

Éghajlati sérülékenység és alkalmazkodási kihívások a Szekszárdi Borvidéken

időjárás-érzékenységi <https://www.mdpi.com/2225-1154/9/2/25>

Összefoglaló: Az éghajlat változása olyan kihívások elé állítja a bortermelőket, ami az ágazat jelenére és jövőjére is kihat. A sérülékenységi tanulmányok a jelenlegi klímakutatások fő frontját alkotják, ezért jelen cikk két fő célt tűzött maga elé. Egyrészt vizsgálni fogom a Szekszárdi Borvidék éghajlati sérülékenységének két fő alkotó elemét, másrészt a fenntartható környezetgazdálkodás szempontjából összegyűjtöm és értékelem a lehetséges alkalmazkodási technikák alkalmazását. Az eddig lefolytatott vizsgálatok egyértelművé teszik, hogy a jövőben komoly aszályos időszakok várhatóak. A legelterjedtebb borszőlőfajták jellemzői jól mutatják a viszonylag erős kitettséget a klímaváltozás során. Mivel mind a külső, mind a belső sérülékenységet mutató tényezők folyamatos romlást jeleznek, az alkalmazkodási stratégiák fejlesztése kulcsfontosságú. Az alkalmazkodást segítő beavatkozások gyakran környezetet károsító megoldásokat hoznak, ill. alkalmazkodási zavarokat okoznak, ezért összegyűjtöttem és bemutatom azokat a környezettudatos, fenntartható gazdálkodásra építő praktikákat, melyekkel elkerülhetőek a hosszútávú negatív hatások. Az alkalmazott vizsgálati módszertannal meggyőzően bemutatom, hogy a természet alapú illeszkedési stratégiák előnyösebbek összevetve további gépek, ill. erőforrás intenzív tevékenységek alkalmazásánál. Ez a tanulmány egy tudományos hiányt tölt be, amikor a szőlészet terén eddig elérhető és széles körben alkalmazott alkalmazkodási beavatkozások beágyazódás-központú ex-ante vizsgálatát elvégzi.

Kulcsszavak: alkalmazkodás, beágyazódás, szőlészet, sérülékenység

1. Bevezetés

Bátran kijelenthetjük, hogy az éghajlat változása a közeli jövőben már alapjaiban megváltoztatja a mezőgazdaságot [1,2]. Ugyancsak állíthatjuk, hogy a szőlőtermelés a változó klimatikus körülmények között az egész mezőgazdaság egyik legérzékenyebb ágazata [3-5]. A gyümölcseréstől a magas minőségi borok értékesítésén át az elvárt mennyiség és minőség megtermeléséig az éghajlat változás megváltoztatja az ellátási lánc minden elemét [6-8]. Az időjárás a bortermelési ágazat sikerességének egyik legmeghatározóbb tényezője, mivel a szőlőnövény teljesen kitett a természetnek [9-11].

Manapság a boripar és az éghajlati változások közötti összefüggések az egyik legjobban kutatott terület. Itt külön hangsúlyt kap az ehhez a folyamathoz köthető fenntarthatósági kihívások és lehetőségek vizsgálata különböző tudományágak és geográfiai adottságok terén [12-15]. Számos, a szőlőtermesztés és az éghajlati változások közötti összefüggést vizsgáló tanulmány született Európából [16-20], Észak- és Dél-Amerikából [21-24], Dél-Afrikából [25-27] és Ausztráliából [28-30].

Ha a szőlőgazdaság és a klímaváltozások összetett egymásrautaltságát figyeljük, nagy az egyetértés abban, hogy jelentős változások várhatóak a szőlőtermesztésre alkalmas területeken. Ezzel összefüggésben ezek a régiók komoly társadalmi és gazdasági következményekkel számolnak [31,32]. Majd mindegyik nagy múltú európai borvidéket veszélyezteti a klímaváltozás okozta művelés visszaesés. Ilyen veszélynek néz elébe pl. a Rhone-völgye, Bordeaux vagy Toszkána. Ugyanakkor azt is

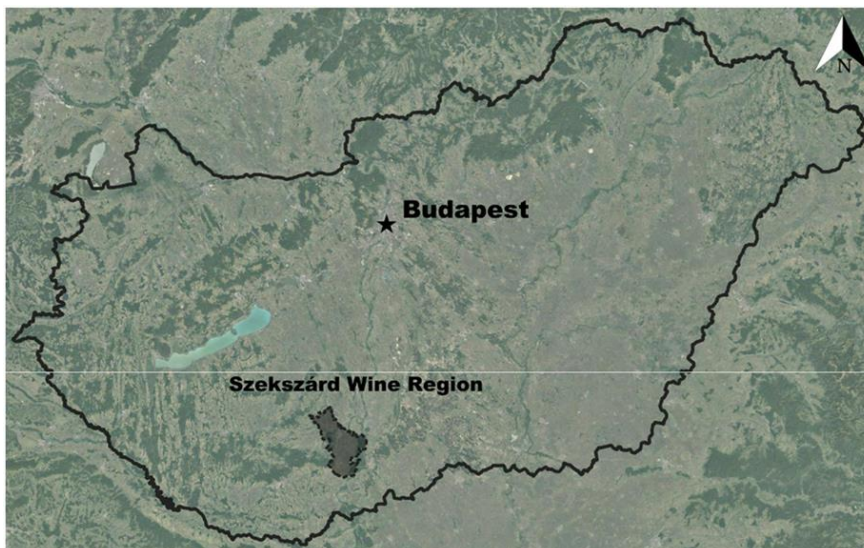
látnunk kell, hogy újabb szőlőtermesztésre alkalmas területek indulhatnak virágzásnak Amerika, vagy Európa északi fekvésű részein [33-35]. Ez persze széleskörű tudományos vitát gerjeszt az egyes szőlőfajták termesztési határai kiterjesztésének megítélésében [36-39]. Talán szükségtelen is megemlítenem, hogy a változó éghajlati tényezők és a szélsőséges időjárás milyen nagymértékben bizonytalanná teszi az előrejelzést. Tóth és Végvári [40] különböző éghajlatváltozási modellek alapján több, nagy valószínűséggel szőlőtermesztésre alkalmatlanná váló európai területet azonosított. Tanulmányuk alapján 2050 és 2080 között Portugália, Spanyolország, Olaszország és Franciaország el fogja veszíteni jelenlegi szőlőterületeinek több mint 20 %-át. Észak-Európa változó időjárásai adottságai Skóciát alkalmassá teszik a szőlő termelésére [41]. Ugyanakkor hasznos lehet a klimatikus tényezők részletes elemzése. Egy, a becslött időjárási változások havi bontású adatain nyugvó elemzés segítheti a rejtőzködő összefüggések feltárását.

Az időjárással kapcsolatos elemzések a Világ szőlőtermesztésére gyakorolt hatása mellett fontos hangsúlyoznunk, hogy az illeszkedési stratégiák lehetséges tárházát is vizsgálni kell. Marx és kollégái (2017) [14] áttekintették a témára vonatkozó szakirodalmat, és azt találták, hogy a kutatások a klímaváltozás szőlőtermesztésre gyakorolt hatásának vizsgálatáról áttevődtek az ágazat alkalmazkodási képességének elemzésére és meghatározására. Sajnos ki kell jelentenünk, hogy a termelők nem rendelkeznek elégséges tudással a klimatikus változásokról és azoknak a szőlőágazatra gyakorolt hatásáról. Ennek okán az iparág sikeres alkalmazkodását elősegítendő kiemelkedően fontos szerepet kell, hogy kapjon a termelők tudatosságának növelése a folyamatok várható következményeire, és a hatékony illeszkedési stratégiák bemutatása [42]. Bár több, az ágazat alkalmazkodási stratégiáit taglaló cikk ad számos megoldási javaslatot [31,36,43-47], a fenntartható gazdálkodás és az adaptációs képesség közötti összefüggéseket jóval kevesebb tanulmány vizsgálja [48-51]. A beágyazódás (lock-in) terminológia megjelenése a 2000-es évek elejére vezethető vissza, amikor is a szén alapú energiahordozók kizárólagosságának veszélyét felismerve elkezdtek használni a „szén lock-in” definíciót. Ez tulajdonképpen azt a politikai és piaci szereplők által folytatott gyakorlatot írja le, amikor akadályozzák a fenntarthatóságot segítő, kevésbé intenzív szén és szénhidrogén alapú technológiák terjedését [52]. Bár ezt a jelenséget az utóbbi évtizedekben már jól dokumentálták, úgy tűnik, hogy a gyakorlat-orientált, a fenntarthatóságot előtérbe helyező adaptációs stratégia és gyakorlat továbbra is nagyon szűk körben terjed. Több területen, illetve ágazatban írták le a fenntarthatóságot fókuszba állító stratégiákat ily módon korlátozó beágyazódási jelenséget [53]. Ezek alapján kijelenthetjük, hogy a jelenleg széles körben elterjedt szőlészeti adaptációs beavatkozások potenciális lock-injeinek és kényszerpályáinak feltárásával el tudjuk kerülni azokat a klímatudatos megoldásokat, amelyek a fenntarthatóság szempontjait nem teljesítik.

Fenti gondolatmenet alapján cikkünk megírását két szempont vezérelte. Egyik oldalon szeretném behatóan tanulmányozni a Szekszárd Borvidéket az időjárási tényezők változásának két fontos kockázati tényezőjében, nevesen a kitettség és az érzékenység aspektusában. Az e téren eddig megjelent tanulmányok elég szűk nézőpontból vizsgálták a témát [54-58], és kevés figyelmet szenteltek a kihívásokra adandó válaszokra. Áttekintve a szakirodalmat egyértelmű, hogy a Szekszárdi Borvidéket még nem vizsgálták a klímaváltozás aspektusából. A másik szempont az volt, hogy gyűjtsük össze a Borvidék előtt álló, a klímaváltozás kihívásaira válaszoló lehetséges gyakorlatok tárházát, és ezzel egyidejűleg értékeljük azokat a fenntarthatóság feltételei keretében. Az időjárás változásaira a jelen gyakorlat szerint bevett gazdálkodási válaszok több ágazatot vizsgálva is gyakran megnehezítik a hosszútávú fenntarthatósági célok elérését [59,60]. A szőlőtermesztés terén ilyen irányú, a kihívásokra adandó válaszokra vonatkozóan vizsgálatok még nem készültek. Ennek megfelelően jelen tanulmányom két eddigi szakmai hiányosságot is hivatott megválaszolni: jelen Borvidéket elsőként alaposan megvizsgálni, és feltárni a hosszú távú fenntarthatóság kritériumainak megfelelni tudó adaptációs technikákat.

