

ASZÁLY HATÁSÁNAK VIZSGÁLATA A KUKORICA FEJLŐDÉSÉRE ÉS TERMÉSMENNYISÉGÉRE

Varga Balázs

geodéziai és térinformatikai referens
Közép-Duna-völgyi Vízügyi Igazgatóság

KIVONAT

A víz jelenléte kiemelkedően fontos a növény számára. Napjainkban, amikor az éghajlatváltozás globálisan érzékelteti hatását, gyakran találkozunk szembe az aszály jelenségével. Amikor a vízhiány eléri a növényt, hatással van annak fejlődésére és termésére. A megfelelő gazdálkodáshoz lényeges ismernünk a táblán belül jellemző talajviszonyokat, lejtőkiettséget, növényfejlődési állapotot. Ennek megbecslésére, hogyan viselkedik a növény vízhiányos környezetben, jó segítség lehet a távérzékelési módszerek – űrfelvétel, légitű, drónképek – bevetése. Ebben a dolgozatban az aszály kukoricára való hatásának képfeldolgozó eljárással való kimutatását kutattam az NDVI index számítása alapján. A vizsgálat szerint feltételezhető, hogy a terméshozam a növényfejlődést jellemző NDVI indexszel lineáris kapcsolatban áll.

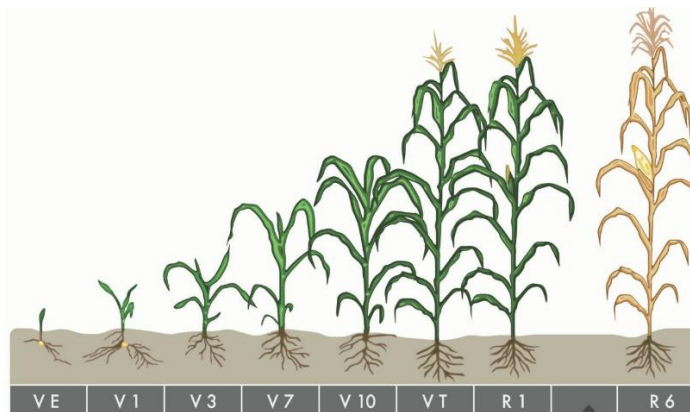
KULCSSZAVAK: aszály, növényfejlődés, NDVI, aszályindex, terméshozam

1. A víz szerepe a kukoricatermesztésben

1.1 Aszály tünetei kukoricatáblában

A növényi párologtatás az a folyamat, mely során a víz a talajból a növényen keresztül a légkörbe jut. Ennek mértéke növekszik, ha a levélfelület nagyobb. A kukorica legnagyobb vízigénye a kései vegetatív szakasztól a szemérlelés szakaszáig (V12–R5) lép fel (1. ábra).

Az evapotranspiráció a talajvíz- és növénybeli vízpárolgás egybefoglalóan. A talajvízpárolgás, a víz felszínről való távozása, melynek aránya magasabb több esőzés és megemelkedett hőmérsékleti viszonyok között [1]. Ha az evapotranspiráció szükséglete túllépi a talajvíz mértékét, akkor aszályos állapotot, áttételesen pedig termés-csökkenést eredményez. Amikor a növény vízfelvétele korlátozott, ugyanúgy korlátozódik a tápanyag elérhetősége, felvétele és szállítása. Továbbá a vízhiányos növény fogékonyabb a kártevőkre, a betegségekre és csökkent száregészséggel bír. A megfelelő korai gyökérfejlődés fontosságát nem lehet alábecsülni. Azon növények, melyek mélyre hatoló gyökérral rendelkeznek, és így nagyobb talajtér fogatot használnak, könnyebben bírják ki a szárazságot [2][3].



1/a ábra. Kukorica érési fázisai a korai vegetatív ciklustól az érett ciklusig [2]



Source: University of Illinois, 1999

1/b ábra. Szem telítettsége a reprodukzív szakasz alatt [2]

A kukoricalevél felkunkorodása az aszály elsődleges tünetei közé sorolható. A levélszövet szürkülése is bekövetkezhet extrém kedvezőtlen körülmények esetén. Nagyobb a levél felkunkorodása napközben, illetve ha a növény hosszú távon aszálystressznek van kitéve. Terméscsökkenés akkor várható, ha 4 vagy több egymást követő napon aszály lép fel.

Az aszálystressz a vegetatív fázisok alatt (VE–VT) csökkent száregészséget vagy levélsajt állapotot eredményez; kisebb növény fejlődik ki kevesebb levélfelülettel. Abban az esetben, ha az aszályállapot hőstresszel együtt fejti ki hatását, a növényi fejlődés gyorsabban fog végbemenni. Bármely stresszhatás, mely a 6-8. levéltáriumban (V6–V8) következik be kevesebb szemsort eredményez, míg a stresszhatások 8-17. levéltáriumig (V8–V17) kevesebb szem ki-fejlődését okozzák a sorokon belül.

1.2 Kukoricatábla kezelése és terméscsökkenés viszonya

A gazdálkodás sikere aszálykor a megmaradó terméshozamtól függ. Előfordulhat, hogy minden egyes megművelt tábla egyedi talajjal, kezelési körülményekkel, hibriddel, és vízellátottsággal rendelkezik, így nem minden tábla vesztesége lesz azonos. A pollenzórás és a címerhányás alatti kemény aszálykár 9%-os terméscsökkenést okozhat naponta. A beporzást követő aszály kb. 6%-kal csökkenti a termést naponta. Ha a beporzás jó, a tábla szokás szerint kezelhető. Ha a tábla gyenge, a szemsorok csökkennek, így a várható terméshozam is. Ilyen esetben a táblák még alkalmasak lehetnek takarmány célra.

2. Magyarországon működő aszálymegfigyelő rendszerek

2.1 Meteorológiai aszály

Meteorológiai értelemben akkor beszélünk aszályról, amikor egy területen tartós vízhiány áll fenn, vagyis a szokásos mennyiségnél kevesebb csapadék hullik. Hazánk olyan éghajlati régióban fekszik, ahol a csapadék térbeli és időbeli változékonysága nagy, így hosszabb-rövidebb ideig tartó száraz periódusokra rendszeresen, visszatérően most és a jövőben is számítanunk kell [4].

Az aszály meglehetősen komplex, sokféle módon jellemezhető és a különböző szempontok szerint vizsgálva eltérő jellegzetességeket mutató természeti jelenség. Palmer (1965) definíciója szerint az aszály tartós és jelentős csapadékhiány. Megkülönböztethetünk többek között *meteorológiai, mezőgazdasági és hidrológiai aszályt*, melyek a vízhiány relatív mértékében, időtartamában, térbeli kiterjedésében és a lehetséges következmények jellegében térnek el. Az aszály számszerűsítésére nincs egységes mérőszám, mert az aszályindexek különböző éghajlati területekre és eltérő felhasználási célokra készülnek.

2.2 SPI (Standardized precipitation index)

A Meteorológiai Világszervezet WMO (2012) a Standardizált Csapadékindex (SPI) számítását javasolja a meteorológiai aszály jellemzéséhez és a korai figyelmeztetőrendszerekhez a tagországok meteorológiai szolgálatai számára [4].

