

Aszályfokokozatok meghatározása a csapadék és hőmérséklet adatokból

A cél az aszály fokozatok elrendelésének megalapozása a **HDI_S** aszályindexből való számolás segítségével. Az aszály erősségét egy ötfokú skálán szeretnénk mérni:

- 0 – nincs aszály
- 1 – enyhe aszály
- 2 – közepes aszály
- 3 – erős aszály
- 4 – rendkívüli aszály

Az aszályfokokozatok meghatározásához a **HDI_S** értékeit használjuk, melynek kiszámítása kizárólag a **napi középhőmérséklet (T)** és a **napi csapadékmennyiség (P)** adatsorokat igényli. A **HDI_S** indexhez különböző küszöbértékeket rendelünk, melyek átlépésekor a következő aszály fokozat lép érvénybe. Cél továbbá a küszöbértékek olyan meghatározása, hogy azok az input adatokból könnyen, valamint **Magyarország területén egységesen számolhatóak** legyenek.

A HDI_S értékek meghatározása:

A HDI_S aszályindex aktuális értékeit a **napi középhőmérséklet** és **napi csapadékmennyiség** bemeneti adatokból számoljuk ki. Első lépésben egy **WS (Water Storage)** elméleti víztartalék napi szintű kiszámítása történik, a lehullott csapadék illetve a hőmérsékletből számolt párolgás segítségével. Majd a 30 éves bázis időszakban adott napra (pl. január 1.) eső WS értékeket átlagoljuk, így megkapva a **WS_átlag** változót minden naptári napra. A kettő hányadosából kapjuk a **HDI₀** aszályindexet a következő módon:

$$HDI_0 = \frac{WS_{\text{átlag}}}{WS}$$

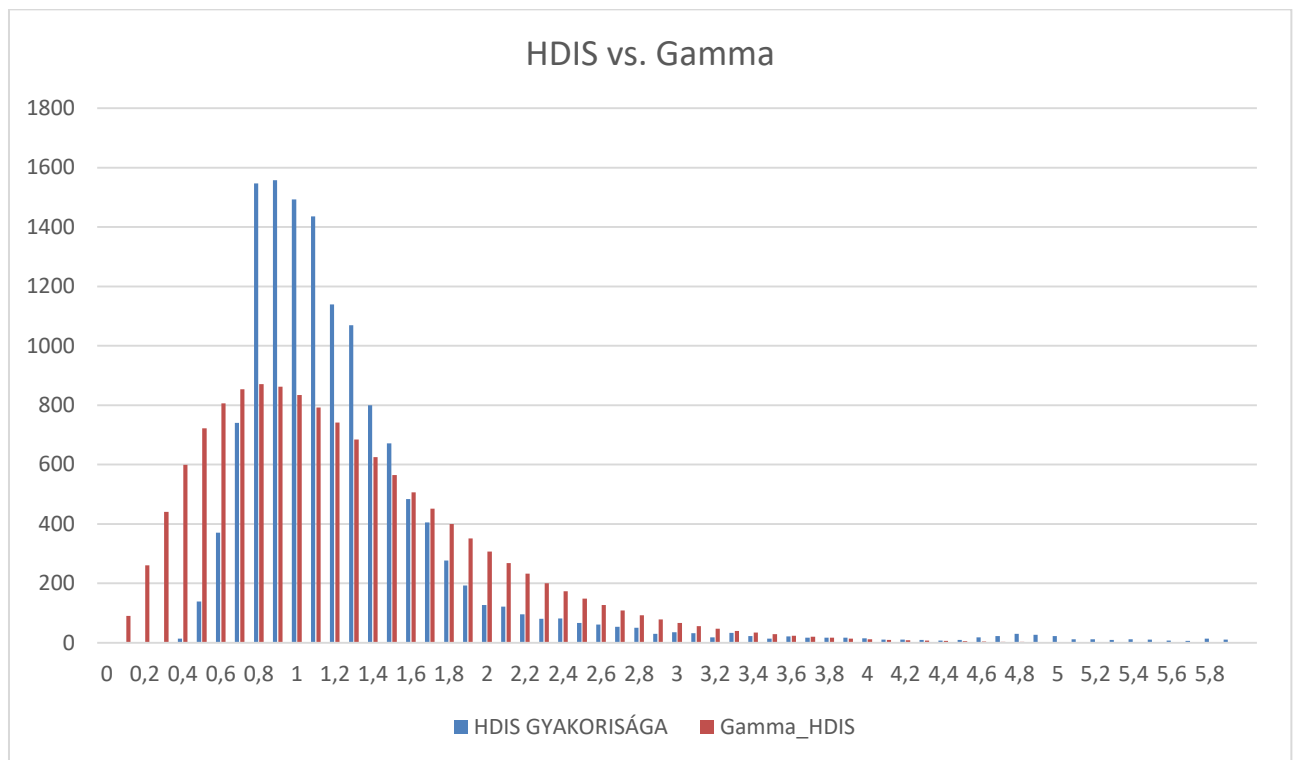
A HDI₀ indexből bizonyos korrekciók segítségével megkapjuk a **HDI_S aszályindexet**. Az index részletes leírása megtalálható a korábban küldött *HDIS* dokumentumban.

