

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem

Építőmérnöki Kar

Vízépítési és Vízgazdálkodási Tanszék

Empirikus vízhozam számítási módszerek automatizálása és értékelése

Tudományos Diákköri Konferencia 2019

Készítette: Hudák Regina

Konzulensek: Nagy Eszter Dóra

Dr. Torma Péter

Tartalomjegyzék

1	Bevezetés	3
2	Vízgyűjtők bemutatása.....	4
2.1	Vízgyűjtők kiválasztása	4
2.2	Vízhozam adatok	5
2.3	Területhasználat.....	5
2.4	Talajtani viszonyok.....	7
2.5	Geológia.....	7
2.6	Éghajlat.....	8
3	Mértékadó vízhozamok számítása eloszlásfüggvények illesztésével	10
3.1	Vízhozam idősorok vizsgálata	10
3.2	Elméleti eloszlásfüggvények illesztése	12
3.3	Illeszkedés vizsgálata	14
3.4	Mértékadó vízhozamok meghatározása.....	15
4	Mértékadó vízhozamok számítása empirikus módszerekkel	15
4.1	Morfológiai paraméterek	15
4.2	Empirikus számítási módszerek	17
4.2.1	OVF 2001-es módszer.....	17
4.2.2	Csermák-féle árvízszámítási módszer	20
4.2.3	Kollár-féle VIZITERV segédlet.....	23
4.2.4	Markó-féle árvízszámítási eljárás.....	25
5	Eredmények értékelése	27
6	Összefoglalás	29
7	Köszönetnyilvánítás	30
8	Irodalomjegyzék	31
9	Mellékletek	31

1 Bevezetés

Az utóbbi évek tapasztalatai alapján a nagy intenzitású csapadékok gyakorisága növekszik, amelynek hatására a mértékadó vízhozamok is várhatóan nőnek. Célom, hogy a tervezési gyakorlatban használt árvízszámítási módszerek pontosságáról precízebb képet kapjunk. TDK kutatásom témája tehát kis és közepes vízgyűjtők mértékadó vízhozamainak meghatározása hazai, empirikus számítási módszerek automatizálásával és mért vízhozam idősorok statisztikai kiértékelésén keresztül. A dolgozat fő célja, hogy a két módszer eredményeinek összevetésével meghatározzuk, hogy egy-egy régóta használt tapasztalati módszer mennyire pontos eredményt tud adni. A számítások automatizálása nem igényel olyan módszereket és lépéseket, amelyek idáig nem voltak ismertek, mégsem valósult meg eddig a vízhozam számítás ilyen módú egyszerűsítése. Napjainkban is kevesen foglalkoznak ezzel a témával, ezért is tartom fontosnak, hogy figyelmet fordítsunk a vízhozamok feldolgozására, hiszen ez az előrejelzések szempontjából is nagy jelentőséggel bíró területe a hidrológiának.

Első lépésben 65, kisvízgyűjtőkön található mérceszelvény napinál részletesebb adatait dolgozom fel, amelyek 2001-től napjainkig állnak rendelkezésre. Mivel a mértékadó vízhozam számításához a nagyvizes időszakok adataira van szükségem, ezért következő lépésben kiválogatom a felhasznált értékeket. Minden adatsor szelektált értékeire empirikus eloszlásfüggvényt készítek a MATLAB szoftver segítségével. Az elkészült függvényekre elméleti eloszlásfüggvényeket illesztetek. Célom, hogy az adatsorra leginkább illeszkedő elméleti eloszlásfüggvényt megtaláljam. Az empirikus és elméleti eloszlásfüggvények ismeretében megvizsgálom az illeszkedést a legnagyobb eltérések meghatározásával. Végül a különböző valószínűségekhez tartozó mértékadó vízhozamokat is meghatározom.

A kutatás második része az empirikus számítási módszerek ismertetése és automatizálása. Ennek során szakirodalomból összegyűjtöttem a hazai viszonylatban gyakran használt számítási módszereket és a hozzájuk szükséges paramétereiket. A vizsgált módszerekhez szükséges térképeket, grafikonokat ArcGIS, AutoCAD Civil 3D és Excel szoftverekkel digitalizáltam és olyan formátumra alakítottam, amelyeket a MATLAB program segítségével fel tudtam használni a számítások automatizálásához. Az automatizálásnak köszönhetően az egyes tapasztalati eljárásokkal gyorsan meghatároztam a különböző valószínűségekhez tartozó mértékadó vízhozamokat az összes vizsgált vízgyűjtőre.

A dolgozat utolsó részében számszerűsítem és elemzem a mért idősorok eloszlásfüggvényeiből és az empirikus összefüggésekből származó mértékadó vízhozamok közötti különbségeket.

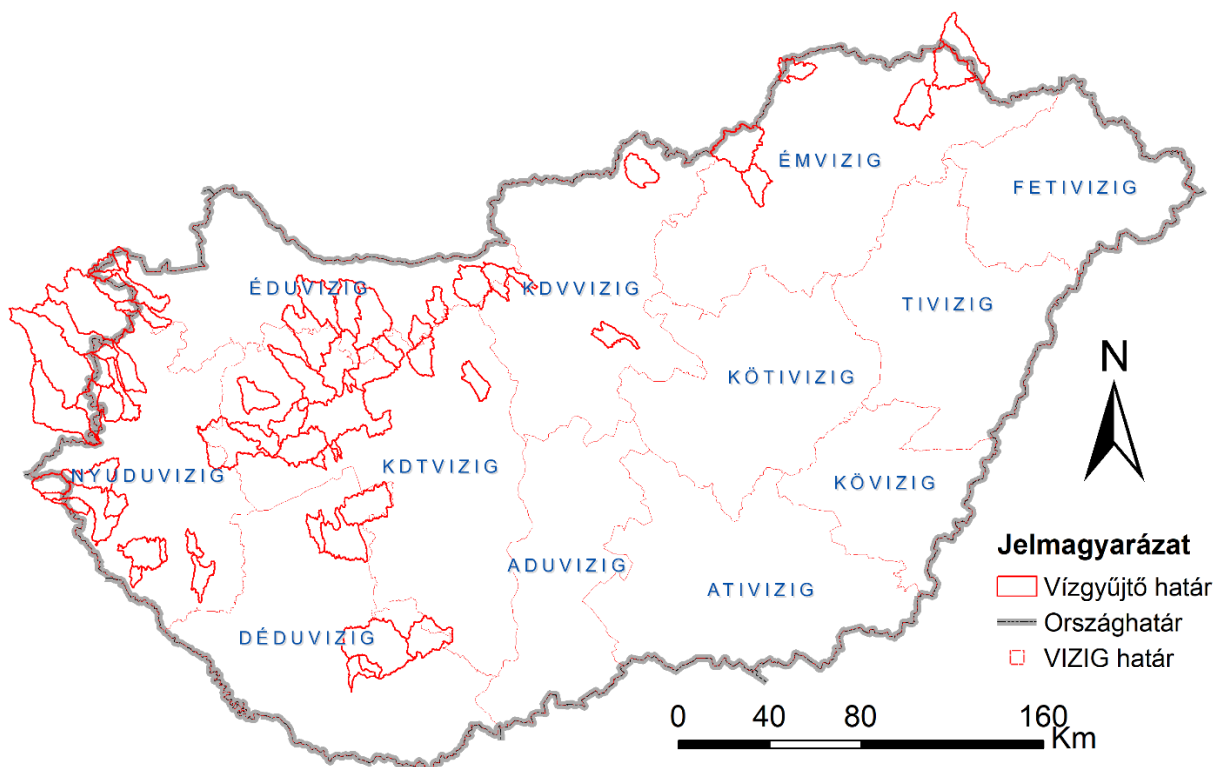
2 Vízgyűjtők bemutatása

2.1 Vízgyűjtők kiválasztása

A vizsgált vízgyűjtők kiválasztásánál szükséges figyelembe venni, hogy a rendelkezésre álló vízhozam adatok felvízi irányból ne legyenek befolyásoltak. Emellett lényeges, hogy a használt adatsorok ugyanazon időszakból származzanak. Ezek alapján 65 vízgyűjtőterület került kiválasztásra a vizsgálataimhoz. A területek listáját az 1. számú melléklet tartalmazza, amelyben a neveiken kívül megtalálható az adott vízgyűjtők területe, átlagos esése és a vízgyűjtő hossza is.

A vízgyűjtő területek többsége a Dunántúlon helyezkedik el, de az Északi-Középhegység területén és a Duna-Tisza között is található néhány. A bemutatott térképek többsége ArcGIS programmal készült. A felhasznált adatok Vízügyi Igazgatóságoktól, illetve bárki számára elérhető online felületekről származnak.

A vízgyűjtők országon belüli, valamint a Vízügyi Igazgatóságokhoz viszonyított elhelyezkedését az 1. ábra szemlélteti.



1. ábra: Vizsgált vízgyűjtők elhelyezkedése

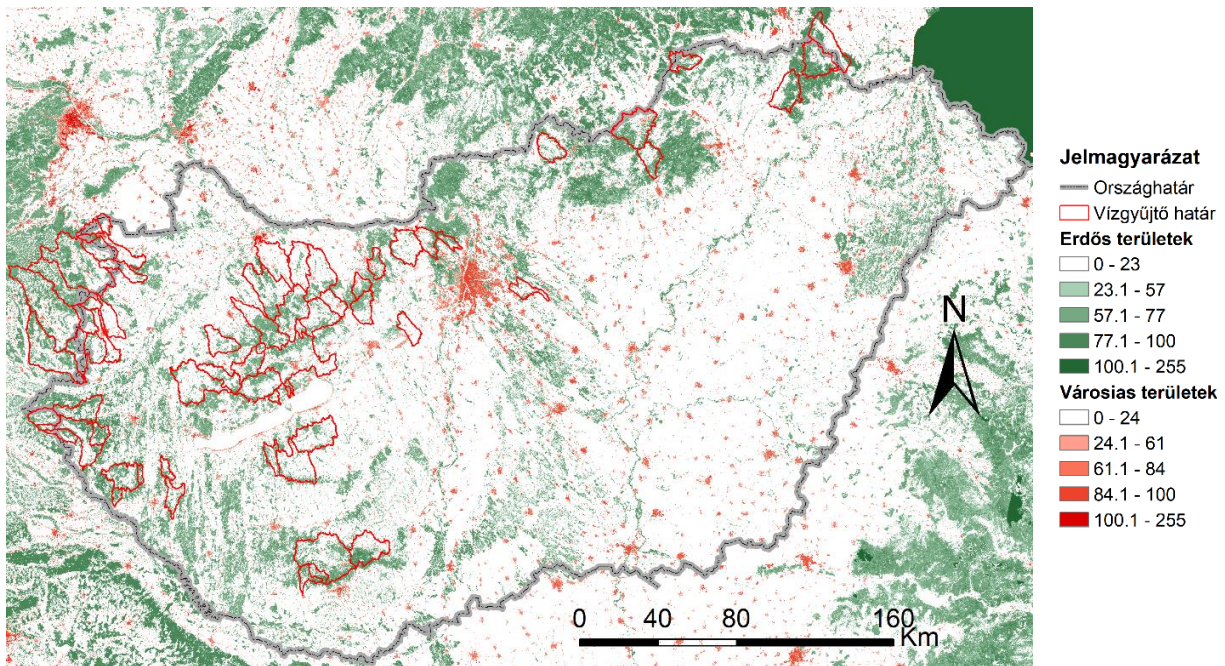
2.2 Vízhozam adatok

A számomra rendelkezésre álló adatsorok a vizsgált 65 vízgyűjtő vízhozam adatait tartalmazzák. Az adatok a Vízügyi Igazgatóságoktól származnak. A vízhozam idősorok 2001. január 1-től 2017. december 31-ig a lehető legrészletesebb időbeli felbontással állnak rendelkezésemre. Egy vízgyűjtő kivételt képez a korábban említett időszak alól, hiszen a Pinkaágon 2002. január 1-től ismertek az adatok. A Vízügyi Igazgatóságok által kiadott adatsorok úgy vannak összeállítva, hogy a lehető legkisebb adatmennyiséggel a legtöbb információhoz juthassunk. Ez alapján csak olyan időpontokból érkezett adat, amikor változás következett be a vízállásokban. Ennek okán a megkapott vízállás adatsorok adatai között nem azonosak az időlépések. Emiatt szükség volt az adatok időközének egységesítésére. A rendelkezésemre álló adatokból órás adatsorokat állítottam elő lineáris interpoláció segítségével. A 17 éves adatsorban általunk nem ismert okokból kifolyólag előfordulhatnak hibás értékek. Ezek kiszűrésére ellenőriztem, hogy találhatóak-e negatív vagy hiányzó értékek az adatsorokban. Ezeket az adatokat nem nullára vettem fel, hanem ismeretlennek tekintettem, ennek következtében a számítási eredményeken nem változtattak. 10 olyan vízgyűjtő volt a vizsgált területek között, ahol előfordult javítandó érték. A legtöbb hiányzó adat egy vízgyűjtőn 109 darab volt. Ezek a téves értékek két néhány napos időszakot fedtek le, amellyel összesen kevesebb, mint egy hónap adatait érintette ez a probléma. A 17 éves adatsor eredményeit várhatóan nagymértékben nem befolyásolja ez a mennyiségű adathiány, emiatt az egész adatsorral folytattam a vizsgálatokat. A vizsgálatokhoz hasznos lenne hosszabb időszak vízhozam adatainak ismerete, viszont jelenleg nem áll rendelkezésünkre ilyen nagy mennyiségű vízgyűjtő 17 évnél hosszabb idejű adatsora. A pontosabb számításokhoz szükséges lenne bővíteni a vízhozam adatok időintervallumán. [11]

