

DIPLOMADOLGOZAT

Fatér Katalin

2024



**Magyar Agrár- és Élettudományi
Egyetem
Szent István Campus
Növénytermesztési-tudományok Intézet
Agrármérnöki osztatlan szak**

**JELENTŐSEBB HAZAI SZÁNTÓFÖLDI NÖVÉNYEK
VÍZLÁBNYOMÁNAK SZÁMÍTÁSA**

Belső konzulens: Dr. Waltner István
egyetemi docens

**Belső konzulens
intézete/tanszéke:** Környezettudományi Intézet
Vízgazdálkodási és
Klímaadaptációs Tanszék

Készítette: **Fatér Katalin**

**Gödöllő
2024**

Tartalom

1	Bevezetés és célkitűzések.....	5
2	Szakirodalmi áttekintés	7
2.1	A búza	7
2.1.1	A búza jelentősége, rendszertana és származása.....	7
2.1.2	A búza felhasználása, morfológiája és beltartalmi értékei	8
2.1.3	A búza környezeti igénye	9
2.2	A kukorica	11
2.2.1	A kukorica jelentősége, rendszertana és származása	11
2.2.2	A kukorica felhasználása, morfológiája, beltartalmi értékei.....	12
2.2.3	A kukorica környezeti igénye	13
2.3	A napraforgó	15
2.3.1	A napraforgó rendszertana, származása	15
2.3.2	A napraforgó morfológiája, beltartalmi értékei, felhasználása	16
2.3.3	A napraforgó környezeti igénye	17
2.4	Magyarország természeti adottságai	20
2.5	Vízlábnyom	22
2.5.1	A vízlábnyom fogalma és általános áttekintése	22
2.5.2	A kukorica és búza vízlábnyoma	23
2.5.3	A napraforgó vízlábnyoma.....	25
2.5.4	Vízlábnyom kutatások Magyarországon.....	25
2.6	Növekedési modellek	26
2.7	AquaCrop modell	27
2.8	Mann-Kendall teszt	28
3	Alkalmazott módszerek.....	29
3.1	Felhasznált adatok:	29
3.2	Felhasznált módszerek, programok:.....	30
3.2.1	AquaCrop:	30
3.2.2	Mann-Kendall teszt:	30
3.2.3	QGIS.....	30
4	Eredmények és értékelésük	31
4.1	KSH adatok elemzése:	31
4.2	Mann-Kendall teszt	34
4.3	AquaCrop	36
5	Következtetések és javaslatok	45

6	Összefoglalás.....	46
7	Köszönetnyilvánítás	48
8	Irodalomjegyzék.....	49
9	Ábrák és táblázatok jegyzéke	54
10	Nyilatkozatok	55
11	Mellékletek.....	57

1 Bevezetés és célkitűzések

A Földön található összes víz 97,3%-a az óceánokban és tengerekben található sós víz, tehát az összes édesvíz-készlet csupán 2,7%. Ennek az édesvíz-mennyiségnek több, mint a fele jég, illetve hó formájában található meg, így a felhasználható vízmennyiség 0,03%-a a Föld teljes vízkészletének (Szálkainé, 2014, Szöllősi-Nagy 2018, Dávidovits 2011). Az édesvíz 22,4%-a talajnedvesség és talajvíz formájában található meg, a tavakban, állóvizekben 0,35%, a légkörben 0,04%, a folyókban pedig összesen csak 0,01% víz található (Kovács, 1997). Ebből is látszik, hogy annak ellenére, hogy a Föld felszínének 71%-át borítja víz, az elérhető édesvíz-készlet ennek igen kis %-át adja ki, és ezért fokozott figyelmet kell fordítani a felhasználására. A Földön található édesvíz-készletekre egyre nagyobb hatással van a növekvő vízfogyasztás és vízszennyezés. Ugyanakkor nem lehet az édesvíz-készleteket érintő folyamatokat csak helyi hatásokkal mérni, hanem globális szinten kell vizsgálni (Hoekstra & Mekonnen, 2012).

A globálisan növekedő népesség az élet számos területén állít fel kihívásokat. Az 1999. évben lépte át a 6 milliárd főt a Föld népessége, ez az adat 2023-ra meghaladta a 8 milliárdot ([http1](#)). A népességnövekedés hatására a mezőgazdasági termelésnek egyre nagyobb igényt kell kielégítenie, azonban ezzel szemben az egy főre jutó földterület nagysága jelentősen lecsökkent. Ezzel együtt nő a vízfelhasználás és a vízigény, különösen az édesvíz iránti kereslet. 1972-ben világszinten az egy főre jutó mezőgazdasági terület nagysága 1,2 hektár/fő volt, ez a népességnövekedés hatására 2023-ra a felére, azaz 0,6 hektár/főre csökkent ([http2](#)).

A mezőgazdasági termelés sikerességét elsődlegesen a klimatikus viszonyok határozzák meg. Emellett természetesen a fajtaválasztás, növényvédelem, tápanyagutánpótlás és az agrotechnikai módszerek is közrejátszanak. Az olyan környezeti tényezők, mint a hőmérséklet, csapadék és páratartalom, jelentősen befolyásolják a termés mennyiségét és minőségét. A klímaváltozás nemcsak a globális hőmérséklet emelkedését jelenti, hanem a szélsőséges meteorológiai jelenségek előfordulásának gyakoriságát is. A klímaváltozás hatása miatti aggodalmak már az 1990-es években is aktívan jelen volt a köztudatban, illetve a mezőgazdaságra gyakorolt hatásainak kutatásában is (Adams et al. 1998). Egyre gyakoribb aszályokhoz, árvizekhez, belvizekhez, korai- valamint késői fagyokhoz és felmelegedésekhez kell alkalmazkodnia a mezőgazdasági termelésnek, törekedve a stabil terméshozam biztosítására (Biacs, 2011).

Magyarország teljes területét tekintve erdőkkel együtt 80% körüli a mezőgazdasági területek aránya, ez az érték erdőterületek nélkül 55%. Az összes erdő nélküli mezőgazdasági hasznosítású területen belül a szántóterületek aránya 82%, a gyepterületek 16%, gyümölcs

1,6% a szőlő pedig 1,1% (http3). Az elmúlt 20 évben az ország öntözött területei 1,5-2,3% között mozogtak, a legutolsó adat a KSH adatbázisából a 2021-es évben 2,2 % volt. Ezek az adatok megmutatják, hogy van még mit fejleszteni az öntözési rendszer kiépítettségén (KSH, 2022). Ez az arány a vízjogilag engedélyezett területekre vonatkozik, a valóságban ennél kevesebb terület van ténylegesen öntözve (Pepó et al. 2013). Figyelembe véve azt, hogy Magyarország több mint 97%-a nem öntözött mezőgazdasági terület, nagyobb odafigyelést igényel a termesztési technológiák és fajták kiválasztása és az egyes növények vízfelhasználási igénye (KSH, 2024).

A növénynövekedési modellek segítenek a termesztett kultúrnövények kiválasztásában, az alkalmazott növényvédőszer, a tápanyagutánpótlás, és az öntözés idejének és módjának optimalizálásában is. A növénynövekedési modellek segítségével nagyobb betekintést kapunk a növény vízfelhasználási igényről a teljes vegetáció alatt, ezáltal akár optimalizálható a növényválasztás egyes talajtípusokra, valamint tájegységekre.

A kutatásomban szereplő növények kiválasztásánál az elsődleges szempont azt volt, hogy Magyarország növénytermesztésében legmeghatározóbb termesztett kultúrnövényeit vizsgáljam. 2023-ban az öt legnagyobb területen termesztett növény a búza, kukorica, napraforgó, árpa és a repcemag volt (KSH, 2022). Ebből került kiválasztásra a napraforgó, kukorica és a búza.

A kutatásom középpontjában az alábbi kérdésekre való válaszkeresés áll:

- Milyen térbeli tendenciák mutathatóak ki Magyarország vármegyéire a Mann-Kendall teszt segítségével?
- Mennyire mutatható ki a különböző növénykultúrák vízlábnyom értéke az AquaCrop modell segítségével?
- Milyen eltéréseket mutatnak a különböző növények vízfelhasználás értékei több éves idősorra vizsgálva?
- Milyen térbeli változékonyságot adnak a növények az ország különböző régióiban, és ez milyen okokkal magyarázható?

2 Szakirodalmi áttekintés

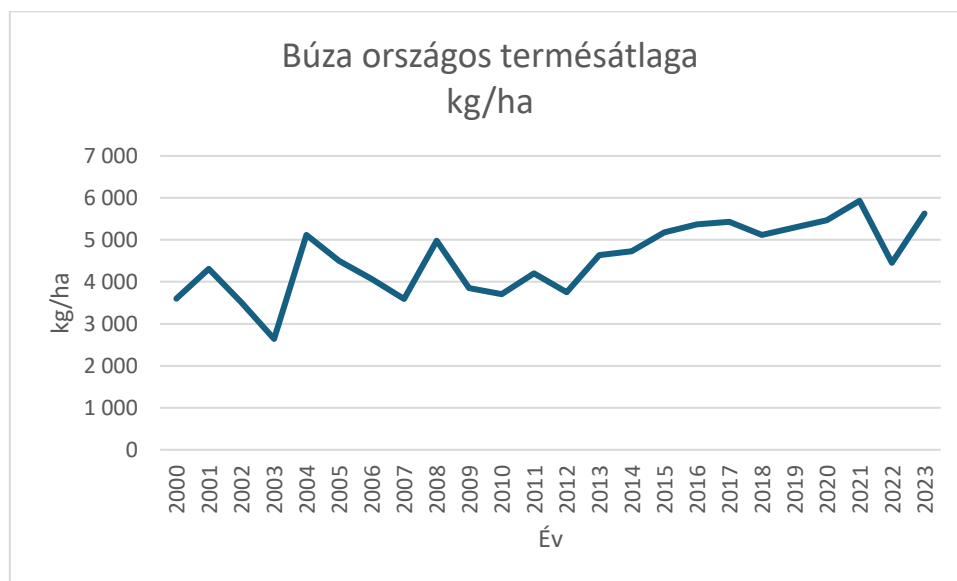
2.1 A búza

2.1.1 A búza jelentősége, rendszertana és származása

A búza világszinten az egyik legértékesebb gabonafélének, amely népélelmezési szempontból az első helyen áll. Magyarországon a legnagyobb termőterületen termesztett növény. 2021-ben a világon 220 759 739 ha területen termeltek búzát, ami közel 770 877 072 tonna termést jelentett. (FAOSTAT) Ugyanebben az évben Magyarországon 892 794 hektár volt a betakarított terület, 5,93 tonna/hektár termésátlaggal. 2022-ben 979 011 hektáron 4,45 tonna/hektár volt a termésátlag. 2023-ban pedig a betakarított terület nagysága tovább emelkedett 1 053 575 hektárra, a termésátlag viszont újra megemelkedett 5,63 tonna/hektárra. A búza országos termésátlagának alakulását a 2000 és 2023 közötti időszakban az 1. ábra szemlélteti. (KSH)

1. ábra: A búza országos termésátlaga 2000-2023

Forrás: Saját szerkesztés KSH (2000-2023) adatok alapján



A búza a pázsitfűfélék családjába (Poaceae) és a búzanemzetségbe (Triticum) tartozik. Kromoszómaszámuk alapján három csoportba lehet sorolni a búzafajokat, ezek a diploid (alakor), tetraploid (tönke) és hexaploid (tönköly) búzák. A közönséges búza (*Triticum aestivum* L.) a pelyvás kultúrbúzák közé sorolható, azaz hexaploid (42 kromoszómával rendelkezik). Származása pedig Délnyugat-Ázsiára vezethető vissza (Radics, 1994).

2.1.2 A búza felhasználása, morfológiája és beltartalmi értékei

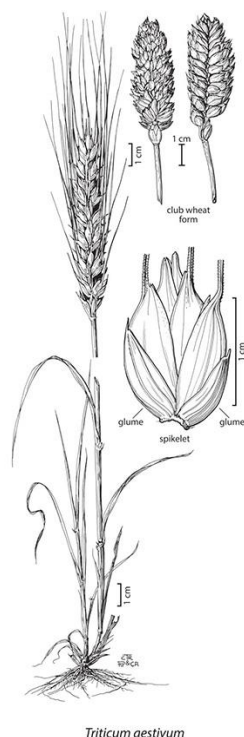
A búzát elsősorban feldolgozott formájában hasznosítjuk, például búzaliszt, kenyér, tészta. Emellett a búza, és az őrleléskor fehérjében gazdag melléktermékként visszamaradó búzakorpa is nagyon jó abraktakarmány. Szalmája pedig kiváló alomanyag, illetve energetikai felhasználásra is van már lehetőség, például szalmacellulóz (Radics 1994). A búza felhasználási területét számos minőségi paraméter befolyásolja, többek között a szem keménysége, illetve a fehérjetartalma (siker) is. Kenyér készítéshez például magas fehérjetartalmú és kemény búzára van szükség.

A búza morfológiáját tekintve tipikus gabonanövény, lásd 2.ábra. Elsődleges és másodlagos gyökerekből álló bojtos gyökérrendszerrel rendelkezik, illetve búzaszalma szárral, amely 80-160 cm magasra nő, és a nodusok internódiumokra osztják. A búza lomblevelei levélhüvely, levéllemez, nyelvecske és fülecske részekből állnak. A levelek a száron átellenesen helyezkednek el. A levéllemez nagysága és alakja a fajták meghatározásában jelentős szerepet játszik. A levélhüvelyek pedig az alsó internódiumokon a szalmaszár szilárdításában meghatározóak. A búza fülecskéi (auricula) szőrözöttek és meghatározása szintén fontos fajtabélyegek közé tartozik (gabona „ABC”). A nyelvecske (lingula) pedig megakadályozza a víz levélhüvelybe való bejutását. A búza általában öntermékenyülő (autogam), de háromféle megporzást különböztethetünk meg: aleogamia, deitogamia és xenogamia. A virága kétivarú. A gabonaféléknek szemtermésük van, melyeknél a terméshéj összenőtt a maghéjjal. A búzának a szemtermése például a zabbal szemben nem pelyvás, hanem csupasz. A szemtermés részei a terméshéj (pericarpium), maghéj (testa), táplálószövet (endospermium), és a csíra (embrió) (Antal 2005, Radics 1994).

A búza fejlődésében a kalászolás előtti 14-18 nap kritikus időszak, melyre a magas hőmérséklet negatív hatással van. Virágzására nyitva virágzás jellemző, ami 11-16 °C felett, illetve a kora reggeli órákban indul meg, és este 19-20 óráig tart (Antal, 2005).

2. ábra: A közönséges búza sematikus rajza

Forrás: <http4>



2.1.3 A búza környezeti igénye

Magyarország teljes területén megfelelő az éghajlat a búza sikeres termesztéshez. -20 és $+40$ °C közötti hőmérsékleten megél, de a hideg telet hótakaróval borítva jobban átvészeli (Antal, 2005). Télállósága kifejezetten jó, hótakaró nélkül akár -20 - -22 fokot is kibír, hóval borítva ennél hidegebbet is (bár az elmúlt évek telei ilyen veszélyt nem jelentettek). 2000-2200 a hőösszegigénye (Pepó et al. 2013). Csapadékmennyiségre nincs nagy igénye, inkább a mennyiség időbeli eloszlása számít. 500-600 mm esővel optimális fejlődés érhető el, de már 300-500 mm esővel is tud termést hozni (Antal, 1987, Antal, 2005). A transpirációs koeficiense pedig 300-350 l/kg (Pepó et al. 2013).

Az őszi búza aszályra leginkább érzékeny termőterületei Magyarországon a nagy homok, illetve agyagtartalmú régiók, ez utóbbi területeknek az aszályérzékenysége a nagy holtvíztartalommal van összefüggésben (Kocsis, 2018b). Magas terméseredményre semleges kémhatású, magas humusztartalmú, középkött, jó vízgazdálkodású és kultúrállapotú talajon lehet számítani. A legalkalmasabbak a csernozjom talajok, viszont réti öntés- és barna erdőtalajon is jó termést ad megfelelő agrotechnikával (Pepó et al. 2013).

A búzákat négy ökotípusba lehet besorolni az ökológiai sajátosságaik alapján. Ez a négy ökotípus a humid éghajlat búzái, a sztyepp típusú búzák, a sivatagi és félsivatagi, illetve a párás magas hegyvidék búzái. Csapadékos és enyhe ősz ideális a csírázáshoz és kezdeti fejlődéshez, hogy megfelelő fenofázisban telelhessen át (Radics, 1994). A vízfelvételének nagy részét április közepe és június közepe közötti időszakban a szárbaindulás és a termésképződés között veszi fel (Pepó et al. 2013). A tavaszi fejlődés megindulásához szintén az enyhe és csapadékosabb időjárás a kedvező. Májusban a csapadékos meleg kedvező, viszont a túl korai nyári meleg kényszerérést okozhat (Radics, 1994). A tavaszi nagy meleg a generatív és vegetatív fejlődésre is negatív hatással van, többek között a bokrosodásra és kalászképződésre is. A nyári nagy meleg pedig a szemkitelítődést befolyásolja negatív irányba (Pepó et al. 2013).

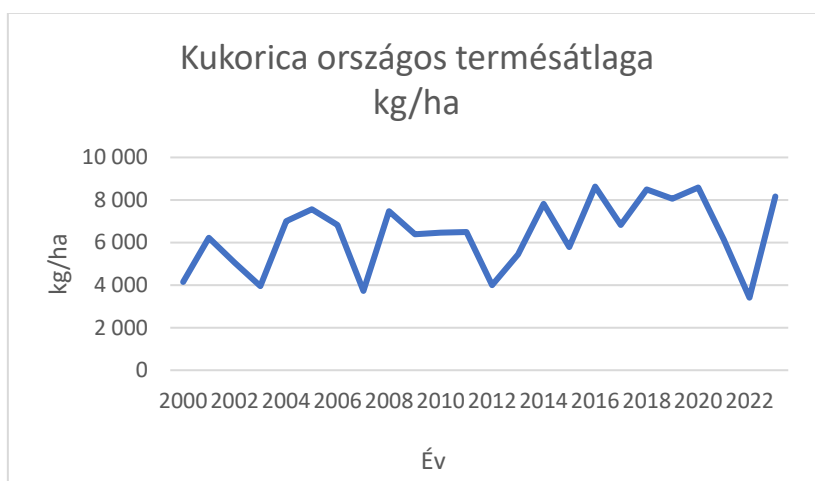
2.2 A kukorica

2.2.1 A kukorica jelentősége, rendszertana és származása

A kukorica, a búza mellett, szintén a legjelentősebb növényeink közé sorolható. Magyarországon 2020-ban 981 006 hektáron termesztették, 8,58 tonna/hektár termésátlaggal. 2021-ben 1 054 566 hektárra növekedett a betakarított terület mérete, de termés hozama 6,13 tonna/hektárra csökkent. Ezzel szemben a 2022. évben a betakarított területek nagysága 816 643 hektárra esett vissza és termésátlaga jelentősen, 3,41 tonna/hektárra romlott. 2023-ra visszaemelkedett 8,17 tonna/hektárra a termésátlag, viszont az elvetett területek nagyság még tovább csökkent 767 852 hektárra. 2000. és 2023. közötti időszak országos termésátlagának alakulása az 3. ábrán látható (KSH).

3. ábra: Kukorica országos termésátlaga 2000-2023.

Forrás: Saját szerkesztés KSH (2000-2023) adatok alapján



A kukorica (*Zea mays* L.) a pázsitfűfélék (*Poaceae*) családján belül a kukorica nemzetségbe (*Zea*) tartozik, mely nemzetségnek csak ez az egy faja van. Az eredetileg Amerikából származó növényt Kolumbusz Kristóf hozta át Európába 1493-ban. Magyarországra először 1590-ben került be Olaszországból vagy Dalmáciából (Radics 1994, Antal 2005).

Kukoricának számos alfaja létezik, többek között a sima puhaszemű, sima keményszemű, lisztes, lófogú, viasz kukorica, csemege, pelyvás és a pattogatni való kukorica (Antal, 2005), átmeneti, felemás és díszkukorica (Radics, 1994).

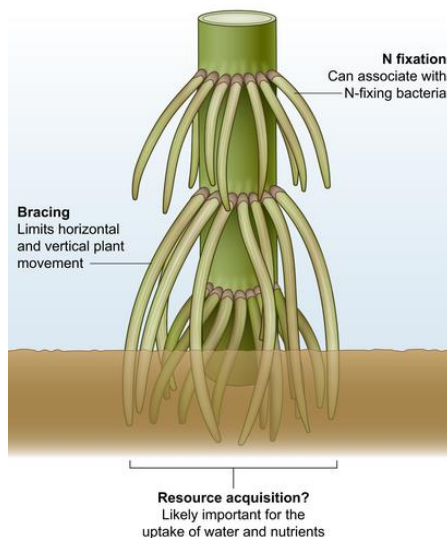
2.2.2 A kukorica felhasználása, morfológiája, beltartalmi értékei

A kukorica felhasználása sokoldalú, humán táplálkozási, takarmányozási, illetve ipai hasznosítása is gyakori. Humán táplálkozásban a konzerv kukoricától kezdve, a pattogatott kukoricán keresztül a kukoricadaráig sok felhasználási módszere ismert. Állatok takarmányozásában jelentős tömegtakarmány, zölden, silózva, illetve csalamádéként hasznosítva is jelentős. Szemtermése pedig a keményítőtartalma miatt jó abraktakarmány. Ipari felhasználása elsősorban a szesziparban keményítőtartalma miatt jelentős, de emellett a kukoricacsíraolaj, és izocukor célú feldolgozása is fokozatosan terjed (Antal, 2005).