2. Felhasznált adatok és a módszertan

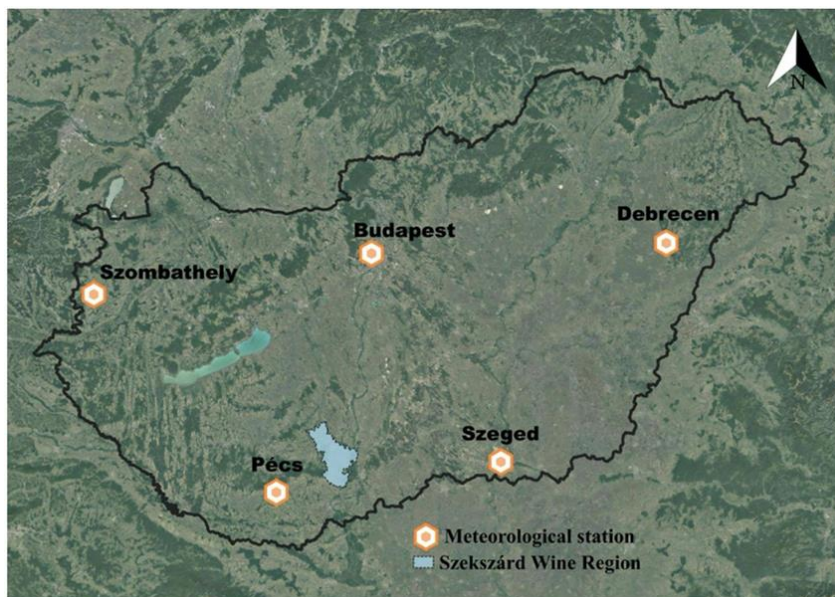
A tanulmányozott terület, a Szekszárd Borvidék (*továbbiakban Borvidék!*) Magyarország dél-dunántúli részén helyezkedik el. (*Lásd 1. táblát!*) A Borvidék 2.600 hektáros szőlőterületein, zömében löszös, homokos, agyagos talajon mintegy 2.500 bejelentett szőlősgazda dolgozik. Vörösbort több, mint 2.100 hektáron termelnek: a Borvidék legismertebb bora a kadarka. Bár a kékfrankos adja a kékszőlő termőterületek majd egyharmadát, és a Merlot, Zweigelt, Cabernet franc és Cabernet Sauvignon szőlőket, mint fő fajtákat 2-300 hektáron termelnek, a kadarka kevesebb, mint 100 hektárt foglal el. A fehér szőlőfajták közül legelterjedtebb az olaszrizling (120 ha), a Chardonnay (70 ha), rizlingszilváni (50 ha) és a Sauvignon blanc (40 ha). A Borvidék éghajlata kontinentális: forró és száraz nyarat ritkán zavarja meg a tavaszi és őszi fagy. A napfényes órák száma relatíve magas (kb. 2050 óra/év), ami a hosszú vegetációs időt igénylő vörösbort adó fajták számára ideális, míg az éves várható 500-600 mm csapadék magas aszályos időszak indexet jelent. Ahogy már korábban is többször jeleztem, a Borvidék eddig kimaradt az ilyen irányú vizsgálódásokból. Ennek megfelelően jelen tanulmány szándéka szerint további tudományos vizsgálatok generálójá szeretne lenni, hogy tudjuk elemezni a klímaváltozás és a helyi szőlő-bor ágazat kölcsönhatásait.



(1. Ábra: A tanulmányozott Borvidék elhelyezkedése

A vizsgált terület hatékony adaptációs tevékenységeit összegyűjtő módszertan egy olyan hatásvizsgálaton alapul, melynek két fő oszlopa van: egyrészt vizsgálom a Borvidék klímaváltozással szembeni kitettségét és érzékenységét, másrészt ezt összevetem a lehetséges adaptációs technikákkal, melyeket a fenntarthatósági célok alapján értékelek. Ezen kétfajta megközelítés, különösen a fenntarthatósági szempontú beágyazódások vizsgálata lehetőséget teremt arra, hogy a rendelkezésre álló jelenlegi tudásunkra építve további, az adaptációs stratégiák lehetséges sikerességét elemző vizsgálódások indulhassanak el. Ahogy már korábban összefoglaltam, számos borvidéken nagyszámú irodalom taglalja a klímaváltozásokkal kapcsolatos alkalmazkodási stratégiákat. Úgy gondolom, hogy a fenntarthatósági szempontok a klímaváltozások kihívásaira adandó lehetséges adaptációs technikák értékelésébe való bevonásával egy új megközelítést tudok adni. A klímaváltozások okozta sérülékenység vizsgálata az egyik leggyakoribb eszköz az adott terület és adott ágazat előtt álló kihívások és hatások meghatározásának [61-64]. Jelen tanulmány ebből a széles spektrumból csak a két legsérülékenyebb területre, az éghajlati kitettségre és az adott növénykultúrák érzékenységére kíván fókuszálni.

A kitettséget, mint jelenséget abban az értelemben használom, hogy az időjárás változása milyen fizikai hatással bír az adott területen, pl. a hőmérséklet és a csapadék adott időszakra összesített adatai. A Borvidék minél teljesebb körű kitettségének vizsgálatához, az éghajlati változások és az ebből kinyerhető tendenciák felvázolásához felhasználtam a helyi átlagos havi csapadék 1977 és 2018 közötti, és a hőmérséklet 1981 és 2018 közötti adatsorát. Ezeket az adatokat Kővári László úr (Szekszárdi Önkormányzat) biztosította. A Borvidék adatait a Magyar Meteorológiai Szolgálat (https://www.met.hu/en/eghajlat/magyarorszag_eghajlata/eghajlati_adatsorok/) nyilvános adatbázisából vettem össze. Ezen adatbázis részletes adatokat közül öt kiválasztott magyar város 1901 és 2019 közötti időjárásáról. Az öt város egységesített havi hőmérsékleti és csapadék számai az általunk vizsgálni kívánt adatokkal összemérhetőek: Budapest, Debrecen, Pécs, Szeged és Szombathely. Ezen városok országon belüli elhelyezkedése (Lásd 2. táblát!) alkalmassá teszi országos átlagként a Borvidéken begyűjtött adatokkal való összevetésre.



(2. Ábra: A meteorológiai állomások elhelyezkedése

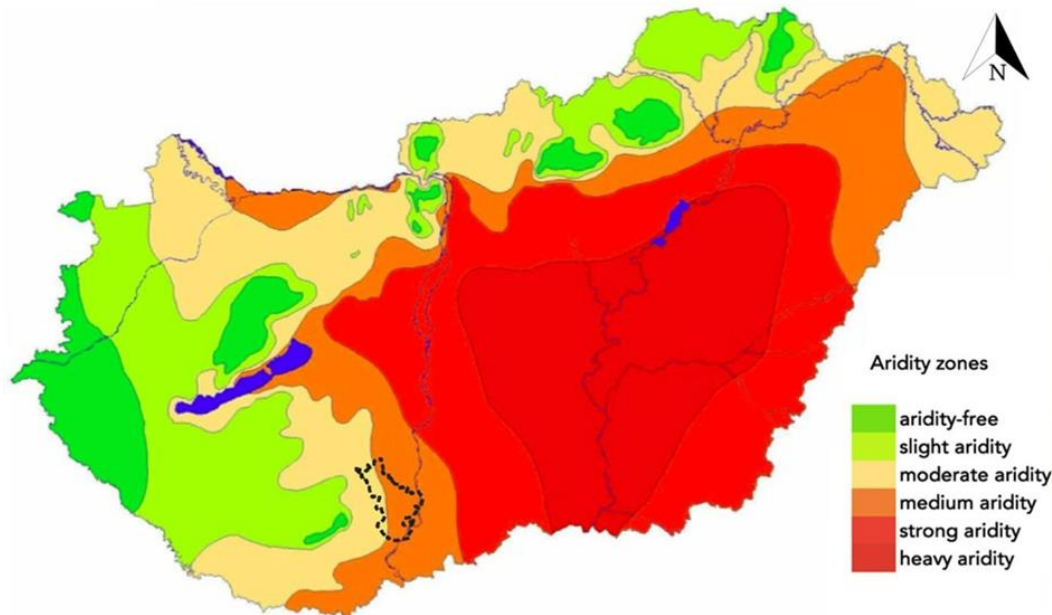
A cikkemben az idősoros időjárás adatok összehasonlítása mellett bevonok a vizsgálat körébe egy, a jövőben várható kitettségi mutatót, az ún. Pálfi aszály indexet (PaDI₀), amely az alábbi képlettel számítható [69,70]:

$$\text{PaDI}_0 = \frac{\frac{\sum_{i=\text{apr}}^{\text{aug}} T_i}{5} * 100}{\sum_{i=\text{sept}}^{\text{oct}} (P_i * w_i)} \quad (1)$$

ahol PaDI₀ az aszály mutató, °C/100 mm; T_i az április és augusztus közötti átlag hőmérséklet, °C; P_i az októbertől szeptemberig mért havi csapadék mennyisége, mm; w_i a havi csapadék súlyozó együttható (0,1 szeptembertől októberig; 1,2 júniusban; 1,6 júliusban; és 0,9 augusztusban).

A PaDI₀ értékeinek országos alakulását vizsgálva 1961 és 1990 közötti megállapíthatjuk, hogy a Borvidék a mérsékelt aszályos területek közé tartozik. A klímaváltozási modellek erősebb aszálykihívásokat vetítenek elő. Az adott értékek változását a Magyar Bányászati és Földtani Szolgálat keretében működő Nemzeti Alkalmazkodási Térinformatikai Rendszer (NAGIS) adattárából kinyert

adatokból számítottam, és a 2021-2050 közötti, valamint a 2071-2100 közötti előrejelzéseket az 1961-1990-es bázison két regionális klímamodell (RegCM4 és ALADIN-Climate) alapján számoltuk. A RegCM4 egy negyedik generációs, [71] korlátozott területre kialakított nyílt forrású klíma modell, amit a regionális klíma vizsgálatokhoz és előrejelzésekhez készítettek. Az ALADIN-Climate szintén egy korlátozott területek éghajlati változásainak vizsgálatára fejlesztettek egy korábbi, rövidtávú előrejelző modell alapján [73], amit Magyarországon széles körben egyéb területeken alkalmaztak [74-76]. Ezek a Borvidék várható aszályosság változásaira vonatkozó nemzeti és helyi kitétségi előrejelzések összehasonlítása segítenek bennünket az éghajlatváltozással szembeni kitétségek meghatározására. A vizsgálathoz 1103 adatot hasonlítottunk össze.