2.3 Területhasználat

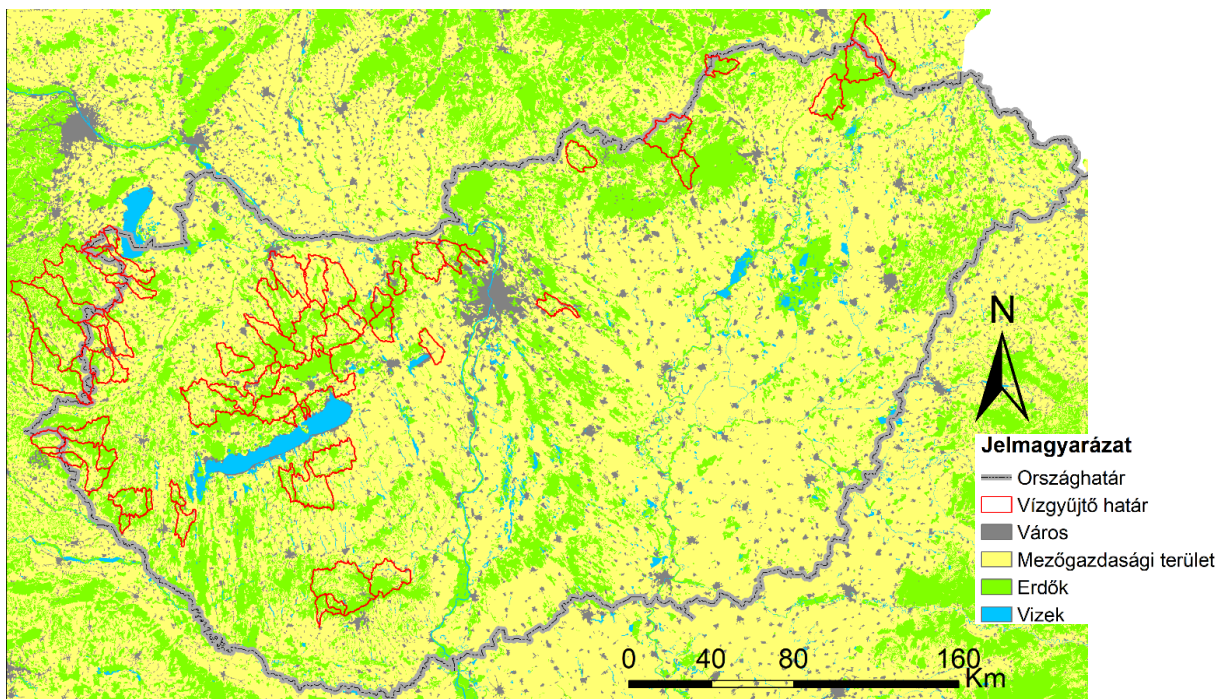
A 2. ábrán megfigyelhető, hogy a vizsgált vízgyűjtők csak kis részét teszik ki települések, többnyire erdős területeket fednek le. A vízgyűjtők 30-40%-ban erdővel borítottak a térkép alapján. Ebből következik, hogy nagyobb intenzitású csapadékok után nem várható olyan nagymértékű, lökésszerű vízhozam a vízfolyásokon, hiszen egyrészt a beszivárgás a városokhoz képest nagyobb mértékű, emellett a lefolyási tényező pedig kisebb. Mivel a térkép százalékos értékeket mutat, ezért az ArcGIS adataiból számítható a teljes erdős, illetve városias területek nagysága. Ezeket tervezem összefüggésbe hozni a számított mértékadó

vízhozamokkal, és meg lehet vizsgálni, hogy milyen mértékű hatással vannak azokra. A térképek a Copernicus adatbázisból származnak. [2], [3]



2. ábra: Erdős és városias területek elhelyezkedése

A 3. ábrán a Corine térkép látható, amely a területhasználatokat mutatja. A térképről azt a következtetést vontam le, hogy a kijelölt vízgyűjtők többnyire erdős, illetve mezőgazdasági művelés alatt álló területeken húzódnak. Erről az ábráról is megállapítható, hogy a vizsgált területeket arányaiban kevés település érinti. A térkép a Corine adatbázisból származik. [4]

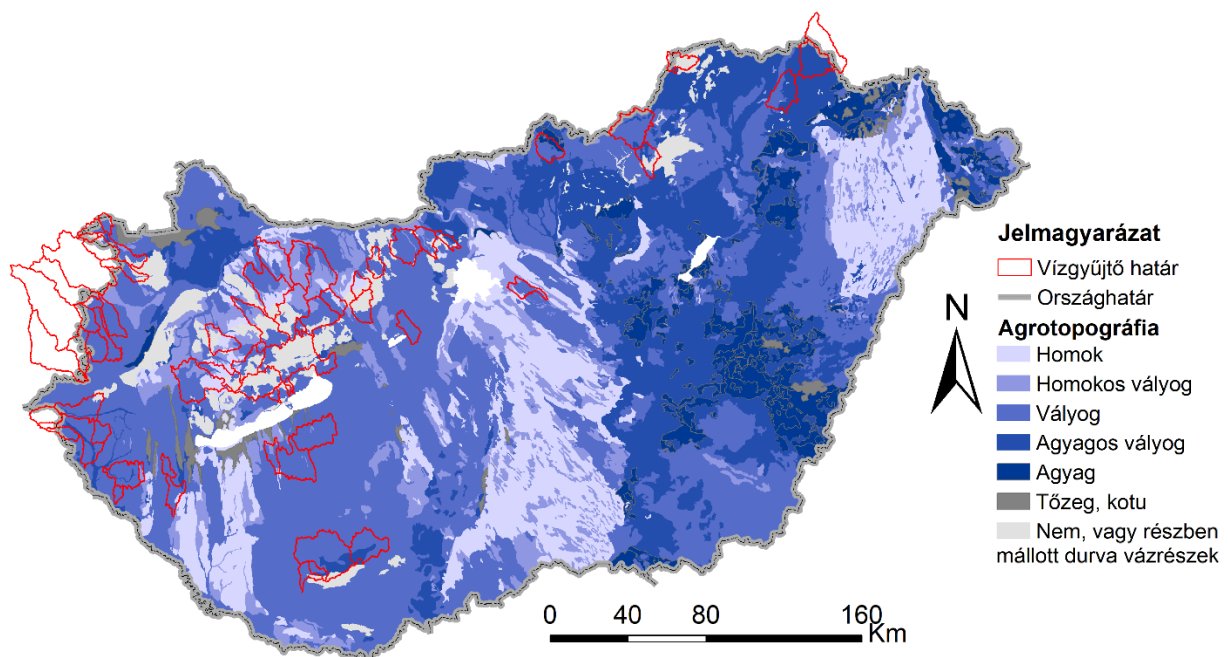


3. ábra: Területhasználati térkép

2.4 Talajtani viszonyok

Az 4. ábrán az ország agrotopográfiai térképe látható, amelyről a vízgyűjtő területek talajfélésegei ismerhetők meg. Az agrotopográfiai térképeket a Magyar Tudományos Akadémia Talajtani és Agrokémiai Kutatóintézete készítette. A térkép a talajok fizikai félesége alapján készült, és hét csoportot különít el. [55]

A térképről következtetve a vizsgált vízgyűjtők jelentős része vályog, illetve agyagos vályog talajon található. A Bakonyban nagyobb mennyiségben homokos vályog, emellett pedig durva vázrészeket tartalmazó talaj a jellemző.



4. ábra: Talajfélések területi megoszlása

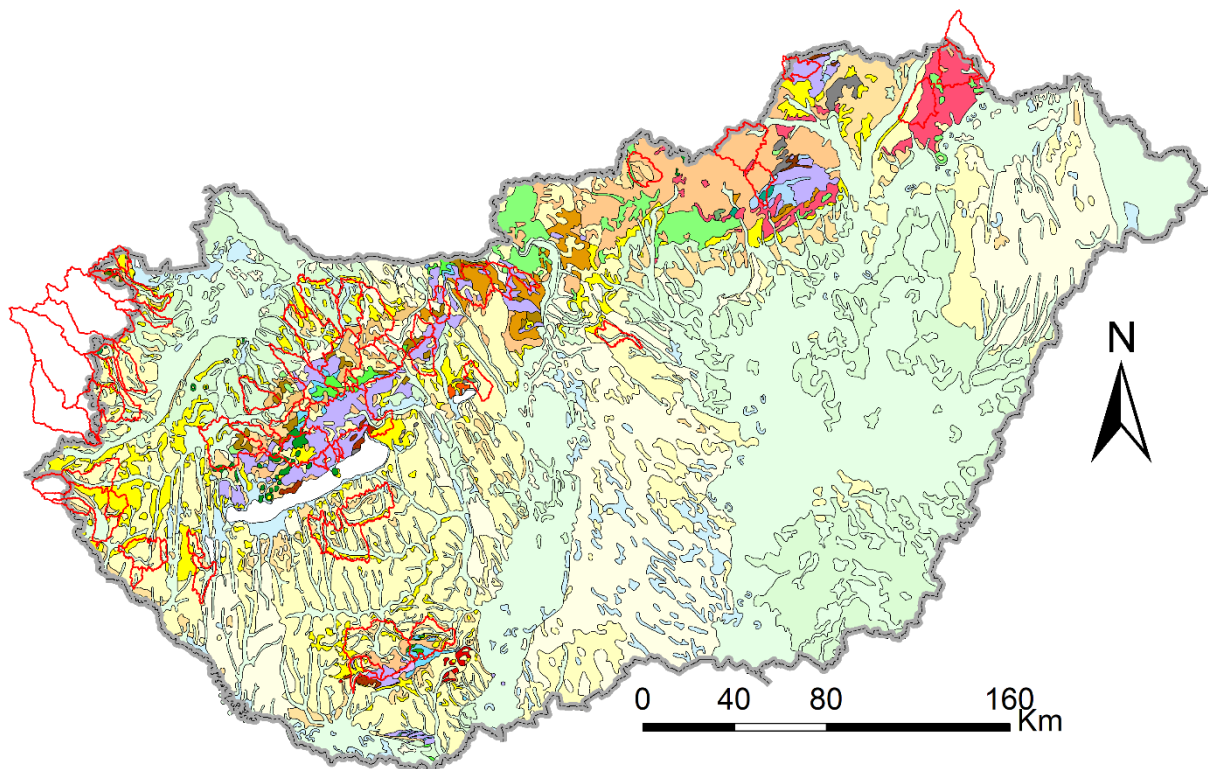
2.5 Geológia

A 5. ábrán látható Magyarország geológiai térképe. A térképhez tartozó jelmagyarázat a nagy méretéből adódóan a térképtől külön, a 2. számú mellékletben található. Azt a térképpel összevetve megállapítható, hogy az általam vizsgált vízgyűjtő területeken milyen alapkőzet a jellemző. [6]

Az Északi-középhegység területén többnyire homokkő és mészkő a jellemző, de a Zemplénben nagyrészt gránit található. Az Alpokalján löszös, illetve folyóvízi üledék található. A Dunántúl többi részén igen nagymértékű az alapkőzetek változatossága. Ezeken a területeken fellelhető többek között agyag, mészkő, valamint bazalt is.

A nyugati országhatáron túlnyúló vízgyűjtő területek az Alpokalján találhatóak, ezeken a vidékeken is löszös, mészköves alapkőzet a jellemző.

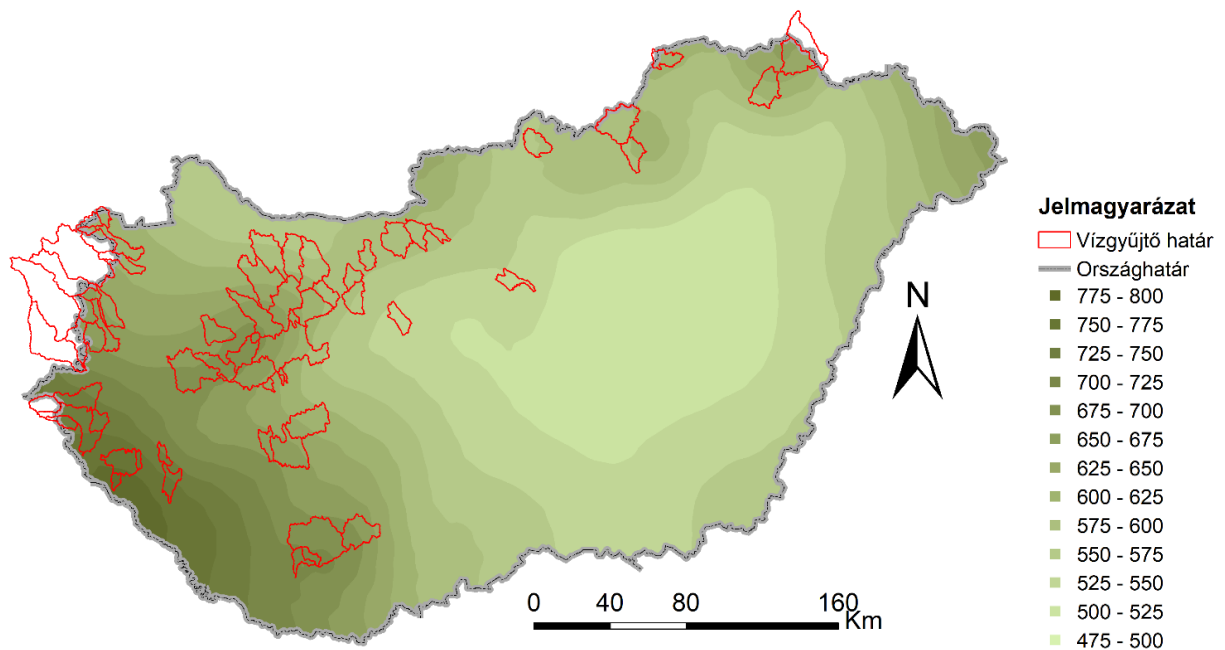
Karsztosodásra hajlamos kőzet a mészkő és a dolomit. A vízgyűjtők körülbelül egyharmadában fellelhetők ezek a kőzetek. Azért fontos számunkra ezek jelenlétének az ismerete, mert máshogyan viselkednek a víz hatására, mint a legtöbb kőzetszerűség. A karsztos kőzetekben vízáramlás, barlangok alakulhatnak ki, amelyek a vízgyűjtők pontos lehatárolását megnehezítik, ugyanis a felszíni lefolyás mellett adott vízgyűjtőkben többlet vízmennyiség jelenhet meg a karsztos kőzetekben és azok üregeiben való felszín alatti vízmozgások miatt. [7]



5. ábra: Magyarország geológiai viszonyai [6]