Morfológiáját tekintve bojtos gyökérrzel rendelkezik, amely 3 részből tevődik össze. Ezek az elsődleges gyökerek, a másodlagos csomó- vagy koronagyökerek és a harmat- vagy támasztógyökerek. Az elsődleges gyökerek akár a 2 méteres mélységet is elérhetik. A támasztógyökerek jelentős szerepet játszanak a megdőlés ellen is. Fajtától függően 150-250 cm magas vastag, hengeres, tömött szárral rendelkezik, melyen annyi levél található, ahány nódusz van a száron. Levelei váltakozó állásúak. Az internodiumokat levélhüvely borítja, melynek a szárszilárdságban van szerepe, illetve a szártagvályú is ezt a célt szolgálja. A levél morfológiája többnyire hasonlít a gabonakéhoz. Fő különbség, hogy a levéllemez hosszabb és szélesebb. (Antal, 2005).

4. ábra: A kukorica támasztógyökerei

Forrás: <http> 5



A kukorica váltivarú, egylaki növény. Hajtáscsúcsán van a címervirágzat, amely egy porzós buga virágzat, a levelek hónaljában pedig a termő torzsavirágzat. A címer 4-12 nappal a termő megjelenése előtt virágzik, hogy elkerülje az önbeporzást. Ezt a jelenséget termő előzőnek, azaz proterandriának nevezik (Antal, 2005). A kukoricacső a torzsavirágzataból alakul ki, melynek két része van, a kukoricaszemek és a csutka (Radics, 1994).

A termés kvalitatív és kvantitatív tulajdonságainak értékcsökkenése elkerülése érdekében, csak a fiziológiai érés után érdemes betakarítani. A fiziológiai érettséget 25-30%-os nedvességtartalomnál éri el, és betakarítás után indul meg a száradási folyamat. A kukoricának a természetes és mesterséges száríthatósága is jelentősen lassabb, mint a búzáé (Antal, 2005).

A kukorica beltartalmi értékei fajtától és ökológiai tényezőktől függően változhatnak. Egy átlagos vízmentes kukoricaszem 77% keményítőt, 2% cukrot, 2% humuszt, 9% fehérjét, 5% pentozánt és 5% olajat tartalmaz. A kukoricában található fehérje minősége gyenge, ezért a takarmányozásban csak a 40-60 %-ban hasznosul (Radics, 1994).

5. ábra: *A kukorica morfológiája*

Forrás: <http6>



2.2.3 A kukorica környezeti igénye

A kukorica a talaj kultúrallapotára és minőségére a gabonafélék közül a legérzékenyebb faj, illetve ökológiai érzékenysége nagyobb, mint a búzáé, ezért a jobb minőségű talajokon érdemes termesztetni. Jó alkalmazkodó képessége miatt Magyarország teljes területén termeszthető.

Biztonságosan mélyrétegű és humuszban gazdag vályog talajokon érdemes termesztani, elsősorban csernozjom és réti csernozjom talajokon. Stabilan jó terméseredményre csak könnyen felmelegedő és jó vízgazdálkodású talajon természetve számíthatunk. Más talajtípusokon is megél, de termésbiztonsága kiszámíthatatlan és évjáratfüggő (Antal, 2005). A talaj levegőháztartására érzékeny (Pepó et al. 2013).

A kukorica melegigényes, illetve rövidnappalos növényi kultúra, de a hosszúnappalos körülményekhez is alkalmazkodik. A hibrid kukorica fajták 1100- 1400 °C hőösszegigénnyel rendelkeznek a tenyészidejük alatt. Címerhányástól teljes érésig 24-26 °C közötti hőmérséklet az optimális, az ez alatti az érés kitolódását okozza (Antal, 2005). Júliusban a virágzás ideje alatt érzékeny a csapadékhiányra, valamint a 30 °C feletti hőmérsékletre (Pepó et al. 2013). A kezdeti fejlődéshez 10 °C körüli hőmérsékletre és nedves magágyra van szükség, de az egyenletes kelés érdekében 12-14 °C az ideális (Antal, 1987), viszont bizonyos hibridek már 8 °C-tól vethetőek (Pepó et al. 2013). A legnagyobb vízigénye a csírázaskor, illetve a címerhányás ideje alatt van. Ezzel szemben éréskor csapadékszegényebb, de melegebb időjárásra van szüksége (Antal, 1987).

Származása miatt a kukorica a vízigényes növények közé tartozik, tenyészideje alatt 450-550 mm csapadékra van szüksége (Antal, 2005). Transpirációs együtthatója 350 l/kg szárazanyag. A kelés időszakában a talaj felső rétegében könnyen felvehető vizet igényel (Pepó et al. 2013). Mélyre lehatoló gyökere miatt a talaj alsóbb rétegeiben tárolt vizet is hasznosítani tudja. Az egyre gyakoribb aszályos időszakok miatt a július és augusztus hónap jelenti a kritikus időszakot a kukorica termesztésében. Ebben a 2 hónapban 100-100 mm csapadékra lenne szüksége az ideális termésmennyiséghez (Antal, 2005). A legnagyobb vízfelvételre júniusban lehet számítani a vegetatív növekedés alatt (Pepó et al. 2013).

Fotoszintézise, a gabonákétól eltérően C4-es, ezáltal víztakarékosabb párologtatásra képes (Antal 2005).

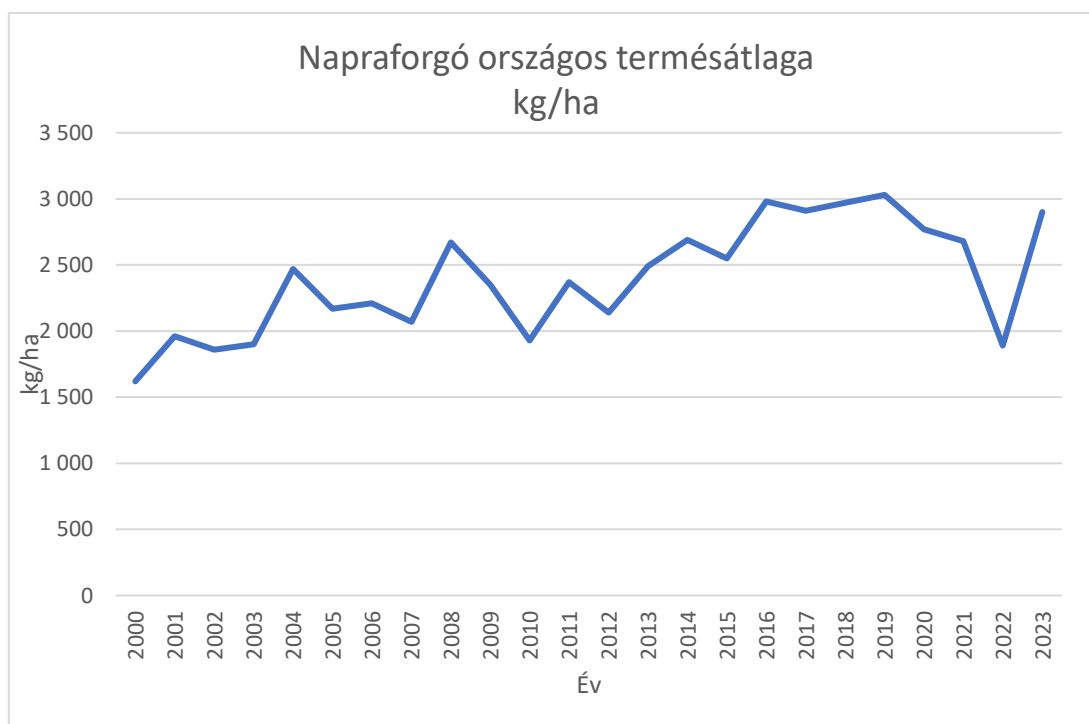
2.3 A napraforgó

2.3.1 A napraforgó rendszertana, származása

A napraforgó a legjelentősebb termesztett olajnövény hazánkban, ezáltal az egyik legjelentősebb ipari növényünk. Két nagy csoportját a nagy olajtartalmú, illetve a kis olajtartalmú vegyes hasznú fajták alkotják. 2021-ben 654 693 hektáron termesztették Magyarország területén, ez 2022-re felemelkedett 679 595 hektárra, majd 2023-ra lecsökkent 674 178-ra. Emellett a termésátlagok változóak voltak, 2021-ben 2,68 t/ha volt, ami 2022-ben drasztikusan lecsökkent 1,89 t/ha-ra, ami a nagy aszályval magyarázható, majd a 2023-as évben 2,9 t/ha országos átlagot dokumentáltak. 2000. és 2023. közötti időszak országos termésátlagának alakulása az 6. ábrán látható (KSH).

6. ábra: A napraforgó országos termésátlaga 2000-2023.

Forrás: Saját szerkesztés KSH (2000-2023) adatok alapján



A napraforgó (*Helianthus annuus L.*) az Asterales rendbe és a fészkesvirágúak családjába tartozik (*Compositae*). A napraforgó származási helye Észak-Amerikára tehető. Európába a 16. század körül került be, spanyolok, angolok és franciák által is bekerülhetett, de ennek pontos

eredete nem ismert. Először dísnövényként terjedt el, és csak később kezdték el mezőgazdasági hasznosítás miatt termesztetni (Vígh, 2012).

2.3.2 A napraforgó morfológiája, beltartalmi értékei, felhasználása

A napraforgó hasznosítási céljától függően a különböző hibridek kaszatjának olajtartalma környezeti adottságoktól függően akár 46-54% körül is lehet, átlagos nyers-fehérje tartalma pedig 17%-ot is elérheti (Antal, 2005).

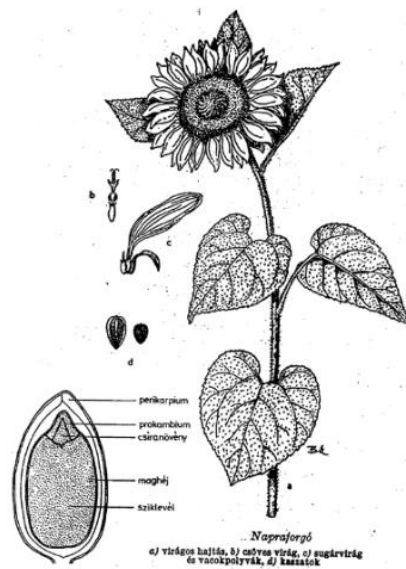
A napraforgót az olajipari hasznosítása mellett számos területen hasznosítják, többek között takarmány, napraforgó-pogácsa, csalamádé takarmány, madáreleség, és emberi fogyasztása is jelentős. Kedvezőtlen tulajdonságú talajokon más növényekkel keverve zöldtrágyaként is előfordulhat (Vígh, 2012). Olaját elsősorban az élelmiszeripar hasznosítja, de a kozmetikai-, festék-, szappan-, műanyag-, és a textilipar is hasznosítja.

A 2-3 m mélyre nyúló gyökérrendszere orsó alakú főgyökérből és oldalgyökerekből áll. A gyökérfejlődés a tenyészidő első 1/3-ában jelentősen meghaladja a föld feletti részek növekedési ütemét, ezáltal jó aszálytűrő képességű faj. Szára 60-250 cm magasság közé tehető, de az olajhibridek többsége 120-190 cm között található. Általában 12-40 levéllel rendelkezik (fajtától függően), melyek az alapi részen átellenesen, a felsőbb leveleknél pedig váltakozó állásban találhatók. LAI indexe 3-5 m²/m² között lehet (Antal, 2005).

A napraforgónak tányér alakú összetett fészkes virágzata van, amelyben nyelves (30-70 db) és csöves (600-1200 db) virágok is találhatók. Többnyire idegentermékenyülő, rovarok és méhek végzik a beporzást. Virágzása fokozatosan halad a szélétől befelé, így egy tányér virágzási ideje akár 4-7 nap is lehet, míg egy teljes állományé 8-14 nap. Csapadékos és hűvös időjárás esetén a megtermékenyült virágok száma lecsökken. Termése kaszat, amelynek ezerkaszatömege 60-80 g, a hibrid és étkezési fajtáké pedig 110-170 g is lehet.

7. ábra: A napraforgó morfológiája

Forrás: <http7>



2.3.3 A napraforgó környezeti igénye

Az ország jelentős területén termesztethető, de az északi és nyugati területen csak ott terem biztonsággal, ahol a FAO 400-asnál korábbi kukorica is beérik. Meleg- és fényigényes növény, a hasznos hőösszeg igénye 1900-2500 °C körül mozog (Antal, 2005). A nagy olajtartalommal rendelkező fajták közép-kötött talajokon termesztethetők a legjobb eredményekkel, de jó talajvíz és hőháztartású kötöttebb és lazább talajokon is termesztethető. Humuszban gyenge, laza homokos talajok, mély fekvésű kötött erodált talajok nem alkalmasak a termesztésre. A vegyes hasznosítású fajták a talajra kevésbé érzékenyek, mert az alkalmazkodóképességük jobb és a gyökereik mélyebbre hatol. Keléséhez meleg és csapadékos időjárás a kedvező (Antal, 1978). A virágzás ideje alatt 22-24 °C az ideális az egyöntetű virágzás kialakulásához. A kaszatképződés ideje alatt negatív hatással van a 26-27 °C feletti átlaghőmérséklet a termés hozamra és olajtartalomra. Az olajfelhalmozódáshoz 19-21 °C az ideális hőmérséklet, a 25 feletti pedig negatív hatással van az olajfelhalmozódásra és magképződésre, emellett a zsírsavak összetétele is megváltozik. Az érés folyamán szárazabb időjárás az ideális, ezáltal gyorsabb a vízvesztés és kisebb a betegségek kockázata (Antal, 2005).

A napraforgó aszályra érzékeny elsősorban a homokvidékeken. Ennek fő oka ezeknek a területeknek a rossz víztartó képessége. Emellett a zárt medencék és hűvösebb hegyvidéki területek sem kedvezőek a napraforgó sikeres termesztéséhez (Kocsis, 2018).

A fejlődése során kb. 500-550 mm vizet igényel, ezáltal a közepes vízigényű növények csoportjába sorolható. Transpirációs koefficiense 470-550 l/kg szárazanyag (Pepó et al. 2013). Erős gyökérzete miatt jó szárazságtűrő, ezáltal rosszabb vízgazdálkodású talajokon is kielégítő termést tud biztosítani. A tányérkezdemény kialakulása és a virágzást követő fenofázis viszont kritikusnak tekinthető a vízigény szempontjából. Ebben a 2 fázisban az összes vízigény 65-70%-át veszi fel, vízhiány esetén pedig a termésminőség és -mennyiség egyaránt csökken (Antal, 2005).

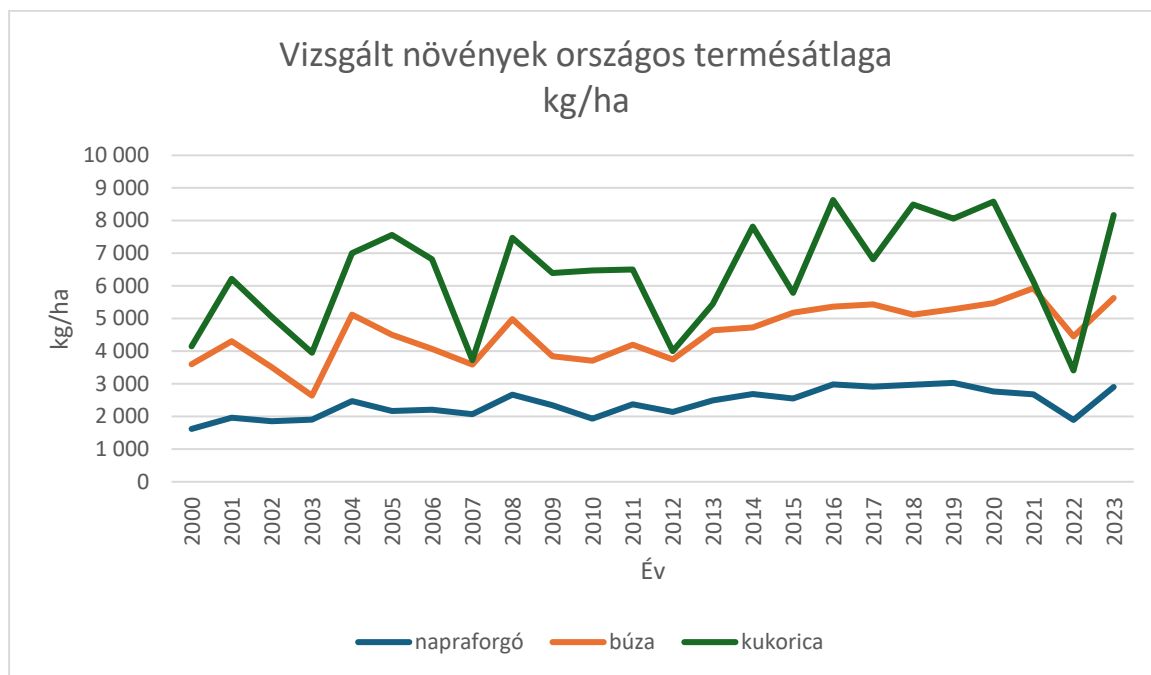
A napraforgó a jó alkalmazkodóképessége miatt tipikusan az átlagos vagy annál rosszabb minőségű talajok növénye. Barna erdőtalajon, réti és öntéstalajokon kívül a jobb kultúrállapotú szikes és homoktalajon is termesztethető (Pepó et al. 2013).

A 8. ábrán látható, hogy a három vizsgált növény termésátlagának alakulása milyen tendenciát mutatott a 2000-2023-as időszak alatt. A 2022. év kiugróan alacsony termésátlagai a hosszú nyári csapadékmentes időszak hatását tükrözik. Általánosan elmondható, hogy az évek előrehaladtával a termésátlagok növekedése figyelhető meg. Ez a jelenség számos tényezővel magyarázható, például fajta és hibridválasztás, termesztéstechnológia, valamint precíziós növénytermesztés.

A 9. ábra a vizsgált három növény vetésterületének változását szemlélteti. Míg a kukorica és búza vetésterülete az elmúlt 23 évben csökkent, a napraforgóé növekedett.

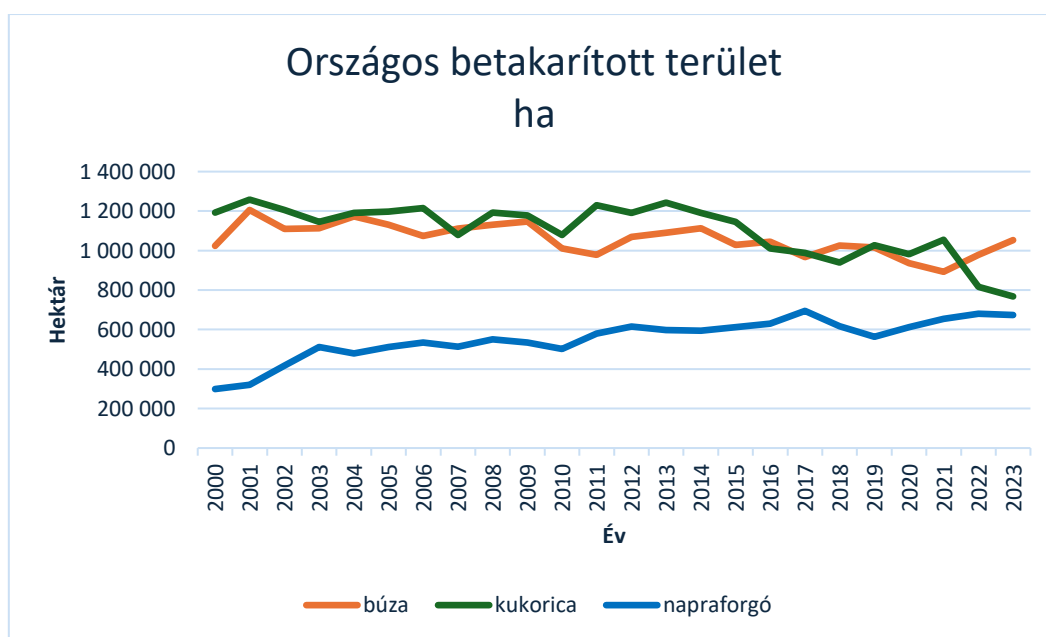
8. ábra: A napraforgó, kukorica és búza termésátlagai

Forrás: Saját szerkesztés KSH (2000-2023) adatok alapján



9. ábra: A napraforgó, kukorica és búza vetésterülete

Forrás: Saját szerkesztés KSH (2000-2023) adatok alapján



2.4 Magyarország természeti adottságai

Magyarország Közép-Európán belül a Kárpát-medencében található, területe mindössze 93 092 km². Összes területének 82,4%-a nem éri el a 200 méter tengerszint feletti magasságot, ezáltal döntően alföldi területekkel rendelkezik. Az ország döntő területe termőterület, összesen 79,7% amelyből 46,6% szántó, 20,8% erdő és 8,4% gyepterület (Kocsis, 2018).