(3. *Ábra: A Pálfi aszály index 1961-1990 között*

A kitétség mellett vizsgálom a Borvidék érzékenységét, mint a sérülékenység egyik alkotóelemét. Itt az érzékenységet úgy tekintem, mint a rendszer egy belső tulajdonságát, mely leírja, hogy a változó klimatikus körülmények eredményeként egy adott rendszer hogyan reagál(hat), ami az éghajlatfüggő viselkedést jelenti [77-80]. Jelen tanulmányban az érzékenységet úgy értékelem, mint az alkalmazkodás során elért változás: Vajon a klimatikus tényezők változása módosítja a Borvidéken jelenleg termelt fehér- és vörösbor szőlőfajtákat? Ennek szellemében az érzékenység elemzésben részletesen kitérek az egyes itt termelt szőlőfajták időjáráshoz viszonyított tulajdonságaira, különös tekintettel a fagy, aszályos időszak, gombafertőződés hatására és a Huglin index [82] változására. A vizsgált szőlőfajták érzékenységének eltérő mértékét szeretném megkülönböztetni, ezért öt kategóriát állítottam fel. Röviden összefoglalva a vörös és narancssárga színek a magas és nagyon magas, a fehér pedig a semleges, vagy nem releváns érzékenységet jelöli. A skála másik oldalán a világos és sötét zöld cellákban a szőlőfajták időjárási érzékenysége alacsony, vagy nagyon alacsony. A vizsgálathoz a szakirodalom alapján [83-87] a Borvidék legelterjedtebb négy-négy vörös és fehér fajtáját választottam.

Az éghajlati kitétség és az érzékenység tanulmányozása alapján az utolsó feladatomban az volt, hogy a hosszútávú környezeti fenntarthatósági elvárások figyelembevételével meghatározzam és értékeljem azokat a hatékony alkalmazkodási lehetőségeket, melyek a Borvidék adaptációs képességét erősíti. Ezen cél elérése érdekében elsősorban áttekintettem a Világon fellelhető illeszkedési technikák szakirodalmát, és összegyűjtöttem az alkalmazott mezőgazdasági alkalmazkodási technikákat. (1. Táblázat!) Másodjára egy több tényezős értékelő mátrix

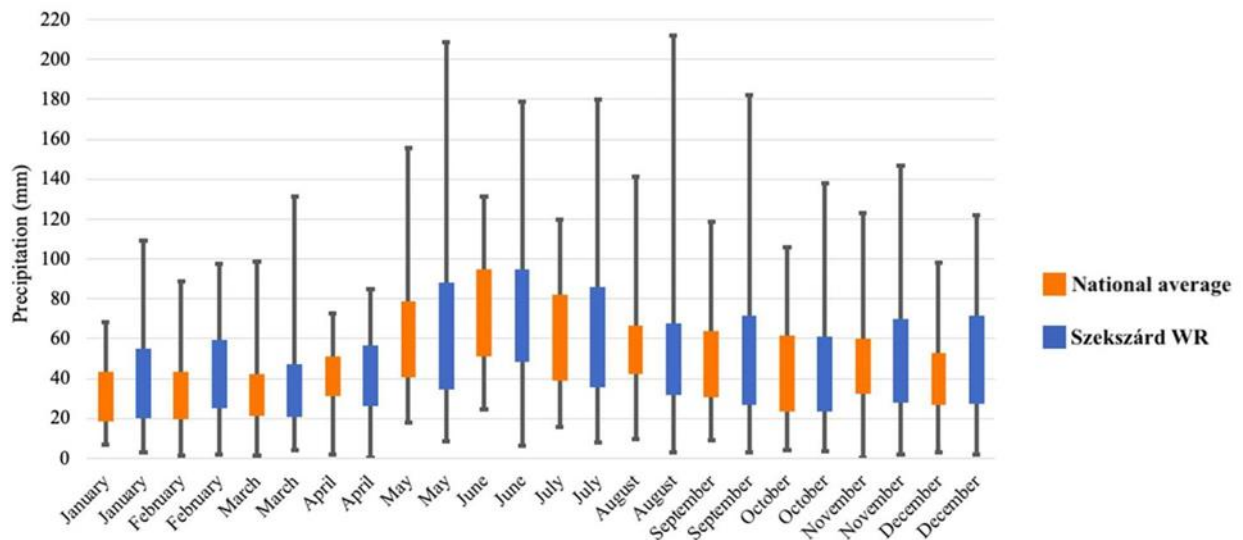
létrehozásával megpróbáltam feltárni azon egymásrataltságokat, és alkalmazkodási beágyazódásokat, melyekhez az eddigi adaptációs eseteket értékeltem, különös tekintettel a különféle környezeti szempontok összevetésével. Az értékelő mátrix és a használt módszertan hozzájárult ahhoz, hogy be tudjam mutatni az eddig sikertelen alkalmazkodási eszközöket, és segítsen a fenntarthatóság környezetvédelmi szempontjainak szembefeszülő lock-injeit felismerni és elkerülni. Az itt összegyűjtött adaptációs eseteket a környezeti fenntarthatóság szempontjain belül kiemelten a vízfogyasztás, energiafelhasználás, légszennyezés és biodiverzitás aspektusai szerint értékeltem. Az öt szintes értékelési skálán bemutatom a beavatkozások pozitív és negatív következményeit, mind a közvetett és közvetlen hatások terén. Az erős és mérsékelt erős pozitív visszacsatolást „++” és „+” jellel, míg ennek ellenkezőjét a „-” és „--” jellel ábrázoltam. „0” azt jelenti, amikor mind pozitív, mind negatív hatások megjelentek. Bevezettem még egy „NR” jelölést, amivel azt akartam bemutatni, ahol a fenntarthatóság szempontjából nem észleltem hatást. Szeretném kiemelni, hogy az ún. lock-in értékelések egy napjainkban igen élénken kutatott terület. A legfrissebb tanulmányok a városok témájában készültek [88,89]. Ezzel összefüggésben kijelenthetjük, hogy napjainkban még nincs ilyen módszertanra épülő értékelés a szőlőgazdaság terén, így ez a cikk hozzájárulni kíván a fenntarthatósági adaptációk jelenlegi tudásának kiszélesítéséhez.

Forrás:	Ország, térség:
[90]	Tuscany, Italy
[91]	California, US
[42]	Roussillon (France) and McLaren Vale (Australia)
[92]	-
[93]	Australia
[44]	Spain, Portugal
[31]	-
[94]	New Zealand
[95]	-
[96]	Portugal
[97]	Tuscany, Italy
[45]	China
[98]	Anjou-Saumur winegrowing sub-region, France
[29]	Australia
[99]	Emilia Romagna, Italy
[30]	Australia
[50]	-
[100]	Mediterranean countries

(1. Tábla: A környezeti alkalmazkodásra vonatkozó irodalom ország, térség szerint

3. Eredmények

Ahogy már fentebb is említettem, rendelkezésemre állt egy, a Szekszárd időjárási adatait tartalmazó részletes adatbázis az elmúlt 40 évből. A Borvidék és az országos átlag csapadék mennyiségének 1977 és 2018 közötti változását a 4. ábra mutatja be. A rendelkezésre álló adatok alapján kijelenthetjük, hogy a Borvidék csapadék-összegének eloszlása az elmúlt 40 évben nagy változatosságot mutatott: Bár a május és augusztus havi csapadék mennyisége meghaladta a 200 mm-t (2010 és 2005-ben), addig ezen hónapok minimum értéke 8,5 mm volt 1993-ban és 3 mm 1992-ben. A minimum havi értékek 10 mm alatt vannak, és 1977 óta megfigyelhetőek a száraz időszakok. A Borvidék adatait amikor összevetjük az országos átlaggal, érdemes hangsúlyoznunk, hogy az itteni csapadék ingadozás az elmúlt négy évtizedben rendre meghaladta az országos átlagot. Ez számunkra azt jelenti, hogy a szőlőtermesztés a jövőben további extrém időjárási szélsőségekre kell készülnie, amelyek nagyban növelik a termés, a borminőség és a nyereségesség bizonytalanságát.

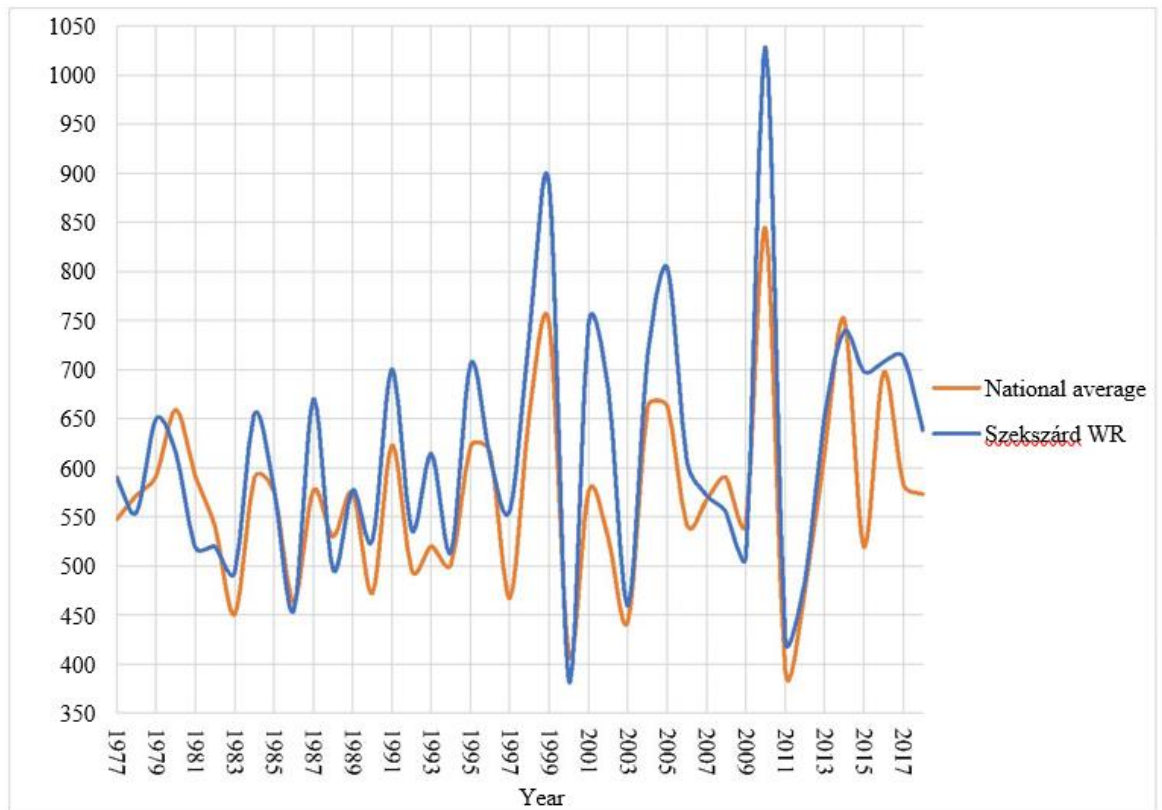


(4. Ábra: A havi csapadék adatok és eltéréseik 1977 és 2018 között.)