Mindkét aszályindexre jellemző, hogy **relatív aszályindexek**, így csak azt mérik, hogy az **adott napi (pl. január 1-jei) átlagos értékhez képest** a konkrét vizsgált év ugyanazon napján milyen arányban van az aktuális *WS* érték. *Az index relatív voltából eredő problémára még kitérünk a fokozatok elrendeléséhez szükséges küszöbértékek meghatározásakor.*

A továbbiakban egy kiragadott példára, az 1980. január 1-jétől vett mezőhegyesi csapadék és hőmérséklet adatokból kiszámolt *HDI_S* értékekre folytattunk vizsgálatot.

A HDI_S értékek eloszlása

Az 1980. január 1-jétől kiszámított HDI_S értékeket sorba rendezve a következő grafikonon ábrázolhatjuk a HDI_S eloszlását.



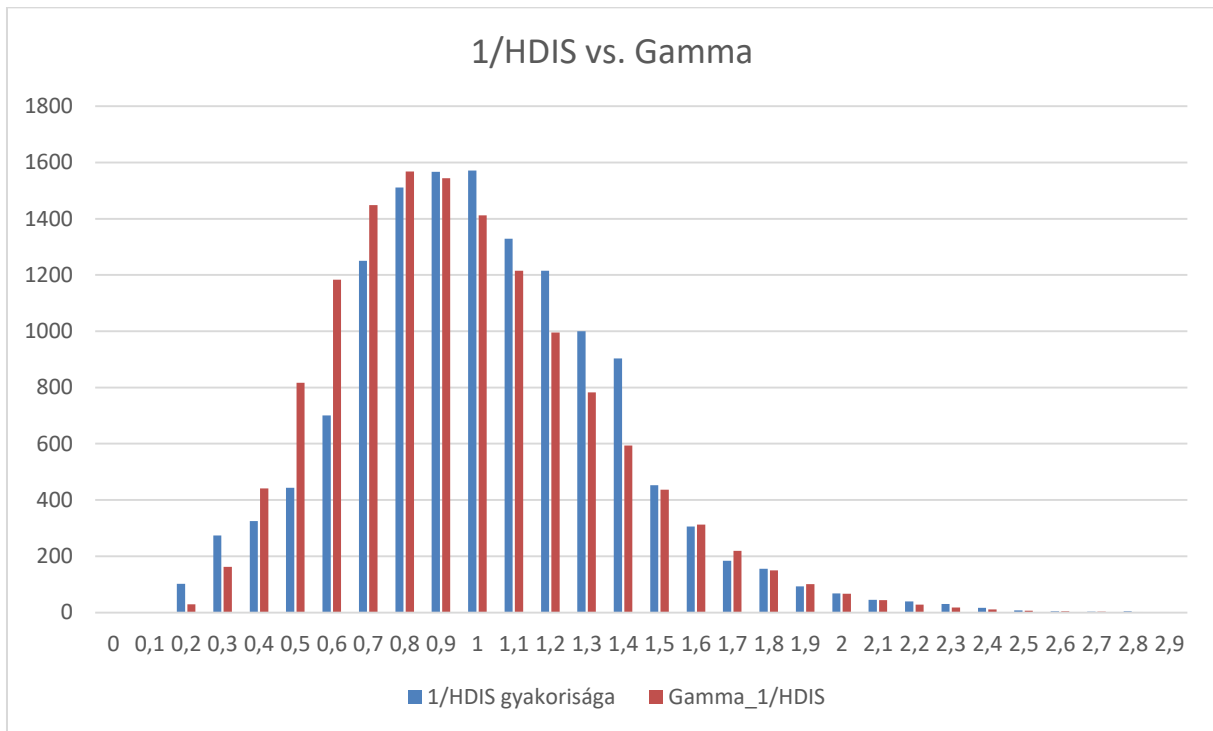
1. ábra A HDI_S változó empirikus eloszlása összehasonlítva a legjobban illeszkedő Gamma-eloszlás sűrűségfüggvényével

Az alábbi grafikonon kézzel jelöljük, hogy 1980. január 1. óta hány napon esett az adott napi HDI_S érték a különböző 0,1-es tartományokba. Látható, hogy a legtöbb érték 0,8 és 0,9 közé esik. A HDI_S értékek átlagára 1,25 a szórására pedig 0,74 adódik.

