

PÉCSI TUDOMÁNYEGYETEM
TERMÉSZETTUDOMÁNYI KAR
FÖLDRAJZI ÉS FÖLDTUDOMÁNYI INTÉZET

**FELSZÍNHASZNÁLATI MÓDOK FENNTARTHATÓSÁGÁNAK
HIDROMETEOROLÓGIAI VIZSGÁLATA ASZÁLYVESZÉLYNEK KITETT
TALAJOKON**



Témavezető: CZIGÁNY SZABOLCS
egyetemi docens

Készítette: IMRE MARCELL (FC9MM9)
földrajztanár, nemzetiségi német nyelv és
kultúra tanára osztatlan tanárképzési szak

Készült a 36. Országos Tudományos Diákköri Konferenciára

Kézirat lezárásának dátuma: 2023. január 10.

PÉCS, 2023.

*„...kétségtelen, hogy hazánknak legnagyobb csapása
a szárazság marad, amely ellen küzdés elsőrendű nemzeti feladat.”*

(Réthly Antal)

Tartalomjegyzék

Ábrajegyzék	4
Táblázatjegyzék	4
1. Bevezetés és célkitűzés	5
1. 1. A klímaváltozás Janus-arcú éghajlatunkon	5
1. 2. Az aszály fogalmának meghatározása.....	7
1. 3. Aszály-történelem és korai megoldások.....	8
1. 4. A kutatás célkitűzése	11
2. Eszközök és módszerek	12
2. 1. Vizsgálati helyszínek.....	12
2. 2. A talajtextúra és a fizikai talajféleségek megállapítása	12
2. 3. Mérőeszközök	13
2. 4. Az adatok rendszerezése és feldolgozása, az adathiányok kezelése.....	14
2. 5. Indexek és mutatószámok módszertanának ismertetése	14
2. 5. 1. <i>A Pálfai-féle aszályossági index (Alsó-Tisza-vidéki Vízügyi Igazgatóság, 2012)</i>	15
2. 5. 2. <i>A magyar aszályindex</i>	16
2. 5. 3. <i>Thorntwaite-típusú potenciális evapotranspiráció és vízmérleg</i>	16
3. Eredmények bemutatása és elemzése	17
3.1. Talajnedvesség-tartalom.....	17
3.2. Mátrixpotenciál értékek.....	19
3.3. Vízvisszatartási görbék.....	21
3.4. Aszályossági indexek a vizsgált területeken	23
4. Konklúziók és összegzés	24
4.1. A fenntarthatóság különböző dimenziói eredményeink tükrében	24
4.2. Fizikai talajféleség és a vízvisszatartási görbék kapcsolata	25
4.3. A vizsgált tényezők kiegyensúlyozottsága	25
4.4. Összegzés	26
Irodalomjegyzék	28
Köszönetnyilvánítás	31
„A” melléklet	32
„B” melléklet.....	33
„C” melléklet	34

Ábrajegyzék

1. ábra: Magyarország aszálytérképe 2022. május 22-i adatok alapján (forrás: Országos Meteorológiai Szolgálat).....	5
2. ábra: Országos éves átlagos csapadékösszegek 1901 és 2021 között (adatforrás: Központi Statisztikai Hivatal, 2021.)	6
3. ábra: Aszály sújtotta kukoricaföld Hajdú-Bihar megyében (forrás: Czeglédi Zsolt – MTI, 2022.)....	7
4. ábra: A hüvelyesek és a kukorica intercropping-ja a hüvelyeseknek árnyékon kívül támasztó funkciót is biztosít (forrás: Lithourgidis, A., 2011).....	9
5. ábra: Monokulturális és intercropping módszerrel termesztett növények talajának nedvességtartalma (Zhu et al., 2022)	10
6. ábra: Monokulturális és intercropping módszerrel termesztett növények talajának szervesanyag-tartalma (Zhu et al., 2022)	10
7. ábra: Helyszínfotók a mérőállomások környezetéről (balról jobbra: Almamellék, Boda, Palkonya)	12
8. ábra: A "Boda felső" mérőállomás	13
9. ábra: A mérőállomások elhelyezkedése	14
10. ábra: Éves átlagos talajnedvesség-tartalom 10 és 30 centiméteres mélységben mérőállomásonként (m^3/m^3)	17
11. ábra: Átlagos talajnedvesség-tartalom a nyári hónapokban 10 és 30 centiméteres mélységben mérőállomásonként (m^3/m^3)	18
12. ábra: Átlagos talajnedvesség-tartalom az egyes mérőállomásokon nyári hónapokra szűkítve	19
13. ábra: Átlagos mátrixpotenciál értékek a nyári hónapokban 10 és 30 cm-es mélységben mérve mérőállomásonként (kPa).....	20
14. ábra: Almamellék felső mérőhelyen rögzített nyári kiszáradási események 2020 és 2022 nyarán...	21
15. ábra: A mérőállomások vízvisszatartási grafikonja.....	22
16. ábra: Pálfai-féle aszályindex értékei 2019-ben és 2022-ben a vizsgált mérőpontokon.....	23
17. ábra: HDI értékek az egyes települések legszárazabb napjainak adatai alapján.....	23

Táblázatjegyzék

1. táblázat: A lefolyás és erózió mértékének összehasonlítása egy hagyományosan művelt vízgyűjtőn, illetve egy szántás nélkül művelt vízgyűjtőn kukorica monokulturális termesztése mellett (Shipitalo & Edwards, 1998).....	9
2. táblázat A talajvizsgálati szenzorokkal felszerelt mérőállomások földrajzi elhelyezkedése, a vizsgált felszínhasználat-típus, valamint az egyes mérőpontokon kihelyezett szenzorok	13
3. táblázat A PaDi havi súlytényezői.....	15
4. táblázat A HDI index minősítései.....	16

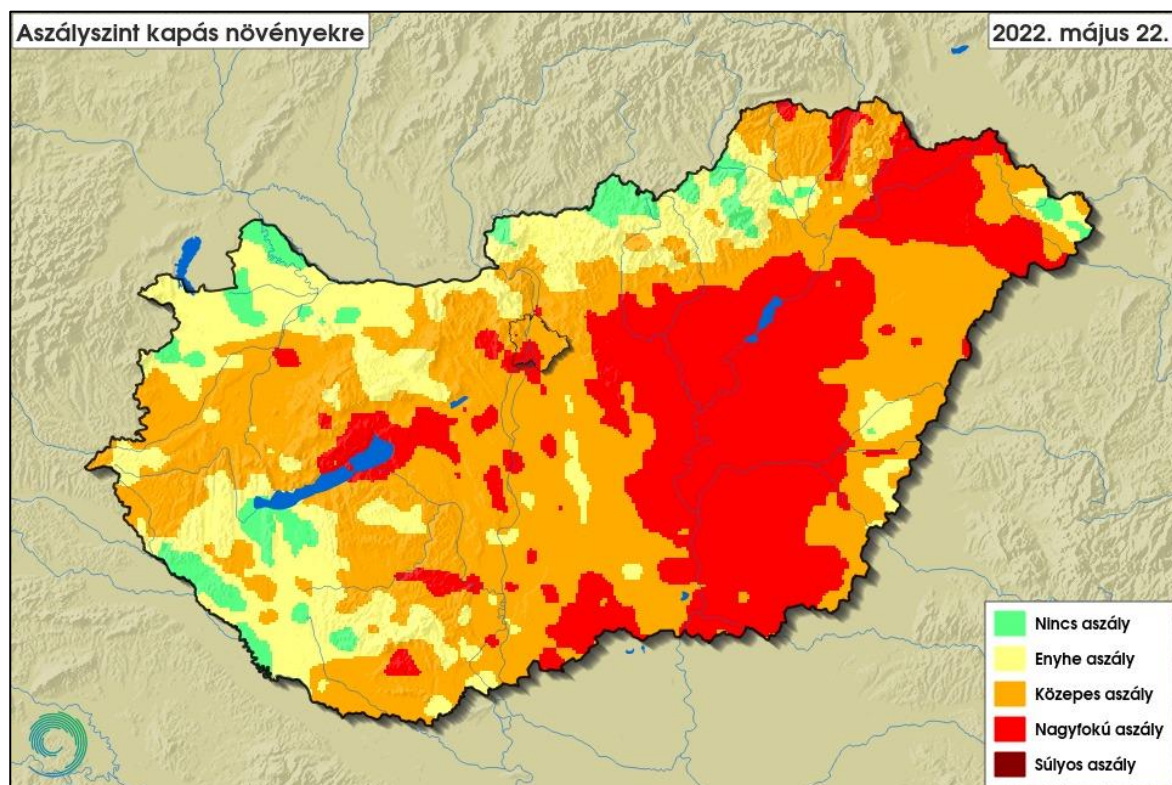
1. Bevezetés és célkitűzés

1. 1. A klímaváltozás Janus-arcú éghajlatunkon

Valószínűleg igen kevés ember él a Földön, aki ne hallott volna a médiában és a köznapiban beszélgetésekben is egyre gyakrabban felbukkanó klímaváltozásról. Azonban még kevesebben vannak azok, akikre nincs vagy nem lesz hatással ez a jelenség, ugyanis a modern társadalom is természetes szükségleteinél fogva rá van utalva a mezőgazdaság tevékenységére, amely ágazatban az időjárási és klimatikus viszonyok kritikus jelentőséggel bírnak.

A 2022-ben kiadott 6. IPCC-jelentés igen átfogó, szinte a klímaváltozás minden aspektusára, köztük a termőföldek hasznosítására vonatkozó elemzéseket is tartalmaz. A közlemény kiemeli, hogy a mindinkább szélsőséges időjárási tényezők hatását csak multiplikálja a helytelen, nem fenntartható antropogén felszínhasználat. Míg korábban az arid és szemi-arid területek voltak súlyos veszélyben, ma már az aszályosodás és elsivatagodás globális problémának tekinthető (Pörtner et al. 2022). Ez a fajta aridifikáció súlyozott hatást jelent medence helyzetű területeken, mint például hazánkban.

A mezőgazdaság, mint primer szektor minden társadalom fennmaradásának záloga. A talaj pedig az agrárium esszenciális bázisa, melynek minősége és fenntarthatósága kulcsfontosságú kérdés.

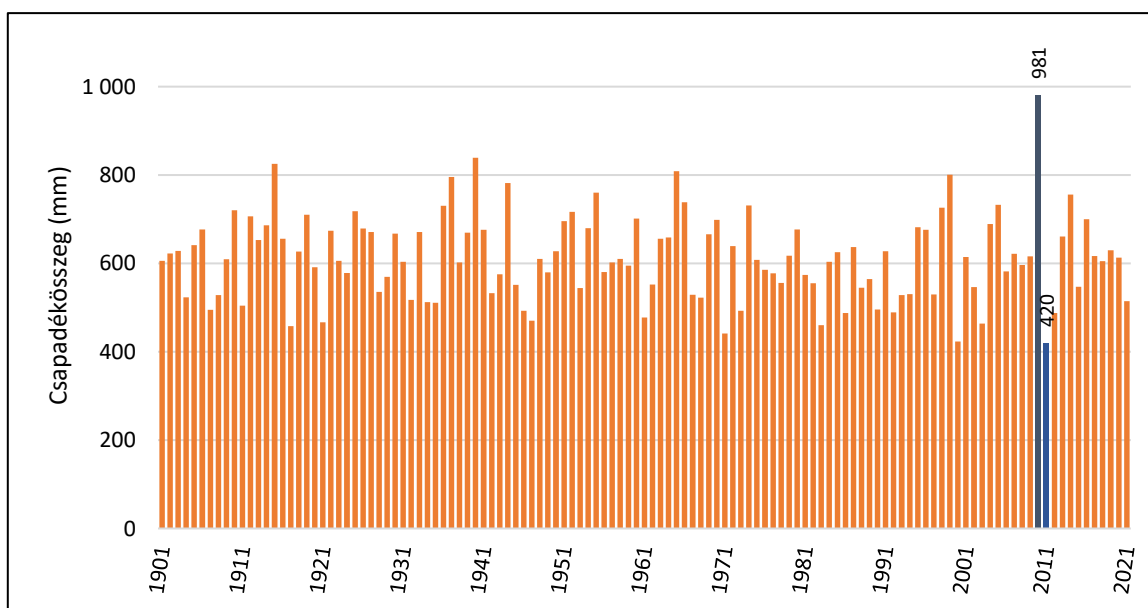


1. ábra: Magyarország aszálytérképe 2022. május 22-i adatok alapján (forrás: Országos Meteorológiai Szolgálat)

Kontinentális éghajlatunk szeszélyes mivolta látványosan megmutatkozik abban, hogy hazánkban aszály, és időnként vízfelesleg is sújtja a termelőket. Míg utóbbi térbeli megjelenése viszont általában tagolt – így gyakran egy adott gazdálkodó teljes gazdálkodási területét sem érinti egészében – negatív, termés kiesést okozó hatása jóval csekélyebb a zömében nagyobb területre kiterjedő aszályénál (Biacs et al. 2004).

