

HAZAI KIS ÉS KÖZEPES VÍZGYŰJTŐK VÁLASZIDEJÉNEK VIZSGÁLATA

Nagy Eszter Dóra

tudományos munkatárs

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Vízépítési és Vízgazdálkodási Tanszék

KIVONAT

A vízgyűjtők válaszsideje az az időtartam, ami alatt a vízgyűjtőt érő csapadék lefolyássá alakul. Ennek a vízgyűjtő jellemzőnek a számszerűsítése összetett feladat. A megfigyelt értékek meghatározhatók közvetett módon, csapadék és vízhozam idősorok felhasználásával, azonban ezen értékek előállításának több lehetséges módja is van. Ezeket a módszereket ismerteti az itt bemutatott tanulmány, egy újszerű megközelítést is beleértve, melynek tovább fejlesztett változata gyorsan és objektív módon számítja a válaszidő értékét esemény alapon. A megfigyelt értékek segítségével jellemezhető a hazai viszonylatban leggyakrabban alkalmazott Wisnovszky féle összefüggés becslési pontossága. Az itt bemutatott eredmények alátámasztják, hogy az új, esemény alapú számítási módszer jól alkalmazható hazai vízgyűjtőkre, és nem csak az értékek mediánja, hanem a teljes értéktartomány jól becsülhető vele. A Wisnovszky összefüggésről pedig bebizonyosodott, hogy a válaszidő értékét nagy pontatlansággal becsüli, az esemény alapú megfigyelt értékek mediánját $-0,68$ -os Nash-Sutcliffe mutatóval közelíti.

KULCSSZAVAK: vízgyűjtő; hidrológia; válaszidő; késleltetési idő; összegyülekezési idő; Wisnovszky; empirikus; korreláció

BEVEZETÉS

A vízgyűjtők válaszidejének számszerűsítésére szükség van különböző hidrológiai és vízépítő mérnöki feladatok esetén. Mértékadó vízhozam számításakor, csapadék-lefolyás modellezés esetén, vagy vízkárelhárítási feladatoknál is szükségünk lehet egy adott vízgyűjtő válaszidejének meghatározására. A válaszidő azt adja meg, hogy egy adott vízgyűjtőn mennyi idő szükséges ahhoz, hogy a vízgyűjtőt érő csapadék hatására keletkező válasz, mint lefolyás, a vizsgált kifolyási szelvényben árhullámként megjelenjen. Annak ellenére, hogy ezen jellemző ismeretének jelentős gyakorlati haszna van, és több, mint 150 éve tanulmányozza a hazai és nemzetközi szakirodalom (Beven 2020), értékének számszerűsítése számos problémába ütközik. Jelen tanulmány célja, hogy széleskörű áttekintést nyújtson a válaszidőt körülvevő elméleti problémákról, és bemutassa a legújabb módszerrel kapott eredményeket a hazai vízgyűjtőkre vonatkozóan.

A válaszidőt (T_r) különböző paramétereken keresztül értelmezhetjük. Hazai és nemzetközi viszonylatban legtöbbször használt paraméter az összegyülekezési idő (T_c), melyet a racionális módszer esetén is alkalmazunk (Kontur et al. 2003). Magyarországi vízgyűjtőkre a Wisnovszky féle empirikus összefüggés (Wisnovszky 1958) segítségével tudjuk becsülni az összegyülekezési idő értékét. A vízgyűjtők késleltetési ideje (T_L) leggyakrabban csapadék-lefolyás modellezés kapcsán kerül elő. Hazai viszonylatban kevésbé használatos paraméterek továbbá a tetőzésig eltelt idő (T_p) és az egyensúly beálltáig eltelt idő (T_e).

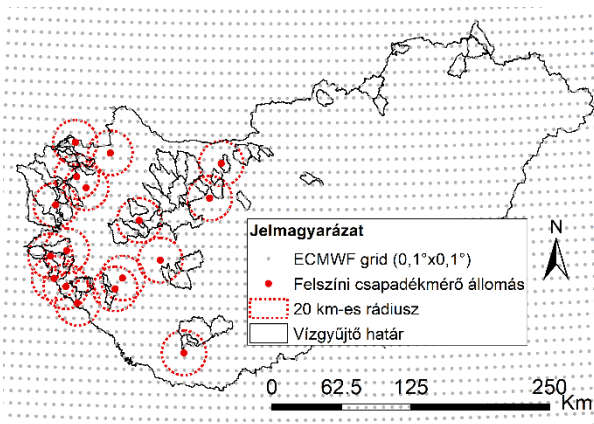
Az összegyülekezési idő messzemenően a leggyakrabban alkalmazott paraméter, ennek ellenére a mai napig koncepcionális szinten folyik vita az alkalmazhatóságával kapcsolatban (Beven 2020). Elméleti definíciója szerint az összegyülekezési idő „az az időtartam, amíg a vízrészecske a legtovábbi pontról – a felszínen lefolyva – a kifolyási szelvénybe ér” (Kontur et al. 2003). A felszínen történő, részecske-jellegű vízmozgás szerinti értelmezés azonban kifogásolható, hiszen a víz ter-

jedése sokkal inkább jellemezhető hullám terjedésként, mint különálló vízrészecskék mozgásként. Másként fogalmazva, a válaszidő számításakor nem az áramlási sebességre, hanem a hullámterjedési sebességre kéne hagyatkoznunk (Beven 2020).