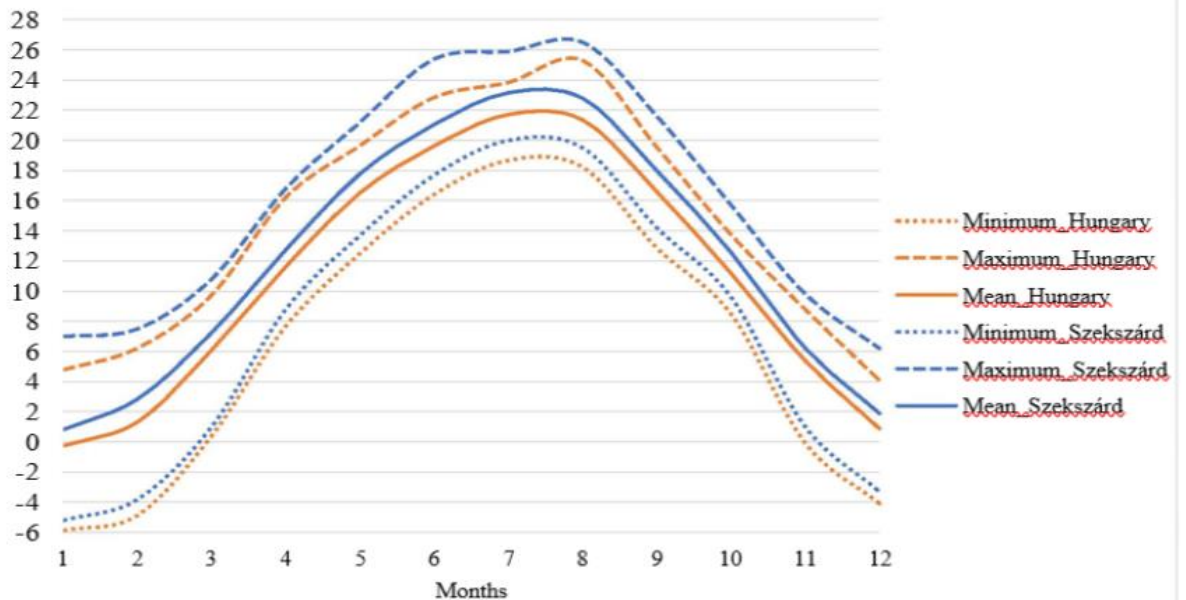
Az éves csapadékmennyiségi adatok (5. ábra!) vizsgálata több eltérést is feltár. Számottevő eltérések figyelhetők meg a Borvidék éghajlati adatai alapján, mint például 1999-ben és 2000-ben, amikor a teljes éves csapadék 887, illetve 382 mm volt. Ilyen nagymértékű csapadékhiány jellemezte a borvidéket 2010 és 2011 között, amikor az éves csapadékmennyiség egy év alatt kb. 550 mm-el csökkent: a 2010-es 1028,4-ről a 2011-es 425,1 mm-re. Az anomáliák másik irányában is éles növekedéseket figyelhetünk meg 1986 és 1987 között (220 mm-es növekedés), illetve 2000 és 2001 között (450 mm különbség). 2009 és 2010 között az éves csapadék mennyisége több, mint megduplázódott. Az országos átlag adatait vizsgálva hasonló tendenciákat figyelhetünk meg, bár a 4-es ábrán jól látható, hogy a minimum-maximum értékek jóval közelebb állnak egymáshoz. Összefoglalva elmondhatjuk, hogy mind a havi, mind az éves csapadékösszeg a vizsgált időszakban szignifikánsan nagyobb eltéréseket mutat a Borvidék területén az országos átlaghoz viszonyítva.

A hőmérsékleti adatok minimum és maximum értékei (6. ábra!) a fent említett csapadékösszegekhez képest kisebb eltérést mutatnak mind a Borvidék, mind az országos átlag számaiban. Május és augusztus hónapban az átlag hőmérséklet meghaladta a 20°C-t, ami ideális és kiemelten fontos a vörösbort termelő fajtáknál. Itt kell megjegyeznünk, hogy a 25°C-t meghaladó maximum értékek viszont nagymértékben veszélyeztetik nem csak a szőlő optimális fejlődését és érését, de társadalmi aspektusokat is felvetve negatívan hatnak a szabadban foglalkoztatott szőlőmunkások életkörülményeire is. A fagypont alatti havi értékekkel ritkán találkozhatunk, és fagyos napokkal jórészt január, február és december hónapokban számolhatunk. A XXI. század végére a regionális klímamodellek [101] eltűnni jósólják a Borvidéken ezeket a fagyos napokat. A rendelkezésre álló időjárási adatok vizsgálata alapján azért nem meglepő, hogy a vizsgált területen meghatározóan vörösbort termelnek, de lehet, hogy a további felmelegedés a Borvidéken jórészt megváltoztatja a jelenleg itt termelt népszerű szőlőfajták összetételét.

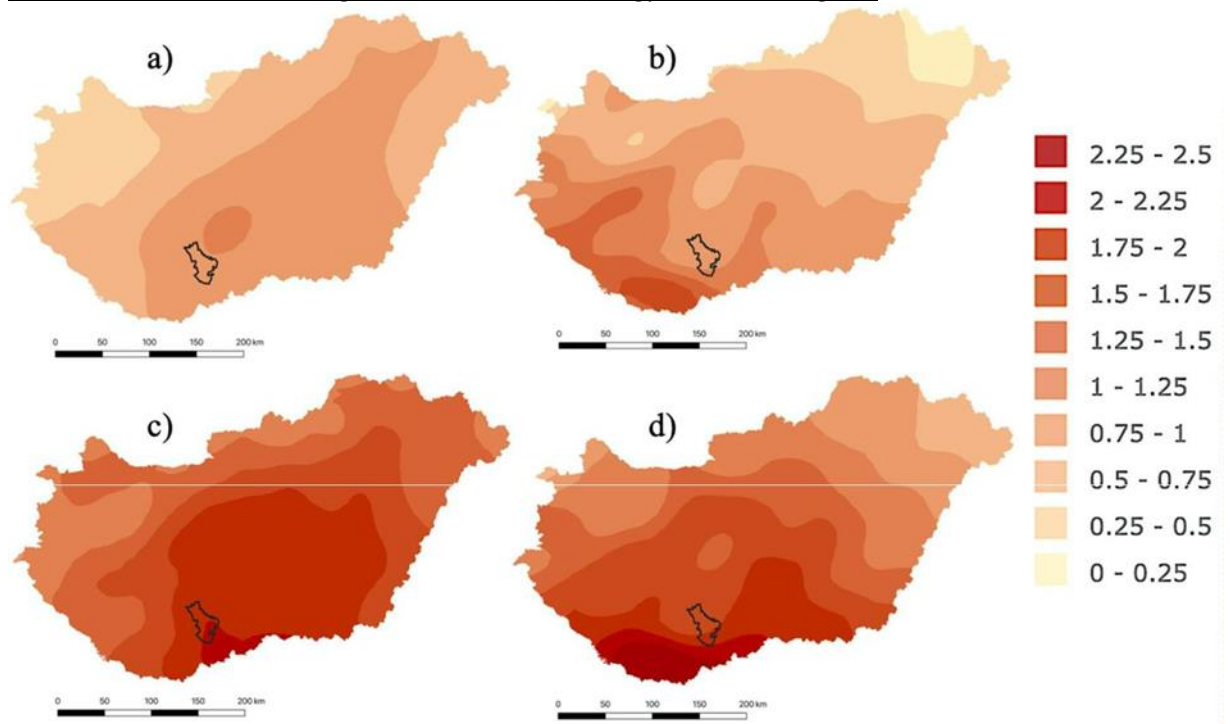
A feldolgozott éghajlati adatok mellett megvizsgáltuk az éghajlati kitettség várható jövőbeni alakulását, hogy ezáltal értékelni tudjuk a vizsgált terület $PaDI_0$ értékének változását. A 7. ábra bemutatja, hogy a Borvidéken az aszályos időszakok erőteljes emelkedésével kell, hogy számoljunk, ahol a vizsgált időszakon az adatok majd mindenütt meghaladják az országos átlagot. A 2021-2050-es előrejelzésekben az alkalmazott modell függvényében a $PaDI_0$ értékének 0,74, ill. 0,99-es növekedését jósólják. Ezek a számok az országos átlag vizsgálatánál az egyes modellek függvényében 0,76 és 0,72.



(5. ábra: A kumulált éves csapadék mennyiségének változása (1977-2018) a Szekszárd Borvidéken és Magyarországon)



(6. ábra: A hőmérséklet átlagos hőmérséklete (°C) negyven éves átlagban



(7. ábra: A PaDI₀ értékének változása 2021-2050 és 2071-2100 között

(a,b) A változás 2021 és 2050 között

(c,d) A változás 2071 és 2100 között

(a,c) A RegCM modell felhasználásával becsült értékek

(b,d) Az ALADIN-Climate regionális modell felhasználásával becsült értékek

A fentiek alapján megállapíthatjuk, hogy a RegCM modell eredményei szerint a Borvidéken becsült értékek növekedési dinamikája egyezik az országos átlaggal. Az ALADIN-Climate modell azonban erőteljesebb növekedést jósol a kitértség terén a Borvidéken, mint az országos átlag változása. A 2071-2100-es adatok az aszály veszélyének egyre erőteljesebb növekedését mutatják mind a Borvidéken, mind országosan. A Borvidék kitértségi értékei mind a RegCM (1,61), mind az ALADIN-Climate (2,03) modellekben magasabbak, mint az országos átlag (1,39 és 1,57). Fentiek alapján megállapíthatjuk, hogy mind a két becsült időintervallumban, mindkét modell alapján a Borvidék szárazsági értékeinek növekedése erőteljesen meghaladja az országos átlag hasonló értékemelkedését.

A kiválasztott módszertan lépéseinek megfelelően a következő feladat az éghajlati változások és a kiválasztott szőlőfajták érzékenysége közötti összefüggések értékelése. A 2. Tábla bemutatja a Borvidék legnépszerűbb fehér és vörösbort adó szőlőinek időjárás függő kiemelt jellemzőit, így az eltérő hőtűrő képességet, a Huglin index (HI) növekedésével és az adott fajták bogyóinak és levelének gombabetegségekkel szembeni érzékenységét. A Kárpát-medence területén a Huglin index a becslések szerint a jelenlegi 1.600-2.000 °C-ról a század végére várhatóan 3.000 °C-ra emelkedik. Ez az érték a század közepére mérsékeltebb emelkedést mutat, de így is Dél-Magyarországon és a Borvidék területén kb. 2.000-2.200 °C a várható [57].

