

DIPLOMADOLGOZAT

Suri Emília Olga
Agrármérnök szak

Gödöllő
2023



**Magyar Agrár- és Élettudományi
Egyetem
Szent István Campus
Agrármérnök Szak**

**Az ipari paradicsom vízlábnyoma
Magyarországon**

Belső konzulens:	Dr. Waltner István egyetemi docens
Készítette:	Suri Emília Olga BEKD6M nappali tagozat
Intézet/Tanszék:	Környezettudományi Intézet Vízgazdálkodási és Klímaadaptációs Tanszék

Gödöllő

2023

Tartalomjegyzék

1. Bevezetés és célkitűzések.....	3
2. Szakirodalmi áttekintés	5
2.1. A paradicsom rendszertani helye, származása és botanikai jellemzése	5
2.2. A paradicsom környezeti igényei	6
2.3. A paradicsomtermesztés helyzete.....	11
2.4. Magyarország környezeti tényezői.....	13
2.5. Növénynövekedési modellek.....	18
2.6. Az Aquacrop modell	20
2.7. A vízlábnyom	21
3. A vizsgálatok módszerei.....	24
3.1. A felhasznált adatok	24
3.2. Az alkalmazott módszerek	25
3.3. Statisztikai módszer.....	28
4. Eredmények és értékelésük	29
4.1. Öntözővíz igény	29
4.2. Becsült termés	31
4.3. A modell terméseredményeinek összehasonlítása a KSH adataival.....	33
4.4. Evapotranspiráció.....	35
4.5. Vízlábnyom	37
5. Következtetések és javaslatok	41
6. Összefoglalás	43
7. Köszönetnyilvánítás.....	44
8. Irodalomjegyzék	45
9. Nyilatkozatok.....	50

1. Bevezetés és célkitűzések

Az elmúlt században a globális mezőgazdasági termelés jelentősen növekedett, főként a termelékenységet növelő technológiáknak és a természeti erőforrások felhasználásában történő hatékonyságnövekedésnek köszönhetően ([http1](#)). Az erőforrásokkal való megfelelő és hatékony gazdálkodás továbbra is fontos célja a modern mezőgazdaságnak, amely vitathatatlanul az egyik legérzékenyebb ágazat, az éghajlati változékonyság és kockázatok szempontjából (Shiferaw et al. 2009).

A víz létfontosságú az élet fenntartásához, ezért a népesség növekedésével és az urbanizációval egyre nagyobb a víz iránti igény. Minőségének és hozzáférhetőségének fenntartása fontos cél a mai társadalomban, mivel az édesvíz jelentős részét szennyezés veszélye fenyegeti, vagy rossz kezelés alatt áll ([http2](#)). Magyarország bővelkedik édesvízforrásokban, hiszen a legtöbb víztestünk kis vízgyűjtőterületeken található, és általában többlet vízmennyiséggel rendelkezik, mint amennyire szükség van a fogyasztás alapján (Barreto et al. 2017).

Mivel a vízgazdálkodás kritikus szerepet játszik az emberi jólét, a mezőgazdaság, a különböző gazdasági tevékenységek és a fenntartható fejlődés szempontjából, fontos az erőforrások hatékony kezelése ([http3](#)). Annak ellenére, hogy a víz megújuló erőforrás, az emberi népesség növekedése miatt a vízigény folyamatosan növekszik, és az egyenlőtlen vízkészletelosztás még nehezebbé teszi az igények kielégítését (Bennett 2000). Az édesvízkészleteket jelentősen befolyásolja az éghajlatváltozás, és számos régióban túlhasználtak, miközben a vízfelhasználás hatszorosára nőtt az elmúlt 100 évben (Rodell et al. 2018; Wada et al. 2016). Egy tanulmány, amely az AQUASTAT adatokat felhasználva készült, azt mutatta, hogy a vízfelhasználás évente körülbelül 1%-kal növekszik ([http4](#)), míg más kutatások szerint 2050-re a vízfelhasználás tovább fog növekedni 20-30%-kal (Burek et al. 2016). A vízzel kapcsolatos problémák ezért az elkövetkező évtizedekben a legnagyobb kihívások közé tartoznak, és a fenntartható fejlődési célok közül az egyik legfontosabbá váltak (Rodell et al. 2018).

A növénytermesztési rendszerek változó környezeti feltételekre adott válaszának vizsgálatára, valós idejű megfigyelések (monitoring) hiányában, a termésmodellek használata szolgál. Az ilyen modelleket széles körben használják, és az adatok elérhetőségének javulásával egyre nagyobb érdeklődés övezi őket, ugyanakkor javításuk, alkalmazásuk és kalibrálásuk még mindig több tanulmány középpontjában áll (Pasquel et al. 2022; Chapagain et al. 2022). Az ENSZ Élelmezési és Mezőgazdasági Szervezete által kifejlesztett AquaCrop modell egyike a különböző modelleknek, amelyek a növénytermesztés vízgazdálkodásával kapcsolatos

döntések meghozatalát segítik. Az AquaCrop-ot széles körben használják az evapotranspiráció számítására, mivel megbízható és pontos eredményeket szolgáltat (Farahani et al. 2009).

A vízlábnyom egy olyan fogalom, amely egy adott termék előállításához felhasznált víz mennyiségét jelzi, amely az édesvíz emberi felhasználására utal (Hoekstra & Chapagain 2007). Ezt a fogalmat számos területen széles körben használják, mivel a víz az egyik legfontosabb erőforrás, amelyre társadalmunknak szüksége van (Zhuo et al. 2014).

Annak ellenére, hogy Magyarországon bőséges mennyiségű édesvíz áll rendelkezésre, az erőforrásokkal való helytelen gazdálkodás a jövőben hiányproblémákhoz vezethet, és tekintettel arra, hogy a globális tendencia az édesvízfogyasztás növekedése, olyan eszközökre van szükség, amelyekkel elemezni lehet például az ország egyes területeinek, növényeinek vízlábnyomát. Ennek ismeretében ez a tanulmány az Aquacrop modell segítségével a paradicsom vízlábnyomának elemzésére összpontosít, amely Magyarországon elterjedt zöldségnövény.

A paradicsom az egyik legszélesebb körben termesztett és fogyasztott zöldség világszerte, termesztése kulcsfontosságú az élelmezésbiztonság és a gazdasági fejlődés szempontjából. A termelők azonban gyakran szembesülnek a vízhiánnyal és a tápanyag-gazdálkodással kapcsolatos kihívásokkal, amelyek csökkenthetik a terméshozamot és veszélyeztethetik a fenntarthatóságot. Ezért a paradicsomtermesztés fejlődése és a környezeti hatások csökkentése érdekében elengedhetetlen a víz- és tápanyagbevitel optimális kezelési gyakorlatának megértése (Liu et al. 2019).

Kutatásunk során az alábbi kérdésekre kerestük a választ:

- Mennyire hatékonyan alkalmazható az AquaCrop modell a hazai paradicsomtermesztés vízfelhasználásának térbeli becslésére?
- Milyen különbségeket mutat a modell egy csapadékos és egy aszályos évben?
- Hogyan alakul a paradicsom vízlábnyoma csapadékos és aszályos években, öntözött körülmények között?

2. Szakirodalmi áttekintés

2.1. A paradicsom rendszertani helye, származása és botanikai jellemzése

A paradicsom (*Solanum lycopersicum* L.) a Solanaceae család több, mint 3000 tagjának egyike (Knapp et al. 2004). A család legfontosabb fajai közé tartozik a burgonya (*Solanum tuberosum*), a paradicsom, a paprika (*Capsicum annuum*) és a tojásgyümölcs (*Solanum melongena*). A *Lycopersicon* (Mill.) nemzetség kilenc kis termetű fajból áll, amelyek előfordulása Peru nyugati részére, valamint Chile és Ecuador egy kis területre korlátozódik. Csak a *Lycopersicum esculentum* var. *esculentum*, a termesztett paradicsom, és a *L. esculentum* var. *cerasiforme*, a kis termetű vadon élő rokona gyakori a világ számos részén, különösen Közép-Amerikában és a Karib-térségben. Történelmi és nyelvészeti tanulmányok arra utalnak, hogy a termesztett paradicsomot valószínűleg a var. *cerasiforme* vad formáiból nemesítették (Nesbitt & Tanksley 2002). Genetikai vizsgálatok alapján feltételezhető, hogy a XVI. század végén Mexikóból került át Európába (Bauchet & Causse 2012), ahol kezdetben dísznövényként termesztették. A XX. század elején már elterjedt növény volt, megkezdődött a konzervipari feldolgozása is (Cselőtei et al. 1993).

A paradicsom kezdeti növekedésekor erős karógyökeret nevel, majd később az oldalgyökerek fejlődnek erőteljesebben. A termesztésben azonban a szaporítás módjával nagyban befolyásolható a gyökérrendszer jellege, palántanevelés esetén nagyszámú oldalgyökér képződik, megszűnik a karógyökér dominanciája. A szár eleinte hengeres, később bordázott. A növekedés jellege három féle lehet a főhajtás lezártságának tekintetében: determinált, féldeterminált és folytonos növekedésű. Az ipari szabadföldi termesztésben általában determinált fajtákat használnak. A paradicsom levele szórt állású, félbeszárnnyalt. A levelek tövénél gyakran hónaljhajtások törnek elő. A virágok sárga színűek, bogas virágzatba rendeződnek. A virágokban a bibe rövidebb, mint a portokok, ami lehetővé teszi az önbeporzást és öntermékenyülést. A bogyótermés alakja változatos, tömege átlagosan 30-150 g közötti. A bogyók színét egyaránt befolyásolja a bennük képződő színanyag és a héj színe. Ezáltal előfordulnak piros, lila és sárga színű termések is. A magvak kicsik, kerekdedek, molyhosak, ezermagtömegük 2,5-3,5 g (Hodossi et al. 2010).

Beltartalmi jellemzői

A paradicsom nem tartozik a kalóriadús ételek közé, azonban a benne található vegyületek és ásványi anyagok segítik az egészséges táplálkozást és kedvező hatással vannak az anyagcserére. A paradicsom kémiai összetételének ismerete alapján határozható meg táplálkozási jelentősége. A paradicsom víztartalma magas (93-96%), számos szerves savat, ásványi anyagot, vitamint és festékanyagot tartalmaz. A cukortartalom 2-4%, amely főként fruktózt és glükózt tartalmaz. A pektin szerepet játszik a paradicsom konzisztenciájának kialakításában. A paradicsom savtartalma citromsavból és almasavból áll. A paradicsom jótékony hatásait főként a piros színanyag, a likopin okozza. A paradicsom likopin-tartalmát a fajta, a termesztés módja és a környezeti tényezők befolyásolják (Helyes 2007).

A paradicsom jellegzetes édes-savanyú ízét és általános ízintenzitását a redukáló cukroknak (fruktóz és glükóz), szabad savaknak (főként citromsav), ezek arányának, valamint néhány, eddig nem azonosított illékony anyag, és a fent említett vegyületcsoportok közötti kölcsönhatásoknak köszönheti. Az ásványi anyagok közül a kálium (a szabad savtartalom befolyásolásával) és a foszfát (pufferkapacitása miatt) közvetve befolyásolja az ízt (Petro-Turza 2009).

2.2. A paradicsom környezeti igényei

Hőigény

A paradicsom Markov-Haev besorolás szerinti optimális hőigénye $22\pm 7^{\circ}\text{C}$. A csírázás már 10°C hőmérsékleten megkezdődik, de az egyenletes keléshez inkább $18-22^{\circ}\text{C}$ -ra van szükség. A növény növekedése 10°C alatt leáll, tartós 32°C felett pedig korlátozott (Hodossi et al. 2010). A magas hőmérséklet szikleveles állapotban a magoncok megnyúlását eredményezheti. A vegetatív fejlődéshez $18-24^{\circ}\text{C}$, a bogyóképződéskor $20-25^{\circ}\text{C}$ az optimális. A bogyók növekedéséhez némileg alacsonyabb, $18-20^{\circ}\text{C}$ -ra van szükség. Ha az érés során a hőmérséklet meghaladja a 32°C -t, az a likopin szintézisének leállítását eredményezi, ami a paradicsom karotinoid összetételének legfontosabb tagja és a piros színért felelős (Helyes 1999).

Fényigény

A paradicsom fényigényes növény, amelynek fejlődésére egyaránt jelentős hatással van a fény erőssége és a megvilágítás időtartama. Hosszúnappalos növény, az optimális fejlődéshez napi minimum 12 óra megvilágítás szükséges (Hodossi et al. 2010), virágzáskor ennél még többre van szüksége. A tenyészidőszakban a 14-17 órás nappal és a 10-7 órás éjszaka megfelelő a termesztéshez, így szabadföldi termesztésnél nem kell fényhiánnyal számolnunk (Somos, 1978). A fény intenzitásának és időtartamának növelése felgyorsítja a virágzás megindulását, a virágzat fejlődését, a levélképződést és a szár növekedését. A rövid fotoperiódusok korábbi virágkötést és jobb virágzatfejlődést eredményeznek, míg a hosszú fotoperiódusok elősegítik a szár növekedését. A fényviszonyok a virágzat megjelenése után döntő fontosságúak, és a 10 napig tartó alacsony fényviszonyok közé való áthelyezés a fűrt teljes elhalásához vezet. Kedvező fényviszonyok között legalább 15 napra van szükség ahhoz, hogy a virágzat kifejlődjön az elégtelen fényviszonyokból történő átültetés után (Kinet 1977).

Talajigény

A szabadföldi paradicsomtermesztésre a megfelelő víztartó-kapacitású és levegőzőttégű talajok alkalmasak. Ez leginkább a középköttött homokos vályog-, vályog vagy agyagos vályogtalajokra jellemző. Az ideális az 5,8-8,2 közötti pH érték és a legalább 1,2-1,4% humusztartalom. A paradicsom nem tűri a talajtömörödést és a pangóvizet. A monokultúrás termesztés kerülendő, valamint 3 évig lehetőleg más burgonyafélét se termesszünk a területen a kártevők és kórokozók elleni könnyebb védekezés érdekében (Hodossi et al. 2010). A paradicsom számára a kalciumban gazdag talaj különösen előnyös (Somos, 1978).

Vízigény

Vízigényes zöldségféle, amely mélyre hatoló gyökérzettel rendelkezik, ezáltal jól hasznosítja a talajnedvességet (Hamar & Varga, 1985). Az ipari paradicsom vízigénye változó az adott klímától, talajtól, növény típusától, öntözéstől és egyéb agrotechnikától függően. A keléstől a betakarításig a növény által felvett vízmennyiség 400-800 mm között mozog. Az optimális talajnedvességszint biztosítása a kiültetés után alapvető fontosságú. A virágzás és a terméskötés szakasza a vízellátás szempontjából kritikus időszak. Az öntözés, különösen a vízigényes időszakban, jelentős terméstöbblettel jár. Az öntözés felfüggesztése a betakarítás előtt 2-3 héttel

gyakori technológiai elem. Szubhumid klímán a napi vízfelhasználás 4-7 mm, szárazabb területen pedig akár 8-9 mm/nap is lehet. A vízfelhasználás termelékenységére biomasszára nézve 1,3-3,5 kg/m³ (Battilani et al. 2012). A kezdeti időszakban alacsonyabb a vízfogyasztás, majd az intenzív lombnővekedési szakaszban fokozatosan emelkedik, végül a kötődés és bogyónővekedés idején éri el a csúcspontját. Ebben az időszakban használja fel az összes vízigényének 35-40%-át. Magyarországon sokéves átlagban ez az időszak június 20-tól július 31-ig tart (Hodossi et al. 2010). Az érési időszakban a lomb előregedése miatt csökken a vízfogyasztás.

Egy tanulmány a különböző talajnedvesség- és káliumszintek hatását vizsgálta a paradicsomtermésre és a vízfelhasználás hatékonyságára. A talajnedvesség kritikus tényező a növények növekedése és fejlődése szempontjából, mivel befolyásolja a tápanyagfelvételt, a fotoszintézist és a transzspirációs sebességet. A kálium pedig kulcsfontosságú makrotápanyag a fotoszintézisben, az enzimek aktiválásában, a fehérjeszintézisben és más biokémiai és fiziológiai folyamatokban. A paradicsomnövényeket három különböző talajnedvességi szintnek tették ki, a talaj vízszintjét 60-70%-os, 70-80%-os, illetve 80-90%-os szántóföldi kapacitáson tartották és három különböző adagban juttattak ki K trágyát, a különböző növekedési szakaszokban. Az eredmények azt mutatták, hogy mind a talajnedvesség, mind a káliumszint jelentős hatással volt a paradicsomtermésre és a vízfelhasználás hatékonyságára. Megfigyelték, hogy a kijuttatás időzítése jelentős hatással volt a paradicsomtermésre, a legalacsonyabb terméshozamot akkor figyelték meg, amikor a kezelést a gyümölcsérés szakaszában alkalmazták. A talajnedvesség szintje szintén jelentős hatással volt, a legalacsonyabb nedvességszint mellett termesztett növények termése volt a legalacsonyabb. A káliumtrágya mennyiségének hatása a termésre azonban nem volt szignifikáns. A kijuttatás időpontja és a talajnedvesség szintje, valamint az időpont és a káliumtrágya mennyisége közötti kölcsönhatások szignifikánsak voltak, ami azt jelzi, hogy a víz vagy a kálium hatása a paradicsom termésére szorosan összefügg az ellátási időszakkal (Liu et al. 2019).