Magyarország éghajlatát döntően meghatározza az elhelyezkedése, az északi mérsékelt övben fekszik, melyre jellemző a legtöbb csapadékot hozó nyugatias széljárás és a négy évszak változása. Az időjárás nagy időbeli változékonysága a fekvésből adódik, ugyanis mediterrán, kontinentális és óceáni hatások is uralkodóvá válhatnak akár hosszabb időre is. Az átlagos éves napsütéses órák száma 1900-2100 közé tehető, amelyből a december a legkevesebb napsütéses, és a július a napsütéses órákban leggazdagabb hónap. Az éves átlagos havi napsütéses órák száma körülbelül 50 és 280 óra között változik (Kocsis, 2018). Decemberben 40-55 óra körül mozog, júliusban pedig 255-300 órát is elérheti (Pepó et al. 2013).

A hőmérsékletet leginkább befolyásoló tényezők a tengertől való távolság, a tengerszint feletti magasság és a földrajzi szélesség. Az évi országos átlagos középhőmérséklet 10-11 °C között van. A leghidegebb területei az országnak a Bükk és a Mátra, ahol a 6 °C-ot se éri el, míg a legmelegebb területek a déli- délkeleti részek, ahol 11 °C felé is emelkedhet ez az érték. Általában a legmelegebb hónap a július, de egyes években az augusztusi hónap megelőzheti. Július hónapban az országos átlaghőmérséklet 21,2 °C, de területi eloszlása ennek is nagy változatosságot mutat. Szolnok és Szeged között 22 °C fölött van, míg a Bükk és Mátra környékén a 16 °C-ot sem éri el. Sok évi átlag alapján az a tapasztalat, hogy az 1900-as évekhez képest a havi átlagos hőmérséklet emelkedett. A melegedés hatása leginkább a tavaszi és nyári hónapokban jelenik meg erőteljesen (Kocsis, 2018).

Magyarország csapadékeloszlását is a tengertől való távolság és a domborzat határozza meg. A csapadékeloszlás alapján a kontinentális jelleg erőteljesebben megjelenik, mint a mediterrán vagy óceáni. Az országon belüli csapadékeloszlás is nagy változékonyságot mutat, a legkevesebb csapadékmennyiségre az alföldi területeken lehet számítani, 500 mm körüli értékkel (Kocsis, 2018a). A sok éves átlagot tekintve a Zagyva, a Tisza és a Hármas-Körös környéke a legszárazabb terület (http8). A legcsapadékosabb területek a középhegységek és délnyugati területek. A középhegységekben 700 mm az átlagosan várható éves csapadékmennyiségre, viszont a legnagyobb mennyiségre a Bükk, a Mátra és a Kőszegi-hegység területein lehet számítani, ahol a 800 mm-t is meghaladhatja. A csapadékmennyiség országos átlaga 580 mm körül van. A legcsapadékosabb időszak a nyár, a legkevesebb pedig a

tél, ugyanis október és március között az éves csapadéknak csak kb. 40%-a hullik le. A csapadék változékonysága miatt ezek az értékek szélsőségesen el is térhetnek az átlagtól. Ilyen szélsőséges esetekre példa 1998 februárja, ahol a 2 mm-t sem érte el az országos átlag, illetve 2010 májusa, ahol viszont 172 mm volt az átlagérték (Kocsis, 2018).

A levegő páratartalmának jó mutatószáma a relatív nedvesség. A januárban átlagosan 83%, míg júniusban 67% körül található ez az érték, melynek térbeli eloszlása is változó (Kocsis, 2018).

Az elmúlt évek tapasztalatai azt mutatják, hogy az összes csapadékmennyiség csökken, 1901. és 2016. között 5%-kal csökkent, viszont időbeli eloszlása jelentősen átalakult. A tavaszi és őszi csapadék 17% és 12%-kal csökkent, ezzel szemben a nyári időszak alatt 6%-kal növekedett a csapadékmennyiség. A hóborított napok száma sok éves átlag alapján 47 nap, de ez is erőteljesen évjáratfüggő. 1981. és 2010. közötti intervallumban a legalacsonyabb 18 nap/év, a legmagasabb pedig 89 nap/év hóborítottság volt (Kocsis, 2018).

Magyarország mérsékelt szelesnek számít. Az uralkodó szélirány nyugati az ország középső és nyugati területein, északi a Dunántúl északi területein, északkeleti szelek pedig az Tisza és Körös közötti területen, valamint a Tiszántúlon jellemzőek (Pepó et al. 2013). Az országos átlagos szélesebesség 2,5 m/s, és átlagosan 133 szeles nap van egy évben. Legszelesebb területünk pedig a Bakony. Március és április a legszelesebb hónap, a legkevesebb szeles nap pedig augusztus és október között van (Kocsis, 2018).

Magyarországon a 16 éghajlati körzetből 14 található meg, amelyekből a meleg-száraz körzet a domináns. Az éghajlatváltozás hatására ezeknek az aránya folyamatosan változik, jelentősen csökkent a mérsékelt meleg-száraz területek nagysága, amit a meleg-száraz területek vettek át, illetve a mérsékelt hűvös területek helyett már inkább mérsékelt meleg területek találhatóak meg (Kocsis, 2018).

A Feddema éghajlat osztályozás szerint 16, a Péczy osztályozási típus szerint pedig 12 éghajlati típust különböztethetünk meg hazánkban (Péczy, 1979). Feddema a hő és vízellátottság mellett figyelembe veszi a szezonális mértékét és típusát is (Feddema, 2005). Ezzel szemben Péczy csak a hőmérséklettel és az ariditási indexszel számol. Mindkettő módszerrel érzékelni lehet, hogy a nedvesebb, csapadékosabb területek a Dunántúlon, az ország nyugati részén találhatóak meg (Skarbit, 2012).

Magyarországon a sok évtizede-végzett különböző célú talajvizsgáló, talajmintavételezési és feltérképezési munkálatok miatt sok információ áll rendelkezésre a különböző térségek talajainak tulajdonságairól. Ezek a talajtani információk régebben papír alapú térképeken

léteztek, de ma már digitálisan is megtalálhatóak. Az első ilyen nagy adatbázis az AGROTOPO volt, amely egy országos program keretében jött létre, és a termőhelyi adottságokat meghatározó térképekből áll. Ennek a felbontása 1:100 000. Emellett kiemelt jelentőségű a DKTIR- Digitális Kreybig Talajinformációs Rendszer, 1:25 000 méretarányal rendelkezik, és mivel ez a legrészletesebb, ezért felhasználása igen széles körben történhet (Kocsis, 2018).

Magyarország talajtani szempontból is nagy változatosságot mutat, ez köszönhető a változatos éghajlati, földtani és domborzati viszonyoknak (Stefanovits, 1999). A termőterületek 22%-a csernozjom, azaz mezősegi talaj, 34% barna erdőtalaj, 11% pedig az öntés- és lejtőhordalék talajok ([http9](http://9)).

Magyarország területeinek aszályérzékenységét jelentősen befolyásolják a talajtulajdonságok. Elsősorban a szélsőséges vízgazdálkodású talajok érzékenyek ezekre a hatásokra, ide tartoznak jellemzően homoktalajok és a szikes talajok is. A réti talajok közepesen érzékenyek, a barna erdőtalajokat, láptalajokat, öntéstalajokat, lejtőhordalék talajokat és csernozjom talajokat pedig a legkevésbé érinti negatívan. Az aszály kialakulását nemcsak a hosszabb ideig tartó jelentős csapadékhiány befolyásolja, hanem a hőmérséklet átlagos emelkedése is (Kocsis et al., 2018).

2.5 Vízlábnyom

2.5.1 A vízlábnyom fogalma és általános áttekintése

Az emberi tevékenységek szinte minden területen vizet használnak fel, fogyasztanak és szennyeznek el. A legtöbb vízfelhasználással a mezőgazdasági tevékenységek járnak, de az ipari és háztartási vízhasználat is meghatározó (Hoekstra et al. 2011).

A víz egyre inkább globális erőforrásként tekinthető, ugyanis a vízgazdálkodás már nem korlátozódik országokra, vízgyűjtő területekre, de még kontinensekre sem. Az exportált, illetve importált termékek miatt egy adott országban felhasznált termék előállításához szükséges vízmennyiség egy másik terület vízgazdálkodásán múlik. Ebből adódóan Európa és Magyarország fogyasztása is erősen támaszkodik és függ az Európán kívül elérhető vízkészletekre és azokkal történő vízgazdálkodásra. Egész Európa nettó virtuális víz importőrnek számít, az egyetlen kivétel Franciaország, akik nettó virtuális víz exportőr. Fontos figyelemmel kísérni, hogy azok a területek, amik külső vízkészletektől függenek, azok a területek meddig tudnak még a jövőben nettó virtuális vízimportőrök lenni. A virtuális víz koncepcióját Tony Allen vezette be (Hoekstra & Chapagain, 2007). A Föld összes

vízfelhasználásának nagyjából 15-20%-a virtuális vízként egy másik országban jelenik meg (Fogarassy & Neubauer, 2011).

A vízlábnyom értéke édesvízben határozza meg a termékek, szolgáltatások előállításához szükséges vízmennyiséget a teljes ellőállítási folyamaton keresztül. A teljes vízlábnyom értéke három összetevőből áll össze, ezek a kék, a zöld és a szürke víz. Ezekből az első kettő a tényleges vízfelhasználás, az utolsó pedig a vízszennyezés. A kék víz a felszíni és felszín alatti vizek felhasználása, ide tartozik a termékbe bevont víz, az elpárolgott víz, illetve az a vízmennyiség, ami nem az adott vízgyűjtő területre érkezik vissza vagy nem az adott időszakban. Bizonyos esetekben fontos lehet kitérni a kékvíz különböző fajtáira is. Ezek lehetnek a felszíni víz, a megújuló talajvíz és a fosszilis talajvíz, vagyis a világoskék, sötétkék és a fekete vízlábnyom. De ezeket elkülöníteni a gyakorlatban adathiány miatt nehezen megoldható, ezért csak kék vízlábnyommal szokás számolni. A zöld víz a csapadékvíz fogyasztását jelöli, ami nem folyik el és nem tölti fel a talajvizet, hanem átmenetileg a talajfelszínen van, vagy a talajban raktározódik. A kék és zöld vízlábnyom elkülönítése jelentős, ugyanis a felszíni és felszín alatti vizek és az esővízhasználat környezeti hatásai és költségei eltérőek. Végül a szürke víz azt a vízmennyiséget jelenti, amennyit a teljes folyamat során elszennyezett, illetve amekkora mennyiségű édesvíz szükséges a szennyező anyagok környezetvédelmi határértékre való hígítás eléréséhez (Hoekstra et al. 2011). A szürke vízlábnyom értékeinél érdemes megnézni, hogy a kutatásokban pontosan miből becsülték azt az adatot, ugyanis a kutatások nagy hányadában a nitrogén felhasználásból számolják, de ez nem fedi le az összes növényvédőszer és tápanyagutánpótlás során kijutatott anyagok szennyező hatását (Hoekstra & Mekonnen, 2012).

A vízlábnyom kérdéskörében már számos külföldi kutatás létrejött, viszont Magyarországi, illetve Európai kutatások alig vannak.

2.5.2 A kukorica és búza vízlábnyoma

Észak-Kínában a Haihe folyó és annak vízgyűjtő területén (HRB) vizsgálták a kukorica és búza vízlábnyomát az 1956. és 2015. közötti időszakra vonatkoztatva. A vízgyűjtő területe 318 200 km², amely a kontinentális monszun éghajlati övezetben található. Az éves átlagos csapadékmennyiség 380-580 mm között változik, melynek 70-85%-a június és szeptember között esik le. Ezen a területen jelentős a búza és a kukorica termesztése is, búzát összesen 3,9 millió hektáron, kukoricát pedig 5,1 millió hektáron termesztettek. Ez a teljes mezőgazdasági termelés 27% és 36%-a, tehát együtt több mint a művelésben lévő terület felét

adja ki. A vizsgált területet 11 régióra osztották fel, a felosztásban szerepet játszottak földrajzi és éghajlati viszonyok is. Emellett minden régióban választottak egy meteorológiai állomást a pontos klímaadatok begyűjtése, rögzítése érdekében.

1956-2015. közötti időszakban erre a területre vonatkoztatva az éves átlagos teljes vízlábnyom a búza vonatkozásában 20,1 milliárd m^3 volt. Ennek a legnagyobb része zöld vízből származott (52%), 29% kék vízből és 19% szürke vízből. Ezzel szemben a kukorica vízlábnyoma 15,1 milliárd m^3 , melynek a túlnyomó részét (73%) szintén a zöld víz adta, emellett nagyon alacsony hányada kék vízből 3%, és a maradék 24% szürke vízből tevődött össze. 2006-2015. közötti időszakban a búza vízlábnyoma 1022 m^3/t , a kukorica vízlábnyoma pedig átlagosan 934 m^3/t volt. A hosszútávú elemzésből arra a következtetésre jutottak, hogy a kukorica és búza vízlábnyomának csökkenő tendenciája mellett a terméseredmények javultak, ami azt jelenti, hogy a vízfelhasználás hatékonysága javult. Azt figyelték még meg, hogy 2001 előtt mindkét növény esetében nőtt a szürke vízlábnyom, erre a nitrogén műtrágyák fokozott kijuttatása ad magyarázatot. Emellett a nitrogén-kijuttatás üteme gyorsabb volt, mint a termésnövekedés üteme. (Yuping et al. 2018).

Mekonnen és Hoekstra (2010) szintén a búza kék, zöld, illetve a szürke vízlábnyomának térbeli becslésével foglalkoztak, melyet termelési és fogyasztási szempontból is vizsgáltak globálisan. Emellett megbecsülték a búzatermesztésben a nitrogénműtrágya használata által elszennyezett víz mennyiséget is. 1996-2005. között a búzatermesztés globálisan 108 milliárd m^3 vizet igényelt évente. A búza átlagos vízlábnyoma globálisan tekintve 1830 m^3/t volt. Ennek a víznek 70%-a zöld víz, amely 760 millió m^3 -t jelent, 19%-a kék vízből és 11% pedig szürke vízből származott. A globális búzakereskedelem nélkül, 6%-kal magasabb lenne a globális vízlábnyoma. A búzatermesztés zöld vízlábnyomának 49%-a öt országra tehető, ezek az USA, Kína, India, Ausztrália és Oroszország.

Magyarország hozzájárulása a globális termeléshez 1996-2005. időszak között 0,7% volt, a teljes vízlábnyom évente 5476 millió m^3 , amely 4078 millió m^3 zöld, 8 millió m^3 kék és 1389 millió m^3 szürke vízből áll össze. Ezek az értékek termésmennyiség viszonylatában, 1306 m^3/tonna a teljes vízlábnyom, ami 973 m^3/tonna zöld, 2 m^3/tonna kék és 331 m^3/tonna szürke vízből áll. Ebben az időszakban a búza termékeket nézve Magyarország bruttó virtuális víz exportőrnek számít, ami a teljes vízlábnyomot tekintve 1389 millió $\text{m}^3/\text{év}$. Ez 1035 millió $\text{m}^3/\text{év}$ zöld, 2 millió $\text{m}^3/\text{év}$ kék és 352 millió $\text{m}^3/\text{év}$ szürke virtuális vízlábnyomot jelent (Mekonnen & Hoekstra, 2010).

A 10. ábrán látható táblázat tartalmazza, a jelentősebb vízlábnyom kutatásában elért eredményeket világviszonylatban.

10. ábra: Búza vízlábnyoma eddigi kutatási eredmények alapján

Forrás: Mekonnen, 2010

Table 7. Comparison between the results from the current study with the results from previous studies.

Study	Period	Global average water footprint of wheat	Global water footprint related to wheat production	International virtual water flows related to wheat trade	Global water saving due to wheat trade
		m ³ /ton	Gm ³ /yr	Gm ³ /yr	Gm ³ /yr
Hoekstra and Hung (2002, 2005)	1995–1999	–	–	210	–
Chapagain and Hoekstra (2004), Chapagain et al. (2006a), Hoekstra and Chapagain (2008)	1997–2001	1334	793	114	103
Oki and Kanae (2004)	2000	–	–	271	193
Yang et al. (2006)	1997–2001	–	–	188	130
Liu et al. (2007, 2009)	1998–2002	1253	688	159	77
Siebert and Döll (2010)	1998–2002	1469	858	–	–
Hanasaki et al. (2010)	2000	–	–	122	–
Current study, green and blue only	1996–2005	1622	964	182	57
Current study incl. grey water ^a	1996–2005	1830	1088	200	65

^a None of the previous studies included grey water, so these figures are for information only, not for comparison.

2.5.3 A napraforgó vízlábnyoma

Yeşilköy és Şaylan (2021) végeztek vizsgálatokat napraforgó és búza állományokban 2014–2018 között Törökország északnyugati részén. Termésátlagaik pedig napraforgó esetén 2,21 t/ha, búza esetében pedig 4,46 t/ha. Ezt a hozamot 13,6 °C és 601,8 mm éves átlagos csapadékkal rendelkező területen vizsgálták. A DSSAT modellel szimulálták a terméshozamot. A napraforgó zöld vízlábnyoma a vizsgált területeken 445–555 m³/t (Yeşilköy, 2021).

2.5.4 Vízlábnyom kutatások Magyarországon

Magyarországon a vízlábnyom témakörében még viszonylag kevés kutatás történt, ezért szükség van további átfogóbb vizsgálatokra annak érdekében, hogy teljes képet kapjunk a hazai vízfelhasználásról és annak hatásairól.

Fogarassy és társa (2011) a sertéshús és a kenyér vízlábnyomát számolták és ezáltal a búzát is, mint a kenyér fő összetevőjét. Kutatásukban a FAO által fejlesztett CropWat modellt használták. Ez a modell éghajlati, talaj és terméshozam adatokkal számol, amelyből meg lehet határozni a víz- és öntözési igényt. A betáplált adatokból a modell megadja a referencia

evapotranszpirációt, a vízigényt és a napsugárzást is. Ezek az adatok szükségesek a kék és zöld vízlábnyom kiszámolásához. A szürke vízlábnyom nagy része a növényvédő szerekből származik. A számolásához szükség van a terület méretére, a hozam nagyságára és a kijutatott trágya mennyiségére. Az US EPA adatai szerint a felhasznált műtrágyákból 10% nitrogén marad vissza. Fogarassy és társa a kutatásunkban arra az eredményre jutottak, hogy a búza zöld vízlábnyoma 593 m³/t, a kék vízlábnyoma 407 m³/t, a szürke vízlábnyoma pedig 268 m³/t, így a teljes vízlábnyoma a búzának 1268 m³/t (Fogarassy & Neubauer, 2011).

Az 1., 2. és 3. mellékletekben találhatóak korábbi vízlábnyom kutatások eredményei, amelyek kitérnek Magyarországi adatokra is.

2.6 Növekedési modellek

A terepen való mérések és vizsgálatok drágák, nagy területre kivetítve a mérések kivitelezése pedig problémát okozhat. Ennek megoldásaként a növény-növekedési modellek a várható változásokra adnak átfogó képet számítógépes modellezéssel (Whisler et al., 1986). A növény-növekedési modelleknek jelenleg is széles körben ismert a felhasználása, de a folyamatos fejlesztésekkel még számos potenciális alkalmazási módja lehetséges és egyre nagyobb teret fog hódítani a különböző kutatási területeken (Boote et al., 1996). Ezekkel a modellekkel a klimatikus és egyéb adatok megadásával szimulálható a növények növekedése, fejlődése, víz és tápanyagfelvétele, illetve a várható hozama (Asseng et al., 2014). A modellek alkalmazása a növénytermesztés során segíthet az optimális technológiai módszerek és időpontok kiválasztásában, valamint a növényvédőszer, tápanyagutánpótlás és öntözés meghatározásában is. Emellett előrejelzést adhat a mezőgazdaságban használt vegyszerek kimosódására, talajerózióra, terméshozamok előrejelzésére és a klímaváltozás hatásainak becslésére. Léteznek komplex és egyszerűbb modellek is. Egy adott modell használatánál figyelemmel kell lenni arra, hogy milyen körülményekre lett programozva és tesztelve, valamint milyen korlátokkal rendelkezik (Boote et al., 1996). Ezek a modellek elsősorban tábla szintjén alkalmazhatók megfelelően a pontos modellezés adatigénye miatt, de vannak már próbálkozások nagyobb területekre is.

A növény-növekedési modelleknek két fő fajtáját lehet megkülönböztetni. Az első valamilyen empirikus modellel írja le a növekedési folyamatokat, ezek a regressziós modellek. A másik pedig a fiziológiai folyamatok összefüggéseiből indul ki, ezek a mechanikai modellek. A növények fejlődése meghatározott biológiai alapokon nyugszik, melyre a különböző környezeti

tényezők növényi fejlődésre gyakorolt hatása matematikailag számszerűsíthető (Spitters, 1990).