	Tolerancia		HI növekedés	Gombás megbetegedések...	
	Szárazság	Fagy		Levélen	Bogyókon
Kékfrankos	■	■	■	■	■
Merlot	■	■	■	■	■
Cabernet Sauv.	■	■	■	■	■
Kadarka	■	■	■	■	■
Olaszrizling	■	■	■	■	■
Chardonnay	■	■	■	■	■
Szilváni	■	■	■	■	■
Sauvignon blanc	■	■	■	■	■

A piros és narancs színek a különösen magas és magas érzékenységet jelentik, míg a fehér szín a semlegességet. A világoszöld és zöld cellák alacsony és nagyon alacsony érzékenységet mutatnak az adott szőlőfajtákra gyakorolt hatásokról.

(2. Tábla: Éghajlatváltozási érzékenység a legkedveltebb borszőlő fajtáknál)

Általánosságban elmondhatjuk, hogy a vörösbort adó szőlőfajták nagy általánosságban jó szárazságtűrők, amelyek ideálisan termesztethetők aszályosabb körülmények között, és ezt jósljuk a várható jövőben. A kékfrankos és a kadarka, mint a Borvidék két ikonikus kékszőlő fajtája nagyon érzékeny a HI növekedésére. A Cabernet Sauvignon kivételével mindegyik kékszőlő fajta érzékeny mind a leveleken, mind a bogyókon megjelenő gombás betegségekre. A csapadékeloszlás változásának fényében, ami gyakoribb zivatarokat jósl a nyári hónapokban, a gazdáknak gondolkodniuk kell ellenállóbb fajták telepítéséről. Jól látszik, hogy egyedül a Cabernet Sauvignon áll sikeresen ellen az időjárás változásainak és az ehhez kapcsolódó éghajlati hatásoknak. Fordítsuk figyelmünket a népszerű fehér fajtákra! A Chardonnay, a rizlingszilváni és a Sauvignon blanc kimondottan érzékenyek a magas hőszeggel szemben. Az olaszrizling különösen érzékeny a csapadék hiányára. Mindezek felett ezek a népszerű fajták érzékenyek az ugyanazon napon megjelenő nagy csapadék és a hóhullám együttes hatására: a gombás betegségek támadására. Záró gondolatként elmondhatjuk, hogy a jelenleg a Borvidéken termelt fehér és kékszőlő fajták az átlagnál érzékenyebbek az előrejelzett éghajlati változások szélsőséges hatásaira.

A 3. Tábla bemutatja a gyakran használt adaptációs szőlőművelési technikák és a környezeti fenntarthatóság feltételei közötti összefüggéseket. Ahogy már korábban kijelentettem, a felsorolt szőlőművelési technikák és a fenntarthatóság minden aspektusa nem került bele az értékelésbe. Árnyékoló műanyag hálók, vagy fóliás árnyékolók például erős negatív hatással vannak a biodiverzításra, mivel csökkentik a növények közötti rovar- és madáréletet. Ugyanígy másik három tényezőt irrelevánsnak tekintettem. A szüreti időpontok módosítása a gépek éjszakai üzemódban történő alkalmazásával növeli az energiafelhasználást és a légszennyezést. Ugyanígy csökkentheti a biodiverzitást is, mivel a zajártalmat is fokozza. A fagykár, vagy a magas páratartalom veszélye csökkenthető fűtőeszközök, vagy szélgenerátorok alkalmazásával. Ugyanazt a negatív hatást érzük el, mint a gépek használatának fokozásával. Gombaölő vegyszerek használatával növelhető a termés és stabilizálható a bor minősége, de a kemikáliák használata nagyságrendekkel csökkenti a biodiverzitást, ugyanakkor hozzájárul a levegőszennyezettség növekedéséhez. A nem vegyszer alapú rovarirtóknak nincs számottevő negatív hatása a víz és energiafelhasználásra, és a helyi biodiverzitás eredményeket segíthetik a természetes alapú módszerek, amelyek csökkentik a károkozók negatív gazdasági hatását.

A számos öntözési technikának némileg eltér a környezeti hatása, így a folyamatos-, vagy cseppenkénti öntözést is értékeli a szakirodalom. A folyamatos öntözés nagymértékben növeli a vízfogyasztást. A cseppenkénti öntözés csekélyebb vízfogyasztás mellett növeli a helyi szintű biológiai sokszínűséget. A jól kiválasztott szőlőfajták és a lombzat megfelelő karbantartása

hozzájárulhat a víz és az energia felhasználásának csökkentéséhez, mivel az alkalmazkodási technikán javítottunk. Ezzel egyidőben mindkét eset negatív és pozitív biodiverzitási hatását megfigyelhetjük. Egyrészt egy élőbb és alkalmazkodó környezet újabb fajtákat hozhat el, ami pozitív hatás, míg a változó környezet hatására a helyi ökoszisztéma szereplői eltűnhetnek. A párasító hűtés víz és energia igénye nagy, így a gépek használatával járó légszennyezés ellentétes hatást is kiválthat. A zajszennyezés okozta ökoszisztéma zavarás és a biodiverzitást erősítő technikák együttes bevezetése egymás ellen ható, egymás hatását kioltó eredményt hozhat. Végül a talajjavítás csökkentheti a felhasznált víz mennyiségét, és a javuló környezeti tényezők fokozhatják a helyi biológiai diverzitást. Persze ez nagy energiafogyasztással párosul.

	Víz fogyasztás	Energia felhaszn.	Légszenny.	Biodiverzitás
Árnyékolás	Nincs Adat	Nincs Adat	Nincs Adat	--
Éjszakai gépi szüret	Nincs Adat	--	--	-
Fűtés, szélgépek	Nincs Adat	--	-	-
Természetes zöldtakaró	++	Nincs Adat	+	++
Gomba elleni védekezés	Nincs Adat	Nincs Adat	--	--
Termőhely kiválasztása	+	-	-	0
Állandó öntözés	--	-	Nincs Adat	++
Fajta/ Vadalany megfelelő kiválasztása	+	+	Nincs Adat	0
Lombozat karbantartás	+	+	Nincs Adat	0
Párologtató hűtés	--	--	-	0
Csepegtető öntözés	-	-	Nincs Adat	++
Vegyszermentes rovargyérítés	Nincs Adat	Nincs Adat	0	++
Talaj előkészítés	+	-	0	+

(3. Tábla: Fenntarthatósági kölcsönkapcsolatok a különböző alkalmazott technikák esetén

Az alkalmazott hatásértékelő módszertan alapján megállapíthatjuk, hogy a természetes alapú megoldásokat jobbnak értékeljük az energia igényes beavatkozásoknál. Ennek ellenére az alkalmazandó adaptációs technika kiválasztása előtt szükséges a helyi környezeti, továbbá a társadalmi és a gazdasági adottságok megvizsgálása, mert így van lehetőségünk mélyebb fenntarthatósági egymásrautaltságokat feltárni. Fontos hangsúlyoznom, hogy ezen gondolati keretek éppen a korlátosan hozzáférhető fenntarthatósági témájú esetek híján csak egy úttörő jellegű módszertani kísérletre adtak lehetőséget. Várhatóan további hátrányos közvetlen és közvetett hatásokat, lehetséges negatív beágyazódásokat és hosszútávú kölcsönkapcsolatokat is le tudunk írni.

4. Vitaanyag

A fentebb bemutatott vizsgálódások alapján a Borvidéket, egy, a XXI. század végére az átlagosnál nagyobb éghajlati alkalmazkodási kényszer feszíti, mivel a természetbe vont jelenlegi meghatározó szőlőfajtái és a változó éghajlati adottságok nagy kihívások elé állítják. A vizsgálódásokhoz alkalmazott módszertannak számos korlátja van mind a mutatók, mind a megközelítések kiválasztásának és használatának terén: az éghajlati kitettség vizsgálatánál a múltbéli és a jövőbéli időjárás eltéréseket az országos átlagértékekből számoltam. A múltbéli adatok korlátozott hozzáférése miatt öt város adataiból számítottam az országos átlagot. Itt fontos megemlítenem, hogy az így képzett adat nem fedi le a teljes ország valós adatait. Ugyanígy az adatok térbeli reprezentativitását tovább lehetne javítani a mintavételi pontok számának bővítésével. A hőmérséklet eltérések vizsgálatánál ugyanezen korlátozó megjegyzésekkel kell élnem, és itt is igaz a csapadék adatok felvételének javíthatósága. Az éghajlati kitettség értékelésénél használjuk a PaDI₀ indexet, mint egy összetett mutatót, amely a hőmérséklet és a csapadék adataiból számolja az ország aszálynak való kitettségét. Az adatok lokális megbízhatóságához fontos megemlítenem a Borvidéken található korlátozott számú mintavételi pontot. A PaDI₀ értékeket egy 10x10 km-es rácsban mérték, így jött ki az 1.103 adat., de ez a Borvidéken csak hat mintavételt jelentett. Ezen úgy tudnánk javítani, ha a vizsgált terület virtuális határait kiterjesztenénk. Az így nyert 12 mintavételi pont már javítaná tudnánk az értékelés folyamatát, bár ez a jövőben várható változások mértékén érdemben nem mutat változást.

Az éghajlati sérülékenység második eleme bemutatásakor a leggyakrabban természetett szőlőfajták időjárás érzékenységét írtuk le. Ezt az érzékenységet tovább lehetne árnyalni a talajtani adottságok és a geomorfológiai fekvések részletes tanulmányozásával, de ilyen adatokkal nem rendelkezünk, így csak másodlagos forrásokra támaszkodhattunk. Az éghajlati kitettség és az érzékenység értékelése alapján az időjárási sérülékenység és a szőlészeti technikák jelenlegi alkalmazásainak egymásrahatásait gyűjtöttük össze a szakirodalomból. Fontos megjegyeznünk, hogy a szakirodalom számos egyéb illeszkedési, beavatkozási technikát ismertet, de mi jelen cikk keretében csak a szőlészeti technikákat és azok környezet fenntarthatósági aspektusát vizsgáltuk. Az ún. csapda elemzések a jelenlegi adaptáció orientált irodalom legdivatosabb területei, de itt sem találunk mezőgazdasági vonatkozásokat.