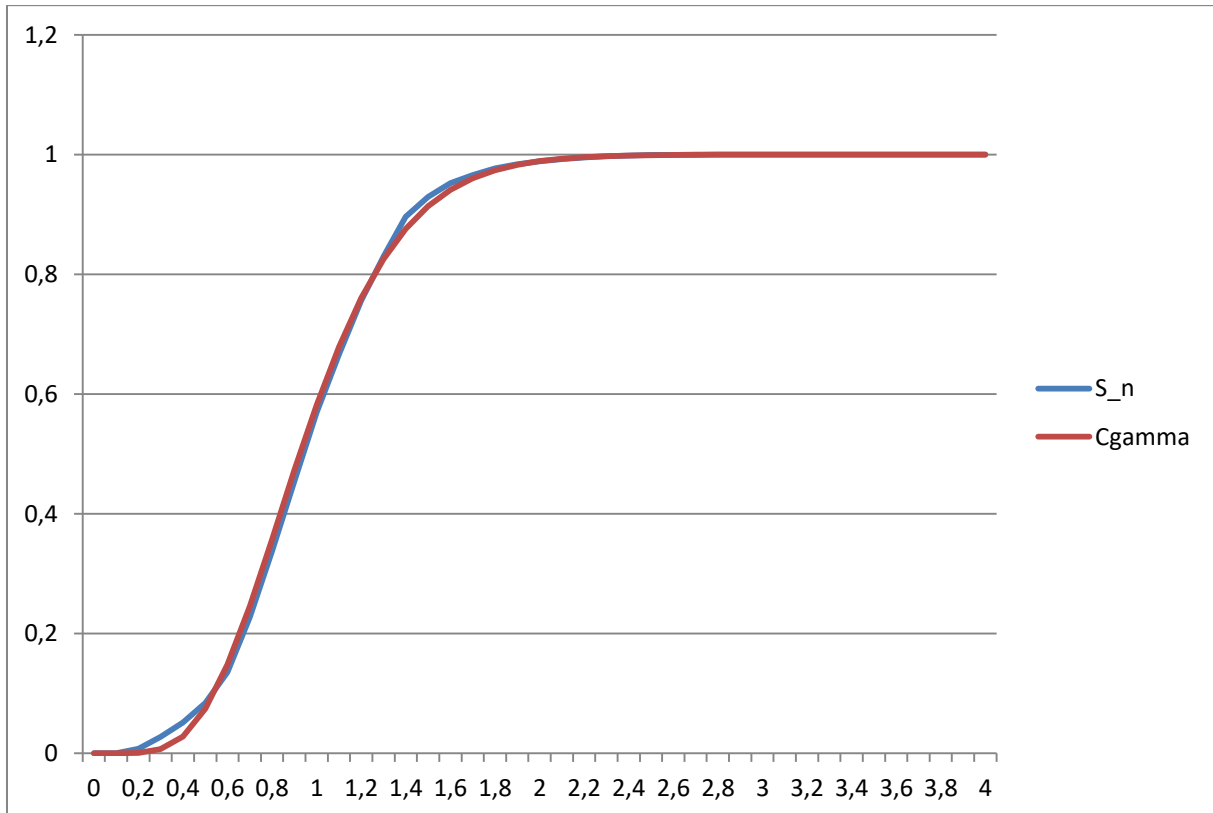
Az első kérdés, hogy **követnek-e valamilyen nevezetes eloszlást az értékek?** Az eloszlás alakjából a normális eloszlást rögtön ki lehet zárni, azonban pl. az SPI index számításánál hivatkozott **Gamma eloszlást** érdemes tesztelni. A várható érték és szórás értékeiből *momentum módszerrel* könnyen becsülhető, hogy milyen paraméterű Gamma-eloszlás illeszkedik legjobban a mintára. A legjobban illeszkedő Gamma-eloszlást pirossal ábráztuk. Láthatóan eltér egymástól a két eloszlás, amit a **Kolmogorov-Szmirnov próba** (KS) szintén alátámaszt. (A feltételezett Gamma-eloszlás paramétereit Maximum Likelihood módszerrel is becsültük, de egyrészt nincs jelentős eltérés a momentum becsléssel kapott paraméterekhez képest, másrészt tesztelve több más paraméterű Gamma eloszlást, szintén látszik az eloszlás alakjából – és a KS teszt is alátámasztja – hogy a HDI_S értékek nem követnek más paraméterű Gamma eloszlást sem.