Az 1. ábra egy pillanatnyi aszályossági állapotot mutat csupán, mégis érdemes megvizsgálnunk, hogy az ország egyes tájai különböző érintettségi kategóriákba kerültek besorolásra. A legkedvezőbb állapot az Északi-Középhegység, a Kisalföld északi, illetve a Dunántúli-dombvidék nyugati részét jellemzi. A legsúlyosabb kategóriák az Alföldön jelentkeznek, különösen a Nyírség, a Hajdúság, A Duna-Tisza közti síkvidék, a Közép-Tisza-vidék, az Észak-alföldi-hordalékkúpsíkság, valamint a Körös-Maros köze tájain. Azért is lesújtó ez a területi eloszlás, mert a magyar agrárium tevékenységének jelentős része az Alföld területén koncentrálódik.

Míg talajaink minőségüket tekintve a mezőgazdasági tevékenységhez kimondottan alkalmasnak mondhatók, az éghajlatunk kétarcúsága és szélsőségei gyakran megnehezítik a termelők munkáját. Az országos éves csapadékösszegeket vizsgálva (2. ábra) szembevetendő a mennyiségek kiegyensúlyozatlansága. Az 1901 és 2021 közötti időszakban mért értékek maximuma a 2010-ben volt 981 mm-es csapadékösszeggel. A rákövetkező évben ismét rekordot döntött az éves csapadékösszeg, azonban ezúttal negatív irányban, 420 mm-es értékkel.



2. ábra: Országos éves átlagos csapadékösszegek 1901 és 2021 között (adatforrás: Központi Statisztikai Hivatal, 2021.)

1. 2. Az aszály fogalmának meghatározása

Az ENSZ Sivatagosodás és Aszály Elleni Küzdelem Egyezményéhez országunk 1999-ben csatlakozott, és egész területét „aszállyal sújtott” kategóriába sorolták be. Fontos egyértelművé tenni, hogy az aszály nem ekvivalens fogalom a szárazsággal, ami egy általánosabb, sokkal köznyelvibb, tágabb értelmű kifejezés a vízhiányra. Az aszály az élővilág életfeltételeit megváltoztató, kimondottan nagy mértékű kárt okozó természeti jelenség, amely a növények növekedését és fejlődését gátolja (Biacs et al. 2004).



3. ábra: Aszály sújtotta kukoricaföld Hajdú-Bihar megyében
(forrás: Czeglédi Zsolt – MTI, 2022.)

A szárazság szót gyakran használjuk olyan állapot meghatározására, amikor az átlaghoz képest kevésbé csapadékos egy adott időszak, vagy akár csak érzékszervileg tapasztaljuk a szárazság nyomait, de mindenképpen negatív vízháztartást jelöl a fogalom. Bár ezek mind igazak lehetnek az aszályra is, aszályos állapotról akkor beszélhetünk, ha azt valamilyen tudományosan elfogadott módszerrel, mutatóval is ki tudjuk fejezni (illetve súlyosan negatív a vízháztartás). Erre a célra legáltalánosabban (valamint viszonylag könnyen parametrizálhatóan) az ariditási index felel meg, mely kizárólag két bemeneti változóval, a lehullott csapadék mennyiségével és a párolgás arányával számol. Legnagyobb előnye az, hogy ez a két adatérték a világ bármely pontján könnyen, különösebb gyakorlati jártasság nélkül is mérhető. Találhatunk természetesen jóval összetettebb, paraméteres, esetleg adott éghajlatra kifejlesztett módszereket is. Az aszályossági indexek tárháza rendkívül széles.

Hazánkban említésre méltó a 2021-ben elhunyt Pálfai Imre által megalkotott Pálfai-féle aszályossági index (PAI), amely egy adott év aszályossági besorolását adja meg szintén a havi csapadékösszegek és középhőmérsékletek értékeiből. Sajátossága, hogy a növények fejlődése szempontjából kritikus hónapok adatai nagyobb hatást gyakorolnak az indexszámítás végeredményére (Pálfai 1990).

A magyar aszályindex (Hungarian Drought Index, HDI) a napi aszályossági állapotot számszerűsíti a talaj víztartalékát figyelembe véve. A feltalaj nedvességtartalmát nagyobb súllyal veszi figyelembe, mint a 35 és 80 cm mélységben mért nedvesség-tartalékot (Fiala et al. 2018, p. 19)

1. 3. Aszály-történelem és korai megoldások

Jóllehet, az időjárási extrémítások gyakorisága a klímaváltozás felerősödésével növekedni fog, a múltban sem kerültek el hazánkat és a mezőgazdaságot. A University of Cambridge kutatói történelmi feljegyzések és a fák évgyűrűinek hidrológiai vizsgálatával arra következtetésre jutottak, hogy már a Kr. u. 430-450-es években az ideihez hasonló aszályviszonyokkal kellett a hunoknak megküzdeni. Ezekben az évtizedekben nagy mértékben csökkent a terméshozam, és a legeltetésre alkalmas területek mérete a Duna és a Tisza árterein túl. Az évgyűrűk biokémiai vizsgálatai és az írásos emlékek azt mutatták, hogy az aszályos időszak egybeesett Attila népének intenzív fosztogatásaival. A legpusztítóbb hun portyázások a i.sz. 447-es, 451-es és 452-es években történtek, amelyek egybeesnek a Kárpát-medence 5. századi legszárazabb nyarainak esztendőivel (Hakenbeck & Büntgen 2022).

A kevésbé távoli múlt aszályos kihívásaira Gyárfás József már az 1922-es évben részletes tanulmánnyal és olyan technológiai javaslatokkal reagált, mint a *Campbell-féle dry-farming*, a *Jean-féle eke nélküli talajművelés*, *Baross László és Manninger G. Adolf talajművelő rendszerei*, valamint megalkotta a „magyar dry-farming” kifejezést.

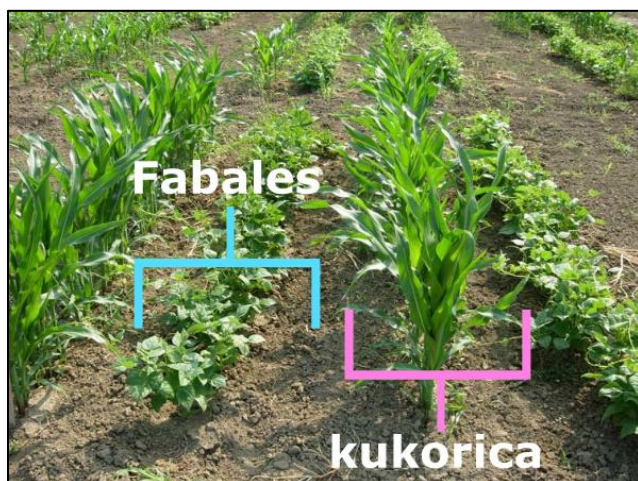
Ezen módszerek többsége a lehető legkisebb mértékű bolygatás elvén alapul. Korszerűbb megvalósítási formáik a modern mezőgazdaságban is megjelennek, általában *no-till* (eke nélküli) vagy *minimum tillage* (minimális talajművelés) néven. Manninger G. Adolf a 20. század elejétől kezdve végzett kísérleteket. Megállapította, hogy zömében a mélyművelés, valamint a művelési folyamatok rossz időzítése okozza a szántóföldek minőségromlását. Kulcs hibának tartotta az edafonokban és szerves anyagokban gazdag feltalaj keverését a mélyebb talajrésszel, ugyanis a megfelelően morzsás szerkezetet, amely a csapadék hatására sem bomlik fel, a talajlakó élőlények tevékenységének tulajdonította. A szántással művelt talajban nem kívánatos tömörödöttség keletkezhet az eketalp mélységében, amely gátolja a víz áramlását és az olyan kulcsfontosságú élőlények „munkáját”, mint a földigiliszta, illetve megszakítja a kapilláris vízemelési pályákat is (Bádonyi 2006).

Barczy et al. (2014) tanulmányukban megállapították, hogy a mélyműveléstől megkímélt talajokban megnőtt a földigiliszták száma, melyek járataikkal javították a szántóföld talajának víznyelő képességét. Shipitalo & Edwards (1998) két Ohio állambeli kukoricaföldet (hagyományos szántás és no-till) vetett alá hosszútávú vizsgálatnak. A négy vizsgált év végére jelentős különbségeket állapítottak meg a szerzők a két technológia között. A hagyományosan művelt talajon a felszíni lefolyás dominált és a lepusztult talaj mennyisége is sokszorosa volt a szántás nélküli, kíméletesen művelt talajhoz képest (3. táblázat).

1. táblázat: A lefolyás és erózió mértékének összehasonlítása egy hagyományosan művelt vízgyűjtőn, illetve egy szántás nélkül művelt vízgyűjtőn kukorica monokulturális termesztése mellett (Shipitalo & Edwards, 1998)

Év	Éves csapadékösszeg (mm)	Lefolyás mértéke (mm)		Talajpusztulás (kg/ha)	
		szántás nélkül	hagyományos művelés	szántás nélkül	hagyományos művelés
1979	1124	3,8	140,2	9	490
1980	1176	4,9	316,8	17	9500
1981	1057	0,2	142,2	1	8590
1982	889	0	113,2	0	2765
Összesen	4246	8,9	712,4	27	21345
Átlagosan	1062	2,2	178,1	7	5335

A párolgási egyenleget pozitív irányba módosíthatja az úgynevezett *intercropping* (közévetés, köztesvetés) is. Ilyenkor egy termeszteni kívánt növény mellé olyan más növényfajt ültetünk, amely alkalmas a termesztett növény feltalajának árnyékolására, ezzel csökkentve az direkt



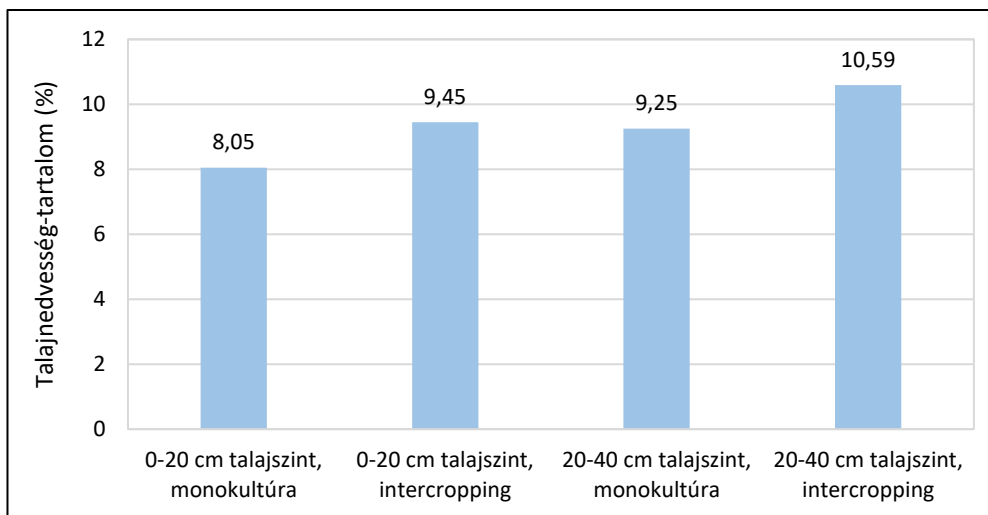
sugárzás miatt bekövetkező párolgást. Előfordulnak esetek, amikor a vízháztartásra a közé ültetett növény a talaj kémiai vagy fizikai tulajdonságainak megváltoztatásával gyakorol pozitív hatást.