A válaszidő számszerűsítését tovább nehezíti, hogy értéke közvetlenül nem mérhető. A válaszidő megfigyelt értékére rendelkezésre álló módszerek a i) nyomjelzős kísérletek; ii) laboratóriumi mérések; és a iii) megfigyelt csapadék és lefolyás idősorok felhasználása. A nyomjelzős kísérletek ugyan részletes betekintést nyújtanak a vízgyűjtőkön játszódó folyamatokba, azonban nem adnak valós képet a vízgyűjtők válaszidejéről, hiszen a víz részecske szintű mozgását írják le. Emellett az ilyen kísérletek végzése nagy számban költséges és időigényes, valamint jellemzően kisebb vízgyűjtőkön célravezető (Pilgrim 1976). A laboratóriumi kisminta kísérletek legnagyobb problémája, hogy a kapott eredmények nem ültethetők át egyértelműen a valós vízgyűjtőkre (Pilgrim 1976). A megfigyelt csapadék és vízhozam idősorok felhasználása esetén két fő probléma merül fel. Egyrészt számos definíció fellelhető a szakirodalomban, melyek a csapadék és lefolyás idősorok egy-egy pontja között eltelt időt jelölik ki az egyes válaszidőt számszerűsítő paramétereket. (Ezeket az úgy nevezett grafikus definíciókat lentebb a 2. ábra szemlélteti.) Másrészt szükség van a csapadék-lefolyás események azonosítására. Erre szintén nem áll rendelkezésre egységesen alkalmazott, automatizált módszer a szakirodalomban (Oppel és Mewes 2020).

A válaszidő becslésére esemény szinten azért van szükség, mert a válaszidő értéke nem csak a statikus vízgyűjtő jellemzőktől (például terület, esés, hossz, stb.) függ. Régóta ismert a vízgyűjtők nem-lineáris viselkedése (Szilagyai 2007), emiatt célszerű a válaszidőt dinamikus jellemzőként értelmezni, melynek eseményről eseményre változhat az értéke.

A jelen cikkben ismertetem a vízgyűjtők válaszidejének megfigyelt értékeit szolgáló módszereket. Elsőként a grafikus definíciók kerülnek bemutatásra, majd a legújabb, korreláció számításon alapuló módszer, illetve ennek tovább fejlesztett változata, mely automatikusan elvégzi az események azonosítását és a válaszidő esemény szintű számítását. Bemutatom továbbá a hazai viszonylatban alkalmazott Wisnovszky féle empirikus összefüggés, és más, szakirodalomban fellelhető empiriák becslési pontosságát a megfigyelt értékek függvényében.



1. ábra. Felszíni állomások és az ECMWF rácshálójának elhelyezkedése a vizsgált vízgyűjtőkhöz viszonyítva.

VIZSGÁLT VÍZGYŰJTŐK

A vizsgálatokba 61 hazai vízgyűjtőt vontam be, melyek a 8,74-810 km²-es mérettartományt fedik le, elhelyezkedésük az 1. ábrán látható. A végzett vizsgálatok során 61 állomás mért vízállás adataiból származtatott vízhozam idősorait használtam fel, jellemzően a 2001-2017 időszakra. Felhasználtam továbbá 17 csapadékmérő állomás idősorait. Azon vízgyűjtők esetén, melyek 20 km-es környezetében nem helyezkedett el felszíni csapadékmérő állomás, a European Centre of Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF) órás, grid alapú re-analízis csapadék idősorait alkalmaztam. A re-analízis rácspontjai és a felszíni csapadékmérők helyei szintén az 1. ábrán láthatók.

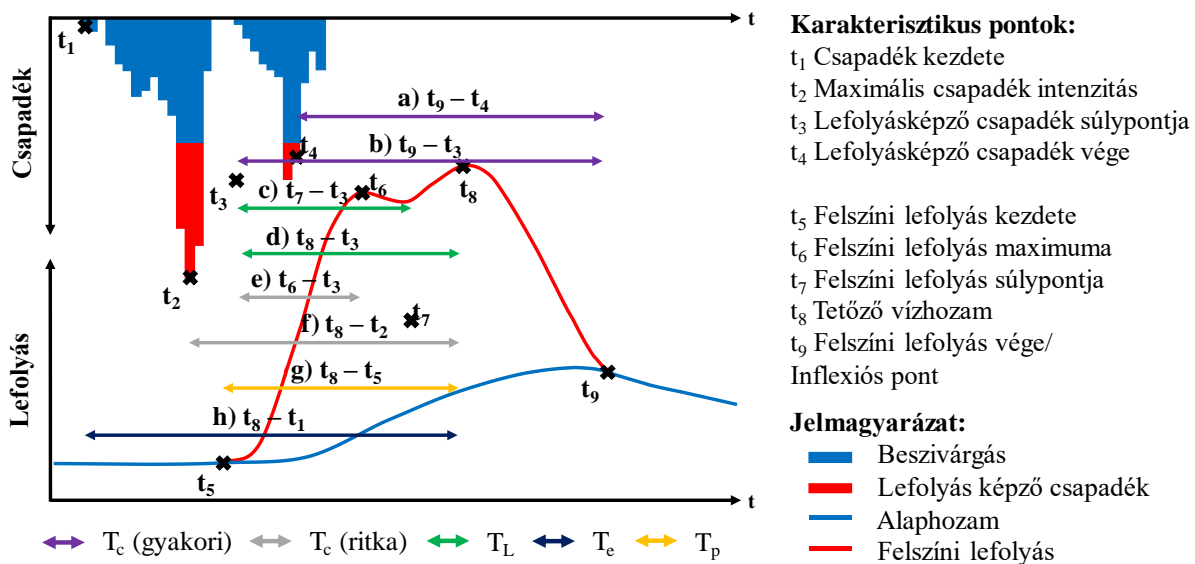
A vizsgált vízgyűjtők és a felhasznált adatok részletes bemutatása egy korábbi cikkben érhető el (Nagy és Szilágyi 2021). Az ECMWF re-analízis adatok alkalmazhatósági vizsgálata szintén megtekinthető egy korábbi tanulmányban (Nagy és Szilágyi 2020).

