

M Ű E G Y E T E M 1 7 8 2
FOTOGRAMMETRIA ÉS TÉRINFORMATIKA TANSZÉK

A KLÍMAVÁLTOZÁS VÁRHATÓ HATÁSAINAK VIZSGÁLATA A JÁSZSÁGBAN TÉRINFORMATIKAI MÓDSZEREKKEL

Készítette:

Imre-Horváth Sándor

földmérő- és térinformatikai mérnök MSc. hallgató

Témavezető:

Dr. Szabó György

egyetemi docens

Fotogrammetria és Térinformatika Tanszék

**Tudományos Diákköri Konferencia
Budapest, 2018**

Tartalomjegyzék

A dolgozatban előforduló rövidítések magyarázata	2
1. Bevezetés.....	3
2. A mintaterület bemutatása.....	5
2.1. A Jászság általános jellemzése	5
2.2. RCP emissziós forgatókönyvek	6
3. Felhasznált adatok ismertetése	8
3.1. Corine felszínborítási adatsorok.....	8
3.2. HadGEM2-ES klímamodell	9
3.3. QGIS szoftver.....	10
4. Vizsgálati módszerek ismertetése	11
4.1. A jászsági mezőgazdaság vizsgálata	11
4.1.1. Növénytermesztés	11
4.1.2. Állattenyésztés	12
4.1.3. Élelmiszerigény meghatározása	13
4.1.4. A Jászság önellátó képességének vizsgálata	14
4.2. HadGEM2-ES klímamodell adatainak feldolgozása	15
4.2.1. Hőmérsékleti adatok feldolgozása	15
4.2.2. Csapadékadatok feldolgozása	16
4.3. Az időjárási jellemzők és a mezőgazdasági teljesítmény korrelációjának vizsgálata.....	17
5. Eredmények értékelése.....	19
5.1. A Jászság önellátó képessége	19
5.2. Az időjárási tényezők értékelésének problémái	20
5.3. A klímaváltozás hatása a Jászság csapadékviszonyaira	22
5.4. A klímaváltozás hatása a Jászság hőmérsékleti viszonyaira	24
5.5. Az időjárási tényezők változásának hatása a mezőgazdaságra	25
6. Összefoglalás.....	27
Köszönetnyilvánítás	29
Ábrák jegyzéke.....	30
Táblázatok jegyzéke	31
Forrásjegyzék	32

A dolgozatban előforduló rövidítések magyarázata

CLC:	Corine Land Cover, Corine Felszínborítás
CMIP5:	Coupled Model Intercomparison Project Phase 5, Csatolt Éghajlati Modellek Összehasonlítási Programja, 5. fázis
GIS:	Geographic Information System, Földrajzi Információs Rendszer
HadGEM2-ES:	Hadley Centre Global Environment Model version 2 – Earth System, Hadley Központ Globális Környezeti Modell 2. változat – Teljes Föld Rendszer
IPCC:	Intergovernmental Panel on Climate Change, Éghajlat-változási Kormányközi Testület
KSH:	Központi Statisztikai Hivatal
OSM:	Open Street Map, Nyílt hozzáférésű közösségi térképrendszer
RCP:	Representative Concentration Pathways, Reprezentatív Koncentrációs Útvonalak, ill. Forгатókönyvek
TeIR:	Országos Területfejlesztési és Területrendezési Információs Rendszer

1. Bevezetés

A XX. század rohamos technikai fejlődése az életszínvonal és a várható élettartam gyors és jelentős emelkedését eredményezte. Az ennek hatására bekövetkező népességrobbanás a természeti erőforrások mind hatékonyabb és szélesebb körű kiaknázását tette szükségessé. A fenntarthatósági szempontokat figyelmen kívül hagyó terjeszkedés azonban túlhasználathoz vezetett, így a korábban bőségesen rendelkezésre álló erőforrások szűkössé, korlátozó tényezővé váltak. Ezt a helyzetet súlyosbította a társadalom szerkezetének átalakulása, a városiasodás és a megváltozott, megnövekedett szükségletek és igények kielégítését szolgáló iparosodás. Napjainkban a világ népességének több, mint fele városokban él. A lakosság ilyen mértékű tömörülése a korábbtól gyökeresen eltérő gazdálkodási rendszert eredményezett, hiszen egyre nehezebbé vált a szükségletek helyben történő kielégítése. A városi lakosság élelmezése, a városi infrastruktúra létrehozása és fenntartása nem lehetséges a helyben elérhető erőforrások felhasználásával, azt távolabbi területek kiaknázásával és hosszú szállítási láncokkal kell biztosítani. Ugyanakkor a városi lakosságnak is igénye van a tiszta, élhető, kellemes környezetre, ami az agglomeráció kiterjedését, ezáltal pedig a többi szükséglet kielégítésre rendelkezésre álló terület csökkenését okozza. Ez a folyamat könnyen a természetes környezet pusztulásához és az elérhető erőforrások további csökkenéséhez vezethet, tovább növelve a városi rendszerek kiszolgáltatottságát és instabilitását.

Annak érdekében, hogy az így keletkező károkat mérsékeljük és a lakosság ellátását biztonságos, fenntartható módon valósítsuk meg, elengedhetetlen a természeti erőforrásokkal történő precíz, tervezett gazdálkodás. A megfelelő minőségű és mennyiségű ivóvíz, élelmiszer megtermeléséhez, a természetes környezet állapotának megőrzéséhez pontosan ismerni kell az adott területen rendelkezésre álló erőforrásokat és környezeti tényezőket. Ez viszont nem valósítható meg nagyléptékű, globális modellek és sok változót elhanyagoló, egyszerűsített számítási módszerek alkalmazásával.

Az információs technológia fejlődésének köszönhetően ma korábban elképzelhetetlen mennyiségű adat, mérések és megfigyelések érhetőek el, és ezek megfelelő feldolgozásával és értelmezésével pontos és hasznos információt kaphatunk napjaink elméleti és gyakorlati problémáinak megoldásához. A térinformatikai rendszerek alkalmazása lehetővé teszi, hogy egy adott területre vonatkozó adatainkat hatékonyan rendszerezzük és elemezzük. Nem vagyunk rászorulva a korábban használt feltételezésekre és egyszerűsítésekre, hiszen a távérzékelési módszerek segítségével pontos és naprakész adatokat kaphatunk a környezet valós állapotáról globális, regionális és lokális szinten is, legyen szó felszínborításról,

domborzatról vagy valamely káresemény által érintett területek kiterjedéséről. Ezáltal hatékonyan feltérképezhetjük az elérhető erőforrásokat, a felmerülő igényeket, és optimalizálhatjuk a felhasználás módját és mértékét a környezeti paraméterek széles körének figyelembe vételével.

A térinformatikára alapuló elemzések a klímaváltozás hatásainak megismerésében és mérséklésében is nagy segítséget nyújtanak. A klímaváltozás más folyamatokhoz hasonlóan leírható a környezeti körülmények, tényezők megváltozásával, így a fenntarthatósági és optimalizációs számításokban figyelembe vehető. A modern számítógépes infrastruktúra azt is lehetővé teszi, hogy a környezeti tényezők várható alakulását jelenlegi, megbízható méréseink alapján modellezzük. A modellkísérletek eredményei pedig további adatokat biztosítanak a természeti erőforrásokkal történő megfelelő gazdálkodási módok kialakításához.

Kutatásom célja egy olyan vizsgálat elvégzése volt, ami a korszerű adatnyerési és térinformatikai rendszerek felhasználásával a klímaváltozáshoz történő alkalmazkodást és a természeti erőforrások optimális felhasználását segíti. Az Európai Környezeti Ügynökség Copernicus programja és a közösségi fejlesztésen alapuló szoftverek és adatbázisok lehetővé teszik, hogy egy ilyen kutatást akár lokális szinten, a helyi igények és lehetőségek figyelembe vételével, komoly anyagi ráfordítás nélkül el lehessen végezni. Vizsgálati területnek a Jászságot választottam, mivel változatos természeti és társadalmi adottságai számos folyamat vizsgálatát teszik lehetővé. A mezőgazdasági termelés és a területhasználat elemzésével az élelmiszerbiztonságra, az önellátó képességre vonatkozóan lehet következtetéseket levonni. Statisztikai adatok bevonásával az energiagazdálkodás, a fenntartható energiatermelés kérdésköre is vizsgálható. A mért és modellezett éghajlati tényezők ismeretében pedig meghatározható a lakosság és a mezőgazdaság kiszolgáltatottsága a klímaváltozás hatásainak. Így lehetővé válik az alkalmazkodást segítő lépések tervezése, például az időjárási szélsőségeknek jobban ellenálló növénykultúrák kiválasztása vagy a vízgazdálkodási rendszer optimalizálása.

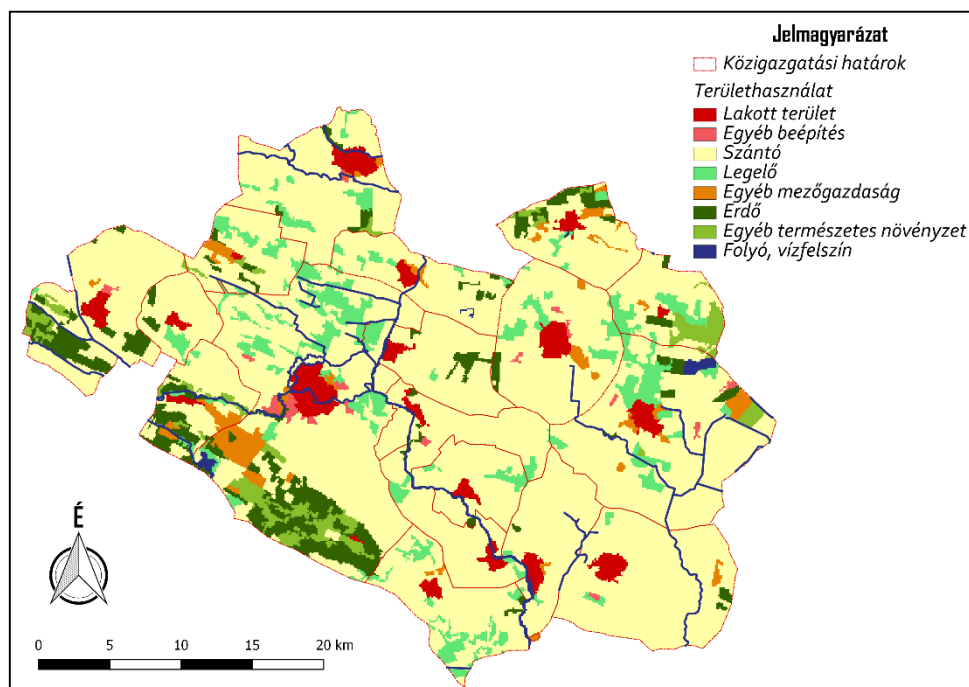
Munkám célja azonban nem kizárólag a kiválasztott mintaterületre vonatkozó konkrét jellemzők, értékek meghatározása. A vonatkozó szakirodalom feldolgozása, a vizsgálati módszerek megfelelő kialakítása lehetővé teszi, hogy hasznos információt kapjunk az ilyen jellegű kutatások lehetőségeiről, az elérhető adatforrásokról és a felmerülő hibaforrásokról. Ezáltal hatékonyabbá válhat a jövőbeni kutatási programok tervezése, az elemzési módszerek fejlődésével pedig pontosabb és gyakorlatban is jobban hasznosítható ismeretekhez juthatunk.