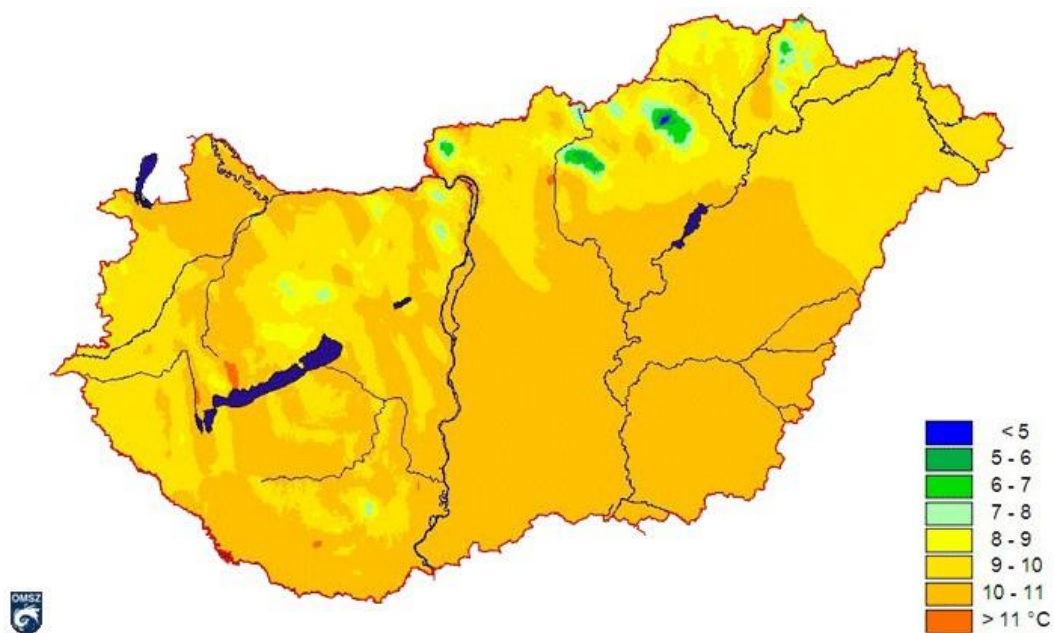
2.6 Éghajlat

A 6. ábra az 1961 és 1990 közötti időszak évi átlagos csapadékösszegeit mutatja. A GIS által kezelhető adatbázisban nem állt rendelkezésemre frissebb adat az ország hőmérsékleti átlagértékeit illetően. A térkép bázisidőszaka nem egyezik a dolgozatban vizsgált bázisidőszakkal, azonban közelítő értéket ad az éves csapadékösszegek meghatározásához. A térképről meghatározható, hogy a vízgyűjtők nem a csapadékszegény országrészekben találhatóak. Magyarország átlagos évi csapadékösszege 500-750 mm, ez alapján a vizsgált területek csapadékösszegei is átlagosnak tekinthetők. [6], [8]



6. ábra: Átlagos évi csapadékatatok 1961-1990 [66]

A 7. ábrán Magyarország évi átlaghőmérsékleti megoszlása látható. Az ArcGIS program által kezelhető formátumban nem található olyan térkép, amely részletes képet adna az országosan mért értékekről. Emiatt ezt a térképet az Országos Meteorológiai Szolgálat honlapjáról töltöttem le. Az adatok szórása 5-6 °C, a leghidegebb régió az Északi-középhegység vidéke, a legmelegebb pedig az Alföld. Az általam vizsgált vízgyűjtők többségére 9-11 °C, míg az Északi-középhegységben található néhány vízgyűjtőre 5-7 °C a jellemző évi átlagos hőmérséklet. Ennek következtében előfordulhat, hogy egyes vízgyűjtőkön a hóolvadásból származó árhullámok a mértékadók. [8]

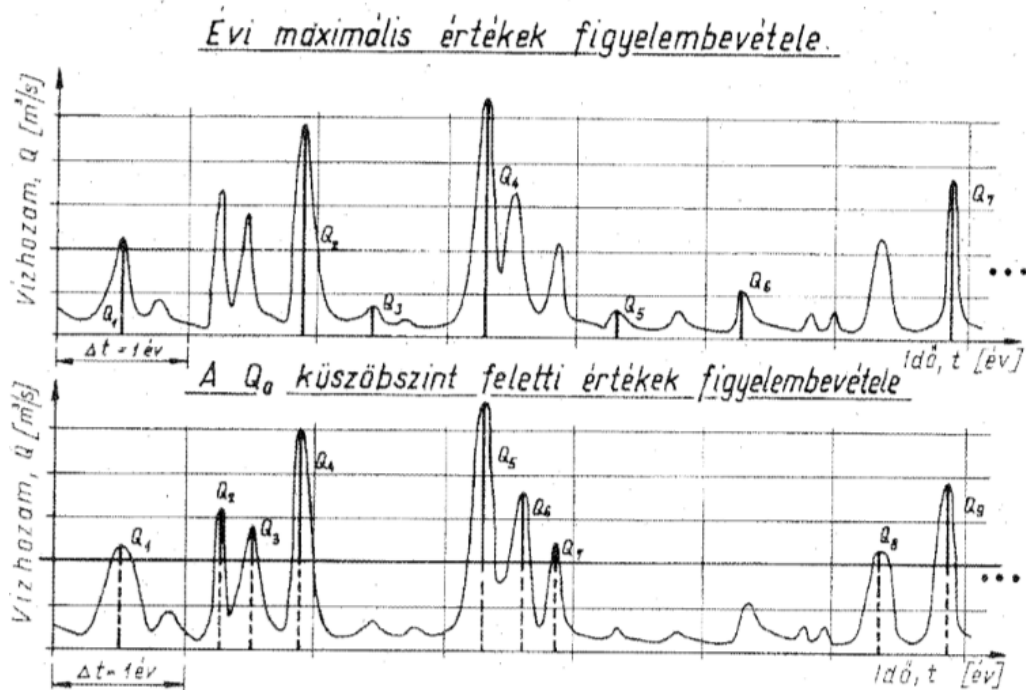


7. ábra: Évi átlaghőmérséklet 1971-2000 [67]

3 Mértékadó vízhozamok számítása eloszlásfüggvények illesztésével

3.1 Vízhozam idősorok vizsgálata

Az adatok nem egyenlő időlépésekben voltak adottak számomra, ezért szükséges volt ezt egységesíteni. Ahogyan korábban is említettem, az órás vízhozam idősorokat lineáris interpoláció segítségével határoztam meg. Mivel a vizsgálatom a nagyvízi vízhozamok feldolgozásán alapul, ezért az extrém értékek statisztikájával dolgoztam. Ehhez elvégeztem a maximumok kiválogatását. Erre azért volt szükség, mert így az eloszlásfüggvények illesztése és értékelése várhatóan pontosabb képet ad majd. A KoKoWin (Kontur István, Koris Kálmán, Winter János: Hidrológiai számítások, 2003.) leírásai alapján két megközelítés létezik ezen értékek kiválogatására. Az egyik az évi maximális vízhozamok összegyűjtése, és az ezekkel való számítás lett volna. [9] Ezt azért vetettem el, mert vannak csapadékosabb és szárazabb évek. Voltak a vizsgált időszakban olyan évek, amelyekben több árhullám is levonult a vízfolyásokon, és ha ezek közül csak a legnagyobb értéket vettem volna figyelembe, akkor több, a számításokat jelentősen befolyásoló érték került volna ki a felhasznált vízhozam adatok listájából. Ugyanezen a gondolatmeneten haladva pedig olyan értékek is bekerülhettek volna egy-egy szárazabbnak mondható évből, amelyek nem tartoznak a nagyvízes időszakok vízhozamai közé. Eszerint az éves maximumok helyett egy általunk meghatározott küszöbszint-vízhozam feletti értékek kerülnek felhasználásra. [10] A küszöbszint feletti értékek közül is csak a csúcserkékek kerülnek kiválogatásra. Ez alapján, ha két egymást szorosan követő árhullám között a vízhozam nem csökken a küszöbszint alá, akkor a 2 árhullám közül csak a nagyobb csúccsal rendelkező hullám értéke kerül rögzítésre. Ezzel a módszerrel kiküszöbölhetők a korábban említett problémák. A 8. ábra szemlélteti a két módszer közötti különbségeket, amelyek alapján szemmel látható, hogy milyen eltérések alakulhatnak ki a két számítási módszer eredményei között.

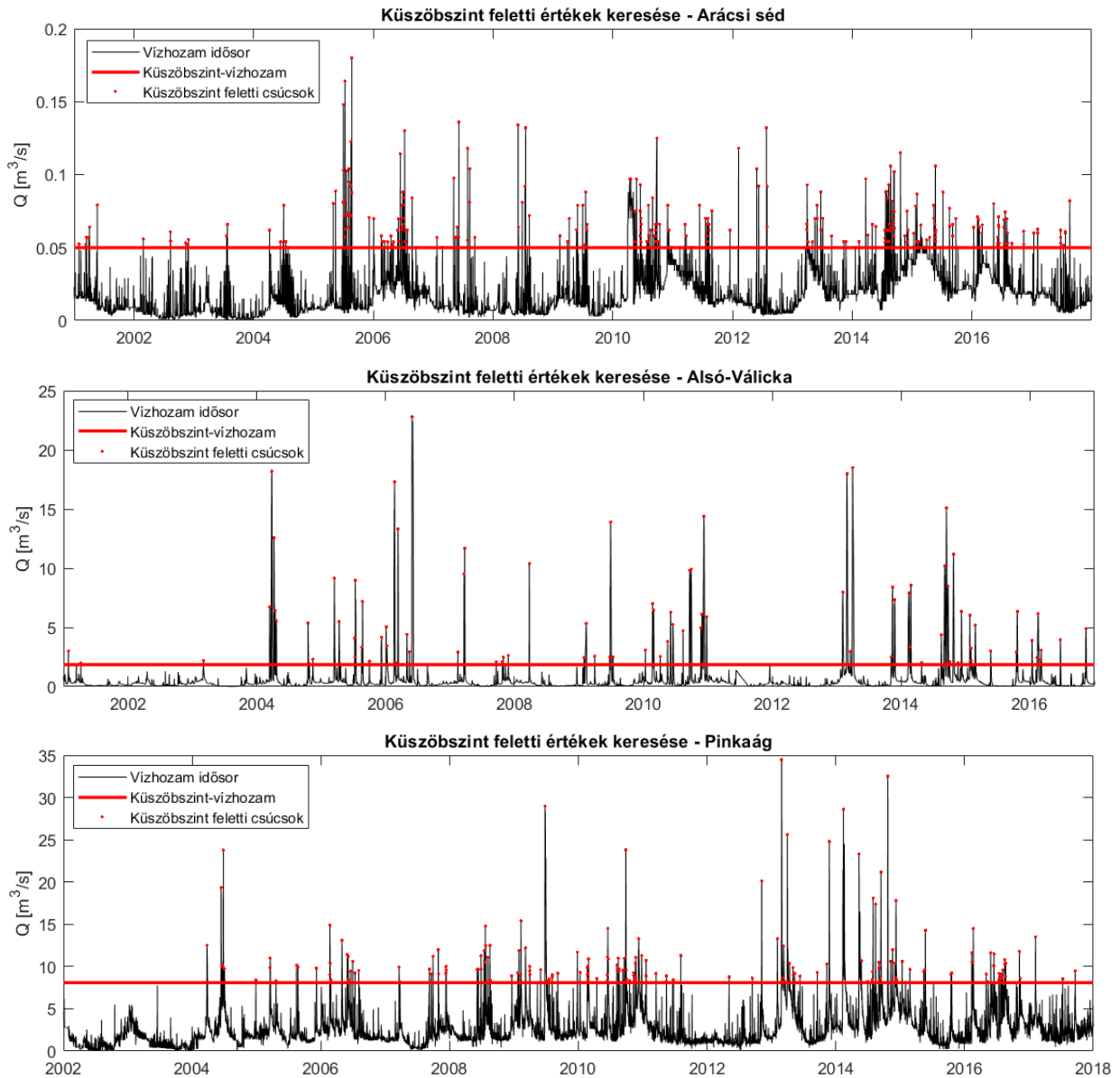


8. ábra: Évi maximális és küszöbszint feletti vízhozamok összevetése [9]

A küszöbszint meghatározása egyedi, én az egyes adatsorok átlagát vettem első lépésben küszöbértéknek. Mivel az így megkapott empirikus eloszlásfüggvények nem követték egyik elméleti eloszlást sem, amelyet illesztettem rájuk, ezért a küszöb értékét változtattam. Kézi kalibrálással arra az eredményre jutottam, hogy a legoptimálisabbnak az idősorok átlagának a háromszorosa bizonyul. [11] Ennek következtében a vizsgálataimat ezzel az értékkel folytattam. A későbbiekben ezt a lépést is célszerű lenne automatizálni, amellyel egyszerűbbé és pontosabbá válhatna a küszöbérték kiválasztása. A későbbiekben érdemes lesz megvizsgálni, hogy van-e összefüggés a vízgyűjtők jellemzői, mint például a területük és az optimális küszöbszint között. Amennyiben kiderülne, hogy ezen jellemzők között van kapcsolat, akkor azt a megközelítést is célszerű lesz megvizsgálni, hogy nem ugyanolyan arányú küszöbérték-vízhozammal dolgozunk az összes adatsor esetében. Egy lehetőség lenne megvizsgálni, hogy több csoportra osztjuk területnagyság szerint a vízgyűjtőket és a csoportokon belül egységesítenénk a küszöbszint számítását. Ezen módszer használhatóságára napjainkban végeznek kutatásokat, ami által még pontosabb számítási eredményeink lehetnek majd. [12]

A MATLAB-ban megírt funkciót az összes adatsorra lefuttattam, amelynek az eredményeit ábrázoltam is. A 9. ábra első példáján az Arácsi séd vízfolyás, tehát a legkisebb vízgyűjtő adatsorának ábrája látható, amelyen 355 küszöb feletti érték került kiválasztásra. A második ábrán az Alsó-Válicka vízfolyás adatsora látható, amely átlagos nagysággal rendelkezik az vizsgált vízgyűjtők közül. Az ábrán is megfigyelhető, hogy 94 vízhozamadatot választott ki a

funkció a küszöbérték felett. A legnagyobb vízgyűjtő területtel rendelkező vízfolyás adatsorát tartalmazza a legalsó ábra. A Pinkaág vízgyűjtőjének értékei közül 189 vízhozam lett küszöbszint felett rögzítve.