Zhu et al. (2022) vizsgálatában goji bogyó (*Lycii fructus*) közé perjeféléket ültettek, és megfigyeléseket végeztek a

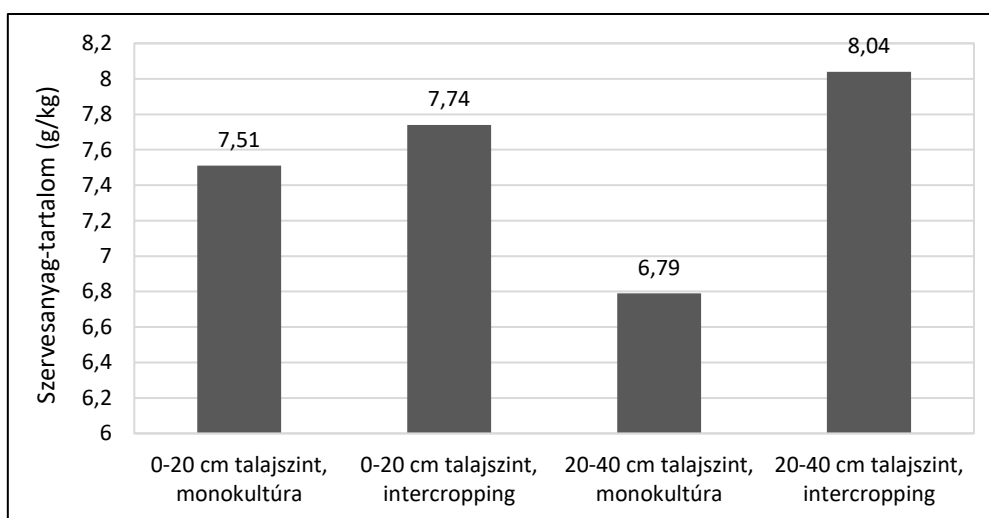
termésen és a talajon egyaránt. A kapott eredmények igazolták, hogy mind a talaj szervesanyag-

tartalmára, mind a nedvességtartalmára pozitív hatással volt a módszer (5-6. ábra).

4. ábra: A hüvelyesek és a kukorica intercropping-ja a hüvelyeseknek árnyékon kívül támasztó funkciót is biztosít (forrás: Lithourgidis, A. 2011)



5. ábra: Monokulturális és intercropping módszerrel termesztett növények talajának nedvességtartalma (Zhu et al. 2022)



6. ábra: Monokulturális és intercropping módszerrel termesztett növények talajának szervesanyag-tartalma (Zhu et al. 2022)

Alternatív megoldást jelenthet a fizikai talajt nélküli növénytermesztés (hidropónia, aeropónia) is, bár hazánkban néhány ambiciózus kisvállalkozás és tudományos projekt kivételével nem honosodott meg érdemben. Jelenleg igen távoli perspektívának tűnik a hagyományos mezőgazdasági termelés érdembeli kiegészítésére, főleg kiváltására. Az előzőek alapján elmondhatjuk, hogy a magyar agrárium rendkívül kiszolgáltatott a talajaink minőségének, így azok fenntarthatóságát feltétlenül biztosítani kell, a „[...] talaj ugyanis feltételelesen megújuló természeti erőforrás, amely egyben a mezőgazdasági termelés és erdőgazdálkodás alapvető termelőeszköze” (Barczy et al. 2014).

1. 4. A kutatás célkitűzése

Munkám során egy legelő, egy szántóföld, illetve egy gyümölcsös löszön kialakult talajainak nedvességdinamikai összehasonlítását végeztem el három felszínhasználat típus esetében. Elsődleges célkitűzésem a három eltérő felszínhasználat-típus vízháztartásának fenntarthatóság és kiegyensúlyozottság szerinti vizsgálata volt, illetve annak megállapítása, hogy melyik felszínhasználati mód biztosítja a legoptimálisabb körülményeket a mezőgazdaság számára a klímaváltozás hatásait figyelembe véve.

Vizsgálataim kulcspontjai:

- A három vizsgált felszínhasználat-típus összehasonlítása fenntarthatóságuk és vízháztartásuk kiegyensúlyozottsága alapján;
- Az aszályosság mértékének kifejezésére szolgáló megbízható és korszerű módszerek alkalmazhatóságának áttekintése, és adaptálása a kutatásomban érintett területekre;
- Potenciális jövőképek felvázolása, adaptációs lehetőségek felkutatása az agrárium számára.

2. Eszközök és módszerek

2. 1. Vizsgálati helyszínek

A kutatásom adatait szolgáltató mérőállomásokat a Pécsi Tudományegyetem Földrajzi és Földtudományi intézete 2018 novemberében telepítette egy szlovén-magyar közös OTKA pályázat keretében, melynek eredményeiből már több publikáció is született (Nagy et al. 2019, 2020, 2021; Lóczy et al. 2020).

A vizsgálatban résztvevő három Baranya megyei település:

1. Almamellék (Dél-Zselic, legelő)
2. Boda (Dél-Baranyai-dombság, szántóföld,
mind a négy vizsgálati évben szójjával bevetve)
3. Palkonya (Villányi-hegység, gyümölcsös¹)

Mérőhelyenként két állomás üzemel, melyek lejtőpozíciójukat tekintve az „alsó” vagy „felső” jelzőket kapták. Hőmérsékleti- és csapadék adatokhoz további két pécsi meteorológiai állomásból jutottam. Ezek közül az egyik a Jegenyés utcában (Pécs-Kertváros) található, lakóövezetben, a másik pedig a PTE Ifjúság úti kampuszán működő állomás. Az országos éves átlagos csapadékösszegeket a Központi Statisztikai Hivatal vonatkozó adatbázisából töltöttem le.



7. ábra: Helyszínfotók a mérőállomások környezetéről (balról jobbra: Almamellék, Boda, Palkonya)

2. 2. A talajtextúra és a fizikai talajféleségek megállapítása

Minden mérési ponton 10 és 30 cm-es mélységből vettünk talajmintát. A talajmintákat szárítószekrényben szárítottuk tömegállandóságig (105°C), majd eltávolítottuk a szerves anyagot hidrogén-peroxiddal, valamint a mésztartalmat 10%-os sósavval. Ezt követően lézer diffrakciós módszerrel (Malvern MasterSizer 3000, Malvern Inc., Malvern, Anglia, Egyesült Királyság) meghatároztuk a talajminták szemcse-eloszlását, majd a három finomfrakció %-os

¹ A mérőállomás kihelyezésekor a szenzorok környezetében is álltak gyümölcsfák, azonban ezeket 2022 őszén kivágták.

arányának megfelelően Atterberg-féle háromszögben ábrázoltam és meghatároztam a minták fizikai féleségét (lásd A-B-C mellékletek).

2. 3. Mérészközök

A vizsgálatban a METER Group (Meter Group, Inc., Pullman, WA, Egyesült Államok) szenzoraival végeztük méréseinket. Az állomásokat 2017 novemberében és decemberében helyezték ki a PTE TTK Természet- és Környezetföldrajzi Tanszékének munkatársai. Mind a három mintaterületen 2 állomás került kihelyezésre, egy lejtőváll és egy lejtőtálp pozícióban. A hat állomás mindegyikén 10 és 30 centiméteres mélységben elhelyeztünk egy Teros-12 TDR típusú talajnedvességszenzort és egy Teros-21 nedvességpotenciál szenzort. Így összesen 12 talajnedvesség- és 12 nedvességpotenciál szenzor

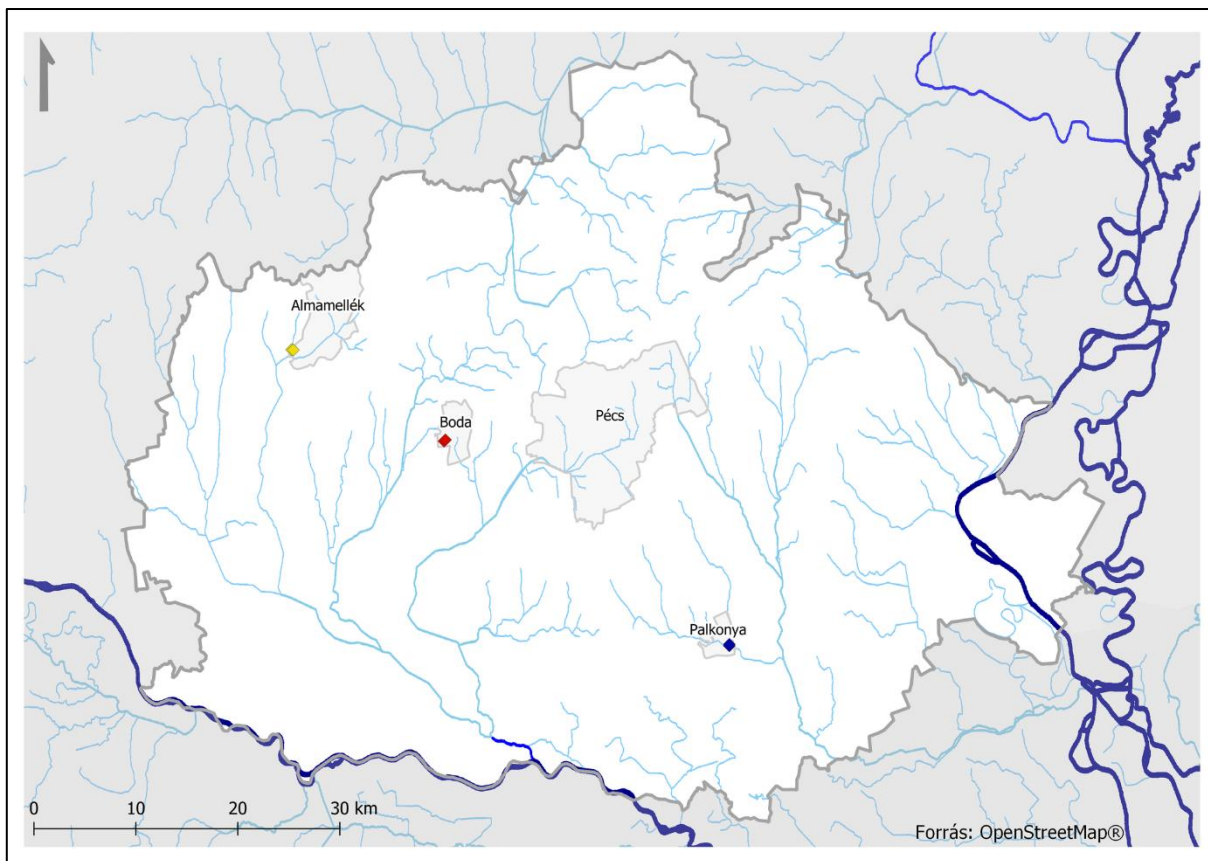


8. ábra: A "Boda felső" mérőállomás

került kihelyezésre (2. táblázat). Az adatokat EM-60 adatgyűjtőkel automatikusan rögzítettük 15 percenként A lejtőhelyzetet tekintve magasabban felállított adatgyűjtőket ECRN-100 típusú billenőedényes csapadékmérővel (0,2 mm-es felbontás) is elláttuk.

2. táblázat A talajvizsgálati szenzorokkal felszerelt mérőállomások földrajzi elhelyezkedése, a vizsgált felszínhasználat-típus, valamint az egyes mérőpontokon kihelyezett szenzorok

Mérési pont	Felszínhasználat	Mérési hely abszolút földrajzi helyzete	TEROS 12	TEROS 21	ECRN-100
<i>Almamellék alsó</i>	legelő	46° 8' 58,6536" N 17° 50' 11,1048" E	2 db	2 db	-
<i>Almamellék felső</i>		46° 8' 57,6539" N 17° 50' 18,7656 E	2 db	2 db	1 db
<i>Boda alsó</i>	szántóföld	46° 4' 14,62877" N 18° 1' 53,1588" E	2 db	2 db	-
<i>Boda felső</i>		46° 4' 18,9624" N 18° 1' 59,6028" E	2 db	2 db	1 db
<i>Palkonya alsó</i>	gyümölcsös	45° 53' 33,8172" N 18° 23' 43,422" E	2 db	2 db	-
<i>Palkonya felső</i>		45° 53' 38,8212" N 18° 23' 43,3968" E	2 db	2 db	1 db



9. ábra: A mérőállomások elhelyezkedése

2. 4. Az adatok rendszerezése és feldolgozása, az adathiányok kezelése

A kinyert adatokból Excel szoftverben készítettem áttekinthető táblázatokat, majd az összehasonlításhoz statisztikai mutatókat és grafikonokat. Mivel a mérési időszak több évet ölel fel, számolnom kellett azzal, hogy technikai meghibásodás, többnyire az akkumulátorok időleges lemerülése okán jelentkezhetnek adathiányos időszakok. Az emiatt hiányzó adatmennyiség aránya a teljes adathalmaz 1 százalékát sem éri el, így statisztikai pontosságra gyakorolt hatása elenyésző.