Az SPI (Standardizált csapadékindex) számítása statisztikai eljárás alapján (McKeen et al., 1993), amely során az adott helyen, különböző időszak alatt érkező csapadékmennyiségre először gamma eloszlást illesztünk, átalakítjuk standard normál eloszlássá, majd pedig SPI értéké. Az SPI a standardizálás miatt eltérően csapadékos régiók összehasonlítására is alkalmas. Általában 1, 3, 6, 12 havi csapadékösszeget veszünk figyelembe, melyet legalább három évtized hosszúságú referencia időszakkal vetünk össze. A pozitív SPI értékek az átlagosnál nedvesebb, a negatívak szárazabb időszakokat jelentenek. Az SPI1 az aszály kezdetének korai felismerését szolgálja, az SPI3 a lehetséges mezőgazdasági, míg az SPI6 és az SPI12 már hidrológiai következményekre utal. A meteorológiai aszály évszaktól függetlenül akkor következik be, amikor az SPI értéke tartósan negatív, és eléri a -1-es, vagy annál alacsonyabb értéket (1. táblázat). Az aszály megszűnik, ha az SPI pozitívvá vált. Tehát az SPI-vel meghatározható az aszályos időszak kezdete és vége, illetve minden egyes hónapban az intenzitása is.

SPI érték	Kategória	Valószínűség (%)
2,00 vagy több	extrém nedves	2,3
1,50 és 1,99 között	nagyon nedves	4,4
1,00 és 1,49 között	mérsékelt nedves	9,2
0 és 0,99 között	enyhén nedves	34,1
0 és -0,99	enyhén száraz	34,1
-1 és -1,49 között	mérsékelt száraz	9,2
-1,5 és -1,99 között	nagyon száraz	4,4
-2,00 vagy kevesebb	extrém száraz	2,3

1. táblázat: Az aszály osztályozása az SPI értéke és a hozzá tartozó valószínűség alapján [4]

Az SPI térképezéséhez az állomásokra számított SPI1, SPI3 és SPI6 értékeket (Szentimrey és Bihari, 2007, Szentimrey et al., 2011) tizedfokos felosztású földrajzi fókálózatra interpolálják, így az ország bármely részére megadható.

2.3 HDI (Hungarian Drought Index)

Magyarországon aszály előrejelzésére használatos még a HDI, Magyar Aszályindex, melyet az Alsó-Tisza-vidéki Vízügyi Igazgatóság és a Szegedi Tudományegyetem szakemberei a hazai és a nemzetközi tapasztalatokat elemezve dolgoztak ki. A HDI napi gyakorisággal számítható, mely a meteorológiai adatok mellett a termőtalajban több szinten – 10, 20, 30, 45, 60, 75 cm mélységben – mért talajnedvességre támaszkodik és figyelembe veszi a szélsőséges időjárási körülményeket, a hőségnapok okozta intenzív párolgást. Abban az esetben, ha nem áll rendelkezésre elegendő adat, lehetőség van egyszerűbb indexek kiszámítására. Kidolgozásra került a HDIO meteorológiai index a talajnedvesség és szélsőséges adatok – a hőségnapok és a csapadékmentes napok – hiányában, valamint a HDIS stresszindex, a talajnedvesség adatok hiánya esetére. A HDI új, napi időléptékű aszályindex számítása 2016 augusztusától kezdve folyamatos információt biztosít az aszály vagy vízhiány aktuális mértékéről. Felhasználva a meteorológiai előrejelzéseket, az elkövetkező 6–10 napra az aszály és vízhiány alakulására vonatkozóan prognózis készíthető [5][6].

A HDI működési elve az adott napi csapadékösszeg és a napi középhőmérséklet felhasználásán alapszik. Ezt követően víztartalmát becsüli a korábbi időszak adataiból. Mivel sokéves átlaghoz viszonyít, így értéke nem függ az aktuális évszaktól. Standard értéke 1 körüli. A csapadékosabb, hűvösebb időszak 1 alatti, míg a melegebb, szárazabb időszak 1 feletti értéket vesz fel. Kiszámítása az alábbi képlet szerint lehetséges:

$$\text{HDI} = \text{HDI}_0 * k_{35} * k_{80} * S$$

- **HDI₀**: kizárólag a napi csapadékmennyiségeket és a napi középhőmérsékleteket használja fel.

Aszályindex értékek szerinti kategóriái:

HDI₀ < 1.3 : aszálymentes

1.3 ≤ HDI₀ < 1.5 : enyhe aszály

1.5 ≤ HDI₀ < 2 : közepes aszály

2 ≤ HDI₀ < 3 : erős aszály

3 ≤ HDI₀ : rendkívüli aszály

- **k₃₅, k₈₀**: A két talajtényező (k₃₅ és k₈₀) legfontosabb szerepe, hogy ugyanolyan mértékű légköri aszály esetén a talajnedvesség függvényében növelik vagy csökkentik az aszályindex értékét; használatukkal a talajvízszint mérése és a párolgási szimuláció kiváltható.
- **S**: hosszantartó száraz és/vagy hosszantartó forró időszakban a növényeket érő stresszhatás ebben kerül kifejezésre.

2.4 Operatív Aszály- és Vízhánykezelő Rendszer

A HDI mutató kiszámítását technikailag az Operatív Vízhány Értékelő és Előrejelző Rendszer teszi lehetővé, melynek fejlesztésébe az Országos Vízügyi Főigazgatóság 2015-ben kezdett bele. A monitoring rendszer létrehozását a jelenlegi hazai vízgazdálkodási gyakorlatból hiányzó, objektív alapokon nyugvó, előrejelzés alapú aszálykezelés indokolta. 2020-ban az állomáshálózat már 100 mérőhellyel működött [7][Berger Á. 2019]. Egy-egy mérőállomás által mért főbb paraméterek a léghőmérséklet, páratartalom, relatív légnedvesség, levélfelületnedvesség, csapadék, talajnedvesség és hőmérséklet. A rendszer az operatív észlelést és beavatkozást szolgálja [Fiala K. et al. 2018].

3. Növénymonitoring távérzékelési módszerekkel

3.1 Sentinel 2B műholdak

A kiértékelés alapjául szolgáló műholdfelvételek ingyenesen hozzáférhetők a Copernicus űrprogram honlapján [8][9]. A Sentinel 2B műhold térbeli felbontása 10, 20 és 60 méter a különböző hullámhossztartományokban. A 10 és 20 méteres felbontás lehetővé teszi a vetésterület növényeinek kvalitatív kiértékelését.

Előnyt jelent, hogy a felhasználó rögtön az előfeldolgozott műholdfelvételeket tudja letölteni. Ezek a képek 100x100 km-t fednek le, és rendelkeznek mind radiometrikus mind geometriai korrekcióval. A raszteres képek ortorektifikáltak, vetületük UTM (Universal Transverse Mercator), WGS84 ellipszoidon [10].

