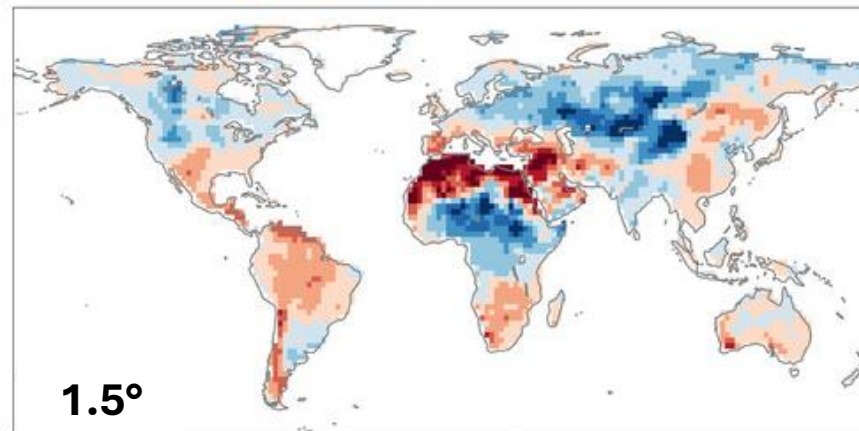


Figure 11.17 in IPCC, 2021: Chapter 11. In: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change

# Aszálytrendek - jövőbeli éghajlat

Az aszály események jellemzőit is vizsgálhatjuk... például az **időtartamot**.

Figure 2-4 a) from Tabari & Willem (2022)



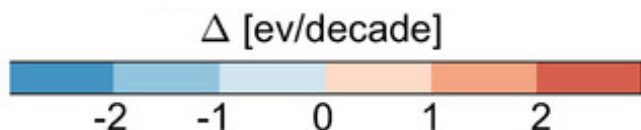
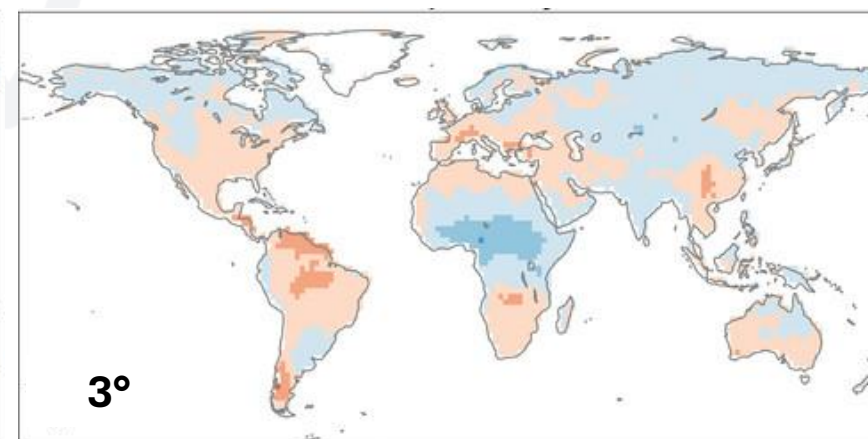
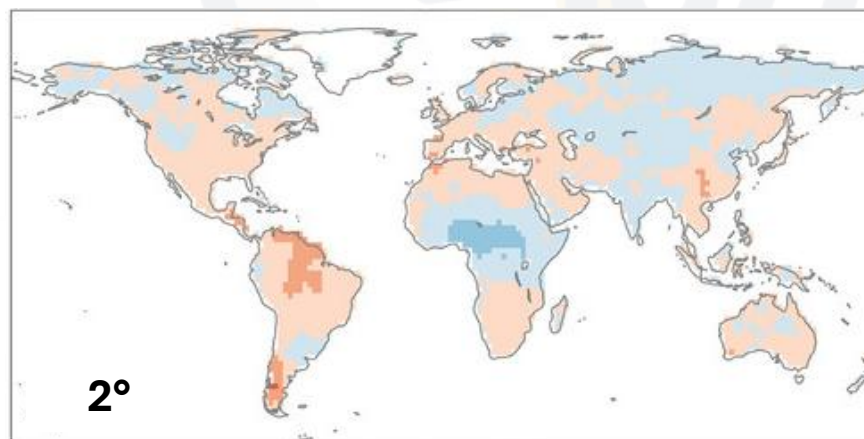
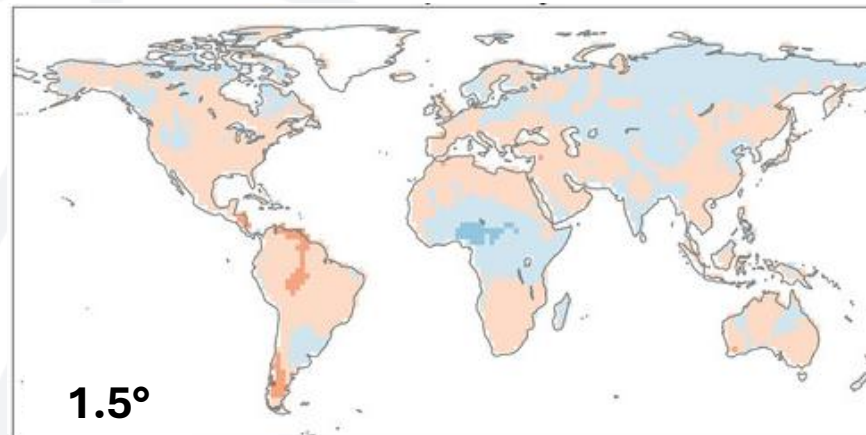
$\Delta$  [mon/decade]