Ahogy már a Bevezetés és a Felhasznált Irodalom és Módszertan részben írtam, a jelenlegi szőlészettel és éghajlati változásokkal kapcsolatos tanulmányok négy fő téma köré csoportosíthatóak. Először: Az időjárás változó tényezőinek térbeli vizsgálata a szőlőtermesztésre gyakorolt hatásáról a szakma egyik legnagyobb kihívása. Másodjára: Ezen tanulmányok alapján kiemelt vizsgálati témát jelent az adott szőlőfajták változó térbeli illeszkedési képessége. Harmadjára: Az ágazat nyereségességének fenntartásához létfontosságú a növekvő sérülékenységre adandó sikeres adaptációs technikák megismerése, alkalmazása. Végül a negyedik fontos kutatási téma a különféle szőlőfajták molekuláris szintű vizsgálata, különös tekintettel azok érési ciklusára, és annak a minőségre és mennyiségre gyakorolt hatására. A tanulmány kétoldalú értékelést adott: A kitettségi és érzékenység értékelésekkel együttesen az éghajlati sérülékenységet és további adaptációs folyamatok elindításának szükségességét állította az anyag fő kutatási fókuszába. Emellett a kifejlesztett csapda értékelést úgy fogjuk fel, mint egy kísérleti megközelítést, mely négy fő fenntarthatósági feltételt jár körbe: vízfogyasztás, energia fogyasztás, légszennyezés és biológiai sokszínűség. Ezen aspektusok különféle társadalmi, gazdasági tényezőkkel kiegészíthetők a további tanulmányokban.

A fentebb sorolt korlátozó megjegyzéseket alapul véve ki kell jelentenem, hogy további kutatásokra van szükség a helyben hatékony, ugyanakkor globálisan környezeti fenntarthatóságot biztosító adaptációs technikák alkalmazására az éghajlati kitettség és az érzékenység vonatkozásában. A leggyakrabban alkalmazott adaptációs technikák lock-in analízise kimutatta azt az

ellentmondást, hogy minden víz és/vagy energia igényes beavatkozás egyben a jelenlegi biodiverzitást veszélyezteti. Az éghajlati változásokhoz való illeszkedést csak a hosszútávú fenntarthatósággal párhuzamosan tudjuk sikeresen végig vinni, ezért a helyben bevezetett technikákat csak a fenntarthatósági feltételrendszer közvetett és közvetlen hatásainak a figyelembevételével tudjuk értékelni.

5. Következtetések

A borászok számos kihívás előtt állnak: a hőmérséklet emelkedésének és az éves csapadék mennyiségének a változékonysága, és az állandó kiszámíthatatlanság. Számukra az alkalmazkodási képesség létfontosságú. Jelen cikkemben bemutattam a Borvidék éghajlati kitettségét, érzékenységét, és a környezeti fenntarthatóság szempontjainak figyelembevételével úgy értékeltem a lehetséges szőlészeti adaptációs technikákat, hogy megelőzhetővé váljanak a későbbi hibás döntések. Az elmúlt 40 év, a Borvidék meteorológiai csapadék és hőmérséklet adatai azt mutatják, hogy az országos átlagtól a csapadék mennyisége nagymértékben eltér. Időjárás kitettségi előrejelzéseket modelleztünk a komplex aszály index (Pálfai Aszály Index, PaDI) változása alapján. Az eredmények alapján megállapíthatjuk, hogy a Borvidék a jövőben erős aszály veszéllyel kell szembesülnie, mivel a PaDI₀ érték a vizsgált időszakban erősebben nő, mint az országos átlag. Az érzékenységi vizsgálat kitér a leggyakrabban termesztett szőlőfajták időjárásfüggő „válaszára”. A vizsgálatok összegzéseként a sérülékenység terén egyedül a Cabernet Sauvignon szőlőfajtának nincs kritikus értéke, míg a többi vizsgált fajta rendelkezik legalább egy olyan kritikus tulajdonsággal, ami nagymértékben megnehezíti a gazdák illeszkedési technikáinak alkalmazását, amennyiben nem változtatnak a fajta összetételén. A cikkben elvégzett értékelések alapján a Szekszárd Borvidéket úgy tudjuk meghatározni, mint a XXI. század végére egy nagy éghajlati sérülékenységgel rendelkező terület. Ennek részben a nagy érzékenységgű termesztett szőlőfajták, részben a nagymértékben változó éghajlati adottságok az okozói. Ezt az állítást nagyban igazolja, hogy ezeket az értékelt fajtaikat művelik a Borvidék legnagyobb területén. Ebből következően kijelenthetjük, hogy amennyiben a Borvidéken termelt vörösbor minőségét meg szeretnénk erősíteni, úgy azonnali és hatékony adaptációs technikákat kell kifejleszteni és bevezetni. Mivel az adaptációs beavatkozások gyakran nem fenntartható megoldásokat szülnék, vagy hibás alkalmazások kudarcát vonják maguk után, ezen cikkben az összegyűjtött technikák környezettudatos fenntarthatóságát is értékeltük. Bár ez a tanulmány sérülékenységre és a lock-in értékelésekre vonatkozó adatok gyűjtése során számos fenntartást fogalmazott meg, azért egy korábban nem vizsgált ágazat kutatásba való bevonásával, és az adaptációs technikák szőlészeti való alkalmazásának úttörő jellegű lock-in analízisével kiegészítette jelenlegi tudásunkat.

Felhasznált irodalom:

1. Agovino, M.; Casaccia, M.; Ciommi, M.; Ferrara, M.; Marchesano, K. Agriculture, climate change and sustainability: The case of EU-28. *Ecol. Indic.* **2019**, *105*, 525–543. [[CrossRef](#)]
2. Burke, M.; Emerick, K. Adaptation to climate change: Evidence from US agriculture. *Am. Econ. J. Econ. Policy* **2016**, *8*, 106–140. [[CrossRef](#)]
3. Fraga, H. Viticulture and winemaking under climate change. *Agronomy* **2019**, *9*, 783. [[CrossRef](#)]
4. Cabré, F.; Nuñez, M. Impacts of climate change on viticulture in Argentina. *Reg. Environ. Chang.* **2020**, *20*, 12. [[CrossRef](#)]
5. Van Leeuwen, C.; Destrac-Irvine, A.; Dubernet, M.; Duchêne, E.; Gowdy, M.; Marguerit, E.; Pieri, P.; Parker, A.; De Ressaiguier, L.; Ollat, N. An update on the impact of climate change in viticulture and potential adaptations. *Agronomy* **2019**, *9*, 514. [[CrossRef](#)]
6. Jones, G.V.; Webb, L.B. Climate Change, Viticulture, and Wine: Challenges and Opportunities. *J. Wine Res.* **2010**, *21*, 103–106. [[CrossRef](#)]
7. Scozzafava, G.; Contini, C.; Costanigro, M.; Casini, L.; Anderson, K. Consumer Response to Quality Differentiation Strategies in Wine PDOs. *Agric. Agric. Sci. Procedia* **2017**, *6*, 107–114. [[CrossRef](#)]
8. Anderson, K. How might climate changes and preference changes affect the competitiveness of the world's wine regions? *Wine Econ. Policy* **2017**, *6*, 23–27. [[CrossRef](#)]
9. Coste, A.; Sousa, P.; Malfeito-Ferreira, M. Wine tasting based on emotional responses: An expedite approach to distinguish between warm and cool climate dry red wine styles. *Food Res. Int.* **2018**, *106*, 11–21. [[CrossRef](#)]
10. Prata-Sena, M.; Castro-Carvalho, B.M.; Nunes, S.; Amaral, B.; Silva, P. The terroir of Port wine: Two hundred and sixty years of history. *Food Chem.* **2018**, *257*, 388–398. [[CrossRef](#)]
11. Renaud-Gentié, C.; Dieu, V.; Thiollet-Scholtus, M.; Mérot, A. Addressing organic viticulture environmental burdens by better understanding interannual impact variations. *Int. J. Life Cycle Assess.* **2020**, *25*, 1307–1322. [[CrossRef](#)]
12. Marx, W.; Haunschild, R.; Bornmann, L. Climate change and viticulture—A quantitative analysis of a highly dynamic research field. *Vitis-J. Grapevine Res.* **2017**, *56*, 35–43. [[CrossRef](#)] *Climate* **2021**, *9*, 25 14 of 17
13. Ponti, L.; Gutierrez, A.; Boggia, A.; Neteler, M. Analysis of Grape Production in the Face of Climate Change. *Climate* **2018**, *6*, 20. [[CrossRef](#)]
14. Bernardo, S.; Dinis, L.T.; Machado, N.; Moutinho-Pereira, J. Grapevine abiotic stress assessment and search for sustainable adaptation strategies in Mediterranean-like climates. A review. *Agron. Sustain. Dev.* **2018**, *38*, 1–20. [[CrossRef](#)]
15. Pomarici, E.; Vecchio, R. Will sustainability shape the future wine market? *Wine Econ. Policy* **2019**, *8*, 1–4. [[CrossRef](#)]
16. Schultz, H.R. Global Climate Change, Sustainability, and Some Challenges for Grape and Wine Production. *J. Wine Econ.* **2016**, *11*, 181–200. [[CrossRef](#)]
17. Leolini, L.; Moriondo, M.; Fila, G.; Costafreda-Aumedes, S.; Ferrise, R.; Bindi, M. Late spring frost impacts on future grapevine distribution in Europe. *F. Crop. Res.* **2018**, *222*, 197–208. [[CrossRef](#)]
18. Cardell, M.F.; Amengual, A.; Romero, R. Future effects of climate change on the suitability of wine grape production across Europe. *Reg. Environ. Chang.* **2019**, *19*, 2299–2310. [[CrossRef](#)]
19. Bucur, G.M.; Cojocaru, G.A.; Antoce, A.O. The climate change influences and trends on the grapevine growing in Southern Romania: A long-term study. *BIO Web Conf.* **2019**, *15*, 01008. [[CrossRef](#)]
20. Santos, J.A.; Fraga, H.; Malheiro, A.C.; Moutinho-Pereira, J.; Dinis, L.T.; Correia, C.; Moriondo, M.; Leolini, L.; Dibari, C.; Costafreda-Aumedes, S.; et al. A review of the potential climate change impacts and adaptation options for European viticulture. *Appl. Sci.* **2020**, *10*, 3092. [[CrossRef](#)]
21. Jones, N.K. An investigation of trends in viticultural climatic indices in Southern Quebec, a cool climate wine region. *J. Wine Res.* **2018**, *29*, 120–129. [[CrossRef](#)]
22. Moscovici, D.; Gottlieb, P.D. Finding a state of sustainable wine: Implications for sustainable viticulture and oenology in New Jersey, USA. *Int. J. Sustain. Agric. Manag. Inform.* **2017**, *3*, 196–214. [[CrossRef](#)]
23. Solman, S.; Cabré, M.F.; González, M.H.; Núñez, M.N. Bioclimatic zoning of Argentinian Malbec grape productivity regions by means of a unique combined index. *Clim. Res.* **2018**, *74*, 185–199. [[CrossRef](#)]
24. Coelho, A.; Montaigne, E. The Chilean Wine Cluster. In *The Palgrave Handbook of Wine Industry Economics*; Alonso Ugaglia, A., Cardebat, J.-M., Corsi, A., Eds.; Springer International Publishing: Cham, Switzerland, 2019; pp. 487–506. ISBN 978-3-319-98633-3.
25. Vink, N. The South African Wine Industry. In *The Palgrave Handbook of Wine Industry Economics*; Alonso Ugaglia, A., Cardebat, J.-M., Corsi, A., Eds.; Springer International Publishing: Cham, Switzerland, 2019; pp. 201–223. ISBN 978-3-319-98633-3.