Számos növénynövekedési modell létezik már, különböző felhasználási célokra kifejlesztve. Többek között DSSAT-Decision Support System for Agrotechnology Transfer (<http10>), CropSyst- (Crop System Simulation Model (<http11>), APSIM- Agricultural Production Systems sIMulator (<http12>), WOFOST (WOrld FOod STudies) (<http13>), AquaCrop (<http14>).

2.7 AquaCrop modell

Az AquaCrop-ot a FAO hozta létre az élelmiszerbiztonság problémakörének kutatására, illetve a gazdálkodás és a környezet növénytermesztésre gyakorolt hatásának vizsgálatára. Az AquaCrop egy olyan növénynövekedési modell, amely a talaj és növény között végbemenő folyamatokat szimulálja. A terméshozamot négy lépésben szimulálja, ezek a növényborítottság, a transzspiráció, a föld feletti biomassa és a terméshozam. Az alábbi időjárási adatok szükségesek a modellezéshez:

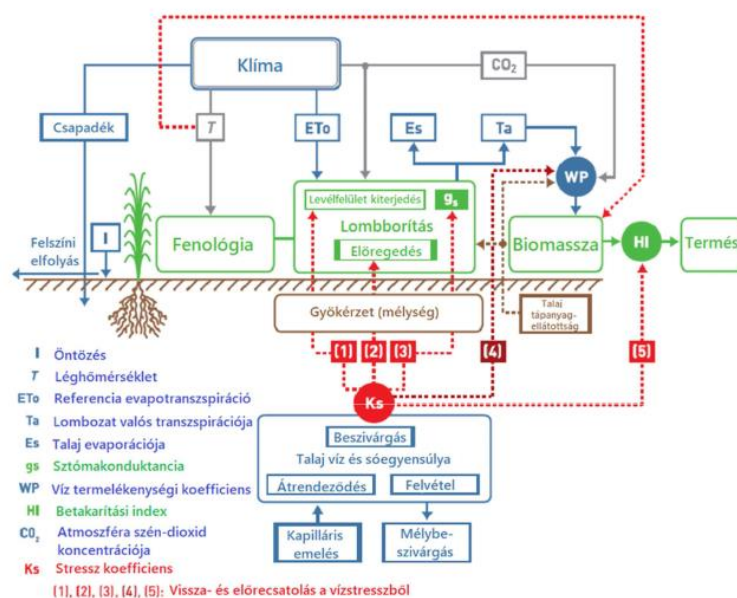
- referencia evapotranszspiráció (ET_o),
- a minimum (T_n) és
- maximum (T_x) levegő hőmérséklete, valamint
- a csapadék mennyisége.

Míg az evapotranszspiráció és a hőmérsékleti adatok lehetnek napi, 10 napi, és havi adatok is, addig a csapadéknál kerülni kell a 10 napi és havi összesített adatokat. Tekintve, hogy a csapadék időben nagyon heterogén eloszlású, ezért a napi adatok hiánya torzítja az eredményeket, valamint nem mutatkozik a növények dinamikus reakciója a víz hatására (Raes, 2023). Az AquaCrop modell működési elvének ábrája a *11. ábrán* látható.

Az AquaCrop modell első tesztelésre és paraméterezésre kiválasztott növénye a kukorica volt (Hsiao et al., 2009). Azóta már használják többféle környezeti feltétel között számos növényfaj esetére is.

11. ábra: AquaCrop modell sematikus rajza

Forrás: Fordította Takács Sándor



2.8 Mann-Kendall teszt

A Mann-Kendall teszt egy olyan nemparaméteres statisztikai elemzés, amely idősorok trendjeit és azok szignifikanciáját mutatja meg. Jól alkalmazható nem normál eloszlású adatsorok esetében is, ezáltal jól használható klímakutatásban, az éghajlati elemek és vízgazdálkodási értékek vizsgálatában. A Mann-Kendall teszt eredményéből lehet következtetni egy adatsorra, hogy tartalmaz-e szignifikánsan csökkenő vagy növekvő trendet. Ennek a tesztnek az a kezdeti alapfeltételezése, hogy nincs szisztematikus trend, és az egyes értékek véletlenszerű változásai ingadozást okoznak (Uhlig, 2002). Az adatsorokban az értékeket egymáshoz hasonlítva az adatok közötti különbség előjelét elemzi, ezáltal szisztematikus növekedését, illetve csökkenését rögzíti (Donald et al., 2011).

3 Alkalmazott módszerek

3.1 Felhasznált adatok:

Magyarország betakarított termőterületének nagyságára, termésmennyiségére, illetve országos átlagára vonatkozó adatokat a vizsgált növényekre országos és vármegye szinten a Központi Statisztikai Hivatal (KSH) oldalán található „Összefoglaló táblák” (STADAT) kimutatásaiból használtam. A STADAT a KSH által gyűjtött adatokat, illetve más szervezetektől átvett adatokat tartalmazza. Ezen belül is a 2000-2023. közötti időszak adatsoraiból dolgoztam.

A talajtextúra adatokat az AGROTOPO adatbázisból használtam. Az Agrotopográfiai adatbázist (AGROTOPO) 1991-ben hozta létre a Magyar Tudományos Akadémia Talajtani és Agrokémiai Kutatóintézete. Ennek az 1:100 000-es méretarányú agrotopográfiai térképsorozatnak az alapját az Átnézetes Talajismereti Térképek adták. Ennek a térképsorozatnak a létrejötte egy programmal indult, amely Magyarország agroökológiai potenciálját vizsgálta. Az AGROTOPO GIS, egy olyan országos adatokat tartalmazó számítógépes adatbázis, amely talajtani paramétereket (genetikai talajtípus, fizikai féleség, vízgazdálkodási tulajdonságok, kémhatás, termőréteg vastagság stb.) tartalmaz homogén agroökológiai területekre ([http15](#)). Ennek az adatbázisnak a talaj fizikai féleségére vonatkozó adatait QGIS programmal, illetve MS Excellel dolgoztam fel.

A talajtextúra adatok a DOSoReMI ([http16](#)) (Digital, Optimized, Soil Related Maps and Information) oldalán is megtekinthetőek, amely nagyobb részletességgel rendelkezik, mint az AGROTOPO, de ehhez a GIS adatbázishoz nem volt hozzáférésem.

A meteorológiai adatokat a HunagroMet Magyar Meteorológiai Szolgáltató Nonprofit Zrt. Meteorológiai adattárából használtam. Az Országos Meteorológiai Szolgálat (OMSZ) ingyenesen elérhetővé tette a mérési, megfigyelési és előrejelzési információit, valamint az éghajlati és időjárás adatokat. Ezeket az adatokat 1999. és 2022. közötti időszakból használtam ([http17](#))

Az eredményeim értékeléséhez a KSH adataival, illetve egy öcsödi gazdaság (Kunagro Kft.) valós adataival hasonlítottam össze a modell eredményeit.

3.2 Felhasznált módszerek, programok:

3.2.1 AquaCrop:

Az AquaCrop a FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nation) által kifejlesztett növénynövekedési modell, melynek célja a környezet és gazdálkodás növénytermesztésre gyakorolt hatása, valamint az élelmiszerbiztonság felmérése és nyomon követése (http18). Az AquaCrop modell vízvezérelt központi elemmel rendelkezik, és jól alkalmazható olyan modellezésekre, ahol a víz limitáló tényezőként játszik szerepet (http19). Ez a modell kis számú bemeneti változóval tudja szimulálni az eltérő gazdálkodási és környezeti változások mellett kialakuló növény növekedést és a terméshozamot (Steduto et al., 2009).

Az AquaCrop adattáblájából kinyerhető az összes olyan adat, amely a növény növekedése szempontjából folyamatos lehet. Ez az adattábla szolgáltatja számomra a modellezés végén a becsült termésátlag és felhasznált vízszükségletet adatokat. WP_{ET} kg/m³-ben adja meg a vízfelhasználást. Ezt az értéket vízhasználati hatékonyságnak (WUE) is szokták nevezni (Raes, 2023).

Vizsgálataim során az AquaCrop stand-alone 7.1-es verzióját használtam.

3.2.2 Mann-Kendall teszt:

A teszt eredményéből vizsgált két fő érték a „Tau” és a „p”, amelyek a vizsgált minták közötti eredményt mérik (http20). A „Tau” érték magát a trendet jelenti, amelynek tartománya -1 és +1, ahol a -1 az erős negatív trendet, a +1 pedig az erős pozitív trendet jelenti. A „p” érték pedig a szignifikancia szintet mutatja: minél kisebb ez az érték, annál magasabb a szignifikancia értéke. (Waltner et al., 2023) A trend szignifikáns, ha a p értéke kisebb mint 0,05 (Subedi, 2022).

A Mann-Kendall tesztet mind a három növény 2000-2022. időszak közötti KSH vármegye átlagaira futtattam.

3.2.3 QGIS

A KSH adatok szemléletes megjelenítéséhez a QGIS-t használtam. A QGIS egy nyílt forrású térinformatikai (Geographic Information System- GIS) rendszer, amely a térbeli adatok szerkesztésére, megjelenítésére és elemzésére szolgál. A térképi megjelenítésekhez a QGIS 3.28 Firenze verziót használtam.

Az adatokat és diagrammokat a Microsoft Excel 2019 segítségével dolgoztam fel.

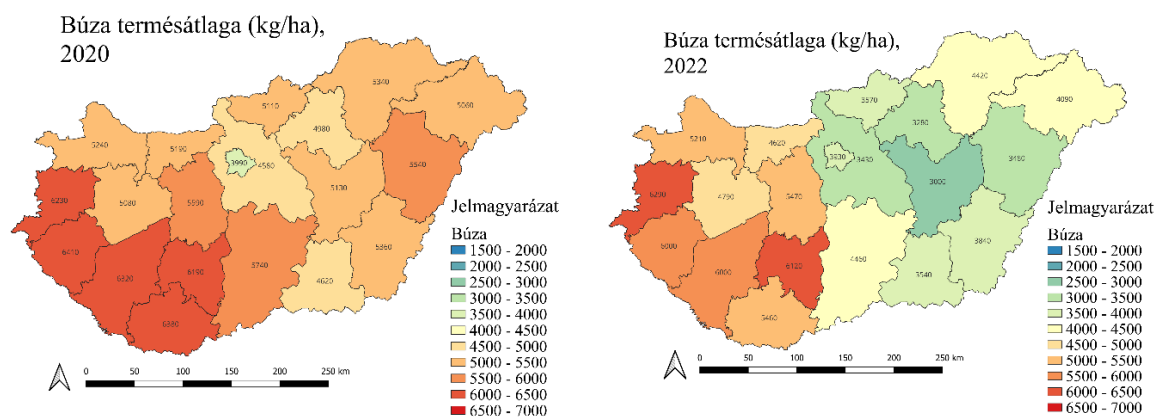
4 Eredmények és értékelésük

4.1 KSH adatok elemzése:

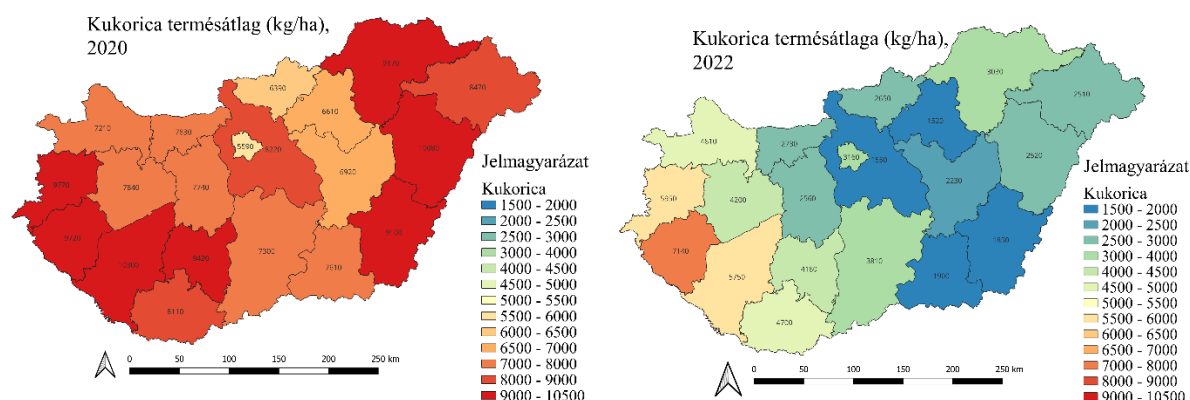
A KSH által nyújtott adatok a QGIS térképező szoftverrel könnyen vizualizálhatók és elemezhetők a termésátlagok térbeli és időbeli eloszlásai. Ezáltal lehetőség nyílik a vármegyék közötti különbségek feltárására és a termelési trendek követésére. A 12., 13., 14. ábrán található Magyarország térképeken a 2020. és 2022. évének termésátlag adatai láthatóak mindhárom növény esetében, annak példájára, hogy milyen mértékű terméshozam különbségek alakulhatnak ki akár rövid időn belül is. A szemléltetésre azért ez a két év került kiválasztásra, mert jól bemutatja, hogy akár pár éven belül az időjárás változékonysága milyen mértékben tudja befolyásolni a termésátlagokat. A 4., 5., 6. mellékletek ábráin további kettő év, 2003. és 2023. búza, kukorica és napraforgó termésátlag adatai találhatóak meg.

12. ábra: A búza termésátlaga (kg/ha) vármegyék szerint 2020, 2022

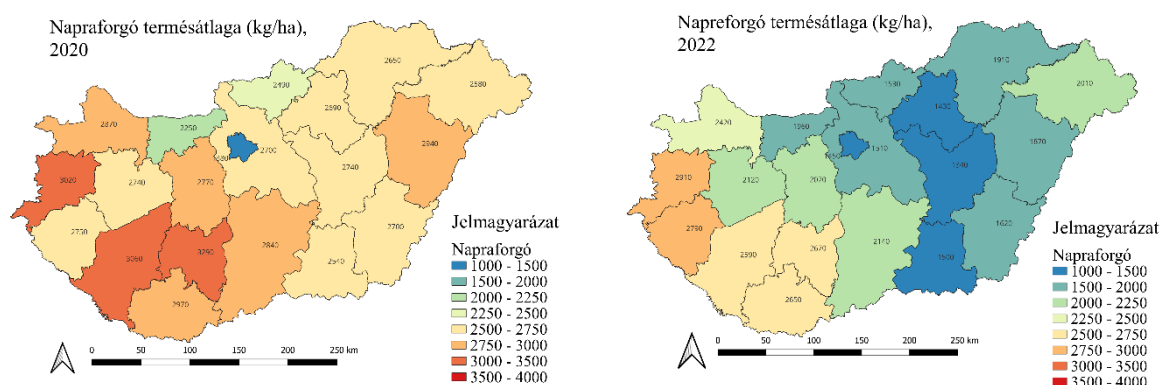
Forrás: Saját szerkesztés KSH (2020-2022) adatok alapján



13. ábra: Kukorica termésátlaga (kg/ha) vármegyék szerint 2020, 2022



14. ábra: Napraforgó termésátlaga (kg/ha) vármegyék szerint 2020, 2022



A térképeken jól látható a két év közötti különbség: minél kékebb a vármegye, annál kevesebb volt az átlagtermés, míg minél pirosabb, annál magasabb. A 2022-es évben minden növény esetében alacsonyabb volt az átlagtermés, ami nagy mértékben a csapadéokban szegény nyári hónapokkal magyarázható. Bár a termésmennyiség csökkenése minden hónapban megfigyelhető, de már ezeken az ábrákon is jól látható, hogy az ország nyugati területein mindhárom növény esetben arányaiban magasabb a termésátlag. A 2020. és 2022. évi országos termésátlagok az 1. táblázatban láthatóak. Ez a termésnövekedés országos szinten is látványos

mértéket öltött, különösképpen a kukorica esetében, ahol a termésátlag több mint 60%-kal esett vissza. A napraforgó esetében 30% körüli volt a visszaesés.

1. táblázat: A vizsgált növények termésátlagai 2020, 2022.

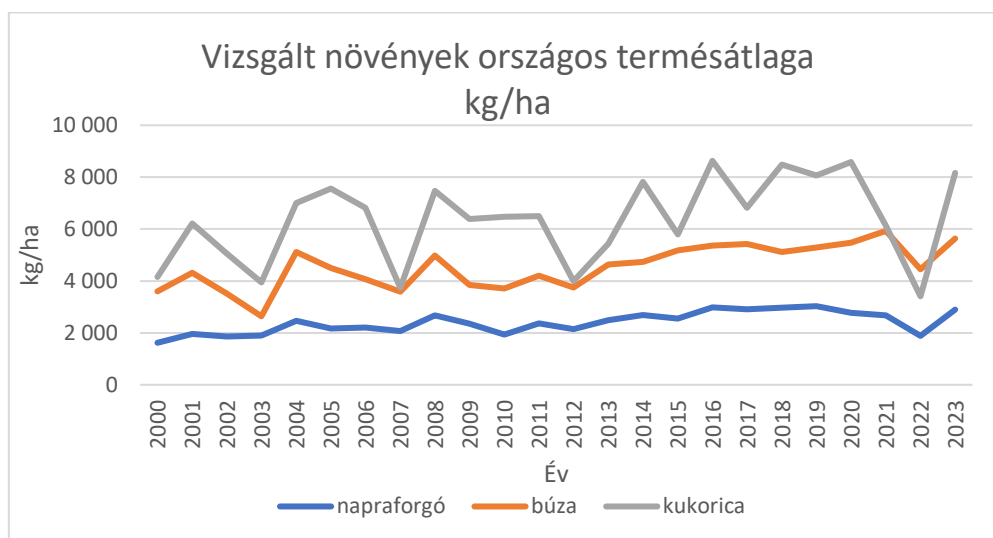
Forrás: Saját szerkesztésű táblázat, KSH adatai alapján

Megnevezés	Termésátlag kg/ha	
	2020. év	2022. év
Búza	5 470	4 450
Kukorica	8 580	3 410
Napraforgó	2 770	1 890

A 15. ábrán láthatóak a vizsgált növények országos termésátlagai 2000-2023. közötti években. Ebben az időszakban mind a három növény termésátlagának növekedése mutatkozik. Ennek a háttérében számos tényező játszhat meghatározó szerepet, amelyek együttesen és külön-külön is okozhatják a termésátlag növekedését. Ilyen tényező lehet a klimatikus hatások változása, többek között a hőmérséklet, illetve csapadék mennyisége és eloszlása. Nagy szerepe van a fajtaválasztásnak, ugyanis a növénynemesítés hatására egyre több szárazságtűrő, illetve rezisztens fajta található meg. Említésre méltó a mezőgazdasági technológiák fejlődése és annak kihatása a termésmennyiségre, például a precíziós gazdálkodás, tápanyagutánpótlás. Már erről az ábráról is leolvasható, hogy a kukorica terméshozama a legkiszámíthatatlanabb, a vizsgált növények közül.

15. ábra: KSH országos átlagadatai a vizsgált növényekre

Forrás: Saját szerkesztés KSH (2000-2023.) adatok alapján



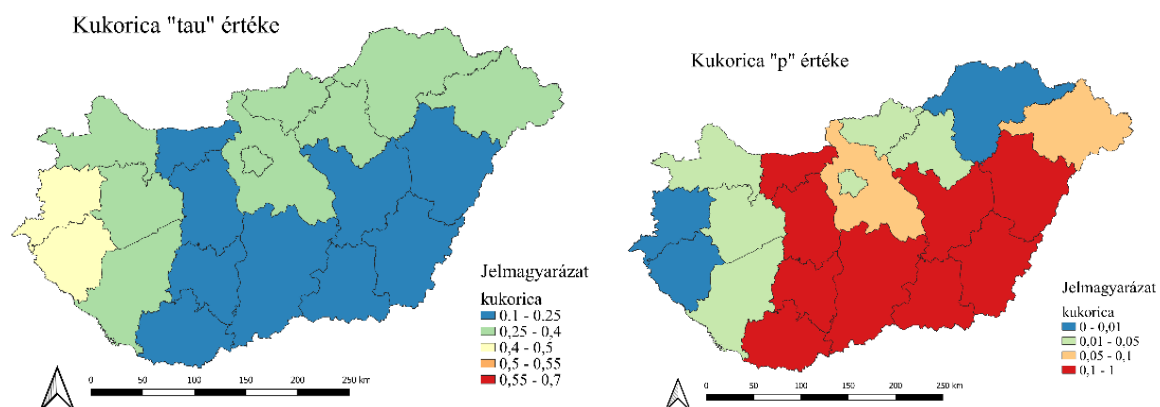
4.2 Mann-Kendall teszt

A Mann-Kendall tesztben a „tau” érték megmutatja a trend erősségét és irányát (Burkey, 2024). A 16., 17., 18. ábra bal oldali térképein a vármegyék szerinti termésátlagok alakulásából számított „tau” értékek láthatóak. A jobb oldalon pedig a „p” -érték található, ami a szignifikancia szintet mutatja. A teszt eredményei a 7. melléklet táblázatában láthatóak.