-4 -3 -2 -1 0 1 2 3 4

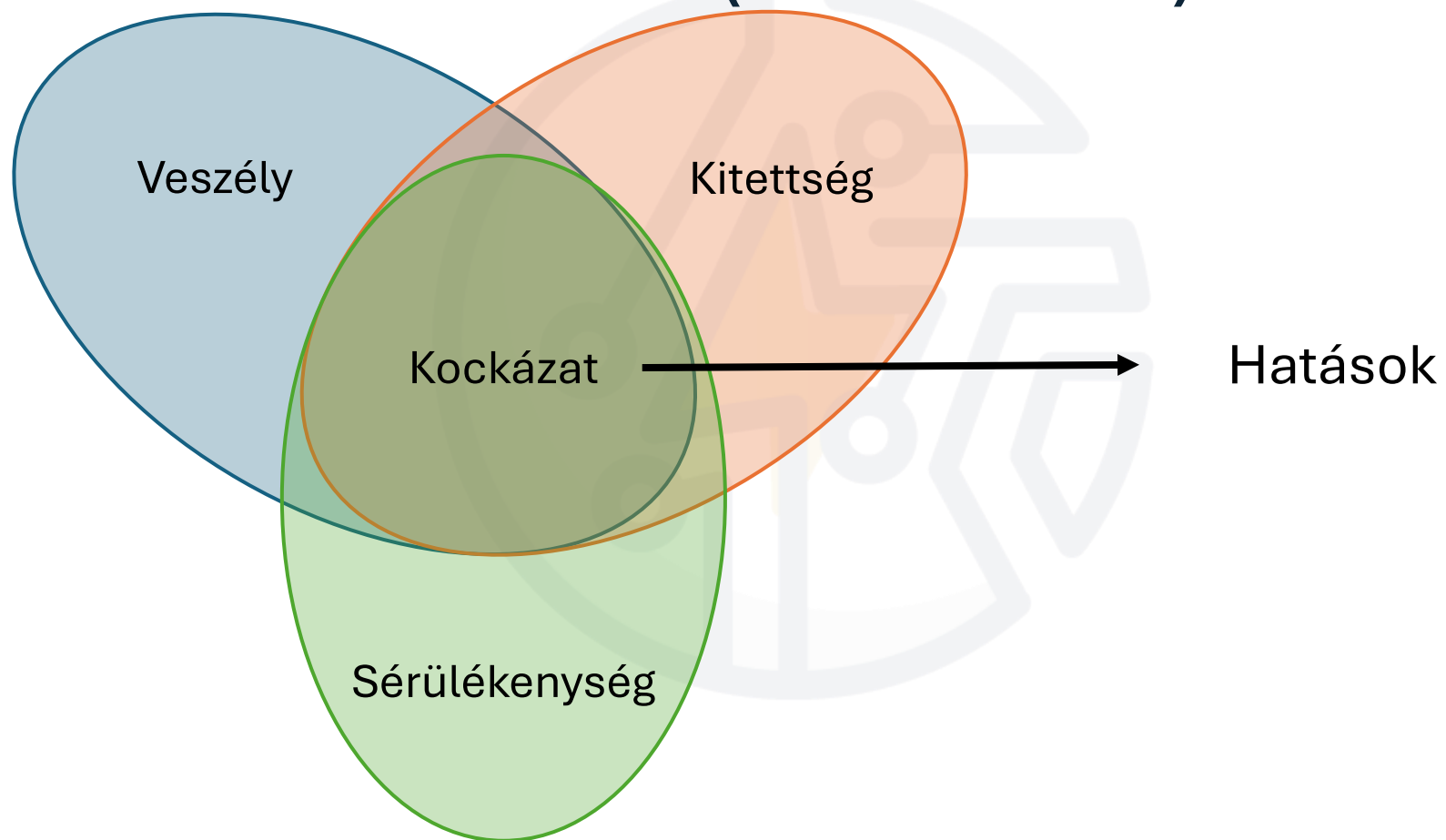
# Aszálytrendek - jövőbeli éghajlat

Az aszály események jellemzőit is vizsgálhatjuk... például az időtartamot vagy a gyakoriságot.

Figure 2-4 b) from Tabari & Willem (2022)



# Hatások és kockázat (IPCC AR5)



# Aszálytrendek - jövőbeli kockázat

Mérsékelt aszály  