A paradicsom a legtöbb zöldségféléhez hasonlóan gyakran ki van téve biotikus és abiotikus stresszhatásoknak. A vízgazdálkodás kulcsfontosságú tényező, mivel a növényt mind az öntözővíz-hiány és a többlet öntözővíz befolyásolja. Az öntözővíz optimális adagolása a növényeknek csökkentheti a szántóföldi veszteségeket a termesztésben. Egy kutatás öt különböző talajnedvességszint (40, 55, 65, 80 és 100% (kontroll)) hatását vizsgálta paradicsomban üvegházi körülmények között. A vízstressz a vegetatív növekedés, a klorofilltartalom és a levelek relatív víztartalmának jelentős csökkenését eredményezte. A

súlyos vízstressz a növény magasságát 24%-kal, a szár átmérőjét 18%-kal, a klorofillkoncentrációt pedig 32%-kal csökkentette a kontrollhoz képest. A növény-növekedés csökkenése a vízstressz hatására a transzspirációs ráta csökkenése miatt volt megfigyelhető (Imana et al 2010).

A paradicsomtermés minőségét és mennyiségét jelentősen befolyásolja a növény vízigényének és a talaj vízellátottságának harmóniája (Varga, 1983). Egy korábbi tanulmány a paradicsom évenként eltérő vízigényének gyakoriságát mutatja be 31 éven keresztül (1962-1992). Az öntözés mértéke szerint négy különböző parcellára osztották a területet: kontroll (öntözés nélkül), egyszeri öntözés az első kritikus szakaszban, egyszeri öntözés a második kritikus időszakban és rendszeresen öntözött (2-6 alkalom, 40 mm dózissal). Az eredmények alapján a kutatók megállapították, hogy az évek 55%-ában rendszeres öntözésre van szükség a megfelelő termés-mennyiség és -minőség eléréséhez. Egy jól időzített öntözés az évek 20%-ában volt elegendő és szintén 20% volt az olyan évek aránya, amikor az öntözésnek egyéb tényezők miatt nem volt jelentős hatása. A természetes csapadékmennyiség mindösszesen az évek 5%-ában tudta biztosítani a megfelelő hozamot (Helyes & Varga, 1993).

Az öntözés és a talajnedvesség magasabb szintje jelentős hatással lehetnek a paradicsomnövényeket érő hőstresszre, ami azt jelzi, hogy akár a deficit öntözés is hatékony stratégia lehet a paradicsomnövények hőstresszének mérséklésére (Takács et al. 2018a).

Tápanyagigény

A paradicsom nitrogén-, foszfor- és káliumigénye hasonló mértékű, de az egyes növekedési szakaszokban eltérő arányban igényli ezeket. A paradicsom tápanyag-utánpótlásában a makroelemek szerepe jól ismert, azonban a mikroelemek hatása az eredményes termesztés szempontjából még nem teljesen tisztázott. A nitrogénigény a lombozat növekedésével arányosan nő, és a tömeges bogyófejlődés időszakában (az első szedés előtt) hirtelen emelkedik a maximumra. Leginkább a termésben halmozódik fel, de a növény zöldtömegének és gyökérrendszerének növekedésében is fontos szerepet játszik. Ha kevés nitrogén áll rendelkezésre, a vegetatív részek növekedése korlátozott lesz, a száruk vékonyabbak, a levelek keskenyebbek lesznek, a bogyók fejlődése is visszamaradhat. Túlzott nitrogénellátás esetén a vegetatív növekedés hosszabb lehet, ezáltal kitolódhat a virágzás és az érési idő is, ami összességében növeli a tenyészidőt. Az ipari paradicsomnál a hatékony nitrogénfelvétel

érdekében a gyakori tápoldatozás és öntözés javasolt, hogy ki tudjuk használni a magas nitrogénszinteket (Farneselli et al. 2015).

A jó termésszint elérése érdekében a három legfontosabb makroelem közül a foszfor a legkevésbé szükséges. A foszforigény két kritikus időszakban van jelen: az első 40-50 napban a növekedés kezdeti szakaszában és a tömeges virágzás, terméskötés idején. Liu és társai (2011) szerint a foszfor-ellátás növekedése nem növelte a piacképes termést és a vízőldható szárazanyag-tartalmat, de növelte a zöld biomassza tömegét és a likopin mennyiségét. A kálium a jó minőségű paradicsomtermés egyik legfőbb meghatározója, felhalmozódása főként a termésben történik. A szénhidrátok szintézisében és a növényen belüli áramlásában van szerepe, ezáltal növelve a bogyók cukortartalmát. A káliumigény az egész növekedési időszakban szinte egyenletes. A termésnövelő hatás eléréséhez a K tápoldat adagolását a terméskötődés befejezése előtt kell időzíteni (Hartz et al. 2005).

A kalcium rendkívül fontos szerepet játszik a paradicsom tápanyag-ellátásában, hiánya negatív hatással van a termésminőségre, és a bogyók csúcsának rothadását eredményezi (Adams és Ho, 1993). Emellett a kalcium hiánya a gyökernövekedés megszűnéséhez és a gyökerek rothadásához vezethet. A magnézium a klorofill egyik alkotóeleme, hiánya főként magas káliumszintek mellett jelentkezhet. Fontosabb mikroelemek a paradicsomtermesztésben: B, Fe, Zn, Cu, Mn, Mo (Helyes, 1999). Ezeket lombtrágyaként együttesen alkalmazva, vagy csak bórral végzett kezelések esetén, kiemelkedően pozitív hatással lehetnek a termésre (Patil et al. 2008).



1. ábra: Ipari paradicsom betakarítás előtt (Dr. Szuvandzsiev Péter, 2018)

2.3. A paradicsomtermesztés helyzete

Paradicsomtermesztés a világon és az Európai Unióban

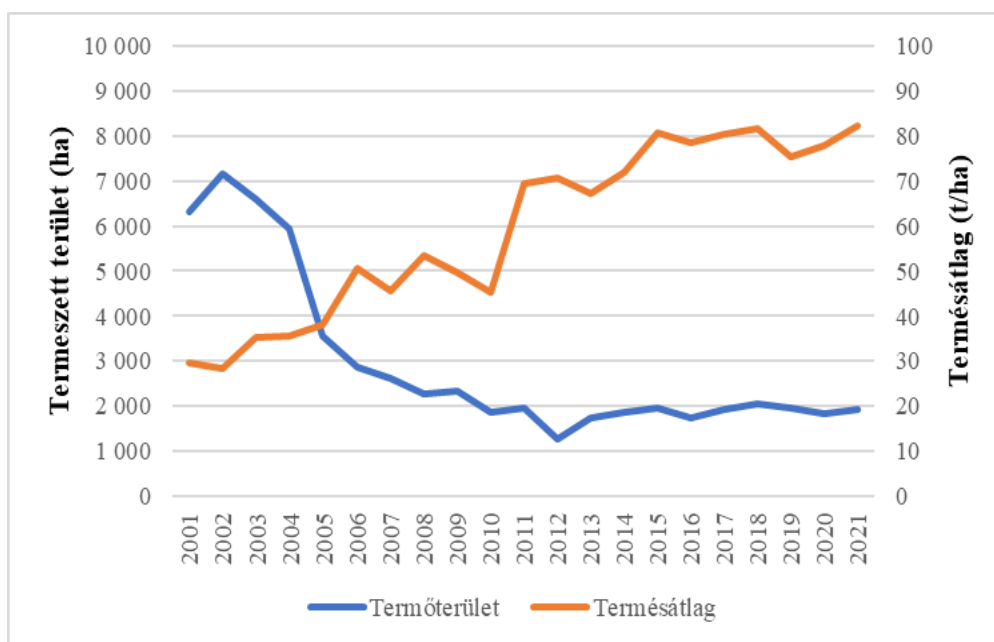
A FAOSTAT becslése szerint a világon a paradicsom a legelterjedtebben termesztett zöldség, amely 2016-ban történelmi csúcst ért el 177,04 millió tonnás termésállománnyal, 37,02 tonna/ha terméshozammal (FAOSTAT 2023). A világ termelésének több mint fele (56,71%) négy országban összpontosul. Kína a világ legnagyobb paradicsomtermelője (31,81%), a világtermelés közel egyharmadával, utána India következik (10,39%), majd az Egyesült Államok (7,36%) és Törökország (7,12%). A friss és ipari paradicsom globális termelése az elmúlt négy évtizedben 300%-kal nőtt (Costa és Heuvelink, 2007). A paradicsomtermelés növekedése 2005 és 2016 között 29,08% volt, ami 3,14%-os éves átlagos növekedési ütemet jelent, valamivel magasabbat, mint a világ kertészeti termelésének 2,97%-os növekedési üteme. A termelés növekedése mind a betakarított terület 13,35%-os növekedésének, mind a terméshozamok 13,98%-os növekedésének (2005-2016) köszönhető. Az új típusú és fajtájú zöldségek, az innovatív termesztési módszerek elérhetősége, valamint a növekvő zöldség iránti kereslet ösztönözte a globális paradicsomtermelést (http5). Az ipari paradicsom globális termelése néhány olyan régióra koncentrálódik, ahol az éghajlatváltozás jelentős hatással lehet a jövőbeli ellátásra. A folyamatalapú paradicsommodellek előrejelzése szerint a fő termelő országok termelése 2050-re 6%-kal csökken az 1980-2009 közötti időszakhoz képest. Az ipari paradicsomtermelés előrejelzett csökkenését a levegő hőmérsékletének várható emelkedése okozza. Az előre jelzett éghajlati forgatókönyvek egy csoportja szerint Kalifornia és Olaszország a vízkészletek szűkössége miatt nem biztos, hogy képes lesz fenntartani a feldolgozóipari paradicsomtermelés jelenlegi szintjét, ezért a hűvösebb termeszto régiók, mint például Kína és Kalifornia északi részei, javíthatják versenyelőnyüket. Az előre jelzett környezeti változások azt mutatják, hogy a feldolgozóipari paradicsom fő termesztési területei megváltozhatnak az elkövetkező évtizedekben (Cammarano et al. 2020).

Az EU-28 átlagos zöldségtermesztési területe meghaladta a 2 millió hektárt a 2015-2019 közötti időszakban. A termés 5 éves átlaga 60 millió tonna zöldség a Faostat szerint. A legnagyobb zöldségtermelő 2015-2019-ben Spanyolország volt, amely az EU teljes zöldségtermelésének csaknem 22%-át állítja elő, de Olaszország, Hollandia, Lengyelország és Franciaország is jelentősek, amelyek együttesen a teljes mennyiség 66,5%-át állítják elő (40,1 millió tonna). Magyarország a 12. helyen áll, 2,9%-os részesedéssel, vagyis 1,9 millió tonna zöldséget termelünk (Dorogi 2022). Az Európai Unióban Olaszország a legnagyobb paradicsomtermelő a termelés volumene alapján, bár a termesztett terület csökken és a FAOSTAT adatai szerint

(http6) 2016-ban a legalacsonyabb volt az európai exportáló országok között (61,94 t/ha). Spanyolország a második legnagyobb termelő, 2014-es maximális termésmennyiségével (4 888 ezer tonna). Ahogyan Olaszországban, úgy Spanyolországban is a betakarított terület csökkent a vizsgált időszakban, de a termés hozam valamivel magasabb, mint Olaszországban (80,8 t/ha). A spanyol export az októbertől májusig tartó hónapokra koncentrálódik (Capobianco-Uriarte et al. 2021).

Paradicsomtermesztés Magyarországon

Magyarországon a paradicsom termőterülete az 1990-es évek végén 10-13 ezer ha között változott, ebben az időszakban a termésátlagok nem érték el a 20 t/ha-t (KSH). Az ezredforduló után a termőterület lecsökkent 6-7 ezer hektárra, majd az Uniós csatlakozást követően hirtelen esésnek indult (2. ábra). Ezzel szemben a termésátlagok emelkedni kezdtek, 2004 előtt 23-35 t/ha-t értek el, ezután pedig fokozatos emelkedés során elérte a jelenlegi 78-82 t/ha eredményt. Jelenleg a termelés 74,4%-át adja a Dél-alföldi régió három vármegyéje (Bács-Kiskun, Békés, Csongrád-Csanád), ezt követi az Észak-alföldi régió 10,5%-kal (http7).



2. ábra: A paradicsom termőterületének és termésátlagának változása Magyarországon 2001-2021 között (KSH)

2.4. Magyarország környezeti tényezői

Talajadottságok

Magyarország talajai igen változatosak és összetettek, mivel az ország területén nagy különbségek tapasztalhatók a domborzatban, a talajképző közetekben, a klímában és az emberi tevékenységek hatásában. A legelterjedtebb talajtípusok a barna erdőtalajok, a réti talajok és a csernozjomok. Magyarország termőterületének a csernozjom 22%-át, a barna erdőtalajok 34%-át, az öntés- és lejtőhordalék 11%-át teszik ki ([http 9](http://9)). A talajok jelentős része szántóföldi termelésre alkalmas, azonban a termőtalajokat sok helyen az intenzív mezőgazdasági tevékenység és a talajerózió erősen károsította. Hazánk talajainak 31%-a jó vízgazdálkodásúnak tekinthető, 26%-a közepes és 41% kedvezőtlen (Kocsis 2018).

Klíma

Magyarország az északi mérsékelt éghajlati övben található, melynek fő jellemzője a négy évszak jelenléte és a nyugatias szelek uralma. Fekvéséből adódóan időjárásunkat egyaránt befolyásolják az óceáni, a kontinentális és a mediterrán hatások is. Éghajlatunkra fontos hatással van a domborzat is, az ország területének közel 84%-a 200 m-nél alacsonyabban fekszik. A napsütéses órák évi száma általában 1900 és 2100 óra között mozog, a legalacsonyabb értékek az északi, északkeleti, a legmagasabbak a déli országrészben fordulnak elő. Magyarországon a hőmérsékletet befolyásoló legjelentősebb tényezők a földrajzi szélesség, a tengerszint feletti magasság és a tengerektől való távolság. Az ország jelentős részén az évi középhőmérséklet 10-11 °C között alakul. A téli időszak középhőmérséklete évről-évre nagyon változékony, és az egyes évek közötti különbség sokkal nagyobb, mint nyáron. Az év legmelegebb hónapja általában július, ekkor az országos átlag 21,2 °C. Az éves középhőmérséklet 1981-től 2016-ig 1,6 °C-t emelkedett, az éves változáson kívül minden évszak is jelentősen melegedett, de legszembetűnőbb a tavaszi és nyári melegedés (Kocsis 2018). A csapadék Magyarországon időben és térben is változékony, éves átlaga 500-800 mm, de tájaink között jelentős eltérések vannak az évi összegben. Az ország legmagasabb csapadékösszege a délnyugati régióban, valamint a magasabban fekvő területeken található, különösen a Bükkben, ahol a jellemző csapadékmennyiség meghaladhatja a 800 mm-t. A csapadék mennyisége a Zagyva, a Tisza és a Hármas-Körös által összekötött területen a legalacsonyabb, átlagosan 500-550 mm. Általánosságban elmondható, hogy az évi csapadékmennyiség csökken DNy felől ÉK felé. Az éves csapadékösszeg térbeli eloszlása

nagyon változékony lehet az éves csapadékmennyiség jelentős változékonysága miatt. A csapadék legnagyobb mennyisége május és július között hullik, míg a legkevesebb január és március között esik. A csapadék nagyon változékony időjárási jelenség a régióban, mennyisége évről évre nagyon szeszélyesen ingadozik. Az legcsapadékosabb években háromszor annyi eső eshet, mint a legszárazabb években, és minden hónapban előfordulhat teljes csapadékhiány (http 8). Korábban a nedves és száraz évek csoportosulása volt jellemző, azonban az ezredfordulót követő évek inkább szélsőséges jellegükről ismertek. Ez a jelenség az aszály visszatérő problémáját eredményezte a régióban. Az éves csapadékösszeg 1901 és 2016 között mindössze 5%-os csökkenést mutat, azonban az éven belüli eloszlása jelentősen megváltozott. A tavaszi csapadék mennyisége mintegy 16%-kal csökkent, míg a nyári csapadék mennyisége közel 6%-kal növekedett (Kocsis 2018).

Az aszály

A stressz különböző faktorok által okozott, a megzavart egyensúlyi állapot hatására kialakuló fiziológiai állapot. Általában a szervezet normál anyagcseréje elegendő rugalmasságot biztosít ahhoz, hogy a növény alkalmazkodni tudjon a környezet megszokott változásaihoz, ezért nem minden eltérés eredményez stresszhatást. stressz kiváltó oka olyan környezeti hatás, amely a szokásos anyagcsere-folyamatokat megváltoztatja, és amely károsodást, betegséget vagy rendellenes fiziológiát okozhat (Gaspar et al. 2002).

A szárazságot és az aszályt gyakran összetévesztik, azonban a szárazság nem feltétlenül jár együtt aszályos időszakkal, mert a Föld olyan részein, ahol a szárazság a normális és megszokott klímajellemző, ott nem lehet aszályról beszélni. Az aszályt egy hosszú, csapadékmentes vagy nagyon kevés csapadékot tartalmazó időszaknak tekintjük. A magyarországi irodalomban a száraz időszak egy olyan 2-4 hetes időtartam, amelyben több száraz nap követi egymást, azaz a talaj nedvességtartalma csökken. Ha ezzel jelentős vízhiány is társul, akkor aszályról beszélünk (Varga-Haszonits 1987). Általában a definíciók meghatározzák az aszály kezdetét, végét és súlyosságát, az időszak csapadékmennyiségét a történelmi átlaghoz viszonyítva (Wolchover 2018). A legelfogadottabb nemzetközi definíció szerint az aszály egy relatív vízhiány. A Pálfai Imre által kidolgozott és Magyarországon legáltalánosabban használt aszályossági index egy olyan módszer, amely egyetlen számértékkel jellemzi az adott mezőgazdasági évre vonatkozó aszályt. Ez az index figyelembe veszi a párolgási és csapadékviszonyokat, az utóbbiakat a növények időben változó vízigénye szerint,

valamint a talajvíz helyzetét is. A Pálfai-index alkalmazása révén lehetőség nyílik az aszálytérképezésre, amely segítséget nyújt az aszály súlyosságának meghatározásában, a vízgazdálkodási döntések előkészítésében, valamint a mezőgazdasági terméshozamok előrejelzésében (Kocsis 2018).