Izgalmasabb a helyzet, ha a HDI_S értékek reciprokait vizsgáljuk. Ez azért célszerű, hiszen a HDI_S értékeinél a $WS_átlag$ értékeket osztjuk a napi WS értékekkel, és nem fordítva, ami természetesebben adódna. (Erre azért van szükség, hogy a nagyobb HDI_S értékek az egyre súlyosabb aszályt jelenítsék meg.) Ábrázolva az $1/HDI_S$

értékeket ismét látható, hogy nem követnek normális eloszlást, azonban a Gamma-eloszlás tesztelése már nem ennyire egyértelmű.



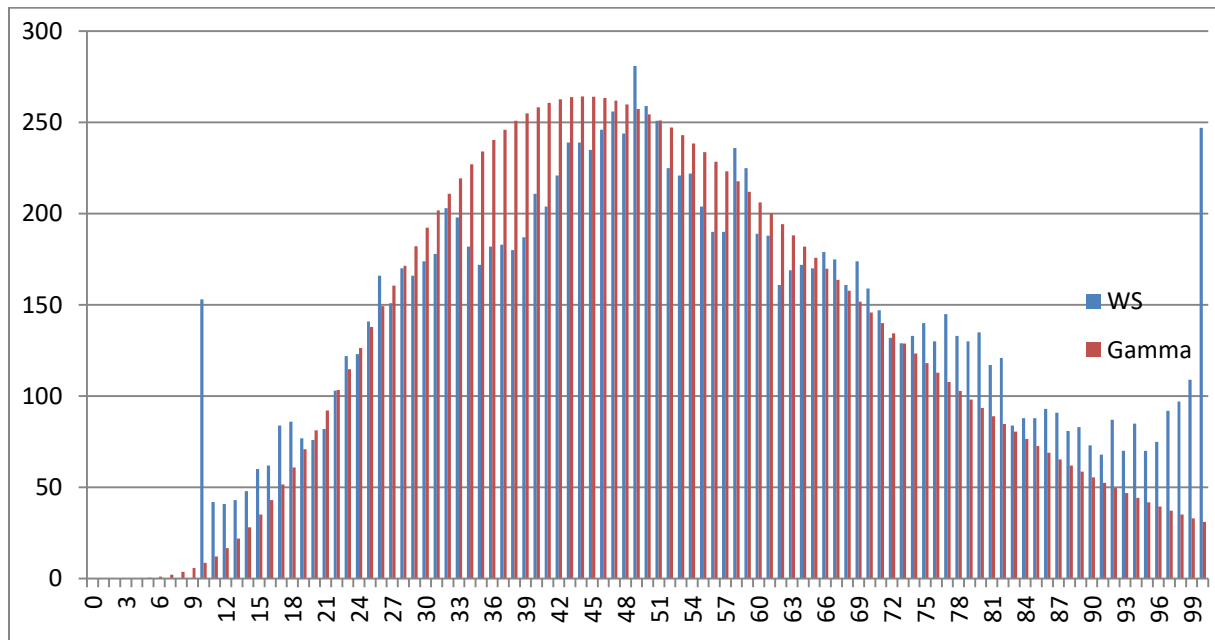
2. ábra Az 1/HDIS empirikus eloszlása összehasonlítva a legjobban illeszkedő Gamma-eloszlás sűrűségfüggvényével



3. ábra Ugyanez kumulatív eloszlásfüggvényekkel

A HDI_S reciprokainak átlaga 0,97-re adódik, szórása pedig 0,366-nak. Az ezekből számolt Gamma-eloszlást az előzőekhez hasonlóan ábrázolva már jóval kisebb különbségeket kapunk. Futtatva egy Kolmogorov-Szmirnov tesztet a momentum és maximum likelihood becslésekkel kapott paraméterekkel azonban ismét kapjuk, hogy a minta nem Gamma-eloszlásból származik (még a 0,01-es szignifikancia szinten sem).

Hasonlóan ábrázolva és tesztelve a WS eloszlását a következőt kapjuk:



4. ábra WS értékek eloszlása összehasonlítva a legjobban közelítő Gamma-eloszlással

Itt szintén ellenőrizhetjük (pl. a KS próbával), hogy a WS értékek nem követnek Gamma-eloszlást.

Összegezve az eddigieket, azt kapjuk, hogy a HDI_S értékeket nem érdemes más eloszlásokkal közelíteni, hanem az eredeti HDI_S adatsorral dolgozunk tovább.