3.2 Objektum alapú képfeldolgozás elméletben

Ahhoz, hogy a növényfejléttségről számszerű végeredményhez jussak, a műholdfelvételeken objektum alapú képfeldolgozást hajtottam végre. A hagyományos osztályozás során a szoftver

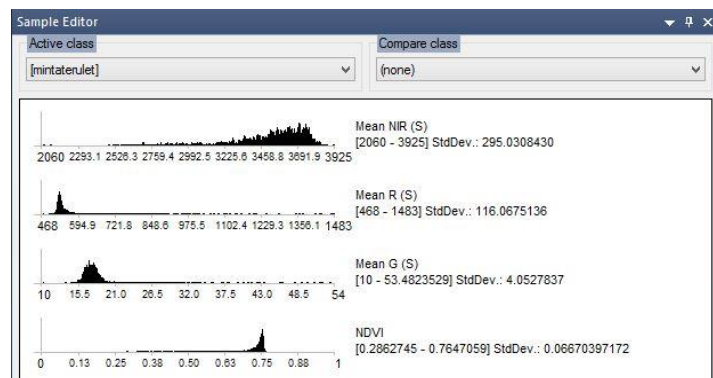
nem képes az egyes különálló fizikai objektumokat megkülönböztetni. Emiatt a kép kiértékelése során közbe iktatunk egy szegmentációt, amellyel a raszteres fájl pixeleit objektumokra, szegmensekre bontjuk fel. Vagyis vektorizálást hajtunk végre a képen. A szegmentációs eljárás gyakorlatban elvégzi azt, amire az emberi szem is képes: elkülöníti a felszín egyes elemeit a képpontok spektrális jellemzői alapján. A hasonló RGB intenzitásértékkel rendelkező pixelek azonos objektumba kerülnek. Ezután végrehajtásra kerül egy osztályozás, amely során a szoftver felhasználja az objektumok alakját, méretét, térbeli elhelyezkedését és spektrális tulajdonságait.

3.3 Aszálykár detektálása növényen, termésveszteség-becslés

Léteznek becslési eljárások, melyek levélszám, szemsor és kukoricaszem száma alapján tudnak előrejelzést adni a hozamra [3]. Távérzékeléssel ugyanezt elvégezni komplikáltabb feladat. Ha lefuttatjuk a kukorica érett vegetatív stádiumában – júliusban – vagy a reprodukív fejlettségi szakaszban – augusztusban – az NDVI indexet (Normalized Difference Vegetation Index), detektálhatjuk szoftver segítségével hol vannak anomáliák a növényzetben. Azt is meg tudjuk határozni, hogy ez milyen minőségű és mekkora az érintett terület. Előzetes információt ad minderről, ha megjelenítjük hisztogramon az adatsort. Fejlett kukoricánövény esetében, ha a számok 0,5–0,6 közöttiek vagy ennél alacsonyabb érték körül szóródnak, feltehetően aszálykárral kell számolnunk [12]. Az NDVI-ra igaz, hogy egészséges növényzet esetén nagyobb értékű. Vagyis kisebb a visszavert sugárzás a látható vörös hullámtartományban, míg nagyobb a közeli infravörösben.

$$NDVI = \frac{(NIR - Red)}{(NIR + Red)}$$

A 2016.08.28-ai adatsor hisztogramját előhívva leolvasható az adatsor terjedelme és az átlagtól való eltérés (StdDev) is. Az adatsor szórása NDVI-re 0,067 körüli (2. ábra). A 0,75-hoz közeli értékek dús vegetációt mutatnak. A vizsgált tömbben nagyrészt 0,6-0,7 körüli számok jöttek ki. Ez egyértelműen utal rá, hogy a kukorica jól fejlődött.



2. ábra. Chessboard típusú szegmentáció alapján készült szegmensek intenzitás-gyakoriságai

Sakktábla algoritmus szerinti osztályozás után a mintaterület szegmensei dátumtól függően eltérő elosztásban kerültek besorolásra az egyes növényfejlettségi kategóriákba. Összesen 5 kategóriát alkalmaztam. A három vizsgált időszak május vége (2016.05.23., 2017.05.28.), augusztus eleje (2017.08.03., 2017.08.08.) és augusztus vége (2016.08.28., 2017.08.23.) volt. A minta 2136 db elemből állt, melyet a sakktábla típusú szegmentációs eljárás eredményezett, 3x3 pixeles paraméter beállítás mellett.

2016-ban az NDVI átlag május hónap végén 0,18 és 2017-ben 0,32 volt a teljes mintára nézve. Ez megerősítette a vizuális interpretáció során kialakult feltételezésemet. A kukorica május végére kikelt, de kevés levélzettel rendelkezett. Szembetűnő az NDVI-k különbségéből, hogy a

2017-es év szokottnál melegebb májusi időjárása katalizálta a növény növekedését. Augusztus elején 2016-ban 0,75, 2017-ben 0,59 volt az NDVI átlagban. Míg augusztus végén 0,71 és 0,53. Ebből levonható következtetés, hogy a két év trendje időközben megfordult, és végül 2016 lett hozam szempontjából erősebb év. Továbbá észlelhető, hogy a kukorica víztartalma augusztus vége felé mindkét évben elkezdett csökkenni; így a hónap végén már csökkentebb növényfejllettségi mutató jelentkezett. Aszályindexek alapján megbecsülni a termésveszteséget komplikált, kevésbé pontos számítást jelentene, mint NDVI alapján hozamot jósolni. Ezért megfordítottam a kérdésfeltevést, és inkább a terméshozam becslésére próbáltam meg összefüggést felállítani.

4. Mintaterület és a területen alkalmazott agrotechnológia

4.1 Földrajzi fekvés, éghajlat és termesztési viszonyok

A gazdálkodótól 4 művelési terület adatait kaptam meg. Ezek közül a 44. és 45. egymással határos tömböket választottam ki vizsgálatra, mivel így mintegy 196 hektárnyi egybefüggő területre végezhettem el a számítást.

A két szomszédos földrészlet Szomor község határában fekszik, a Zsámbéki-medence és Déli-Gerecse határán. A medence belseje kisvízfolyásokkal tagolt, enyhén hullámzó síkság. A terület vízhálózata sűrű, de kivétel nélkül a kisvízfolyások szállítják a vizet a Duna felé, sem folyó sem öntözőcsatorna nem érinti a térséget. Az évi napfénytartam az országos átlagot eléri, de nem haladja meg 2200-2250 napsütéses órával. A Zsámbéki-medence csapadékösszege 1971-2000 közötti periódusban 550-600 mm körül mozgott. Az átlagos évi középhőmérséklet 9-11°C között alakult. Ez az érték 10°C felett eléri az Alföld középhőmérsékletét. Hazai viszonylatban inkább mérsékelt meleg, közepesen csapadékos éghajlat jellemző ezen a vidéken [11]. A kukoricára számított éves növekedési foknap a Zsámbéki-medencében 1450°C körüli volt a 2020. évben. Az OMSZ adatai alapján ez hasonló a Nagykunság hőösszegadataihoz [11].