26. Naude, M.J. Impact of Climate Change and Extreme Weather Conditions on wine growing within the Stellenbosch region. *J. Contemp. Manag.* **2019**, 16, 111–134. [[CrossRef](#)]
27. Soltanzadeh, I.; Bonnardot, V.; Sturman, A.; Quénol, H.; Zawar-Reza, P. Assessment of the ARW-WRF model over complex terrain: The case of the Stellenbosch Wine of Origin district of South Africa. *Theor. Appl. Climatol.* **2017**, 129, 1407–1427. [[CrossRef](#)]
28. Jarvis, C.; Barlow, E.; Darbyshire, R.; Eckard, R.; Goodwin, I. Relationship between viticultural climatic indices and grape maturity in Australia. *Int. J. Biometeorol.* **2017**, 61, 1849–1862. [[CrossRef](#)]
29. Bardsley, D.K.; Palazzo, E.; Pütz, M. Regional path dependence and climate change adaptation: A case study from the McLaren Vale, South Australia. *J. Rural Stud.* **2018**, 63, 24–33. [[CrossRef](#)]
30. Phogat, V.; Cox, J.W.; Šimunek, J. Identifying the future water and salinity risks to irrigated viticulture in the Murray-Darling Basin, South Australia. *Agric. Water Manag.* **2018**, 201, 107–117. [[CrossRef](#)]
31. Mosedale, J.R.; Abernethy, K.E.; Smart, R.E.; Wilson, R.J.; Maclean, I.M.D. Climate change impacts and adaptive strategies: Lessons from the grapevine. *Glob. Chang. Biol.* **2016**, 22, 3814–3828. [[CrossRef](#)]
32. Bonfante, A.; Monaco, E.; Langella, G.; Mercogliano, P.; Bucchignani, E.; Manna, P.; Terribile, F. A dynamic viticultural zoning to explore the resilience of terroir concept under climate change. *Sci. Total Environ.* **2018**, 624, 294–308. [[CrossRef](#)]
33. Hannah, L.; Roehrdanz, P.R.; Ikegami, M.; Shepard, A.V.; Shaw, M.R.; Tabor, G.; Zhi, L.; Marquet, P.A.; Hijmans, R.J. Climate change, wine, and conservation. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* **2013**, 110, 6907–6912. [[CrossRef](#)]
34. Nesbitt, A.; Dorling, S.; Lovett, A. A suitability model for viticulture in England and Wales: Opportunities for investment, sector growth and increased climate resilience. *J. Land Use Sci.* **2018**, 13, 414–438. [[CrossRef](#)]
35. Maciejczak, M.; Mikiciuk, J. Climate change impact on viticulture in Poland. *Int. J. Clim. Chang. Strateg. Manag.* **2019**, 11, 254–264. [[CrossRef](#)]
36. Neethling, E.; Barbeau, G.; Coulon-Leroy, C.; Quénol, H. Spatial complexity and temporal dynamics in viticulture: A review of climate-driven scales. *Agric. For. Meteorol.* **2019**, 276–277, 107618. [[CrossRef](#)]
37. Nowlin, J.W.; Bunch, R.L.; Jones, G.V. Viticultural site selection: Testing the effectiveness of North Carolina's commercial vineyards. *Appl. Geogr.* **2019**, 106, 22–39. [[CrossRef](#)]
38. Terribile, F.; Bonfante, A.; D'Antonio, A.; De Mascellis, R.; De Michele, C.; Langella, G.; Manna, P.; Mileti, F.A.; Vingiani, S.; Basile, A. A geospatial decision support system for supporting quality viticulture at the landscape scale. *Comput. Electron. Agric.* **2017**, 140, 88–102. [[CrossRef](#)]
39. Fraga, H.; García de Cortázar Atauri, I.; Santos, J.A. Viticultural irrigation demands under climate change scenarios in Portugal. *Agric. Water Manag.* **2018**, 196, 66–74. [[CrossRef](#)]
40. Tóth, J.P.; Végvári, Z. Future of winegrape growing regions in Europe. *Aust. J. Grape Wine Res.* **2016**, 22, 64–72. [[CrossRef](#)]
41. Dunn, M.; Rounsevell, M.D.A.; Boberg, F.; Clarke, E.; Christensen, J.; Madsen, M.S. The future potential for wine production in Scotland under high-end climate change. *Reg. Environ. Chang.* **2017**, 1–10. [[CrossRef](#)]
- Climate **2021**, 9, 25 15 of 17
42. Lereboullet, A.L.; Beltrando, G.; Bardsley, D.K. Socio-ecological adaptation to climate change: A comparative case study from the Mediterranean wine industry in France and Australia. *Agric. Ecosyst. Environ.* **2013**, 164, 273–285. [[CrossRef](#)]
43. Dunn, M.R.; Lindsay, J.A.; Howden, M. Spatial and temporal scales of future climate information for climate change adaptation in viticulture: A case study of User needs in the Australian winegrape sector. *Aust. J. Grape Wine Res.* **2015**, 21, 226–239. [[CrossRef](#)]
44. Costa, J.M.; Vaz, M.; Escalona, J.; Egipto, R.; Lopes, C.; Medrano, H.; Chaves, M.M. Modern viticulture in southern Europe: Vulnerabilities and strategies for adaptation to water scarcity. *Agric. Water Manag.* **2016**, 164, 5–18. [[CrossRef](#)]
45. Li, Y.; Bardají, I. Adapting the wine industry in China to climate change: Challenges and opportunities. *OENO One* **2017**, 51, 71–89. [[CrossRef](#)]
46. Serpa, D.; Nunes, J.P.; Keizer, J.J.; Abrantes, N. Impacts of climate and land use changes on the water quality of a small Mediterranean catchment with intensive viticulture. *Environ. Pollut.* **2017**, 224, 454–465. [[CrossRef](#)]
47. de la Fuente, M.; Linares, R.; Lissarrague, J.R. Adapting to climate change: The role of canopy management and water use efficiency in vineyards. *Wine Vitic. J.* **2016**, 31, 43–46.
48. Brunori, E.; Farina, R.; Biasi, R. Agriculture, Ecosystems and Environment Sustainable viticulture: The carbon-sink function of the vineyard. *Agric. Ecosyst. Environ.* **2016**, 223, 10–21. [[CrossRef](#)]
49. Ollat, N.; van Leeuwen, C. The challenging issue of climate change for sustainable grape and wine production. *OENO One* **2017**, 51, 2–4. [[CrossRef](#)]

50. Sabir, A. Sustainable Viticulture Practices on the Face of Climate Change. *Agric. Res. Technol. Open Access J.* **2018**, *17*. [[CrossRef](#)]
51. Santiago-Brown, I.; Metcalfe, A.; Jerram, C.; Collins, C. Sustainability Assessment in Wine-Grape Growing in the New World: Economic, Environmental, and Social Indicators for Agricultural Businesses. *Sustainability* **2015**, *7*, 8178–8204. [[CrossRef](#)]
52. Unruh, G.C. Understanding carbon lock-in. *Energy Policy* **2000**, *28*, 817–830. [[CrossRef](#)]
53. Seto, K.C.; Davis, S.J.; Mitchell, R.B.; Stokes, E.C.; Unruh, G.; Ürge-Vorsatz, D. Carbon Lock-In: Types, Causes, and Policy Implications. *Annu. Rev. Environ. Resour.* **2016**, *41*, 425–452. [[CrossRef](#)]
54. Kosik, I. Climate Signals in Wine Quality Time-Series of North-East Hungary. *Air Water Components Environ.* **2017**, *9*, 219–226. [[CrossRef](#)]
55. Kovács, E.; Puskás, J.; Pozsgai, A. Positive Effects of Climate Change on the Field of Sopron Wine-Growing Region in Hungary. In *Proceedings of the Perspectives on Atmospheric Sciences*; Karacostas, T., Bais, A., Nastos, P.T., Eds.; Springer International Publishing: Cham, Switzerland, 2017; pp. 607–613.
56. Kovács, E.; Puskás, J.; Pozsgai, A.; Kozma, K. Shift in the annual growth cycle of grapevines (*Vitis vinifera* L.) in West Hungary. *Appl. Ecol. Environ. Res.* **2018**, *16*, 2029–2042. [[CrossRef](#)]
57. Mesterházy, I.; Mészáros, R.; Pongrácz, R.; Bodor, P.; Ladányi, M. The analysis of climatic indicators using different growing season calculation methods—An application to grapevine grown in Hungary. *Idojaras* **2018**, *122*, 217–235. [[CrossRef](#)]
58. Szenteleki, K.; Horváth, L.; Ladányi, M. Climate Risk and Climate Analogies in Hungarian Viticulture. *Int. Conf. Futur. Environ. Energy* **2012**, *28*, 250–254.
59. Magrini, M.; Anton, M.; Chardigny, J.; Duc, G.; Duru, M.; Jeuffroy, M.; Meynard, J.; Micard, V. Pulses for Sustainability: Breaking Agriculture and Food Sectors Out of. *Front. Sustain. Food Syst.* **2018**, *2*, 1–17. [[CrossRef](#)]
60. Nair, S.; Howlett, M. From robustness to resilience: Avoiding policy traps in the long term. *Sustain. Sci.* **2016**, *11*, 909–917. [[CrossRef](#)]
61. Li, L.; Cao, R.; Wei, K.; Wang, W.; Chen, L. Adapting climate change challenge: A new vulnerability assessment framework from the global perspective. *J. Clean. Prod.* **2019**, *217*, 216–224. [[CrossRef](#)]
62. Apreda, C.; D’Ambrosio, V.; Di Martino, F. A climate vulnerability and impact assessment model for complex urban systems. *Environ. Sci. Policy* **2019**, *93*, 11–26. [[CrossRef](#)]
63. Hasan, M.K.; Kumar, L. Comparison between meteorological data and farmer perceptions of climate change and vulnerability in relation to adaptation. *J. Environ. Manag.* **2019**, *237*, 54–62. [[CrossRef](#)]
64. Kim, B.T.; Brown, C.L.; Kim, D.H. Assessment on the vulnerability of Korean aquaculture to climate change. *Mar. Policy* **2019**, *99*, 111–122. [[CrossRef](#)]
65. Aubin, I.; Boisvert-Marsh, L.; Kebli, H.; McKenney, D.; Pedlar, J.; Lawrence, K.; Hogg, E.H.; Boulanger, Y.; Gauthier, S.; Ste-Marie, C. Tree vulnerability to climate change: Improving exposure-based assessments using traits as indicators of sensitivity: Improving. *Ecosphere* **2018**, *9*, e02108. [[CrossRef](#)]
66. Birkmann, J.; Welle, T. Assessing the risk of loss and damage: Exposure, vulnerability and risk to climate-related hazards for different country classifications. *Int. J. Glob. Warm.* **2015**, *8*, 191–212. [[CrossRef](#)]
67. Sharma, J.; Ravindranath, N.H. Applying IPCC 2014 framework for hazard-specific vulnerability assessment under climate change. *Environ. Res. Commun.* **2019**, *1*, 051004. [[CrossRef](#)]
68. Zhang, Q.; Zhao, X.; Tang, H. Vulnerability of communities to climate change: Application of the livelihood vulnerability index to an environmentally sensitive region of China. *Clim. Dev.* **2019**, *11*, 525–542. [[CrossRef](#)]
69. Blanka, V.; Mezosi, G.; Meyer, B. Projected changes in the drought hazard in Hungary due to climate change. *Idojaras* **2013**, *117*, 219–237.
70. Fiala, K.; Blanka, V.; Ladányi, Z.; Szilassi, P.; Benyhe, B.; Dolinaj, D.; Pálfai, I. Drought Severity and its Effect on Agriculture Production in the Hungarian-Serbian Cross-Border Area. *J. Environ. Geogr.* **2015**, *7*, 43–51. [[CrossRef](#)]
71. Dickinson, R.E.; Errico, R.M.; Giorgi, F.; Bates, G.T. A regional climate model for the western United States. *Clim. Chang.* **1989**, *15*, 383–422. [[CrossRef](#)]
72. Giorgi, F.; Coppola, E.; Solmon, F.; Mariotti, L.; Sylla, M.B.; Bi, X.; Elguindi, N.; Diro, G.T.; Nair, V.; Giuliani, G.; et al. RegCM4: Model description and preliminary tests over multiple CORDEX domains. *Clim. Res.* **2012**, *52*, 7–29. [[CrossRef](#)]
73. Farda, A.; Déu, M.; Somot, S.; Horányi, A.; Spiridonov, V.; Tóth, H. Model ALADIN as regional climate model for Central and Eastern Europe. *Stud. Geophys. Geod.* **2010**, *54*, 313–332. [[CrossRef](#)]
74. Csima, G.; Horányi, A. Validation of the ALADIN-Climate regional climate model at the Hungarian Meteorological Service. *Időjárás* **2008**, *112*, 155–177.
75. Zsebeházi, G.; Szépszó, G. Modeling the urban climate of Budapest using the SURFEX land surface model driven by the ALADIN-climate regional climate model results. *Idojaras* **2020**, *124*, 191–207. [[CrossRef](#)]