Lehetséges módszerek a küszöbértékek meghatározására

SPI: Az SPI (Standardized Precipitation Index) az egyik legelterjedtebb aszályindex. Inputként csak a **havi** (hosszabb időtartamokra is működik) **csapadékmennyiségeket** igényli, melyekről felteszi, hogy Gamma-eloszlást követnek, melynek paramétereit mérőállomásonként külön-külön, maximum likelihood becslés segítségével becsüli. Az adatokra illesztett, becsült Gamma-eloszlású változót (mely tehát a különböző állomásokon különböző paraméterű Gamma-eloszlásokat követ) ezután a könnyebb kezelhetőség érdekében átranszformálja egy standard normális eloszlású változóvá, ezzel kiegyenlítve a különböző területek közti különbségeket.

A **küszöbértékek meghatározásához** valószínűségi értékeket, percentiliseket használ, mégpedig a standard normális eloszlásnál bevett (mínusz) 1, 1.5 és 2

értékekhez tartozó, rendre 84.6; 93.3 és 97.7 értékű valószínűségeket. Ez alapján 0 és (-1) értékek között enyhe aszályt, (-1) és (-1.49) között közepes aszályt, (-1.5) és (-2) között erős aszályt míg (-2)-nél kisebb értékek esetén extrém aszályt jelez. (Egyes forrásoknál más küszöbértékek szerint számol fokozatokat.)

A módszer hátrányai azon kívül, hogy csak a csapadék adatokat használja (azt is csak havi, nem napi szinten), hogy a könnyebb számolhatóság kedvéért egyrészt, becsült értékekkel dolgozik. Másrészt a küszöbértékek állandó valószínűségi értékekhez való kötése miatt ugyanolyan gyakorisággal lesz pl. extrém aszály hosszú távon a különböző területeken. Harmadrészt bonyolult transzformációt alkalmaz, holott valószínűségi értékeket (percentiliseket) a nyers csapadék adatokon is alkalmazhatna (igaz, akkor minden területen különbözők lennének és nem a kerek 1, 1.5, 2 értékek lennének a küszöbértékek).

Ennek megfelelően viszont az SPI index értékeinek nincsen szemléletes jelentése (szemben a HDI típusú indexekkel), a küszöbértékek pedig valószínűségi alapon kerülnek meghatározásra önkényes értékeknél (84.6; 93.3 és 97.7) ott, ahol a standard normálissá transzformált változó értékei éppen 1, 1.5 vagy 2, mely értékek szintén nem matematikai alapon kerülnek meghatározásra, hanem azért választják őket, mert „szép kerek” értékek.

Küszöbértékek a HDIS alapján

Ha csak a HDI_S aszályindex értékeiből indulunk ki, akkor tehát két fő lehetőségünk van küszöbértékeket meghatározni. **Vagy bizonyos valószínűségi értékeket jelölünk ki**, melyek egyértelműen (de állomásonként külön) kijelölik bizonyos (de nem feltétlenül kerek) értékeit az aszályindexnek; **vagy eleve az aszályindex értékeit jelöljük ki**, amelyekhez természetesen ugyanúgy fognak tartozni valószínűségi értékek (azok persze nem lesznek kerek, egész értékek). A két módszer között lényegileg nincs különbség, csak hozzáállás kérdése.

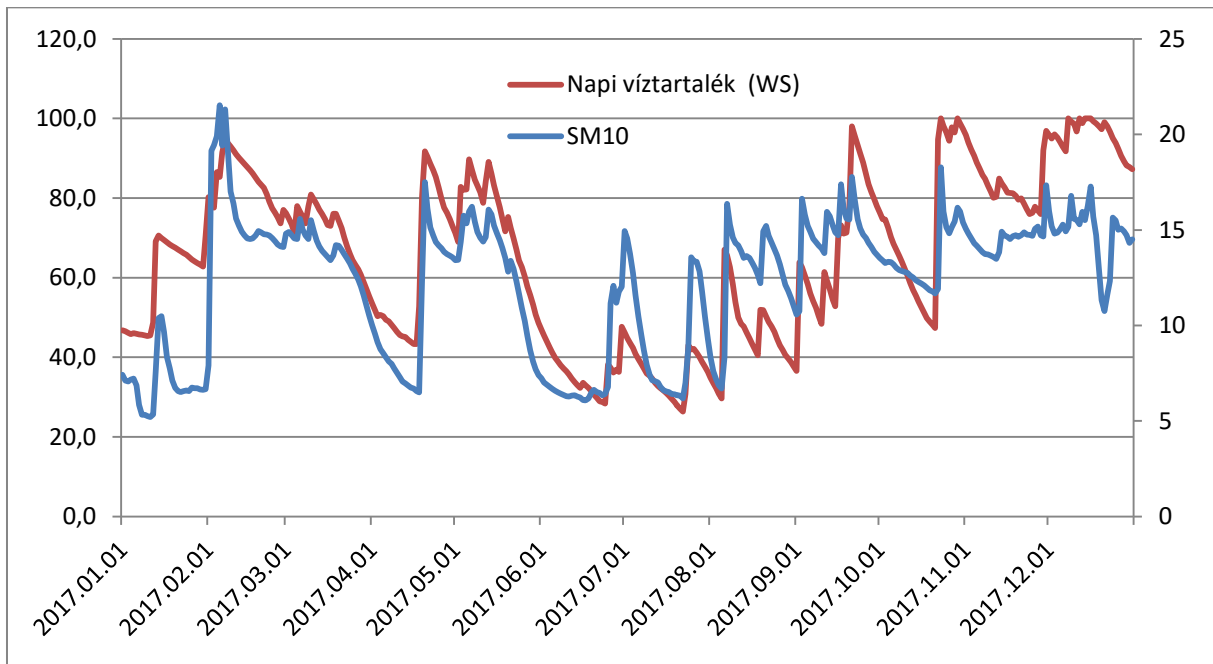
Mielőtt továbbmennénk, jegyezzünk meg egy alapvető különbséget (a sok közül) az SPI és az általunk alkalmazott mutatók között. Az SPI-vel szemben mind a WS , de különösen a HDI_0 (és az azt korigáló HDI_S) értékeknek van **szemléletes jelentése**. Előbbi az elméleti víztartaléknak a nagysága, utóbbi pedig az átlagos (adott napon elvart) és az adott napi WS értékek hányadosa, vagyis kifejezi, hogy mennyi az átlagos, arra a napra megszokott értéknek az adott évben bekövetkező érték hányada. Mindkét mutató - különösen utóbbi - előnye, hogy értéke **közvetlenül is jelentést hordoz!**