2. A mintaterület bemutatása

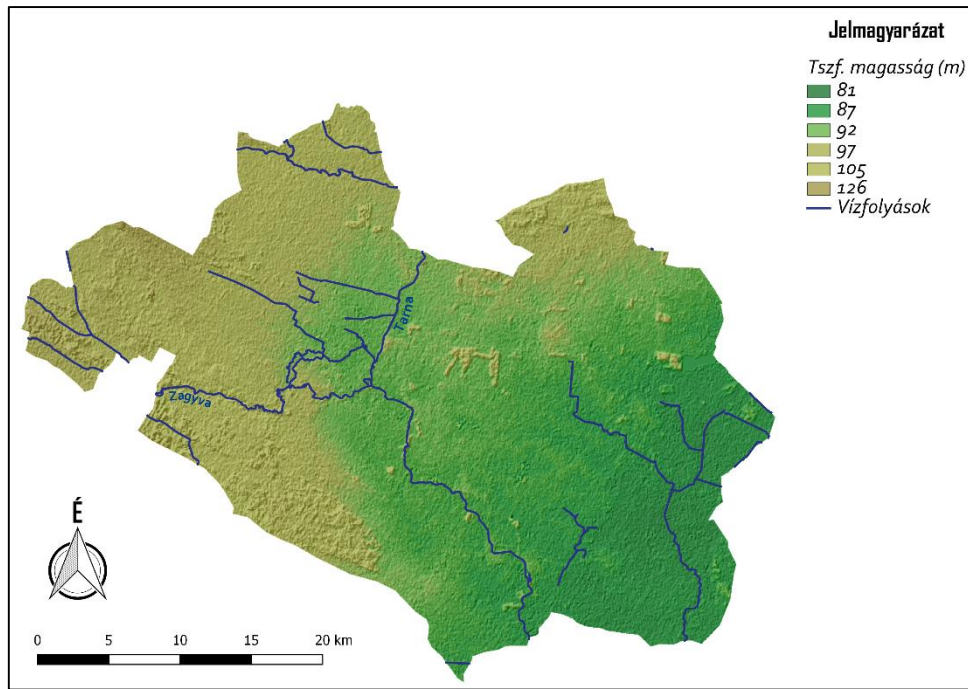
2.1. A Jászság általános jellemzése

A történelmi Jászság területe ma két járás, a Jászberényi és a Jászapáti között oszlik meg, Jász-Nagykun-Szolnok megye északnyugati részén. Összterülete 1161 km², 18 települése közül 5 városi jogállású: a két járási székhely, Jászberény és Jászapáti mellett Jászkisér, Jászfényszaru és Jászárokszállás. Lakónépessége csökkenő tendenciát mutat, a 2015-ös adatok szerint 81490 fő. [TeIR] Gazdaságában a szántóföldi növénytermesztés (búza, árpa, kukorica, napraforgó) a meghatározó, de egyéb növények (pl. zöldségfélék) termesztése és állattenyésztés is megtalálható. A jellemző területhasználati módokat szemlélteti a 2012. évi Corine adatsor alapján készült 2.1.1. ábra.

Domborzatát tekintve síkvidéki terület délkeleti irányú enyhe lejtéssel, mely a 2.1.2. ábrán is jól megfigyelhető. Jelentős folyója a Zagyva, melybe több kisebb vízfolyás is ömlik. Éghajlata átmenetet képez a szárazabb Alföld és a nedvesebb Északi-középhegység között, az éves csapadékösszeg 550-570 mm körül alakul, míg a teljes hőösszeg 3050 – 3150 °C. [Harsányi et al. 2011] Környezetvédelmi szempontból különleges jelentőségű, mivel a fokozottan védett parlagi sas (*Aquila heliaca*) egyik fontos költőterülete, valamint a Natura 2000 hálózatba tartozó védett területek is megtalálhatóak itt. [MME 2013]



2.1.1. ábra: A Jászság területhasználati térképe [Adatforrás: Copernicus, OSM; saját szerkesztés]



2.1.2. ábra: A Jászágó domborzata és vízfolyásai [Adatforrás: Copernicus, OSM; saját szerkesztés]

2.2. RCP emissziós forgatókönyvek

Az RCP emissziós forgatókönyveket az IPCC dolgozta ki annak érdekében, hogy a klímaváltozással kapcsolatos kutatások eredményei jobban összehasonlíthatóak legyenek, valamint elősegítse a korábbi lineáris helyett többirányú, rugalmasabb módszerek alkalmazását. Az RCP forgatókönyvek az üvegházhatású gázok és aeroszolok sugárzási egyensúlyra gyakorolt hatásának alakulását írják le. Ez megvalósítható a sugárzási egyensúly eltolódásának megadásával pl. W/m^2 egységben, vagy az üvegházhatást okozó anyagok CO_2 -egyenértékben kifejezett koncentrációjával. Az egyes RCP-khez nem tartozik a bekövetkezési valószínűséget, plauzibilitást jellemző semmilyen adat. A cél ugyanis nem a társadalmi-technológiai fejlődés előrejelzése volt – noha ennek figyelembevétele bizonyos mértékig elkerülhetetlen volt – hanem egységes bemeneti paraméterek biztosítása a klímamodellezéssel foglalkozó kutatócsoportok számára, hogy a különféle modellek eredményei összehasonlíthatóak legyenek.

Az IPCC koordinációjával összesen 4 RCP forgatókönyv került kidolgozásra, melyek főbb jellemzőit a 2.2.1. táblázat foglalja össze.

Név	Sugárzási egyensúly eltolódása	ÜHG koncentráció CO ₂ -egyenértékben	Forgatókönyv típusa
RCP 8,5	>8,5 W/m ²	>1370 ppm	Folyamatosan növekvő hatás, vonatkoztatási év a megadott értékekre: 2100
RCP 6,0	~6,0 W/m ²	~850 ppm	A megadott szinten stabilan állandósuló hatás 2100 után
RCP 4,5	~4,5 W/m ²	~650 ppm	A megadott szinten stabilan állandósuló hatás 2100 után
RCP 2,6	~2,6 W/m ²	~490 ppm	Maximális hatás 2100 előtt, majd csökkenés a megadott szintre 2100-ig

2.2.1. táblázat: Az RCP emissziós forgatókönyvek jellemző értékei [IPCC 2008]

3. Felhasznált adatok ismertetése

3.1. Corine felszínborítási adatsorok¹

A Copernicus Program elemei közül az 1985-ben indított Corine felszínborítás (CLC) Európa legnagyobb felszín-monitoring programja. A kiforrott módszereknek és részletes dokumentációnak köszönhetően pontos és megbízható információt nyújt az európai felszínborításról és annak változásairól, számos felhasználási lehetőséggel. Munkámhoz azért választottam a CLC idősort, mert – a műholdfelvételek közvetlen elemzésétől eltekintve – ez rendelkezik a legnagyobb időbeli kiterjedéssel, és felbontása kielégítő a felszínborítás és a természeti környezet általános vizsgálatához.

A Corine LC keretében jelenleg négy felszínborítási adatsor érhető el, 1990, 2000, 2006 és 2012 referencia-évekre. Az 1990. és 2000. évi adatsorokat Landsat-5 ill. -7, a 2006-ost SPOT-4/5 és IRS P6 műholdképek felhasználásával állították elő. A 2012. évi felszínborítás az IRS P6 mellett a RapidEye rendszerből nyert adatokat használta. A munkafolyamat során emellett felhasználnak korábbi évekből származó CLC-adatokat, digitális domborzatmodellt (DEM), ortofotókat, Google Earth képeket is.

A műholdképek feldolgozása poligon alapon történik, a felszínborítási poligonokat 51 felszínborítási osztály valamelyikébe sorolja be a feldolgozást végző személyzet. A Corine-adatsorok feldolgozásának fontos eleme a „Változások először”-elv: a felszínborítás osztályozása nem szabadon, hanem az előző CLC-felmérés poligonjainak újraértékelésével és módosításával történik. Ez biztosítja az egymást követő adatsorok konzisztenciáját.

A CLC fő eredménye tehát nem csupán a teljes felszínborítási térkép, hanem a Corine-változás adatsor, mely az előző CLC felmérés óta végbement felszínborítási változásokat tartalmazza. Ennek névleges felbontása 100 m, de 5 ha nagyságú legkisebb térképezési egységet (Minimal Mapping Unit, MMU) alkalmaznak. Az ezt a kiterjedést, ill. vonalas jelenségeknél 100 m szélességet el nem érő elemeket generalizálják, meghatározott szabályok szerint a környező területbe olvasztják.

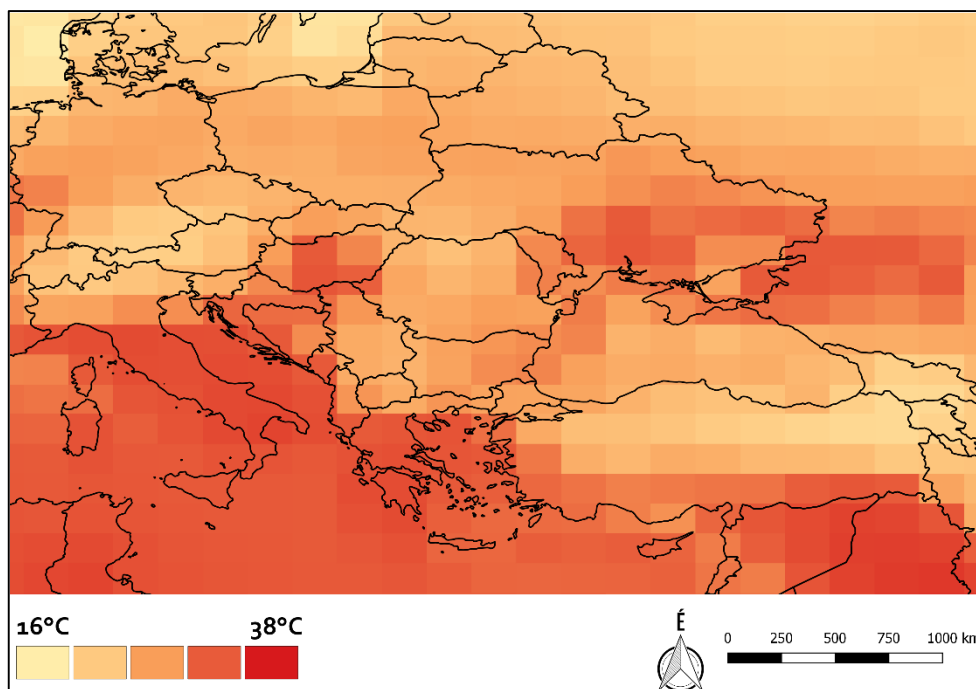
A Corine felszínborítási idősor tehát pontos és megbízható adatforrás felszínborítási vizsgálatok elvégzéséhez. Mivel a Copernicus Program keretében valamennyi Corine-termék ingyenesen hozzáférhető, kiválóan alkalmas kis költségvetésű kutatásokhoz, így TDK készítéséhez is.