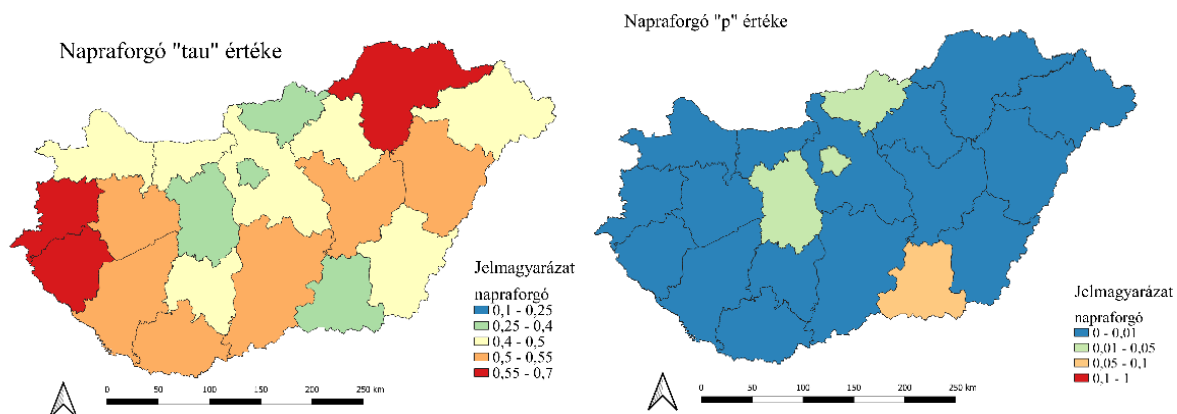
Minden növény esetében a „tau” értéke pozitív, tehát a vizsgált időintervallumban a termésátlag növekedett. A búza és napraforgó esetében erős pozitív trendet mutat (0,5 érték felett) az országnak majdnem a fele, ezzel szemben a kukoricában egy vármegye sem. A „p” szignifikancia értékei fordítottan arányosak a „tau” értékekkel, tehát a kukoricához tartozó szignifikancia szintje alacsony. Búza esetében az egész országra, a napraforgó esetében pedig egy vármegye (Csongrád-Csanád) kivételével szignifikáns ($p > 0,05$) trend határozható meg. A kukorica esteében pedig csak 8 vármegyében és Budapesten mutatkozik szignifikáns eredmény. A 19. ábrán pedig mindhárom növény „tau” értékei vannak ábrázolva, ezáltal könnyebb összehasonlítani az eredményeket.

16. ábra: Kukorica "tau" és "p" értéke

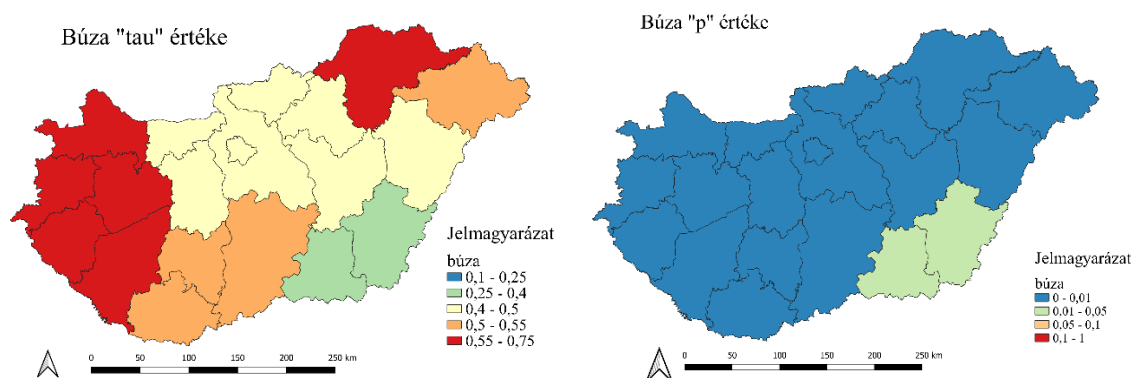
Forrás: Saját szerkesztésű



17. ábra: Napraforgó "tau" és "p" értéke

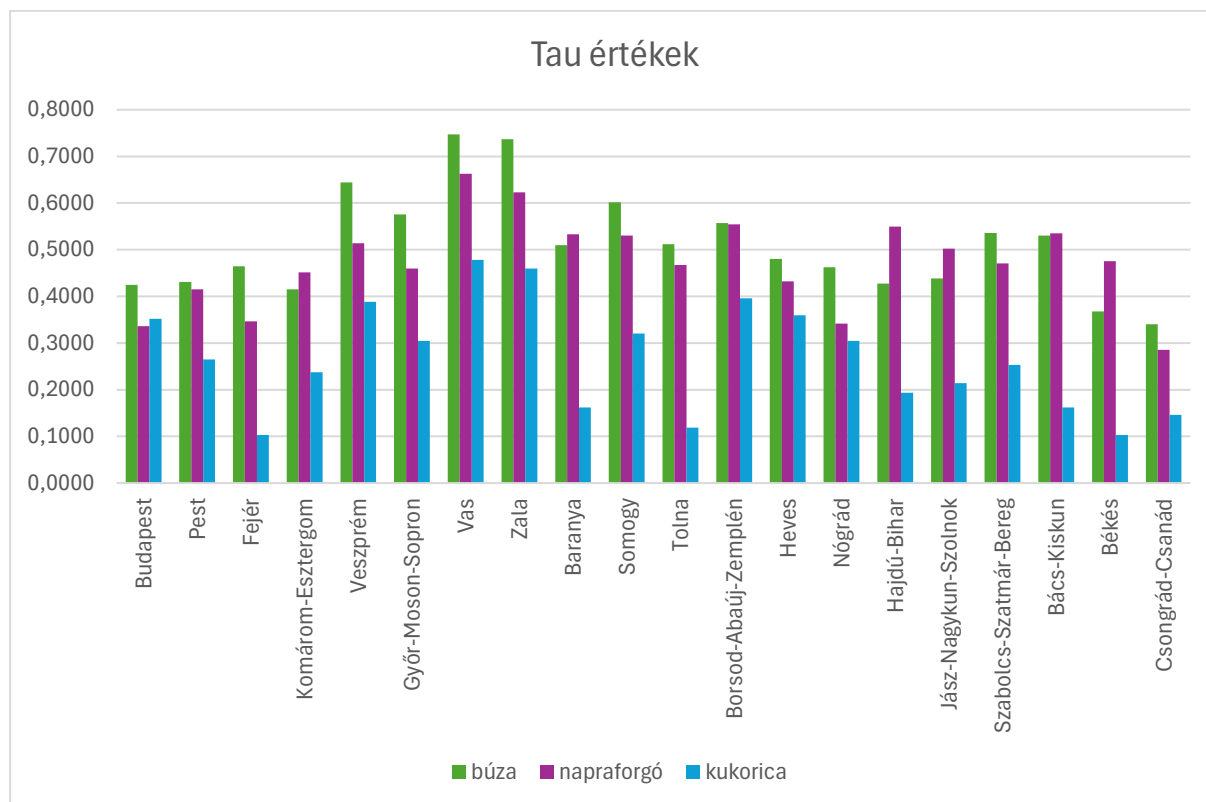


18. ábra: Búza "tau" és "p" értéke



19. ábra: Tau értékek búza, kukorica, napraforgó esetében

Forrás: saját szerkesztésű ábra



4.3 AquaCrop

Az AquaCrop növénynövekedési modell segítségével kimutatható a különböző vármegyék átlagos klímaadataival, és az átlagos talajtextúra adataival, hogy melyik vármegyében mennyi víz felhasználására volt szüksége az adott növényi kultúrának egységnyi termés előállításához.

Az módszer hátrányai, hogy az AquaCrop nem tábla szintű felhasználása és több éves idősor vizsgálata során nem lehet megadni pontosan a tápanyagutánpótlásra, illetve a növényvédelemre vonatkozó adatokat és ebből adódó esetleges terméskiesést. Illetve egy vármegyén belül természetesen nem egy időben veti el minden gazda a kultúrát, és aratja be a termést, ezáltal kevésbé pontos eredményt kapunk. Az AquaCrop és KSH termésátlag-különbségeit magyarázza az is, hogy egy vármegye határon belül a talajtextúrák igen változatosak lehetnek, de a módszer csak a legnagyobb arányban előforduló talajtextúrák használatának ad teret.

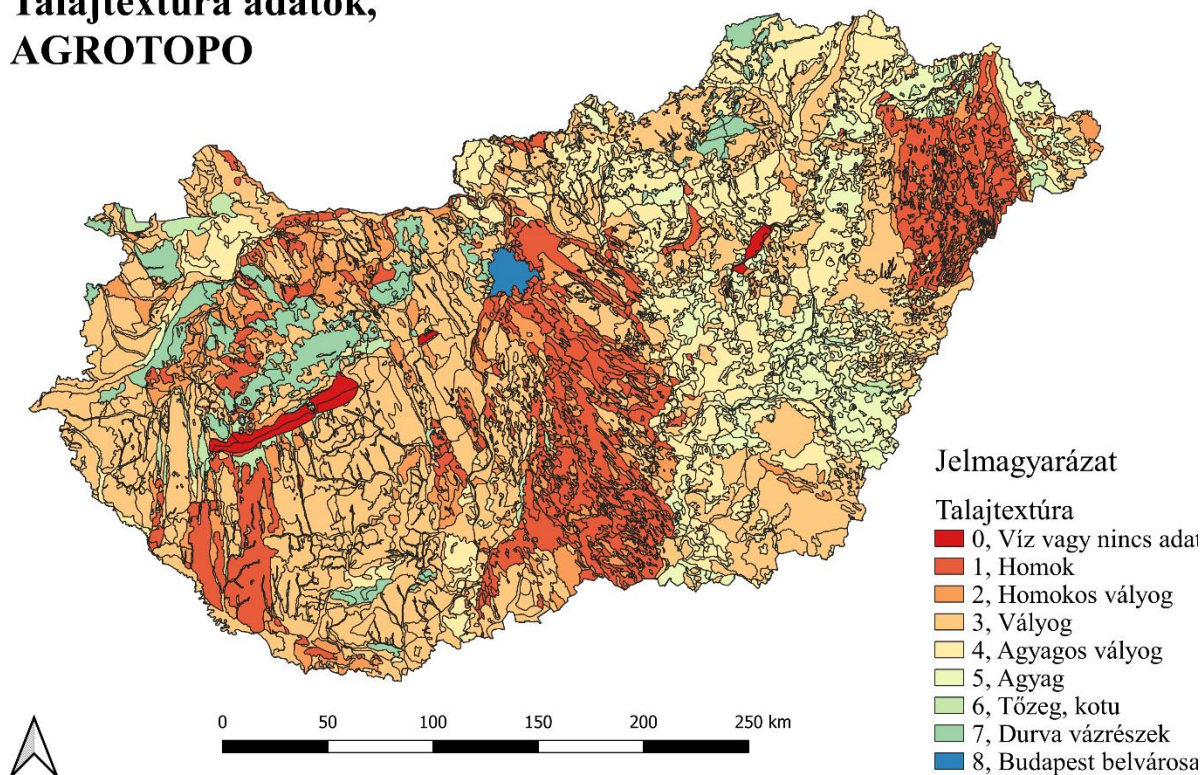
A 20. ábrán látható Magyarország talajtextúra osztályozása az AGROTOPO adatbázis alapján, amit QGIS szoftverből vármegye szinten a területek nagyságával együtt ki lehet exportálni.

Ezekkel az adatokkal dolgoztam tovább az AquaCrop rendszerben. A 8. *melléklet* ábráján példaként látható egy vármegye megjelenítése és attribútumtáblája.

20. ábra: Talajtextúra adatok AGROTOPO

Forrás: QGIS saját szerkesztésű ábra, AGROTOPO adatbázis alapján

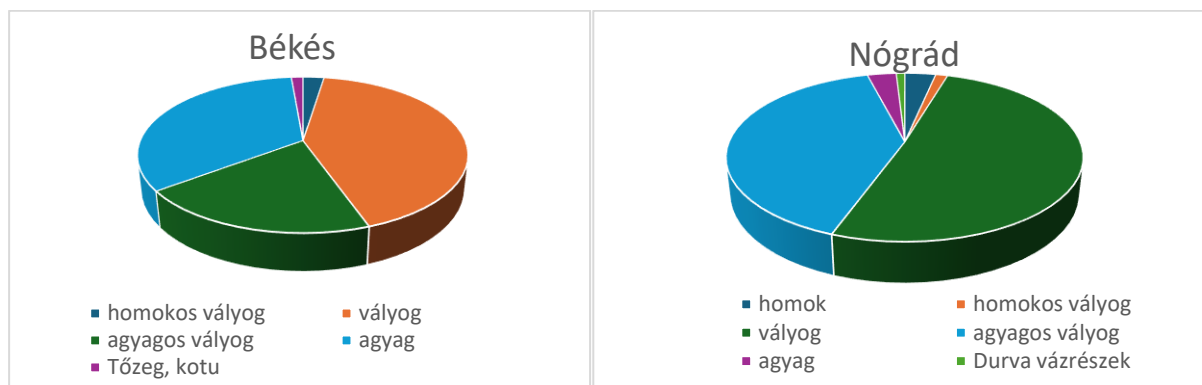
**Talajtextúra adatok,
AGROTOPO**



Minden vármegye esetében az AGROTOPO adatbázis alapján a legdominánsabb talajfélésekkel dolgoztam, amiket később a vízfelhasználás értékének számításánál arányosan súlyozva kalkuláltam bele. A vármegyén belül legnagyobb arányban előforduló talajok fizikai féleségének vizuális megjelenítésére szolgálnak például a 21. ábrán látható kördiagramok. Ezeknek a talajadatoknak a százalécai úgy lettek kialakítva, hogy a megye minimum 75%-os lefedettséggel rendelkezzen. A talajtextúra táblázata a 9. *melléklet* táblázatában található.

21. ábra: Talajtextúra eloszlása Békés és Nógrád vármegyében

Forrás: saját szerkesztésű ábra



Az AquaCrop rendszerben a talaj- és klímaadatokkal az adott kultúrnövény kiválasztásával futtatni lehet a modellt. A programban megtalálható növényi fájlok nem Magyarországi körülmények között lettek kalibrálva, ezáltal a futtatás után kapott terméseredmények nem egyeznek a KSH adataival. Ennek megoldásaként, az öcsödi gazdaságra kalibrált növényi fájlt használtam a továbbiakban. Az AquaCrop stand alone verziójában több éves időszakkal lehet futtatni a modellt, aminek a segítségével 3 növényre, 1999-2022. közötti időszakra, egész Magyarország területére (19 vármegye és Budapest), minden megyének a domináns talajtextúra adataival futtattam a modellt. Ezáltal átfogó képet kapva a búza, napraforgó és kukorica időbeli és térbeli termésmennyiségének és a vízfelhasználásának változásával kapcsolatban. A klíma adatokat azért 1999-től használtam fel, mert a terméseredményeket 2000-től vizsgáltam, és a búzát 1999 őszén kellett elvetni a 2000-es termés érdekében.

A kukorica modellezésében a pontos KSH termésátlagokhoz való igazodás nehezen megoldható, mert az öcsödi gazdaság vetésforgójában a rendelkezésre álló adatokból csak 2 évben szerepelt a kukorica, és abból az egyik, a 2022-es aszályos év volt, amelyből nem származott termésük. Emellett a kukorica széleskörű fajtaválasztékából, a fajták diverzitása és felhasználása nagyban befolyásolja a termésátlagot. Ezáltal a pontos modellezés nem megoldható a kukorica esetében. A modellt az AquaCrop saját kukorica fájljával futtattam végig, amiből becsülni lehet a vízfelhasználás adatokat a KSH és a modell által számolt terméseredmények arányaival.

Napraforgó esetében a kalibrált növény mellett az AquaCrop saját napraforgó fájljával is végig futtattam a modellezést annak érdekében, hogy bebizonyosodjon a kalibrálás jelentősége. Az

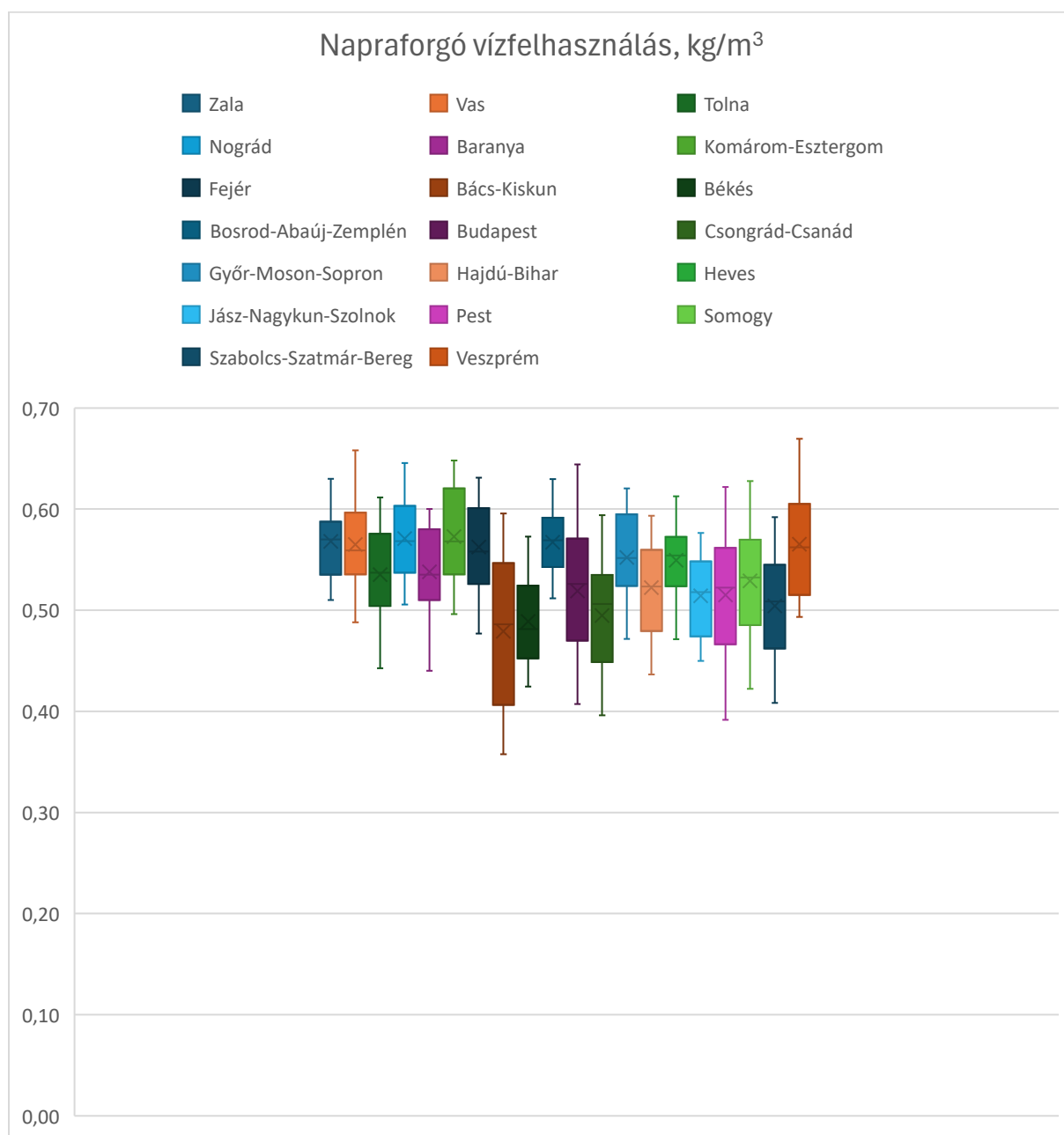
AquaCrop növényi fájlok magyarországi viszonylatban túlbecsülnek, ezáltal nemcsak a termésátlagot, de a vízfelhasználás mértékét is magasra kalkulálja.

Az AquaCrop modellezés a rendelkezésre álló adatok előkészítésével kezdődik. A klíma adatokat (csapadék, ETo, minimum-, maximum-, és átlaghőmérséklet) vármegyenként külön szöveges fájlba kell exportálni, ugyanis az AquaCrop érzékeny a bemeneti adatok formátumára. Az AGROTPO talaj adatokat QGIS segítségével ábrázoltam, különítettem el megyénként, és nyertem ki az adott fizikai talajféleségek területeinek nagyságát. A vármegyék attribútumtáblázatát Excelbe exportálva tudtam összesíteni és feldolgozni. Ezeknek az adatoknak az ismeretében az AquaCrop-ban minden növényre annyi projekt fájlt hoztam létre, ahány fizikai féleséggel számoltam a vármegyében. Ez összesen a búza, kukorica és 2 napraforgó fájlra tekintve az 53 projekt növényenként. Ez a 19 vármegyére és Budapestre vonatkozó talaj féleségek alapján vármegyenként akár 3-5 talajfajllal, tehát összesen 212 projektet jelent. A létrehozott projekteket az AquaCrop a DATA nevű mappájában tárolja 2 formátumban (PPN, PRM). Ezt a 2 fájlt kell az AquaCrop stand alone verziójának LIST és PARAM mappáiba bemásolni és futtatni. Az eredményeket az OUTPUT mappában szöveges fájlként lehet megtekinteni (*10. melléklet*), amelyeket Excelbe megnyitva összesítettem és értékeltem ki. Az adatok összesítésénél a vármegyék talajfizikai féleségének eloszlásával súlyozva számítottam ki a vízhasználatot. Ezeknek az értékeknek a szemléltetésére pedig a dobozdiagrammot választottam.