A WS szemléletes jelentése talán kevésbé érezhető, ezért álljon itt egy rövid kitérő.

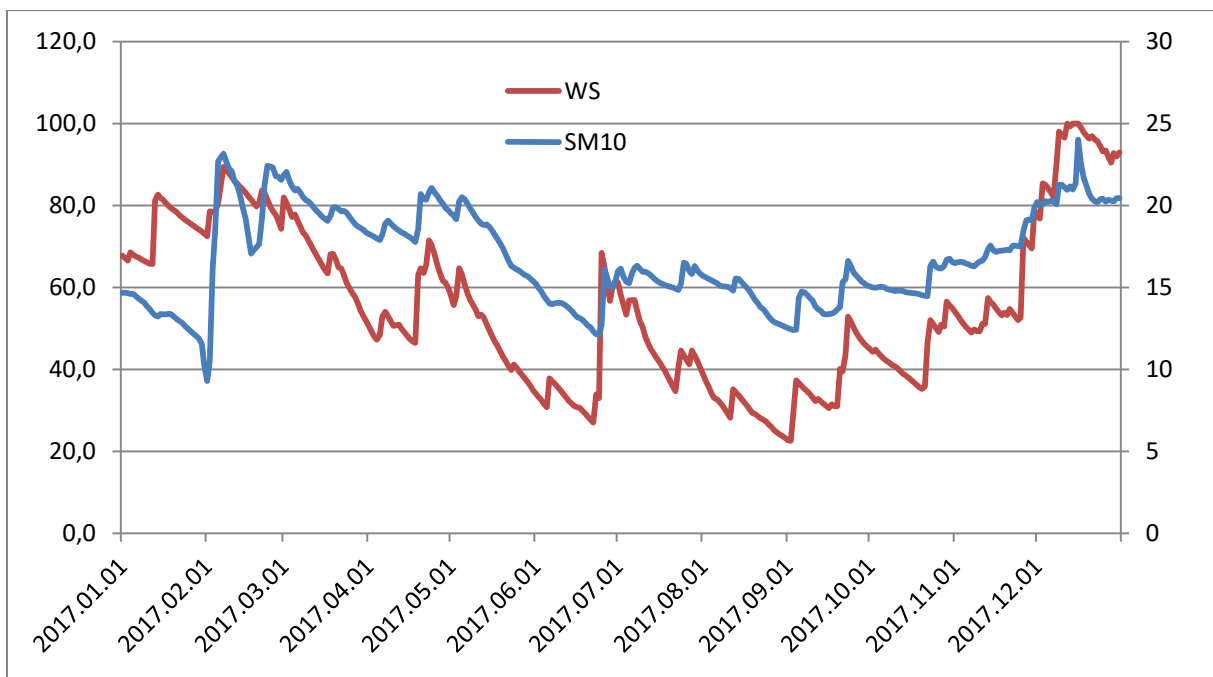
A WS mennyire egyezik a mért talajnedvességekkel?

A WS erejét mutatja, hogy a talajnedvesség mérő eszköz eredményeivel összehasonlítva nagyon szép (bár a lefolyás miatt kissé késleltetett) egyezést mutat

a víztartalék (*WS*) és a 10 cm-en mért talajnedvesség (*SM10*) mutató, különösen lazább szerkezetű talaj esetében.