A 2010-es év időjárása

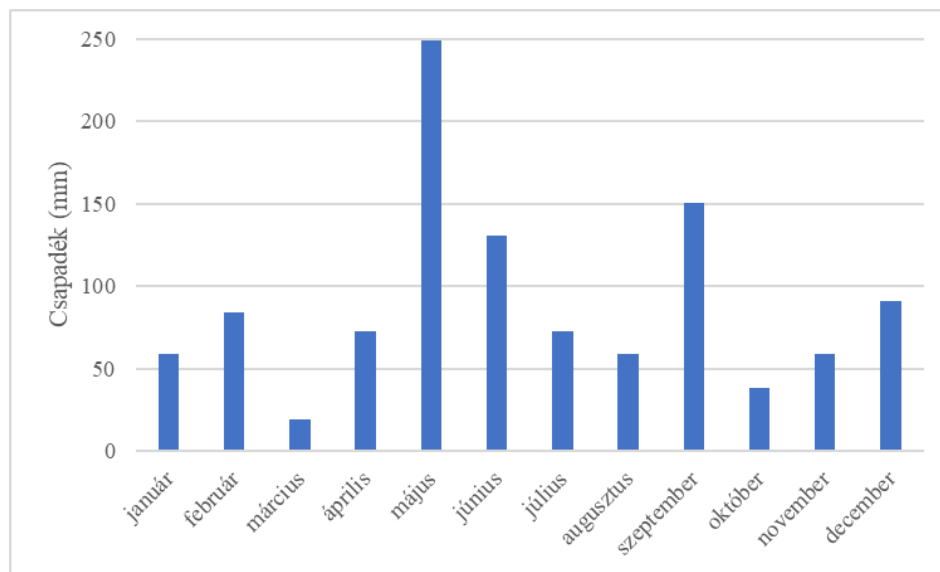
Hőmérséklet

Magyarországon a 2010-es év átlagos hőmérsékletű volt, de globálisan az egyik legmelegebb évek közé tartozott. Az év első három hónapjában az időjárás változatos volt, január hidegebb volt, de mediterrán ciklon miatt felmelegedés is volt. Február kissé hidegebb volt, de a hónap végére 10,4°C-ra emelkedett a napi középhőmérséklet. Márciusban a hónap második felében melegebb volt, de az elején és közepén még a sokéves átlag alatt voltak az értékek. Áprilisban az ország nagy részén melegebb volt a szokásosnál, de ingadozó volt a középhőmérséklet. Májusban átlagosnál hűvösebb volt az idő, de a közepén melegedés kezdődött. Június elején hideg volt, de gyors melegedés következett, ami rekord meleggel ért véget. Júliusban országszerte átlagosnál magasabb volt a hőmérséklet, kivéve az északnyugati országrészt. Augusztus elején meleg volt, de hosszabb ideig átlagosnál hidegebb idő volt az országban. Szeptemberben továbbra is hűvös volt, egy hidegörvény okozott nagyobb hűlést 6-án, majd 25-étől jelentős lehűlés következett be. Októberben az országos átlaghőmérséklet két nap kivételével az átlag alatt maradt. November pozitív havi hőmérsékleti anomáliával ért véget, de decemberben visszatért a hidegebb idő (<http10>).

Csapadék

A Kárpát-medence egészét tekintve 2010 rendkívül csapadékos év volt, az évi csapadékmennyiség 69%-kal meghaladta a sokéves átlagot (<http11>). A havi csapadékösszeget a 3. ábra tartalmazza, amelyet az OMSZ Kecskeméti mérőállomásának (46°57'56.2"N 19°32'42.0"E) adatai alapján készítettem. Azért ezt az állomást vettem alapul, mert az ország termelésének közel 75%-át Dél-alföldi régió adja. Márciusban és októberben a csapadékmennyiség kevesebb volt a havinál, az összes többi hónapban azonban a csapadékmennyiség 20-180%-kal meghaladta a hosszú távú átlagot. A májusi és júniusi csapadékmennyiség a megfigyelések 1901-es kezdete óta a legmagasabb volt. 2010. május 15.

és 18. között egy ciklon haladt el a Földközi-tenger térségéből észak felé. A Hernád és a Bodrog folyók vízgyűjtőjén, Észak-Magyarországon, a csapadékmennyiség meghaladta a 100 mm-t. Két héttel később, 31-én májusban egy újabb ciklon érkezett a Kárpát-medencébe, amely szintén jelentős csapadékot okozott, különösen a Dél-Dunántúlon és a Tisza vízgyűjtőjének északi részén (80-140 mm). A második esemény során a csapadék mennyisége meghaladta az 50 mm-t a Kárpát-medence északkeleti részében, ahol már az első ciklon után is komoly árvízproblémák jelentkeztek (Kiss et al. 2013).



3. ábra: A 2010-es év csapadék mennyiségének havi eloszlása Kecskemét mérőállomáson

A 2022-es év időjárása

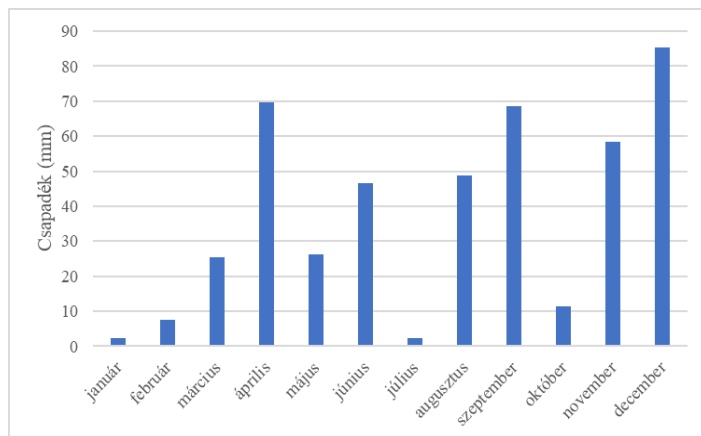
Hőmérséklet

2022-ben három hónapban (március, április és szeptember) volt alacsonyabb a középhőmérséklet az 1991-2020 közötti időszak átlagánál, míg a többi kilenc hónap legalább 1°C-kal melegebb volt a normálnál. A legnagyobb hőmérsékleti eltérés februárban (+3,1°C) volt, de júniusban, augusztusban és decemberben is tapasztaltunk legalább 2°C-os eltérést. A 2022-es nyár volt a legmelegebb az 1901 óta tartó időszakban, az augusztus a második, a június pedig a harmadik legmelegebb hónap volt az elmúlt 121 évben. Az éves középhőmérséklet 11,83 °C volt, ami 1,1°C-kal magasabb volt az 1991-2020 közötti időszak átlagánál. Januárban egy anticiklon melegebb időt hozott, mint az átlagos értékek. Februárban a napi átlaghőmérséklet többnyire melegebb volt, mint a sokévi átlag. Márciusban hidegfront okozta a hűvösebb időt. Április elején hidegfront hozott markáns lehűlést, ami után éjszakákon

többfelé fagyott, de nappal melegebb volt. Májusban melegedés volt, majd júniusban hóhullám kezdődött. Július elején hidegfrontok okoztak lehűlést, majd ismét melegedés indult. Augusztusban többnyire az átlag felett mozgott a hőmérséklet, újabb hóhullám kezdődött, majd egy hidegfront jelentős lehűlést okozott. Szeptemberben egy anticiklon hatására melegebb napok voltak, de hidegfront is érkezett. Októberben viharos szellőkészekkel indult a hónap, majd hidegfront okozta az átlaghőmérséklet csökkenését. Novemberben fokozatosan csökkent a hőmérséklet. Decemberben az átvonuló ciklonok hatására enyhe, nedves levegő áramlott, és az átlaghőmérséklet magasabb volt, mint a szokásos.

Csapadék

A 2022-es év Magyarországon rendkívül száraz volt, az országos éves csapadékmennyiség 497 mm volt. Ez az elmúlt 122 év átlagos értékének 81%-a, így 2022 a 17. legszárazabb év 1901 óta. A kecskeméti mérőállomás havi csapadékösszegét a 4. ábra tartalmazza. Januárban kevesebb mint a megszokott csapadékmennyiség harmada hullott le, februárban pedig a normál mennyiség harmadánál kicsit több. Márciusban is folytatódott a szárazság, amikor csak az átlagos csapadékmennyiség 58%-a esett. Áprilisban viszont negyedével több csapadék érkezett, de májusban már csak a megszokott mennyiség fele hullott. Májustól augusztusig ismét szárazabb volt az idő, ezekben a hónapokban az átlagos csapadék mindössze 44-87%-a hullott. Az év legnagyobb napi csapadékmennyisége 123,2 mm volt, amit július 30-án Tiszakarád állomáson mértek. Azonban szeptember rendkívül csapadékos volt, 166%-kal több eső esett, mint általában. Októberben ismét szárazság volt, mindössze az átlagos csapadékmennyiség ötöde esett. November volt az egyetlen hónap az évben, amikor az átlagos csapadékmennyiség esett. Decemberben ismét rendkívül sok csapadék érkezett, 166%-kal több, mint a sokévi átlag.



4. ábra: A 2022-es év csapadék mennyiségének havi eloszlása Kecskemét mérőállomáson

2.5. Növénynövekedési modellek

A növények növekedése matematikai formulákkal számszerűsíthető, amelyeket összekapcsolva kvantitatív növénynövekedési modellt lehet létrehozni. Ez segít becsléseket készíteni a növények növekedési sebességére és a terméshozamra különböző környezeti és gazdálkodási körülmények között. A legtöbb használt növénynövekedési modell mechanisztikus és a növekedési folyamatokat a környezeti hatásokkal kapcsolatban lévő alapvető fiziológiai folyamatokkal magyarázza. (Spitters 1990).

A növénynövekedési modellek fontos szerepet játszanak az agráriumban és a kutatásban egyaránt. Az agrárium számára fontos lehet a megfelelő időben és mennyiségben történő öntözés és tápanyag-utánpótlás meghatározása, hiszen ezek hatással vannak a növények növekedésére és a termés mennyiségére és minőségére. A növényvédelem szempontjából is hasznos lehet a modellek alkalmazása, például a kártevők vagy betegségek előrejelzése és megelőzése szempontjából (Boote et al. 1996). A modellek segítségével a növényházi körülményeket is optimalizálni lehet, így hatékonyabbá válik az energiafelhasználás és csökkenthetők a költségek. A terméselőrejelzés segítségével a feldolgozóipar jobban tervezheti az ellátást, így a termelés is hatékonyabbá és gazdaságosabbá válhat. Ezek az előrejelzések segíthetnek a mezőgazdasági termelőknek abban, hogy jobban megértsék a növényeik viselkedését az adott éghajlati körülmények között, és felkészüljenek a változó időjárási viszonyokra (Bird et al. 2016). Ugyanakkor fontos hangsúlyozni, hogy a növénynövekedési modellek bizonyos mértékig bizonytalanok lehetnek a modell paramétereinek és struktúrájának hiányosságai miatt. Ezért fontos a modellek folyamatos továbbfejlesztése és az adatok folyamatos frissítése a megbízhatóbb és pontosabb eredmények érdekében

A CropWat modell a FAO által kifejlesztett döntéstámogató eszköz, amely a betáplált talaj, éghajlati és növénytermesztési adatai alapján képes a növények víz- és öntözési igényének kiszámítására. A modell esőztetett és öntözött körülmények között egyaránt használható, és segítséget nyújt az öntözésirányításban és -tervezésben. A Gödöllőn végzett kutatás fő célja a termés vízigényének becslése és a paradicsom öntözésének ütemezése volt, a 2010-es nagyon csapadékos és 2011-es nagyon száraz években. Az eredményekből megállapítható, hogy a paradicsom teljes vízigénye 393,6 mm és 527 mm volt 2010-ben és 2011-ben. A 2010-es öntözési igényt 164,1 mm-ben határozták meg, míg 2011-ben 363 mm felhasznált öntözővízre becsülték a paradicsom termesztését (Halimi & Tefara 2019).

Egy tanulmány célja az volt, hogy azonosítsa a legígéretesebb agronómiai stratégiákat a paradicsomtermelési hozam és a vízhasználat optimalizálása érdekében Olaszországban, a

Capitanata-síkságon. A TOMGRO szimulációs modellt alkalmazták szabadföldi körülményekre, amelyhez talajmodellt kapcsoltak, hogy reprodukálják a vízhiány hatását a hozamra és a termésminőségre. Az új modellt, a TomGro_fieldet, a Capitanata paradicsomtermesztési területén alkalmazták a jövőbeli klímaváltozási forgatókönyvekkel kombinálva. Az eredmények az átlagosan 5-10% -os hozamcsökkenést mutattak a klímaváltozás negatív hatása miatt, amelyet a deficit öntözési stratégiák alkalmazásával lehetne ellensúlyozni. Az idénynormát körülbelül 360 mm-ben határozták meg, ami azt mutatja, hogy a racionalizált vízgazdálkodás megvalósítható (Giuliani et al. 2019).

A területen végzett korábbi kutatás, amelyben a CROPGRO-Tomato modelljét arra használták, hogy megvizsgálják a paradicsom terméstartásának válaszát az éghajlatváltozásra, az öntözésre és az nitrogéntrágya-kezelésre, hasonló eredményekre jutott. Az IPCC A2 GHG adatbázisából, a +2°C (2030-2060 között középpontozott) és a +5°C (2070-2099 között középpontozott) forgatókönyvekhez tartozó adatokat használták. Az eredmények szerint a melegebb hőmérséklet elsősorban felgyorsította a paradicsom fenológiát, ezáltal a növény szárazanyag felhalmozódását csökkentette a +5°C-os jövőbeni klímaváltozás forgatókönyv alatt. A +2°C-os forgatókönyv alatt a paradicsom szárazanyag-felhalmozódása és a hozam is csökkent. Általában véve, ha sikerül a globális átlaghőmérséklet-növekedést 2°C-ban korlátozni, akkor a modell alapján az alkalmazkodási stratégiák (öntözés és nitrogéntrágyázás) enyhíthetik a dél-olaszországi szabadföldi paradicsom termés hozamának csökkenését (Ventrella et al. 2012).

A növénytermesztési modellek paraméterezése az éghajlati tényezőkre, például a hőmérsékletre való pontosabb reagálás érdekében fontos, különösen a paradicsom esetében, amely hőérzékeny növény. Boote et al. munkájának célja a CROPGRO-Tomato modell hőmérsékleti paramétereinek aktualizálása volt, amelyek befolyásolják a szabadföldi paradicsom növény fejlődésének, napi szárazanyag-termelésének és terméskötésének szimulációját az átültetéstől a betakarításig. A fő kiigazítás a paradicsom termés fenológiáját, a terméskötődést és a gyümölcs növekedését befolyásoló kardinális hőmérsékleti paraméterek új irodalmi értékeire támaszkodott. Az új kardinális hőmérsékleti értékek használata a CROPGRO-Tomato modellben befolyásolta a termés fejlődésének ütemét a korábbi alapértelmezett paraméterekhez képest; ezért szükségesnek találták a modell által szimulált életsiklusfázisokat és növekedést befolyásoló genetikai együtthatók újrakalibrálását. A módosított paraméterek használata kellőképpen javította a modell teljesítményét, hogy a termés és a szárazanyag-felhalmozódás pontos előrejelzését biztosítsa az egész szezonban. Összességében az összes kísérletre vonatkozó átlagos négyzetes hiba gyöke (RMSE) a módosított paraméterekkel 44%-kal

csökkent a levélfelület-index, 71%-kal a bogyók száma, és 36%-kal a föld feletti biomaszatömeg szimulációk esetében az alapértelmezetthez képest (Boote et al. 2012).

2.6. Az Aquacrop modell

Az AquaCrop a FAO által kifejlesztett növénytermesztési modell, ami a növénytermesztés széles skáláján alkalmazható, az élelmezésbiztonsággal, valamint a környezet és a gazdálkodás módjának a növénytermesztésre gyakorolt hatásával foglalkozik. Szimulálja a növények fejlődését különböző stresszfeltételek mellett, a termés hozamot és a vízzel kapcsolatos változókat, mint például az evapotranszpirációt és a víztermelékenységet. Mindeközben a modell figyelembe veszi a különböző stresszhatásokat, mint például a levélnövekedést, a koronaterjedését és a sztomatális vezetőképességet (Greaves & Wang 2016). Jól alkalmazható olyan körülmények között, ahol a víz a növénytermesztés kulcsfontosságú korlátozó tényezője (http12). A modell eredményes futtatásához szükséges inputadatok könnyen elérhetők. Szükség van az időjárási adatokra, a modellezett növényre vonatkozó információkra (ültetés időpontja, állománysűrűség, fajta), az alkalmazott agrotechnika elemeire (tápanyagellátás, gyomirtás), az öntözési mód, az öntözési időpont és a kijuttatott mennyiségre, valamint a termőhely adataira, mint például a talajréteg tulajdonságai és a talajvíz mélysége és minősége (Raes 2017). Az AquaCrop modell képes modellezni a sztomazáródás százalékos értékét, amely a talajnedvesség okozta stresszhatás miatt következik be, így lehetővé teszi a növények állapotának nyomon követését (Takács et al. 2018b).

Az AquaCrop segítségével világszerte különböző tanulmányokat végeztek, néhány példa erre a rizs és a kukorica vízlábnyomának szimulációja Kínában (Huai et al. 2019), az öntözési technológiák gyapottra gyakorolt hatásának kiszámítása (Tsakmakis et al. 2018), valamint a paradicsom vízigényének értékelése Olaszországban (Marta et al. 2019). Rakotoarivony és munkatársai az AquaCrop modellt egy R-alapú megközelítéssel rászterest adatállományon alkalmazták a kukorica szezonális evapotranszspirációjának térbeli változásainak meghatározására (Rakotoarivony et al. 2020). A modell használatához rendelkezésre álló szoftver csak egy adott helyszínre működik, azonban egy adott területen egy adott növény vízlábnyomának jobb megértéséhez térbeli elemzésre van szükség. A térbeli elemzéshez Deganutti et al. (2020) létrehoztak R programnyelven egy szkriptet, hogy a modellt ne csak egy pontra, hanem egy területre is lehessen futtatni.