MÓDSZERTAN

Válaszidő megfigyelt értékének számítása – grafikus definíciók

A 2. ábra mutatja be azt a nyolc grafikus definíciót, mely a különböző válaszidőt számszerűsítő paraméterekhez köthető. Érdekes, hogy mind a nyolc definíció fellelhető az összegyülekezési idő meghatározásaként, azonban csak két változatot [a) és b)] alkalmaznak gyakran. A késleltetési időre is elérhető két, kissé eltérő változat [c) és d)]. A g) és h) definíciók rendre a tetőzésig eltelt idő és az egyensúly beálltáig eltelt idő definíciói, utóbbit használta Wisnovszky is az összegyülekezési idő definíciójaként empirikus módszerének publikációjában (Wisnovszky 1958). Az e) és f) definíciók szintén fellelhetők az összegyülekezési idő meghatározásaként, azonban használatuk nem gyakori.

Ahhoz, hogy az egyes definíciók segítségével számítani lehessen a válaszidő értékét elsőként szükség volt a csapadék-lefolyás események kiválasztására. Fontos megjegyezni, hogy a legtöbb definíció alkalmazásához szükséges az alaphozam és/vagy a lefolyáskiváltó csapadék meghatározása. Előbbit egy rekurzív szűrő segítségével (Nathan és McMahon 1990), utóbbit a Φ -index módszerrel végeztem el (Kontur et al. 2003). Az események kiválasztásának, valamint az alaphozam és a lefolyáskiváltó csapadék meghatározásának menetét egy korábbi publikációban ismertettük (Nagy és Szilágyi 2021). A 61 vízgyűjtőre 2162 darab esemény került összesen kiválasztásra. Vízgyűjtőnként minimum 11, maximum 69, átlagosan pedig közel 35 esemény állt rendelkezésre. A nyolc grafikus definíciót alkalmazva minden eseményre összesen $2161 \cdot 8$ érték állt rendelkezésre a válaszidő megfigyelt értékeként. Mivel az empirikus összefüggések egy darab karakterisztikus értéket adnak eredményül minden vízgyűjtőre, az értékek összehasonlításakor az egyes vízgyűjtőkre és egyes definíciók esetén képzett mediánt vettem figyelembe. Medián értékekből tehát 61 8 darab állt rendelkezésre.



2. ábra. A vízgyűjtők válaszidejének grafikus definíciói és az azok számításához szükséges karakterisztikus pontok. Az egyes válaszidőt leíró paraméterek az összegyülekezési idő (T_c), a késleltetési idő (T_L), a tetőzésig eltelt idő (T_p), és az egyensúly beálltáig eltelt idő (T_e).

Válaszidő megfigyelt értékének számítása – DMCA és E-DMCA módszerek

A közelmúltban alkalmaztak a vízgyűjtők válaszidejének számítására egy újszerű megközelítést, mely egy speciális keresztkorrelációs eljárásan alapul (Giani et al. 2021). A DMCA (Detrending Moving-average Cross-correlation Analysis) alapú módszer egy olyan keresztkorreláció számítási eljárás, mely statisztikailag különböző idősorok közötti időbeli kapcsolatot hivatott kimutatni. Korábban jellemzően a közgazdaságtanban alkalmazták, de a csapadék és lefolyás közötti kapcsolat vizsgálatára is alkalmas. A módszer előnye, hogy a teljes, hosszú idejű idősorra, valamint rövidebb szakaszokra (például csapadék-lefolyás eseményekre) is alkalmazható. A módszer alkalmazhatóságának feltétele, hogy a csapadék és vízhozam idősorok azonos hosszúságúak legyenek, egységes időközzel, utóbbi esetben órás időlépést takar.