A mátrixpotenciál értékeket a szenzorok elhelyezésétől számított 21 napos időszakon belül minden állomás esetében elimináltuk az adathalmazból. A szakmai tapasztalat, valamint az adatok diagramon történő ábrázolása azt mutatta, hogy a talajok tömörödöttsége ennyi idő alatt éri el azt a mértéket, hogy az adatokat hitelesnek tekintsük.

2. 5. Indexek és mutatószámok módszertanának ismertetése

Munkám során főként az aszályosság számszerűsítését szolgáló módszereket alkalmaztam. Több különböző aszályindexet is megvizsgáltam, hogy egymáshoz viszonyított összehasonlítási alapot biztosítsanak.

2. 5. 1. A Pálfai-féle aszályossági index (Alsó-Tisza-vidéki Vízügyi Igazgatóság, 2012)

Megalkotása óta a hazai aszályossági állapot meghatározásának egyik fő mutatója lett. Egyediségét a növények fejlődése szempontjából legfontosabb hónapok adatainak eltérő súlyozása adja. A Pálfai (1990) módszerének azon változatát (PaDi) alkalmaztam, amelyet az Alsó-Tisza-vidéki Vízügyi Igazgatóság a Drought Management Centre for South East Europe (DMCSEE) projekt keretében alakított ki:

$$PaDI_0 = \frac{\frac{[\sum_{i=apr}^{aug} T_i]}{5} * 100}{c + \sum_{i=oct}^{sept} (P_i * w_i)}$$

$PaDI_0$: az aszályindex alapértéke [$^{\circ}\text{C}/100\text{ mm}$]

T_i : havi középhőmérséklet áprilistól augusztusig [$^{\circ}\text{C}$]

P_i : havi csapadékösszeg októbertől szeptemberig [mm]

w_i : adott hónap súlytényezője (3. táblázat)

c : konstans érték (10 mm)

3. táblázat A PaDi havi súlytényezői

Hónap	Súlyozó tényező (w_i)
október	0,1
november, december	0,4
január-április	0,5
május	0,8
június	1,2
július	1,6
augusztus	0,9
szeptember	0,1

A $PaDI_0$ meghatározása után kiszámítható a PaDi értéke:

$$PaDi = k_1 * k_2 * k_3$$

Ahol:

k_1 : hőmérsékleti korrekciós tényező

k_2 : csapadék-korrekciós tényező

k_3 : a megelőző 36 hónap csapadékvizonyait jellemző korrekciós tényező

2. 5. 2. *A magyar aszályindex*

A 2015-2016-ban kidolgozott hazai módszer napi aszályossági állapot meghatározására alkalmas (Országos Vízügyi Főigazgatóság 2015; Fiala et al. 2018). Különbséget tesz az egyes fizikai talajfélések között, illetve eltérő súlyozással számítja a növények számára legjelentősebb feltalaj és a 35-80 cm közötti talajsínt víztartalmát.

$$HDI = HDI_0 * k_{35} * k_{80} * S$$

A képlet k_{35} és k_{80} értékei a fizikai talajtípusok és vízkészletük összefüggéséből, valamint a talaj adott mélységben mért nedvességtartalmából határozhatók meg. Az „S” érték szélsőségesen száraz időszakok növényekre gyakorolt stresszhatását fejezi ki.

A HDI értékei alapján az alábbi aszályossági kategóriák határozhatók meg:

4. táblázat A HDI index minősítései

Védekezési fokozat	Minősítés	Kritérium
nincs fokozat	nincs vízhiány	HDI < 1,333
1. fok	enyhe vízhiány	$1,333 \leq$ HDI < 1,5
2. fok	közepes vízhiány	$1,5 \leq$ HDI < 2,0
3. fok	erős vízhiány	$2,0 \leq$ HDI < 3,0
4. fok	rendkívüli vízhiány (aszály)	$3,0 \leq$ HDI

2. 5. 3. *Thornthwaite-típusú potenciális evapotranspiráció és vízmérleg*

Charles Warren Thornthwaite (Thornthwaite 1944, 1954) egy olyan empirikus modellt alkotott meg, amelyben a levegő hőmérsékletét és a párolgást kapcsolja össze és ebből határozza meg a potenciális evapotranspirációt (PET). A módszer azon a logikán alapul, hogy a levegő hőmérséklete hatással van a párolgás mértékére és a relatív páratartalomra is.

Először bevezeti a hőindexet (i), amit a havi középhőmérsékletből (t) számol:

$$i = \left(\frac{t}{5}\right)^{1,514}$$

Az egyes hónapokra vonatkozó „ i ” értékek összege adja az éves hőindexet (I):

$$I = \sum_{j=1}^{12} i$$

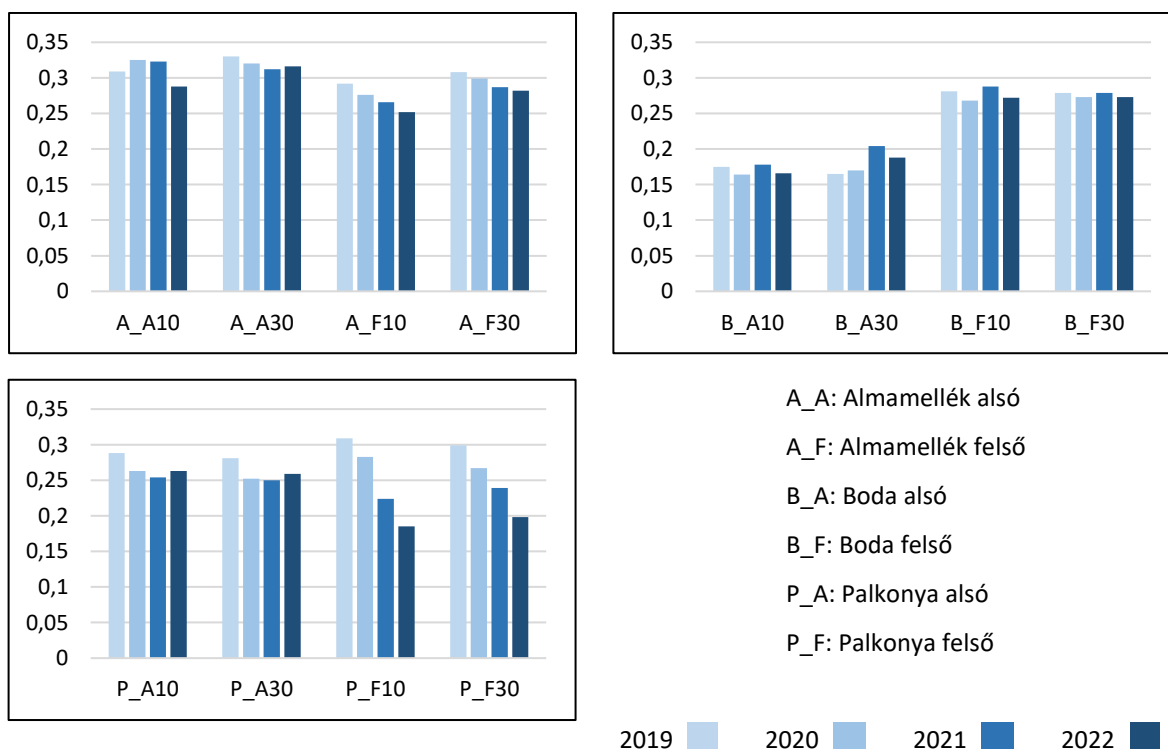
3. Eredmények bemutatása és elemzése

3.1. Talajnedvesség-tartalom

Mérőállomásokra bontva grafikonon ábrázoltam (10. ábra) a 2019. január 1. és 2022. december 31. közötti időszakban a talajnedvesség átlagos értékeit. Az egyes mérőhelyek vízháztartásában jelentős különbségek vannak. Az átlagos legalacsonyabb talajnedvességet Bodán, míg az átlagosan legmagasabbat Almamelléken találtuk. A települési mérőhelyek összevont átlaga ugyanezt mutatja. Almamelléken az átlagos talajnedvesség $0,298 \text{ m}^3/\text{m}^3$, Palkonyán $0,264 \text{ m}^3/\text{m}^3$, Bodán pedig $0,223 \text{ m}^3/\text{m}^3$ volt.

A 30 cm mélységben mért értékek évről évre csökkenő trendet mutatnak Almamelléken és Palkonyán. Bodán a 2021-es év mindkét mérőhelyen és az összes mélységben a legnedvesebb értékeket produkálta.

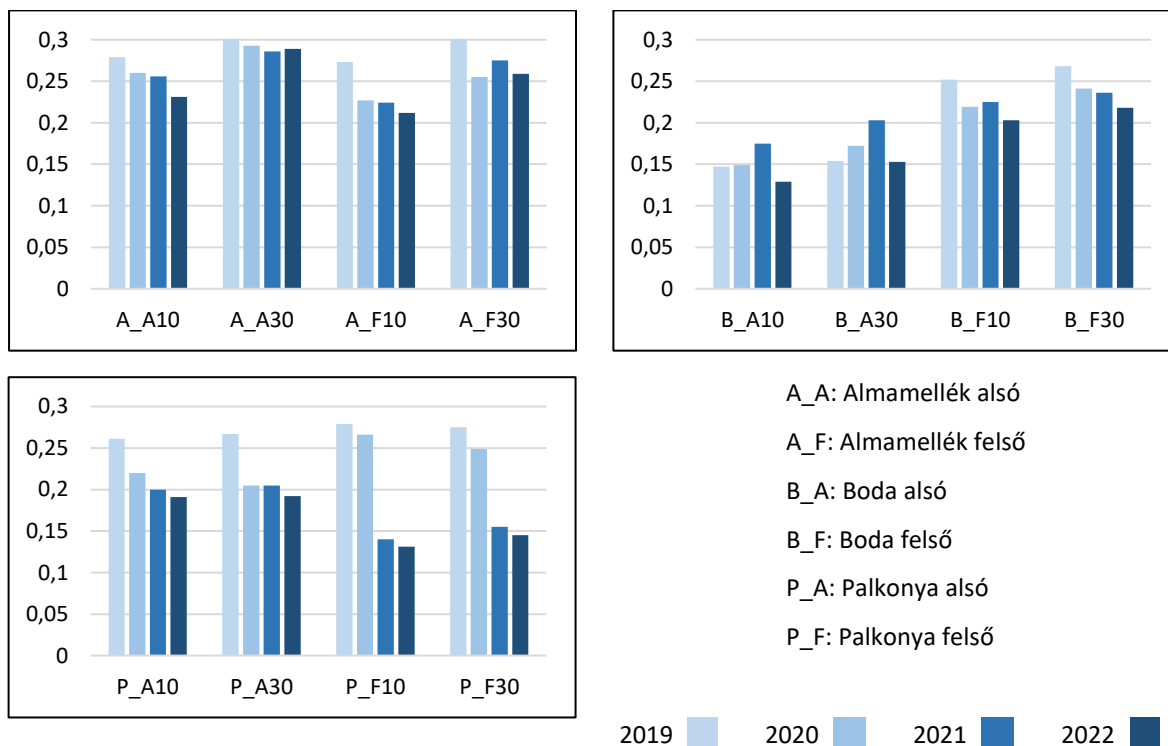
A 10 cm-en mért értékek jóval ingadozóbb vízháztartást mutatnak, azonban a 2021-es bodai maximumok itt is szembetűnőek, amelyek lokálisan vizsgálva valóban maximumok, de eltörpülnek a másik két település minimumai mellett is. Az értékhalmoz abszolút maximuma Almamellék alsó 2019-ben 30 cm-en mért átlaga $0,33 \text{ m}^3/\text{m}^3$, míg az abszolút minimuma ennek közel a fele, Boda alsó 10 cm-en számított átlagával 2020-ban ($0,164 \text{ m}^3/\text{m}^3$).