4.2 Az éghajlati adottságok, talajviszonyok és termesztés összefüggése

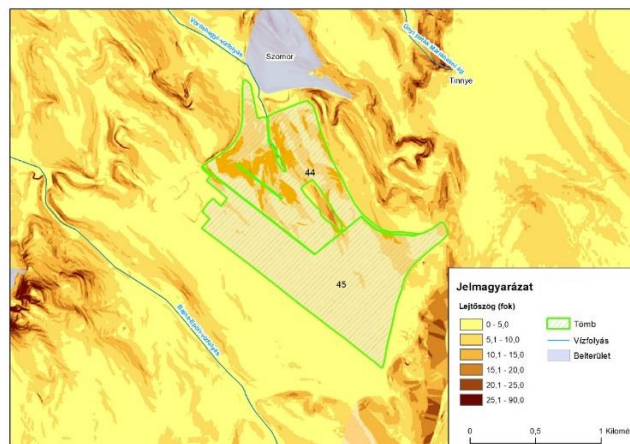
Magyarországon jellemzően úgy termelnek kukoricát, hogy a vízellátottság vagy a hőösszeg rendszeresen limitáló lehet. Aszálykor vagy hideg időjárás esetén a limitáló tényező miatt a növény stresszhelyzetbe kerül. A termés mennyiségét a stressz nagysága és tartóssága határozza meg. A kukorica fényigényes. Ha a növényállományban tartósan csökken a fény intenzitása, a kukorica hosszabb tenyészidejű lesz. A fényhez hasonlóan hat a hőmérséklet csökkenése is. Hűvös tavaszi napokon nagyon lassan fejlődik a kukorica, sárgul, szinte semmire sem megy. A kukorica 1 g szárazanyag előállításához lényegesen kevesebb vizet használ fel, mint más növények. Ennek ellenére a termés nagyságát a tenyészidő alatti vízellátottság határozza meg. A kukorica fejlődéséhez a legtöbb vizet a címerhányás és a szemkitelítődés idején igényli, ezért okoz olyan súlyos termésveszteséget a június végi, júliusi aszály. Időjárás szempontjából tehát a napfényes, meleg éghajlatú, de nyár elején egyaránt csapadékos területek a legalkalmasabbak a kukoricatermesztésre.

Az aszálykár sokkal kisebb a tápanyaggal jól ellátott és a víztakarékos szemlélettel művelt talajokon. A hibridek kiválasztásánál gondolni kell arra, hogy azok jól szerepeljenek mind a száraz, mind a csapadékos évben, hiszen előre senki nem tudja megmondani, hogy csapadékos vagy aszályos év következik e. Hogy milyen termést takarítunk be aszály idején, az több, egymásra ható tényezőtől függ. Száraz időszakban szerencsés időpontban lehulló néhány milliméternyi csapadék jótékony hatása a termésben tonnákat jelenthet.

A természetes csapadékhiány öntözéssel pótolható, de árukukorica-termesztésben ez költséges lehet. A kukoricatermesztésben így elsősorban a szárazművelésre kell összpontosítani.

Szemes kukoricaként a korai, szárszilárd, gyors vízleadó hibridek előnyösek. Silótermesztésre pedig nagy szárazanyag-termésű, jó csőarányú és jól emészthető hibridek alkalmasak. Ebben a dolgozatban a szemes kukorica termesztésénél fellépő aszályhatásokat vizsgáltam [Nagy J. 2007].

A kukorica a talaj minőségével szemben igényes, de ennek ellenére nagyon eltérő típusú talajokon termeszthető. A termés eredményét a talaj nedvessége és levegőforgalma, tápanyag-ellátottsága, víz- és hőviszonyai, tömörödöttsége egyaránt befolyásolják [Bereczki L. 2008]. A kukorica kiemelkedő terméseredményt ad a jó vízgazdálkodású, levegős, mély termőrétegű talajokon. A talaj pH értéke a kukorica szempontjából akkor optimális, ha az 6,6–7,5 között van, de jó termést takarítható be enyhén lúgos, 5,5–8,0 pH kémhatású talajokon is. A kemény, tömörödött talajokon a növények alacsonyak, rosszul fejlettek és terméketlenek. Kerülni kell minden olyan művelést, ami fokozza a talajok tömörödését, a művelő talpak kialakulását [14]. A Zsámbéki-medence és Déli-Gerecse vidékén jellemzően erdőtalajok vagy erdőmaradványos csernozjom talajok fordulnak elő, melyek megfelelnek a kukorica talajigényének. A táblák lejtőmeredekségeinek vizsgálatához a DDM5 digitális domborzatmodellt használtam. A szoftverbe behívott állományon a lejtőmeredekség függvényt végrehajtva egy raszteres állományhoz jutottam. A lejtőmeredekségeket 6 kategóriába soroltam: 0-5 fok, 5-10 fok, 10-15 fok, 15-20 fok, 20-25 fok és 25-90 fok (3. ábra).



3. ábra. A 44. és 45. tömb lejtőtérképe

A táblára eső pontos lejtőadatok kiszámítása az osztályozás után létrejött állomány attribútumai alapján volt lehetséges. Ezután a pixelértékek számarányából, a terület nagyságának ismeretében kiszámítottam az egyes kategóriákhoz tartozó hektár értékeket ArcGIS-ben. Az eredmény az Excel tábla soraiban látható (2. táblázat).

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	44								
2	OID	Value	Count	Szazalekos	Terulet_he				
3		0	1	13452	42,25	33,63100052			
4		1	2	11471	36,02999878	28,67989922			
5		2	3	6727	21,12999916	16,81949997		Kategória	Lejtőszög
6		3	4	187	0,589999974	0,469639987		1	0-5 fok
7	45							2	5-10 fok
8	OID	Value	Count	Szazalekos	Terulet_he			3	10-15 fok
9		0	1	38620	89,33000183	82,228302		4	15-20 fok
10		1	2	4242	9,81000042	9,030110359		5	20-25 fok
11		2	3	372	0,860000014	0,79163003			

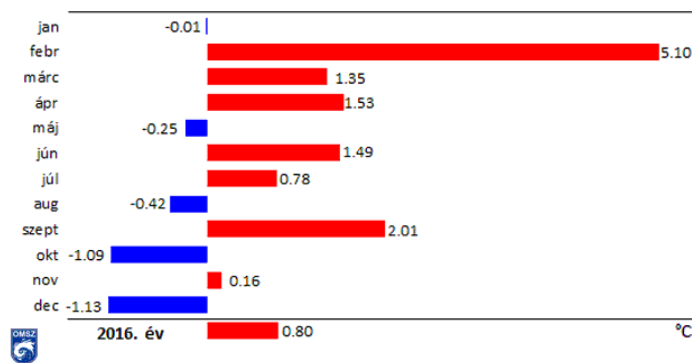
2. táblázat. Tömbök lejtőviszonyai százalékos arányban és hektárban

A vizsgálat szerint a 45. tömb rendelkezik a legjobb lejtőkitettséggel, mivel több mint 89%-a 0-5 fok közötti oldal. A 44. tömb 42,25%-a nem haladta meg az 5 fokos meredekséget.