A DMCA korrelációs tényezője (ρ_{DMCA} [-]) egy T hosszúságú idősorra, L hosszúságú időablakot alkalmazva a következő összefüggéssel számítható:

$$\rho_{DMCA}(L) = \frac{\sum_{t=0.5(L+1)}^{T-0.5(L-1)} (R_t - \widehat{R}_{t,L})(Q_t - \widehat{Q}_{t,L})}{\sqrt{\sum_{t=0.5(L+1)}^{T-0.5(L-1)} (R_t - \widehat{R}_{t,L})^2 \sum_{t=0.5(L+1)}^{T-0.5(L-1)} (Q_t - \widehat{Q}_{t,L})^2}}, \text{ ahol } -1 \leq \rho_{DMCA}(L) \leq 1.$$

Fenti összefüggésben R_t és Q_t a kumulatív idősorai a csapadék (r) és vízhozam (q) idősoroknak, míg $\widehat{R}_{t,L}$ és $\widehat{Q}_{t,L}$ a kumulatív csapadék és lefolyás idősorok mozgóátlagai az L időablakra. Ezek a következőképpen írhatók fel:

$$R_t = \sum_{i=1}^t r_i; \quad Q_t = \sum_{i=1}^t q_i, \text{ ahol } t = 1, 2, \dots, T \text{ és } \widehat{R}_{t,L} = \frac{1}{L} \sum_{t-0.5(L-1)}^{t+0.5(L-1)} R_t; \quad \widehat{Q}_{t,L} = \frac{1}{L} \sum_{t-0.5(L-1)}^{t+0.5(L-1)} Q_t.$$

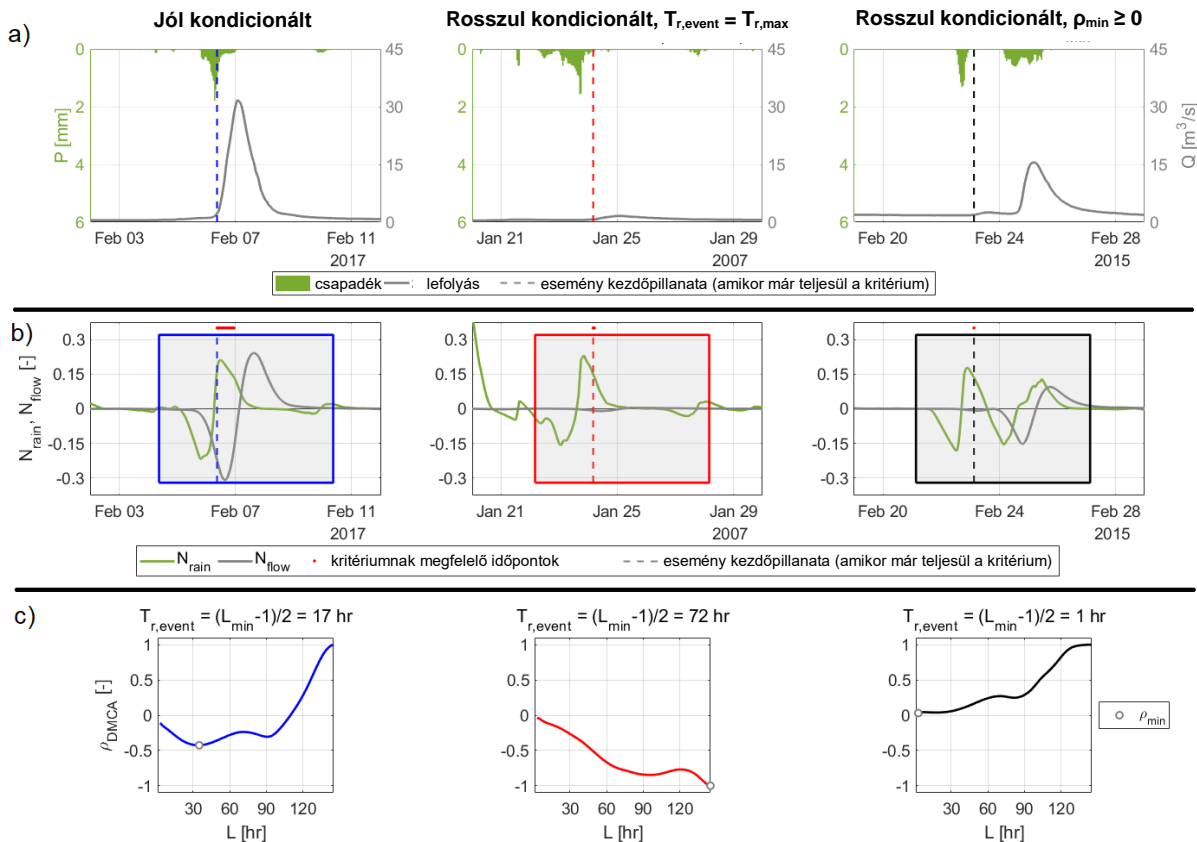
A korrelációs tényező értéke tehát különböző hosszúságú L időablakok esetére számítható. Az idősorok közötti átlagos időeltérést (azaz a válaszidőt) ott kapjuk, ahol a korrelációs tényező értéke minimális. A minimális ρ_{DMCA} értékhez tartozó L_{min} értékből a válaszidő értéke $T_r = (L_{min} - 1)/2$. A módszer egyetlen paramétere a maximális tesztelendő időablak hossza, L_{max} . Ez limitálja a lehetséges maximális válaszidőt, tehát értékét úgy szükséges megválasztanunk, hogy több, mint kétszerese legyen a várható leghosszabb válaszidőnek. A DMCA módszer részletesebb ismertetése elérhető az eredeti publikációban (Giani et al. 2021).