10. ábra: Éves átlagos talajnedvesség-tartalom 10 és 30 centiméteres mélységben mérőállomásonként (m^3/m^3)

A mezőgazdaság szempontjából árnyaltabb képet kaphatunk, ha a talajnedvesség értékeit megvizsgáljuk a nyári hónapokra szűkítve (11. ábra). Ez minden vizsgált évben a június első és augusztus utolsó napja közötti időszakot jelenti. Az abszolút maximumot Almamellék felső adta a 30 cm-en mért $0,317 \text{ m}^3/\text{m}^3$ értékkel 2019-ben, míg a globális minimumot Boda alsó 10 cm-en mért adataiból kapjuk a 2022-es évben $0,129 \text{ m}^3/\text{m}^3$ talajnedvesség-értékkel.

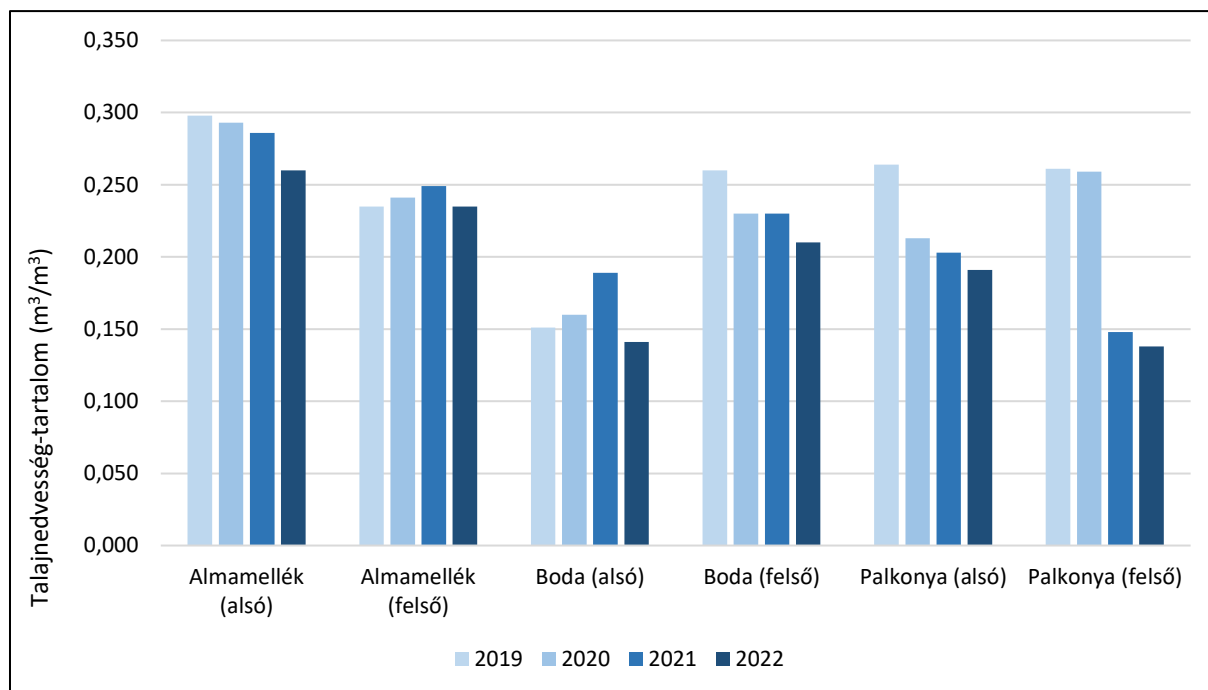
Palkonyán szignifikáns csökkenést látunk 2020 és 2021 között. A 30 cm-en mért talajnedvesség a két egymást követő nyáron 11 százalékkal csökkent, ha pedig a 2019 és 2022 közötti változást vizsgáljuk, már közel 14 százalékpontos differenciát tapasztalunk. Az almamelléki mérőhelyek 30 cm-es értékeinek kivételével a 2022-es nyári hónapok átlaga minden mérőpontra az eddigi legszárazabb körülményeket jelzi.



11. ábra: Átlagos talajnedvesség-tartalom a nyári hónapokban 10 és 30 centiméteres mélységben mérőállomásonként (m^3/m^3)

A 10 és 30 centiméteren elhelyezett szenzorok adatainak összevonásával (12. ábra) a 2022-es nyár csapadékszegény jellege még egyértelműbben mutatkozik meg. Még az Almamellék felső és Boda alsó mérőpontokon is csökkenést látunk annak ellenére, hogy a megelőző évek növekvő tendenciát mutattak.

A talajnedvesség-tartalom csökkenése Almamellék állomásai esetében a legkisebb mértékűek, Palkonyán pedig a legintenzívebbek. Boda alsón megfigyelhető az első három vizsgált év emelkedő értékeit követő hirtelen visszaesés 2022-ben, amely még a 2019-es minimum értéknél is $0,01 \text{ m}^3/\text{m}^3$ -rel kisebb nedvességet mutat.

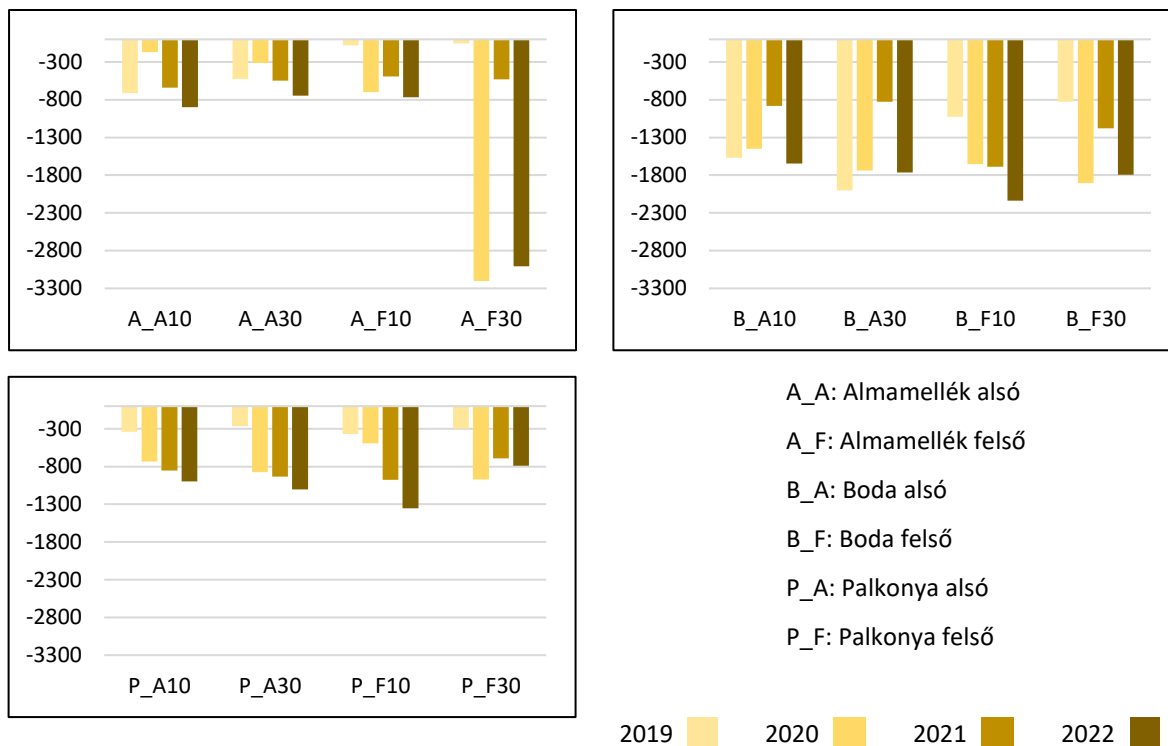


12. ábra: Átlagos talajnedvesség-tartalom az egyes mérőállomásokon nyári hónapokra szűkítve

3.2. Mátrixpotenciál értékek

A növények vízhez való hozzáférését azonban nem csak a talajban lévő víz mennyisége határozza meg, hanem a mátrixpotenciál is, amely azt a negatív nyomásértéket, azaz szívóerőt fejezi ki, amellyel a talaj magában tartja a nedvességet. A növények többsége legfeljebb -1500 kPa szívóerőt képes kompenzálni, ezt az értéket nevezzük hervadáspontnak (Nagy, 2020).

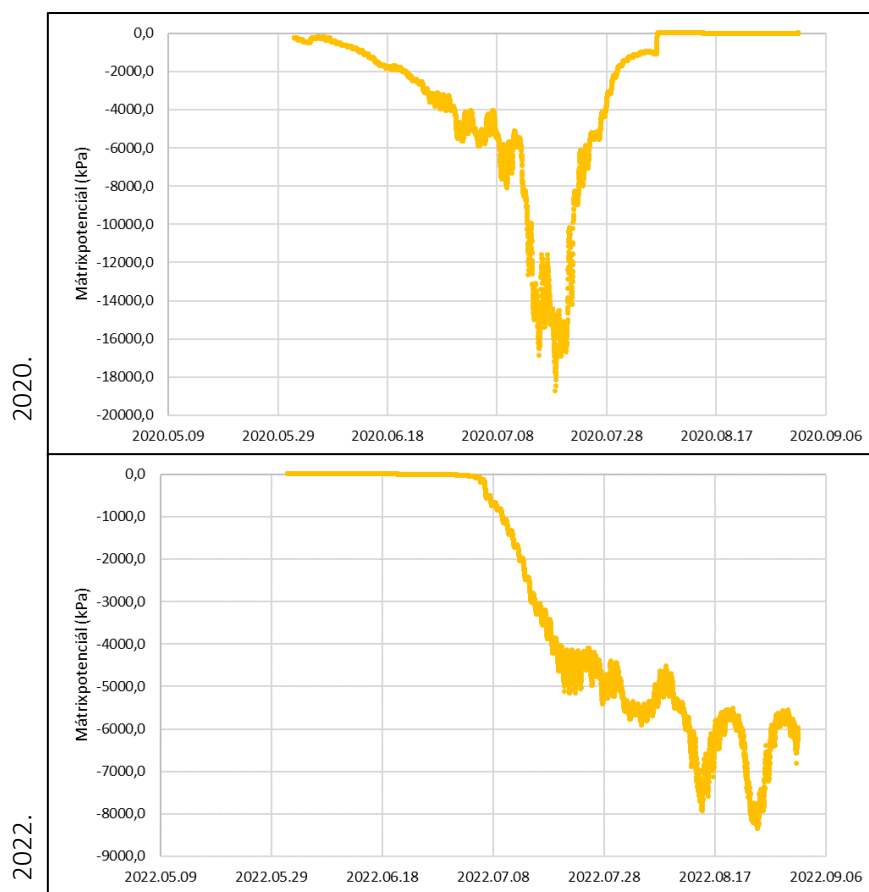
Jól kivehető a 13. ábrán, hogy Almamelléken és Palkonyán a mátrixpotenciál átlagos értéke a nyári hónapokban egyáltalán nem, Almamellék esetében csak 2020 és 2022 nyarán haladta meg a -1500 kPa értéket. 2022 nyarán 8832 negyedóránkénti mérésből 4939 esetben (~56 %), 2020 nyarán pedig szintén 8832 mérésből 4357 alkalommal, az esetek ~49,3 százalékában haladta meg a mátrixpotenciál a hervadáspontot. Bodán a vizsgált nyarak mindegyikén legalább egy mérőponton vagy meghaladta a mátrixpotenciál átlagos értéke a -1500 kPa értéket, vagy jelentősen megközelítette azt. Törésekkel ugyan, de jól látható a mátrixpotenciál értékek általános csökkenő (ha szívóerőként tekintünk rá, növekvő) trendje.