A 22. ábrán látható a kalibrált napraforgó vízfelhasználása kg/m^3 mértékegységben megadva, 1999-2022 közötti intervallumban. Bár az ingadozások nagyok, jól látható, hogy az ország nyugati részén nagyobb a vízfelhasználás. Többek között Vas, Veszprém, Zala Győr-Moson-Sopron vármegyében, ezzel szemben a legalacsonyabb Bács-Kiskun, Békés és Csongrád-Csanád vármegyékben.

22. ábra: Kalibrált napraforgó vízfelhasználása

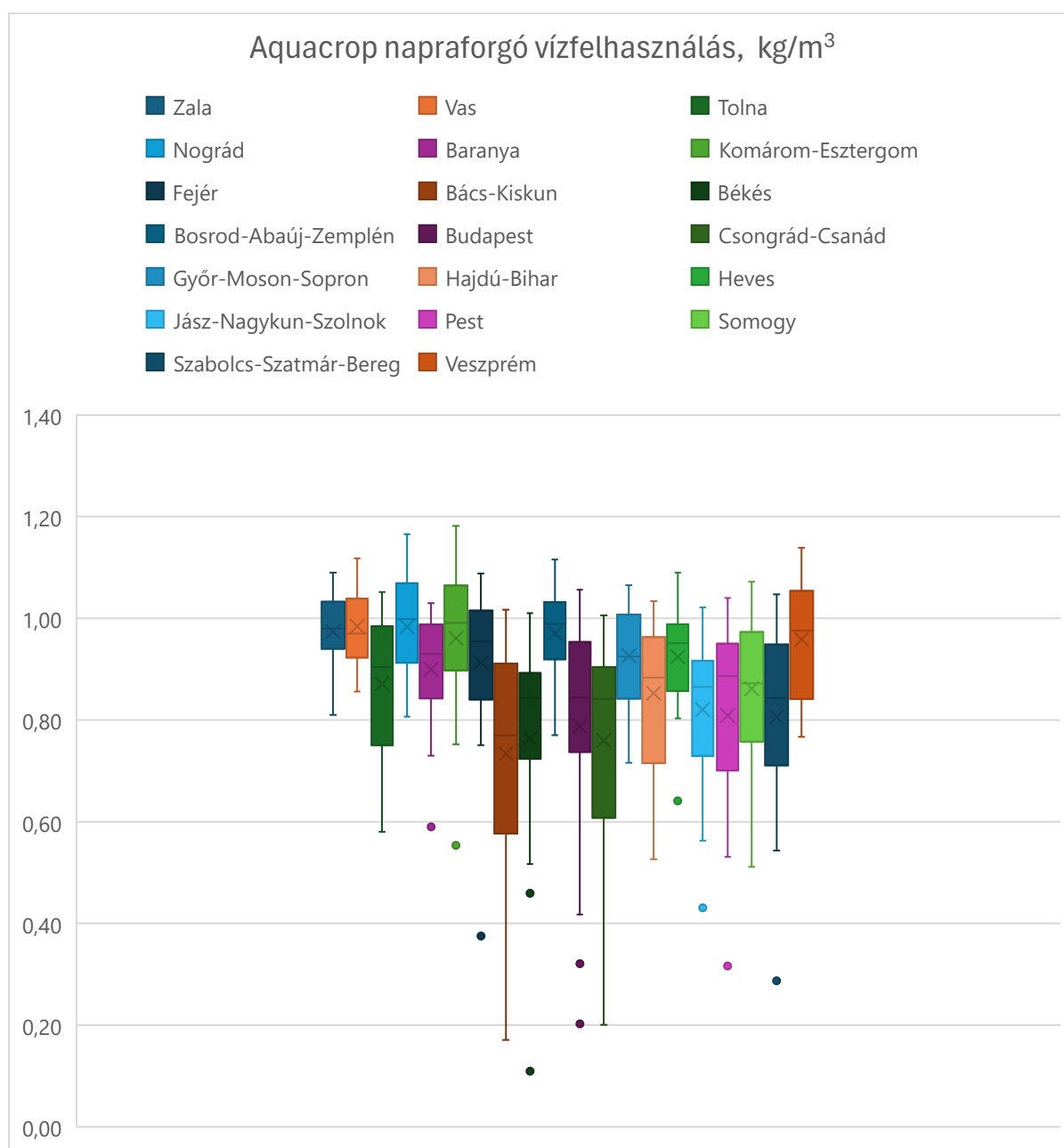
Forrás: saját szerkesztésű ábra



A napraforgó összehasonlítása céljából, és a kalibrálás fontosságának szemléltetése miatt, az AquaCrop beépített napraforgó fájljára is végigfuttattam a módszert. Az eredményei a 23. ábrán láthatóak. Az eredményen jól látszik, hogy az AquaCrop felülkalkulálja a vízfelhasználást (és a termésátlagokat is). De a tendencia, ami azt mutatja, hogy a nyugati országrészben magasabb a vízfelhasználás, az ugyanúgy megmutatkozik ezen az adatsoron is.

23. ábra: AquaCrop napraforgó vízfelhasználása

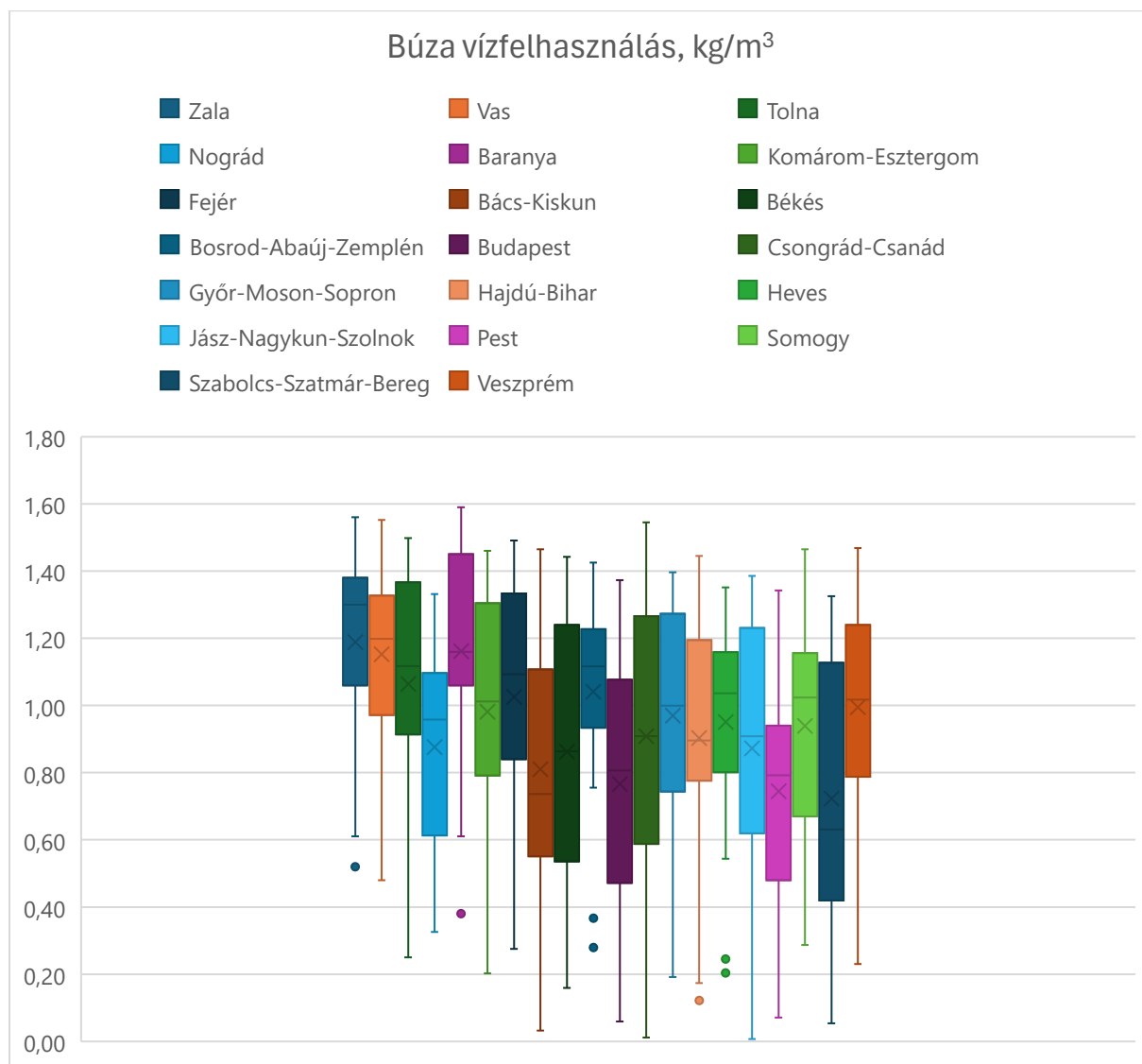
Forrás: saját szerkesztésű ábra



A búza vízfelhasználása a 24. ábrán látható. Itt is az a tendencia figyelhető meg, mint a napraforgónál, hogy a nyugaton található vármegyék magasabb vízfelhasználással rendelkeztek. Ez a termésátlagok és a csapadék mennyiségének eloszlásával is összhangban van, de a termésátlag és a vízfelhasználás mértéke nem egyenes arányban vannak egymással.

24. ábra: A búza vízfelhasználása, kg/m³

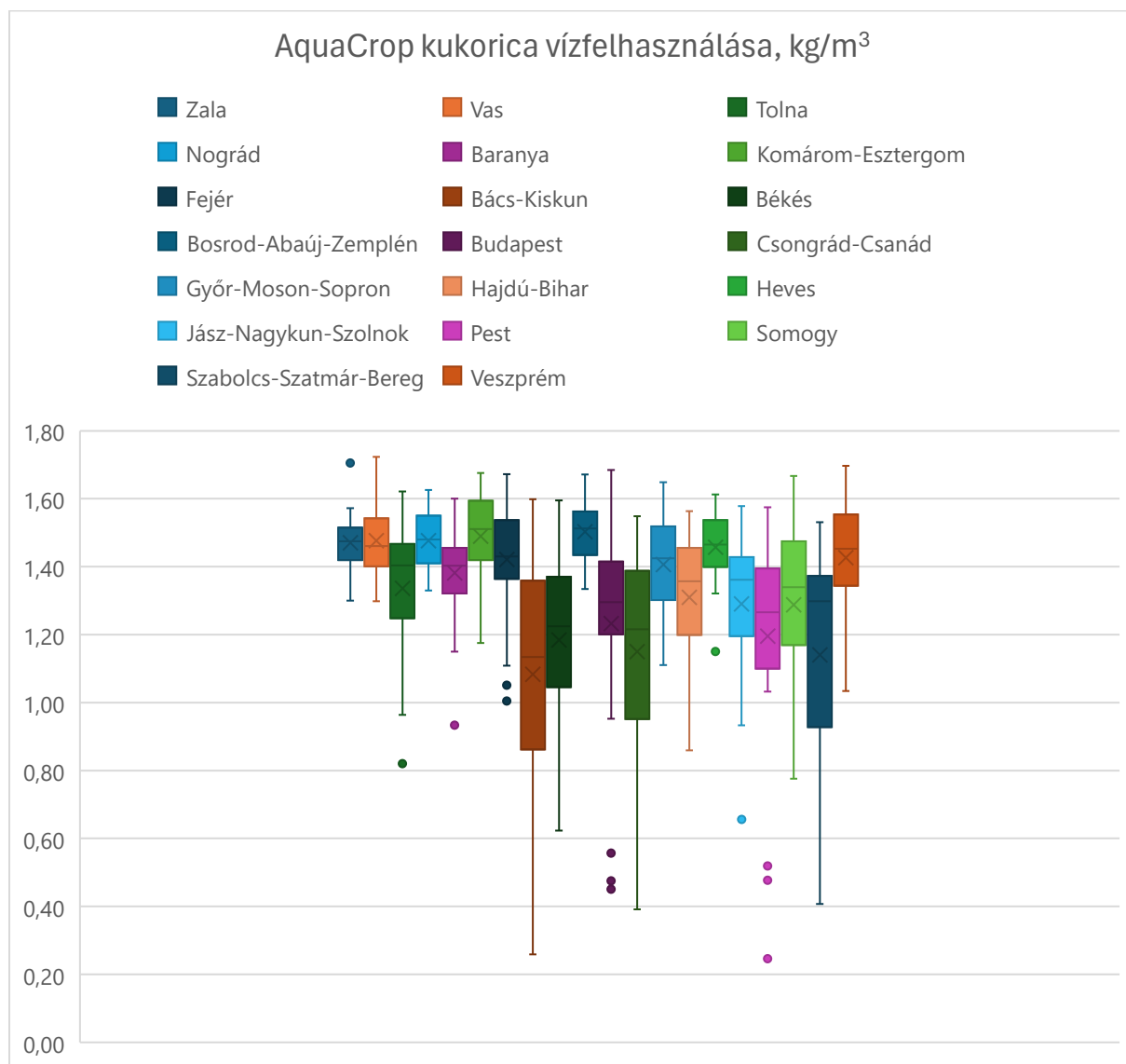
Forrás: saját szerkesztésű ábra



A 25. ábrán az AquaCropba beépített kukorica fájlal modellezett eredmény látható, a KSH termésátlagainak adataival arányosan átszámolva. Ahogyan a másik két növényre is igaz, így itt is az ország nyugati területein nagyobb a vízhasználat mértéke.

25. ábra: AquaCrop kukorica vízfelhasználás, kg/m³

Forrás: saját szerkesztésű ábra

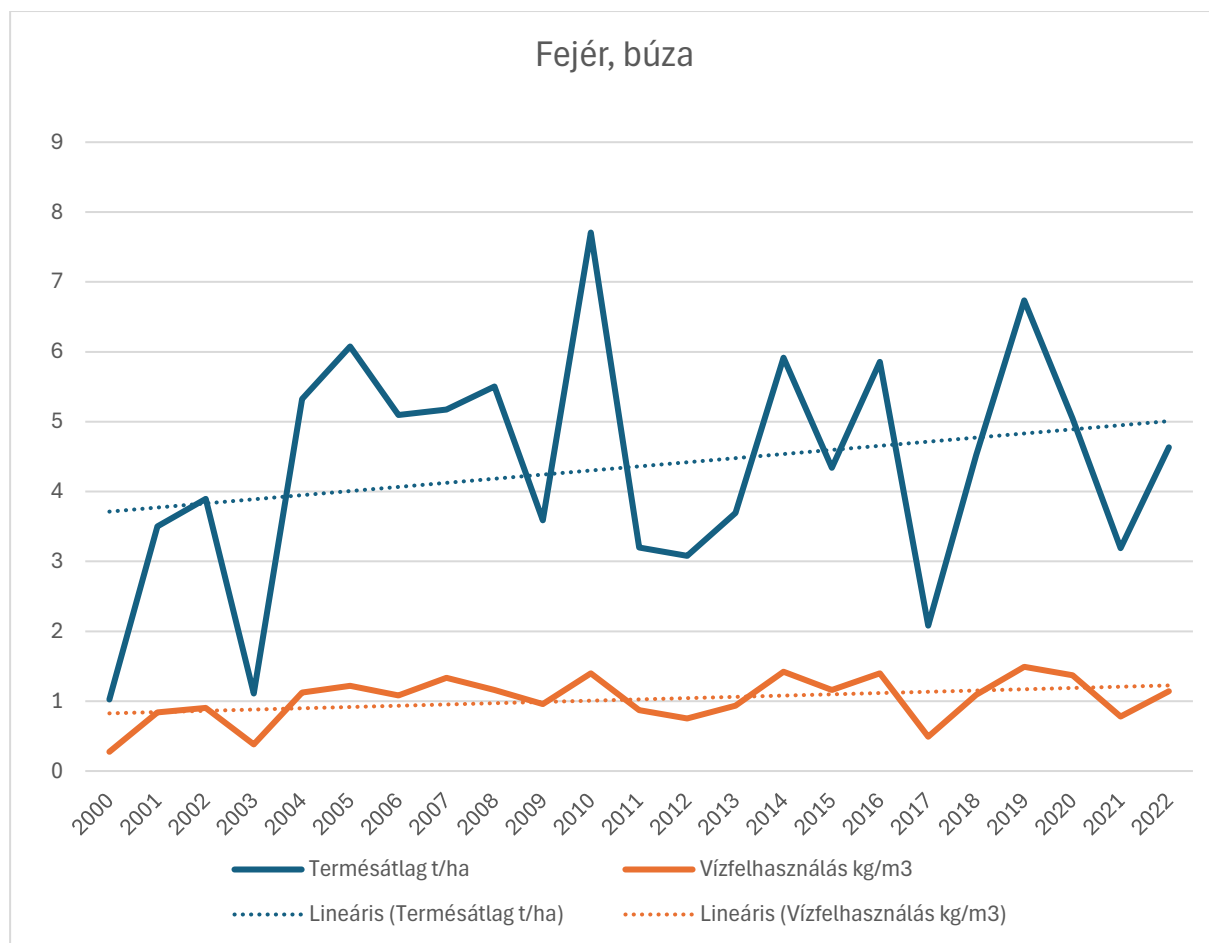


Összességében elmondható mindhárom növényről, hogy az ország nyugati területén, valamint az Északi-Középhegység régióiban a vizsgált növények vízfelhasználása nagyobb, az Alföldön és a kevésbé csapadékosabb régiókban pedig kisebb a vízfelhasználás. Tehát ha több csapadék áll rendelkezésre akkor nagyobb a vízfelhasználás ugyanannyi termék előállítás esetén, ha pedig kevesebb csapadék áll rendelkezésre akkor alacsonyabb.

Ez az összefüggés a termésátlagok és vízfelhasználás arányaira is igaz, de a termésátlag változását nem követi le egyenesen arányosan a vízfelhasználás. Ennek szemléltetésére szolgál a 26. ábra, amely példaként Fejér vármegye búzatermelésének és a búza vízfelhasználásának adatait tartalmazza.

26. ábra: Búza termésátlaga és vízfelhasználása, Fejér vármegye

Forrás: saját szerkesztésű ábra



A növények magasabb vízfelhasználása csapadékosabb területeken számos összefüggéssel magyarázható. Amikor kevesebb csapadék áll rendelkezésre és a növény stresszben van, akkor próbál alkalmazkodni a környezeti feltételekhez. A hatékonyabb vízfelhasználás érdekében csökkentik párologtatásukat, jobban szabályozzák a sztomák nyitását. A lombtömeg csapadékhiányosabb területen kisebb, ezáltal kevesebb felületet biztosít a párolgásra, valamint több energiát tud fordítani a generatív részek fejlesztésére.

5 Következtetések és javaslatok

A Mann-Kendall teszt eredményei megmutatják, hogy monoton növekvő vagy csökkenő trend mutatható-e ki a vármegyében a vizsgált növény termésátlagát tekintve. Ez a módszer segít azonosítani azokat a régiókat, ahol kiszámíthatóbb hozamokkal lehet kalkulálni.

Búza esetében az egész ország területén szignifikánsan pozitív trend mutatható ki, ami a napraforgó esetében egy vármegye kivételével igaz csak. A kukorica esetében, az erősen ingadozó termésátlagával csak 7 vármegyében mutatható ki szignifikáns eredmény, és az se mutat olyan erős pozitív trendet, mint a napraforgó és búza esetében. Ebből arra lehet következtetni, hogy az ország nyugati, illetve északi területein nagyobb termésstabilitásra lehet számítani.

Az AquaCrop modell segítségével meghatározható, hogy melyik vármegyében, mennyi vízfelhasználás szükséges átlagosan az egységnyi termés előállításához. Ez a megállapítás különösen értékes lehet a jövőbeli időjárási szélsőségek egyre gyakoribb megjelenése miatt, mivel segít a mezőgazdasági termelés optimalizálásában.

Az eredményekből látható, hogy mindhárom növény esetében az ország nyugati területein a legnagyobb a vízfelhasználás, majd az Északi-Középhegység területein. A legkisebb vízfelhasználás az olyan szárazabb, kevésbé csapadékos régióknál figyelhető meg, mint az Alföld. Ez magyarázható a növény vízhiányra kialakított alkalmazkodási stratégiájával.

AquaCrop-ban az egyes évek adatainak pontos szimulációjára a számomra rendelkezésre álló bemeneti paraméterek nem nyújtanak lehetőséget, azonban több éves trendek kimutatására alkalmasnak bizonyulnak. Továbbfejlesztése érdekében érdemes lenne a vármegyéken belüli részletesebb talajosztályozást alaposabban figyelembe venni, valamint az újabb és részletesebb talajtérképeket használni, például DOSoReMI (11. melléklet) Ez lehetővé tenné a különböző talajok tulajdonságainak és jellemzőinek pontosabb értékelését a modellezés folyamata közben. Ezen kívül a csak szántóföldi területekre való szűréssel a modell még inkább a valósághoz közelíthető eredményeket produkálna.