5. ábra 2017-es adatok Hernád megfigyelőállomásról. 10 cm-en mért talajnedvesség adatok és a WS összehasonlítása.



6. ábra 2017-es adatok Szakoly megfigyelőállomásról. 10 cm-en mért talajnedvesség adatok és a WS összehasonlítása.

Az előző, SPI-nél alkalmazott módszer analógja az lenne a mi esetünkben, ha a *WS* értékek alapján percentilisekhez (pl. 0.99, 0.95, 0.9, stb.) rendelnénk küszöbértékeket. Esetleg szintén transzformálva a változót egységes eloszlásúvá téve (pl. standard normális), hogy területenként azonos küszöbértékeket kapjunk. A napi *WS* adatok számolása miatt azonban ebben az esetben az év általában száraz

időszakai (július, augusztus, szeptember) lennének mindig az aszályos időszakok, ez láthatóan nem adná önmagában a kívánt eredményt.

Ennek egy variációja, ha a relatív HDI_S indexhez rendelünk valószínűségi értékeket (pl. 0.99, 0.95, 0.9, stb.), itt tehát a napi WS értékeket egy elvart (átlagos) WS értékkel hasonlítjuk össze. Ekkor viszont felmerül a kérdés, hogy azt minden területre külön-külön tegyük-e, ezzel különböző küszöbértékeket kapva (ami nem szerencsés), vagy pedig átlagoljuk az összes magyarországi mérőállomás adatait. Utóbbi verziónál viszont az egyes állomásokon már úgy sem a pontos valószínűségi értékek szerint történne a küszöbértékek meghatározása.

A **valószínűségi értékekhez kötés** továbbá azért is problémás, mert így minden állomáson ugyanolyan arányban fordulnak elő a különböző aszályfokokozatok, emellett a küszöbértékek is „csúnya” és nehezen magyarázható számok lesznek (amik persze kerekíthetők, de akkor meg mi értelme volt a percentiliseknek?).

A következő táblázaton láthatjuk, hogy a különböző valószínűségi értékekhez (percentilisekhez) milyen HDI_S értékek tartoznak. 16 magyarországi mérőállomás összesített adatai alapján:

Val.Érték	0.75	0.8	0.85	0.9	0.95	0.99	0.995	0.999
HDI_S	1.37	1.47	1.61	1.84	2.31	3.5	3.9	4.4

Látható, hogy például a 0.99, 0.95, 0.85 és 0.75 percentilisekhez pl. a következő fokozat elrendelések tartoznának.

0 – nincs aszály,	ha $HDI_S < 1.37$
1 – enyhe aszály	ha $1.37 < HDI_S < 1.61$
2 – közepes aszály	ha $1.61 < HDI_S < 2.31$
3 – erős aszály	ha $2.31 < HDI_S < 3.5$
4 – rendkívüli aszály	ha $3.5 < HDI_S$

Ha azonban a másik oldalról fogjuk meg a kérdést, vagyis az **aszályindex értékeiből indulunk ki**, akkor kihasználhatnánk, hogy szemben az SPI-vel, a HDI_S egy szemléletes arányt fejez ki. Ugyanis kerek percentilisek használatával láthatjuk, hogy a küszöbértékekre kapunk „tört” számokat. Ha viszont a HDI_S szemléletes, kerek és magyarázható értékeit vesszük küszöbértékeknek, akkor megfordul a helyzet, ráadásul egy sor problémától megszabadulunk. A különböző területeken egyrészt nem feltétlenül azonos arányban lesz pl. extrém erős aszály, másrészt egységes küszöbértékeket kapunk minden területen.

A javasolt küszöbök az 1.33, 1.5, 2 és 3 értékek. Ezek azt fejezik ki, hogy az elvart, adott napra levő $WS_{\text{átlag}}$ értékhez képest rendre csak a **3/4-e, 2/3-a, fele és harmada** az adott napi WS érték. Ezek alapján a következő fokozatokat javasoljuk (ahol a határokon már a súlyosabb aszályfokozat lépne érvénybe):

0 – nincs aszály,	ha $HDI_S < 1.33$
1 – enyhe aszály	ha $1.33 < HDI_S < 1.5$
2 – közepes aszály	ha $1.5 < HDI_S < 2$
3 – erős aszály	ha $2 < HDI_S < 3$
4 – rendkívüli aszály	ha $3 < HDI_S$

Természetesen ezekhez a küszöbértékekhez is számolhatók valószínűségi értékek, melyek nem térnek el jelentősen az előzőektől:

Val.Érték	0.72	0.81	0.92	0.98
HDI_S	1.33	1.5	2	3

Az így a HDI_S alapján kapott küszöbértékek már alkalmazhatók lennének aszályfokokozatok elrendelésére. Van azonban még egy – a HDI_S korábban említett relatív voltából fakadó – hátránya, mely azonban korrigálható.