Moderate drought

Súlyos aszály  
Severe drought

Extrém aszály  
Extreme drought

SSP1

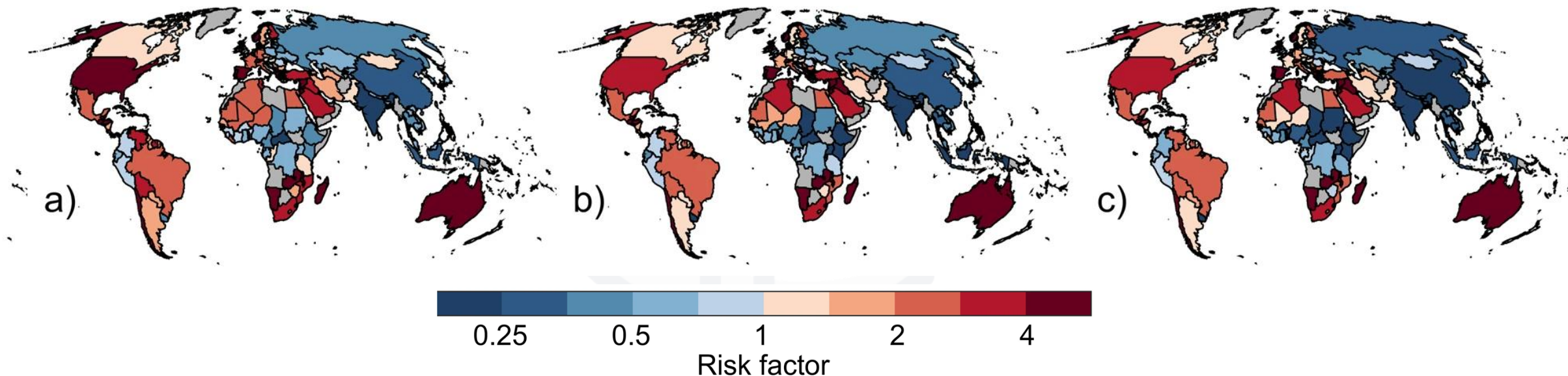


Figure 4 in Tabari, H. & Willems, P., 2023 : A fenntartható fejlődés jelentősen csökkenti a jövőbeli aszályhatások kockázatát