6 Összefoglalás

A Földön található édesvíz-készletekre egyre nagyobb hatással van a növekvő vízfogyasztás és vízszennyezés. A népességnövekedés hatására a mezőgazdasági termelésnek egyre nagyobb igényt kell kielégítenie, ezzel szemben viszont az egy főre jutó földterület nagysága jelentősen lecsökkent, emellett nőtt a vízfelhasználás és a vízigény, különösen az édesvíz iránti kereslet. 1972-ben világszinten az egy főre jutó mezőgazdasági terület nagysága 1,2 hektár/fő volt, ez a népességnövekedés hatására 2023-ra a felére, azaz 0,6 hektár/főre csökkent.

Figyelembe véve azt, hogy Magyarország több mint 97% nem öntözött mezőgazdasági terület, nagyobb odafigyelést igényel a termesztési technológiáknak kiválasztása és a vízlábnyom értékeinek ismerete. A kutatásomban szereplő növények kiválasztásánál az elsődleges szempont azt volt, hogy Magyarország növénytermesztésében legmeghatározóbb termesztett kultúrnövényeit vizsgáljam. Emiatt esett a választásom a napraforgóra, kukoricára és a búzára.

A növények vízlábnyomának ismerete a mezőgazdasági termelés szempontjából fontos tényező. A vízlábnyom megmutatja, hogy egy adott kultúrnövény a tenyészideje alatt mennyi vizet használt fel. Ebbe az értékbe beletartozik az esővíz, az öntözött vízigény is és az elszennyezett víz mennyisége is. A vízlábnyom értékeinek tudatos felhasználása segíti az optimális mezőgazdasági technológiák és faj/fajta választás döntéseit, ezáltal a rendelkezésre álló termőföldet tudatosabban ki lehet használni.

A kutatásom során az AGROTOPO adatbázisából használtam a talajtextúra adatokat. A felhasznált meteorológiai adatok pedig a HunagroMet adattárából származnak. A KSH, AGROTOPO és a Mann-Kendall teszt adatait térben a QGIS segítségével jelenítettem meg.

A növények terméshozamaira nemcsak a klímaadatok vannak hatással, hanem számos egyéb tényező is, amelyeket érdemes a továbbiakban számításba venni. Nem elég csak az éves átlagos csapadékmennyiségnek megfelelnie a növény vízigényének, hanem annak időbeli eloszlása is fontos szerepet játszik a terméshozam alakulásában, emiatt fontos, hogy a csapadékadatok napi szinten elérhetőek legyenek. Ezen kívül döntő fontosságú a talajtextúra, ami befolyásolja a talaj vízgazdálkodását, vízmegtartó és vízelvezető képességét, valamint a levegőtartalmát. Emellett kulcsfontosságú szerepe van még a megfelelő agrotechnikai munkálatok időben történő elvégzésének, vetésforgó kialakításának, fajtaválasztásnak és a növényvédelmi módszereknek, de ezeket az adatokat kutatásom során nem tudtam figyelembe venni.

Az eredmények alapján arra a következtetésre jutottam, hogy a sok változó paraméter miatt a módszertanunk ugyan nem feltétlenül alkalmas a pontos értékek és adatok meghatározására,

azonban jól alkalmazható tendenciák követésére és általános vízlábnyom-összefüggések feltárására.

A Mann-Kendall teszt eredményeiből az látható, hogy a vizsgált növények termésátlaga növekedett, valamint a napraforgó és búza erősen pozitív trendet mutat az ország felében, míg a kukorica egyik vármegyében sem. Az erősen pozitív trendeket mutató vármegyék nyugaton, valamint az Északi-Középhegység területein találhatók.

Az AquaCrop modell eredményeiből szintén azt a következtetést lehet levonni, hogy az ország csapadékosabb területein (nyugati országrész és Északi-Középhegység) nagyobb a vizsgált növények vízfelhasználása.

7 Köszönetnyilvánítás

Elsősorban szeretném megköszönni a konzulensemnek, dr. Waltner Istvánnak a sok segítséget, a kitartó munkáját, türelmet, támogatást és iránymutatást a dolgozatom elkészítése folyamán.

Külön köszönettel tartozom a családomnak, barátaimnak a segítségért és bátorításért, amely hozzá tett ahhoz, hogy elérjem céljaimat. Az ő biztatásuk és támogatásuk volt az, ami folyamatosan erőt és kitartást adott. Hálás vagyok nekik, hogy mindvégig mellettem álltak tanulmányaim során.

8 Irodalomjegyzék

Adams R. M., Hurd B. H., Lenhart S., Leary N. (1998): Effects of global climate change on agriculture: an interpretative review- Department of Agricultural and Resource Economics, Climate research, Oregon State University, Corvallis, Oregon 97331, USA Hagler, Bailly, Inc., Boulder, Colorado 80306, USA, U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC 20460, USA 19-30p

Antal J. (2005): Növénytermesztéstan 1. Mezőgazda kiadó, Budapest, 328p oldal

Antal J. (1987): Növénytermesztők zsebkönyve Mezőgazdasági kiadó, Budapest, 508 oldal

Asseng, S., Zhu, Y., Basso, B., Wilson, T., Cammarano D. (2014): Simulation Modeling: Applications in Cropping Systems, Reference Module in Food Science, Encyclopedia of Agriculture and Food Systems 102–112p

Biacs P. Á. (2011): A klímaváltozás élelmezés-biztonsági kérdései, Budapesti Corvinus Egyetem- Élelmiszer-tudományi Kar, Mikrobiológiai és Biotechnológiai Tanszék, Élelmiszervizsgálati Közlemények, 58, 2012/3-4, 89-94p

Boote, K. J., Jones, J. W., & Pickering, N. B. (1996): Potential Uses and Limitations of Crop Models I . Model Use as a Research Tool. Agronomy Journal. 716: 704–716 p.

Burkey, J., (2024). Mann-Kendall Tau-b with Sen's Method (enhanced) (<https://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/11190-mann-kendall-tau-b-with-sen-s-method-enhanced>), MATLAB Central File Exchange. Retrieved April 24, 2024.

Dávidovits, Zs. (2011): A katonai missziók vízellátása, zenon víztisztító rendszer használata 37-46p

Donald, W. Meals Jean Spooner, Steven A. Dressing, and Jon B. Harcum. 2011. Statistical analysis for monotonic trends, Tech Notes 6, November 2011. Developed for U.S. Environmental Protection Agency by Tetra Tech, Inc., Fairfax, VA, 23 p.

"Feddema, J. J. 2005: A revised Thornthwaite-type global climate classification. – Physical Geography, 26. pp. 442-466."

Fogarassy, Cs, Neubauer É. (2011): Vízgazdaságtan, avagy a vízlábnyommérése és gazdasági összefüggései

Han, Y.; Jia, D.; Zhuo, L.; Sauvage, S.; Sánchez-Pérez, J.-M.; Huang, H.; Wang, C. Assessing the Water Footprint of Wheat and Maize in Haihe River Basin, Northern China (1956–2015). *Water* 2018, 10, 867. <https://doi.org/10.3390/w10070867>

Hoekstra, A.Y., Chapagain, A.K., Aldaya, M.M., Mekonnen, M.M. (2011): The Water Footprint Assessment Manual- Setting the Global Standard,

Hoekstra, A. Y., Chapagain, A. K. (2007): Water footprints of nations: Water use by people as a function of their consumption pattern, *Water Resour Manage* 21:35–48

Hoekstra, A. Y., Mekonnen, M. M. (2012) : The water footprint of humanity, Pacific Institute for Studies in Development, Environment, and Security, Oakland, CA

Hoekstra, A. Y., The water footprint of food, Twente Water Centre, University of Twente, the Netherlands. 49-61p <https://www.waterfootprint.org/resources/Hoekstra-2008-WaterfootprintFood.pdf>

Hsiao, C. T., Heng, L., Steduto, P., Rojas-Lara, B., Raes, D., & Fereres, E. (2009): AquaCrop—The FAO Crop Model to Simulate Yield Response to Water: III. Parameterization and Testing for Maize

http1: <https://www.worldometers.info/world-population/world-population-by-year/>

http2: <https://ourworldindata.org/grapher/total-agricultural-land-use-per-person>

http3: https://www.agroinform.hu/gazdasag/agrarium-2023-ksh-mezogazdasagi-adatok-67516-001?fbclid=IwZXh0bgNhZW0CMTAAR1z57ywmX1U4RbVoeBgabhtbtiti-kKEeJ4CLCxXleWPnXOQrabOPYIbIs_aem_AaxwEuZ_Q82NUgXkTWLCMIVBZaw9B2vSvjoqOAZdJ0mZNFapc4tN0zNRMU3-GA8RujChZBV5Arkx-rXT6kV0m16V

http4 222: <https://openherbarium.org/taxa/index.php?taxon=236114>

http5: <https://nph.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/nph.18489>

http6: <https://www.corteva.hu/agronomiai-kozpont/A-kukorica-fejlodesi-fazisainak-meghatározása.html>

http7: https://dtk.tankonyvtar.hu/bitstream/handle/123456789/3608/2011-0029_de_novenyterm_es_kerteszeti_termesztese_elmelet.pdf?sequence=1&isAllowed=y

http8:

https://www.met.hu/eghajlat/magyarorszag_eghajlata/altalanos_eghajlati_jellemzes/csapadek/

http9: <https://portal.nebih.gov.hu/-/magyarorszag-talajtipusai>

http10: <https://dssat.net/about/>

http11: <https://www.fao.org/land-water/land/land-governance/land-resources-planning-toolbox/category/details/fr/c/1236450/>

http12: <https://www.apsim.info/>

http13: <https://www.wur.nl/en/research-results/research-institutes/environmental-research/facilities-tools/software-models-and-databases/wofost.htm>

http14: <https://www.fao.org/aquacrop/en/>

http15: <http://www.elkh-taki.hu/hu/osztalyok/kornyezetinformatikai-osztaly/agrotopo>

http16: <https://dosoremi.hu/>

http17: <https://www.met.hu/rolunk/tevekenysegek/adattar/>

http18: <https://www.fao.org/aquacrop/overview/whatisaquacrop/en/>

http19: <https://www.fao.org/land-water/land/land-governance/land-resources-planning-toolbox/category/details/en/c/1026354/>

http20: <https://www.xlstat.com/en/solutions/features/mann-kendall-trend-tests>

Kocsis K. (főszerk.) 2018: Magyarország Nemzeti Atlasza- Természeti környezet. Budapest, MTA CSFK Földrajztudományi Intézet 187 p (<https://www.nemzetiatlasz.hu/MNA/2.html>)

Kocsis M.- Dunai A.- Farsang A.- Makó A. (2018): Magyarország kistájainak talajspecifikus aszályérzékenysége a szántóföldi növények termésreakciói alapján 89-101

Kocsisné M. G, Kocsis L., Kovács J., Pepó P., Tóth Z., (2013): Növénytermesztési és kertészeti termékek termelése., Debreceni Egyetem- Gazdálkodástudományi és Vidékfejlesztési Kar, Pannon Egyetem Georgikon kar.

Kovács, B. (1997): Az édesvízkészletek veszélyeztetettsége és fenntartható használata

Mekonnen, M. M. and Hoekstra, A. Y.: A global and high-resolution assessment of the green, blue and grey water footprint of wheat, Hydrol. Earth Syst. Sci., 14, 1259–1276, <https://doi.org/10.5194/hess-14-1259-2010>, 2010.

Neubauer, É. (2010), Vízlábnyom Magyarországon, Tudományos Diákköri Konferencia dolgozat, Szent István Egyetem GTK RGV

Neubauer, É. (2014) Magyarország vízgazdálkodásának optimalizációs lehetősége a vízlábnyomon keresztül. Doktori értekezés Szent István Egyetem (2000-2020). 141p

DR. PÉCZELY GY. 1979: Éghajlat. – Tankönyvkiadó, Budapest. pp. 238-284

Radics L. (szerk.) (1994): Szántóföldi növénytermesztés. Kertészeti és Élelmiszeripari Egyetem, Kertészeti Kar, Budapest

Raes, D. (2023): AquaCrop training handbooks Book I Understanding AquaCrop. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations

Raes, D., Steduto, P., Hsiao, T. C., Fereres, E. (2023) Reference manual- Chapter 1 FAO crop-water productivity model to simulate yield response to water, Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations

Skarbit N. (2012): Magyarország éghajlata a XX. században Feddema módszere alapján, 35p

Spitters, C. J. T. (1990): Crop Growth Models: Their Usefulness and Limitations. Acta Horticulturae. 267: 349–368 p.

Steduto, P., Hsiao, T. C., Raes, D., Fereres, E., (2009): AquaCrop—The FAO Crop Model to Simulate Yield Response to Water: I. Concepts and Underlying Principles, Agronomy Journal, Volume 101, Issue 3, 426-437p <https://doi.org/10.2134/agronj2008.0139s>

Stefanovits P., Filep Gy., Fülek Gy.,(1999): Talajtan- Mezőgazd. Kiadó, Bp., 1999. 470 p

Steffen Uhlig, Kirsten Simon, Norbert Schick, Susan Köhler, Daniel Rothmaler (2002): Entwicklung statistischer Verfahren für Ringversuche, Methodenvvalidierung und Auswertung von marinen Daten Teilvorhaben II: Zusammenstellung und Bewertung von statistischen Verfahren zur Auswertung von biologischen und chemischen Daten in der MUDAB-Umweltbundesamt, Berlin,

Subedi A. (2022): Performing a Mann-Kendall Trend Test for Temperature Data in Python, <https://codefornepal.org/2022/08/29/mann-kendall>

Szálkainé, F. A. (2014): A Hernád, a Szamos, a Berettyó és a Tisza vízminőségi jellemzőinek változása a 2009-től 2013-ig terjedő időszakban

Szöllősi-Nagy A. (2018): Víz a XXI. században: lesz-e elég? (Megatrendek, globális és lokális vízgazdálkodási kihívások –mit ér a tudományunk, s van-e megoldás?) 370-380p

Takács, S. (2019): Precíziós öntözési technológia: aquacrop modell alkalmazhatósága az ipari paradicsom termesztésében. Doktori értekezés, Szent István Egyetem (2000-2020). 119 p.

Vígh T. (2012): Gyomirtási technológiák hatása herbicid toleráns napraforgó hibridekre 149p

Waltner, I.; Ribács, A.; Gémes, B.; Székács, A. Influence of Climatic Factors on the Water Footprint of Dairy Cattle Production in Hungary—A Case Study. *Water* **2023**, *15*, 4181. <https://doi.org/10.3390/w15234181>

Whisler, F. D., Acock. B., Baker, D. N., Fye, R. E., Hodges, H. F., Lamber, J. R., Lemon ,H.E., Mckinion, J. M.& Reddy, V. R. (1986). Crop simulation models in agronomic systems. *Advances in Agronomy*. 40: 141–208 p.

Yeşilköy S., Şaylan L. (2021): Yields and water footprints of sunflower and winter wheat under Different Climate Projections, *Journal of Cleaner Production*

9 Ábrák és táblázatok jegyzéke

1. ábra: A búza országos termésátlaga 2000-2023	7
2. ábra: A közönséges búza sematikus rajza	9
3. ábra: Kukorica országos termésátlaga 2000-2023.	11
4. ábra: A kukorica támasztógyökerei.....	12
5. ábra: A kukorica morfológiája	13
6. ábra: A napraforgó országos termésátlaga 2000-2023.	15
7. ábra: A napraforgó morfológiája	17
8. ábra: A napraforgó, kukorica és búza termésátlagai.....	19
9. ábra: A napraforgó, kukorica és búza vetésterülete.....	19
10. ábra: Búza vízlábnyoma eddigi kutatási eredmények alapján	25
11. ábra: AquaCrop modell sematikus rajza.....	28
12. ábra: A búza termésátlaga (kg/ha) vármegyék szerint 2020, 2022.....	31
13. ábra: Kukorica termésátlaga (kg/ha) vármegyék szerint 2020, 2022	32
14. ábra: Napraforgó termésátlaga (kg/ha) vármegyék szerint 2020, 2022	32
15. ábra: KSH országos átlagadatai a vizsgált növényekre	34
16. ábra: Kukorica "tau" és "p" értéke	35
17. ábra: Napraforgó "tau" és "p" értéke.....	35
18. ábra: Búza "tau" és "p" értéke.....	35
19. ábra: Tau értékek búza, kukorica, napraforgó esetében	36
20. ábra: Talajtextúra adatok AGROTOPO.....	37
21. ábra: Talajtextúra eloszlása Békés és Nógrád vármegyében.....	38
22. ábra: Kalibrált napraforgó vízfelhasználása	40
23. ábra: AquaCrop napraforgó vízfelhasználása	41
24. ábra: A búza vízfelhasználása, kg/m ³	42
25. ábra: AquaCrop kukorica vízfelhasználás, kg/m ³	43
26. ábra: Búza termésátlaga és vízfelhasználása, Fejér vármegye.....	44
1. táblázat: A vizsgált növények termésátlagai 2020, 2022.	33

NYILATKOZAT

a záródolgozat/szakdolgozat/diplomadolgozat/portfólió¹ nyilvános hozzáféréséről és eredetiségéről

A hallgató neve: FATER KATALIN
A Hallgató Neptun kódja: UCSZNC
A dolgozat címe: JELENTŐSEBB HAZAI SZÁNTÓFÖLDI NÖVÉNYEK VILÁGNYOMÁNAK SZÁMITÁSA
A megjelenés éve: 2024
A konzulens intézetének neve: KÖRNYEZETTUDOMÁNYI INTÉZET
A konzulens tanszékének a neve: VILGÁZDALKODÁSI ÉS KLIMAADAPTÁCIÓS TANSZÉK

Kijelentem, hogy az általam benyújtott záródolgozat/szakdolgozat/diplomadolgozat/portfólió² egyéni, eredeti jellegű, saját szellemi alkotásom. Azon részeket, melyeket más szerzők munkájából vettem át, egyértelműen megjelöltem, és az irodalomjegyzékben szerepeltettem.

Ha a fenti nyilatkozattal valótlan állítottam, tudomásul veszem, hogy a záróvizsga-bizottság a záróvizsgából kizár és a záróvizsgát csak új dolgozat készítése után tehetek.

A leadott dolgozat, mely PDF dokumentum, szerkesztését nem, megtekintését és nyomtatását engedélyezem.

Tudomásul veszem, hogy az általam készített dolgozatra, mint szellemi alkotás felhasználására, hasznosítására a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem mindenkori szellemitulajdon-kezelési szabályzatában megfogalmazottak érvényesek.

Tudomásul veszem, hogy dolgozatom elektronikus változata feltöltésre kerül a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem MATER Hallgatói Dolgozatok repozitóriumába. Tudomásul veszem, hogy a megvédett és

- nem titkosított dolgozat a védelmet követően
- titkosításra engedélyezett dolgozat a benyújtásától számított 5 év eltelté után

nyilvánosan elérhető és kereshető lesz az Egyetem MATER Hallgatói Dolgozatok repozitóriumában.

Kelt: 2024 év 11 hó 10 nap

Fater Katalin
Hallgató aláírása

¹ A megfelelő dolgozattípus meghagyása mellett a többi típus törlendő.

² A megfelelő dolgozattípus meghagyása mellett a többi típus törlendő.

NYILATKOZAT

Fatér Katalin (név) (hallgató Neptun azonosítója: UCSZNC) konzulenseként nyilatkozom arról, hogy a záródolgozatot/szakdolgozatot/diplomadolgozatot/portfóliót¹ áttekintettem, a hallgatót az irodalmi források korrekt kezelésének követelményeiről, jogi és etikai szabályairól tájékoztattam.

A záródolgozatot/szakdolgozatot/diplomadolgozatot/portfóliót a záróvizsgán történő védeésre **javaslom** / **nem javaslom**².

A dolgozat állam- vagy szolgálati titkot tartalmaz: igen **nem**³

Kelt: 2024 év november hó 11 nap



belső konzulens

¹ A megfelelő dolgozattípus meghagyása mellett a többi típus törlendő.

² A megfelelő aláhúzendő.

³ A megfelelő aláhúzendő.

11 Mellékletek

1. melléklet: A búza vízlábnyoma a fontosabb termelő országokban-1996-2005

(forrás: Mekonnen, M. M. and Hoekstra, A. Y.: A global and high-resolution assessment of the green, blue and grey water footprint of wheat, Hydrol. Earth Syst. Sci., 14, 1259–1276, <https://doi.org/10.5194/hess-14-1259-2010>, 2010.

Water footprint of wheat production for the major wheat producing countries. Period: 1996–2005.