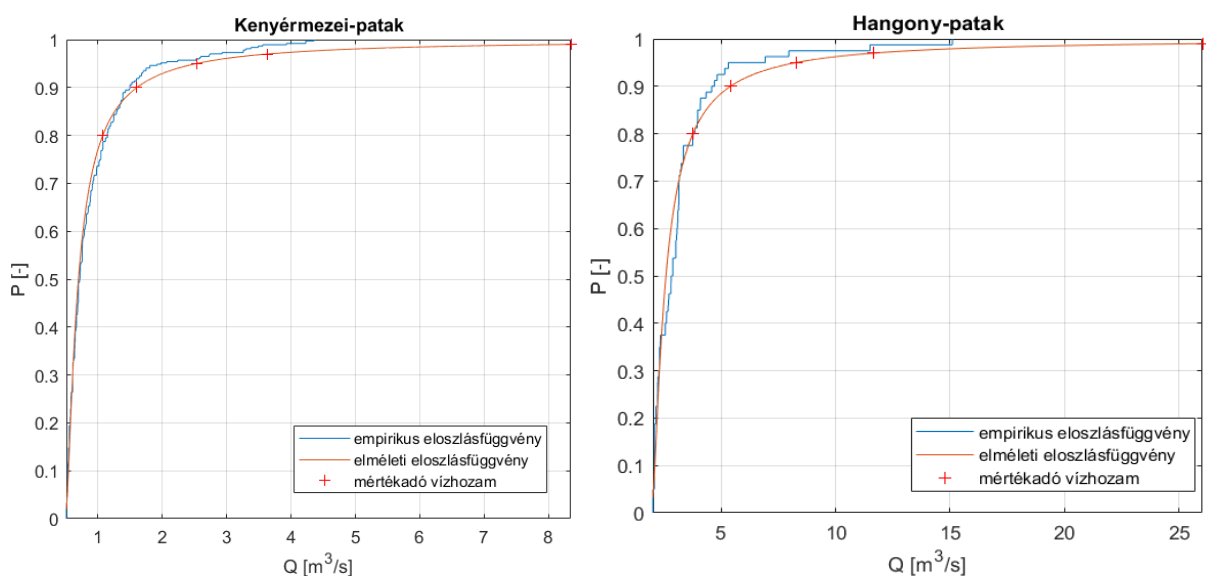


9. ábra: Példa a küszöbszint feletti értékek kigyűjtésére

3.2 Elméleti eloszlásfüggvények illesztése

Az empirikus eloszlásfüggvények elkészítése után következett az elméleti eloszlásfüggvények közül annak a megkeresése, amely a leginkább illeszkedik a vizsgált vízhozam adatokra. Ebben a lépésben több, a MATLAB-ba beépített elméleti eloszlásfüggvényt illesztettem az adatsorokra. A MATLAB maximum likelihood módszerrel illeszt eloszlásokat, tehát a legnagyobb valószínűség elvét követi. [13] Külön vizsgáltam egy kisebb, egy nagyobb és egy

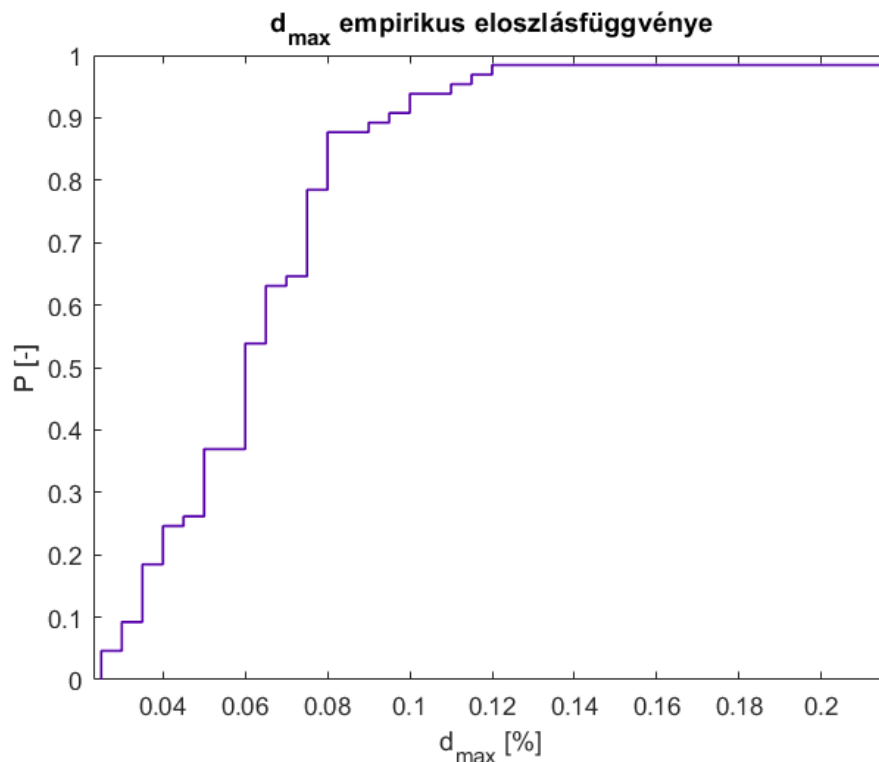
közepes területtel rendelkező vízgyűjtőt. Mindegyikre illesztettem 16 féle elméleti eloszlásfüggvényt. Több olyan eloszlás is volt ezek között, amelyek ismertebbek, gyakrabban használtak a hidrológiában is. Ilyen volt többek között a normál, a lognormál, az exponenciális és a Gamma eloszlás is. Ezek nem mutattak megfelelő illeszkedést egyik adatsor empirikus eloszlásfüggvényére sem, ami nem meglepő, hiszen nem extrém érték eloszlások. Mivel küszöbszint feletti értékekkel dolgoztam, ezért az tűnt a legvalószínűbbnek, hogy az extrém értékekkel dolgozó eloszlásfüggvények valamelyike mutatja majd a legjobb illeszkedést. [14] Az elméleti eloszlásfüggvények közül valóban az általánosított extrém-érték (GEV) eloszlás illeszkedett leginkább a korábban ábrázolt empirikus eloszlásfüggvényekre. [15] Azért választottam három különböző mérettel rendelkező vízgyűjtőt, mert a méretbeli különbségek miatt feltételezhető volt, hogy nem ugyanaz az elméleti eloszlásfüggvény mutatja majd a legjobb illeszkedést. Azonban az ábrák elkészülése után látható volt, hogy mérettől függetlenül, minden vízgyűjtőn ez a függvény lesz a leginkább megfelelő. Ennek ismeretében minden vizsgált terület empirikus eloszlásfüggvényére ezt az elméleti eloszlásfüggvényt illesztettem. Sajnos a nagyvízhozamok tartományában a legrosszabb az illeszkedés, ellenben a gyakrabban előforduló, kisebb vízhozamok esetén jobb közelítést mutat az eloszlás. A 10. ábra szemlélteti az egyik legjobb és egy rosszabb illeszkedést bemutató empirikus és elméleti eloszlásfüggvényeket. A bal oldali ábrán 2,5% volt a legnagyobb eltérés, míg a jobb oldalin előfordult 12% is. Az ábrákon piros keresztekkel az 5 különböző (1, 3, 5, 10, 20%) valószínűséghez tartozó mértékadó vízhozam van jelezve. Azért ezzel az öt előfordulási valószínűséggel dolgozom, mert az empirikus számítási módszerek ezeket fogják előállítani.



10. ábra: Példa egy jó és rosszabb illeszkedést mutató eloszlásfüggvényekre

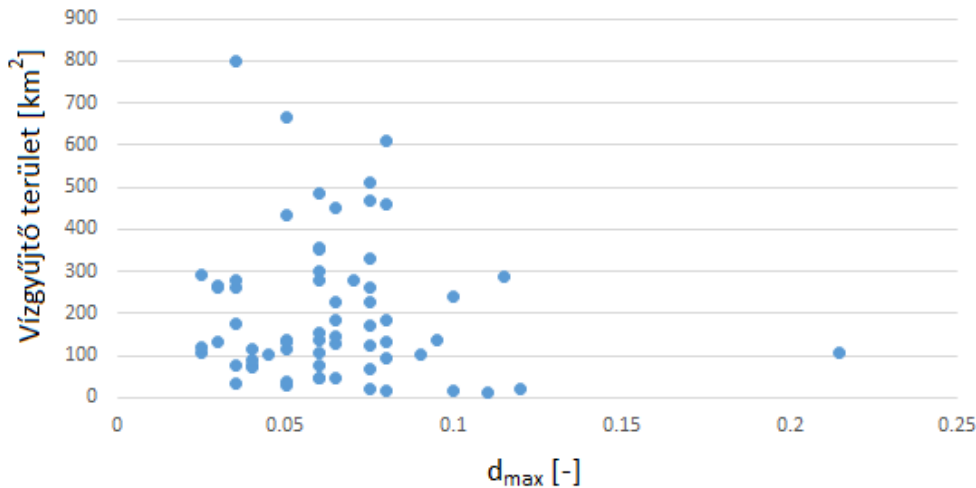
3.3 Illeszkedés vizsgálata

Az empirikus és elméleti eloszlásfüggvények illeszkedésének megállapításához az ábráról leolvastam a d_{\max} értékeket. Ez az érték azt mutatja meg, hogy mekkora a legnagyobb eltérés a két függvény között az adott vízhozamértékeknél. [16] Az értékek empirikus eloszlásfüggvényét is elkészítettem, amelyet a 11. ábra szemléltet. Látható, hogy a legtöbb érték 5-8%-os legnagyobb különbséget mutat. A maximális eltérés több mint 20% volt, azonban ez csak egyetlen vízgyűjtőnél fordult elő. A legpontosabban illeszkedő eloszlások között csupán 2,5% volt az eltérés. Az adatok 90%-a legfeljebb 8%-os különbséget mutat, ezáltal az eredmények egyelőre kielégítő pontosságúak. Az illeszkedésvizsgálatokat nem végeztem el ennél részletesebben, mert úgy gondolom, hogy a kutatás folytatásában meg kell győződni arról, hogy az általánosított extrém-érték eloszlásfüggvény-e az, amely a legjobb illeszkedést mutatja a vizsgált vízgyűjtők adataira, emellett a küszöbszintek legelőnyösebb értékét is célszerű előtte meghatározni. A későbbiekben szeretnék pontos képet kapni arról, hogy mennyire pontos illeszkedést mutatnak az eredményeim a Kolmogorov-Szmirnov-próba alkalmazásával.



11. ábra: A különbségek empirikus eloszlásfüggvénye

Szerettem volna összefüggést találni a vízgyűjtők területe és a maximális eltérések értékei között, emiatt elkészítettem a 12. ábrán látható pontdiagramot. Mint megfigyelhető, a két érték között nincs egyértelmű kapcsolat, korreláció nem tapasztalható.



12. ábra: Maximális eltérések a terület függvényében

3.4 Mértékadó vízhozamok meghatározása

Az ezzel a módszerrel meghatározott mértékadó vízhozamok az elkészített elméleti eloszlásfüggvényekkel kerültek meghatározásra. Az 1, 3, 5, 10 és 20%-os előfordulási valószínűségű vízhozamokat olvastattam ki a szoftver segítségével, amelyeket ábrázoltam az eloszlásfüggvényeket tartalmazó ábrákon. Erre mutat példát a 19. ábra. A vízgyűjtő területek mértékadó vízhozamainak pontos értékeit egy mátrixban összesítettem, amely leegyszerűsíti a későbbiekben meghatározott tapasztalati számítási módszerekkel meghatározott mértékadó vízhozamokkal való összehasonlítást.

4 Mértékadó vízhozamok számítása empirikus módszerekkel

4.1 Morfológiai paraméterek

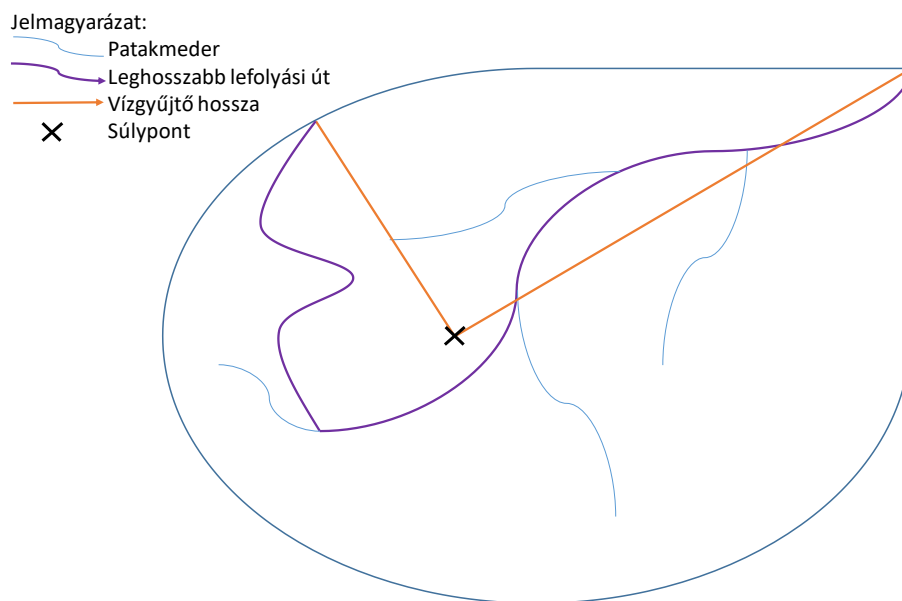
A vizsgált vízgyűjtő területek ArcGIS program segítségével korábban lehatárolásra kerültek. Ezek országon belüli elhelyezkedése megtekinthető az 1. ábrán.

Az ArcGIS adataiból meghatározásra kerültek a vízgyűjtő területeket jellemző értékek. A 14. ábra bal felső grafikonján a vízgyűjtők területeinek empirikus eloszlása látható. Ez alapján megállapítható, hogy a vizsgált területek jelentős része (80%-a) 300 km² alatti területtel

rendelkezik. A legnagyobb területtel rendelkező vízgyűjtő 799 km² területet ölel fel. A legkisebb 13,5 km² nagyságú, az átlagos terület pedig körülbelül 200 km².