¹ A 3.1. alfejezet készítéséhez felhasznált források: [EEA 2007]; [EEA 2014]

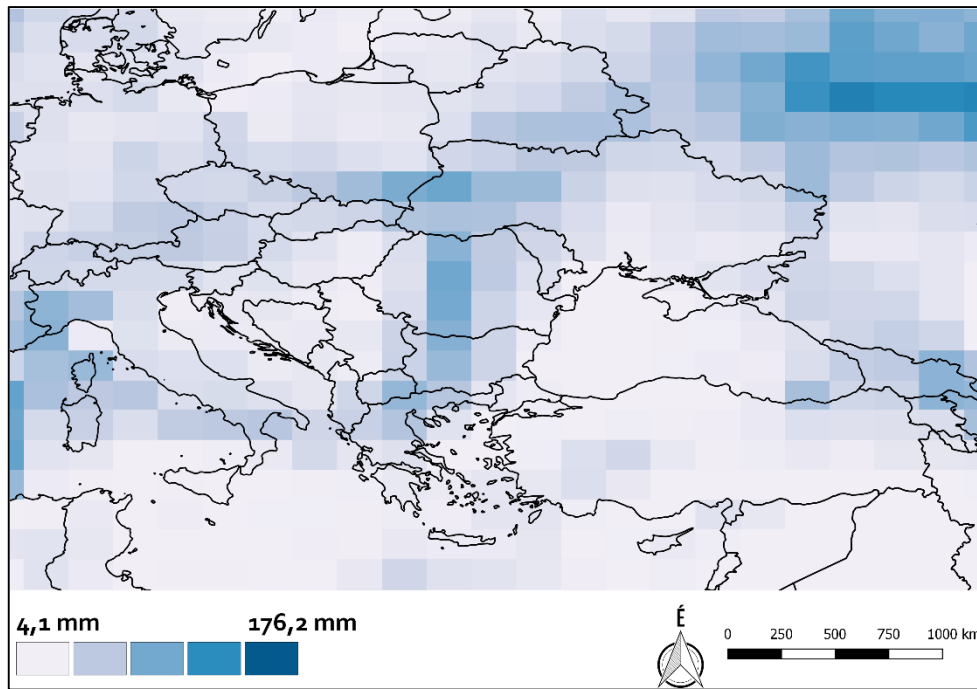
3.2. HadGEM2-ES klímamodell

A klímaváltozás éghajlati hatásainak figyelembe vételére az EU Copernicus programjának keretében elérhető éghajlati adatsorok és modellek közül az Egyesült Királyság meteorológiai szolgálatának (Met Office) egyik modelljét választottam. A HadGEM2-ES jelzésű modell az IPCC 5. értékelő jelentéséhez tartozó CMIP5 kampány keretében készült a HadGEM-modellcsalád korábbi elemeinek továbbfejlesztésével. Az ES (Earth System) jelzésű változat egy komplex, számos fizikai, kémiai és biológiai folyamatot magában foglaló, kifejezetten a troposzféra leírására szolgáló modell. [Hadley 2011]

A CMIP5 keretében készült modellek – így a HadGEM2-ES is – jóval több adatot szolgáltatnak, mint amennyi egy TDK dolgozat keretében feldolgozható, vagy szükséges. Ezért a rendelkezésre álló kimenetek közül kutatásomhoz az aggregált, 1 hónap időbeli felbontású felszínközeli hőmérséklet és közepes csapadékként adatsorokat használtam fel. Előbbit a 3.2.1. ábra, utóbbit a 3.2.2. ábra szemlélteti, a jobb értelmezhetőség érdekében az országhatárok feltüntetésével. Az adatsorok a Copernicus Climate Change Services adatbázisából a könnyen kezelhető netCDF raszteres formátumban tölthetők le. Mivel az adatok a légkör állapotára vonatkozó modelltől származnak, ezért a raszter terepi felbontása nem teljesen állandó, kb. $2^{\circ} \times 1^{\circ}$ (hosszúság x szélesség). Azonban a Jászság teljes területe így is gyakorlatilag egyetlen rasztercellába esik, ezért a felbontás bizonytalansága nem jelentett problémát.



3.2.1. ábra: Felszínközeli hőmérsékletet (havi középhőmérséklet) tartalmazó raszter a HadGEM2-ES modelltől. Az ábrán látható részlet az RCP 4,5 forgatókönyv szerint a 2020. augusztusi állapotot mutatja. [Adatforrás: CMIP5-Met Office, OSM; saját szerkesztés]



3.2.2. ábra: Havi közepes csapadékarómot tartalmazó raszter a HadGEM2-ES modellből. Az ábrán látható részlet az RCP 4,5 forgatókönyv szerint a 2020. augusztusi állapotot mutatja. A jobb értelmezhetőség érdekében a színskála mellett nem az eredeti értékeket, hanem az azokból számítható havi csapadékmennyiséget tüntettem fel. [Adatforrás: CMIP5-Met Office, OSM; saját szerkesztés]

3.3. QGIS szoftver²

A QGIS egy szabad hozzáférésű, nyílt forráskódú földrajzi információs rendszer (GIS), melynek fejlesztése 2002-ben kezdődött. Fő előnye, hogy integráltan tartalmazza más GIS-rendszerek, pl. GRASS és SAGA, funkcióit is, így nem szükséges az adatok többféle formátumban történő tárolása, hanem egyetlen rendszeren belül hozzáférhetünk a feladatra legalkalmasabb algoritmusokhoz.

Nagyban hozzájárul a QGIS rendszer sikerességéhez az is, hogy fejlesztése közösségi szinten történik, így számos kisebb modul, bővítmény érhető el hozzá, melyek tovább bővítik az elvégezhető térinformatikai műveletek körét. Ennek köszönhető az is, hogy az Interneten sok ismertető, esettanulmány és felhasználási példa érhető el.

A QGIS jelenlegi legújabb verziója 3.2.3, de jelen munkához a 2.18.24 verziószámú hosszú távú stabil kiadást használtam. A QGIS rendszer, valamint a kapcsolódó dokumentáció elérhető a qgis.org weboldalon.

² A 3.3. alfejezet készítéséhez felhasznált források: [QGIS]

4. Vizsgálati módszerek ismertetése

Az irodalmi források és a szükséges adatok összegyűjtése után munkám 3 fő lépésre tagolódott. Először – elsősorban irodalmak és statisztikai adatok alapján – átfogó értékelést készítettem a jászsági mezőgazdaság környezeti igényeiről és termelési jellemzőiről. Az elérhető népességi és fogyasztási adatok alapján kiszámítottam a Jászság élelmiszerigényét néhány fontosabb élelmiszerfajtára is. Az élelmiszertermelés hozamát alapvetően három paraméter határozza meg: a termőhelyi adottságok, a klimatikus viszonyok és a telepített növénykultúra. Egy adott helysín, mintaterület esetében a termőhelyi és éghajlati jellemzők befolyásolása nem, vagy csak nagy költségráfordítással, csekély hatékonysággal lehetséges. Az éghajlatváltozás kedvezőtlen hatásainak csökkentésére így a változó körülményekhez jobban alkalmazkodó kultúrák kiválasztása az egyik leghatékonyabb módszer. Ennek megalapozásához a HadGEM2-ES klímamodell hőmérséklet- és csapadékadatai alapján meg kellett határoznom az éghajlati jellemzők alakulását a Jászság területén a vizsgálati időszakra az egyes RCP forgatókönyvek esetén. Végül a két különálló vizsgálat részeredményeit összevetve vált lehetségessé a várható hatások azonosítása és a következtetések levonása.

4.1. A jászsági mezőgazdaság vizsgálata

A mezőgazdaság környezeti igényeinek vizsgálatához irodalmi forrásokat és a KSH adatait használtam fel. Utóbbiak járási szintre lebontva nem voltak elérhetőek, ezért a Jász-Nagykun-Szolnok megyei adatsorokkal dolgoztam. A források elérhetőségének megfelelően külön kezeltem a növénytermesztést és az állattenyésztést.

4.1.1. Növénytermesztés

A növénytermesztés esetében [KSH 2006] alapján 4 meghatározó szántóföldi kultúrát vontam be a vizsgálatba, ezek: búza, árpa, kukorica és napraforgó. A terméshozamok meghatározásához a KSH idősoros adataiból indultam ki, melyekből számítható volt az 1 hektárra eső sokévi átlagtermés. A környezeti igény jellemzésére 2 fő paramétert használtam: az öntözés nélküli termesztés csapadékigényét, melyeket [Hoekstra et al. 2010] által megadott értékekből számítottam át mm/m² egységbe; valamint a szükséges éves effektív hőösszeget [Kupi 2002] és [Antal 2005] alapján. Az éves effektív hőösszeg definíció szerint a (4/I) képlettel határozható meg, melyben T_n a napi középhőmérséklet.

$$T_{sum} = \sum_{i=IV.1.}^{IX.30.} Tn_i - 10 \quad (4/I)$$

A klímaváltozáshoz történő alkalmazkodás fontos eleme a fenntartható energiatermelés, melynek egyik lehetséges módja a biomassza-tüzelés. Hazánkban több helyen, pl. Pécsen és Dorogon is üzemel mezőgazdasági melléktermékeket hasznosító hőerőmű, így érdemesnek tartottam megvizsgálni a technológia alkalmazási lehetőségeit a Jászság esetében. A biomassza alapú energiatermelés leghatékonyabb módja a kapcsolt hő- és villamosenergia-termelés, de a Jászság esetében a településszerkezetből adódóan kevés lehetőség van hatékony távhőhálózat létesítésére. Ezért munkám során kizárólag a közvetlen villamosenergia-termelést vizsgáltam meg.

Az energiagazdálkodás fenntarthatóbbá tételét célzó projekteknek és kutatásoknak köszönhetően számos hazai és külföldi forrás állt rendelkezésemre a mezőgazdasági hulladékok energetikai hasznosítására vonatkozóan. A téma jó áttekintését adja, példákkal és részletes adatokkal kiegészítve [Hewson et al. 2011]. [Bulla et al. 2011] részletesen ismerteti az egyes biomassza-típusok fűtőértékét és a vonatkozó tüzeléstechnikai paramétereket, így meg tudtam határozni a konverzió hatásfokát és a területre fajlagosított villamosenergia-termelést. A növénytermesztés igényeinek és teljesítményének jellemzésére meghatározott paramétereket a 4.1.1.1. táblázat foglalja össze.

	Búza	Árpa	Kukorica	Napraforgó
Sokévi átlagtermés (t/ha)¹	3,69	3,48	4,48	2,08
Effektív hőösszeg-igény (°C)	2000-2200	1300-1800	1000-1200	1000-2000
Éves csapadékigény (mm)	601	423	485	629
Hulladék fűtőértéke (MJ/kg)	15,5	16,0	12,4	13,5
Energiatermelési potenciál (kWh/ha)²	3978	4356	5015	3675

4.1.1.1. táblázat: növénytermesztés jellemző paraméterei

¹2000-2017 közötti éves termésátlagok alapján. ²28%-os villamosenergia-termelési hatásfokkal és az elérhető hulladék teljes mennyiségével számolva.

4.1.2. Állattenyésztés

A növénytermesztéssel ellentétben az állattenyésztésre vonatkozóan sajnos csak kevés releváns adat állt rendelkezésre. Ez elsősorban annak köszönhető, hogy az állattenyésztés a természeti erőforrásokat közvetettebb módon hasznosítja. Így például a vízfelhasználás sem értelmezhető közvetlenül csapadékmennyiségben, hiszen az eredő vízfelhasználás – takarmányellátás, itatás, feldolgozás vízigénye, stb. – különböző forrásokból, gyakran különböző földrajzi helyeken adódik össze. Hasonló módon a melléktermékek energetikai hasznosítása is csak összetettebb rendszerben, pl. biogáz előállításán keresztül lehetséges. Ráadásul az állattenyésztés – különösen nagyüzemi keretek között – a növénytermesztésnél kevésbé függ az éghajlati

tényezőktől, hiszen (szállítási) többletenergia befektetésével kiegyensúlyozható a takarmány, ivóvíz, stb. mennyisége.

A fenti okokból kifolyólag az állattenyésztést kizárólag a szükséges élelmiszer mennyiség biztosításának szempontjából vizsgáltam. Ehhez öt fő állati eredetű élelmiszert választottam ki: baromfi- sertés- és marhahús, tej és tojás. Ezen élelmiszerek erőforrásigényéről jó áttekintést ad [Williams et al. 2006]. Az itt megadott területigény-értékek alapján egyszerű reciprokképzéssel számítható volt az 1 ha terület igénybevételével előállítható élelmiszer mennyisége, amely már összehasonlítható a növénytermesztés termésátlagaival. A pontos értékeket a 4.1.2.1. táblázat tartalmazza.

	Baromfihús	Sertéshús	Marhahús	Tojás	Tej
1 ha terület igénybevételével előállítható élelmiszer	1,56 t/ha	1,35 t/ha	0,43 t/ha	29851 db/ha	8,83 t/ha

4.1.2.1. táblázat: Állati eredetű élelmiszerek termelésének területigénye.

4.1.3. Élelmiszerigény meghatározása

A klímaváltozással kapcsolatban felmerülő kérdések közül az egyik legfontosabb az élelmezésbiztonságra gyakorolt várható hatás. Ennek vizsgálatához legalább közelítőleg meg kellett határoznom a Jászság lakosságának élelmiszerigényét. [Kohlheb et al. 2010] ilyen jellegű számításai a fiziológiai igényekre alapulnak, de – országos léptékű kutatásként – nem elég részletesek. Munkám során ezért népszéki adatokból [TeIR], valamint az egy főre jutó élelmiszer-fogyasztás átlagértékeiből [KSH] számítottam a Jászság ellátásához szükséges élelmiszer-mennyiséget, valamint az ennek megtermeléséhez szükséges területet.