A korrelációs tényező számlálójában és nevezőjében szereplő csapadék és lefolyás fluktuáció idősorok fontos jellemzője, hogy a csapadék, illetve lefolyás események súlypontját negatív értékek előzik meg és pozitív értékek követik. Egyszerűbben fogalmazva a fluktuáció idősorok a súlypontban váltanak előjelet. Ezt kihasználva feltételezhető, hogy ott található csapadék-lefolyás események, ahol a csapadék fluktuációja már pozitív, de a lefolyás fluktuációja még negatív. Erre a hipotézisre alapozva a következő lépésekből álló algoritmust dolgoztam ki a csapadék-lefolyás események automatikus azonosítására:

- i) A karakterisztikus válaszidő ($T_{r, char}$) számítása a hosszú idejű csapadék és vízhozam idősorok felhasználásával az eredeti DMCA módszert alkalmazva.
- ii) Az i) lépésben eredményül kapott fluktuáció idősorok normalizálása.
- iii) Azon időpontok kijelölése, melyek esetén a csapadék fluktuáció (N_{rain}) idősora nagyobb, a lefolyás fluktuáció idősora (N_{flow}) kisebb, mint egy bizonyos küszöbérték (p_{th} [-]). A küszöbérték a teljes fluktuáció idősorok percentiliseként értelmezhető.
- iv) A iii) lépésben azonosított szakaszok kezdőpontjainak kiválasztása.

- v) Válaszidő ($T_{r,event}$) számítása az azonosított eseményekre a DMCA módszer alkalmazásával. Az események időablakait az i) lépésben kapott karakterisztikus érték segítségével jelöltem ki. Az időablak (amire a DMCA módszer újra futtatásra kerül) $T_{r,char}$ órával a kezdőidőpont előtt kezdődik és $2 \cdot T_{r,char}$ órával a kezdőpontot követően ér véget.
- vi) Rosszul kondicionált események szűrése, melyeknél $\rho_{min} \geq 0$ and with $T_{r,event} = T_{r,max}$.
- vii) Kiugró értékek szűrése statisztikai szűrővel.

A módszer működésére mutat példákat a 3. ábra jól és rosszul kondicionált események esetén. A jól kondicionált eseményeknél jellemzően hasonló menetet mutat a csapadék és lefolyás idősor. Az ismert algoritmus egy új paraméter (p_{th}) meghatározását igényli, tehát a módszernek összesen két paramétere ($T_{r,max}$ és p_{th}) van. Ezek alkalmazott értékei – érzékenység vizsgálatot követően – $T_{r,max} = 150$ óra és $p_{th} = 0,05$. A fent bemutatott esemény alapú DMCA (E-DMCA) módszer a 61 vízgyűjtőre összesen 21738 eseményt azonosított. A legkevesebb esemény 84, a legtöbb 1202, míg az átlagos eseményszám 356. A DMCA és E-DMCA módszerek eredményeként tehát vízgyűjtőnként egy karakterisztikus érték ($T_{r,char}$) és egy, az E-DMCA módszerrel kapott értékkészlet mediánjaként képzett érték ($T_{r,med}$) adódott eredményül.



3. ábra. A vízgyűjtők válaszidejének becslése az E-DMCA módszerrel. a) Csapadék és vízhozam idősorok. b) Fluktuáció idősorok és az eseményekhez kijelölt időablakok. c) A korrelációs tényező (ρ_{DMCA}) alakulása az alkalmazott időablak (L) függvényében.

Válaszidő becélése empirikus összefüggésekkel

Wisnovszky 1958-ban tisztán elméleti alapon dolgozta ki empirikus összefüggését, az egyenlet kalibrálásához vagy igazolásához nem álltak rendelkezésére megfigyelt adatok. A válaszidő számítására hazai viszonylatban legtöbbet alkalmazott összefüggés becélési pontosságáról tehát nem rendelkezünk információval. Ennek orvoslására hasonlítottam össze a Wisnovszky egyenlettel és a fenti fejezetekben bemutatott módszerekkel kapott értékeket. A nemzetközi szakirodalomban számos empirikus összefüggés fellelhető (Nagy et al. 2016), ezért más egyenletek becélési pontosságát is vizsgáltam. Az alkalmazott összefüggéseket az 1. táblázat ismerteti. A Salcher egyenletre alapozta Wisnovszky saját összefüggését, míg a Ventura egyenlet talán az egyetlen, ami Wisnovszky összefüggése mellett megtalálható a hazai szakirodalomban, mint az összegyűlekezési idő számítására alkalmas összefüggés. Haktanir és Sezen összefüggése pedig egy korábbi tanulmány során (Nagy et al. 2016) bizonyult alkalmasnak az összegyűlekezési idő számszerűsítésére hazai viszonylatban.