2.7. A vízlábnyom

A vízlábnyom fogalma

A víz az egyik legfontosabb erőforrás a Földön, rendelkezésre állása és minősége létfontosságú az élet és az ökoszisztémák fenntartása szempontjából. Az emberi népesség és az országok gazdaságának folyamatos növekedésével a víz iránti kereslet is növekszik, és aggodalomra ad okot a víz fenntartható használata és kezelése. A vízlábnyom koncepciója lehetőséget nyújt az édesvízkészletek használatának átfogó és integrált mérésére és kezelésére. Felismeri, hogy a vízhasználat és a szennyezés összefügg egymással, és hogy mind a közvetlen, mind a közvetett vízhasználatot figyelembe kell venni annak érdekében, hogy az emberi tevékenységeknek a vízkészletekre gyakorolt teljes hatását megértsük. (Mekonnen & Hoekstra 2011). A hagyományos vízkivétel mérésével ellentétben a vízlábnyom a teljes vízlábnyom minden összetevőjét figyelembe veszi, és azokat földrajzi és időbeli szempontból meghatározza. Három részre bontható, ezek közül az első a zöld víz, amely a mezőgazdasági termelési fázisok során általánosan felhasznált víz nagy részét teszi ki. Figyelembe veszi a talajból elpárolgó, a gyökerekből felszívódó és a növény által transpirált csapadékot, valamint a betakarított termésbe beépülő vizet (Hoekstra et al. 2011). A második komponens a "kék víz", amely az öntözéssel a szántóföldön biztosított felszíni vagy felszín alatti vízmennyiség (azaz az elpárolgott víz, a termékbe bevont víz és az ugyanarra a vízgyűjtő területre vissza nem térő áramlás), vagy a feldolgozási fázisok során a rendszerbe szivattyúzott víz (pl. mosás). Ebben a komponensben az öntözés során és után elpárolgott víz nem szerepel, mivel az a természetes rendszerbe kerül vissza. A kék víz használata drága, mivel más emberi tevékenységekkel együtt magas alternatív költséggel jár; az olasz mezőgazdaság például évente mintegy 26 Gm³ vizet használ fel öntözési célokra, ami az olasz vízszükséglet 49%-át teszi ki (Antonelli és Greco, 2013). A felhasználás csökkentésével mind a termelési költségek, mind a környezeti hatások csökkennek. Ami a mezőgazdasági ágazatot illeti, a felhasznált kék víz mennyisége függ a növénykultúrától, a növény vízhiánytűrésétől, az öntözés hatékonyságától és a zöld víztől. Ami a szürkevizet illeti, ez a termelési folyamatok által okozott szennyezőanyag-terhelés asszimilálásához szükséges mennyiség, a meglévő környezeti vízminőségi szabványok alapján (Hoekstra, 2010). Ez nem a termelés során felhasznált valós vízmennyiség, hanem az a mennyiség, amely a termelési folyamat során elszennyeződött víz minőségének helyreállításához szükséges.

A vízlábnyom jobb perspektívát kínál arra vonatkozóan, hogy egy fogyasztó vagy termelő hogyan viszonyul az édesvízrendszerek használatához, és felhasználható a fenntartható és

méltányos vízhasználat és -elosztás megvitatására. A vízlábnym megközelítést különböző termékekre és ágazatokra, többek között a mezőgazdaságra, az iparra és a háztartásokra is alkalmazzák. Segít a vízigényes és vízszennyező folyamatok azonosításában, valamint a hatékonyabb és fenntarthatóbb vízhasználati gyakorlatok előmozdításában. A termények vízlábnymának értékelése például kimutatta, hogy egyes termékek előállításához sokkal több vízre van szükség, mint másokéhoz, és hogy a mezőgazdaságban van lehetőség a vízfelhasználás csökkentésére és a víztermékenység javítására a jobb öntözéskezelés, a terményválasztás és egyéb intézkedések révén. A vízlábnym a vízgazdálkodás irányítására és a vízpolitikára is hatással van, mivel árnyaltabb és átfogóbb képet ad a vízhasználatról és a vízszennyezésről, mint a hagyományos mérőszámok, például a vízkivétel vagy a vízkibocsátás. Azáltal, hogy térben és időben egyértelmű információkat nyújt a vízfogyasztásról és a vízszennyezésről, segíthet a vízgazdálkodási stratégiák és vezérelvek irányításában, amelyek figyelembe veszik a vízkészletek összetett és dinamikus természetét (Hoekstra et al. 2011).

A paradicsomtermesztés vízlábnyma

A paradicsomtermesztés tekintetében Chapagain és Orr (2009) a spanyol vízkészlet-felhasználást vizsgálta, mind szabadföldi, mind üvegházi termesztésben. Spanyolországban az üvegházak a kertészeti terület 14%-át adják 60 ezer hektárral. A CROPWAT-ot használták a zöld víz kiszámítására a szabadföldi növénytermesztésben, míg a növények párolgási dinamikája más volt az üvegházakban, ahol a beltéri éghajlati adatok alapján a szabadföldi evapotranspiráció 70-80%-át feltételezték. A nitrogén volt a szürkevíz mutatója, az EU által meghatározott határértékkel ($50 \text{ mg N-NO}_3/\text{dm}^3$). A szürkevíz átlagosan $7,2 \text{ m}^3/\text{t}$ volt. Az eredmények jelentősen eltértek a szakirodalomban rendelkezésre álló egyéb adatoktól: az Antón és munkatársai (2005) által mért vízlábnym 4-szer alacsonyabb volt; Chapagain és Hoekstra (2004) sokkal magasabb eredményeket értek el (+60%), de túlbecsülték a zöld vizet a fedett rendszerekben, mivel nem vették figyelembe az eltérő evapotranspirációt; Aldaya és Hoekstra (2010) olasz ipari paradicsomtermelést elemeztek, amelynek vízlábnyma $114 \text{ m}^3/\text{t}$ volt (30% zöld, 50% kék és 17% szürke víz). Összehasonlítva ezeket az eredményeket Chapagain és Orr (2009) eredményeivel, a kék komponens összhangban volt, míg a zöld és a szürke sokkal magasabb volt az olasz termelési rendszerben, ami az eltérő időjárási körülményeknek és a műtrágya-bevitelnek tudható be. 680 g szószra vonatkoztatva Manzardo et al. (2016) 125 dm^3 -ben számszerűsítette az USA-ban a paradicsomtermesztés vízlábnymát (1% zöld, 72% kék és 34% szürke), plusz $7,6 \text{ dm}^3$ -ben a szószra történő feldolgozásra (22%

kék és 78% szürke). 1 kg szárított paradicsomra vonatkoztatva Ramírez et al. (2015) eredményei alapján a termesztést ($85 \text{ dm}^3/\text{kg}$ zöld vízfelhasználás nélkül; $37 \text{ dm}^3/\text{kg}$ gyűjtő - alacsonyabb kék és szürke vízfelhasználással) és a szárítást ($15 \text{ dm}^3/\text{kg}$). Page és munkatársai (2012) a paradicsomtermesztés vízlábnyomát értékelték Ausztráliában, összehasonlítva a szabadföldi és az üvegházi termesztést alacsony, közepes és magas technológiával. A közepes technológiájú üvegházak voltak felelősek a legmagasabb vízlábnyomért ($52 \text{ dm}^3/\text{kg}$), míg a szabadföldi termesztés és a high-tech üvegházak a legalacsonyabb értéket mutatták ($5,0$ és $5,4 \text{ dm}^3/\text{kg}$).

3. A vizsgálatok módszerei

3.1. A felhasznált adatok

Agrotopo adatbázis

Az "ország agroökológiai potenciáljának felmérése" nevű kutatómunka keretében az 1970-es években készítették el a "Magyarország termőhelyi adottságait meghatározó talajtani tényezők" című térképet 1:100.000-es léptékben. A térképek eredeti célja az volt, hogy megalapozzák az agroökológiai körzetek tájtermesztési potenciálját a mezőgazdasági kutatásokban. Az AGROTOPO adatbázist 1991-ben fejezték be az agrotopográfiai térképezés digitalizálásával. Ez az egyik legjelentősebb országos talajtérképezési munka volt és sokáig az egyetlen digitális adatbázis, amelyet részletesebb elemzésekre is lehet használni, és a mai napig a regionális agrár-környezeti programok és földrajzi értékelések alapja. Az adatbázis tartalmazza a homogén agroökológiai egységek termőhelyi adottságait, valamint a belvízi elöntési, savanyodási és tömörödési érzékenységre vonatkozó információkat is. Továbbá kilenc, termőhelyi adottságot meghatározó paramétert lehet térben lehatárolni, és összehasonlítani más adatokkal: 31 féle genetikai talajtípus, talajképző kőzet (9), fizikai talajféleség (7), agyagásvány összetétel (9), talaj vízgazdálkodása (9), kémhatás és mészállapot (5), szervesanyag készlet (6), termőrétteg vastagsága (5), valamint talajértékszám (10). Ezen információk segítségével a mezőgazdasági termelés környezeti hatásait lehet elemezni és optimalizálni (Kocsis et al. 2015).

EU Soil Hydrogrids

Az adatbázisból a maximális vízkapacitás (VK_{max}/SAT), a szabadföldi vízkapacitás (VK_{sz}/FC), illetve a hervadásponthoz (Hv/WP) adatokat használtuk fel, a 0, 5, 15, 30 és 60 cm-es rétegekből.

Bemeneti adatok:

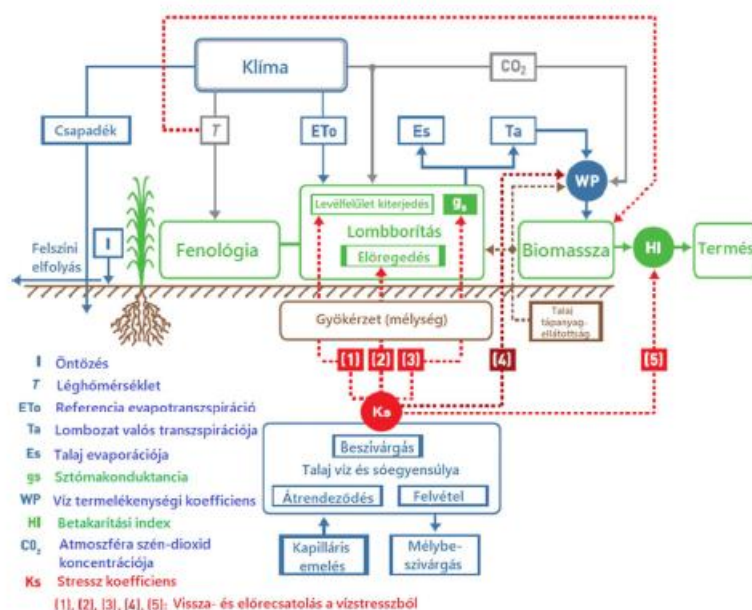
Bemeneti adat	Forrás	Hivatkozás
Talaj hidrológia	EU Soil Hydrogrids	3D Soil Hydraulic Database of Europe at 1 km and 250 m resolution - ESDAC - European Commission

		europa.eu
Talaj textúra	Agrotopo	Téradatok elérhetősége (acrsa.org)
Meteorológiai adatok	Meteorológiai adattár	https://odp.met.hu/climate/homogenized_data/gridded_data_series/daily_data_series/from_1971/
Paradicsom crop fájl	Aquacrop	Aquacrop belső adatállomány

3.2. Az alkalmazott módszerek

Az Aquacrop modell működése

A növények növekedésének és termés hozamának modellezéséhez szükséges a talaj fizikai és hidraulikai paramétereinek, a légköri viszonyoknak (csapadék, hőmérséklet, evapotranspiráció, szén-dioxid koncentráció), a növényi fiziológiai és termelési paramétereknek (fenológia, borítás, gyökér mélysége, biomassa termelés és betakarítható termés) és az agrotechnikai beavatkozásoknak (öntözés, tápanyagellátás, további agrotechnikai beavatkozások) ismerete (Raes et al. 2009). Az AquaCrop modell a talaj fizikai és hidraulikai paramétereit, a légköri viszonyokat és az agrotechnikai beavatkozásokat figyelembe véve szimulálja a növény növekedését és termelését (5. ábra). A modell a napi referencia ET alapján külön modellezi a vízháztartási mérleg elemeit, a talaj evaporációját és a növények transzspirációját. A növény reakcióját a vízstresszre négy stresszmutatóval veszi figyelembe, és a napi biomassa gyarapodást a víztermelékenységi paraméteren keresztül számolja ki. A modell közel egységes növényi víztermelékenységet kalkulál egy adott klímára és növényre nézve (Steduto et al. 2009).



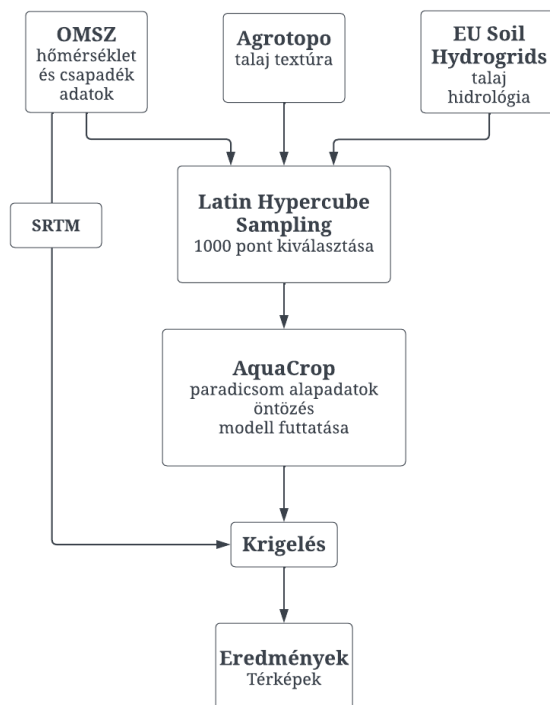
5. ábra: Az AquaCrop modell működése (Steduto et al. 2009). Az ábrát fordította Takács (2019).

Az AquaCrop térbeli alkalmazása

Míg Deganutti et al. (2021) sikeresen alkalmazták módszerüket rászteres állományokon, annak országos szintű alkalmazása erőforrások szempontjából nem tűnt kivitelezhetőnek. Így a “Latin Hypercube Sampling” módszerrel kijelöltünk 1000 pontot, melyekre alkalmaztuk a Deganutti et al. által készített, R környezetre fejlesztett módszertant. A mintavételezési pontok meghatározásához a Feltételes Latin Hypercube mintavételezést (CLHS) használtuk. Ehhez a mintavételezési folyamat futtatásához az "clhs" nevű R csomagot használtuk. Ez a modell alapú módszer stratifikált véletlen technikát alkalmaz, amely javítja a kategorikus és/vagy folytonos prediktív változókkal történő mintavételezés kiválasztását. Az R csomag rács alapú bemenetet használ a prediktív változók számára, a csomag futtatásához használt R script pedig az Salas et al. (2021) munkája alapján készült. A térképek elkészítésének folyamatábráját a 6. ábra mutatja be.

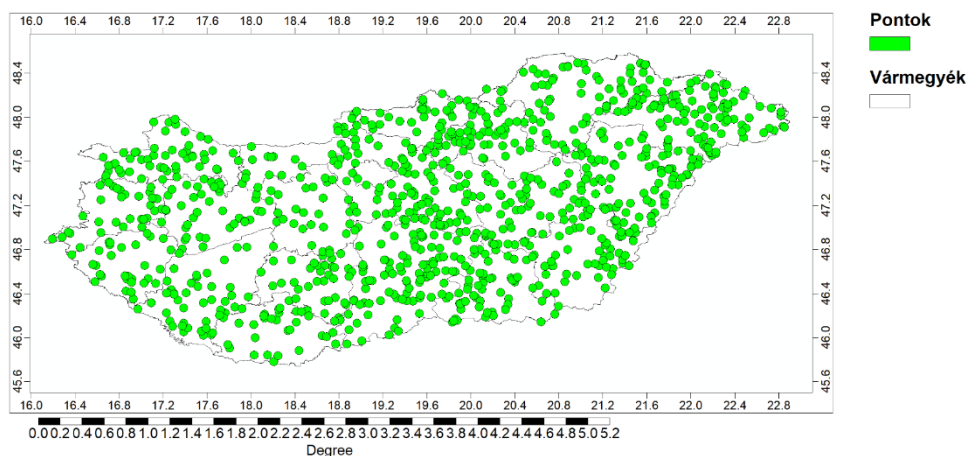
A modell beállításai során a rendelkezésre álló növény paraméter fájlt alkalmaztuk. Az ültetési időt május 15-re határoztuk meg. Mindkét vizsgált évre két scenáriót alkalmaztunk, az elsőnél öntözés nélküli termesztést feltételeztünk, míg a másodiknál korlátlan öntözést, ahol a diszponibilis víz ($DV = VK_{sz} - H_v$) 40%-ának elpárolgása után juttatunk ki vizet a VK_{sz} eléréséig.

Az adatok térbeli kiterjesztését a SAGA GIS környezet Universal kriging módszerével oldottuk meg, segédváltozóként valamennyi felhasznált talajhidrológiai paramétert, illetve egy 100 m felbontású domborzatmodellt (SRTM) felhasználva.



6. ábra: A térképek elkészítésének folyamatábrája

A 7. ábra bemutatja a modellezett pontok térbeli eloszlását. Valamennyi pontra külön, az adott pontnak megfelelő bemeneti paraméterek felhasználásával futtattuk az AquaCrop modellt, hogy lokálisan jellemző eredményeket kapjunk.