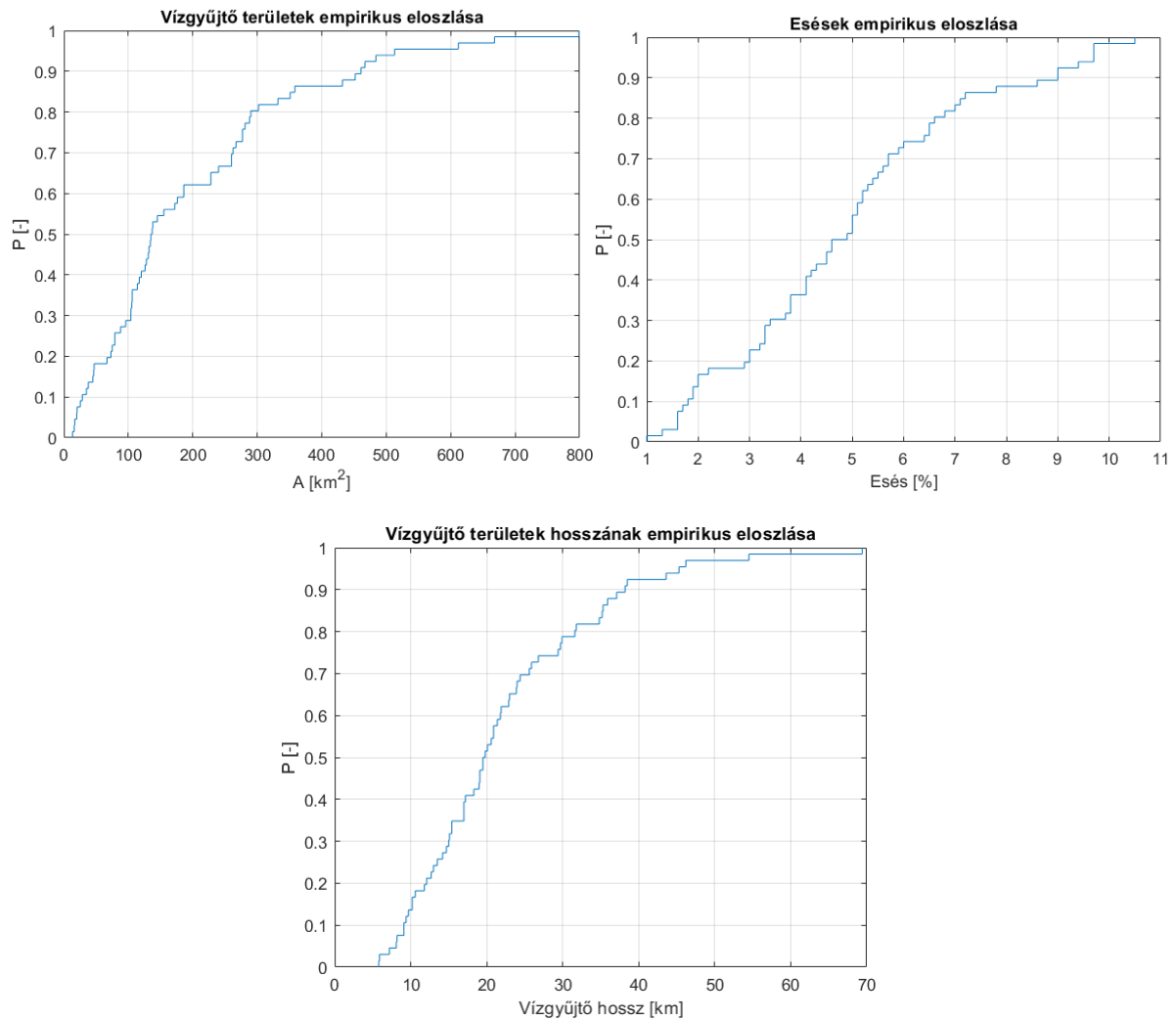
A 14. ábra jobb felső sarkában található függvény a vízgyűjtő területek átlagos esését mutatja be empirikus eloszlásfüggvény segítségével. Megfigyelhető az ábrán, hogy a területek többségének 3-7% közötti az átlagos esése. A legkisebb átlagos eséssel rendelkező terület esetén 1%, a legnagyobb átlagos esésű vízgyűjtőn pedig több mint 10%-os átlagos esés tapasztalható. Az általam vizsgált területek átlagos esésének középértéke közel 5%.

Az 14. ábra alsó sorában a vízgyűjtők hosszának empirikus eloszlása figyelhető meg. Ebből látszik, hogy a legtöbb vízgyűjtő terület hossza 30 kilométer alatti, míg előfordul közel 70 kilométeres hossz is. Az adatok között előforduló legkisebb hossz kevesebb, mint 6 kilométer. A 65 vízgyűjtő terület hosszának az átlaga pedig 22 kilométer. Azokat a hosszakat vettem alapul az ábra elkészítéséhez, amelyek a vízgyűjtő legtávolabbi pontját a vízgyűjtő terület súlypontjával, majd azt a kifolyási szelvényvel összekötő törtvonalal azonosak. Ez a törtvonal a vízgyűjtő hossza. A 13. ábra szemlélteti a vízgyűjtő területet, a rajta elhelyezkedő vízfolyásokat, illetve a leghosszabb lefolyási útvonal és a vízgyűjtő hossza közti különbséget.



13. ábra: A lefolyási út meghatározása

A vízgyűjtő területek nagyságának, a vízgyűjtő hosszának és átlagos esésének pontos értékeit az 1. számú melléklet tartalmazza.



14. ábra: A vízgyűjtők jellemzőinek empirikus eloszlásfüggvényei

4.2 Empirikus számítási módszerek

4.2.1 OVF 2001-es módszer

A legújabb árvízszámítási módszer az Országos Vízügyi Főigazgatóság által került elkészítésre, amely a hazai hegy- és dombvidéki kisvízgyűjtőkre lett kialakítva. A módszer lényege, hogy az országot hat, egymástól elkülönülő lefolyási régióra osztja fel és ezeket külön kezeli a számítások során. [17] Ezt térképen is szemléltetik. A dombvidéki területek azon részterületein nem alkalmazható ez az eljárás, ami teljesen sík, vagy belvízi öblözet jellegű, illetve, ahol kisesésű csatornák húzódnak. A számítás a 2 és 6000 négyzetkilométer közötti területtel rendelkező vízgyűjtők esetében alkalmazható. A segédlet által közvetlenül az 1, 3, 5, 10 és 20%-os előfordulási valószínűségű vízhozamok határozhatók meg, de ezek ismeretében lineáris interpolációval bármely, az 1-20%-os intervallumban található kívánt valószínűségre tudunk

számítást végezni. A 100 évesnél ritkább visszatérési időre ezzel a módszerrel nincs lehetőségünk meghatározni a mértékadó vízhozamot. Az 5 évnél gyakrabban előforduló vízhozamokat extrapolálással lehet meghatározni. Az árvízszámítási segédletben megtalálhatóak a régiók nevei, a lehatárolásukat bemutató térkép, illetve a $q_{5\%}$ meghatározásához szükséges ábrák régióként. A módszer során szükséges a vízgyűjtő területet valamelyik régióba besorolni, amely alapján meghatározható a $q_{5\%}$ -os fajlagos vízhozam a rendelkezésünkre álló ábrák alapján. [18] A különböző előfordulási valószínűségek szorzótényezőit az 1. táblázat tartalmazza.

1. táblázat: Szorzótényezők a valószínűség függvényében [18]

Előfordulási valószínűség	1%	3%	10%	20%
a_p [-]	1,7	1,2	0,8	0,6

Ezekhez a valószínűségekhez tartozó mértékadó vízhozamokat a következő alapján lehet meghatározni:

$$Q_{p\%} = A \times a_p \times q_{5\%} \quad [18]$$

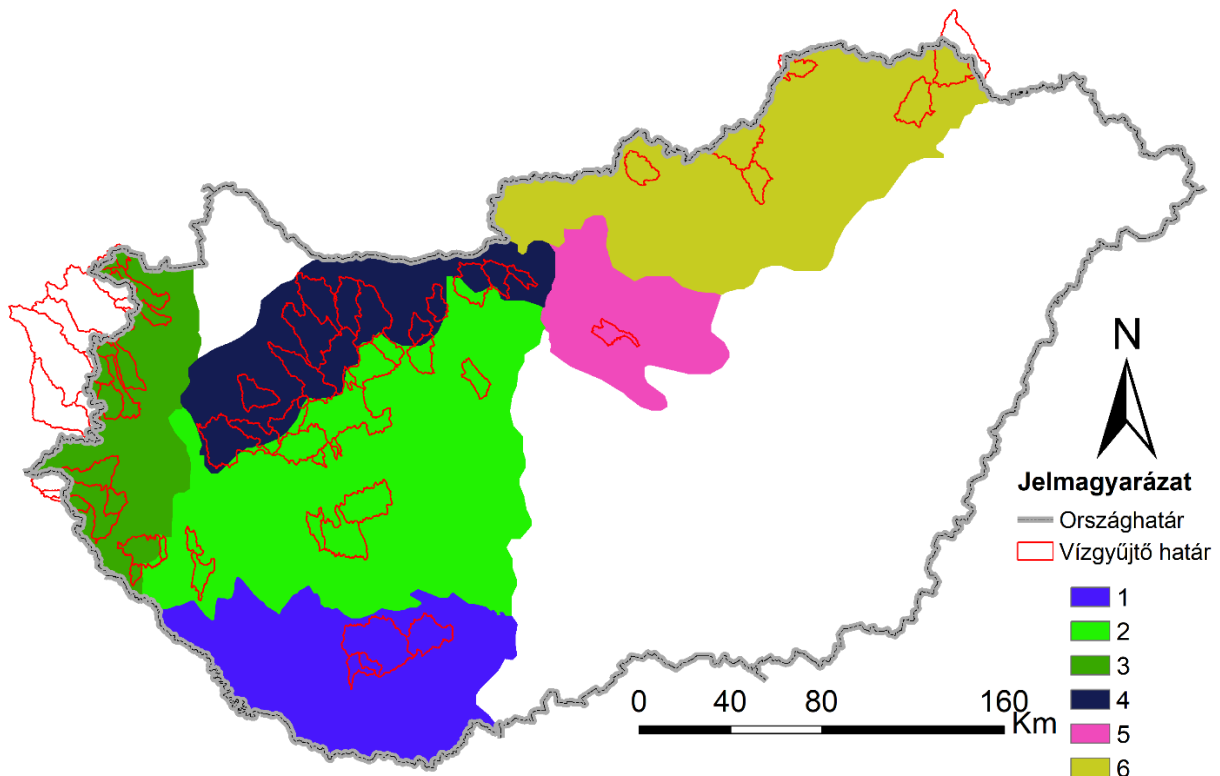
ahol A – a vízgyűjtő területe [km^2],

a_p – a valószínűségek szorzótényezője [-],

$q_{5\%}$ - 5%-os fajlagos vízhozam [$\text{m}^3/\text{s} \cdot \text{km}^2$].

A vizsgálatom során az első lépésként az Országos Vízügyi Főigazgatóság által kiadott segédletben megtalálható térképet és a régiókénti ábrákat digitalizáltam. A térképet AutoCAD Civil3D szoftver segítségével megrajoltam, ezt követően pedig ArcGIS programban a MATLAB által kezelhető ASCII formátumra lett alakítva. Ennek eredményét mutatja a 15. ábra. Az ábra színek kódjai a következők [18]:

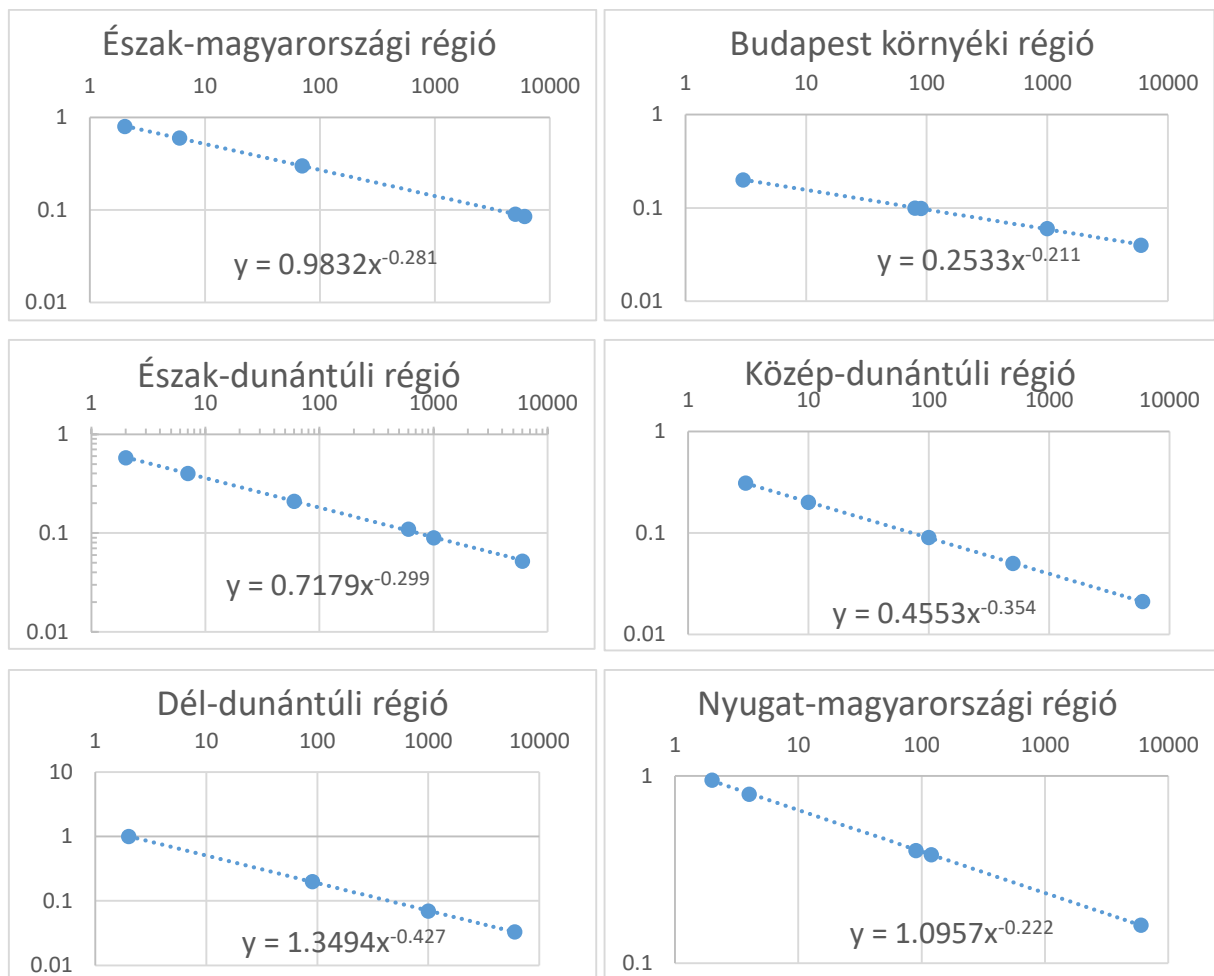
1. Dél-dunántúli régió
2. Közép-dunántúli régió
3. Nyugat-dunántúli régió
4. Észak-dunántúli régió
5. Budapest-környéki régió
6. Észak-magyarországi régió



15. ábra: A lefolyási régiók térképe

Ezt követően az 5%-os fajlagos vízhozamok meghatározásához szükséges grafikonokat Excel segítségével elkészítettem. Ezeket a függvényeket szemlélteti a 16. ábra, amelyeket régióként 4-5 pontpár ismeretében készítettem el. A függvények mellett láthatóak az egyenesek egyenletei, amelyek eredményei felhasználásra kerültek a MATLAB funkció megírásánál.