1. táblázat. Összegyűlekezési idő számítására használt empirikus összefüggések, ahol A [km^2] a vízgyűjtő terület, L [km] a leghosszabb lefolyási úthossz, S [-] a leghosszabb lefolyási úthossz átlagos esése, és L_{\max} [km] a leghosszabb mederszakasz hossza.

| Módszer neve | Empirikus összefüggés |
|---------------------------|--|
| Wisnovszky (1958) | $T_c = \frac{L^2}{\sqrt{A \cdot S/100}}$ |
| Salcher (Wisnovszky 1958) | $T_c = \frac{1}{600} \cdot \frac{L}{\sqrt{S/100}}$ |
| Ventura (V. Nagy 1978) | $T_c = 0,1272 \cdot \sqrt{\frac{A}{S/100}}$ |
| Haktanir és Sezen (1990) | $T_c = 0,7473 \cdot L_{\max}^{0,841}$ |

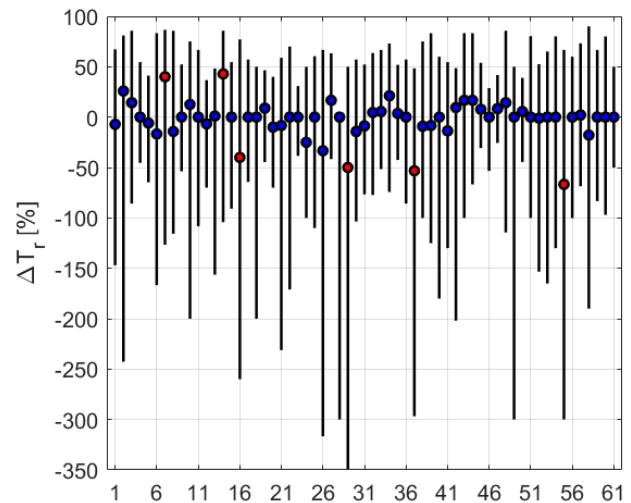
annak igazolására, hogy az általam fejlesztett E-

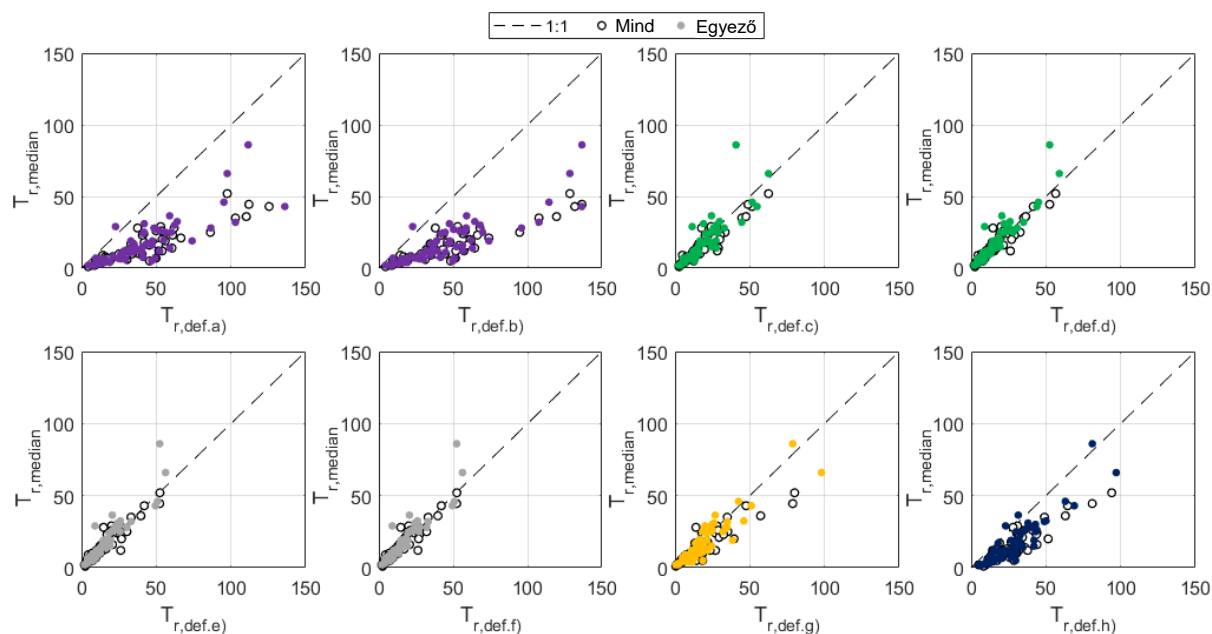
DMCA módszerrel kapott értékek medianja vissza tudja adni az eredeti DMCA módszerrel kapott karakterisztikus értékeket. A 4. ábrán látható, hogy a 61 vízgyűjtőből összesen hat esetben volt nagyobb az eltérés, mint 40%. Az eltérés négy kisebb területű vízgyűjtő esetén 1-3 óra, ezek esetében a rövidebb válaszidőből adódóan kisebb eltérés is nagyobb relatív hibát eredményez. Ez az időbeli felbontás csökkentésével feltehetően javítható. A módszer összességében jól visszaadja a teljes időorra kapott karakterisztikus értéket, hiszen a vízgyűjtők 85%-án kevesebb az eltérés, mint 20%.

EREDMÉNYEK

Mért értékek összehasonlítása

Elsőként a DMCA módszerrel kapott karakterisztikus értékeket és az E-DMCA módszerrel kapott medián értékeket hasonlítottam össze





5. ábra. Az E-DMCA módszerrel kapott medián értékek ($T_{r,median}$) a különböző definíciók alkalmazásával kapott medián értékek [$T_{r,def.a-h}$] függvényében. A színek a 2. ábrán használttal azonosak.