# Aszálytrendek - jövőbeli kockázat

Mérsékelt aszály  
Moderate drought

Súlyos aszály  
Severe drought

Extrém aszály  
Extreme drought

SSP5

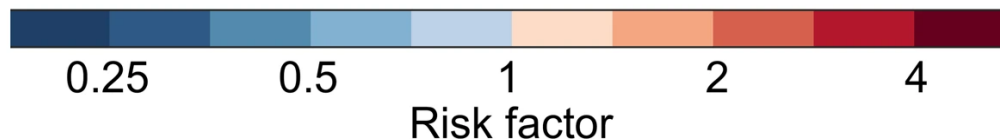
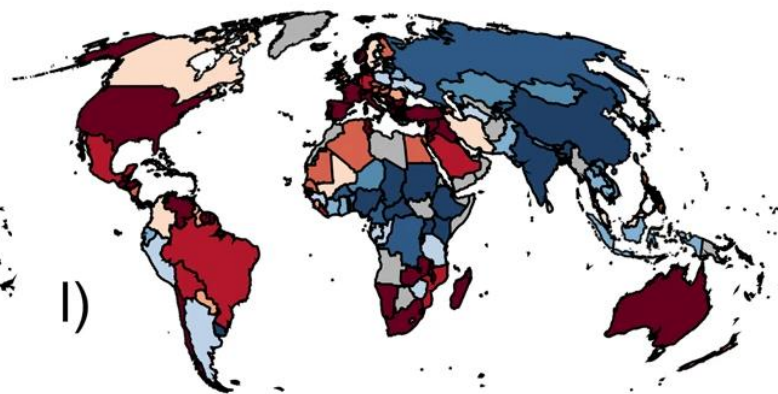
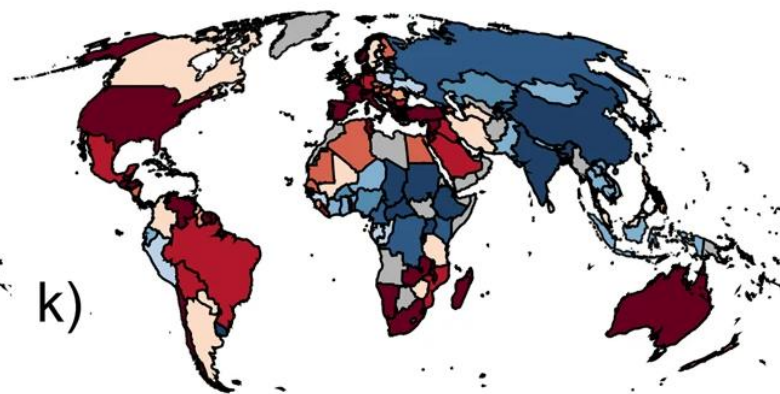
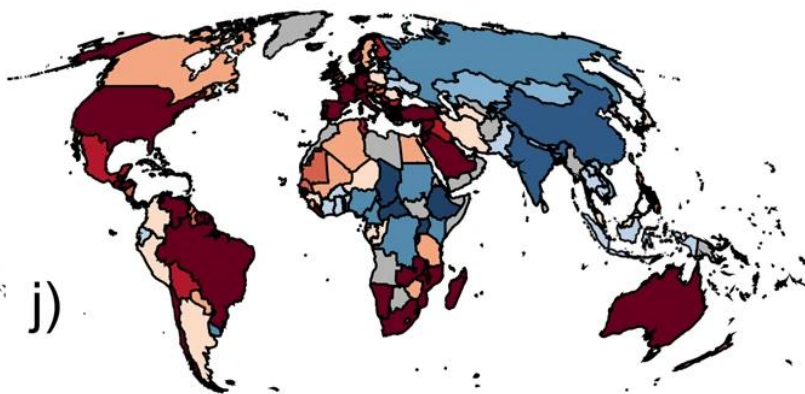


Figure 4 in Tabari, H. & Willems, P., 2023 : A fenntartható fejlődés jelentősen csökkenti a jövőbeli aszályhatások kockázatát

# Aszálytrendek - jövőbeli kockázat Romániában

Mérsékelt aszály  
Moderate drought

Súlyos aszály  
Severe drought

Extrém aszály  
Extreme drought

SSP1  
SSP5

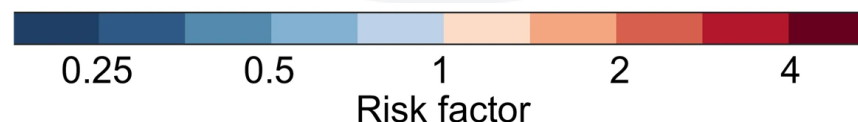


Figure 4 in Tabari, H. & Willems, P., 2023 : A fenntartható fejlődés jelentősen csökkenti a jövőbeli aszályhatások kockázatát



# Tartalomjegyzék

1. Mi az aszály?
2. Miért tanulmányozzuk az aszályokat?
3. Az aszályok különböző típusai
4. Aszály-monitorozás
5. Aszálytrendek
6. Jövőbeli perspektívák