Az állati eredetű élelmiszerek esetében a számítások egyszerűek voltak, a növényi termények esetében azonban figyelembe kellett venni a feldolgozás hatékonyságát, veszteségeit is. Búza és kukorica esetében a hektáronkénti termésmennyiségből 0,95-ös szorzóval számítottam az előállítható liszt mennyiségét. A napraforgómagból előállítható növényi zsiradék mennyiségét [Antal 2005] alapján 50%-os olajtartalommal számoltam. Az átlagos fogyasztás és a szükséges mennyiségek értékeit a 4.1.3.1. táblázat tartalmazza. A szükséges mennyiségek számításához [TeIR] 2015-ös adatai alapján a népességet 81490 főnek tekintettem.

	Liszt		Napraforgó	Baromfihús	Sertéshús	Marhahús	Tojás ¹	Tej
	Búza	Kukorica	(növényi zsiradék)					
Átlagos fogyasztás (kg/fő/év)	82,8		20,6	33,6	26,3	0,9	245	159
Éves szükséglet (t/év)	6747		1677	2740	2141	71	1,99x10 ⁷	1222
Az éves szükséglet előállításának területigénye (ha)	1926	1584	1609	1754	1585	164	669	1467
Összes területigény (búzaliszttal, ha)	9174							
Összes területigény (kukoricaliszttal, ha)	8832							

4.1.3.1. táblázat: A Jászság élelmiszerfogyasztási mutatói főbb élelmiszercsoportokra.

¹A tojás átlagos fogyasztási és éves szükségleti értékei db egységben vannak megadva.

4.1.4. A Jászság önellátó képességének vizsgálata

A klímaváltozás elleni védekezés kapcsán gyakran felmerül a helyben termelt áru, élelmiszer előnyben részesítése és a szállítási útvonalak minimalizálása. Ennek lehetősége azonban erősen függ attól, hogy a vizsgált terület, település milyen mértékben képes az önellátásra, mennyire van rászorulva a távolsági kereskedelemre. Alapvetően mezőgazdasági terület lévén a Jászság esetében ez valószínűleg nem jelent problémát, azonban érdemesnek tartottam ezt a kérdéskört részletesebben is megvizsgálni.

Az önellátás szempontjából egyetlen lényeges változónak a területet tekintetem. Kapacitás oldalról ez a mezőgazdaságilag hasznosítható terület kiterjedését jelenti, hatás oldalról pedig a Jászság lakosságának élelmezéséhez szükséges területet. Utóbbi az élelmiszerigény alapján a 4.1.3.1 táblázatban már kiszámítottam, a rendelkezésre álló területet pedig a Corine felszínborítás alapján határoztam meg.

Az élelmiszer-ellátás elsődleges fontosságú ugyan, de az önellátás szempontjából nem elhanyagolható az energiafüggőség vagy –függetlenség kérdése sem. Ezért [TeIR]-ből lekérdezett adatok alapján meghatároztam a Jászság éves energiafogyasztását, és ezt összevettem a mezőgazdasági termelés, illetve a mezőgazdasági hulladékok energetikai hasznosításának 4.1.1.1. táblázatban ismertetett adataival. Megvizsgáltam, hogy mennyi energia állítható elő mezőgazdasági biomasszából különböző termelési szinteken, és ez hogy

viszonyul az éves villamosenergia-felhasználáshoz. A számítások eredményeit a 4.1.4.1. táblázat foglalja össze.

	Önellátáshoz elegendő élelmiszertermelés	Termelés a jelenlegi arányokkal és területeken ¹	Termelés a jelenlegi arányokkal, a teljes mezőgazdasági területen ²
Éves villamosenergia- fogyasztás (kWh)	$9,37 \cdot 10^7$		
Biomassza hasznosításából nyerhető energia (kWh)	$7,66 - 7,94 \cdot 10^6$	$3,61 \cdot 10^8$	$4,10 \cdot 10^8$
Biomassza hasznosításából nyerhető energia (éves igény %)	14,5 – 18,5%	385%	438%

4.1.4.1. táblázat: Mezőgazdasági hulladékok energetikai hasznosításának mérőszámai különböző termelési szintek esetén.

¹Jelenlegi terület: a Corine felszínborításban szántóként jelölt terület. ²Teljes terület: a Corine felszínborításban különféle mezőgazdasági hasznosításokba sorolt területek összessége.

4.2. HadGEM2-ES klímamodell adatainak feldolgozása

A klímamodell feldolgozásának célja az volt, hogy a 4.1. fejezet szerint megállapított környezeti igényekkel összehasonlítható formában kapjak információt a vizsgálati időszak várható időjárási paramétereiről. Az effektív hőösszeg kiszámításához a havi középhőmérsékletet, míg a várható csapadékmennyiséghez a közepes csapadékáramot tartalmazó adatsorokat használtam fel mindhárom RCP esetében.

Mindkét adatsor feldolgozását QGIS-el végeztem el, majd a kinyert adatokat MS Excel segítségével rendszereztem. Az egyenként 300 csatornát tartalmazó netCDF állományokból a *NetCDF Browser* bővítménnyel tudtam az aktuális számításhoz szükséges rétegeket kiválasztani és betölteni. Így a QGIS beépített *Raster Calculator*ával el tudtam végezni a szükséges számításokat, majd a *Value Tool* bővítménnyel gyűjtöttem ki a Jászság területére vonatkozó értékeket. A Value Tool a betöltött raszteres rétegek adott földrajzi helyhez tartozó értékeit képes grafikonon és táblázatban is megjeleníteni. Bár a táblázat közvetlen exportálását nem támogatja, ez a lépés manuálisan is könnyen elvégezhető, így egy ideiglenes .csv file-on keresztül minden adat átvihető volt Excelbe.

4.2.1. Hőmérsékleti adatok feldolgozása

A hőmérsékleti viszonyokat tekintve, a klímaváltozás elsősorban az emelkedő középhőmérsékletek és a gyakoribbá váló hőhullámok miatt jelent problémát. Munkám során

ezért azzal a feltételezéssel éltem, hogy az alacsonyabb hőmérséklet nem jelentkezhett korlátozó tényezőként a mezőgazdaságban. Így elegendő volt csak azt vizsgálnom, hogy az éves effektív hőösszeg emelkedhet-e olyan mértékben, hogy az károsan befolyásolja a növénytermesztést. Ehhez mindhárom RCP esetében 3 vonatkoztatási évre – 2020; 2040 és 2060 – határoztam meg a várható effektív hőösszeget. Ez definíció szerint (lásd a 4.1.1. fejezetben) nem volt lehetséges, mert nem állt rendelkezésemre napi felbontású adatsor, csupán a havi középhőmérsékletek. Egy közelítő értéket azonban elő tudtam állítani úgy, hogy a havi középhőmérsékletet a hónap minden napjára érvényesnek tekintettem. A (4/I) képlet ennek megfelelően módosított változata a (4/II), melyben Th a havi középhőmérséklet, N pedig az adott hónap napjainak száma:

$$T_{sum}^* = \sum_{i=IV.}^{IX.} (Th_i - 10) \cdot N_i \quad (4/II)$$

Annak érdekében, hogy a kapott értékek közelítő számítás miatti, illetve a modellezésből fakadó bizonytalanságát csökkentsem, egy további számítási lépést alkalmaztam. Így az adott évre vonatkozó hőösszeg-érték három év átlagaként állt elő, melyek közül a vonatkoztatási év volt a középső (pl. a 2020-ra vonatkoztatott érték a 2019., 2020., 2021 évekre közvetlenül számított értékek átlaga). A számítások eredményeit a 4.2.1.1. táblázat foglalja össze.

<u>Minden érték °C</u> <u>egységben</u>	Vonatkoztatási év		
	2020	2040	2060
RCP 2,6	1918	2162	2002
RCP 4,5	1942	2012	2483
RCP 6,0	1811	1991	2346

4.2.1.1. táblázat: A klímamodell eredményeiből számított várható effektív hőösszeg-értékek

4.2.2. Csapadékadatok feldolgozása

A mezőgazdasági termékek, különösen a feldolgozott élelmiszerek előállításához szükséges vízigény meghatározása összetett feladat, gyakran csak a termék teljes életciklus-vizsgálatával, vagy hasonló, nagy részletességű módszerrel valósítható meg. [Hoekstra et al. 2010] a vízigényt három fő csoportra osztja: ún. green water, blue water és grey water. Az angol kifejezések rendre a csapadékgigényt, a természetes vizekből történő vízkivételt (pl. öntözést) és a technológiai szennyvíz mennyiségét jelölik. Bár a hivatkozott publikációban számos termékre vonatkozóan közölnek részletes adatokat a fent leírt felosztásban, sajnos hazai referenciaadatok nem álltak rendelkezésemre, így vizsgálataimat kénytelen voltam a csapadékvíz mennyiségére korlátozni.

A HadGEM2-ES csapadékadatok feldolgozása a hőmérsékleti adatsoroknál jóval időigényesebb feladat volt. Egyrészt, a letöltött állományok a havi közepes csapadékarámot $\text{kg/m}^2/\text{s}$ egységben tartalmazták, melyet át kellett számítani az általánosan használt mm/m^2 egységbe. Ezen túlmenően, a várható csapadékmennyiségeket részletesebben és pontosabban kellett meghatároznom, hiszen az öntözés nélküli mezőgazdaságban ez alapvető fontosságú.

Ennek megfelelően a várható éves csapadékösszeget mindhárom RCP adatsoraiból meghatároztam a teljes vizsgálati időszak (2020-2040) minden évre. Az egyetlen közelítés, amellyel itt éltem – a munkafolyamat gyorsítása érdekében – a szökőévek elhanyagolása volt. A teljes eredmény-sort terjedelme miatt, és mert önmagában kevés jelentéssel bír, nem közlöm, de a 4.2.2.1. táblázat tartalmazza a vizsgálati időszakra vonatkoztatott összegeket és átlagokat. Figyelemre méltó az egyes RCP-forgatókönyvek várható értékei közötti mérsékelt eltérés.

<i>Minden érték mm/m^2 egységben</i>	Átlag 2020-2060	Összeg 2020-2060
RCP 2,6	745	30554
RCP 4,5	720	29504
RCP 6,0	744	30502

4.2.2.1. táblázat: A klímamodell eredményeiből számított éves csapadékösszegek átlaga és a vizsgálati időszak csapadékösszege

4.3. Az időjárási jellemzők és a mezőgazdasági teljesítmény korrelációjának vizsgálata

A klímaváltozás növénytermesztésre gyakorolt hatásának vizsgálatához visszamenőleges idősorok alapján terveztem meghatározni az időjárási elemek és a terméshozamok közötti kapcsolatot, hogy ez alapján a klímamodellek adataiból közvetlenül számítható legyen a várható termésmennyiség. Problémának bizonyult, hogy sem a KSH-nál, sem az Országos Meteorológiai Szolgálatnál nem volt elérhető ideális felbontású és pontosságú adat. Végül azonban találtam két, megfelelőnek ítélt adatsort: a Szolnokon mért éves csapadékmennyiség- és középhőmérséklet-értékeket hosszú idősorban, valamint havi felbontású hőmérséklet- és csapadékadatokat Kecskemétről 2014-2017 között. Emellett a 4.1. fejezetben már említett idősoros termésátlagokat is felhasználtam bemenő adatként.