13. ábra: Átlagos mátrixpotenciál értékek a nyári hónapokban 10 és 30 cm-es mélységben mérve mérőállomásonként (kPa)

Az Almamellék felsőn rögzített 2020. és 2022. évi nyári szélsőséget idősorosan ábrázolva (14. ábra) látszik, hogy 2020-ban már június elejétől csökkent a mátrixpotenciál értéke, majd július hónap közepén kiugró csökkenéssel elérte a minimumát -18771,3 kPa-on. A kiszáradási esemény augusztus első napjaira véget ért.

A 2022-ben jelentkező száraz időszak enyhébb, ám időben kiterjedtebb volt. A mátrixpotenciál értékei csak júliusban kezdtek csökkenni. Az első lokális minimumot augusztus 14-én produkálta -7941,37 kPa értékkel, majd kerekén tíz nappal később érte el a nyári minimumát -8371,35 kPa értékkel. A kiszáradási esemény abszolút minimuma végül csak szeptember 25-én a hajnali órákban jelentkezett -46740,7 kPa szívóerővel, amely alig öt nap alatt -10,3 kPa értékig emelkedett, és ezután az esztendő végéig minimális változásokkal tartósan fenn is állt.

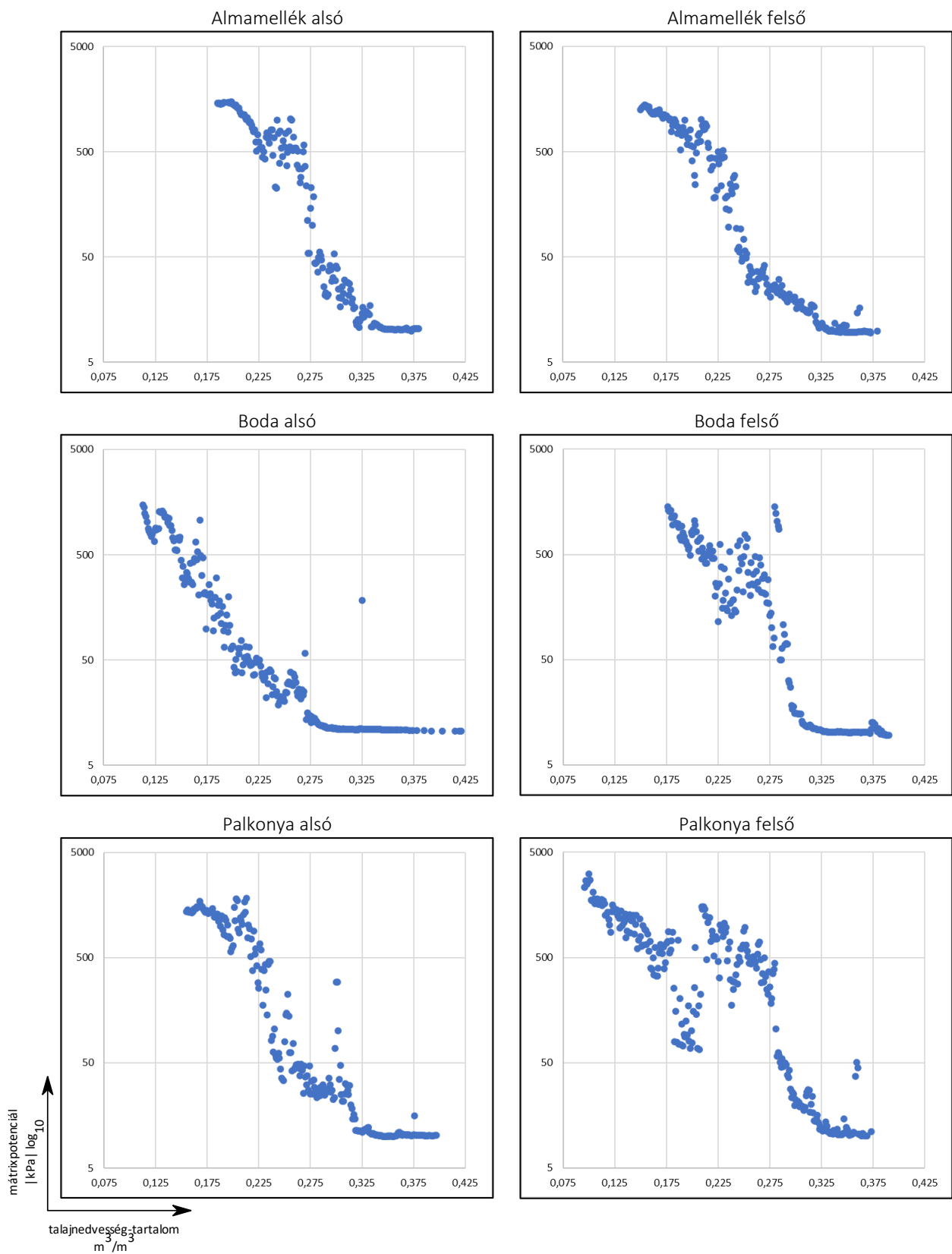


14. ábra: Almamellék felső mérőhelyen rögzített nyári kiszáradási események 2020 és 2022 nyarán

3.3. Vízvisszatartási görbék

A talajnedvesség és a mátrixpotenciál adatok alapján elkészítettem a hat mérőállomás vízvisszatartási (pF) görbéit (15. ábra). Jól elkülöníthető, hogy Almamellék és Boda esetében a ponthalmazra könnyedén illeszthető görbe is, míg Palkonya esetében a pontok hiszterézisnek köszönhető „szétrobbanása” azt mutatja, hogy ugyanazt a vízmennyiséget változó negatív nyomással (szívóerővel) tartja vissza a talaj.

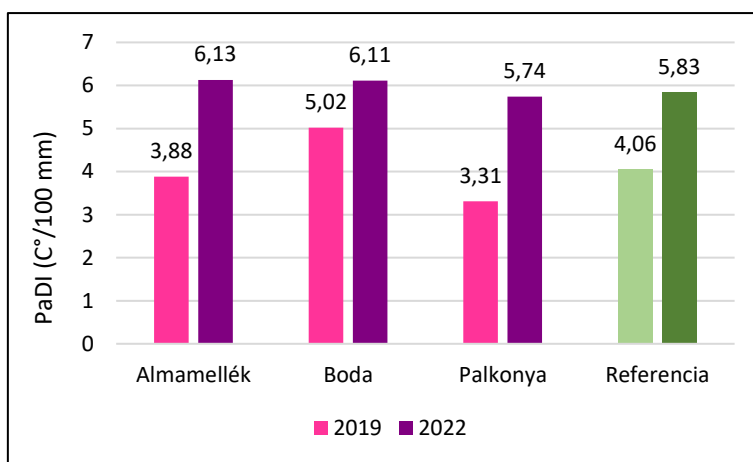
Boda felső esetében ez a szórás jellemzően a $0,225\text{--}0,300 \text{ m}^3/\text{m}^3$ intervallumban figyelhető meg. Palkonyán szélesebb tartományban, és már alacsonyabb, $0,175$ és $0,275 \text{ m}^3/\text{m}^3$ talajnedvesség-értékek mellett is észlelhető a jelenség. Különbség jelentkezik a pF-görbék végén jelentkező stabilitás elérésében is. Almamellék és Palkonya esetében $0,325 \text{ m}^3/\text{m}^3$ és afeletti nedvességtartalom mellett már megközelítőleg azonos, stabil szívóerő mutatkozik, míg Bodán ezt az állapot már $0,270\text{--}0,300 \text{ m}^3/\text{m}^3$ értékek mellett is észlelhető.



15. ábra: A mérőállomások talajainak vízvisszatartási (pF) görbéi

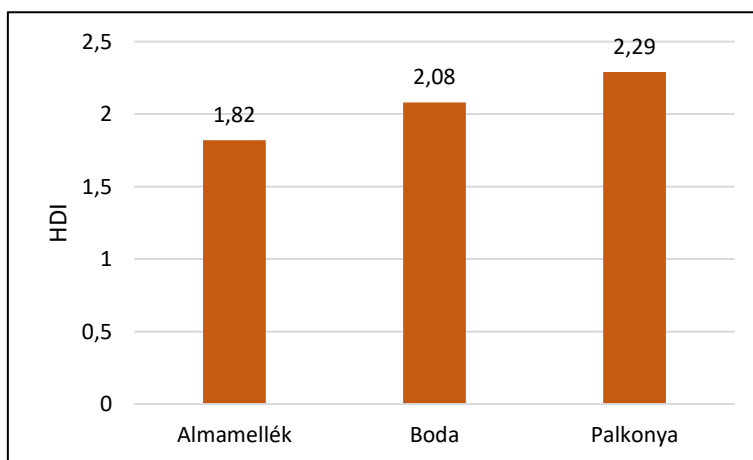
3.4. Aszályossági indexek a vizsgált területeken

Minden csapadékmérővel felszerelt mérőállomás esetén kiszámítottam a Pálfai-féle aszályindexet a 2019-es és 2022-es évekre (16. *ábra*). Referenciaként felhasználtam a Pécs, Jegenyés utcai meteorológiai állomás adatait is. A Pálfai által besorolt aszályossági minősítések alapján Almamellék és Palkonya 2019-ben még aszálymentes volt, Boda az első fokozatba, enyhén aszályos területnek sorolható. 2022-ben mindhárom mérőponton jelentős súlyosbodást láthatunk. Almamellék az aszálymentes minősítésből két fokozatot lépett előre, a 2022-es évben mérsékelt aszályosnak minősül Bodához hasonlóan. Palkonyán a legszámottevőbb a két év különbsége, azonban 2022-ben is csak enyhén aszályos besorolású a terület.



16. ábra: Pálfai-féle aszályindex értékei 2019-ben és 2022-ben a vizsgált mérőpontokon

A HDI index kiszámításakor (17. *ábra*) minden mérőponton a legszárazabb napokat vettem számításba, hogy minden vizsgálati helyszínen az aszályossági maximumot számszerűsíthessem. Az eredmények alapján Almamelléket közepesen vízhiányos, Bodát és Palkonyát pedig erősen vízhiányos kategóriába sorolhatjuk.



17. ábra: HDI értékek az egyes települések legszárazabb napjainak adatai alapján

4. Konklúziók és összegzés

4.1. A fenntarthatóság különböző dimenziói eredményeink tükrében

A kutatás során kapott eredményeink mérsékelt övben, szubhumid kontinentális éghajlaton jól alkalmazhatók. Megállapítást nyert, hogy a három vizsgált felszínhasználati forma közül nem lehet egy minden tekintetben fenntarthatót és optimálisat megjelölni. Az átlagos talajnedvességtartalom alapján a legelő, mint felszínhasználat típus tűnt optimálisnak, azonban ott is előfordultak olyan időszakok, amikor a mátrixpotenciál értékek a hervadásponthoz alá csökkentek. Nagyon tág határok között mozgott a palkonyai terület nedvességtartalma is, főként a felső állomás esetében, ezt mutatja a legelőhöz képest negatívabb aszályindex (HDI) szerinti besorolása is. A különbségek megítélése a csapadék időbeli eloszlása alapján különösen nehéz annak ellenére, hogy a három vizsgálati helyszín 4-éves csapadékösszege szinte megegyezett (2491, 2511 és 2522 mm, Palkonya, Boda és Almamellék esetében, ebben a sorrendben). Az átlagos éves talajnedvesség értékek alapján a négy vizsgálati év alatt jellemzően szárazodási trend volt megfigyelhető mind a három felszín-használat típus esetében. Érdekes módon az alsó állomások jellemzően nem rendelkeztek magasabb nedvességtartalommal, mint a felső állomások, a bodai helyszín kivételével. A korábbi tapasztalatoknak és eredményeknek megfelelően a 30 cm mélységben mért talajnedvesség értékek magasabbak voltak és kisebb mértékben ingadoztak, mint a 10 cm-es mélységben mért értékek. A megfelelő értékelésekkel és összehasonlítással azonban differenciálhatók az egyes felszínhasználat-típusok előnyei és hátrányos tulajdonságai, ezzel együtt pedig a hozzájuk kapcsolódó kihívások és lehetőségek is.