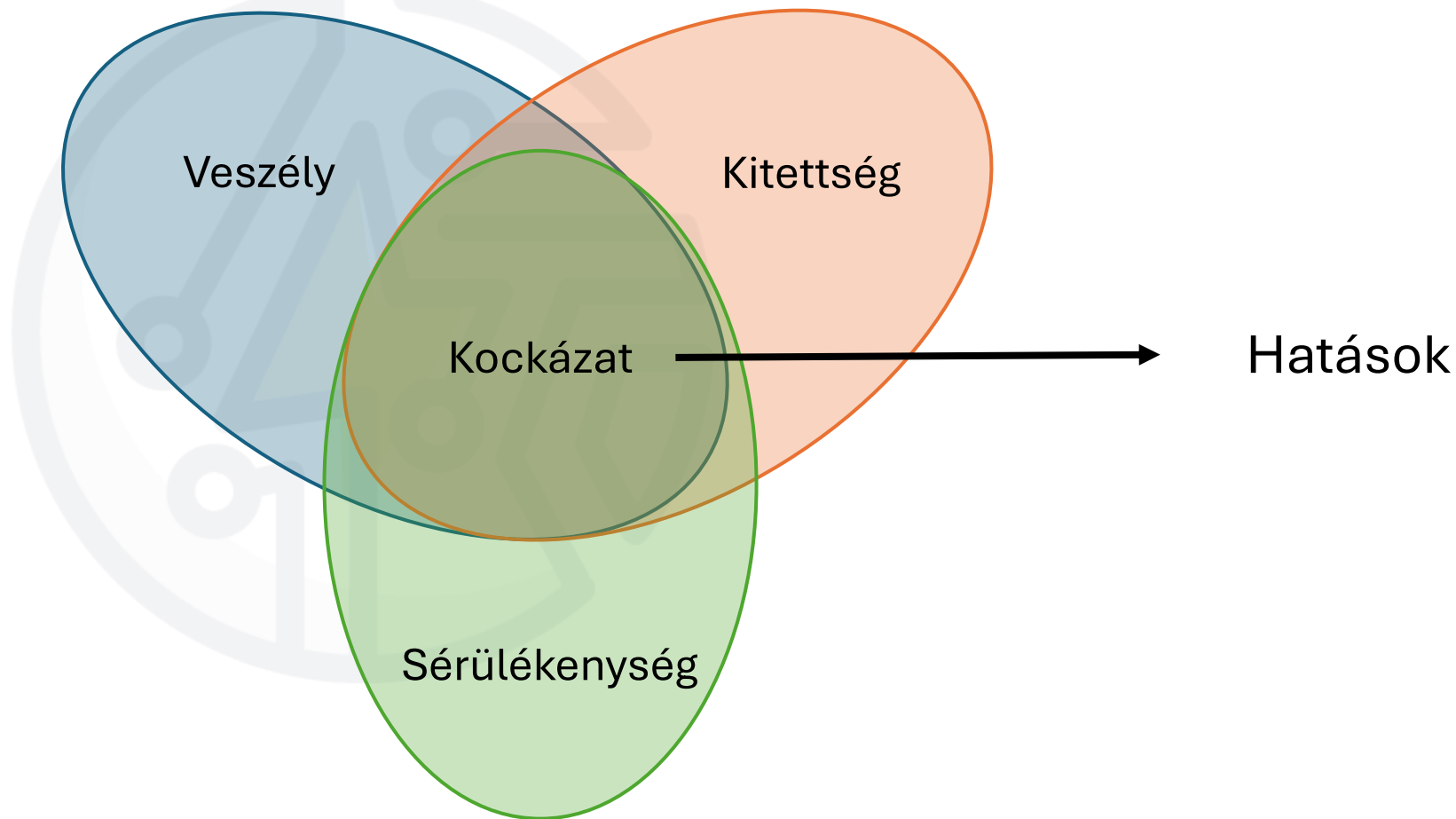
# övöbéli perspektívák - aszálytípusok

- Hirtelen aszály
- Többváltozós aszály
- Társadalmi-gazdasági aszályok
- ...