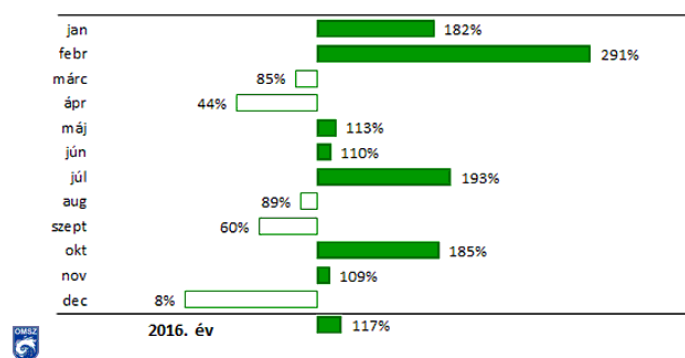
A művelés alatt álló tömbben talajvédelemi szempontból és a terméshozamok megvédése érdekében szükséges figyelembe venni a lejtőszögeket. Az 5–12% (kb. 2.86–6.84 fok) közötti lejtés esetében a terület művelése nem jelent nehézséget, amennyiben viszont a lejtő hosszú és erózióra hajlamos az alapkőzet, megindulhat a termőrétég lemosódása. A csapadék helyben tartására talajok mélyművelése és az altalajlazítás jelenthet megoldást. A 44-45. tömb művelése során a termelő adatai szerint 2015 és 2016 őszén is mélyszántást végzett. Az így előkészített, jó levegő- és vízháztartású termőrétégben a növény kedvezőbb feltételeket élvez és hatékonyabban viseli el a szárazságot [14].

4.3 A térségre jellemző meteorológiai tendenciák

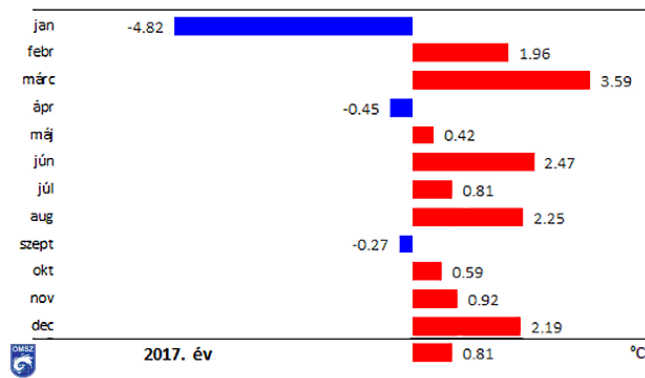
Az átlagosnál 1,53°C-kal melegebb 2016. év áprilisa kedvezett a vetési munkálatoknak (4–5. ábra). A meleg, csapadékos júniusi és júliusi hónapok segítették a kukorica fejlődését. 2017-ben április 8-án kezdődött meg a kukorica vetése. Ebben az évben viszont az április 0,45°C-kal hidegebb volt a szokottnál és átlagosan csapadékos. A május-augusztus közötti időszakban kiugróan meleg időjárás nem kedvezett a kukorica növekedésének, ugyanis pont ebben az időszakban a csapadékösszegek jelentősen elmaradtak a korábbi évekhez viszonyítva. Az olykor 2,47°C-kal melegebb nyári hónapok és az átlag alatti mennyiségű nyári eső aszályos évet eredményezett és hátrányt hozott a kukoricatermesztésben (6–7. ábra) [20].



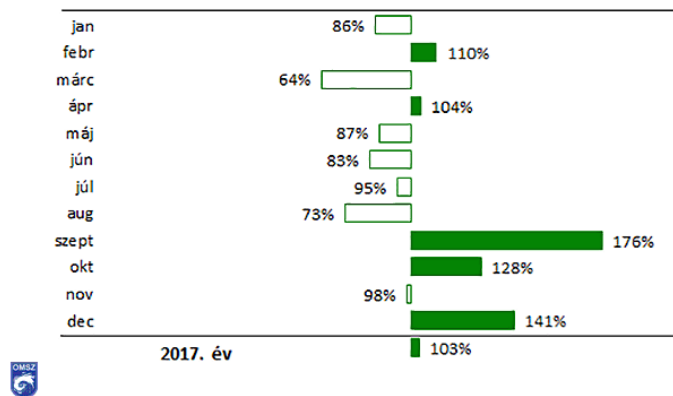
4. ábra. 2016. év hőmérséklet adatai [20]



5. ábra. 2016. év csapadékadatai [20]



6. ábra. 2017. év hőmérséklet adatai [20]



7. ábra. 2017. év csapadékaadatai [20]

Összefoglalóan megállapítható az országos meteorológiai adatok alapján, hogy a 2016-os év jobban kedvezett a termelőnek. Ezt a feltételezést kívánom alátámasztani térinformatikai eszközökkel való vegetáció elemzés és kombájn térképek összevetése alapján.

5. Képfeldolgozás

A mintaterület növényfejltségének kiértékeléséhez letöltöttem a raszteres multispektrális műholdfelvételeket az ESA honlapjáról, majd behívtam őket a QGIS térinformatikai szoftverben. A gazda által rendelkezésre bocsátott kombájn térképi Shape állományok felhasználásával létrehoztam egy generalizált vektoros rajzot, amely a mintaterületet lehatárolja. Exportáltam a kész vektoros fájlt a műholdfelvételek egyező koordinátarendszerben, UTM vetületben. Képfeldolgozáshoz az eCognition szoftvert választottam. A szoftverben a B03 (zöld), B04 (vörös) és B08 (közeleli infravörös) hullámtartományokhoz tartozó, 10 m-es térbeli felbontású felvételeket és a Shape állományt hívtam be. A szoftver automatikusan felismeri és befoglalóba helyezi a vektoros állományt.

Sakktábla típusú szegmentációval (chessboard segmentation) felismerttem új adatszintként 'mintaterület' névvel a 44. és 45. tömböt meghatározó rajzot. Egy hozzárendelő algoritlussal (assign class) létrehívtam a 44_45_tömb elnevezésű osztályt. A következő lépésben a bemeneti paramétereknél megadtam szűrő feltételként (Class filter), hogy melyik osztály elemeit kívánom szegmentálni. Az azonosított vektoros rajz mérete pixelekkel egzakt módon megadható; így ezt használtam küszöbfeltételként a hozzárendelésnél.

Harmadik lépésként újabb szegmentációt végeztem a mintaterületen, ezúttal azonos méretű szegmenshálo előállítására volt a cél. A mintaterületre 3x3 képpont érték elfogadhatónak bizonyult. Próbálkoztam multiresolution típusú módszerrel is. 50-es, 100-as és 200-as skálaértékeket alkalmaztam. Ez a fajta felosztás viszont nem garantálta volna a cellák azonosíthatóságát a szoftverből való adatmentést követően, mivel minden alkalommal különböző méretű szegmensek jöttek létre.

A szoftver lehetőséget adott rá, hogy a szegmentáló algoritmust a mintaterület egy megadott részalmezére futtassam. Ehhez a Level Name-nél a 'chessboard_3_pxl'-t adtam meg. Az osztályozás objektumonként ezután következett. A szoftver a szegmentációval csupán minden objektumhoz egy statisztikát (alak, méret, spektrális jellemzők) rendel, de nem sorolja osztályba. Klasszifikáció végrehajtása előtt definiálom a program számára az NDVI¹ indexet, így az eltérő indexérték alapján fogom tudni a mintaterületet osztályozni. Az értékkészlet megadásával különböző osztályok definiálhatók. Magasabb klorofill tartalom nagyobb visszaverődést eredményez a közeli infravörös (NIR) sávban [9], amely magasabb NDVI-ként jelenik meg.