7. ábra: A modell futtatásához kijelölt pontok

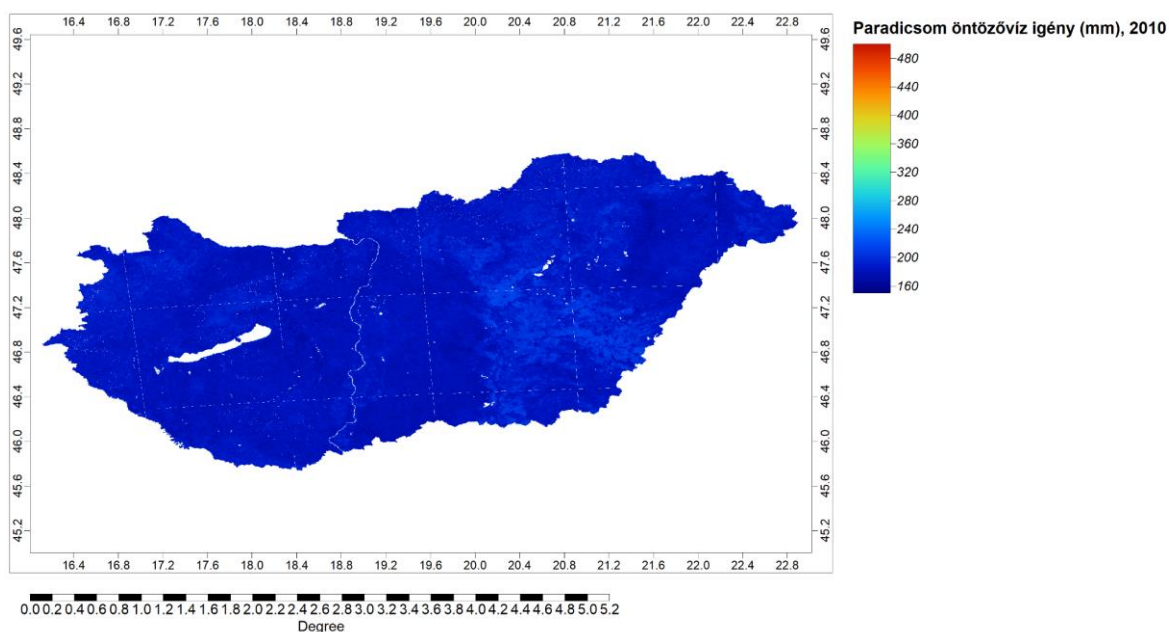
3.3. Statisztikai módszer

Az adatokat a Microsoft Excel (Microsoft, Microsoft Excel 2019) és JASP (Eric-Jan Wagenmakers, 0.16.4) szoftverek használatával elemeztük. A KSH-tól származó, valamint a modell által generált termés hozam adatok nem normál eloszlásúak, így Spearman-korrelációval vizsgáltuk az összefüggéseket. A két vizsgált év hozamainak eltérését Wilcoxon nem parametrikus teszttel végeztük.

4. Eredmények és értékelésük

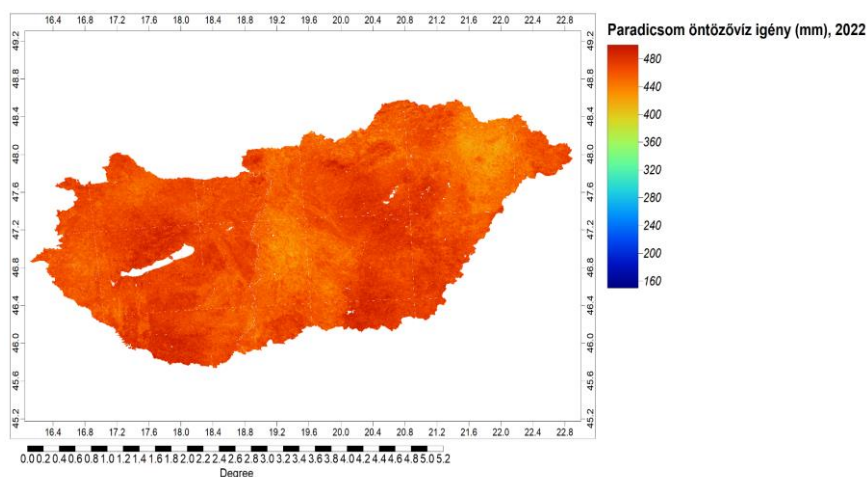
4.1. Öntözővíz igény

Az esős időjárás jelentős hatással volt a 2010-es év termésére, amely jól tükröződik a modellek eredményeiben. Általában a paradicsom vízigénye 400-800 mm között van. A 8. ábrán jól látható, hogy a modellezés eredményei alapján az ország egész területén nem volt szükség 250 mm-nél több öntözővízre a paradicsom igényeinek kielégítéséhez. Csak a Jász-Nagykun-Szolnok, Csongrád-Csanád és Békés vármegyék bizonyos területein volt szükség 200 mm feletti öntözővízre.

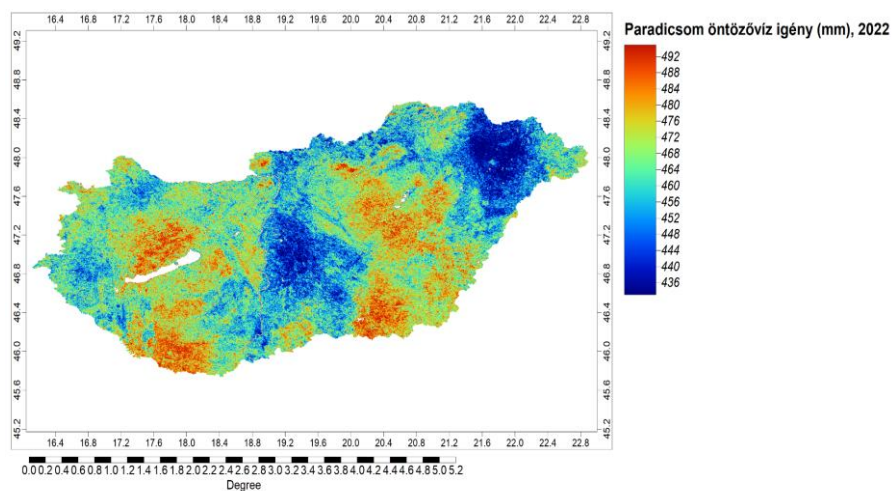


8. ábra: A paradicsom öntözővíz igénye a 2010-es évben

A 2022-es év viszont rendkívül száraz volt. Az 9. ábrán azonos skálát alkalmaztunk az öntözővíz mennyiségekhez, mint az 8. ábrán, hogy jól látható legyen a két év közti jelentős eltérés. Ebben az évben is az Alföld délkeleti része volt leginkább érintett, ahol a növényeknek 440-500 mm öntözővízre volt szükségük. Hasonló probléma merült fel Baranya és Somogy megye déli területein is. Az eredmények összehasonlításából kiderül, hogy a 2022-es évben az aszályos időjárásnak megfelelően jelentősen megnőtt az öntözővíz igény, azonban ennek térbeli változékonysága is kimutatható (10. ábra). Még a legcsapadékosabb területeken is legalább 436 mm öntözővízre volt szükség, míg a szárazabb területeken az igény elérte az 500 mm-t.



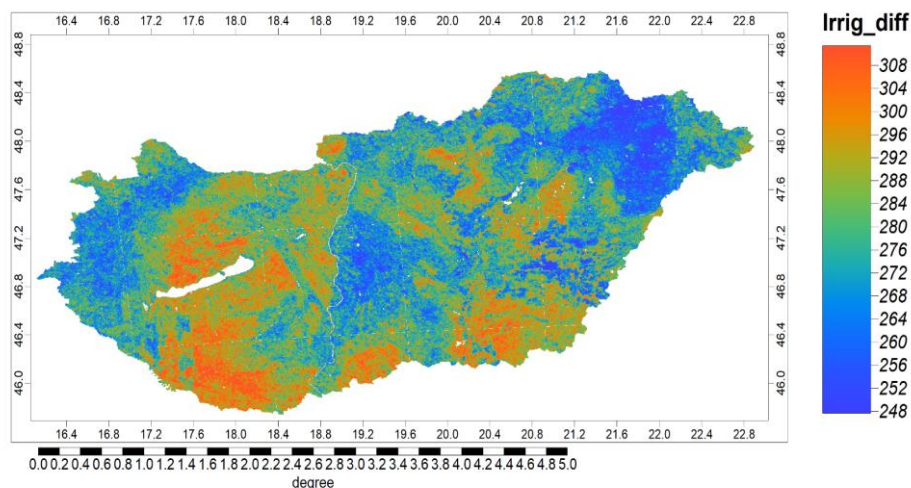
9. ábra: A paradicsom öntözővíz igénye a 2022-es évben (a skála a 2010-es évhez igazítva)



10. ábra: A paradicsom öntözővíz igénye a 2022-es évben

Öntözővíz igény különbség (2022-2010)

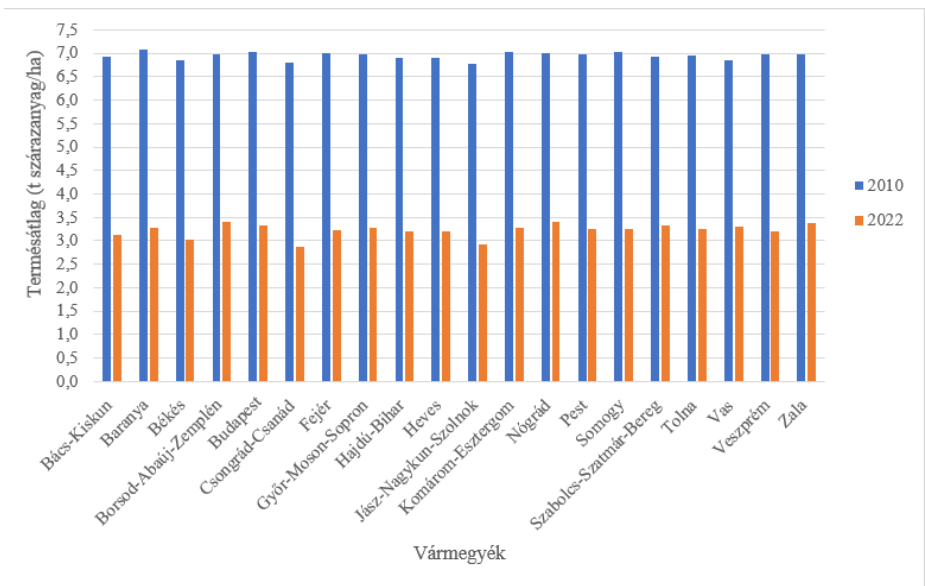
Az 11. ábra szemlélteti, hogy mely területeken és mennyivel növekedett a paradicsom optimális növekedéséhez szükséges öntözővíz igénye a 2010-es évhez képest az 2022-es évben. A diagramon jól látható, hogy a dél-alföldi területeken akár 300 mm-s eltérések is előfordultak.



11. ábra: Öntözővíz-igény különbsége a 2010-2022 években

4.2. Becsült termés

A modell alapján a két évben a becsült termés között jelentős eltérést tapasztaltunk. A 2010-es évben az országos minimum 4,4 t sz.a./ha volt Hajdú-Bihar vármegyében, a maximum 7,7 t sz.a./ha volt, amit 6 vármegyében is elértek. Ezzel szemben a 2022-es évben a minimum 0 t sz.a./ha volt, 16 vármegyében fordult elő ilyen érték, a maximum pedig 4,4 t sz.a./ha, amit egyedül Borsod-Abaúj-Zemplén vármegyében sikerült elérni (1. táblázat). A vármegyék egyedi különbségei az 12. ábrán látható.

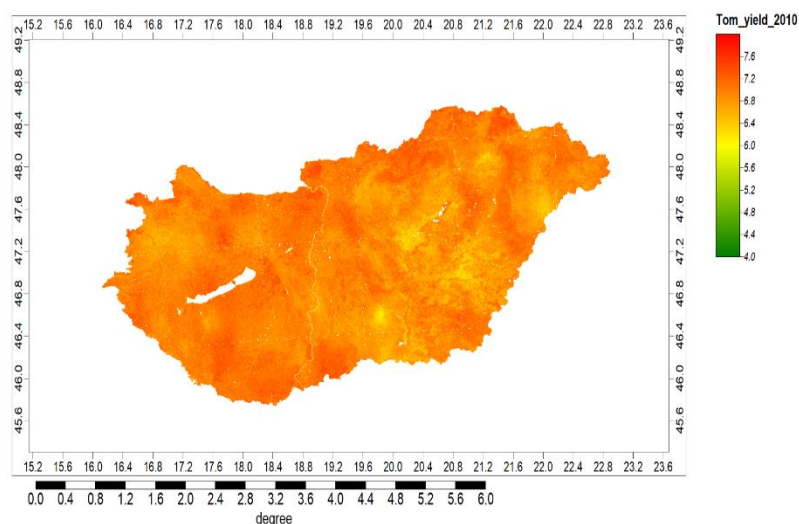


12. ábra: A modell által számított terméseredmények öntözött körülmények közt

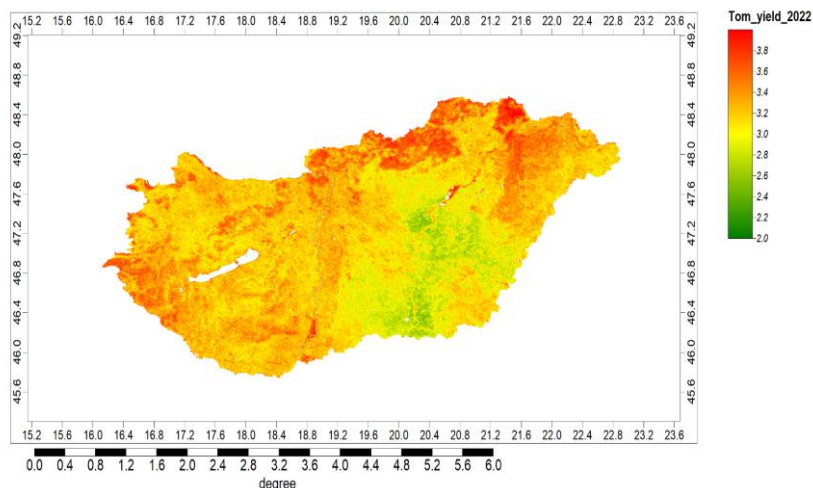
1. táblázat: A modell vármegyei hozam eredményei tonna szárazanyag/hektár (t sz.a./ha) mértékegységben megadva

Vármegye	2010			2022		
	Hozam minimum	Hozam maximum	Hozam átlag [SD]	Hozam minimum	Hozam maximum	Hozam átlag [SD]
Bács-Kiskun vármegye	4,6	7,7	6,92 [0,21]	-0,4	4,1	3,11 [0,20]
Baranya vármegye	4,9	7,6	7,09 [0,13]	-0,6	4,1	3,27 [0,16]
Békés vármegye	5,2	7,5	6,84 [0,22]	0,2	4,0	3,02 [0,20]
Borsod-Abaúj-Zemplén vármegye	5,2	7,7	6,98 [0,20]	0,2	4,4	3,40 [0,26]
Budapest	5,0	7,5	7,02 [0,15]	-0,4	3,9	3,32 [0,20]
Csongrád-Csanád vármegye	4,8	7,4	6,80 [0,18]	-0,7	3,6	2,86 [0,19]
Fejér vármegye	4,8	7,6	6,99 [0,16]	-0,5	4,2	3,21 [0,17]
Győr-Moson-Sopron vármegye	4,9	7,7	6,98 [0,16]	-0,5	4,1	3,27 [0,19]
Hajdú-Bihar vármegye	4,4	7,6	6,89 [0,21]	-1,5	4,0	3,20 [0,20]
Heves vármegye	4,5	7,6	6,90 [0,22]	-1,1	4,2	3,19 [0,29]
Jász-Nagykun-Szolnok vármegye	5,4	7,4	6,78 [0,20]	-0,8	4,1	2,92 [0,21]
Komárom-Esztergom vármegye	4,8	7,7	7,02 [0,16]	-0,6	4,0	3,27 [0,20]
Nógrád vármegye	5,6	7,7	7,01 [0,17]	1,0	4,1	3,42 [0,24]
Pest vármegye	4,8	7,7	6,98 [0,17]	-0,8	4,1	3,25 [0,20]
Somogy vármegye	4,8	7,6	7,04 [0,15]	-1,1	4,0	3,26 [0,16]
Szabolcs-Szatmár-Bereg vármegye	4,8	7,5	6,93 [0,17]	-0,2	4,2	3,33 [0,20]
Tolna vármegye	4,8	7,5	6,94 [0,13]	-0,4	4,2	3,24 [0,18]
Vas vármegye	5,5	7,5	6,84 [0,17]	0,6	4,2	3,29 [0,20]
Veszprém vármegye	4,8	7,6	6,98 [0,17]	-0,5	4,0	3,20 [0,18]
Zala vármegye	4,7	7,5	6,99 [0,14]	-0,5	4,0	3,38 [0,18]

Az 13-14. ábrákon jól megfigyelhető, hogy elsősorban az Alföldet sújtotta aszály. A 2010-es évben a hozamok 4,0 és 7,6 t sz.a./ha között mozogtak, 2022-ben ennél kisebb volt a szórás, 2,0 és 3,8 t. sz.a./ha között változott.