# Jövőbeli perspektívák – kockázat és hatás

- Kockázati keret
  - Kitettség
  - Sérülékenység
- A hatások gyakran alábecsültek



# Köszönöm a figyelmet!



University of Antwerp  
M4S |  
Modelling For Sustainability

**Takumi Therville**  
Modelling for Sustainability (M4S)  
University of Antwerp, Belgium  
[takumi.Therville@uantwerpen.be](mailto:takumi.Therville@uantwerpen.be)

# References

- IPCC. 2021. Seneviratne, S.I., X. Zhang, M. Adnan, W. Badi, C. Dereczynski, A. Di Luca, S. Ghosh, I. Iskandar, J. Kossin, S. Lewis, F. Otto, I. Pinto, M. Satoh, S.M. Vicente-Serrano, M. Wehner, and B. Zhou, 2021: Weather and Climate Extreme Events in a Changing Climate. In *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*[Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 1513–1766, doi: 10.1017/9781009157896.013.
- FAO 2021. The impact of disasters and crises on agriculture and food security: 2021. Rome. <https://doi.org/10.4060/cb3673en>
- UNDRR 2021. United Nations Office for Disaster Risk Reduction (2021). *GAR Special Report on Drought 2021: Summary for Policymakers*. Geneva.
- WMO 2019. WMO Atlas of Mortality and Economic Losses from Weather, Climate and Water Extremes (1970–2019). Geneva. <https://library.wmo.int/idurl/4/57564>
- World Bank 2017. Damania, Richard; Desbureaux, Sébastien; Hyland, Marie; Islam, Asif; Moore, Scott; Rodella, Aude-Sophie; Russ, Jason; Zaveri, Esha. 2017. *Uncharted Waters: The New Economics of Water Scarcity and Variability*. © World Bank. <http://hdl.handle.net/10986/28096>
- IDMC 2022. Internal Displacement Monitoring Centre (2022). *Global Report on Internal Displacement 2022*. Geneva.
- Littell, J. S., Peterson, D. L., Riley, K. L., Liu, Y., & Luce, C. H. (2016). A review of the relationships between drought and forest fire in the United States. *Global change biology*, 22(7), 2353–2369. <https://doi.org/10.1111/gcb.13275>
- JRC 2023. The EU 2022 wildfire season was the second worst on record. (2023, May 2). The Joint Research Centre: EU Science Hub. [https://joint-research-centre.ec.europa.eu/jrc-news-and-updates/eu-2022-wildfire-season-was-second-worst-record-2023-05-02\\_en](https://joint-research-centre.ec.europa.eu/jrc-news-and-updates/eu-2022-wildfire-season-was-second-worst-record-2023-05-02_en)
- Stocker, B.D., Zscheischler, J., Keenan, T.F. *et al.* Drought impacts on terrestrial primary production underestimated by satellite monitoring. *Nat. Geosci.* **12**, 264–270 (2019). <https://doi.org/10.1038/s41561-019-0318-6>
- Cappucci, A. (2022, August 11) Extreme drought is gripping Europe, intensifying heat and fueling fires. The Washington Post. <https://www.washingtonpost.com/climate-environment/2022/08/11/europe-drought-heatwave-fires-climate/>
- Powers, J. S., Vargas G, G., Brodribb, T. J., Schwartz, N. B., Pérez-Aviles, D., Smith-Martin, C. M., Becknell, J. M., Aureli, F., Blanco, R., Calderón-Morales, E., Calvo-Alvarado, J. C., Calvo-Obando, A. J., Chavarría, M. M., Carvajal-Vanegas, D., Jiménez-Rodríguez, C. D., Murillo Chacon, E., Schaffner, C. M., Werden, L. K., Xu, X., & Medvigy, D. (2020). A catastrophic tropical drought kills hydraulically vulnerable tree species. *Global change biology*, 26(5), 3122–3133. <https://doi.org/10.1111/gcb.15037>