Nem kizárt, hogy a szegmentálás és osztályba sorolás során fellépnek pontatlanságok. Ilyenkor lehetséges a szegmentáció újbóli elvégzése, más pixelmérettel, súlyokkal vagy más skálaértékkel, illetve további indexek (NDWI, NDVI stb.) alkalmazhatók, amellyel az osztályozás lefolytatása után jobb, a valós heterogenitásokat jobban tükröző lehatárolásokat kapunk. A megfelelő osztályhatárok kialakításához segítséget nyújt a Sample Editor ablak, ahol hisztogram ábra mellett az adatsor terjedelme és középhibája szintén leolvasható (8. ábra).



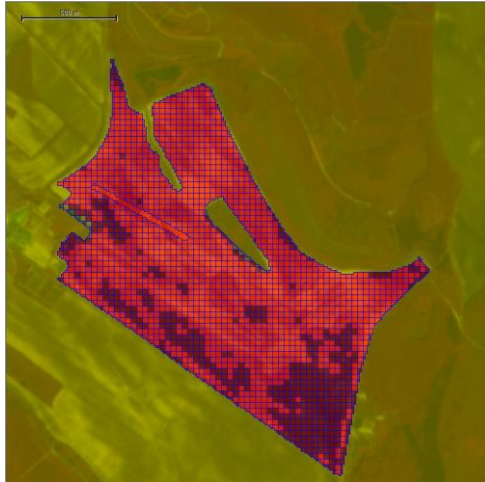
8. ábra. Mintaterület hisztogramja a 2017.08.23-ai adatsorra

Az osztályba sorolás során 5 kategóriát hoztam létre. Gyér vagy beteg növényzetre kettőt [$0 \leq \text{NDVI} \leq 0,2$] és [$0,2 < \text{NDVI} \leq 0,4$] tartományban, mérsékelten egészséges, közepesen fejlett növényzetre egyet [$0,4 < \text{NDVI} \leq 0,6$], és egészséges, fejlett növényzetre kettőt [$0,6 < \text{NDVI} \leq 0,8$] és [$0,8 < \text{NDVI} \leq 1$] csoportokkal [10].

A szegmensek által tartalmazott spektrális információt (G, R, NIR, NDVI, Brightness) és geometriai adataikat CSV formátumban mentettem az eCognition-ből (9. ábra). Majd a CSV fájlt Excelben szerkesztettem tovább. Először is eltávolítottam a mintaterületbe beekelő két megműveletlen területet, ugyanis erre az exportálás előtt nem volt lehetőség. Intenzitás értékek alapján azonosítottam őket az eCognitionban, majd töröltem az Excelből.

¹ NDVI: normalized difference vegetation index, magyarul normalizált vegetációs index

Végül átlagolt értéket számítottam a szegmensek NDVI értékeire mind a 6 vizsgált dátum esetében. Illetve kiszámítottam a lefedett területet a pixelszámok és a Sentinel műhold térbeli felbontásának ismeretében. 1 képpont 10x10 m-t vagyis 100 m²-t jelent.



9. ábra. Osztályozott 44. és 45. tömb 2016.05.23-ai adatsoron

6. Vizsgálati eredmények, tapasztalatok és alkalmazhatóság a termésbecslésben

6.1 Hozam kombájn térképen és NDVI-ben észlelt heterogenitások

A választott 44-45. táblákon végrehajtott képfeldolgozás után kialakult osztályhatárok (10. ábra) és a hektáronként betakarított kukorica hozamok közötti összefüggés jól észlelhető vizuális összehasonlítás alapján.

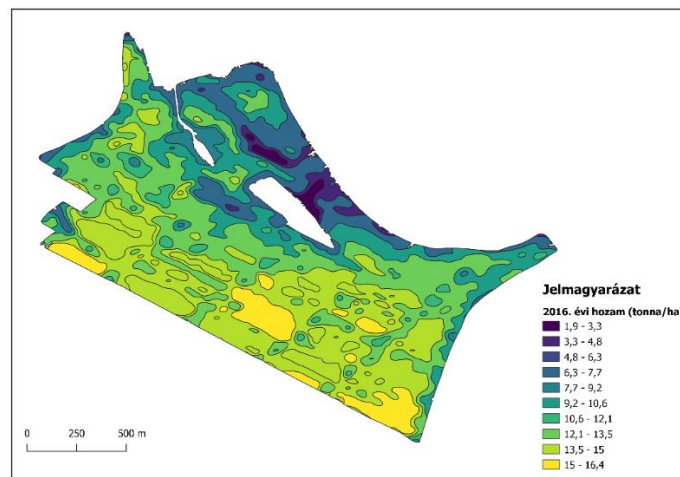
Észrevehető, hogy a 45. tömb erősebb hozamokat produkált mindkét évben, de különösen igaz ez 2016-ban (11–12. ábra). Ennek oka csak részben a kevés csapadékmennyiségben keresendő. Ha a 44. tömb területére koncentrálnánk, képzeletben elvágva a 44-45. számú egybevonott táblákat, kivehető hogy az északi részen, meredek oldalban lévő hányad mindkét év augusztus végén gyéribb növényzetű a tábla átlagát tekintve. Viszont az aszály hatása a lejtőkön különösen szembeötlő. A talajvízháztartás kedvezőtlen alakulása elsőként a magasabban fekvő részekben okozott termésvesztést. A növények alulfejlett állapotát a bordó és a sárgászöld foltok jól kiemelik a 2017. év osztályozott ábráján (13–14. ábra).



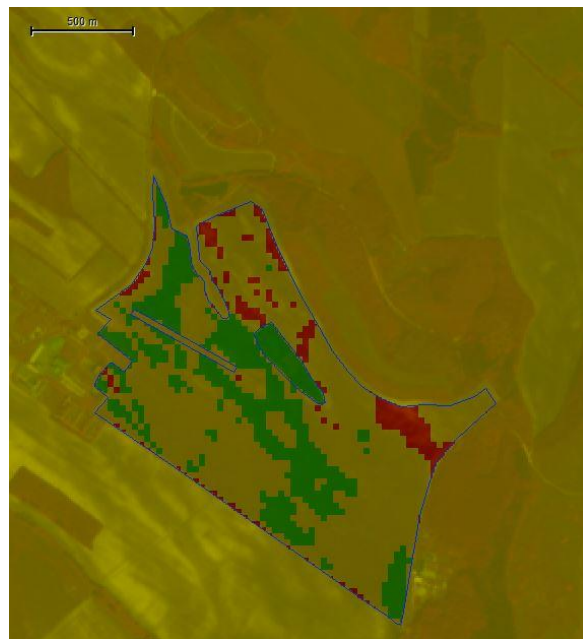
10. ábra. Az osztályba sorolás jelkulcsa