Első lépésként a Pearson-féle tapasztalati korrelációs együtthatókat kívántam meghatározni az egyes növények termésátlagai és a szolnoki meteorológiai adatok között. Választásom azért esett elsőként a szolnoki adatokra, mert itt hosszú idősorban álltak rendelkezésemre adatok, ami a statisztikai számítások szempontjából kedvezőbb. A korrelációs együttható (4/III) képletében n jelöli a minták elemszámát, σ_x és σ_y a szórásokat, \bar{x} és \bar{y} a minták számtani középértékét, x_i és y_i pedig az egyes mintaelemeket [Fekete 2018].

$$r_{x,y} = \frac{\frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}) \cdot (y_i - \bar{y})}{\sigma_x \cdot \sigma_y} \quad (4/III)$$

A hosszú szolnoki adatsorokkal végzett korrelációs számítás azonban nem vezetett eredményre, nem sikerült megfelelő korrelációt kimutatni. A számítások eredményeit a 4.3.1. táblázat foglalja össze. Látható, hogy a Pearson-féle együtthatóra kapott legmagasabb érték 0,59 volt a kukorica termésátlagai és az éves csapadékmennyiségek között. Ez azonban nem volt elegendő ahhoz, hogy egyértelmű és jól számszerűsíthető kapcsolatot állítsak fel a két mennyiség között. A csekély korreláció oka véleményem szerint az lehetett, hogy az éves szinten aggregált mérőszámok nem jellemzik megfelelő részletességgel az adott év – mezőgazdaság szempontjából jelentős – időjárási viszonyait.

	Éves termésátlagok			
	Búza	Árpa	Kukorica	Napraforgó
Évi középhőmérséklet	-0,01	0,09	-0,11	0,19
Éves csapadékmennyiség	0,30	0,30	0,59	0,28

4.3.1. táblázat: Pearson-féle tapasztalati korrelációs együttható értékei a termésátlagok és a szolnoki éves meteorológiai jellemzők összehasonlításából. A vizsgált időszak: 2000-2017.

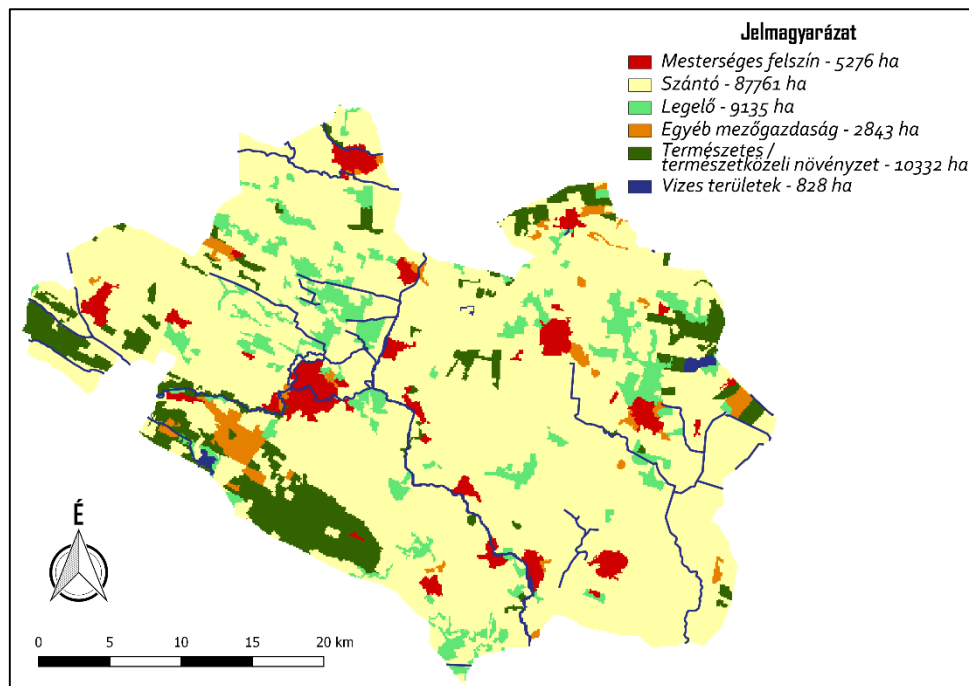
A szolnoki meteorológiai adatsorral végzett számítások sikertelensége miatt szükségessé vált a kis elemszámú (4 db) kecskeméti adatsor feldolgozása is. Bár statisztikai szempontból ilyen kis elemszámmal dolgozni kedvezőtlen, hosszabb adatsorok hiányában kénytelen voltam erre hagyatkozni. Az eredmények értékelésekor viszont figyelembe kellett vegyem az ebből származó bizonytalanságot.

A kecskeméti adatsorok feldolgozása – nagyobb időbeli felbontásuk miatt – a várakozásoknak jobban megfelelő eredményeket hozott. A 4 terményfajtával, havi csapadék- és középhőmérséklettel elvégzett korrelációs számítások mintegy 20%-a hozott értékelhető korrelációra utaló eredményt ($|r| \geq 0,80$). Sajnos azonban ez is kevés volt ahhoz, hogy egyértelmű kapcsolatot lehessen felírni a termésátlagok és az időjárási paraméterek között. A korrelációs vizsgálatok tehát mindkét esetben sikertelennek bizonyultak. Véleményem szerint ennek elsődleges oka a megfelelő adatsorok hiánya volt, de szerepet játszhatott az is, hogy egy számos tényezőtől függő rendszert csak néhány változó kiemelésével próbáltam leírni. Jobb eredményeket lehetne elérni összetettebb modell alkalmazásával, valamint a modellben szereplő tényezők értékeinek hosszú időn keresztül végzett, célzott mérésével. Ilyen mérési programok felépítése azonban már a mezőgazdasági tudományok területére tartozik.

5. Eredmények értékelése

5.1. A Jászság önellátó képessége

A Jászság lakosságának élelmezéséhez szükséges terület nagyságát a 4.1. fejezetben leírt módon határoztam meg. Eredményként, a termelt gabonaféléktől függően 8800-9200 hektárt kaptam. Az 5.1.1. ábrán látható a Corine alapján készült felszínborítási térkép, mely számadatokkal együtt mutatja a Jászság mezőgazdasági szempontból releváns területeit. Komolyabb számítások nélkül is látható, hogy a Jászságban bőségesen rendelkezésre áll az élelmiszer-önellátáshoz szükséges terület. A jelenlegi népességet tekintve, a mezőgazdasági hasznosítású terület (szántó, legelő, egyéb) mindössze 8-9%-a elegendő erre. Természetesen a fennmaradó területen termelt élelmiszerre is szükség van, hiszen az az ország mezőgazdaságilag kevésbé kedvező részein, vagy külkereskedelemben kerülhet hasznosításra, de ennek vizsgálata már nem tartozott kutatásom témakörébe. Ugyanakkor megállapítható, hogy a Jászság jelentős területi tartalékokkal rendelkezik, tehát sem a termésmennyiség vagy a hasznosítható terület csökkenése, sem a népesség növekedése nem befolyásolná számottevően az élelmiszer-önellátás képességét.



5.1.1. ábra: A Jászság főbb területhasznosítási típusai számadatokkal. [Adatforrás: CLC, OSM; saját szerkesztés]

Az önellátásra vonatkozó vizsgálatok másik szempontja az energiagazdálkodás volt. A 4.1.4.1. táblázatban már összefoglaltam az erre irányuló számítások eredményeit. A számadatok alapján a helyzet igen kedvezőnek tűnik, hiszen a legalacsonyabb termelési szinten is a villamosenergia-igény jelentős hányada (14,5-18,5%) előállítható mezőgazdasági

biomasszából, valós termelési mennyiségek mellett pedig annak többszöröse (385-438%) is. Nem szabad azonban figyelmen kívül hagyni, hogy a mezőgazdaságban keletkező biomassza-hulladéknak sokféle, bevett felhasználási módja van, melyeket az energetikai célú hasznosítás kedvezőtlenül érinthet. [Hewson et al. 2011] ismerteti a mezőgazdasági maradékok leggyakoribb hasznosítási módjait. Ezek közé tartozik az állattenyésztésben alomként és takarmányként történő felhasználás, de fagyérzékeny növények termesztésében (pl. eper) és a gombatermesztésben is szükség van szalmára és más mezőgazdasági melléktermékekre. Nem elhanyagolható a földeken hagyott szalma tápanyag-utánpótlásban játszott szerepe sem. Bár a Jászságban keletkező mezőgazdasági melléktermékek tényleges hasznosításnak vizsgálatára munkám keretein belül nem volt lehetőség, mégis megállapítható, hogy a teljes keletkező mennyiség energetikai hasznosítása nem lehetséges.

A fenti szempontokat figyelembe véve megállapítható, hogy amennyiben a Jászság csak az önellátáshoz szükséges élelmiszermennyiséget termeli, a mezőgazdasági hulladékok energetikai hasznosítása csak elhanyagolható mértékben járulhatna hozzá a térség energiagazdálkodásához. Ebben az esetben ugyanis a korlátozott mennyiségű melléktermék felhasználásánál előnyt élveznének a nehezebben, költségesebben helyettesíthető egyéb hasznosítási módok.

Ha azonban valós termelési mennyiségekkel számolunk, akkor már megvalósítható lenne az energetikai hasznosítás. Konkrét szám adatok hiányában természetesen csak becsülhetjük ennek mértékét, de az látható, hogy a teljes villamosenergia-igény a keletkező melléktermékek kb. harmadából-negyedéből fedezhető lenne. A biomasszát hasznosító erőmű helyének megfelelő megválasztásával pedig akár a – jelen dolgozatban nem részletezett – kapcsolt hő- és villamosenergia-termelés előnyei is kihasználhatóak lennének. A fenntarthatósági célok eléréséhez tehát, legalábbis a Jászság vonatkozásában, mindenképpen részletesebb vizsgálatra érdemes a mezőgazdasági melléktermékek energetikai hasznosításának lehetősége.

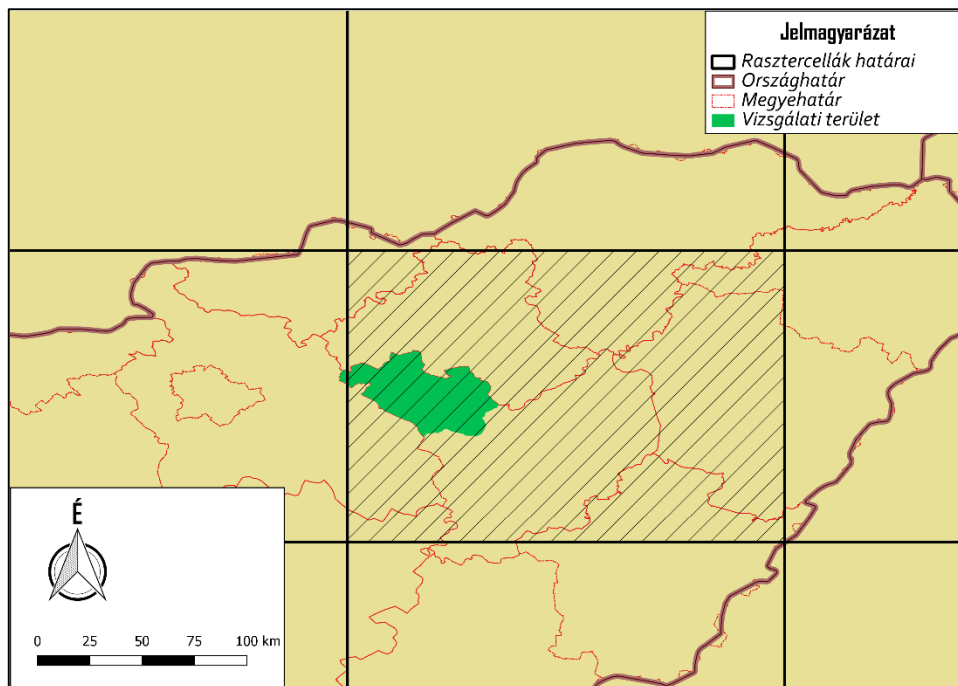
5.2. Az időjárási tényezők értékelésének problémái

Az időjárási jellemzőkre gyakorolt hatást a dolgozat korábbi részeihez hasonlóan, hőmérsékleti- és csapadékviszonyokra bontva két részben fogom tárgyalni. Az eredmények kiértékelése során azonban fény derült a vizsgálati módszer egy olyan jellegzetességére, amely mindkét tényező vizsgálatát azonosan érintette. A számítások eredményeinek feldolgozásakor ugyanis a visszamenőleges mérési adatsorokhoz képest jelentős pozitív irányú eltérést tapasztaltam mind a hőmérséklet, mind a csapadék tekintetében. Hőmérséklet esetében ez nem feltétlenül meglepő, hiszen az enyhébb telek, súlyosabb nyári hőhullámok már az elmúlt

évtizedben is tapasztalhatóak voltak. Az éves csapadékmennyiség jelentős növekedését azonban már gyanúsnak találtam, ezért részletesebb vizsgálatnak vettem alá a jelenséget.