A megírt funkció a fent leírt egyenlettel dolgozik, és az Egységes Országos Vetületi rendszerben meghatározott kifolyási koordináták ismeretében a beolvasott 15. ábrán látható térképből kiolvassa, hogy melyik régióban található a vízgyűjtő terület. A $q_{5\%}$ -os fajlagos vízhozamokat az egyenesek egyenleteinek konstansai segítségével határozza meg. A mértékadó vízhozamok számításához szükség volt a vízgyűjtők területének, valamint a valószínűségi szorzók ismeretére. Ezek alapján eredményül egy mátrixot kaptam, amelynek az oszlopaiban a különböző előfordulási valószínűségekhez tartozó, a soraiban pedig az egyes vízgyűjtőkhöz tartozó mértékadó vízhozamok értékei találhatóak. A módszerrel az 1, 3, 5, 10 és 20%-os előfordulási valószínűségekhez tartozó értékeket mind számítottam.



16. ábra: Fajlagos árvízhozamok függvényei régiónként

4.2.2 Csermák-féle árvízszámítási módszer

Ez a típusú számítás szintén hazai adatok alapján került kidolgozásra, és a hazai adatsorok jellemzőit a legjobban tükrözi. Ennek a számításához szükséges adat a vízgyűjtők területe, a Csermák-féle árvízi tényező, és a valószínűség szorzótényezője. A módszer a 3%-os előfordulási valószínűséghez tartozó mértékadó vízhozamot határozza meg. Ez a számítási eljárás alapvetően 25 négyzetkilométer feletti vízgyűjtők esetén alkalmazható. [19] Ehhez a következő képlet használatára van szükség:

$$Q_{3\%} = B \times \sqrt{A} \quad [20]$$

ahol B – Csermák-féle árvízi tényező [-],

A – a vízgyűjtő területe [km^2].

A Csermák-féle árvízi tényező meghatározásához a KoKoWin-ben rendelkezésre áll egy Magyarország térkép, amelyen izovonalakkal jelölve vannak a különböző tényezők által határolt területek. Ezen a térképen megfigyelhető, hogy a síkvidéki területek vízhozamainak számítására nem alkalmas ez az eljárás, hiszen ott izovonalak nem találhatók. [21]

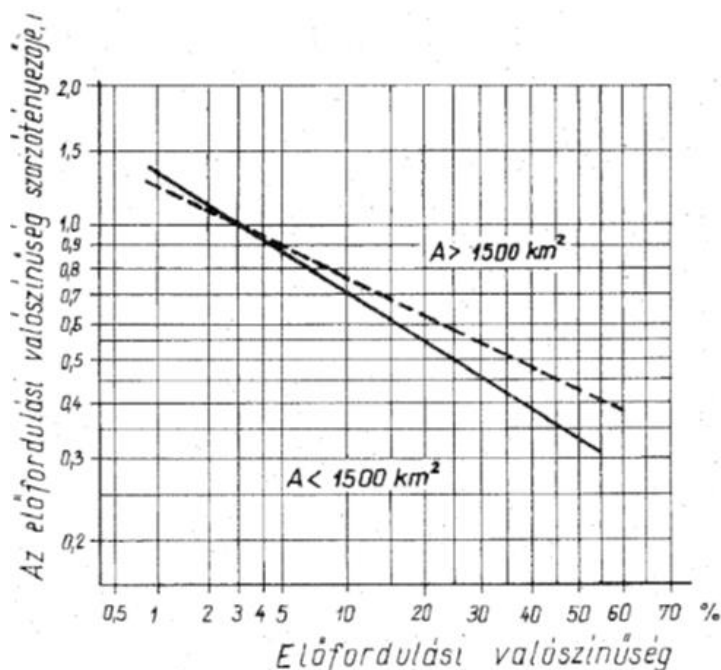
Ahogy korábban említettem, alapvetően a 25 négyzetkilométernél nagyobb vízgyűjtők vizsgálatára alkalmas a módszer, viszont kidolgozták a kisebb területekre alkalmazható képleteket is. Ezek alapján megkülönböztetünk 0-5, 5-10 és 10-25 négyzetkilométer területű vízgyűjtőket, ezek képleteit a következő egyenletek mutatják be. [22]

$$\text{Ha } A < 5 \text{ km}^2 \quad Q_{3\%} = B \times A \quad [22]$$

$$\text{Ha } 5 \text{ km}^2 < A < 10 \text{ km}^2 \quad Q_{3\%} = B \times \sqrt[4]{A^3} \quad [22]$$

$$\text{Ha } 10 \text{ km}^2 < A < 25 \text{ km}^2 \quad Q_{3\%} = B \times \sqrt[3]{A^2} \quad [22]$$

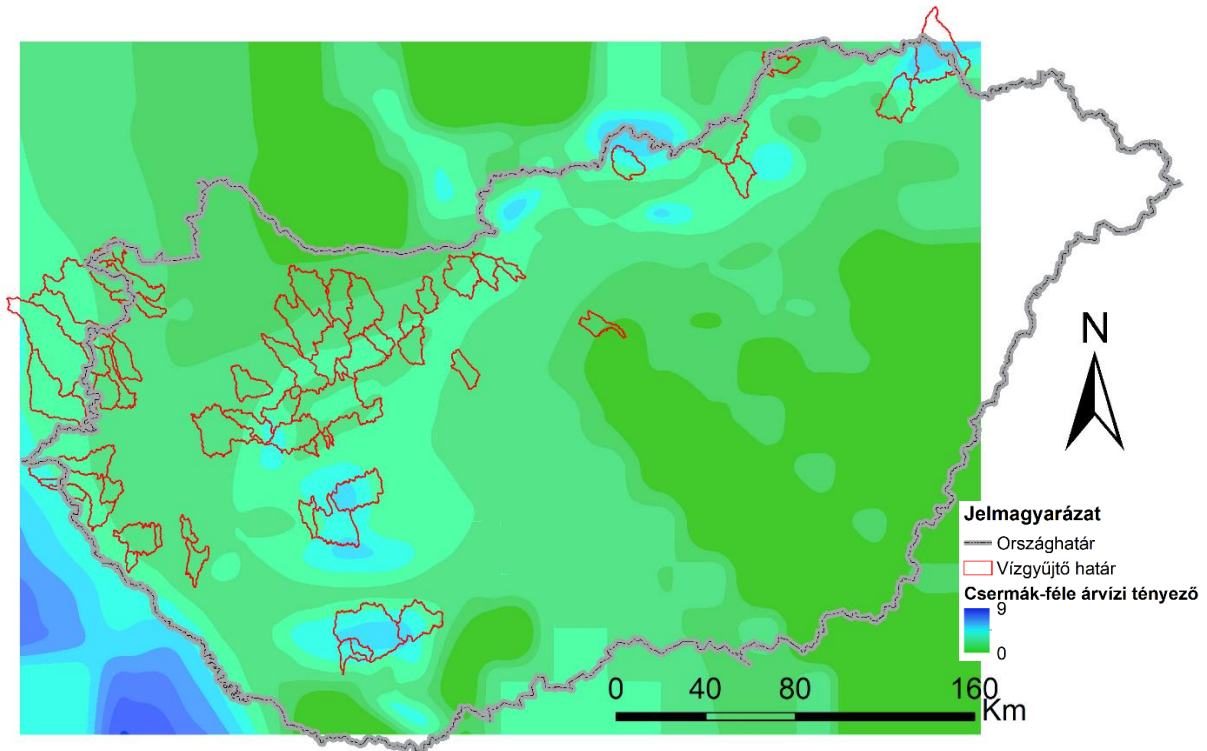
A 3%-os előfordulási valószínűséghez tartozó vízhozamok ismeretében meg tudjuk határozni a további valószínűségekhez tartozó mértékadó vízhozamokat. Ehhez nyújt információt a korábban említett, valószínűségi szorzók megismeréséhez segítséget nyújtó függvény, amely a 17. ábrán látható. Ennek a változónak a meghatározásához a vízgyűjtők területe csak két csoportra oszlik, az 1500 négyzetkilométer feletti és az alatti területtel rendelkező régiókhoz két különböző egyenes áll rendelkezésre a leolvasáshoz.



17. ábra: A valószínűség szorzótényezőjének meghatározása [9]

A második tapasztalati számítási módszer, amelyet a vizsgálataim során alkalmaztam a Csermák-féle eljárás volt. Azért választottam ezt a módszert, mert az Országos Vízügyi Igazgatóság által fejlesztett eljárás segédlete azt tartalmazza, hogy ezen két módszer összehasonlítása a legcélszerűbb. [18]

A feladat első lépése ennél az eljárásnál is a térkép és az ábra automatizálása volt. A Csermák-féle árvízi tényező meghatározásához szükséges térképet szintén AutoCAD Civil3D és ArcGIS programok használatával dolgoztam fel. Ennek során a térképen található izovonalakat létrehoztam elektronikus formában, majd ezekre egy felület lett illesztve. Ez azért hasznos, mert a későbbi számítások során a meglévő vonalak között elhelyezkedő területek esetén lineáris interpoláció segítségével pontos árvízi tényezőket tudunk meghatározni. A valószínűségi szorzó függvényét is előállítottam Excel diagram formájában. A 18. ábrán látható az automatizált térkép, amelyen az általam vizsgált vízgyűjtő területeket is jelöltem. A térképen látható, hogy a korábban említett alföldi területekre, illetve az országhatáron túlra is meghatározta a GIS a vonalakra illesztett felületet. Ezt extrapolálással hajtotta végre, viszont a számításaimat nem befolyásolta, hiszen ezeken a síkvidéki területeken nem található vizsgált vízgyűjtő.



18. ábra: Csermák-féle árvízi tényező térképe

A MATLAB-ban ismét egy külön erre az eljárásra elkészített funkció segítségével határoztam meg a mértékadó vízhozamok értékét. A korábbi előfordulási valószínűségekhez hasonlóan ebben az esetben is az 5, 10, 20, 33 és 100 éves visszatérési valószínűségű mértékadó vízhozamokat határoztam meg. A számítások végén ennél a módszernél is egy mátrix lett az eredményem, amelynek oszlopai a különböző valószínűségekhez tartozó, sorai pedig a különböző vízgyűjtőkhöz tartozó mértékadó vízhozamait tartalmazza.

4.2.3 Kollár-féle VIZITERV segédlet

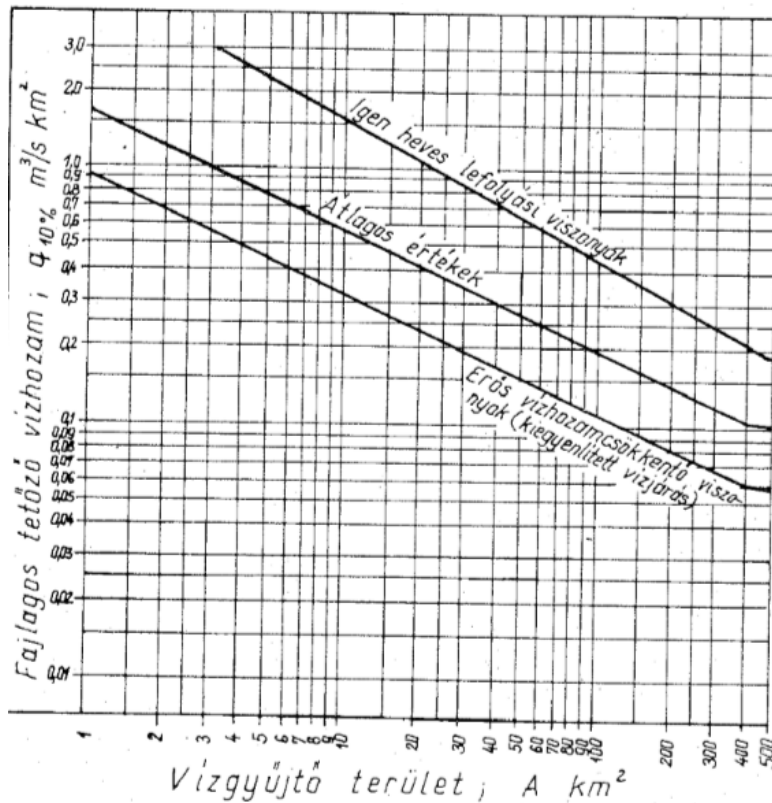
A vízhozam adatok feldolgozásakor gyakran használt módszer a Kollár-féle eljárás. Ennek alkalmazásával az 500 négyzetkilométernél kisebb vízgyűjtők mértékadó vízhozamai számíthatók. [16] Első lépésben a 10 éves átlagos visszatérésű vízhozam meghatározása történik, amit a következőképp számolunk:

$$Q_{10\%} = A \times q_{10\%} \quad [16]$$

ahol A – a vízgyűjtő területe [km^2]

$q_{10\%}$ - fajlagos tetőző vízhozam [$\text{m}^3/\text{s}, \text{km}^2$]