# References (cont.)

- Delacroix, G. (2022, August 15). Western Europe's wildlife is suffering from the drought. Le Monde.fr. [https://www.lemonde.fr/en/environment/article/2022/08/15/western-europe-s-wildlife-is-suffering-from-the-drought\\_5993670\\_114.html](https://www.lemonde.fr/en/environment/article/2022/08/15/western-europe-s-wildlife-is-suffering-from-the-drought_5993670_114.html)
- Von der Brelie, G. (2022, October 20). Climate crisis: how beetles and fire are devouring European forests. Euro News. <https://www.euronews.com/2022/10/20/climate-crisis-how-beetles-and-fire-are-devouring-european-forests>
- Sanders, S. K. D., Van Kleunen, M., Allan, E., & Thakur, M. P. (2024). Effects of extreme drought on the invasion dynamics of by non-native plants. *Trends in Plant Science*, 30(3), 291–300. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2024.10.009>
- Al-Aisae, M. M., Velazhahan, R., Nawaz, A., & Farooq, M. (2025). Morphological, Physiological, and Biochemical Impacts of Drought on Wheat-Pest-Pathogen Interactions. *Physiologia plantarum*, 177(4), e70364. <https://doi.org/10.1111/ppl.70364>
- Lucchetti, J. (2017, September 15). Drought — a cause of riots. University of Geneva – Press release. <https://www.unige.ch/medias/en/2017/la-secheresse-source-demeutes>
- National Geographic. (2018, March 12). How Cape Town's Residents Are Surviving the Water Crisis—For Now | National Geographic [Video]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=XxZAqswJfL4>
- Alexandru, D. (2023, October 31). Drought monitoring in Romania [slides]. Meteo Romania. [https://www.iawd.at/files/File/events/2023/Drought\\_Conference/DANIEL\\_ALEXANDRU.pdf](https://www.iawd.at/files/File/events/2023/Drought_Conference/DANIEL_ALEXANDRU.pdf)
- Horowitz, J. (2022, August 18). Europe's Scorching Summer Puts Unexpected Strain on Energy Supply. The New York Times. <https://www.nytimes.com/2022/08/18/world/europe/drought-heat-energy.html>
- Bevacqua, E., Rakovec, O., Schumacher, D.L. *et al.* Direct and lagged climate change effects intensified the 2022 European drought. *Nat. Geosci.* **17**, 1100–1107 (2024). <https://doi.org/10.1038/s41561-024-01559-2>

# References (cont. & end)

- United Nations, The United Nations World Water Development Report 2023: Partnerships and Cooperation for Water. UNESCO, Paris
- UNISDR, 2009. Drought Risk Reduction Framework and Practices: Contributing to the Implementation of the Hyogo Framework for Action. United Nations secretariat of the International Strategy for Disaster Reduction (UNISDR), Geneva, Switzerland, 213 pp
- Dumitrescu, A., Micu, D., Guijarro, J. *et al.* Long-term homogenized air temperature and precipitation datasets in Romania, 1901–2023. *Sci Data* **12**, 1116 (2025). <https://doi.org/10.1038/s41597-025-05371-4>
- McKee, T. B., N. J. Doesken, and J. Kliest, 1993: The relationship of drought frequency and duration to time scales. In *Proceedings of the 8th Conference of Applied Climatology, 17-22 January, Anaheim, CA*. American Meteorological Society, Boston, MA. 179-184.
- Keyantash, John & National Center for Atmospheric Research Staff (Eds). Last modified 2025-04-29 "The Climate Data Guide: Standardized Precipitation Index (SPI)." Retrieved from <https://climatedataguide.ucar.edu/climate-data/standardized-precipitation-index-spi> on 2025-09-03.
- Vicente-Serrano, S. M., S. Beguería, and J. I. López-Moreno, 2010: A Multiscalar Drought Index Sensitive to Global Warming: The Standardized Precipitation Evapotranspiration Index. *J. Climate*, **23**, 1696–1718, <https://doi.org/10.1175/2009JCLI2909.1>.
- Shukla, S., and A. W. Wood (2008), Use of a standardized runoff index for characterizing hydrologic drought, *Geophys. Res. Lett.*, 35, L02405, doi:10.1029/2007GL032487.
- Bloomfield, J. P. and Marchant, B. P.: Analysis of groundwater drought building on the standardised precipitation index approach, *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 17, 4769–4787, <https://doi.org/10.5194/hess-17-4769-2013>, 2013.
- Tabari, H., & Willems, P. (2022). Trivariate Analysis of Changes in Drought Characteristics in the CMIP6 Multimodel Ensemble at Global Warming Levels of 1.5°, 2°, and 3°C. *Journal of Climate*, 35(18), 5823-5837. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-21-0993.1>
- Tabari, H., Willems, P. Sustainable development substantially reduces the risk of future drought impacts. *Commun Earth Environ* **4**, 180 (2023). <https://doi.org/10.1038/s43247-023-00840-3>