Korrekción a WS segítségével

Ugyanis a következő fokozat elrendelésénél így csak a napi WS átlagoshoz való arányát vennék figyelembe, a WS abszolút értékeit nem. Így ha az átlagos és elvart pl. 60-as $WS_{\text{átlag}}$ helyett 30-as az adott napi WS érték, az ugyanolyan ($HDI_S = 2$) megítélés alá esik, mintha a már amúgy is száraz átlagos 30-as helyett 15-ös a napi (ott is $HDI_S = 2$). Emellett előfordulhat, hogy egy *súlyosbodó szárazságot* jelző napi WS érték esetén is (pont az alapvetően is legszárazabb időszakban) a $WS_{\text{átlag}}$ csökkenése miatt mégis *enyhébb aszályfokozatot* jelezne a rendszer. Továbbá a $WS_{\text{átlag}}$ ingadozása miatt változatlan WS értékek mellett váltakozik a fokozat.

A fokozatok kiegyenlítése, valamint – különösen a száraz időszakokban – az abszolút értékű aszály jelzése érdekében korrekcióként bevezethetünk egy WS alapú, kiegészítő küszöbértékeket is, melyek automatikusan érvénybe lépnek, ha a WS egy adott szint alá csökken. A következő táblázatban javaslatot teszünk WS küszöbértékekre:

1 – enyhe aszály	ha $25 < WS < 30$
2 – közepes aszály	ha $20 < WS < 25$
3 – erős aszály	ha $15 < WS < 20$
4 – rendkívüli aszály	ha $WS < 15$

Így pl. a 4-es, rendkívüli aszályfokozat nem csak akkor elrendelhető, ha a HDI_S értéke 3 fölé nő, hanem egy kisebb (pl. 2.8-as) HDI_S érték esetén is beléphetünk a 4-es fokozatba, ha a WS 15 alá csökken. Egy 30 alatti WS érték pedig automatikusan már legalább enyhe aszályt jelent.

A WS küszöbértékei természetesen csak a HDI_S alapján számolt értékekkel együtt értelmezhetők. Ekkor a fokozatokat az év nagy részében a HDI_S alapján számolt küszöbértékek adják, kivéve, ha a WS alapján számolt értékek szerint

magasabb fokozatot rendelünk el. Matematikailag mindkettő alapján számolhatunk külön fokozatokat, és a két fokozat **maximuma** lesz az éles, elrendelendő fokozat.

Az esetek többségében a *WS* adott fokozathoz tartozó küszöbértékének átlépésekor már a *HDI_S* alapú küszöbértékét is átléptük, csak ritkán, a 40 alatti *WS_{átlag}*-gal rendelkező napok közül évi néhány napon (a tesztelés során 0 és 24 közötti, átlagosan 6-8) fordul elő, amikor ez a plusz feltétel módosítja (növeli) a *HDI_S* alapján számolt fokozatot. A mellékelt táblázatokban részletes vizsgálat is található.

Végleges módszer az aszályfokozatok elrendelésére

Összegezve az eddigieket, a következő módszert dolgoztuk ki:

0 – nincs aszály,	ha $HDI_S < 1.33$	és	$WS > 30$.
1 – enyhe aszály,	ha $1.33 < HDI_S < 1.5$	vagy	$25 < WS < 30$.
2 – közepes aszály,	ha $1.5 < HDI_S < 2$	vagy	$20 < WS < 25$.
3 – erős aszály,	ha $2 < HDI_S < 3$	vagy	$15 < WS < 20$.
4 – rendkívüli aszály,	ha $3 < HDI_S$	vagy	$WS < 15$.

Egyenlőség esetén mindig a súlyosabb fokozat lép érvénybe.

Két állomáson, a már sokszor használt Mezőhegyesen és egy csapadékosabb helyen, Viszneken is teszteltük a módszer működését. Az eredmények a két csatolt táblázatban megtalálhatók, néhány adatot nézzünk meg itt is.

Aszályindex tesztelése

A módszer előnyei:

- Öt fokozatú skála a fokozatokra
- Csak a napi csapadék és napi középhőmérséklet adatokat igényli.
- Pontos, nem becsült értékeket használ.
- A különböző fokozatokban lévő napok száma területenként változhat.
- Minden magyarországi területen azonos küszöbértékek.
- A küszöbértékek „szép” számok, könnyen magyarázhatók.
- Relatív és abszolút elemekből is áll.