Következőnek az egyes definíciók alkalmazásával kapott medián értékeket vettem össze az E-DMCA módszerrel kapott értékek mediánjával (5. ábra). A kapott eredmények reprezentativitásának növelése érdekében feltüntettem a kapott értékeket úgy, hogy minden eseményt figyelembe vettem és úgy is, hogy csak azon események értékeinek vettem a mediánját, melyeket mindkét eljárás (grafikus definíciók és E-DMCA) azonosított. A két változat esetén hasonló egyezést kaptam, ami az eredmények megalapozottságát növeli. Látható, hogy az összegyűlekezési időre gyakran alkalmazott két definíció [a) és b)] lényegesen hosszabb válaszidőt ad eredményül, míg a c)-f) definíciók esetén legjobb az egyezés. Az egyes paraméterek követik az elvárt nagyságrendi sorrendet: $T_c > T_e > T_p > T_L$. Legszorosabb egyezést az f) definíció esetén kaptam, ami a teljes csapadék és teljes lefolyás maximuma között eltelt időt jelenti. A DMCA módszer – jellegéből adódóan – a késleltetési időhöz [c) definíció] közeli értéket kellene, hogy adjon, hiszen a súlypontok között eltelt időt adja eredményül. Ezt a kapott eredmények is megerősítik.

A mediánok vizsgálata mellett ábrázoltam az E-DMCA módszerrel és az f) definíció alkalmazásával kapott értékkészletek különböző percentiliseit is, ezt mutatja be a 6. ábra. Látható, hogy az E-DMCA módszerrel kapott értékek nem csak a mediánt, de a különböző percentiliseket is jól visszaadják. Különösen jónak tekinthetők az eredmények annak tükrében, hogy a közös események száma egyes vízgyűjtőkön igen kevés (kevesebb, mint tíz).

Empirikus módszerek becslési pontossága

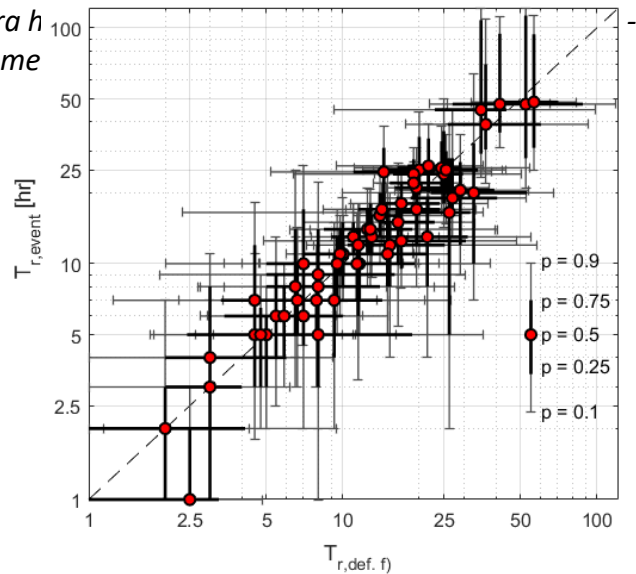
A 2. táblázatban feltüntetett empirikus módszerek pontosságát a Nash-Sutcliffe mutató ($NSE [-]$) segítségével számszerűsítettem. A mutató értéke a következő összefüggéssel számítható (Nash és Sutcliffe 1970):

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - x_i)^2}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

ahol x_i [óra] a válaszidő megfigyelt értéke, y_i [óra] pedig a válaszidő modellezett (empirikus összefüggéssel becsült) értéke. A NSE értéke a modell sikerességét jelzi, ha értéke pozitív. A negatív NSE érték azt jelenti, hogy a megfigyelt értékek átlaga jobb becslést ad, mint az alkalmazott modell. Tökéletes egyezés a megfigyelt és modellezett értékek között $NSE = 1$ esetén kapunk. A 2. táblázat tartalmazza az egyes definíciók, illetve az E-DMCA módszer alkalmazásakor kapott mediánok által eredményül kapott NSE értékeket a különböző empirikus módszerek esetén.

6. ábra. Az E-DMCA módszerrel kapott értékek ($T_{r,event}$) és az f) definíció alkalmazásával kapott értékek [$T_{r,def. f}$] különböző percentilisei.

2. táblázat. Összegyülekezési idő számítására h tóssága a különböző me



| | $T_{r,med,a}$ | $T_{r,med,b}$ | $T_{r,med,c}$ | $T_{r,med,d}$ | $T_{r,med,e}$ | $T_{r,med,f}$ | $T_{r,med,g}$ | $T_{r,med,h}$ | $T_{r,med}$ |
|--------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|-------------|
| Wisnovszky | -0.94 | -0.92 | -0.64 | -0.72 | -0.78 | -0.72 | -0.52 | -0.91 | -0.68 |
| Salcher | -1.34 | -1.29 | -0.37 | -0.12 | -0.12 | -0.12 | -0.32 | -1.21 | 0.01 |
| Ventura | -0.7 | -0.72 | -0.06 | -0.13 | -0.18 | -0.13 | -0.05 | -0.39 | -0.17 |
| Haktanir és Shezen | -0.99 | -0.98 | 0.05 | 0.18 | 0.18 | 0.18 | 0.04 | -0.64 | 0.21 |

Látható, hogy a Wisnovszky, Salcher, és Ventura összefüggések minden esetben zérus közeli vagy negatív *NSE* értéket adnak. Ezen három összefüggés közül is a Wisnovszky összefüggés adja a legrosszabb eredményt a legtöbb medián érték esetén. A viszonylag egyszerű Haktanir és Shezen összefüggés is lényegesen jobb eredményt ad, kifejezetten a d)-f) definíciók és az E-DMCA módszer esetén.