Country	Contribution to global wheat production (%)	Total water footprint of production (Mm ³ /yr)				Water footprint per ton of wheat (m ³ /ton)			
		Green	Blue	Grey	Total	Green	Blue	Grey	Total
Argentina	2.5	25 905	162	1601	27 668	1777	11	110	1898
Australia	3.6	44 057	363	2246	46 666	2130	18	109	2256
Canada	3.9	32 320	114	4852	37 286	1358	5	204	1567
China	17.4	83 459	47 370	31 626	162 455	820	466	311	1597
Czech Republic	0.6	2834	0	900	3734	726	0	231	957
Denmark	0.8	2486	30	533	3049	530	6	114	651
Egypt	1.1	1410	5930	2695	10 034	216	907	412	1536
France	6.0	21 014	48	199	21 261	584	1	6	591
Germany	3.5	12 717	0	3914	16 631	602	0	185	787
Hungary	0.7	4078	8	1389	5476	973	2	331	1306
India	11.9	44025	81 335	20 491	145 851	635	1173	296	2104
Iran	1.8	26 699	10 940	3208	40 847	2412	988	290	3690
Italy	1.2	8890	120	1399	10 409	1200	16	189	1405
Kazakhstan	1.7	33 724	241	1	33 966	3604	26	0	3629
Morocco	0.5	10 081	894	387	11 362	3291	292	126	3710
Pakistan	3.2	12 083	27 733	8000	47816	644	1478	426	2548
Poland	1.5	9922	4	4591	14517	1120	0	518	1639
Romania	0.9	9066	247	428	9741	1799	49	85	1933
Russian Fed.	6.5	91 117	1207	3430	95 754	2359	31	89	2479
Spain	1.0	8053	275	1615	9943	1441	49	289	1779
Syria	0.7	5913	1790	842	8544	1511	457	215	2184
Turkey	3.3	40 898	2570	3857	47 325	2081	131	196	2408
UK	2.5	6188	2	2292	8482	413	0	153	566
Ukraine	2.5	26 288	287	1149	27724	1884	21	82	1987
USA	10.2	111 926	5503	13 723	131 152	1879	92	230	2202
Uzbekistan	0.7	3713	399	0	4112	939	101	0	1039
World		760 301	203 744	123 533	1087 578	1279	343	208	1830

2. **melléklet:** *A búzatermékek nemzetközi kereskedelméhez kapcsolódó bruttó virtuális vízexport és -import 1996–2005 között*

(forrás: Mekonnen, M. M. and Hoekstra, A. Y.: A global and high-resolution assessment of the green, blue and grey water footprint of wheat, Hydrol. Earth Syst. Sci., 14, 1259–1276, <https://doi.org/10.5194/hess-14-1259-2010>, 2010.)

Gross virtual water export and import related to the international trade of wheat products in the period 1996–2005.

	Largest virtual water exporters (Mm ³ /yr)					Largest virtual water importers (Mm ³ /yr)			
	Green	Blue	Grey	Total		Green	Blue	Grey	Total
USA	48 603	2389	5959	56 952	Brazil	11 415	88	801	12 304
Canada	24 144	85	3625	27 854	Japan	10 393	320	1147	11 860
Australia	24 396	201	1244	25 841	Italy	7345	174	760	8279
Argentina	15 973	100	987	17 060	Egypt	6838	274	633	7745
Kazakhstan	16 490	118	0	16 608	Korea, Rep	6511	398	685	7594
France	9347	21	89	9457	Indonesia	6512	364	577	7453
Russian Fed	7569	100	285	7954	Iran	6105	60	504	6670
Ukraine	4587	50	200	4837	Malaysia	5616	185	636	6437
Germany	3537	0	1090	4626	Algeria	5330	323	696	6350
India	1266	2338	589	4193	Mexico	5155	205	660	6020
Turkey	2208	139	208	2555	Russian Fed	5334	69	92	5495
UK	1189	0	441	1630	Philippines	3923	426	538	4887
Spain	1242	42	249	1534	Spain	4161	80	493	4734
Hungary	1035	2	352	1389	China	4087	98	453	4638
Others	13 107	2202	2488	17 797	Others	85 967	4725	9131	99 823
Global flow	174 693	7789	17 807	200 289	Global flow	174 693	7789	17 807	200 289

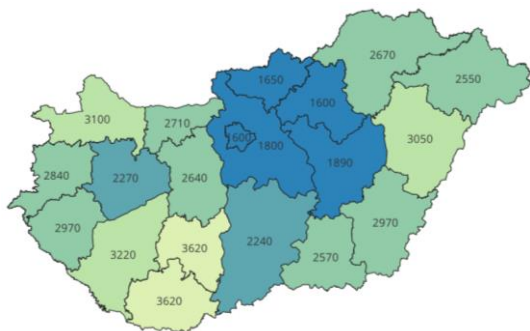
3. **melléklet:** *A búza vízlábnyoma és annak megoszlása régióként és országosan, 2009*

Forrás: Neubauer, 2010

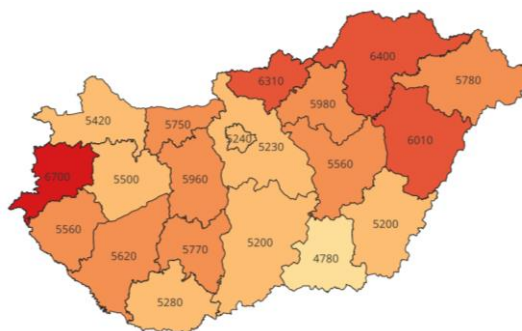
Régió	Vízlábnyom (WF) (m ³ /t)				Országos átlag (%)			
	WF-green	WF-blue	WF-grey	WF	WF-green	WF-blue	WF-grey	WF
Dél-Alföld	589	535	270	1 394	99	131	101	110
Észak-Alföld	675	432	309	1 417	114	106	116	112
Dél-Dunántúl	569	329	216	1 114	96	81	81	88
Nyugat-Dunántúl	526	293	240	1 059	89	72	90	84
Közép-Dunántúl	527	422	257	1 206	89	104	96	95
Észak-Magyarország	574	279	290	1 143	97	69	108	90
Közép-Magyarország	777	505	330	1 612	131	124	123	127
Magyarország átlagosan	593	407	268	1 268	100	100	100	100

4. melléklet: Búza termésátlag, kg/ha

2003

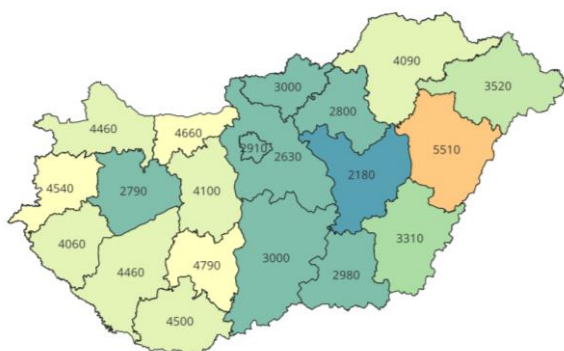


2023

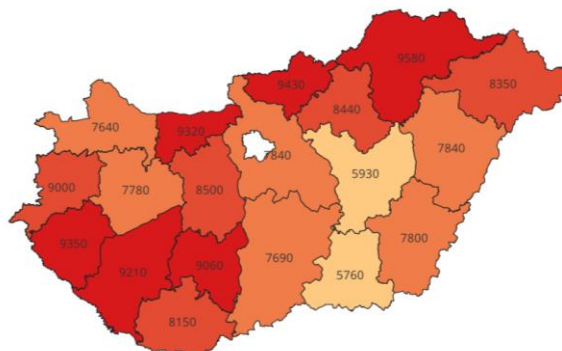


5 melléklet: A kukorica termésátlaga

2003

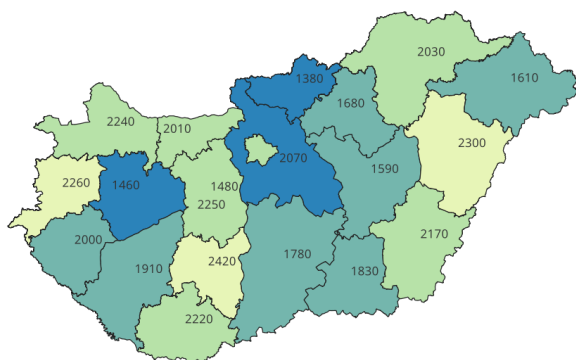


2023

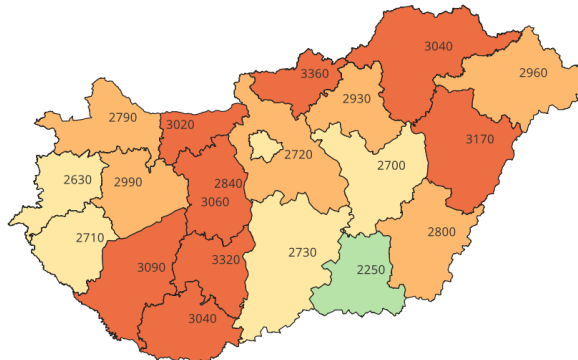


6. melléklet: A napraforgó termésátlaga, kg/ha

2003



2023



7. melléklet: Mann-Kendall teszt eredményei:

Területi egység neve	búza		napraforgó		kukorica	
Termésátlag, kg/hektár	tau	p	tau	p	tau	p
Budapest	0,424607	0,005087	0,335968	0,026522	0,351779	0,020119
Pest	0,430830	0,004340	0,415020	0,006020	0,264822	0,081318
Fejér	0,464289	0,002171	0,346625	0,022938	0,102971	0,508938
Komárom- Esztergom	0,415020	0,006020	0,451486	0,002832	0,237624	0,119053
Veszprém	0,644269	0,000019	0,513961	0,000709	0,388120	0,010386
Győr-Moson- Sopron	0,575401	0,000141	0,459407	0,002379	0,304348	0,044729
Vas	0,747036	0,000001	0,662704	0,000011	0,478261	0,001528
Zala	0,736635	0,000001	0,623021	0,000037	0,459407	0,002379
Baranya	0,509881	0,000723	0,532813	0,000438	0,162055	0,290777
Somogy	0,601981	0,000066	0,530694	0,000442	0,320158	0,034615
Tolna	0,511909	0,000717	0,467328	0,001994	0,118812	0,443575
Borsod- Abaúj- Zemplén	0,557312	0,000218	0,554457	0,000240	0,396040	0,008908
Heves	0,480163	0,001517	0,432543	0,004313	0,359684	0,017457
Nógrád	0,462451	0,002187	0,341954	0,024625	0,304348	0,044729
Hajdú-Bihar	0,427724	0,004700	0,549407	0,000268	0,193676	0,204904
Jász- Nagykun- Szolnok	0,438735	0,003671	0,501976	0,000876	0,213862	0,161441
Szabolcs- Szatmár- Bereg	0,535719	0,000398	0,470356	0,001831	0,253466	0,096025
Bács-Kiskun	0,530694	0,000442	0,534957	0,000434	0,162055	0,290777
Békés	0,367589	0,015109	0,475248	0,001667	0,102971	0,508938
Csongrád- Csanád	0,340595	0,024725	0,285149	0,060683	0,146245	0,341718
Ország összesen	0,538615	0,000362	0,533597	0,000402	0,221783	0,146201

8. melléklet: Baranya vármegye talajtextúra térképe és attribútum táblája



Baranya – Összes elem: 124, Lészűrt: 124, Kiválasztott: 0

	TATIP	KOZET	FIZIK	ASVANY	VIZGD	KEMHT	SZERV	TVAST	TERTEK	NAME	ADMIN_LEVE	id	Terület
1	26	1	3	4	3	3	3	5	6	Baranya várm...	6	9	945
2	27	1	3	5	3	3	6	4	7	Baranya várm...	6	9	3594
3	7	1	1	2	2	2	2	5	8	Baranya várm...	6	9	238
4	11	2	3	6	3	3	3	5	5	Baranya várm...	6	9	124
5	7	2	3	6	4	2	2	5	6	Baranya várm...	6	9	19812
6	9	2	2	6	2	2	2	5	6	Baranya várm...	6	9	6
7	26	1	3	6	3	2	3	5	6	Baranya várm...	6	9	11030
8	9	2	2	6	2	2	2	5	6	Baranya várm...	6	9	86
9	11	2	3	4	3	2	3	5	5	Baranya várm...	6	9	4629
10	11	2	3	4	3	2	3	5	5	Baranya várm...	6	9	7
11	9	2	3	6	4	2	3	5	5	Baranya várm...	6	9	1215
12	7	2	3	4	4	2	2	5	6	Baranya várm...	6	9	23452
13	13	2	3	2	3	3	5	5	3	Baranya várm...	6	9	295
14	11	2	3	4	3	2	3	5	5	Baranya várm...	6	9	995
15	7	2	3	5	4	2	2	5	6	Baranya várm...	6	9	4156
16	9	2	3	4	4	2	3	5	5	Baranya várm...	6	9	1306
17	11	2	3	6	3	3	3	5	5	Baranya várm...	6	9	386
18	7	3	3	5	4	2	2	5	7	Baranya várm...	6	9	8953
19	7	3	3	2	4	2	2	5	6	Baranya várm...	6	9	589
20	7	3	4	5	5	1	2	5	7	Baranya várm...	6	9	5018
21	7	2	3	5	4	2	2	5	6	Baranya várm...	6	9	17370
22	7	3	3	2	4	1	2	5	7	Baranya várm...	6	9	1334
23	7	2	3	5	4	1	2	5	6	Baranya várm...	6	9	10534
24	7	3	3	2	4	2	2	5	6	Baranya várm...	6	9	5279
25	7	2	3	6	4	1	2	5	6	Baranya várm...	6	9	421
26	27	1	3	5	3	3	6	4	7	Baranya várm...	6	9	193
27	7	2	3	6	4	2	2	5	6	Baranya várm...	6	9	118
28	26	1	3	3	3	2	3	5	6	Baranya várm...	6	9	322
29	7	3	4	5	5	2	2	5	7	Baranya várm...	6	9	10575
30	9	2	3	2	4	2	3	5	6	Baranya várm...	6	9	35223
31	7	8	7	9	9	2	2	3	8	Baranya várm...	6	9	1439

Minden elem megjelenítése

9. melléklet: Vármegye talajeloszlás %-ban

	Bács-Kiskun	Győr-Moson-Sopron	Békés	Borsod	Budapest	Csongrád-Csanád	Fejér	Baranya	Hajdú-Bihar	Heves
Víz, vagy nincs adat	0	0	0	0,068274257	0	0	0,658420159	0	0	2,514227
homok	43,51	8,014049368	0	0,664008781	15,58846454	19,37901825	3,805709827	2,128222045	13,86086361	4,480992
homokos vályog	15,96	10,71097523	2,462331659	1,177453398	3,361025037	9,176438601	9,302106761	6,959708615	5,034970031	0,425118
vályog	36,06	43,93978025	42,07742566	27,8421588	10,20474117	32,64080141	77,6437784	79,58294169	36,68207719	27,94776
agyagos vályog	3,84	19,35862823	20,24285524	54,20615218	0	29,52229829	0,224216276	6,054327392	32,16642065	50,67542
agyag	0,00	0	33,86283835	8,531923072	0	9,281443442	0	0	11,21444335	6,776065
Tőzeg, kotu	0,63	7,768852627	1,354549091	0,812630182	0	0	1,824252995	0	1,041225177	0
Durva vázrészek	0,00	10,20771429	0	6,697399334	5,682185427	0	6,541515583	5,27480026	0	7,180418
Budapest,belváros	0,00	0	0	0	65,16358383		0	0		0
	Jász-Nagykun-Szolnok	Komárom-Esztergom	Nógrád	Pest	Somogy	Szabolcs-Szatmár-Bereg	Tolna	Vas	Veszprém	Zala
Víz, vagy nincs adat	0,698427821	0	0	0	4,288261824	0	0	0	6,343028584	1,087232
homok	3,941461004	9,011873438	3,337300878	34,36686035	29,58329285	45,51879917	4,842774454	2,050809396	10,56282643	3,726672
homokos vályog	1,663332718	30,53441528	1,28989569	17,07620592	10,92343436	12,38558167	12,87504336	15,57426266	14,86933706	4,61327
vályog	20,99384488	46,0424083	50,95126004	36,06084702	51,54081365	14,06885339	73,00311091	61,5260832	32,4191521	75,95004
agyagos vályog	54,85487923	2,99290247	40,38415467	9,92646138	0,08002516	10,99448793	8,788859261	2,58550293	0,868920303	7,166799
agyag	17,84805434	0	3,11521978	0,426235975	0	14,00721949	0	2,405370353	0	0
Tőzeg, kotu	0	0	0	0	3,584172143	3,025058344	0,000270985	0	1,386956337	5,367169
Durva vázrészek	0	11,41840051	0,922168941	2,118031206	0	0	0,489941034	15,85797147	33,54977918	2,088818
Budapest,belváros		0	0	0,025358145		0		0	0	0

10. melléklet: AquaCrop stand alone verzió, több éves futtatás OUTPUT adattáblája

zala_loam_sunPRMseason – Jegyzetfőm

Fájl Szerkesztés Formátum Nézet Súgó

AquaCrop 7.1 (August 2023) - Output created on (date) : 06-11-2024 at (time) : 18:26:13

RunNr	Day1	Month1	Year1	Rain mm	ETo mm	GD degC.day	CO2 ppm	Irri mm	Infiltr mm	Runoff mm	Drain mm	Upflow mm	E mm	E/Ex %	Tr mm	TrW mm	Tr
Tot(1)	22	4	1999	448.6	670.6	2408.1	368.54	0.0	441.5	7.1	15.9	0.0	118.9	61	464.8	464.8	
Tot(2)	22	4	2000	279.1	750.0	2406.2	369.71	0.0	277.6	1.5	0.0	0.0	96.2	44	402.7	402.7	
Tot(3)	22	4	2001	319.1	718.8	2408.4	371.32	0.0	306.9	12.2	0.0	0.0	83.5	37	400.7	400.7	
Tot(4)	22	4	2002	331.5	700.9	2403.5	373.45	0.0	330.5	1.0	1.6	0.0	92.0	47	442.1	442.1	
Tot(5)	22	4	2003	237.8	738.8	2411.5	375.98	0.0	235.0	2.8	0.0	0.0	95.5	41	371.7	371.7	
Tot(6)	22	4	2004	414.4	697.2	2401.7	377.70	0.0	401.3	13.1	0.0	0.0	100.6	48	457.5	457.5	
Tot(7)	22	4	2005	518.7	688.0	2404.7	379.98	0.0	493.6	25.1	0.0	0.0	115.9	54	454.7	454.7	
Tot(8)	22	4	2006	451.8	694.1	2402.2	382.09	0.0	437.5	14.3	52.6	0.0	146.7	72	452.2	452.2	
Tot(9)	22	4	2007	454.1	731.1	2401.9	384.02	0.0	434.1	20.0	5.7	0.0	121.8	58	426.2	426.2	
Tot(10)	22	4	2008	370.7	712.0	2409.3	385.83	0.0	366.4	4.3	0.9	0.0	92.5	44	475.8	475.8	
Tot(11)	22	4	2009	413.3	695.4	2401.6	387.64	0.0	409.6	3.7	2.0	0.0	118.9	61	486.7	486.7	
Tot(12)	22	4	2010	671.9	674.3	2403.6	390.10	0.0	619.0	52.9	60.9	0.0	108.9	56	453.1	453.1	
Tot(13)	22	4	2011	286.4	716.6	2413.0	391.85	0.0	285.0	1.4	0.0	0.0	108.3	49	418.6	418.6	
Tot(14)	22	4	2012	295.0	738.3	2406.9	394.06	0.0	293.6	1.4	2.6	0.0	121.7	57	415.3	415.3	
Tot(15)	22	4	2013	342.1	723.9	2404.4	396.74	0.0	334.6	7.5	0.7	0.0	120.4	57	385.6	385.6	
Tot(16)	22	4	2014	645.6	665.1	2404.0	398.81	0.0	593.8	51.8	21.8	0.0	122.5	62	455.7	455.7	
Tot(17)	22	4	2015	318.5	697.9	2407.5	401.01	0.0	301.2	17.3	24.8	0.0	107.1	54	387.5	387.5	
Tot(18)	22	4	2016	438.8	690.2	2402.1	404.41	0.0	433.8	5.0	13.6	0.0	143.8	69	466.3	466.3	
Tot(19)	22	4	2017	397.8	729.3	2406.6	406.76	0.0	368.8	29.0	0.2	0.0	112.4	53	418.9	418.9	
Tot(20)	22	4	2018	459.5	673.7	2408.0	408.72	0.0	445.4	14.1	0.0	0.0	115.9	65	475.5	475.5	
Tot(21)	22	4	2019	451.1	679.7	2402.3	411.66	0.0	431.6	19.5	51.1	0.0	128.7	65	461.5	461.5	
Tot(22)	22	4	2020	499.4	696.0	2403.4	414.24	0.0	476.8	22.6	0.0	0.0	111.4	52	470.6	470.6	
Tot(23)	22	4	2021	316.4	725.9	2408.6	416.45	0.0	311.8	4.6	13.2	0.0	161.3	65	361.6	361.6	
Tot(24)	22	4	2022	369.8	707.8	2401.2	418.57	0.0	366.3	3.5	6.8	0.0	108.2	54	458.5	458.5	

11 melléklet: Talajtextúra adatok DOSoReMI