Végül két pontot tudtam azonosítani a vizsgálati módszerekben, melyek felülbecsléshez vezethettek. Az első, hogy a felhasznált adatok havi közepes értékek voltak, melyeket az éves számításokhoz az adott hónap minden napjára érvényesnek tekintettem. Az időjárás változékony természete miatt ez könnyen okozhat szisztematikus felülbecslést, különösen az átmeneti, tavaszi és őszi hónapokban.

A másik befolyásoló tényező a klímamodellek adatainak geometriai felbontása volt. A 3.2. fejezetben már említettem, hogy a raszteres állományok cellamérete kb. $2^{\circ} \times 1^{\circ}$. Így a Jászságot gyakorlatilag egyetlen cella lefedi, ami jelentősen leegyszerűsítette a számítási folyamatot. Ez a cella azonban nem csak a Jászságot, de az Alföld és az Északi-középhegység egy részét is magába foglalta, amint az az 5.2.1. ábrán is látható. Ennek következtében a rasztercellában kapott értékek az eltérő időjárási adottságokkal rendelkező területek egyfajta átlagát képezik, ami természetesen azzal jár, hogy egy szűkebb terület vizsgálatakor a várakozásoktól való komoly eltéréseket is tapasztalhatunk.



5.2.1. ábra: A klímamodellek eredményeit tartalmazó raszter celláinak elhelyezkedése a Jászság környezetében. A sraffozott téglalap jelöli a számításokban felhasznált rasztercellát. [Adatforrás: CMIP5-Met Office, OSM; saját szerkesztés]

5.3. A klímaváltozás hatása a Jászság csapadékviszonyaira

A hőmérsékleti adatokhoz hasonlóan itt is rendelkezésemre állt a szolnoki adatsor az éves csapadékmennyiségekkel. Csapadék esetében azonban az időbeli eloszlás legalább olyan fontos, mint az éves össz mennyiség. A HadGEM2-ES modell adatsoraiból ez az információ kinyerhető volt, de nem voltak elérhetőek összehasonlítási alapul szolgáló visszamenőleges mérési adatok. A csapadékeloszlás vizsgálatától így kénytelen voltam eltekinteni, és kizárólag az össz mennyiség alapján értékelni a várható hatásokat.

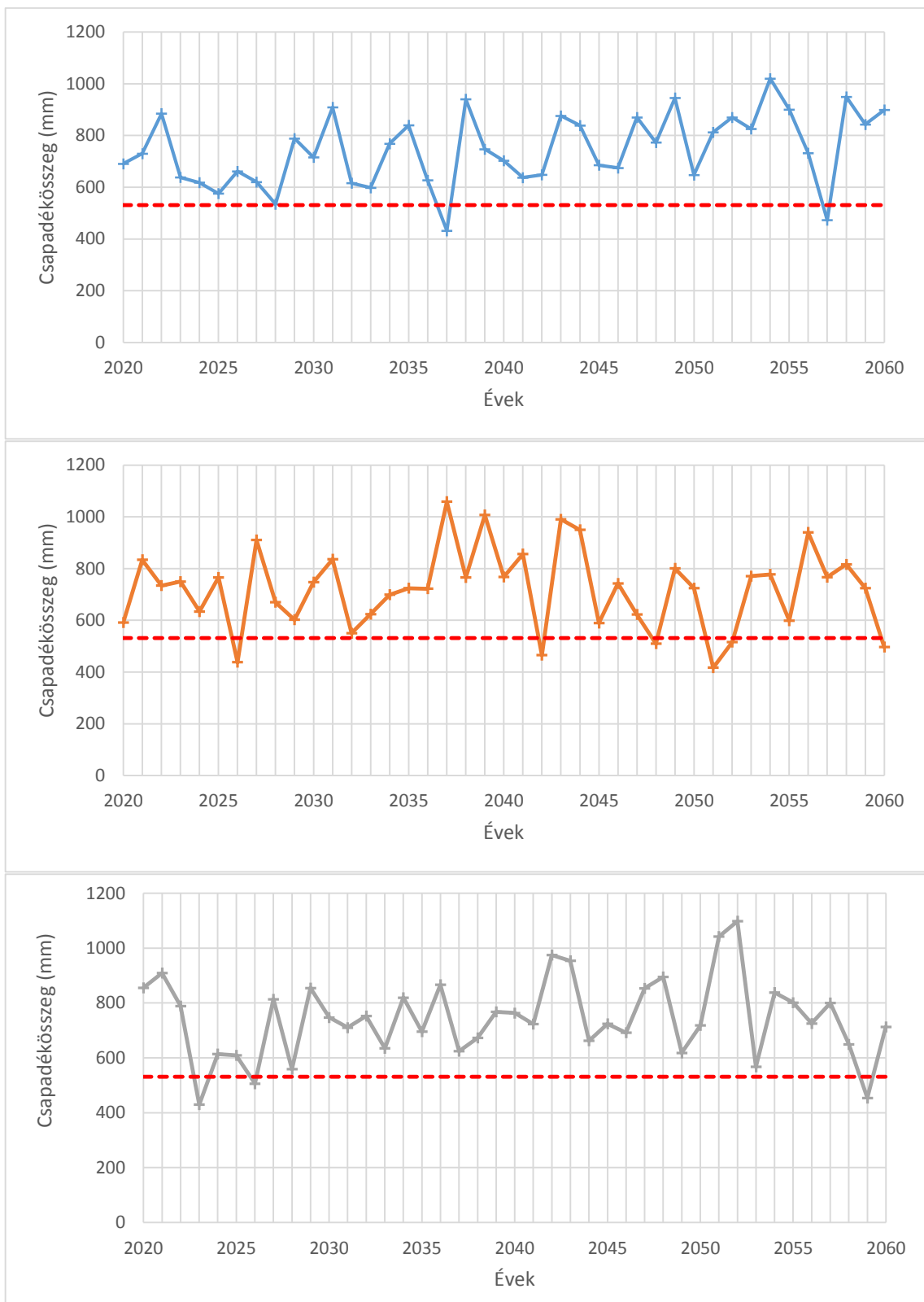
A klímamodellből számított éves csapadékösszegek alakulását és a sokéves átlagot az 5.3.1. ábra mutatja. Kiegészítő információként az 5.3.1. táblázat tartalmazza az egyes adatsorok átlagértékeit és szórását. Feltűnő, hogy mindhárom klímaforgatókönyv a sokéves átlagnál jelentősen magasabb átlagokat eredményez, és a grafikonokon is csak kevés annál alacsonyabb értékű pont jelenik meg. Hibás lenne azonban ez alapján azt a következtetést levonni, hogy a klímaváltozás hatására jelentősen növekedne a Jászságban lehulló csapadékmennyiség. Bár bizonyos mértékű növekedés természetesen nem zárható ki, a magas csapadékösszegek elsődleges oka a számítási módszerekben keresendő, amint az az 5.2. fejezetben már ismertettem.

	RCP 2,6	RCP 4,5	RCP 6,0	Referencia adatsor 2000-2017 ¹	Irodalmi adat ²
Átlag	745	720	744	531	550-570
Szórás	139	156	146	142	---

5.3.1. táblázat: Az éves csapadékösszeg-adatsorok statisztikai mutatói.

¹Forrás: [KSH] ²Forrás: [Harsányi et al. 2011]

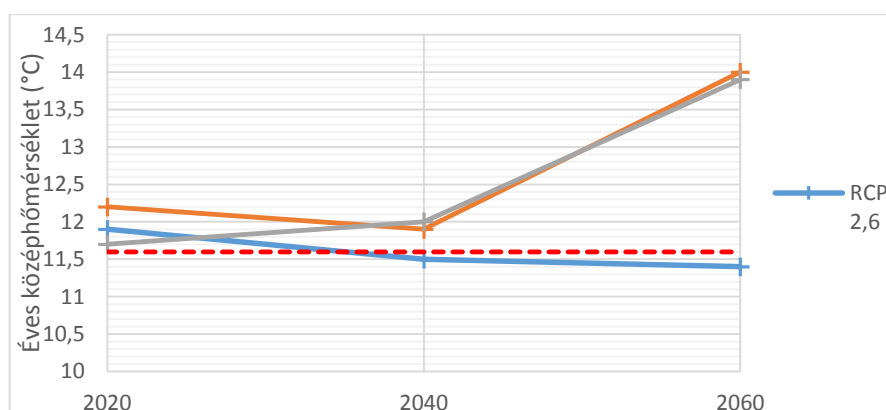
A kellő részletességű meteorológiai adatsorok hiánya által okozott problémák már a kutatás korábbi szakaszaiban is megjelentek. A várható csapadékösszegek vizsgálatakor az okozott gondot, hogy adatok hiányában még közelítő jelleggel sem tudtam korrekciót meghatározni az elsődleges számításokban jelentkező felülbecsléshez. Így csupán feltételezhető, a modellezett és a referenciaértékek közti jelentős pozitív irányú eltérés alapján hogy a Jászságban a rendelkezésre álló éves csapadékmennyiség nem fog számottevő mértékben csökkenni. Ugyanakkor a csapadék eloszlásának változása – melyről szintén nem tudtam elegendő információt gyűjteni – komolyan befolyásolhatja a környezeti feltételeket.



5.3.1. ábra: Éves csapadékösszegek alakulása 2020-2060 között. A felső diagram az RCP 2,6; a középső az RCP 4,5; az alsó az RCP 6,0 klímaforgatókönyv szerinti értékeket mutatja. Szaggatott vonal jelzi a szolnoki mérésekből származó sokéves átlagot.

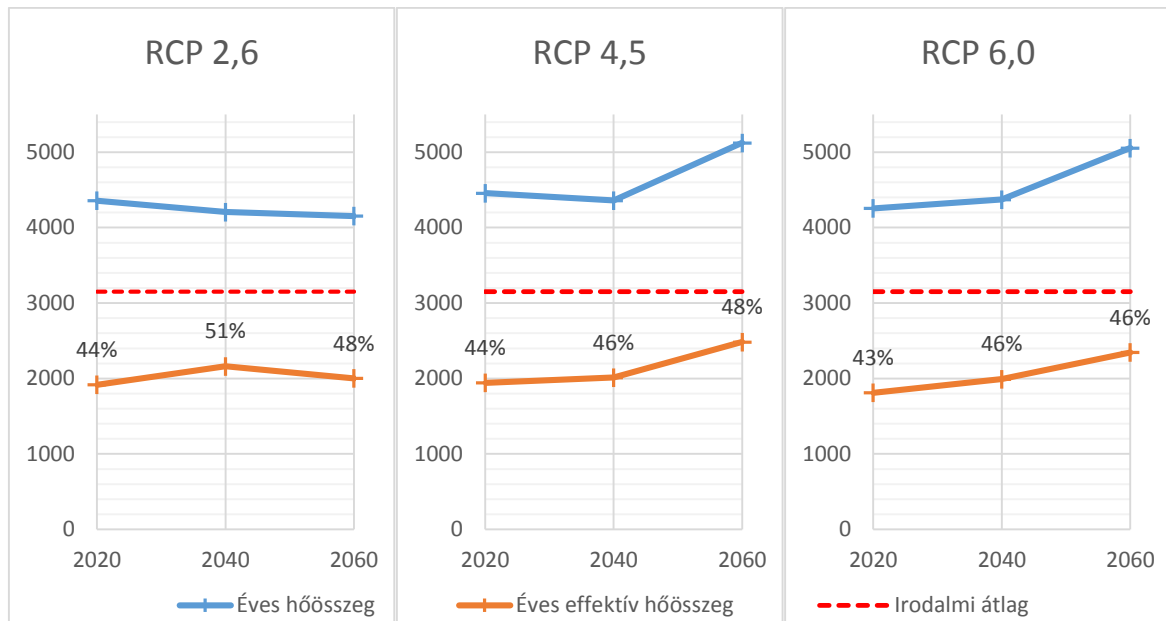
5.4. A klímaváltozás hatása a Jászság hőmérsékleti viszonyaira.