13. ábra: A modell termésétlagai a 2010-es évre



14. ábra: A modell termésétlagai a 2022-es évre

4.3. A modell terméseredményeinek összehasonlítása a KSH adataival

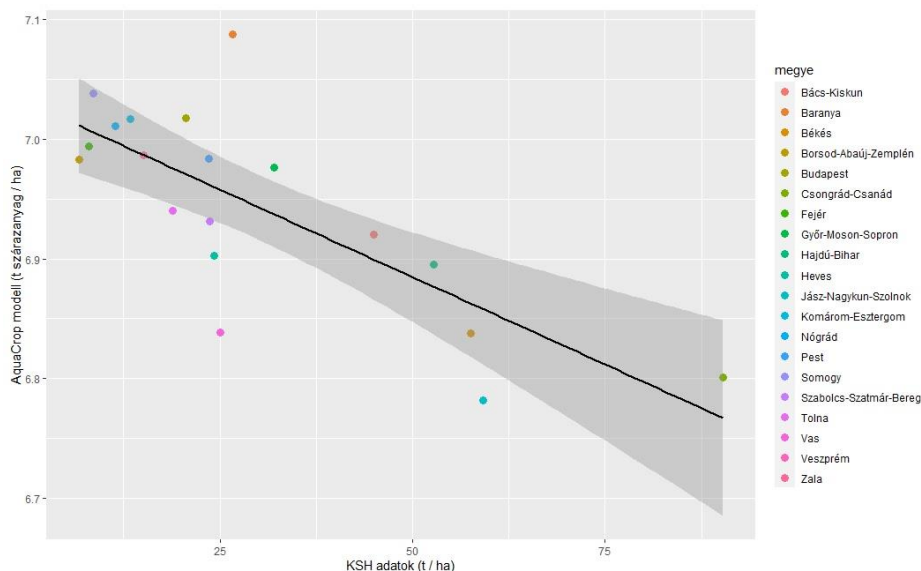
A modell által 2010-re kalkulált megyei eredményeket összehasonlítottuk a KSH adataival. A KSH adatok vizsgálata során felfedeztük, hogy a megadott termésátlagok jelentősen különböznek attól, amit a megadott termésmennyiség és betakarított területből ki lehet számolni (2. táblázat). Ennek legerősebb példája, hogy Borsod-Abaúj-Zemplén vármegyében a számított termésátlag 3078,33 t/ha, ezzel szemben a megadott termésátlag 6,7 t/ha.

A KSH által előre megadott értékek alapján az országos legkisebb termésátlagot Borsod-Abaúj-Zemplén vármegyében érték el, 6,7 t/ha-ral. A legmagasabb termésátlagot pedig Csongrád-Csanád vármegyében érték el.

A modell és a KSH adatainak korrelációs vizsgálata során megállapítottuk, hogy a friss termés termésátlaga fordított arányosságban áll a szárazanyag termésátlaggal (Spearman's $\rho = -0,653$; $p < 0,01$). A korrelációs vizsgálat eredményét az 15. ábra szemlélteti. A KSH megadott termésátlagok átlagos értéke 29,6 t/ha, mediánja 23,6 t/ha. A modell esetében ezek az adatok 6,94 és 7,00 t sz.a./ha.

2. táblázat: A KSH termés adatainak és a modell termésátlag eredményeinek összehasonlítása

Vármegye	Összes betakarított termésmennyiség (t)	Szántóföldi növények megadott termésátlaga (t/ha)	Betakarított szántóterület nagysága (hektár)	Számított termésátlag (t/ha)	Modell által kalkulált átlagok (t sz.a./ha)
Bács-Kiskun	6381	45,0	124	51,46	6,92
Baranya	650	26,7	3	216,67	7,09
Békés	25508	57,5	396	64,41	6,84
Borsod-Abaúj-Zemplén	9235	6,7	3	3078,33	6,98
Budapest	1731	20,6	84	20,61	7,02
Csongrád-Csanád	46386	90,3	181	256,28	6,80
Fejér	619	8,0	1	619,00	6,99
Győr-Moson-Sopron	153	32,0	3	51,00	6,98
Hajdú-Bihar	17986	52,7	337	53,37	6,89
Heves	1069	24,3	28	38,18	6,90
Jász-Nagykun-Szolnok	4907	59,2	80	61,34	6,78
Komárom-Esztergom	58	13,4	1	58,00	7,02
Nógrád	696	11,4	6	116,00	7,01
Pest	1455	23,5	39	37,31	6,98
Somogy	373	8,6	2	186,50	7,04
Szabolcs-Szatmár-Bereg	15441	23,6	580	26,62	6,93
Tolna	413	18,8	3	137,67	6,94
Vas	408	25,0	2	204,00	6,84
Veszprém	124	nincs adat	nincs adat	nincs adat	6,98
Zala	681	15,1	1	681,00	6,99

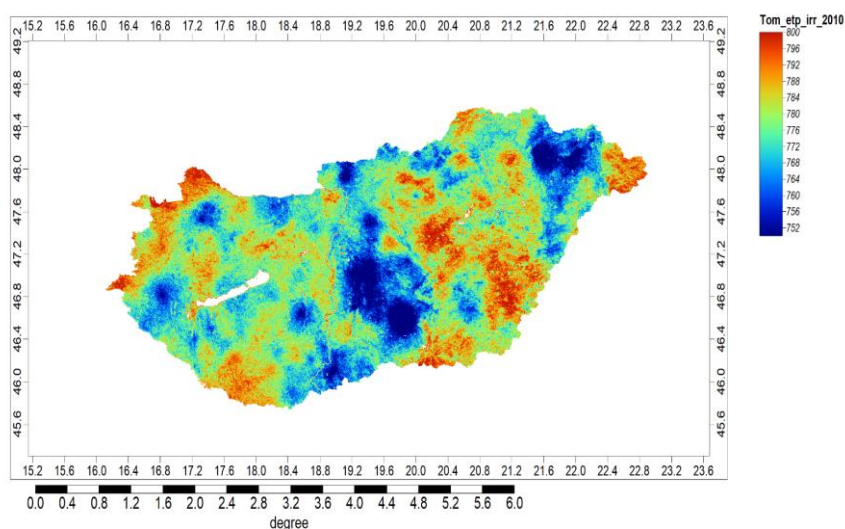


15. ábra: A modell eredményeinek korrelációja a KSH adataival

4.4. Evapotranspiráció

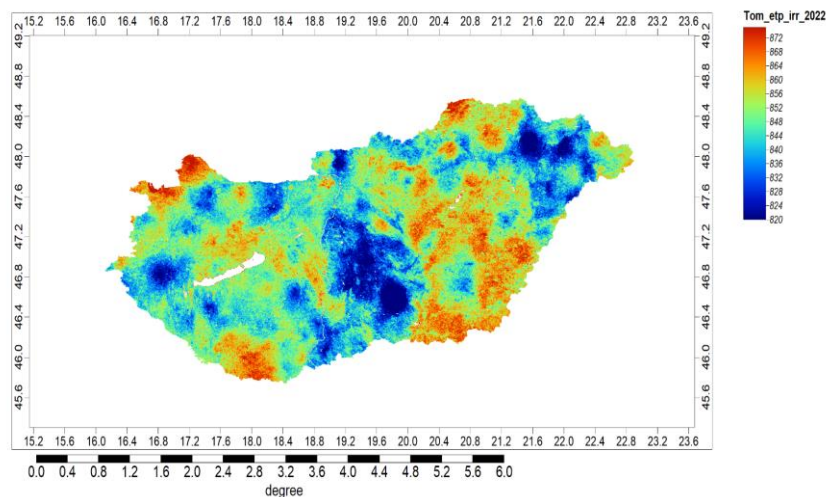
Öntözéssel

Az evapotranspiráció (ET) esetében jól elkülöníthető egymástól a térképek térbeli és időbeli változékonysága. Fontos megjegyezni, hogy az ET-t valamilyen szinten a talajok közti különbségek is befolyásolják. A legalacsonyabb értékek Bács-Kiskun megyében találhatók, mind a négy térkép esetében. A legmagasabb ET értéke térben jobban változik. A 16. ábrán láthatjuk a 2010-es évet öntözött körülmények között. Az ET itt 752-800 mm között változott. Az országos átlag 776 mm volt.



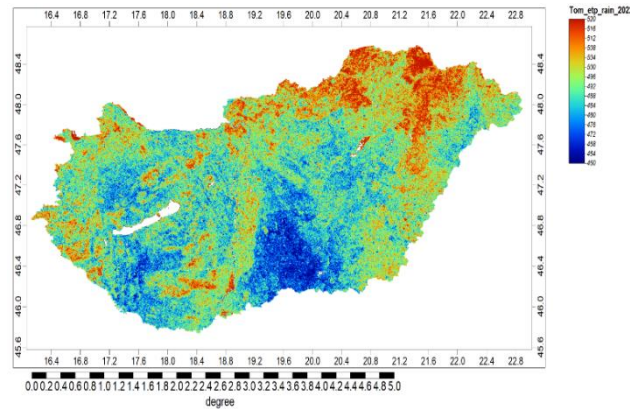
16. ábra: Evapotranspiráció 2010-ben öntözött körülmények között

A 2022-es, öntözött körülményekkel készített térkép hasonló mintázatot mutat a 2010-essel, azonban ezen az ET tartomány magasabb, 820-872 mm között mozgott, átlagos értéke 848 mm (17. ábra).



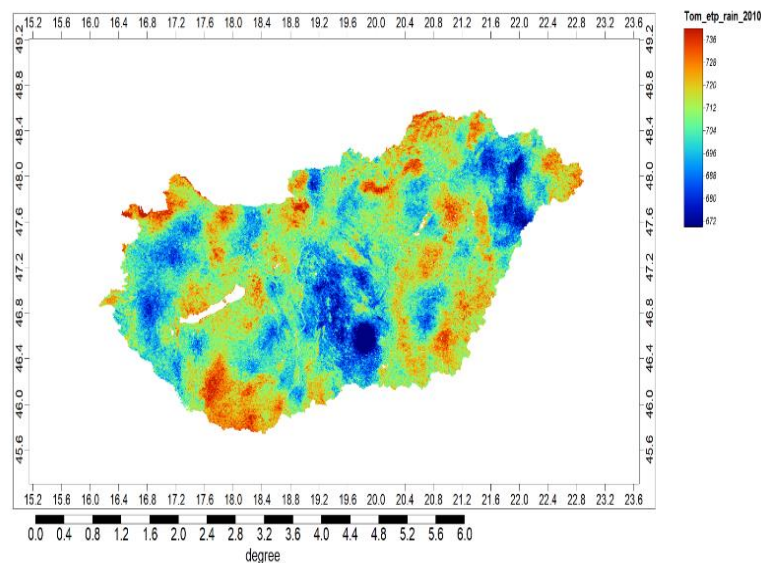
17. ábra: Evapotranspiráció 2022-ben öntözött körülmények között

Öntözés nélkül



A 2010-es öntözés nélküli ET térképen az értékek 672-736 mm között változtak (18. ábra). Az átlagos érték 707 mm volt.

18. ábra: Evapotranspiráció 2010-ben öntözés nélkül



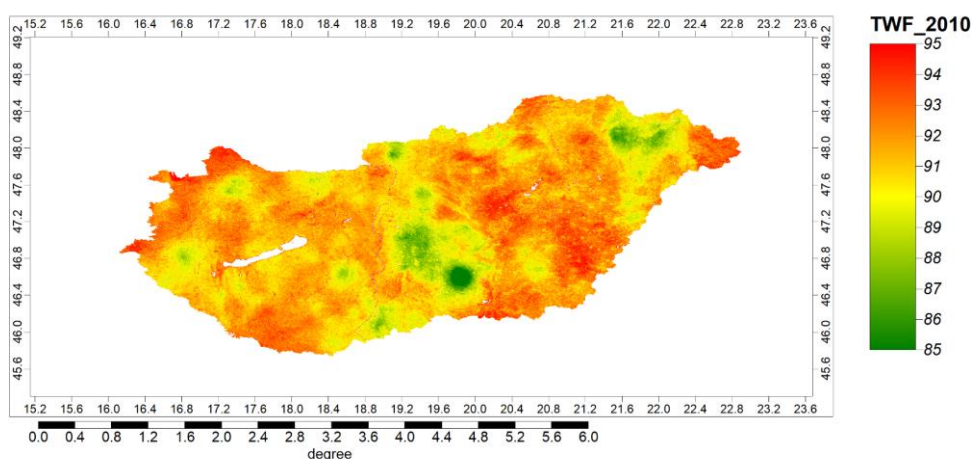
A 2022-es öntözés nélküli térképen található a legalacsonyabb értékek, itt mindösszesen 450-520 mm volt az evapotranspiráció (19. ábra). Az átlagos érték 492 mm volt. Kiemelkedően magas értékek figyelhetők meg az ország Észak-keleti részében.

19. ábra: Evapotranspiráció 2010-ben öntözés nélkül

4.5. Vízlábnyom

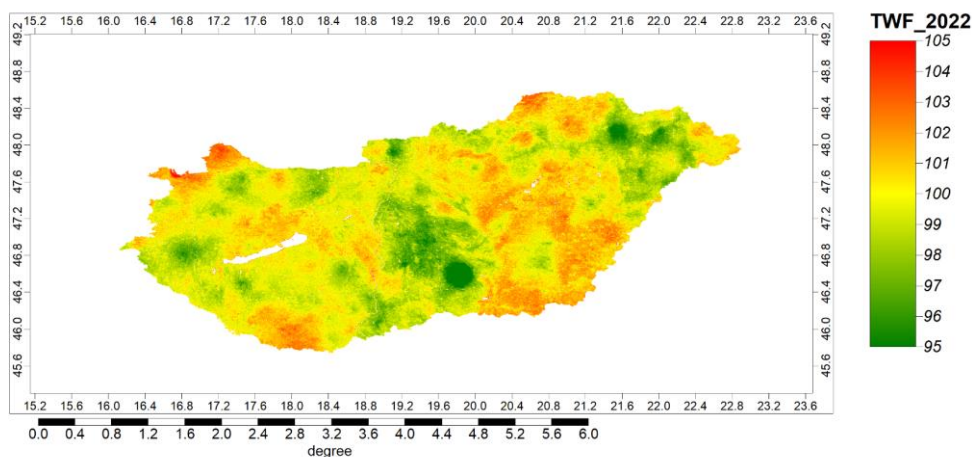
Teljes vízlábnyom

A teljes vízlábnyom eredményekben az évek között 10%-os eltérés mutatkozik. A 2010-es évben így az 1 kg szárazanyagra vonatkoztatott teljes vízlábnyom 850-950 liter közötti (20. ábra). Hodossi et al. (2010) alapján a paradicsom szárazanyagtartalma 4-7%. Ha számításunkban a szárazanyagtartalmat 5%-ban határozzuk meg, akkor 1 kg friss termés teljes vízlábnyoma a 2010-es öntözött körülmények közt $42,5\text{--}47,5\text{ dm}^3$. A vízlábnyom átlagos értéke itt $913,4\text{ dm}^3/\text{kg}$ sz.a., ami $45,7\text{ dm}^3/\text{kg}$ friss paradicsomnak felel meg.



20. ábra: A 2010-es teljes vízlábnyom öntözött körülmények között

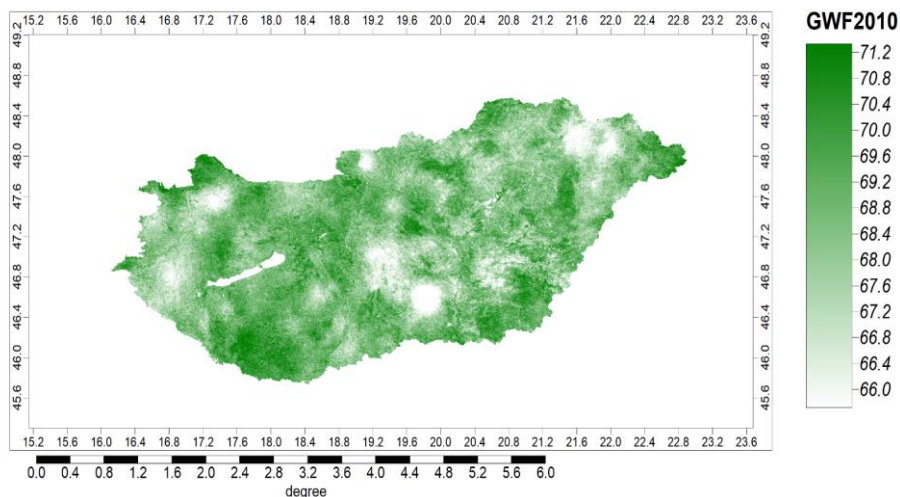
A 2022-es évben a vízlábnyom 950-1050 liter/kg közötti (21. ábra). Ez a korábbi metodikát követve azt jelenti, hogy az 1 kg friss tömegre vetített vízlábnyom $47,5\text{--}52,5\text{ dm}^3$ között határozható meg. Átlagos értéke: $49,9\text{ dm}^3/\text{kg}$ friss termés.



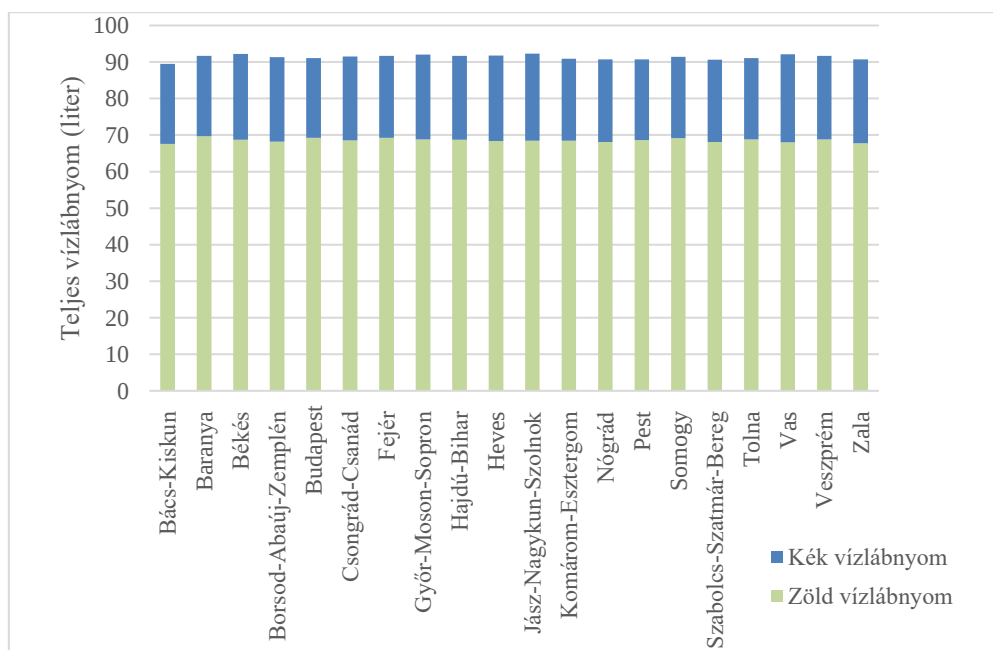
21. ábra: A 2022-es teljes vízlábnyom öntözött körülmények között

Zöld vízlábnyom

A 2010-es évben jelentősen több csapadék hullott, ezáltal a zöld vízlábnyom is magasabb (22. ábra). Az átlagos érték 68,6 liter, de az értékek 66-71,2 liter/kg között változnak. A 23. ábra alapján jól látható, hogy egy ilyen csapadékos évben a zöld víz akár a paradicsom vízigényének 75%-át is kielégítheti.