76. Mezősi, G.; Bata, T.; Meyer, B.C.; Blanka, V.; Ladányi, Z. Climate Change Impacts on Environmental Hazards on the Great Hungarian Plain, Carpathian Basin. *Int. J. Disaster Risk Sci.* **2014**, *5*, 136–146. [[CrossRef](#)]
77. Foden, W.B.; Young, B.E.; Akçakaya, H.R.; Garcia, R.A.; Hoffmann, A.A.; Stein, B.A.; Thomas, C.D.; Wheatley, C.J.; Bickford, D.; Carr, J.A.; et al. Climate change vulnerability assessment of species. *Wiley Interdiscip. Rev. Clim. Chang.* **2019**, *10*, 1–36. [[CrossRef](#)]
78. Thorne, J.H.; Choe, H.; Stine, P.A.; Chambers, J.C.; Holguin, A.; Kerr, A.C.; Schwartz, M.W. Climate change vulnerability assessment of forests in the Southwest USA. *Clim. Chang.* **2018**, *148*, 387–402. [[CrossRef](#)]
79. Berardy, A.; Chester, M.V. Climate change vulnerability in the food, energy, and water nexus: Concerns for agricultural production in Arizona and its urban export supply. *Environ. Res. Lett.* **2017**, *12*, 035004. [[CrossRef](#)]
80. Boswell, M.R.; Greve, A.I.; Seale, T.L. Climate Change Vulnerability Assessment. In *Climate Action Planning: A Guide to Creating Low-Carbon, Resilient Communities*; Island Press/Center for Resource Economics: Washington, DC, USA, 2019; pp. 172–191. ISBN 978-1-61091-964-7.
81. Parker, L.; Bourgoin, C.; Martinez-Valle, A.; Läderach, P. Vulnerability of the agricultural sector to climate change: The development of a pan-tropical Climate Risk Vulnerability Assessment to inform sub-national decision making. *PLoS ONE* **2019**, *14*, 1–25. [[CrossRef](#)]
82. Blanco-Ward, D.; García Queijeiro, J.M.; Jones, G.V. Spatial climate variability and viticulture in the Miño River Valley of Spain. *Vitis-J. Grapevine Res.* **2007**, *46*, 63–70.
83. Jones, G.V.; Davis, R.E. Climate Influences on Grapevine Phenology, Grape Composition, and Wine Production and Quality for Bordeaux, France. *Am. J. Enol. Vitic.* **2000**, *51*, 249–261.
84. Zsófi, Z.S.; Tóth, E.; Rusjan, D.; Bálo, B. Terroir aspects of grape quality in a cool climate wine region: Relationship between water deficit, vegetative growth and berry sugar concentration. *Sci. Hortic. (Amsterdam)* **2011**, *127*, 494–499. [[CrossRef](#)]
85. Shellie, K.C. Interactive Effects of Deficit Irrigation and Berry Exposure Aspect on Merlot and Cabernet Sauvignon in an Arid Climate. *Am. J. Enol. Vitic.* **2011**, *62*, 462–470. [[CrossRef](#)]
86. Hajdu, E. Magyar Szőlőfajták (Hungarian Grape Varieties)-in Hungarian; Mezőgazda Kiadó: Budapest, Hungary, 2013; ISBN 978-963-286-670-3.
87. Ortega-Farías, S.; Riveros-Burgos, C. Modeling phenology of four grapevine cultivars (*Vitis vinifera* L.) in Mediterranean climate conditions. *Sci. Hortic. (Amsterdam)* **2019**, *250*, 38–44. [[CrossRef](#)]
88. Bai, X.; Dawson, R.J.; Ürge-Vorsatz, D.; Delgado, G.C.; Salisu Barau, A.; Dhakal, S.; Dodman, D.; Leonardsen, L.; Masson-Delmotte, V.; Roberts, D.C.; et al. Six research priorities for cities and climate change. *Nature* **2018**, *555*, 23–25. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
89. Liang, Z.; Wu, S.; Wang, Y.; Wei, F.; Huang, J.; Shen, J.; Li, S. The relationship between urban form and heat island intensity along the urban development gradients. *Sci. Total Environ.* **2019**, *708*, 135011. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
90. Bernetti, I.; Menghini, S.; Marinelli, N.; Sacchelli, S.; Sottini, V.A. Assessment of climate change impact on viticulture: Economic evaluations and adaptation strategies analysis for the Tuscan wine sector. *Wine Econ. Policy* **2012**, *1*, 73–86. [[CrossRef](#)]
91. Nicholas, K.A.; Durham, W.H. Farm-scale adaptation and vulnerability to environmental stresses: Insights from winegrowing in Northern California. *Glob. Environ. Chang.* **2012**, *22*, 483–494. [[CrossRef](#)]
92. Mozell, M.R.; Thachn, L. The impact of climate change on the global wine industry: Challenges & solutions. *Wine Econ. Policy* **2014**, *3*, 81–89. [[CrossRef](#)]
93. Fleming, A.; Park, S.E.; Marshall, N.A. Enhancing adaptation outcomes for transformation: Climate change in the Australian wine industry. *J. Wine Res.* **2015**, *26*, 99–114. [[CrossRef](#)]
94. Niles, M.T.; Brown, M.; Dynes, R. Farmer’s intended and actual adoption of climate change mitigation and adaptation strategies. *Clim. Chang.* **2016**, *135*, 277–295. [[CrossRef](#)]
95. Sacchelli, S.; Fabbri, S.; Menghini, S. Climate change effects and adaptation strategies in the wine sector: A quantitative literature review. *Wine Econ. Policy* **2016**, *5*, 114–126. [[CrossRef](#)]
96. Vaz, M.; Coelho, R.; Rato, A.; Samara-Lima, R.; Silva, L.L.; Camprostrini, E.; Mota, J.B. Adaptive strategies of two Mediterranean grapevine varieties (Aragonez syn. Tempranillo and Trincadeira) face drought: Physiological and structural responses. *Theor. Exp. Plant Physiol.* **2016**, *28*, 205–220. [[CrossRef](#)]
97. Zhu, X.; Moriondo, M.; van Ierland, E.C.; Trombi, G.; Bindi, M. A model-based assessment of adaptation options for Chianti wine production in Tuscany (Italy) under climate change. *Reg. Environ. Chang.* **2016**, *16*, 85–96. [[CrossRef](#)]
98. Neethling, E.; Petitjean, T.; Quénot, H.; Barbeau, G. Assessing local climate vulnerability and winegrowers’ adaptive processes in the context of climate change. *Mitig. Adapt. Strateg. Glob. Chang.* **2017**, *22*, 777–803. [[CrossRef](#)]

99. Merloni, E.; Camanzi, L.; Mulazzani, L.; Malorgio, G. Adaptive capacity to climate change in the wine industry: A Bayesian Network approach. *Wine Econ. Policy* **2018**, *7*, 165–177. [[CrossRef](#)]
100. Santillán, D.; Garrote, L.; Iglesias, A.; Sotes, V. Climate change risks and adaptation: New indicators for Mediterranean viticulture. *Mitig. Adapt. Strateg. Glob. Chang.* **2019**, *25*, 881–899. [[CrossRef](#)]
101. Bartholy, J.; Pongracz, R.; Torma, C.; Pieczka, I.; Kardos, P.; Hunyady, A. Analysis of regional climate change modelling experiments for the Carpathian Basin. *Int. J. Glob. Warm.* **2009**, *1*, 238–252. [[CrossRef](#)]