Vizsgálataim kiindulási alapot biztosíthatnak a mezőgazdasági tevékenységek hosszútávú tervezéséhez a klímaváltozás hidrológiai hatásainak és tendenciáinak prognosztizálásával. A megfelelő tervezés és veszélyelemzés megbízható stratégiát jelent az egyre gyakoribb és egyre súlyosabb időjárási szélsőségekkel szemben, különös tekintettel a vízhiányos állapotokra.

Juhos et al. (2019) is kiemeli tanulmányában, hogy aszályra hajlamos éghajlati viszonyok között a mezőgazdaság növényei rendkívül érzékenyek a talaj vízmegtartó képességére, amely alapvetően képes befolyásolni a terméshozamot is. Kitér arra is, hogy a tartós szárazság negatív irányba mozdíthatja el a vízvisszatartási képességet még az olyan talajokon is, ahol a természeti tényezők – mint a talajvízszint és a kapilláris peremzóna mélysége, illetve a talajtextúra – egyébként megfelelő alapot biztosítanak a kiegyensúlyozott talajnedvesség-dinamikának.

Bár az aszályal szemben kézenfekvő megoldásnak tűnik a vízhiány öntözéssel történő pótlása, az éghajlatváltozás hatásai miatt egyre kevésbé mondható fenntartható módszernek. Az egyre melegebb időjárás ugyanis növeli az evapotranspirációt, és jelentősen befolyásolja a kiszáradó feltalaj vízelvezetési képességét. Ebből fakadóan a lefolyás mértéke és az öntözéssel utánpótlott vízmennyiség párolgásának sebessége is megnő. Az öntözéssel vízpótlásnak tehát nem csak a fenntarthatósága, de hatékonysága is megkérdőjelezhetővé válik (Malek et al. 2018).

Sokkal optimálisabb alternatívának mutatkoznak azok a művelési módszerek, amelyek a minimális bolygatás elvén csökkentik az evapotranspirációt és a lefolyás mértékét, valamint növelik a talaj szervesanyag-tartalmát, beleértve a hasznos lazító tevékenységet ellátó edafontagokat is. A kímélő művelés jótékony hatást gyakorol a talajban lévő makrotápelemek egyensúlyára és mennyiségére is (Bádonyi et al. 2006).

4.2. Fizikai talajféleség és a vízvisszatartási görbék kapcsolata

A lézerdiffrakciós szemcseméret-meghatározás alapján megállapítható volt, hogy a három vizsgált talaj textúrája igen hasonló. A vízvisszatartási görbék szintén a vályogra jellemző tulajdonságokat hordozzák, azonban rávilágítottak arra is, hogy az összehasonlítás során figyelembe kell vennünk az agyagos vagy homokos jelleg felé elmozdulást is, hiszen tetszőleges mátrixpotenciál értékek mellett a durva homoktól a nehéz agyagig haladva a talaj egyre nagyobb mennyiségű nedvesség visszatartására képes (Tóth 2011). Ezt erősíti meg Czigány et al. (2020) Villányi-hegységben végzett vizsgálata is, melyben azt tapasztalta, hogy a szőlőültetvények hegylábi fekvésű talajainak magasabb agyagtartalma befolyásolta a diszponibilis víz mennyiségére.

Lényeges azonban, hogy a talaj nedvességdinamikája rendkívül érzékeny a külső környezeti és belső hatásokra is, így azt befolyásolhatja többek között a lejtőhelyzet, a felhőzöttség mértéke, a besugárzás intenzitása és időbeli eloszlása, valamint a korábban tárgyalt szervesanyag-tartalom is. Az általam vizsgált térségben korábbi tanulmányok is kiemelik a szoros kölcsönhatást a nedvességdinamika és a táj jellege között (Czigány et al. 2020; Dezső et al. 2019).

4.3. A vizsgált tényezők kiegyensúlyozottsága

A vizsgált időszakban a talajnedvesség-értékek szórása a legelő esetében volt a legalacsonyabb, a gyümölcsös esetében pedig a legmagasabb. Előbbi esetében tehát a talaj nedvesebb és szárazabb időszakai gyakrabban váltották egymást, vagy a változások mértéke szélsőségesebb volt.

Különös veszélyt jelent a terméshezámra a csapadékszegény ősz és tél, illetve a meleg és száraz tavasz. A bodai szántóföld a három felszínhasználati típus közül a legalacsonyabb átlagos talajnedvességet, illetve a második legnagyobb mértékű ingadozást produkálta a vizsgálati időszakban, ezzel rávilágítva arra, hogy pont a szántóföld célból fenntartott talaj a legveszélyeztetőbb a kalászosok, különösen a búza számára (Erdélyi 2008). Kiemelendő azonban, hogy a szántóföldi viszonyokat vizsgáló állomás a szántóterület szélén helyezkedik el gyakorlati okokból.

Hasonlóan szignifikáns különbséget talált az egyes felszínhasználati módok között Wyatt et al. (2021) is. A vizsgált szántóföld esetében évi 1425 mm, lombhullató fákkal borított területen 1403 mm, füves pusztában pedig 1352 mm átlagos éves evapotranspirációt rögzítettek.

Az almamelléki legelő igen kedvező és kiegyensúlyozott eredményeket produkált a vizsgálat során, ellenben amikor negatív hatások mutatkoztak rajta, azok intenzitása sokkal nagyobb volt a másik két vizsgált felszínhasználatához képest. A Pálfa-féle aszályossági index mutatója ezen a területen mutatta a legsúlyosabb aszály-állapotot, valamint a mátrixpotenciál-értékek éves átlagának két legmagasabb értékét is a legelőn mértük.

4.4. Összegzés

Eredményeink hasznosak lehetnek a mezőgazdaságban dolgozók számára, különösen a mérsékelt öv szubhumid kontinentális éghajlatán. Ugyanis a kontinentális éghajlaton igen nehéz az időjárási és klimatikus viszonyok megbízható előrejelzése, köszönhetően a szélsőségeknek, a domborzatnak, illetve az óceánoktól számított nagy távolság miatt. Ezt jól bizonyítja hazánk aszályos periódusainak mind gyakoribb megjelenése is: ilyeneket regisztrálhattunk a 2000-es évek elején, valamint 2021-2022-ben is. Bármikor megdőlhettek a pozitív vagy negatív csapadékreordok, előfordulhat egy adott évszak megszokott jellegétől eltérő időjárás. Megfelelő mérési módszerekkel azonban tetten érhetők a klímaváltozás hatásai, és úgy tűnik, a fokozatos felmelegedés, az egyre szegényebb csapadék, a mindinkább szárazabb őszi és téli hónapok, valamint a csapadékszegény nyarak változásokat fognak indikálni. Különösen kitett a mezőgazdasági szektor, hiszen terményeinek mennyiségét és minőségét főként a klíma és a talajaink minősége határozza meg. A növekvő kereslet pedig egyre nagyobb mértékben veszi igénybe a termőföld eltartóképességét.

Az agrárium alkalmazkodása megváltozott éghajlatunkhoz már nem csak optimum vagy cél, hanem szükség. Az aszályval való küzdelem nem újkeletű jelenség, csak míg a korai történelemben a súlyos aszályok akár városok kihalását is okozhatták, napjaink modern technológiája lehetővé teszi a szakszerű és tudatos felkészülést. Kiemelten fontosak a

hosszútávú kutatások, melyek a klimatikus és hidrológiai trendek változásaira, valamint veszélyeztetettség szerinti területi differenciálással az adott helyre adott időben történő intervenciós lehetőségekre fókuszálnak.

A megfelelő felszínhasználati formák kiválasztása helyi éghajlatokhoz nagyon fontos a fenntartható mezőgazdaság fényében. Az ilyen típusú gazdálkodásához és növénytermesztéshez azonban részletes, helyspecifikus környezeti, valamint pedogeográfiai és hidrometeorológia vizsgálatok szükségesek. A jelen tanulmány ezekhez a vizsgálatokhoz próbál adatokat nyújtani, azonban további részletes vizsgálatokra van szükség a pontosabb kép érdekében, illetve az ökoszisztéma szolgáltatások helyspecifikus optimalizálása érdekében. A vizsgálatokat, lehetőség szerint kontrolláltabb körülmények között, kisebb földrajzi távolságokon belül, valamint megfelelő hidrológiai modellek (pl. Hydrus) használatával, illetve a lokális vízmérleg pontos figyelembevételével lehet pontosítanunk a jövőben.

Irodalomjegyzék

1. Alsó-Tisza-vidéki Vízügyi Igazgatóság. (2012). *Palfai Drought Index (PaDI) – A Pálfai-féle aszályindex (PAI) alkalmazhatóságának kiterjesztése a Dél-Kelet Európai régióra*. ATIVIZIG. http://www.ativizig.hu/projektek/dmcsee/dok/ThePalfaiDroughtIndex_PaDI_Extension.pdf
2. Bádonyi, K. (2006). A hagyományos és a kémelő talajművelés hatása a talajerózióra és az élővilágra. *Tájakölögi Lapok*, 4(1), 1-16.
3. Barczy, A., Harrach, T., & Nagy, V. (2014). "A gazdálkodó legjobb munkatársa a földigilisza" - avagy a minimális talajbolygatás jótékony hatása a talajszerkezetre. *ECONOMICA*, 2.
4. Biacs, P., Kocsondi, C., & Dobos, G. (2004). A magyar mező- és erdőgazdaság feladatai a klímaváltozás tükrében. *"AGRO-21" füzetek*, 33, 70-83.
5. Czigány, Sz., Novák, T. J., Pirkhoffer, E., Nagy, G., Lóczy, D., Dezső, J., Fábán, Sz. Á., Świtonik, M., & Charzyński, P. (2020). Application of a topographic pedosequence in the Villány hills for terroir characterization. *Hungarian Geographical Bulletin*, 69(3), 245-261. <https://doi.org/10.15201/hungeobull.69.3.2>
6. Davie, T. (2019). *Fundamentals of hydrology* (2nd ed.). Routledge.
7. Dezső, J., Czigány, Sz., Nagy, G., Pirkhoffer, E., Słowik, M., & Lóczy, D. (2019). Monitoring soil moisture dynamics in multilayered Fluvisols. *Bulletin of Geography. Physical Geography Series*, 16(1), 131-146. <https://doi.org/10.2478/bgeo-2019-0009>
8. Erdélyi, É. (2008). *Az őszi búza termesztetőségi feltételei az éghajlatváltozás függvényében* [PhD értekezés]. <https://core.ac.uk/download/pdf/33420363.pdf>
9. Fiala, K., Barta, K., Benyhe, B., Fehérvári, I., Lábdy, J., Sipos, G., & Györffy, L. (2018). Operatív aszály- és vízhiánykezelő monitoring rendszer. *Hidrológiai Közölny*, 98(3), 14-24.
10. Gyárfás, J. (1922). *Sikeres gazdálkodás szárazságban. Magyar Dry Farming*. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest.
11. Hakenbeck, S. E., & Büntgen, U. (2022). The role of drought during the Hunnic incursions into central-east Europe in the 4th and 5th centuries CE. *Journal of Roman Archaeology*.
12. Juhos, K., Czigány, Sz., Madarász, B., & Ladányi, M. (2019). Interpretation of soil quality indicators for land suitability assessment – A multivariate approach for central European arable soils. *Ecological Indicators*, 99, 261-272. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.11.063>
13. Lóczy, D., Nagy, G., & Czigány, Sz. (2020). A tájszerkezet és a talajnedvesség megőrzése dombsági területeken. In A. Farsang, Zs. Ladányi, & L. Mucsi (szerk.), *Klimaváltozás okozta kihívások - Globálistól lokálisig*. SZTE TTIK Földrajzi és Földtudományi Intézet. 216 p. pp. 147-158. , 12 p.