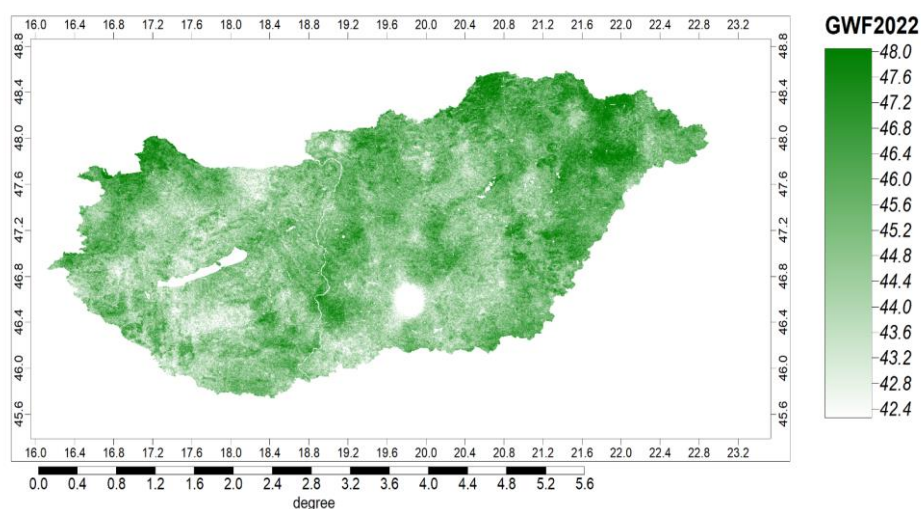


22. ábra: A paradicsom zöld vízlábnyoma 2010-ben

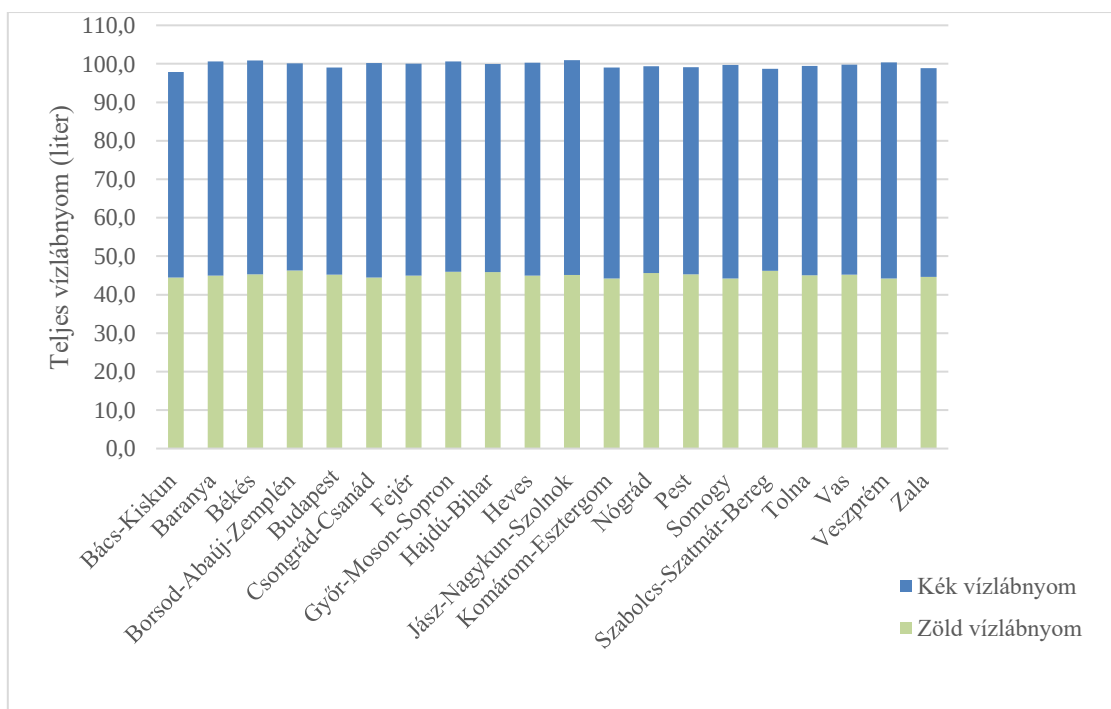


23. ábra: A zöld és kék vízlábnyom aránya 2010-ben

2022-ben az értékek 42,4 és 48,0 liter között mozogtak (24. ábra). Az átlagos érték 45,1 liter/kg volt. Eben az évben a zöld víz a növény vízigényének csak 45%-ára volt elegendő (25. ábra).



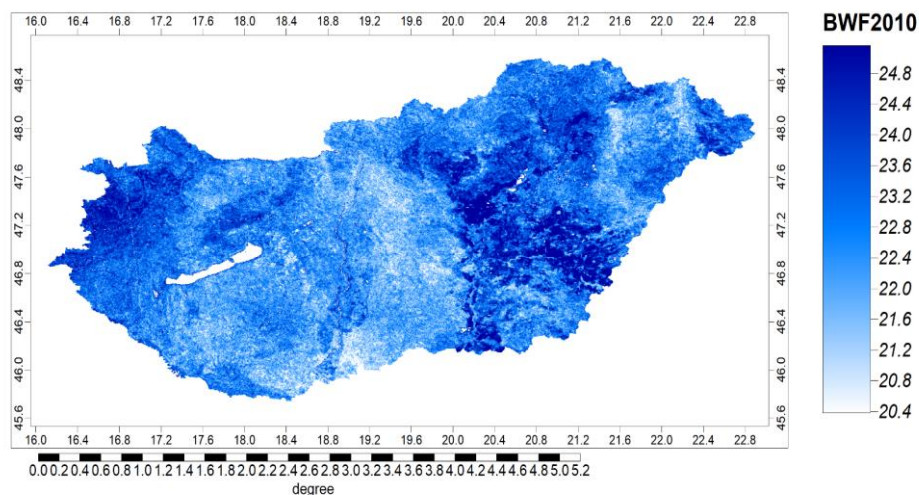
24. ábra: A paradicsom zöld vízlábnyoma 2022-ben



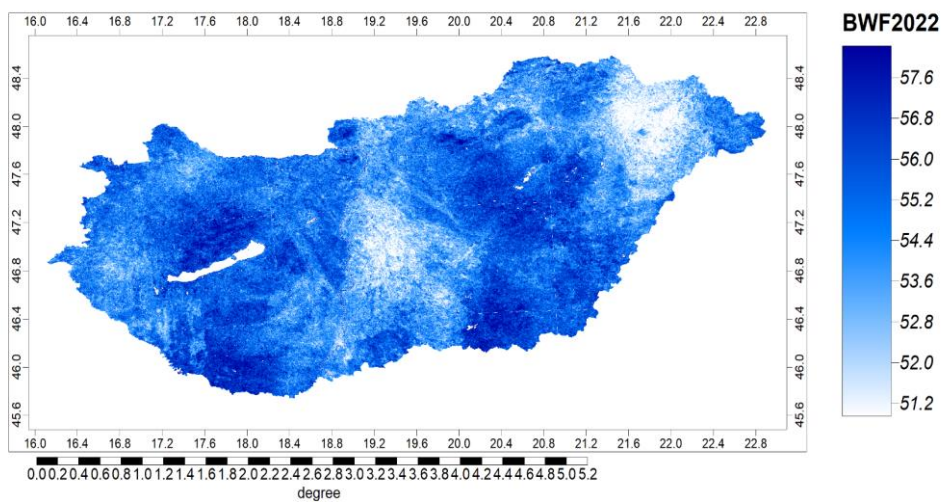
25. ábra: A zöld és kék vízlábnyom aránya 2010-ben

Kék vízlábnyom

Jól látszanak a különbségek a kék vízlábnyom esetében. Míg 2010-ben átlagosan 22,8 l/kg-r volt szükség (26. ábra), 2022-ben ez az érték 54,6 liter/kg (27. ábra), ami egy 2,4-szeres növekedést jelent.



26. ábra: A paradicsom kék vízlábnyoma 2010-ben



27. ábra: A paradicsom kék vízlábnyoma 2022-ben

5. Következtetések és javaslatok

Az eredmények alapján megállapítható, hogy a Deganutti et al. (2021) által alkalmazott módszer alkalmas lehet a termesztett növények vízlábnyomának becslésére, mind térbeli, mind időbeli változatosságának elemzésére. A zöld vízlábnyom becslésére a módszer (más kutatók eredményeivel összhangban) viszonylag megbízható, ám a kék víz pontos becsléséhez szükséges az adott területen alkalmazott öntözési üzemrend ismerete, mely kihívás lehet országos léptékű alkalmazás esetén. Sajnálatos módon az is kiderült, hogy a KSH adatbázisából származó adatok nem elég megbízhatóak a területi eloszlás validálására. A módszer ugyanakkor alkalmas lehet az egyes termesztett növények vízigényének, illetve vízlábnyomának országos szintű vizsgálatára (elsősorban öntözés nélküli kultúrák esetén), ám validálási célra célszerű megbízhatóbb adatokat felhasználni. Szabadföldi kísérletekkel és a FruitVebtől (Magyar Zöldség-Gyümölcs Szakmaközi Szervezet és Terméktanács) lekérdezett adatok felhasználásával feltehetőleg jobban validálhatók az eredmények.

Pék et al. (2014) munkájához hasonlóan, a KSH megyei termésátlagokat a modell szárazanyag termésátlagaival összevetve, azt az eredményt kaptuk, hogy a nagyobb termésmennyiség fordított arányosságban áll a szárazanyagtartalommal. Ennek bizonyítására további kísérletekre van szükség.

A 2010-es, rendkívül csapadékos és a 2022-es aszályos év különbségeit a modell minden vizsgált paraméter esetében kimutatta. Az öntözés nélkül becsült termésátlag esetében kétszer akkora értéket kaptunk 2010-re. A teljes vízlábnyom esetében közel 10% különbséget tapasztaltunk a két év között.

Bár a jelenlegi modell beállítások mellett is megfigyelhetők térbeli eltérések, ám ezek az öntözés maximalizálása miatt (azaz az esetleges korlátozásokat figyelmen kívül hagyva) nem minden esetben jelentősek. A vízlábnyom a 2010-es évben maximális öntözés mellett átlagosan $45,7 \text{ dm}^3/\text{kg}$ volt, míg 2022-ben $49,9 \text{ dm}^3/\text{kg}$. Ez egy közel 10%-os növekedésnek felel meg. Érdeemes lenne a modellt nagyobb idősorokra lefuttatni, mert csak ez alapján lehet egy általános tartományt megadni a paradicsom hazai vízlábnyomára. Hosszabb idősorok lefuttatása esetén vizsgálni lehetne a klímaváltozás estleges hatásait, illetve az egyes területek érzékenységet is, ám ezen esetekben várhatóan a termesztéstechnológia változásait (fajtaválaszték, agrotechnika) is figyelembe kell venni.

A szakirodalommal összevetve, a modellezett adatoknál találunk alacsonyabb és magasabb értékeket is, ezért szükséges a vízlábnyommal összefüggésbe hozható további paraméterek

felkutatása. Részletesebb talajparaméterek, a növényi tényezők pontosítása, hazai viszonyokra való korrekciója, illetve potenciálisan távérzékelési adatok (pl. NDVI) felhasználása tovább bővítheti a módszertan felhasználási körét, illetve növelheti annak megbízhatóságát.

6. Összefoglalás

A vízgazdálkodás kritikus szerepet játszik az emberi jólét, a mezőgazdaság, a különböző gazdasági tevékenységek és a fenntartható fejlődés szempontjából, fontos az erőforrások hatékony kezelése. Az édesvízkészleteket jelentősen befolyásolja az éghajlatváltozás, és a vízfelhasználás évente körülbelül 1%-kal növekszik. A vízzel kapcsolatos problémák ezért az elkövetkező évtizedekben a legnagyobb kihívások közé tartoznak, és a fenntartható fejlődési célok közül az egyik legfontosabbá váltak. A paradicsom az egyik legszélesebb körben termesztett és fogyasztott zöldség világszerte, ezért a paradicsomtermesztés fejlődése és a környezeti hatások csökkentése érdekében elengedhetetlen a víz- és tápanyagbevitel optimális kezelési gyakorlatának megértése.

Annak ellenére, hogy Magyarországon bőséges mennyiségű édesvíz áll rendelkezésre, de a jövőben hiányproblémák léphetnek fel, olyan eszközökre van szükség, amelyekkel elemezni lehet egy adott növény vízlábnymát. Az AquaCrop modellt széles körben használják az evapotranspiráció számítására, mivel megbízható és pontos eredményeket szolgáltat. Ez a tanulmány az Aquacrop modell segítségével a paradicsom vízlábnymának elemzésére összpontosít Magyarországon. A 2010-es rendkívül csapadékos és a 2022-es, súlyos aszálykárokkal sújtott éveket vizsgáltuk.

A modellezés során az OMSZ adatbázisát használtuk a hőmérséklet és csapadék bemeneti adatokhoz. A talaj textúrákhoz az Agrotopo, a talaj hidrológiai paramétereikhez az EU Soil Hydrogrids adatbázisokat használtuk. Latin Hypercube Sampling módszerrel kiválasztottunk 1000 pontot Magyarországon, amelyekre lefuttattuk az R környezetre fejlesztett raszteres módszert az Aquacrop programban. Az adatok térbeli kiterjesztését a SAGA GIS környezet Universal kriging módszerével oldottuk meg. Az eredmények kiértékelése Microsoft Excel és JASP programokkal történt.

Eredményeink azt mutatták, hogy a módszertan alkalmas lehet a termesztett növények vízlábnymának becslésére, mind térbeli, mind időbeli változatosságának elemzésére. A módszer ugyanakkor alkalmas lehet az egyes termesztett növények vízigényének, illetve vízlábnymának országos szintű vizsgálatára (elsősorban öntözés nélküli kultúrák esetén), ám a validálás kérdése nem teljesen megoldott. A vizsgált évek különbségeit sikeresen kimutattuk. A teljes vízlábnym esetében közel 10% eltérést tapasztaltunk a két év között. A vízlábnym a 2010-es évben maximális öntözés mellett átlagosan 45,7 dm³/kg volt, míg 2022-ben 49,9 dm³/kg.

7. Köszönetnyilvánítás

Legfőképp szeretném megköszönni konzulensemnek, Dr. Waltner Istvánnak és Vinicius Deganutti de Barrosnak a sok segítséget és folyamatos kapcsolattartást. Köszönet páromnak, családomnak és barátaimnak, a támogató, bátorító szavakért. Külön kiemelném nővéremet, aki a dolgozat megírásához rengeteg segítséggel és tanáccsal látott el. Végül szeretnék megemlékezni nagymamámról, aki maga is agrár területen tanult, de már nem érthette meg, hogy unokája agrármérnökké váljon.

8. Irodalomjegyzék

- Adams, P., & Ho, L. C. (1993): Effects of environment on the uptake and distribution of calcium in tomato and on the incidence of blossom-end rot. *Plant and soil*, 154, 127-132.
- Aldaya, M. M., & Hoekstra, A. Y. (2010): The water needed for Italians to eat pasta and pizza. *Agricultural Systems*, 103(6), 351-360.
- Anton, A., Montero, J. I., Munoz, P., & Castells, F. (2005). LCA and tomato production in Mediterranean greenhouses. *International Journal of Agricultural Resources, Governance and Ecology*, 4(2), 102-112
- Antonelli, M., Greco, F., Morelli, A., & Nebiolo, M. (2013): L'acqua che mangiamo: cos'e' l'acqua virtuale e come la consumiamo. Edizioni Ambiente, Milano, 288. p.
- Barreto, S., Bártfai B., Engloner, A., Liptay Á.Z., Madarász T., Vargha M. (2017). Water in Hungary. Centre for Ecology, Hungarian Academy of Sciences. https://mta.hu/data/dokumentumok/Viztudomanyi%20Program/Water_in_Hungary_2017_07_20.pdf (2023 március)
- Battilani, A., Prieto, M. H., Argerich, C., Campillo, C. & Cantore, V. (2012): Tomato. In: P. Steduto, T.C. Hsiao, E. Fereres, & D. Raes (ed.). Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations Fao Irrigation and Drainage Paper 66 - Crop yield response to water. 192–201 p.
- Bauchet, G. & Causse, M. (2012): Genetic Diversity in Tomato (*Solanum lycopersicum*) and Its Wild Relatives. In: M. Caliskan (ed.). *InTech Genetic diversity in Plants*. 133–162.
- Bennett, A. (2000): Environmental consequences of increasing production: Some current perspectives. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 82, 89–95.
- Bird, D. N., Benabdallah, S., Gouda, N., Hummel, F., Koeberl, J., La Jeunesse, I., ... & Woess-Gallasch, S. (2016): Modelling climate change impacts on and adaptation strategies for agriculture in Sardinia and Tunisia using AquaCrop and value-at-risk. *Science of the Total Environment*. 543: 1019–1027 p.
- 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.
- Boote, K. J., Rybak, M. R., Scholberg, J. M., & Jones, J. W. (2012): Improving the CROPGRO-tomato model for predicting growth and yield response to temperature. *HortScience*, 47(8), 1038-1049.
- Burek, P., Satoh, Y., Fischer, G., Kahil, M. T., Scherzer, A., Tramberend, S., ... & Wiberg, D. (2016): Water futures and solution-fast track initiative. <https://pure.iasa.ac.at/id/eprint/13008/> (2023 március)
- Cammarano, D., Ronga, D., Di Mola, I., Mori, M., & Parisi, M. (2020): Impact of climate change on water and nitrogen use efficiencies of processing tomato cultivated in Italy. *Agricultural Water Management*, 241, 106336.
- Capobianco-Uriarte, M. D. L. M., Aparicio, J., De Pablo-Valenciano, J., & Casado-Belmonte, M. D. P. (2021): The European tomato market. An approach by export competitiveness maps. *PloS one*, 16(5), e0250867.
- Chapagain, A. K., & Hoekstra, A. Y. (2004). Water footprints of nations. Value of Water Research Report Series, no. 16, Unesco-IHE Institute for Water Education, Delft.
- Chapagain, A. K., & Orr, S. (2009). An improved water footprint methodology linking global consumption to local water resources: A case of Spanish tomatoes. *Journal of environmental management*, 90(2), 1219-1228.
- Chapagain, R., Remenyi, T.A., Harris, R.M., Mohammed, C.L., Huth, N., Wallach, D., Rezaei, E.E., Ojeda, J.J. (2022): Decomposing crop model uncertainty: A systematic review. *Field Crops Research*, 279, 108448.
- Costa, J. M., Heuvelink, E., & Agronomia, L (2007): Today's worldwide tomato p. *WORLD*, 122(7), 4-161.
- Cselőtei L. (1993): Zöldségtermesztés. In: Cselőtei L. (szerk.): *Kertészet. Mezőgazda Kiadó, Budapest*, 616. p., 180-191. p.
- Deganutti, V., Rakotoarivony, M.N.A., Kaldybajev, D., Grósz J., Waltner I. (2021). Water Footprint Analysis of Maize and Sunflower in the Rákos Stream Watershed for the Year of 2020. Minden Csepp Számít IV. Víztudományi Nemzetközi Konferencia, 32.