A klímaváltozás miatt a hőmérsékleti viszonyokban bekövetkező változásokat az évi középhőmérséklet alakulásával vizsgáltam. Ehhez nem csak a klímamodellek előrejelzései, hanem viszonyítási alapként a 4.3. fejezetben a korrelációvizsgálatnál már említett 17 éves szolnoki meteorológiai adatsor is rendelkezésemre állt. Az 5.3.1. ábra mutatja az évi középhőmérséklet várható alakulását a sokéves átlaghoz képest az egyes RCP-k szerint.



5.3.1. ábra: A várható éves középhőmérséklet alakulása az egyes RCP-forgatókönyvek szerint. A szaggatott vonallal jelölt sokéves átlag a 2000-2017 közötti szolnoki adatsorból származik

Noha a számításokat nyilvánvalóan befolyásolták az 5.2. fejezetben ismertetett tényezők, azonban hatásuk nem tűnik olyan markánsnak, mint a csapadékmennyiségek esetében. Számszerű korrekció meghatározására sajnos itt sem volt lehetőségem, de az eltérések kevésbé szélsőséges volta megkönnyíti a következtetések levonását. Az RCP 2,6 alacsony kibocsátású forgatókönyv esetében – a számítási bizonytalanságok figyelembevételével – nem várható jelentős változás a hőmérsékleti viszonyokban. Az RCP 4,5 és 6,0 közepes és magas kibocsátású stabilizációs forgatókönyvek viszont már számottevő növekedéssel kell számolni. Ezt megerősíti az éves hőösszegek vizsgálata is, melyek az 5.3.2. ábrán láthatóak. Itt már észrevehetőbb a számítás felülbecslő jellege, valószínűsíthető tehát, hogy a sokéves átlagtól való ilyen mértékű eltérés nem fog bekövetkezni. Érdekes ugyanakkor a teljes és effektív hőösszegek összehasonlítása, ez ugyanis az éves hőmennyiség eloszlásáról szolgál információval. Bár itt nem áll rendelkezésemre irodalmi adat, de a három forgatókönyv hasonlóságából arra lehet következtetni, hogy az eloszlás várhatóan nem fog számottevően megváltozni, csupán az összérték lesz magasabb.



5.3.2. ábra: Az éves teljes és effektív hőösszegek várható alakulása az egyes RCP-forgatókönyvek szerint. A százaléértékek az effektív hőösszeget a teljes hőösszeg arányában adják meg. Az irodalmi átlag a teljes hőösszegekre vonatkozik [Harsányi et al. 2011] alapján.

5.5. Az időjárási tényezők változásának hatása a mezőgazdaságra

A korrelációvizsgálat sikertelensége miatt ennek a kérdésnek a vizsgálatához a vártnál kevesebb információ állt rendelkezésre, ugyanakkor az elvégzett vizsgálatok alapján is lehetséges a következtetések levonása. Az effektív hőösszegek összehasonlításával (4.1.1.1. és 4.2.1.1. táblázatok) megállapítható, hogy a feltételezéseknek megfelelően a megfelelő hőmennyiség hiánya várhatóan nem jelent majd problémát a mezőgazdaságban. Ez természetesen nem zárja ki egy-egy hűvösebb év előfordulását, de ez az időjárás természetes változékonyságából következik és nem a klímaváltozásnak tulajdonítható.

A csapadékmennyiség vizsgálatához a számított éves csapadékmennyiségeket (5.3.1. ábra) vettem össze a csapadékigényekkel (4.1.1.1 táblázat). Az 5.5.1. táblázat tartalmazza azoknak az éveknek a számát, amikor a számított éves csapadékösszeg nem érte el az egyes termények szükségletét. Feltűnő, hogy az RCP 2,6 és 6,0 forgatókönyvek esetén megegyeznek az értékek. Bár a számítási hiba lehetősége sosem zárható ki teljesen, de többszöri ellenőrzéssel meggyőződtem róla, hogy a két adatsor nem egyezik, ahogy az az 5.3.1. ábrán is látható.

	Búza	Árpa	Kukorica	Napraforgó
Referencia (2000-2017)	6,1	2,2	3,3	7,8
RCP 2,6	1,2	0,0	0,5	2,2
RCP 4,5	2,4	0,2	0,7	3,2
RCP 6,0	1,2	0,0	0,5	2,2

5.5.1. táblázat: Azon évek száma 10 éves intervallumra normalva a 2020-2060 közötti időszakban, amelyekben az éves csapadékösszeg nem érte el az egyes termények szükségletét. A referenciaértékeket a szolnoki adatsorból számítottam.

A szisztematikus felülbecslés miatt ezek az értékek közvetlenül nem jellemzik a várható hatásokat, ez a referenciaértékekkel történő összehasonlításból látszik. Utalnak azonban a csapadékmennyiségek változékonyra, a szélsőségesen alacsony vagy magas csapadékmennyiségek előfordulásának gyakoriságára, hiszen jogosan feltételezhető, hogy az azonos módon számított értékekben a felülbecslés mértéke is hasonló. Az értékeket megvizsgálva azonban kitűnik, hogy az RCP 4,5 forgatókönyvnél a másik kettőhöz képest gyakrabban várhatóak a mezőgazdaság számára problémát jelentő szárazabb évek.

6. Összefoglalás

A TDK dolgozatom elkészítéséhez végzett kutatás célja kettős volt: egyrészt megvizsgáltam és értékeltem a klímaváltozás várható hatásait a Jászságban. Emellett azonban fontos szempont volt annak a felderítése is, hogy milyen eszközök állnak rendelkezésre és ezek milyen módon használhatóak fel a klímaváltozásra vonatkozó kis léptékű, regionális kutatásokhoz.

Munkám alapját az EU Copernicus rendszerében nyílt hozzáféréssel közzétett adatállományok jelentették, melyeket a vonatkozó szakirodalom feldolgozásával és statisztikai adatsorokkal egészítettem ki. A Copernicus rendszerből felszínborítási térképeket, domborzatmodell, valamint a CMIP5 projekt keretében készített, különböző klímaforgatókönyvekre vonatkozó modellezési eredményeket használtam fel. A Központi Statisztikai Hivatal adattárából, valamint a TeIR rendszerből az időjárásra, a mezőgazdasági termelésre és a Jászság társadalmi-gazdasági állapotára vonatkozó adatokat kértem le, melyek referenciaként szolgáltak a klímodellek adatainak feldolgozásából származó eredmények értékeléséhez. Az eredmények megjelenítéséhez igénybe vettem az OpenStreetMap adatbázisából letölthető vektoros állományokat is.

Az összegyűjtött statisztikai és felszínborítási adatok alapján megvizsgáltam a Jászság önálló képességét élelmiszer- és villamosenergia-termelés szempontjából. Mindkét esetben a várakozásokat meghaladó eredményeket kaptam. A Jászság élelmiszerellátása ugyanis a rendelkezésre álló terület mintegy 8-9%-án biztosítható, így jelentős területi tartalékok állnak rendelkezésre. Ez növeli a térség ellenálló képességét a mezőgazdaság termelékenységét csökkentő hosszú távú hatásokkal vagy a népességnövekedés okozta fogyasztásemelkedéssel szemben. Kedvező a helyzet a villamos energia esetén is. A jászsági mezőgazdaság melléktermékeinek (pl. szalma, növényi hulladék) energetikai hasznosításával az éves energiaigény többszörösét lehetne fedezni. Bár itt figyelembe kell venni ezen melléktermékek egyéb irányú felhasználását is, a rendelkezésre álló mennyiség, megfelelő technológiával kiegészítve, lehetővé teszi a helyben termelt energia részarányának növelését.

Következő lépésként a nagy-britanniai Met Office által készített HadGEM2-ES modellkísérletek Copernicus rendszerből letöltött adatait dolgoztam fel. A modelleredmények geometriai felbontása korlátozta a kinyerhető információ mennyiségét, de ennek ellenére sikerült a három RCP-klímaforgatókönyvhöz tartozó hőmérsékleti- és csapadékadatokat elemezhető formában kigyűjtsem. Sajnos az alkalmazott számítási módszer és a modell jellegzetességei miatt ez eredményekre szisztematikus felülbecslés a jellemző, de kellő körültekintéssel így is értékelhetőek voltak a klímaváltozás várható hatásai. Ez elsősorban a

középhőmérsékletek, illetve az éves hőösszegek emelkedésében nyilvánul meg, ugyanakkor a csapadékmennyiség számottevő csökkenése nem valószínű. Megfelelő adatok hiányában viszont az éves csapadékmennyiség eloszlását nem tudtam megvizsgálni, ami állandó csapadékösszeg mellett is komolyan befolyásolhatja a környezeti körülményeket.

Végül a klímaváltozás miatt módosuló időjárási elemeknek a mezőgazdaságra gyakorolt hatását vizsgáltam meg. Az adathiány itt is akadályt jelentett, sikertelenek bizonyult ugyanis az időjárási elemek és a terméshozamok közötti korreláció meghatározása. Kevésbé részletes módszerekkel azonban e nélkül is lehetséges volt következtetések levonása. A várakozásoknak megfelelően a növények fejlődéséhez szükséges effektív hőösszeg rendelkezésre állása nem bizonyult korlátozó tényezőnek, ellentétben az éves csapadékmennyiséggel. Bár hosszú távon az átlagos csapadékösszeg csökkenését nem tartom valószínűnek, a szélsőséges csapadékeloszlások gyakoriságának növekedése káros hatással lehet a növénytermesztésre.

Összegezve a kutatás során szerzett tapasztalatokat megállapítható, hogy a klímaváltozás hatásainak regionális léptékű vizsgálata, bár nem lehetetlen, de problémákba ütközik. A globális klímamodellek geometriai felbontása túl alacsony ilyen elemzésekhez, ami jelentősen befolyásolja az eredményeket. Bár irodalmi források bőségesen rendelkezésre állnak, a megfelelő tér- és időbeli statisztikai adatsorok hiánya korlátozza a modellszámítások összehasonlítását a múlt- és jelenbeli állapotokkal. Figyelembe kell venni ugyanakkor azt is, hogy jelen kutatáshoz csak korlátozott idő és technikai erőforrás állt rendelkezésre. Egy nagyobb kutatócsoport, komolyabb számítógépes infrastruktúrával és tágabb időkerettel lényegesen pontosabb – és gyakorlatban is jobban hasznosítható – eredményeket érhet el. Ennek oka egyrészt az, hogy ilyen körülmények között több környezeti változót (pl. időjárási elemeket, talajparamétereket, társadalmi-gazdasági jellemzőket) tudnak figyelembe venni, valamint ezeket nagyobb tér- és időbeli felbontással vizsgálhatják. Példaként ismét csak a klímamodelleket említeném. A CMIP5 keretében készült modellek eredményei között számos változó rendelkezésre állt napi részletességgel, akár több magassági szintre is. Megfelelő technikai háttérrel ezek feldolgozása jelentősen növelheti a vizsgálatok pontosságát.

Bár kutatásom során a kitűzött célokat csak részben sikerült elérni, a munka során szerzett tapasztalatok egyértelműen hasznosíthatóak lesznek esetleges jövőbeni projekteknél. A hibaforrások azonosítása pedig segített kijelölni azokat az ígéretes kutatási irányokat, ahol további adatok és eszközök bevonásával pontosabb, részletesebb eredmények várhatóak.