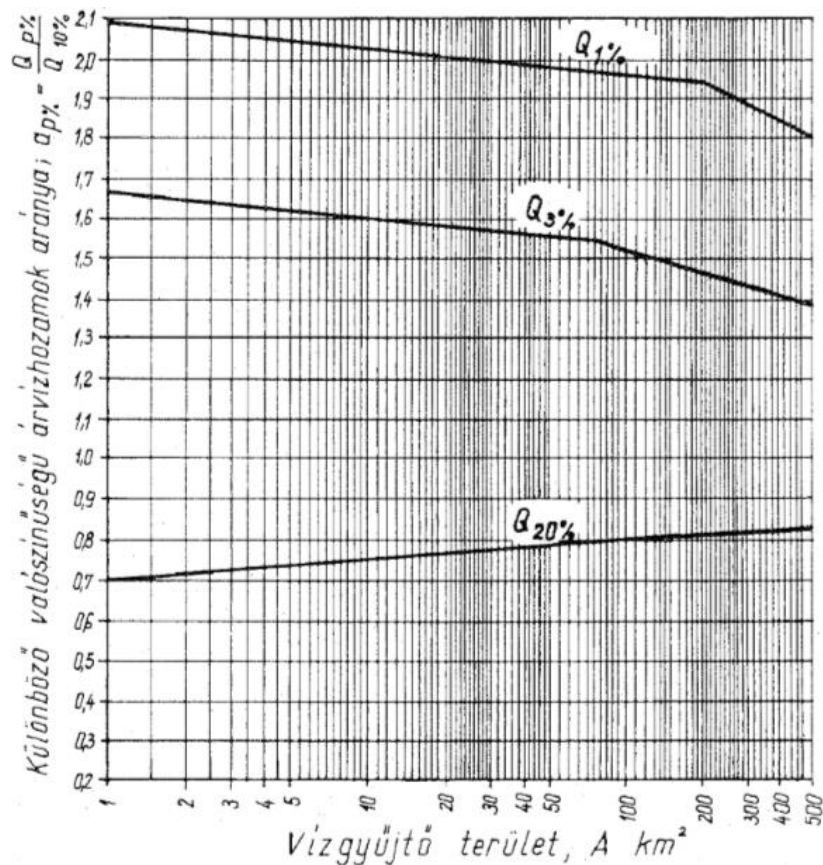
A 10%-os fajlagos tetőző vízhozam meghatározásához rendelkezésünkre áll egy ábra, amely használatához a vízgyűjtőink lefolyási viszonyait ismernünk kell. Ezek szempontjából megkülönböztetünk igen heves lefolyási viszonyokat, átlagos értékeket és erős vízhozamcsökkentő viszonyokat. Ezek meghatározásához helyszíni bejárás szükséges. A 19. ábrán látható a használandó grafikon.



19. ábra: Fajlagos vízhozam meghatározása [9]

Ehhez az eljáráshoz még egy grafikon használatára van szükség, amelyet a 20. ábra szemléltet. Ezen látható, hogy 3 görbe található az ábrán, amelyek az 1, 3 és 20%-os előfordulási valószínűségű vízhozamok meghatározásához nyújtanak segítséget. A vízgyűjtők területének ismeretében az ábráról leolvashatók a különböző valószínűségű árvízhozamok arányai, amely az adott valószínűséghez tartozó mértékadó vízhozam és a korábban meghatározott $Q_{10\%}$ arányát mutatja meg. [16] Tehát ezek alapján egy egyszerű szorzással kiszámíthatók az 5, 33 és 100 évente előforduló mértékadó vízhozamok.

A 20. ábrán lévő valószínűségi görbék a szükséges mértékben sűrítethetők lineáris interpolációval 1 és 20% között, emellett az adott tartományon kívül extrapoláció segítségével még több valószínűségi értékre tudunk számításokat végezni. Ez a lépés automatizálással nagy mértékben egyszerűsíthető lenne, a későbbi munkám során szeretném ezt a lépést is végrehajtani, és a Kollár-féle módszerrel egyaránt meghatározni a mértékadó vízhozamokat.



20. ábra: Árvízhozamok arányának meghatározása [9]

4.2.4 Markó-féle árvízszámítási eljárás

Ehhez a módszerhez szükség van a vízgyűjtő terület több adatára is a nagyságán kívül. A számítások során felhasználásra kerül a hossz, a legnagyobb szélesség, valamint az erdővel borított területek nagysága. Ennél a számítási eljárásnál a terület nagyságára vonatkozó feltételt nem találtam, ebből következtetve az összes vízgyűjtő esetén alkalmazható.

A meghatározáshoz szükséges képlet:

$$Q_{3\%} = q \times A \times \frac{A}{A+E} \quad [9]$$

ahol q – mértékadó fajlagos vízhozam [$m^3/s \cdot km^2$],

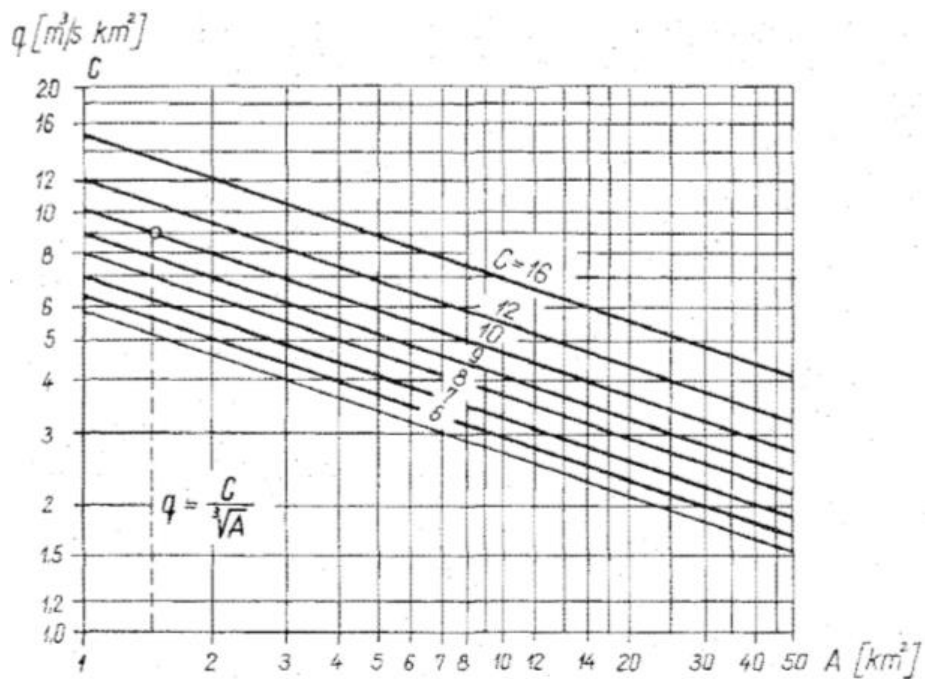
A – a vízgyűjtő területe [km^2],

E – erdővel borított terület nagysága [km^2].

A mértékadó fajlagos vízhozam a 21. ábra alapján határozható meg. Ehhez szükség van egy, a vízgyűjtő alakjától függő tényezőre (C), amely a 2. táblázatban megtalálható. Ez a tényező a vízgyűjtő hosszának (L) és legnagyobb szélességének (S) a hányadosának a függvénye. [9]

2. táblázat: A vízgyűjtő alakjától függő tényező értékei [9]

L/S	0,7	1	2	3	4	5	6	7
C	15	12	10	9	8	7	6,5	6



21. ábra: Mértékadó fajlagos vízhozam meghatározása [9]

5 Eredmények értékelése

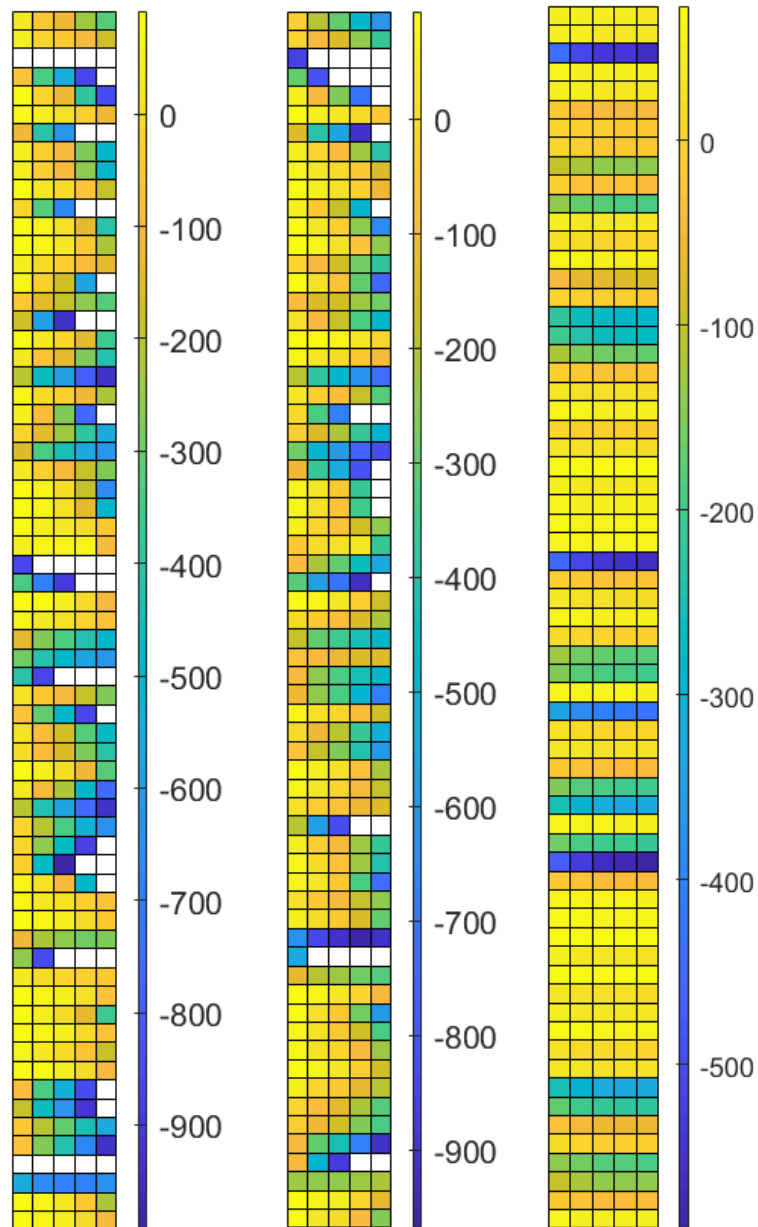
A számításaim eredményeként három mátrixot kaptam. Ezek közül mindnek 5 oszlopa és 65 sora van. Az eredményeim kiértékeléséhez azt a módszert választottam, hogy a három adatsor eredményeit páronként összevetem és ezekből MATLAB-ban készítek három raszter ábrát. Ezek eredményei megtekinthetők a 22. ábrán. Ezekről is megállapítható, hogy az eredmények nem mutatnak kellő hasonlóságot egymással. Az ábrákon látható, hogy mindegyiknek 5 oszlopa van, amely az 5 különböző előfordulási valószínűséget jelenti, balról jobbra a következő sorrendben: 1, 3, 5, 10 és 20%. Emellett mindnek 65 sora van, amely a vizsgált vízgyűjtőket mutatja, legfelül az első vízgyűjtő területtel indulva, a legalsó sor a 65. vizsgált terület adatait tartalmazza. A raszterek az eltérések százalékos értékeit tartalmazzák. Minden vízhozam eltérést egy-egy raszter reprezentál. A raszterképek elkészítése során tapasztaltam, hogy előfordulnak nagyon nagymértékű eltérések is az adatok között. Ezen adatok jelenléte az ábrában torzította az eredmények láthatóságát. A jobb áttekinthetőség érdekében a tízszeres eltérésnél pontatlanabb értékeket nem vettem bele a végleges ábrába, ezeket jelzik a fehér raszterek. Erre a lépésre az első két ábra esetében volt szükség, a jobb szélső ábra önmagában is kisebb eltéréseket mutat. A színskála sárgás színei jelentik a jobb egyezőséget a módszerek eredményei között, és minél kékebb az adott raszter, annál nagyobbak a különbségek az adatoknál. Az ábrákról megállapítható, hogy az eredmények többsége egészen jól közelíti egymást, viszont vannak vízgyűjtők, amelyeknél kiemelkedően nagy eltérések alakultak ki. Emellett az is megfigyelhető az ábrákról, hogy a gyakoribb vízhozameseményeknél az eljárások nagyobb különbségeket eredményeztek, attól függetlenül, hogy az elméleti eloszlásfüggvény a felső tartományban mutatott pontatlanabb illeszkedést.

A legnagyobb eltérések az illesztett eloszlásfüggvények által meghatározott mértékadó vízhozamok és a Csermák-módszer vízhozamai között mutatkoznak, ez látható a bal szélső ábrán. Ennek során az illesztett elméleti eloszlásfüggvény által meghatározott mértékadó vízhozamokhoz képesti százalékos eltérést vizsgáltam. 38 érték lett fehér raszterként ábrázolva a túl nagy eltérései miatt.

A középső diagram mutatja az elméleti eloszlásfüggvénnyel és az OVF 2001-es segédlet által előállított mértékadó vízhozamok egymáshoz képesti viszonyát. Ebben az esetben szintén az illesztett elméleti eloszlásfüggvény alapján meghatározott vízhozam értékekhez viszonyítottam százalékosan az eltéréseket. Ezek a vízhozampárok már jobban közelítik egymást, mint az előzőekben leírt adatsorok, azonban itt is túlzottan nagy különbségek alakultak ki az adott

valószínűségű vízhozamok között. A túlzottan nagymértékű eltérések miatt 24 raszterhez nem rendelt a MATLAB értéket.

A 22. ábra jobb szélső raszterképe a két tapasztalati számítási módszer eredményeit hasonlítja össze. Ennél az elemzésnél az OVF 2001-es segédlet szerint meghatározott vízhozamokhoz képesti százalékos eltérést vizsgáltam. Ahogyan várható volt, ez a két módszer nagyobb egyezőséget mutat a számított vízhozamoknál, viszont ez esetben is előfordulnak olyan vízgyűjtők, amelyeknél a két módszer nagy különbségekkel számol. Ami különbözik a másik két ábrához képest, hogy ebben az esetben a valószínűségi értékektől akkora mértékben nem függenek az egyezések. Azonban az egyes vízgyűjtők vízhozamainak pontosságai látványosan elkülönülnek.