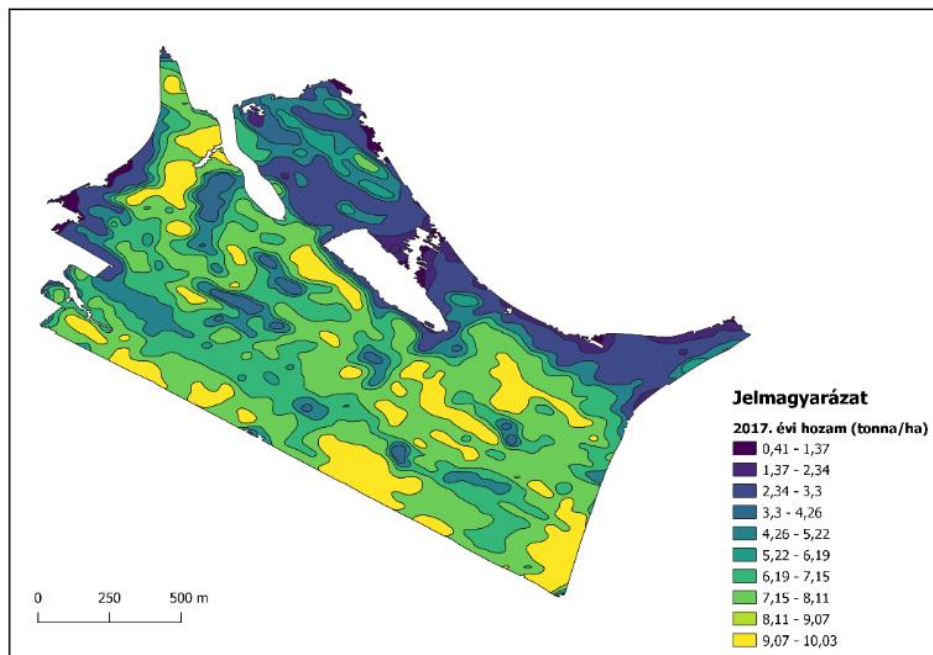
11. ábra. Tábla osztályozása 2016. évben, növényfejltség szerint



12. ábra. Tábla heterogenitásai 2016. évben, terméshozam szerint



13. ábra. Tábla osztályozása 2017. évben, növényfejltség szerint



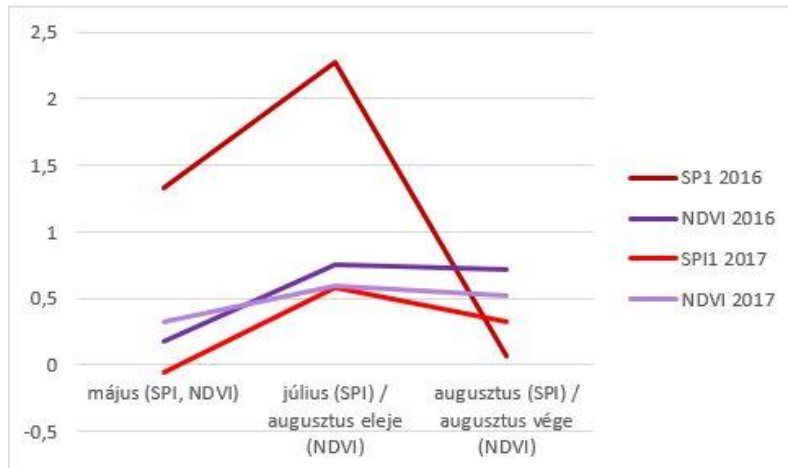
14. ábra. Tábla heterogenitásai 2017. évben, terméshozam szerint

6.3 SPI, NDVI és terméshozam kapcsolata

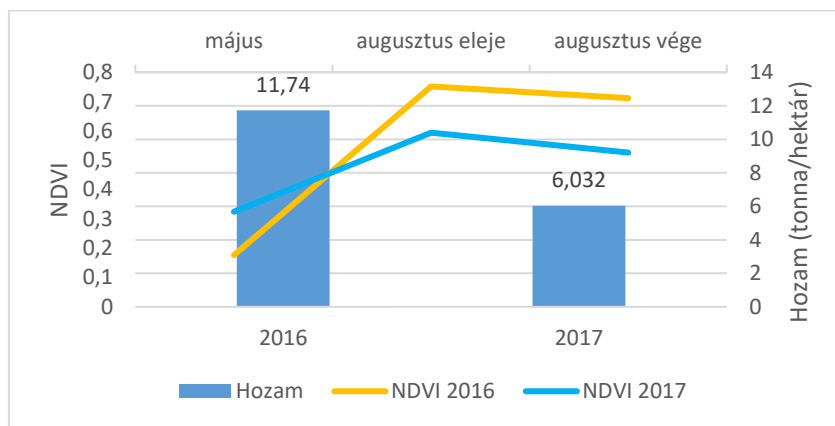
HDI (Hungarian Drought Index) értékek, amelyek interpolált formában az ország egész területéhez hozzárendelnek valamilyen aszálykategóriát, csak 2016. augusztusától elérhetőek. SPI (Standardized precipitation index) viszont mindkét évre elérhető volt, így ezzel vizsgáltam.

Az SPI értékekjárásáról leolvashatjuk, hogy meteorológiai aszályt 2016-ban júniusban, míg 2017-ben májustól július elejéig észlelt az OMSZ.

SPI és NDVI kapcsolatára igaz, hogy nagy szárazság következtében a növény levélzetének klorofill tartalma csökken. Tartós aszálykor a levelek képessége a fotoszintézisre romlik, ami csökkent NDVI-t okoz. Ellenben egyértelmű összefüggés számszerűen nem jelentkezett három havi – májusi, júliusi, augusztusi – SPI1 és a táblákra átlagolt májusi, augusztus eleji és végi NDVI-k korreláltságakor (15/a ábra). Míg 2016-ban -0,02 körüli koefficiens adódott, 2017-ben kb. 0,98-as érték. Vagyis a 2016-os rövidebb aszályos periódust jobban viselte el a kukorica. Nem indult meg a levelek szürkülése az aszályosnak számító júniust követően. 2017-ben igen szignifikánsan együtt mozgott az SPI1 és NDVI. A növény stresszhelyzetbe került, nem kapott elegendő csapadékot és így nem tudott regenerálódni. A vízhiányos időszak következménye 2017-ben, az előző évhez képest mintegy feleannyi termésmennyiségben is megmutatkozott (15/b ábra).



15/a ábra. SPI érték $\varphi=47,6^\circ$, $\lambda=18,7^\circ$ rácspontban és NDVI összehasonlítása [19]



15/b ábra. NDVI és hozam kapcsolata

Számításaim szerint augusztus végi állapotot tekintve, két megadott évre, adott művelési tömbre vett átlagolt NDVI-k és a két év hozamai között lineáris kapcsolat áll fenn. A korreláció a két vizsgált évbéli NDVI és hozam között kerekén 1-re adódott (3. táblázat). Ez a koefficiens egyértelmű lineáris viszonyt jelent az NDVI és hozam között.

	2016	2017
Hozam (tonna/hektár)	11,7400	6,0320
NDVI átlag augusztus végén	0,71	0,53
Hozam és NDVI lineáris kapcsolat	1	

3. táblázat: Hozam és NDVI viszonya

Az összefüggést az alábbi képlet írja le:

$$\text{hozam } b = x \cdot \frac{\text{NDVI } b}{\text{NDVI } a} \cdot \text{hozam } a$$

x – táblára jellemző aránytényező []

NDVI_a - átlagolt NDVI teljes tömbre "a" évben []

NDVI_b - átlagolt NDVI teljes tömbre "b" évben []

hozam_a - "a" évben számlált hozam [tonna/hektár]

Tökéletes egyenes arányosság esetében „x”, a táblára jellemző együttható 1-nek adódna. Viszont a két év adatainak felhasználásával a 2016-2017-es periódusban $x \approx 1,453$ -as értéket kaptam. Pontosabb meghatározás további évek hozam és NDVI adatainak felhasználásával lehetséges.