- Dorogi D. K. (2022): Evaluation of the competitiveness of fresh tomato. *International Journal of Horticultural Science*, 28.
- Farahani, H.J., Izzi, G., Oweis, T.Y. (2009): Parameterization and Evaluation of the AquaCrop Model for Full and Deficit Irrigated Cotton. *Agronomy Journal*, 101, 469–476.
- Farneselli, M., Benincasa, P., Tosti, G., Simonne, E., Guiducci, M., & Tei, F. (2015): High fertigation frequency improves nitrogen uptake and crop performance in processing tomato grown with high nitrogen and water supply. *Agricultural Water Management*, 154, 52-58.
- Gaspar, T., Franck, T., Bisbis, B., Kevers, C., Jouve, L., Hausman, J. F., & Dommès, J. (2002): Concepts in plant stress physiology. Application to plant tissue cultures. *Plant growth regulation*, 37, 263-285.
- Giuliani, M. M., Gatta, G., Cappelli, G., Gagliardi, A., Donatelli, M., Fanchini, D., ... & Bregaglio, S. (2019): Identifying the most promising agronomic adaptation strategies for the tomato growing systems in Southern Italy via simulation modeling. *European Journal of Agronomy*, 111, 125937.
- Greaves, G.E., Wang, Y.-M. (2016): Assessment of FAO AquaCrop Model for Simulating Maize Growth and Productivity under Deficit Irrigation in a Tropical Environment. *Water*, 8, 557.
- Halimi, A. H., & Tefera, A. H. (2019): Application of CROPWAT model for estimation of irrigation scheduling of Tomato in changing climate of Eastern Europe: the case study of Godollo, Hungary. *SSRG International Journal of Agriculture & Environmental Science*, 6, 1-11.
- Hamar N. & Varga G. (1985). A paradicsom környezeti igényei. In: *Paradicsomtermesztés, Második átdolgozott ed. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest*, 63–75 p.
- Hartz, T. K., Johnstone, P. R., Francis, D. M., & Miyao, E. M. (2005). Processing tomato yield and fruit quality improved with potassium fertigation. *HortScience*, 40(6), 1862-1867.
- Helyes L. (1999): A paradicsom és termesztése. SYCA Szakkönyvszolgálat, Budapest, 234 p.
- Helyes, L. (2007): A Paradicsom (*Lycopersicon lycopersicum*)(L.) KARSEN) termésképződésére ható abiotikus és biotikus tényezők értékelése különös tekintettel a beltartalmi összetevőkre. MTA doktori értekezés, Gödöllő, 172.
- Helyes L., Varga G. (1993): Irrigation demand of tomato according to the results of three decades. In *V International Symposium on the Processing Tomato* 376, 323-328 p.
- Hodossi S., Kovács A., Terbe I.: Zöldségtermesztés szabadföldön. Mezőgazda Kiadó, Budapest, 323. p.
- Hoekstra, A. (2010). The waterfootprint: water in the supply chain–Water Footprint Network. *Emain practice–focus on water. The Environmentalist*, (93).
- Hoekstra, A. Y. & Chapagain, A. K. (2007): Water footprints of nations: water use by people as a function of their consumption pattern, *Water Resources Management*, 21(1), 35–48.
- Hoekstra, A.Y., Chapagain, A.K., Aldaya, M.M., Mekonnen, M.M. (2011): *The Water Footprint Assessment Manual*, 1st ed., Earthscan Ltd., 228. p.
- http 1: FAO. The Future of Food and Agriculture—Trends and Challenges. <https://www.fao.org/3/i6583e/i6583e.pdf> (2023 március)
- http 2: EU Water Framework Directive. (2010). <http://jncc.defra.gov.uk/page-1375> (2023 március)
- http 3: FAO. Water for Sustainable Food and Agriculture—A report produced for the G20 Presidency of Germany. Available online: <https://www.fao.org/3/i7959e/i7959e.pdf> (2023 április)
- http 4: 2018 UN World Water Development Report, Nature-based Solutions for Water. https://reliefweb.int/report/world/2018-un-world-water-development-report-nature-based-solutions-water-enarruzh?gclid=CjwKCAjw3ueiBhBmEiwA4BhspDEF_Bx_NPvDOzzUl1WV5MCKTNKlZCJmUvrmKmqLiaxxrxk-QtuZvBoCC_4QAvD_BwE (2023 május)
- http 5: Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura. Panorama agroalimentario–Tomate rojo. Dirección de investigación y evaluación económica y sectorial. 2016 (2023 április)

- http 6: FAOSTAT—Food and Agriculture Organization Corporate Statistical Database. Data base of the Organisation of the United Nations. 2018. <http://fao.org> (2023 április)
- http 6 - https://www.ksh.hu/stadat_files/mez/en/mez0019.html (2023 április)
- http 7: https://www.ksh.hu/stadat_files/mez/en/mez0084.html (2023 április)
- http 8: https://www.met.hu/eghajlat/magyarorszag_eghajlata/altalanos_eghajlati_jellemzes/csapadek/ (2023 április)
- http 9 - <https://portal.nebih.gov.hu/-/magyarorszag-talajtipusai> (2023 május)
- http 10: www.met.hu/eghajlat/visszatekinto/elmult_evek/2010/csapadek (2023 április)
- http12: Aquacrop <http://www.fao.org/aquacrop/overview/whatisaquacrop/en> (2023 április)
- Huai, H., Chen, X., Huang, J., Chen, F. (2019): Water-Scarcity Footprint Associated with Crop Expansion in Northeast China: A Case Study Based on AquaCrop Modeling. *Water*, 12(1), 125.
- Imana, C., Aguyoh, J. N., & Opiyo, A. (2010): Growth and physiological changes of tomato as influenced by soil moisture levels. Second RUFORUM biennial meeting, 20-24 p.
- Kinet, J. M. (1977): Effect of light conditions on the development of the inflorescence in tomato. *Scientia Horticulturae* 6.1. 15-26.
- Kiss T., Blanka V., András G., & Hernesz P. (2013): Extreme weather and the rivers of Hungary: rates of bank retreat. *Geomorphological impacts of extreme weather: Case studies from central and eastern Europe*, 83-98.
- Knapp, S., Bohs, L., Nee, M., Spooner, D. M. (2004): Solanaceae — a model for linking genomics with biodiversity. *Comparative and Functional Genomics*, Issue 5: 285–291.
- Kocsis K. (szerk.) 2018. Magyarország Nemzeti Atlasza – Természeti környezet. Budapest, MTA CSFK Földrajztudományi Intézet. 58-67 p.; 82-93 p.; 156-167 p.
- Kocsis M., Berényi Üveges J., Várszegi G., Sisák I. (2015): A MÉM NAK genetikai talajképe bemutatása és talajosztályozási kategóriáinak elemzése. *Agrokémia és Talajtan*, 64(1), 53-72.
- Liu, J., Hu, T., Feng, P., Wang, L., Yang, S. (2019): Tomato yield and water use efficiency change with various soil moisture and potassium levels during different growth stages. *PLoS ONE* 14(3), e0213643.
- Liu, K., Zhang, T. Q., Tan, C. S., & Astatkie, T. (2011): Responses of fruit yield and quality of processing tomato to drip-irrigation and fertilizers phosphorus and potassium. *Agronomy Journal*, 103(5), 1339-1345.
- Manzardo, A., Mazzi, A., Loss, A., Butler, M., Williamson, A., & Scipioni, A. (2016): Lessons learned from the application of different water footprint approaches to compare different food packaging alternatives. *Journal of Cleaner Production*, 112, 4657-4666.
- Marta, A.D., Chirico, G.B., Bolognesi, S.F., Mancini, M., D'Urso, G., Orlandini, S., De Michele, C., Altobelli, F. (2019): Integrating Sentinel-2 Imagery with AquaCrop for Dynamic Assessment of Tomato Water Requirements in Southern Italy. *Agronomy*, 9, 404.
- Martha Petro-Turza (1986): Flavor of tomato and tomato products, *Food Reviews International*, 2:3, 309-351.
- Mekonnen, M. M., & Hoekstra, A. Y. (2011): The green, blue and grey water footprint of crops and derived crop products. *Hydrology and Earth System Sciences*, 15(5), 1577–1600.
- Molden, D. (ed.) (2013): *Water for food water for life: A comprehensive assessment of water management in agriculture*. Routledge.
- Nesbitt, T. C. & Tanksley, S. D. (2002): Comparative sequencing in the genus *lycopersicon*: Implications for the evolution of fruit size in the domestication of cultivated tomatoes. *Genetics*. 162(1): 365–379.
- Page, G., Ridoutt, B., & Bellotti, B. (2012): Carbon and water footprint tradeoffs in fresh tomato production. *Journal of Cleaner Production*, 32, 219-226.
- Pasquel, D., Roux, S., Richetti, J., Cammarano, D., Tisseyre, B., Taylor, J.A. (2022): A review of methods to evaluate crop model performance at multiple and changing spatial scales. *Precision Agriculture*, 23, 1489–1513.

- Patil, B. C., Hosamani, R. M., Ajjappalavara, P. S., Naik, B. H., Smitha, R. P., & Ukkund, K. C. (2010): Effect of foliar application of micronutrients on growth and yield components of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Karnataka Journal of Agricultural Sciences*, 21(3).
- Pék Z., Szuvandzsiev, P., Daood, H., Neményi A., Helyes L (2014): Effect of irrigation on yield parameters and antioxidant profiles of processing cherry tomato. *Open Life Sciences* 9.4 383-395.
- Raes, D., Steduto, P., Hsiao, T. C., Fereres, E. (2009): AquaCrop The FAO Crop Model to Simulate Yield Response to Water: II. Main Algorithms and Software Description. *Agronomy Journal*. 101(3): 438 p.
- Raes, D. (2017): AquaCrop training handbooks Book I Understanding AquaCrop. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations. <https://www.fao.org/3/cc2380en/cc2380en.pdf> (2023 május)
- Rakotoarivony, M.N.A., Grósz J., Waltner I. (2020): Estimation of Crop Evapotranspiration Using AquaCrop for the Rákos and Szilas Stream Watersheds, Hungary. In *Proceedings of the Water Management: Focus on Climate Change: 3rd International Conference on Water Sciences*, Szarvas, Hungary, 25 September 2020; Szent István University Institute of Irrigation and Water Management: Szarvas, Hungary.
- Ramírez, T., Meas, Y., Dannehl, D., Schuch, I., Miranda, L., Rocks, T., & Schmidt, U. (2015): Water and carbon footprint improvement for dried tomato value chain. *Journal of cleaner production*, 104, 98-108.
- Rodell, M., Famiglietti, J.S., Wiese, D.N., Reager, J.T., Beaudoing, H.K., Landerer, F.W., Lo, M.-H. (2018): Emerging trends in global freshwater availability. *Nature*, 557, 651–659.
- Salas, E. A. L., Subburayalu, S. K., Slater, B., Dave, R., Parekh, P., Zhao, K., & Bhattacharya, B. (2021): Assessing the effectiveness of ground truth data to capture landscape variability from an agricultural region using Gaussian simulation and geostatistical techniques. *Heliyon*, 7(7), e07439.
- Shiferaw, B. A., Okello, J., & Reddy, R. V. (2009). Adoption and adaptation of natural resource management innovations in smallholder agriculture: reflections on key lessons and best practices. *Environment, development and sustainability*, 11, 601-619.
- Somos A. (1978): A paradicsom. Akadémiai kiadó, Budapest, 112 p.
- Spitters, C. J. T. (1990): Crop Growth Models: Their Usefulness and Limitations. *Acta Horticulturae*. 267: 349–368 p.
- Steduto, P., Raes, D., Hsiao, T. C., Fereres, E., Heng, L., Izzi, G., Hoogeveen, J. (2009): AquaCrop : A New Model for Crop Prediction Under Water Deficit Conditions AquaCrop. FAO, Rome, 33(80): 285-292 p.
- Takács, S. (2019): Precíziós öntözési technológia: aquacrop modell alkalmazhatósága az ipari paradicsom termesztésében. Doktori értekezés, Szent István Egyetem (2000-2020). 119 p.
- Takács S., Pék Z., Bíró T., & Helyes L. (2018a). Heat stress detection in tomato under different irrigation treatments. In *XV International Symposium on Processing Tomato* 1233, 47-52. p.
- Takács, S., Molnár, T., Csengeri, E., & Le, T. A. (2018b): Application of AquaCrop in Processing Tomato Growing and Calculation of Irrigation Water. *Acta Agraria Debreceniensis*. 74: 183-187 p.
- Tsakmakis, I.D., Zoidou, M., Gikas, G.D., Sylaios, G.K. (2018): Impact of Irrigation Technologies and Strategies on Cotton Water Footprint Using AquaCrop and CROPWAT Models. *Environmental Processes*, 5, 181–199.
- Varga Gy. (1983): The effect of water supply on tomato yield. *Kertgazdaság* XV. (1): 11-20. p.
- Varga-Haszonits, Z. (1987): Káros meteorológiai jelenségek. In: *Agrometeorológiai információk és hasznosításuk*. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest, 156–175 p.
- Ventrella, D., Charfeddine, M., Moriondo, M., Rinaldi, M., & Bindi, M. (2012): Agronomic adaptation strategies under climate change for winter durum wheat and tomato in southern Italy: irrigation and nitrogen fertilization. *Regional Environmental Change*, 12, 407-419.
- Wada, Y., Flörke, M., Hanasaki, N., Eisner, S., Fischer, G., Tramberend, S., Satoh, Y., van Vliet, M.T.H., Yillia, P., Ringler, C., et al. (2016): Modeling global water use for the 21st century: The Water Futures and Solutions (WFA) initiative and its approaches. *Geoscientific Model Development*, 9, 175–222.

Wolchover, N. (2018). What is Drought? <https://www.livescience.com/21469-drought-definition.html> (2023 március)

Zhuo, L., Mekonnen, M. M., & Hoekstra, A. Y. (2014): Sensitivity and uncertainty in crop water footprint accounting: a case study for the Yellow River basin. *Hydrology and Earth System Sciences*, 18(6), 2219–2234.

9. Nyilatkozatok



Szent István Campus, Gödöllő
Cím: 2100 Gödöllő, Péter Károly utca 1.
Tel.: +36-28-522-000
Honlap: <https://godollo.uni-mate.hu>

1. sz. függelék – Hallgatói és konzulensi nyilatkozat minta

NYILATKOZAT

Alulírott Suri Emília Olga, a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem, Szent István Campus, agrármérnök szak nappali/levelező* tagozat végzős hallgatója nyilatkozom, hogy a dolgozat saját munkám, melynek elkészítése során a felhasznált irodalmat korrekt módon, a jogi és etikai szabályok betartásával kezeltem. Hozzájárulok ahhoz, hogy Záródolgozatom/Szakdolgozatom/Diplomadolgozatom egyoldalas összefoglalója felkerüljön az Egyetem honlapjára és hogy a digitális verzióban (pdf formátumban) leadott dolgozatom elérhető legyen a témát vezető Tanszéken/Intézetben, illetve az Egyetem központi nyilvántartásában, a jogi és etikai szabályok teljes körű betartása mellett.
A dolgozat állam- vagy szolgálati titkot tartalmaz: igen nem*

Kelt: 2023 év 05 hó 08 nap

Suri Emília
Hallgató

NYILATKOZAT

A dolgozat készítőjének konzulense nyilatkozom arról, hogy a Záródolgozatot/Szakdolgozatot/Diplomadolgozatot áttekintettem, a hallgatót az irodalmi források korrekt kezelésének követelményeiről, jogi és etikai szabályairól tájékoztattam.

A Záródolgozatot/Szakdolgozatot/Diplomadolgozatot záróvizsgán történő védésre javaslom / nem javaslom*.

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

Kelt: 2023 év 05 hó 08 nap

*Kérjük a megfelelőt aláhúzni!

[Signature]
Belső konzulens