KONKLÚZIÓK

A vízgyűjtők válaszidejének esemény alapú számszerűsítésére számos vízgyűjtő esetén először került sor hazai viszonylatban. A válaszidő megfigyelt értékeit előállítottam az események részben automatizált kiválasztásán, majd nyolc különböző grafikus definíció alkalmazásán keresztül. A legújszerűbb DMCA alapú válaszidő számítási módszer tovább fejlesztéseként automatizáltam az események kiválasztását és a válaszidő számítását ezen eseményekre. Az új E-DMCA módszer segítségével percekben belül előállítható a válaszidő esemény alapú értékkészlete a vizsgált vízgyűjtőkre. Ez lényegesen gyorsabb és objektívebb eljárás, mint a grafikus definíciók alkalmazása.

A megfigyelt értékek előállítását követően számszerűsíthetővé vált a különböző empirikus összefüggések becslési pontossága. Ahogy Wisnovszky fogalmazott „tekintettel arra, hogy az összegyűlekezési idő számítására szerkesztett új képletnek csak gondolati alapja van, nem bizonyítható, hogy alkalmazása a valóságot jobban megközelítő eredményt ad, mint az ismertetett képletek bármelyike.” Az itt bemutatott eredmények alapján azonban belátható, hogy a Wisnovszky összefüggés nem ad jó becslést a hazai vízgyűjtők válaszidejére.

A meglévő empirikus összefüggések vizsgálata mellett lehetőség van új egyenletek kidolgozására is. A megfelelő statisztikai eszközökkel nagyban növelhető az empirikus összefüggések pontossága. Ehhez nyúlt megfelelő alapot a válaszidők megfigyelt értékeinek ismerete. Az új empirikus összefüggések kidolgozásának részleteit egy nemzetközi folyóiratban tettük közzé (Nagy et al. 2021).

IRODALOMJEGYZÉK

- Beven K. J. (2020): A history of the concept of time of concentration. *Hydrology and Earth System Sciences*, 24, 2655–2670.
- Giani G., Rico-Ramire, M. A. és Woods R. A. (2021): A Practical, Objective, and Robust Technique to Directly Estimate Catchment Response Time. *Water Resources Research*, 57(2).
- Haktanir T. és Sezen N. (1990): Suitability of two-parameter gamma and three-parameter beta distributions as synthetic unit hydrographs in Anatolia. *Hydrological Sciences Journal*, 35(2), 167–184.
- Kontur I., Koris K., Winter J. (2003): *Hidrológiai Számítások*. 3. kiadás, Linográf Kft., Gödöllő.
- Nagy E. D. és Szilágyi J. (2020): Comparative analysis of catchment response times and their definitions using measured and re-analysis rainfall data. *HydroCarpath International Conference 2020*, p. 9.
- Nagy E. D. és Szilágyi J. (2021): A Wisnovszky-féle összefüggés felülvizsgálata hazai vízgyűjtőkön mért összegyűlekezési idők és számos morfológiai jellemző vizsgálatával. *Hidrológiai Közöny*, 101(1), pp. 19–32.
- Nagy E. D., Szilágyi J. és Torma P. (2021): Assessment of dimension-reduction and grouping methods for catchment response time estimation in Hungary. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 38(100971).
- Nagy E. D., Torma P. és Bene K. (2016): Comparing Methods for Computing the Time of Concentration in a Medium-Sized Hungarian Catchment. *Slovak Journal of Civil Engineering*, 24(4), pp. 8–14.
- V. Nagy I. (1978): *Hidrológia III*. Budapesti Műszaki Egyetem, Építőmérnöki Kar, Budapest.

- Nash J. E. és Sutcliffe J. V. (1970): River flow forecasting through conceptual models part I — A discussion of principles. *Journal of Hydrology*, 10(3), pp. 282–290.
- Nathan R. J. és McMahon T. A. (1990): Evaluation of automated techniques for base flow and recession analyses. *Water Resources Research*, 26(7), 1465–1473.
- Oppel H. és Mewes B. (2020): On the Automation of Flood Event Separation From Continuous Time Series. *Frontiers in Water*, 2, pp. 1–14.
- Pilgrim D. H. (1976): Travel times and nonlinearity of flood runoff from tracer measurements on a small watershed. *Water Resources Research*, 12(3), pp. 487–496.
- Szilágyi J. (2007): Analysis of the nonlinearity in the hillslope runoff response to precipitation through numerical modeling. *Journal of Hydrology*, 337(3–4), pp. 391–401.
- Wisnovszky I. (1958): Az összegyülekezési idő számítása. *Hidrológiai Közlöny*, (3), pp. 195–200.