14. Nagy, G. (2020). *A talajnedvesség numerikus modellezhetősége és térbeli kiterjeszhetősége ártéri képződmények esetén* [PhD értekezés].
<https://pea.lib.pte.hu/bitstream/handle/pea/23709/nagy-gabor-phd-2020.pdf?sequence=1>
15. Nagy, G., Ciglic, R., Czigány, Sz., Hrvatin, M., Fábíán, Á. Sz., Ferk, M., Pirkhoffer, E., Zorn, M., & Lóczy, D. (2019). Topographic wetness index usability for the identification of soil moisture contents in SW Hungary. In D. Ribeiro, M. Gabrovec, P. Gasperic, M. Gersic, & M. Koderman (Eds.), *IGU Thematic Conference "Transformation of Traditional Cultural Landscapes": Abstract and Guide Book*. Založba ZRC. 112 p. pp. 85-85. , 1 p.
16. Nagy, G., Lóczy, D., Czigány, Sz., Hrvatin, M., & Ciglič, R. (2021). Comparison of soil moisture indices and field measurements in hilly agricultural lands of SW Hungary. *Landscape & Environment*, 15(1), 50-57. <https://doi.org/10.21120/le/15/1/7>
17. Nagy, G., Lóczy, D., Czigány, Sz., Pirkhoffer, E., Fábíán, Sz. Á., Ciglič, R., & Ferk, M. (2020). Soil moisture retention on slopes under different agricultural land uses in hilly regions of southern Transdanubia. *Hungarian Geographical Bulletin*, 69(3), 263-280. <https://doi.org/10.15201/hungeobull.69.3.3>
18. Országos Vízügyi Főigazgatóság. (2015). *Hungarian Drought Index (HDI)*. OVF. <https://aszalymonitoring.vizugy.hu/index.php?view=info>
19. Pálfi, I. (1990). *Description and forecasting of droughts in Hungary* [Conference session]. Proceedings 14th International Congress on Irrigation and Drainage, Rio de Janeiro, Brazil.
20. Pörtner, H. O., Roberts, D. C., Tignor, M., Poloczanska, E. S., Mintenbeck, K., Alegría, A., Craig, M., Langsdorf, S., Löschke, S., Möller, V., Okem, A., & Rama, B. (2022). *IPCC Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability*. Cambridge University Press.
21. Salazar, L., Tolisano, J., Crane, K., Wheeler, L., Kuile, M., & Radtke, D. (1994). *Irrigation Reference Manual*. Agro Engineering, Inc.
22. Shipitalo, M. J., & Edwards, W. M. (1998). Runoff and erosion control with conservation tillage and reduced-input practices on cropped watersheds. *Soil and Tillage Research*, 46(1-2), 4.
23. Thornthwaite, C. W. (1944). A contribution to the report of the committee on transpiration and evaporation. *Transaction of the American Geophysical Union*, 25, 686-693.
24. Thornthwaite, C. W. (1954). A re-examination of the concept and measurement of potential evapotranspiration. *John Hopkins University Publications of Climatology*, 7, 200-209.
25. Tóth, B. (2011). *Jellegzetes hazai talajok víztartó képességének számítása és jellemzése talajtérképi információk alapján* [PhD értekezés].
http://real-phd.mtak.hu/590/1/Toth_Brigitta_dissertation.pdf

26. Wyatt, B. M., Ochsner, T. E., & Zou, C. B. (2021). Estimating root zone soil moisture across diverse land cover types by integrating in-situ and remotely sensed data. *Agricultural and Forest Meteorology*, 307, 108471. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2021.108471>
27. Zhu, L., He, J., Tian, Y., Li, X., Li, Y., Wang, F., Qin, K., & Wang, J. (2022). Intercropping wolfberry with gramineae plants improves productivity and soil quality. *Scientia Horticulturae*, 292.

Köszönetnyilvánítás

Ezúton szeretném kifejezni köszönetemet témavezetőmnek, Czigány Szabolcsnak, hogy felkeltette az érdeklődésemet a téma iránt, és folyamatosan segítette a munkámat tanácsaival, visszajelzéseivel és szakmai ismereteivel.

Köszönöm a szüleimnek, testvéreimnek, szaktársaimnak és barátaimnak, különösen Emesének, Eriknek és Tibinek, hogy támogattak e célom megvalósításában.

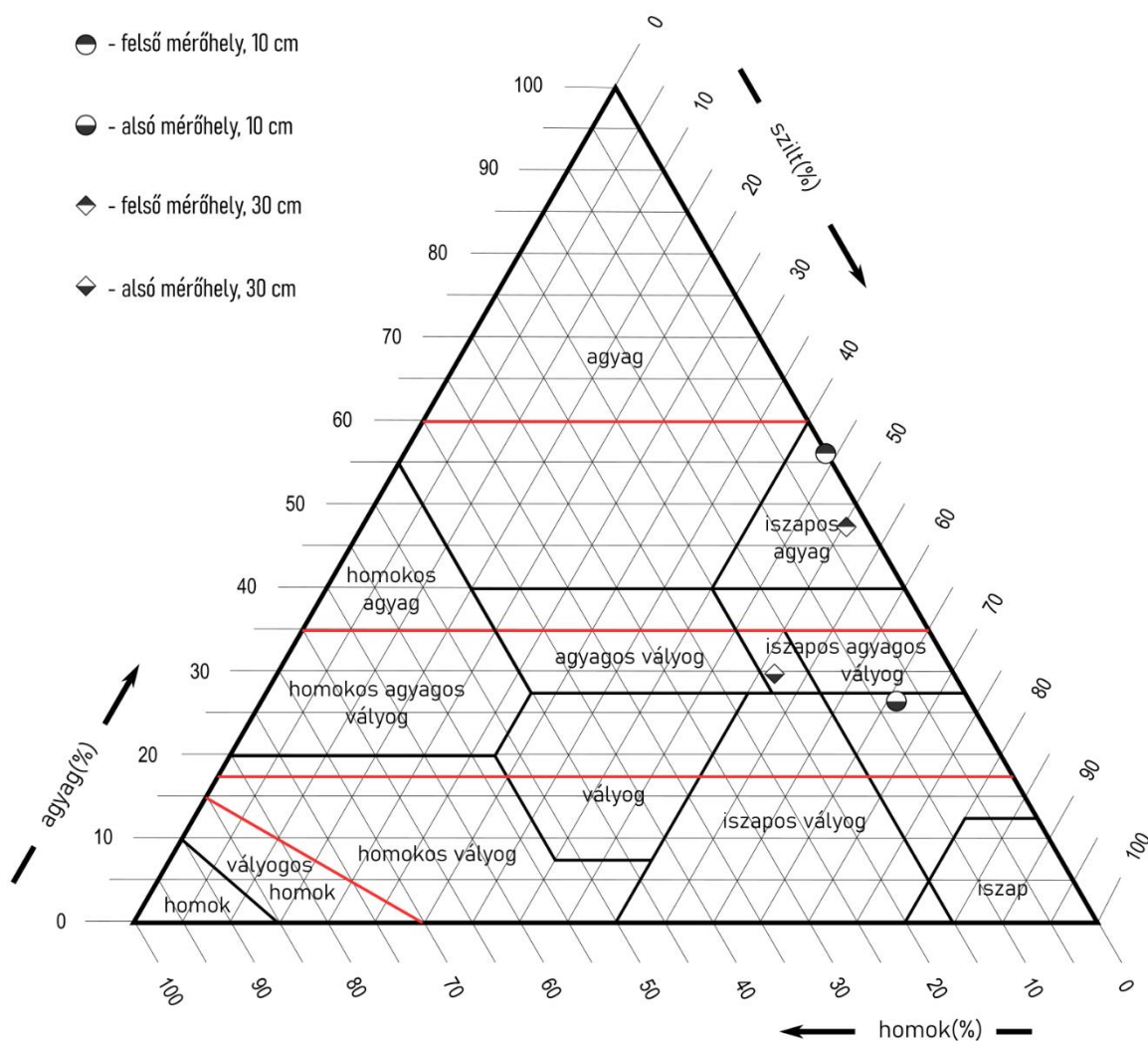
Szeretném megköszönni a Pécsi Tudományegyetem Földrajzi és Földtudományi Intézetének a kutatásomhoz nyújtott minden támogatásukat.

A kutatásban használt mérőállomások szenzorainak beszerzését a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Hivatal SNN 125727 számú OTKA pályázatának támogatása tette lehetővé.

„A” melléklet

*Az Almamellék településen kihelyezett mérőállomásoknál vett talajminták textúrája
Atterberg-féle háromszögben ábrázolva*

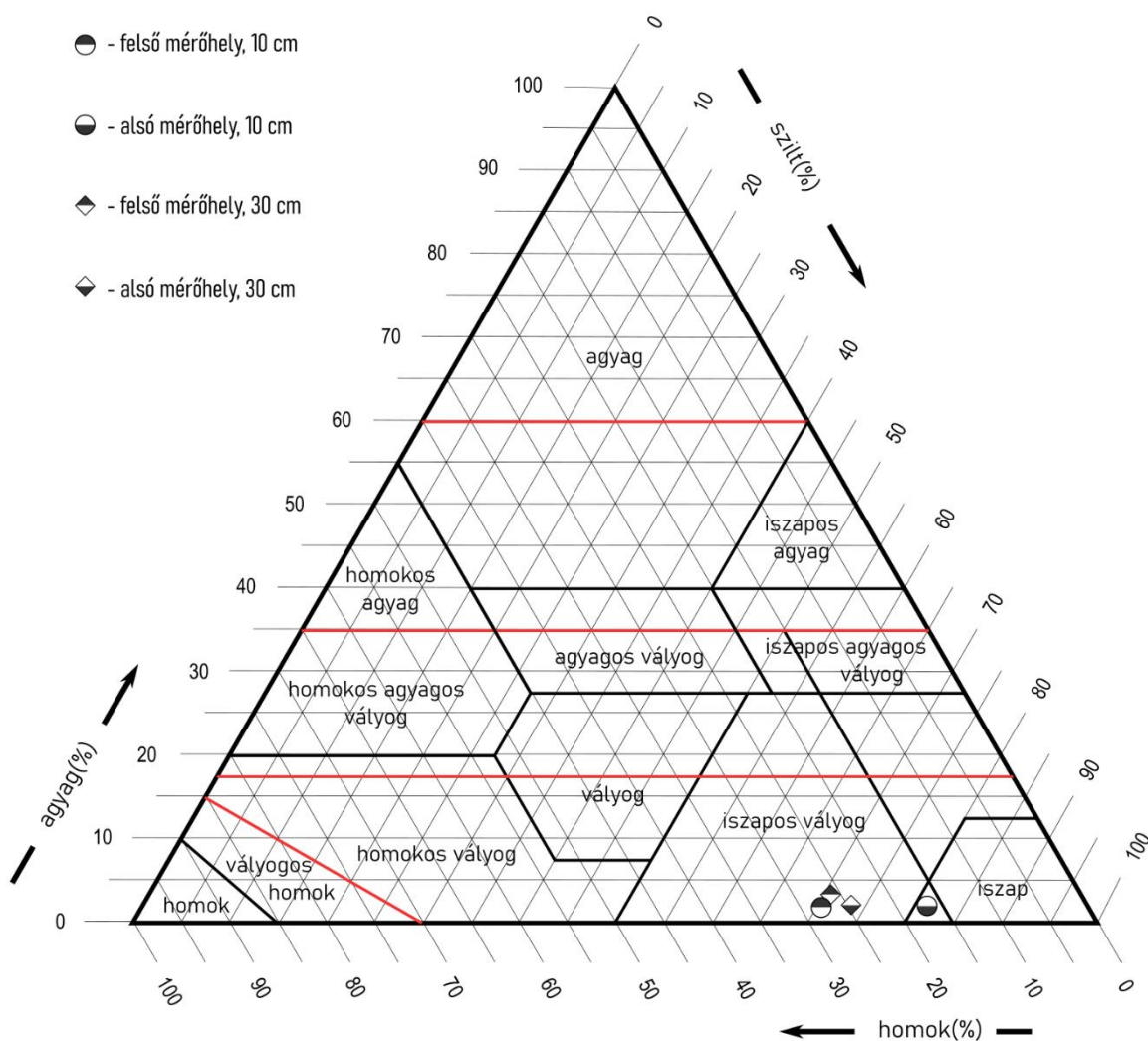
ALMAMELLÉK



„B” melléklet

A Boda településen kihelyezett mérőállomásoknál vett talajminták textúrája Atterberg-féle háromszögben ábrázolva

BODA



„C” melléklet

Az Palkonya településen kihelyezett mérőállomásoknál vett talajminták textúrája Atterberg-féle háromszögben ábrázolva

PALKONYA