Ha tehát rendelkezünk műholdfelvétellel az adott év és egy korábbi év augusztus végi állapotról – valójában abból kalkulált átlagolt NDVI számmal – és egy korábbi évre vonatkozó terméshezammal, akkor a feltevés szerint megtudjuk saccolni mennyi kukoricatermést takaríthatunk be ősszel a táblán.

Az SPI aszályindex alakulása esetenként összefüggésbe hozható a termésátlaggal, de belőle nem vezethető le konkrétan a hozamkiesés mértéke vagy a termés mennyisége. Több éves megfigyelési periódus esetén viszont alkalmazható lenne növényállapot becslésre a VCI (Vegetation Condition Index), amely a mintaterület adott szegmensére megadja az aszály mértékét százalékos formában historikus NDVI_{min} és NDVI_{max} illetve adott évbéli NDVI adat felhasználásával [20]. Mivel a VCI számításához elegendő az NDVI-k megfigyelése, várható, hogy ez lehet az a mutató, amely az aszályosság mértékét kifejezve képes előre jelezni a termésveszteséget.

Logikus azt feltételeznünk, hogy a hozam valójában az NDVI – mint növényfejlettséget leíró mennyiség – lineáris, egyváltozós függvényeként leírható. A táblára vonatkozó összefüggés igazolása további évek vizsgálatával és az „x” tényező pontosításával teljesülhet.

6.4 Összefoglalás

A dolgozatban bemutattam a víz szerepét a kukorica termesztésnél. Kitértem a hazai vonatkozásban használt aszályindexekre, ismertettem az objektum alapú képfeldolgozás elméletét röviden. Áttekintettem a mintaterület elhelyezkedését és a művelési tömbökön alkalmazott agrotechnológiát.

A vizsgálat kezdetén feltehető volt, hogy az aszályosabb 2017-es évben nehezebben fejlődött a kukorica, így emiatt kevésbé erős szárfejletség és levélzet alakult ki. A számok is ezt igazolják. Akár a növényfejlettségre utaló NDVI számokat nézzük, akár a termésátlagokra tekintünk, ezt látjuk beigazolódni. Belátható, hogy az SPI aszálymutatóból nem vezethető le konkrétan a termésveszteség. Korreláltatva az egyes évek hozamait a táblára átlagolt, augusztus végi NDVI értékkel viszont lineáris összefüggés mutatható ki. Vagyis a táblára kalkulált „x” együttható, az NDVI adatok és egy adott év terméshezammának ismeretében jószerével megbecsülhető a leendő év végi termés. Az összefüggés igazolása és az „X” együttható pontosítása viszont további évek növényfejlettségi adatainak kiértékelésével és összehasonlításával teljesülhet.

Forrásmunkák

Operatív Aszály- és Vízhánykezelő Rendszer működése és lehetőségei, szakdolgozat, 2019, Berger Ádám, Nemzeti Közzolgálati Egyetem, pp. 5-8.

Operatív aszály- és vízhiánykezelő monitoring rendszer, Hidrológiai Közöny 2018. 98. évf. 3. sz., Fiala Károly, Barta Károly, Benyhe Balázs, Fehérváry István, Lábdy Jenő, Sipos György, Györffy Lajos

Nagy János: Kukoricatermesztés. Élelmiszer-bioenergia-takarmány. Akadémiai Kiadó, Budapest, 2007, p. 393
Bereczki László, Talajművelési alapfogalmak, 2008, 2. pp

Webes hivatkozások

[1] Influence of Drought on Corn and Soybean, ICM News, 2017. július 21.

<https://crops.extension.iastate.edu/cropnews/2017/07/influence-drought-corn-and-soybean>

[2] Determining Corn Growth Stages, 2020. október 15.

<https://www.dekalbasgrowdeltapine.com/en-us/agronomy/corn-growth-stages-and-gdu-requirements.html>

[3] Corn Yield Estimates, Iowa State University

<https://crops.extension.iastate.edu/encyclopedia/corn-yield-estimates>

- [4] OMSZ, Éghajlati portál, Magyarország éghajlata
https://www.met.hu/eghajlat/magyarorszag_eghajlata/eghajlati_visszatekinto/elmult_evszakok_idoja_rasa/
- [5] Nemzeti Agrárgazdasági Kamara, NAKlap, 2018. szeptemberi szám
<https://www.nak.hu/agazati-hirek/videkfejlesztes/157-kornyezetgazdalkodas/97804-mar-hasznosithatok-az-aszalymonitoring-rendszer-adatai>
- [6] Európai Környezeti Információs és Megfigyelő Hálózat
<https://eionet.kormany.hu/akadalymentes/aszaly>
- [7] Országos Vízügyi Főigazgatóság, Operatív Vízhíány Értékelő és Előrejelző Rendszer, 2020. október 14.
<https://www.ovf.hu/hu/korabbi-hirek-2/cc72cc6a-2382-48f6-90cd-7614df09ce0c>
- [8] Copernicus Űrprogram
<https://scihub.copernicus.eu>
- [9] Sentinel-2 band characteristics
https://www.researchgate.net/figure/Sentinel-2-band-characteristics_tbl1_314119510
- [10] Sentinel 2 műholdcsalád, Copernicus Űrprogram
<https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/user-guides/sentinel-2-msi/resolutions/spatial>
- [11] Ismertető a Műholdas vegetációs index agrometeorológiai oldalhoz
https://www.met.hu/idojaras/agrometeorologia/vegetacios_index/
- [12] Earth Observing System weboldal
<https://eos.com/blog/ndvi-faq-all-you-need-to-know-about-ndvi/>
- [13] OMSZ, Magyarország általános éghajlati jellemzése
https://www.met.hu/eghajlat/magyarorszag_eghajlata/altalanos_eghajlati_jellemzes/altalanos_leiras/
- [14] A kukoricatermesztés feltételei, termesztési technológiák és a fajták kölcsönhatása
<https://www.agronaplo.hu/szakfolyoirat/2007/04/szantofold/a-kukoricatermesztes-feltetelei-termesztesi-technologiak-es-a-fajtak-kolcsonhatasa>
- [15] Miskolci Egyetem, Dobos Endre egyetemi docens honlapja
<https://www.uni-miskolc.hu/~ecodobos/>
- [16] MTA Talajtani és Agrokémiai Kutatóintézet (MTA TAKI) Környezetinformatikai Osztály
<https://enfo.hu/node/3469>
- [17] Agronapló, A lejtős területek ültetvényeinek talajvédelme
<https://www.agronaplo.hu/szakfolyoirat/2005/5/kerteszet/a-lejtos-teruletek-ultetvenyeinek-talajvedelme>
- [18] OMSZ, Magyarország éghajlata, Az elmúlt évek időjárása
https://www.met.hu/eghajlat/magyarorszag_eghajlata/eghajlati_visszatekinto/elmult_evek_idojarasa/
- [19] OMSZ Éghajlati Osztály adatbázisa, kapcsolattartó: Konkolyiné Bihari Zita
- [20] Recommended Practice: Drought Monitoring using the Vegetation Condition Index (VCI)
<https://un-spider.org/book/export/html/9206>