Köszönetnyilvánítás

Ezúton is szeretném megköszönni témavezetőmnek, Dr. Szabó Györgynek konzulensi munkáját és a TDK dolgozat elkészítéséhez nyújtott segítségét.

Szeretném megköszönni az Európai Környezeti Ügynökségnek és társszervezeteinek a Copernicus program keretében készült adatok előállítását és az azokhoz való szabad hozzáférés biztosítását.

Szeretném megköszönni továbbá a CMIP projektért felelős Világ-Éghajlatkutató Program Csatolt Modellelés Munkacsoportjának, valamint a Met Office Hadley Központjának a HadGEM2-ES modelleredmények előállítását és az azokhoz való szabad hozzáférés biztosítását. A CMIP projekt koordinációját és a szoftveres infrastruktúra kifejlesztését az Egyesült Államok Energetikai Ügynöksége a GO-ESSP-vel együttműködve biztosította az Éghajlatmodell-Diagnózis és Összehasonlító Program keretében.

Ábrák jegyzéke

2.1.1. ábra - A Jászság területhasználati térképe [Adatforrás: Copernicus, OSM; saját szerkesztés]	5
2.1.2. ábra - A Jászság domborzata és vízfolyásai [Adatforrás: Copernicus, OSM; saját szerkesztés]	6
3.2.1. ábra - Felszínközeli hőmérsékletet (havi középhőmérséklet) tartalmazó raszter a HadGEM2-ES modellből. Az ábrán látható részlet az RCP 4,5 forgatókönyv szerint a 2020. augusztusi állapotot mutatja. [Adatforrás: CMIP5- Met Office, OSM; saját szerkesztés]	9
3.2.2. ábra - Havi közepes csapadékáramot tartalmazó raszter a HadGEM2-ES modellből. Az ábrán látható részlet az RCP 4,5 forgatókönyv szerint a 2020. augusztusi állapotot mutatja. A jobb értelmezhetőség érdekében a színskála mellett nem az eredeti értékeket, hanem az azokból számítható havi csapadékmennyiséget tüntettem fel. [Adatforrás: CMIP5-Met Office, OSM; saját szerkesztés]	10
5.1.1. ábra - A Jászság főbb területhasznosítási típusai szám adatokkal. [Adatforrás: CLC, OSM; saját szerkesztés]	19
5.2.1. ábra - A klímamodellek eredményeit tartalmazó raszter celláinak elhelyezkedése a Jászság környezetében. A sraffozott téglalap jelöli a számításokban felhasznált rasztercellát. [Adatforrás: CMIP5-Met Office, OSM; saját szerkesztés]	21
5.3.1. ábra - Éves csapadékösszegek alakulása 2020-2060 között. A felső diagram az RCP 2,6; a középső az RCP 4,5; az alsó az RCP 6,0 klímaforgatókönyv szerinti értékeket mutatja. Szaggatott vonal jelzi a szolnoki mérésekből származó sokéves átlagot.	23
5.3.1. ábra - A várható éves középhőmérséklet alakulása az egyes RCP-forgatókönyvek szerint. A szaggatott vonallal jelölt sokéves átlag a 2000-2017 közötti szolnoki adatsorból származik.....	24
5.3.2. ábra - Az éves teljes és effektív hőösszegek várható alakulása az egyes RCP-forgatókönyvek szerint. A százalékértékek az effektív hőösszeget a teljes hőösszeg arányában adják meg. Az irodalmi átlag a teljes hőösszegre vonatkozik [Harsányi et al. 2011] alapján.....	25

Táblázatok jegyzéke

2.2.1. táblázat - Az RCP emissziós forgatókönyvek jellemző értékei [IPCC 2008]	7
4.1.1.1. táblázat - Növénytermesztés jellemző paraméterei	12
4.1.2.1. táblázat - Állati eredetű élelmiszerek termelésének területigénye	13
4.1.3.1. táblázat - A Jászság élelmiszerfogyasztási mutatói főbb élelmiszercsoportokra. A tojás átlagos fogyasztási és éves szükségleti értékei db egységben vannak megadva.	14
4.1.4.1. táblázat - Mezőgazdasági hulladékok energetikai hasznosításának mérőszámai különböző termelési szintek esetén	15
4.2.1.1. táblázat - A klímamodell eredményeiből számított várható effektív hőösszeg-értékek.....	16
4.2.2.1. táblázat - A klímamodell eredményeiből számított éves csapadékösszegek átlaga és a vizsgálati időszak csapadékösszege	17
4.3.1. táblázat - Pearson-féle tapasztalati korrelációs együttható értékei a termésátlagok és a szolnoki éves meteorológiai jellemzők összehasonlításából. A vizsgált időszak: 2000-2017.....	18
5.3.1. táblázat - Az éves csapadékösszeg-adatsorok statisztikai mutatói	22
5.5.1. táblázat - Azon évek száma 10 éves intervallumra normálva a 2020-2060 közötti időszakban, amelyekben az éves csapadékösszeg nem érte el az egyes termények szükségletét. A referenciaértékeket a szolnoki adatsorból számítottam.....	26

Forrásjegyzék

- [Antal 2005] Antal József (szerk.): Növénytermesztés tan 1, Mezőgazda Kiadó, Budapest, 2005.
https://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop425/2011_0001_521_Novenytermesztestan1/index.html [2018.10.22.]
- [Bácskai-Tóth 2017] Bácskai István, Dr. Tóth László: Szalmafélek betakarítása és energetikai felhasználása, 2017.
<https://agrarium7.hu/cikkek/1014-szalmafelek-betakaritasa-es-energetikai-felhasznalasa> [2018.10.22.]
- [Bulla et al. 2011] Dr. Bulla Miklós, Dr. Nagy Géza, Dr. Tóth Péter: Energetika, Győr, 2011.
https://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop425/0021_Energetika/index.html [2018.10.22.]
- [CMIP5-Met Office] Met Office – Hadley Központ HadGEM2-ES modelleredményei
- [Copernicus] Európai Környezeti Ügynökség Copernicus programjában elérhető adatok
- [EEA 2007] CLC 2006 Technical Guidelines, European Environment Agency, 2007.
http://land.copernicus.eu/user-corner/technical-library/CLC2006_technical_guidelines.pdf [2018.10.22.]
- [EEA 2014] CLC 2012 Addendum to CLC2006 Technical Guidelines, European Environment Agency, 2014.
http://land.copernicus.eu/user-corner/technical-library/Addendum_finaldraft_v2_August_2014.pdf [2018.10.22.]
- [Fekete 2018] Fekete Károly: Kiegyenlítő számítások - Mérési eredmények matematikai feldolgozása, egyetemi jegyzet, BME, Budapest, 2018.
- [Hadley 2011] G. M. Martin, N. Bellouin, W. J. Collins, I. D. Culverwell, P. R. Halloran, S. C. Hardiman, T. J. Hinton, C. D. Jones, R. E. McDonald, A. J. McLaren, F. M. O'Connor, M. J. Roberts, J. M. Rodriguez, S. Woodward, M. J. Best, M. E. Brooks, A. R. Brown, N. Butchart, C. Dearden, S. H. Derbyshire, I. Dharssi, M. Doutriaux-Boucher, J. M. Edwards, P. D. Falloon, N. Gedney, L. J. Gray, H. T. Hewitt, M. Hobson, M. R. Huddleston, J. Hughes, S. Ineson, W. J. Ingram, P. M. James, T. C. Johns, C. E. Johnson, A. Jones, C. P. Jones, M. M. Joshi, A. B. Keen, S. Liddicoat, A. P. Lock, A. V. Maidens, J. C. Manners, S. F. Milton, J. G. L. Rae, J. K. Ridley, A. Sellar, C. A. Senior, I. J. Totterdell, A. Verhoef, P. L. Vidale, and A. Wiltshire: The HadGEM2 family of Met Office United Model climate configurations, Geoscientific Model Development, 2011.
<https://www.geosci-model-dev.net/4/723/2011/gmd-4-723-2011.pdf> [2018.10.22.]

- [Harsányi et al. 2011] Harsányi Endre, Juhász Csaba, Nagy Attila: Földhasználat és tájgazdálkodás, Debreceni Egyetem, Debrecen, 2011.
https://www.tankonyvtar.hu/en/tartalom/tamop412A/2011-0085_foldhasznalat_es_tajgazdalkodas/index.html [2018.10.22.]
- [Hewson et al. 2011] Albion, Katherine J.; Oo, Aung; Hewson, Don: Assessment of Agricultural Residuals as a Biomass Fuel For Ontario Power Generation, The University of Western Ontario Research Park, Canada, 2011.
<http://www.canadiancleanpowercoalition.com/pdf/Agricultural%20Residuals%20Report.pdf> [2018.10.22.]
- [Hoekstra et al. 2010] Mekonnen, M.M. and Hoekstra, A.Y.: The green, blue and grey water footprint of crops and derived crop products, Value of Water Research Report Series No. 47, UNESCO-IHE, Delft, the Netherlands, 2010.
- [IPCC 2008] Richard Moss, Mustafa Babiker, Sander Brinkman, Eduardo Calvo, Tim Carter, Jae Edmonds, Ismail Elgizouli, Seita Emori, Lin Erda, Kathy Hibbard, Roger Jones, Mikiko Kainuma, Jessica Kelleher, Jean Francois Lamarque, Martin Manning, Ben Matthews, Jerry Meehl, Leo Meyer, John Mitchell, Nebojsa Nakicenovic, Brian O'Neill, Ramon Pichs, Keywan Riahi, Steven Rose, Paul Runci, Ron Stouffer, Detlef van Vuuren, John Weyant, Tom Wilbanks, Jean Pascalvan Ypersele, and Monika Zurek: Towards New Scenarios for Analysis of Emissions, Climate Change, Impacts, and Response Strategies, Intergovernmental Panel on Climate Change, Geneva, 2008.
<https://pcmdi.llnl.gov/mips/cmip5/docs/IPCC.meetingreport.final.pdf?id=25> [2018.10.22.]
- [Kohlheb et al. 2010] Kohlheb Norbert, Podmaniczky László, Skutai Julianna: A környezetbarát mezőgazdaság, SZIE - MKK - Környezet- és Tájgazdálkodási Intézet, Budapest, 2010.
- [KSH 2006] Mezőgazdaság számokban - Országos, Jász-Nagykun-Szolnok megyei és EU-s adatsorokkal, Központi Statisztikai Hivatal, 2006.
https://www.ksh.hu/docs/hun/agrar/agrarium2016/agrarium_2016_16ja.pdf [2018.10.23.]
- [KSH] A Központi Statisztikai Hivatal Interneten elérhető nyilvános adatsorai
<http://www.ksh.hu/> [2018.10.22.]
- [Kupi 2002] Kupi Károly: A Bodrogek tájértékelése a növénytermesztés szempontjából - doktori értekezés, Szent István Egyetem, Gödöllő, 2002.

- [MME 2013] A Jászság különleges madárvédelmi terület (HUHN10005) Natura 2000 fenntartási terve, Magyar Madártani és Természetvédelmi Egyesület, Budapest, 2013.
http://www.imperialeagle.hu/sites/imperialeagle.hu/files/PDFs/Jasz_sag_KMT_Natura_FT_2.valtozat.pdf [2018.10.22.]
- [OSM] Open Street Map állományából letöltött téradatok
<https://www.openstreetmap.org/> [2018.10.22.]
- [QGIS] QGIS szoftver hivatalos weboldala.
<http://qgis.org> [2018.10.22.]
- [TeIR] Országos Területfejlesztési és Területrendezési Információs Rendszer (TeIR).
<https://www.teir.hu/index.html> [2018.10.22.]
- [Williams et al. 2006] Williams, A.G., Audsley, E. and Sandars, D.L.: Determining the environmental burdens and resource use in the production of agricultural and horticultural commodities. Main Report. Defra Research Project IS0205. Bedford: Cranfield University and Defra, 2006. Hozzáférhető:
www.silsoe.cranfield.ac.uk, valamint www.defra.gov.uk
[2018.10.22.]