22. ábra: Eredmények kiértékelése

6 Összefoglalás

Ezen eredmények ismeretében elmondható, hogy érdemes tovább foglalkozni a hidrológiának ezzel a területével. A jelentős mértékű eltérések oka sokféle lehet. Az egyik problémát okozhatta az, hogy az elméleti eloszlásfüggvények felfelé torzítanak az eredményeken, a tapasztalati számítási módszerek pedig inkább alábecsülnek. Ezek alapján az eltérések a vártnál nagyobbak lesznek. Nagy fontosságú, hogy a mértékadó árvízhozamok megfelelő pontossággal álljanak rendelkezésünkre, mert a tervezési folyamat során ezek ismeretében méretezik a vízepítési műtárgyakat, emiatt lényeges, hogy túl nagy eltérés se pozitív, se negatív irányba ne legyen. A nagyobb mértékadó vízhozamokkal való tervezés felesleges méretű műtárgyak megépítéséhez vezethet, az alábecsült értékek miatt azonban komolyabb problémák is kialakulhatnak, hiszen a szükségesnél kisebb méretű műtárgyak kerülnek megvalósításra.

Egy másik, pontatlanságot okozó lépés az elméleti eloszlásfüggvény illesztése. Ahogy az illesztés bemutatásakor is írtam, a vizsgált elméleti eloszlásfüggvények közül az általánosított extrém-érték eloszlásfüggvény mutatta a legjobb illeszkedést, de a későbbiekben célszerű lesz bővíteni az illeszthető eloszlásfüggvények listáját, ezáltal lehet található majd előnyösebb eloszlásfüggvény is. Amennyiben a kutatás későbbi szakaszában sem találunk az általánosított extrém-érték eloszlásfüggvénytől hatékonyabb típust, akkor a küszöbérték változtatására is megéri kísérletet tenni. Korábban említettem, hogy területnagyságok szerint meg lehetne vizsgálni, hogy milyen küszöbszint-vízhozam a legoptimálisabb az adott tartományokban. Ezzel is lehet pontosítani az eloszlásfüggvény illeszkedésén, amely a mértékadó vízhozamok számításában is pozitív eredményt érne el.

Jelen dolgozatban az említett empirikus számítási módszerek közül csupán kettő automatizálását hajtottam végre. Érdemes lesz a Kollár-féle VIZITERV segédlet és a Markó-féle árvízszámítási eljárás automatizálását is elvégezni, és megvizsgálni mennyire adnak pontos eredményeket. A Markó-féle módszer az erdős területek nagyságát és a vízgyűjtő terület alakját is figyelembe veszi, amellyel pontosabb számítási eredményeket kaphatunk. A Kollár-féle eljárás pedig azért lehet precízebb, mert a vízgyűjtők lefolyási viszonyait is figyelembe veszi.

Alapvetően elmondható, hogy a végleges konklúzióhoz még számos lépés végrehajtása szükséges lesz, viszont tényként kezelhető, hogy az alkalmazott empirikus számítási eljárások csupán tapasztalati összefüggéseken alapulnak, ám a legfiatalabb módszer is 18 éve került elkészítésre. Ezekkel az lehet a probléma, hogy a módszerek a több évtizeddel ezelőtti állapotokra lettek optimalizálva, ezáltal a jelenlegi éghajlati és klimatikus hatásokat nem tudják

figyelembe venni. Az utóbbi években egyre nagyobb mértékben változnak a hőmérsékleti és csapadékokkal kapcsolatos értékek. [23] Egyre gyakoribbak a hirtelen, nagy intenzitással érkező esők, amelyek az árhullámokat jelentősen befolyásolhatják. Ezek miatt nagy jelentőséggel bír a vízállások és vízhozamok értékeinek folyamatos nyomon követése és rögzítése. Ezen adatok ismeretében egyrészt egyre nagyobb mennyiségű adat kerül az adatbázisunkba, amellyel egyre pontosabb számításokat tudunk végezni. [24] Egyszerűbben össze lehet őket hasonlítani a tapasztalati számítási módszerek eredményeivel, és pontosabban meghatározható, hogy melyik módszer adja a legprecízebb eredményeket. Másrészt azért is jó, hogyha hosszabb időtartamot lefedő idősorral rendelkezünk, mert annál biztosabb eredményeket kaphatunk. Jelen esetben én 17 év adatait használva számoltam a különböző valószínűségű vízhozamokat, ám feltehetően pontosabb eredmények születnének, ha több évtized adatai állnának rendelkezésre.

7 Köszönetnyilvánítás

Elsősorban szeretnék köszönetet mondani Nagy Eszter Dórának és Dr. Torma Péternek, a BME Vízépítési és Vízgazdálkodási Tanszék oktatóinak, akik konzulensként segítettek dolgozatom elkészülését, támogatásuk nélkül jelen kutatás nem valósulhatott volna meg.

Köszönöm a Kék Bolygó Klímavédelmi Alapítvány támogatását, amelyet a Fontus vízügyi hallgatói ösztöndíj pályázat során nyertem el.

8 Irodalomjegyzék

1. Szesztay Károly: A hidrológiai számítások módszereiről, Hidrológiai Közlöny, 1952. 32. évf. 11-12. szám
2. Tobias LANGANKE: Copernicus Land Monitoring Service – High Resolution Layer Imperviousness: Product Specifications Document, 2016.
3. Tobias LANGANKE: Copernicus Land Monitoring Service – High Resolution Layer Forest: Product Specifications Document, 2017.
4. CLC2012: Addendum to CLC2006 Technical Guidelines – Final draft, V2, 2014.
5. <https://www.mta-taki.hu/hu/osztalyok/kornyezetinformatikai-osztaly/agrotopo>
Letöltés dátuma: 2019. 10. 18.
6. <https://map.mbfisz.gov.hu/>
Letöltés dátuma: 2019. 10. 19.
7. Dr. Zsuffa István: A stochasztikus folyamatok elméletének alkalmazása a hidrológiában, a hidrológiai folyamatok elmélete, Hidrológiai Közlöny, 1969. 7. szám
8. https://www.met.hu/eghajlat/magyarorszag_eghajlata/altalanos_eghajlati_jellemzes/
Letöltés dátuma: 2019. 10. 22.
9. Kontur István, Koris Kálmán, Winter János: Hidrológiai számítások, Linograf, 2003.
10. Richard W. Katz, Marc B. Parlange, Philippe Naveau: Statistics of extremes in hydrology, Elsevier Science, 2002.
11. M. Lang, T.B.MJ. Ouarda, B. Bobée: Towards operational guidelines for over-threshold modeling, Elsevier Science, 1999.
12. Blöschl H., Sivapalan M., Wagener T., Viglione A., Savenije H.: Runoff Prediction in Ungauged Basins, Synthesis across Processes, Places and Scales, Cambridge University Press, United States of America, New York, 2013.
13. Dr. V. Nagy Imre: Hidrológia III., Tankönyvkiadó, Budapest 1978.
14. E. J. Gumbel: Statistics of Extremes, Mineola, New York, 2004.
15. Nejc Bezak, Mojca Šraj, Mitja Brilly: Comparison between the peaks over threshold method and the annual maximum method for flood frequency analyses, Hydrological Sciences Journal, 2014.
16. Koris Kálmán: Hidrológia II. - Műszaki hidrológia, Budapest, 2014.

17. Domokos Miklós: Hidrológiai módszerek a hegy- és dombvidéki vízrendezés szolgálatában, Hidrológiai Közlöny, 1986. 66. évf. 3. szám
18. Országos Vízügyi Főigazgatóság, Árvízszámítási segédlet – A hazai hegy- és dombvidéki kisvízgyűjtők árvízhozamainak meghatározásához, Budapest 2001.
19. Kontur István: A mértékadó vízhozam meghatározásának eljárásairól, Hidrológiai Közlöny, 2003. 83.évf. 6. szám
20. Zsuffa István: Műszaki hidrológia III., Budapest, 1999.
21. Dr. V. Nagy Imre: Hidrológia I., Tankönyvkiadó, Budapest 1977.
22. Eszéky O.-Virág M.: Dél-Dunántúl lefolyási viszonyainak jellemzése, MHT Konferencia, Pécs, 1981.
23. Juhász József: Kisvízfolyások vízhozam adatai, Hidrológiai Közlöny, 2011. 91.évf. 1. szám
24. Zsuffa István: Műszaki hidrológia IV., Budapest, 1999.

9 Mellékletek

1. számú melléklet

A vízgyűjtő területek adatai


Név	Vízgyűjtő terület [km ²]	Átlagos esés [%]	Vízgyűjtő hossza [km]
Alsó-Tápió	106	3.8	19.5
Alsó-Válicska	186	5.7	20.9
Arácsi séd	13.5	4.9	8.1
Arany-patak I	132	4.1	19.8
Arany-patak II	106	4.5	17.2
Baranya	461	6.8	29.4
Bécsi-patak	35	7.8	10.2
Bózsva-patak	228	9.7	21.8
Bükkösi vízfolyás	46.2	7.1	10.2
Bükkösi vízfolyás	137	6.4	19.1
Burján-árok	135	4.2	14.7
Concó-patak	281	2	29.9
Cuhai-Bakony-ér	277	5.2	20.9
Cuhai-Bakony-ér	484	1.3	38.5
Dera-patak	45	9	15.1
Eger-patak I	128	9	19
Eger-patak II	240	3.7	19.5
Gaja-patak 1	28.5	4.1	7.2
Gaja-patak 2	260	5.1	24.4
Galla-patak	79	6	13
Gerence-patak	277	5	37.1
Gyöngyös-patak	290	9.7	38.2
Hajagos	145	1.6	21.4
Hangony-patak	288	10.5	22.9
Ikva 2	358.4	2	35.3
Ikva 1	75	3.8	15
Jáki-Sorok	134	1.6	13.5
Jósva-patak	96	9.4	17
Kardos-ér	105.3	1.7	25.9
Kéki-patak	16.7	4.6	5.8
Kenyérmezei-patak	120	6.6	20.1
Kerka 1	117	5.3	17
Kerka 2	452	3	43.6
Kígyós	126	2.2	24
Kiskomáromi-csatorna	104	3.3	19.1


Név	Vízgyűjtő terület [km ²]	Átlagos esés [%]	Vízgyűjtő hossza [km]
Kis-Koppány-patak	262.5	5	23.9
Kozár-Borzó patak	138	1	26.8
Kürtös patak	16	7.2	9.1
Marcal	351	1.9	31.6
Medesi-patak	88	4.1	12.7
Ménes-patak	131	6.5	15.4
Mór-Bodajki-vízfolyás	103.8	3	15.4
Nagy-Koppány	260	5	25.6
Nagy-Pándzsa	267	1.9	31.8
Orosztonyi-patak	38	5.6	11.8
Örvényesi-séd	19.9	5.4	8.2
Pénzes-patak	73	4.3	12.1
Pinka 1	432	7	46.2
Pinka 2	668	3.3	69.4
Pinkaág	799	5.2	45.3
Rákos-patak	47	3.3	9.7
Répcse	612	5.9	54.5
Ronyva-patak	467	5.5	35.2
Sokoróaljai-Bakonyér	332	3.2	29.7
Sorok-Perint	302	1.6	34.8
Szentgyörgyvölgyi- patak	66.8	3.4	10.6
Szerencs-patak	155	8.6	20.6
Tetves-patak	79	5.1	9.1
Torna 1	20.4	4.5	5.9
Torna 2	176	4.6	21.9
Únyi-patak	172	5.7	17
Vereb-Pázmándi vízfolyás	114	1.8	14.2
Veszprémi séd	513	3.8	35.9
Völgységi-patak	228	6.5	18.3
Zala	186	2.9	23

2. számú melléklet

Magyarország geológiai viszonyai jelmagyarázat

Jelmagyarázat

 Vízgyűjtő határ

 Országhatár

HUN_OGE_1M_surface_GeologicUnit

folt_nev

- Folyóvízi homok, kavics, iszap (szárazföldi)
- Tavi és mocsári iszap, mészszip, tőzeg (szárazföldi)
- Futóhomok (szárazföldi) (Milliós jelkulcsban: 3 és 5.)
- Lejtőagyag, vörösayag, nyirok (szárazföldi)
- Löss és löszös üledékek (szárazföldi)
- Folyóvízi homok, kavics, agyag (szárazföldi)
- Édesvízi mészkő (szárazföldi)
- Bazalt és piroklasztikumai, gejzirit (vulkáni, utóvulkáni)
- Agyagmárga, homok, lignit, kavics (szárazföldi, folyóvízi)
- Riolittufa és riolit (vulkáni)
- Mészkő, homok, agyag, barnakőszén (szárazföldi-sekélytengeri)
- Andezit, dácit és piroklasztikumai (vulkáni)
- Tarka agyag, kavics (szárazföldi)
- Agyagmárga, homokkő, kavics (tengeri)
- Andezit és piroklasztikumai (vulkáni)
- Mészkő, agyagmárga, homokkő, bauxit (tengeri-tavi)
- Mészkő, márga, homokkő, konglomerátum (szárazföldi-tengeri)
- Márga, mészkő, homokkő (tengeri)
- Alkálibazalt, fonolit (szubvulkáni-vulkáni)
- Mészfillit, metakonglomerátum (gyengén metamorf)
- Agyagpala, mészkő, kovapala, olisztosztroma (tengeri)
- Gabbró, bazalt (mélységi magmás-vulkáni)
- Márga, mészkő, tűzkő (tengeri) (Milliós jelkulcsban: 24 és 25)
- Homokkő, kőszén (delta, tengeri)
- Homokkő, márga, mészkő, dolomit (sekélytengeri) (Milliós jelkulcsban: 27, 28, 29, 30)
- Vörös homokkő, konglomerátum, aleurolit (folyóvízi-lagúna)
- Fekete mészkő, dolomit, aleurolit, anhidrit (lagúna)
- Gránit és telérközetei (mélységi magmás)
- Monzogránit és telérközetei (mélységi magmás, gyengén metamorf)
- Agyagpala, homokkő, kvarcfillit, márvány, kristályos mészkő (gyengén metamorf)
- Csillámpala, gneisz, fillit, amfibolit (metamorf)
- tó
- HUN_OGE_1M_surface_GeologicStructure