

Az intenzitás-időtartam-gyakoriság görbe függvények aktualizálásának szükségessége

The need to update the Intensity-Duration-Frequency curve functions

Mrekva László

Nemzeti Közzolgálati Egyetem, Víz tudományi Kar,
Víz-és Környezetbiztonsági Tanszék, Mesteroktató
mrekva.laszlo@uni-nke.hu

ORCID: 0000-0001-8855-8743 


Dr. Bíró Tibor

intézetvezető egyetemi tanár
Környezeti Fenntarthatósági Intézet
Nemzeti Közzolgálati Egyetem
biro.tibor@uni-nke.hu

ORCID:0000-0002-5553-9850 

Dr. Bognár Balázs t. dandártábornok
adjunktus

Katasztrófavédelmi Intézet
Nemzeti Közzolgálati Egyetem
Email:balazs.bognar@katved.gov.hu

ORCID: 0000-0002-6029-1917 

Bevezetés

A vízgazdálkodás és a víziközmű infrastruktúrát érintő tervezés során egyre nagyobb szükség van az intenzitás-időtartam-gyakoriság (IDF - Intensity-Duration-Frequency) görbék megújítására. Különösen fontos ez klímaváltozás hatásainak (extrém időjárási események) vizsgálata okán. Számos kutatás bizonyítja, hogy csapadék jellemzők térben és időben nagyon változékonyak. Az IDF görbék (amelyekkel jellemezhetjük a csapadék intenzitását, időbeli eloszlást és gyakoriságát) fontos szerepet játszanak többek között a vízközmű infrastruktúra rendszerek tervezésében, a városi árvizeink kockázatának elemzésében és nemkülönben hasznosak a katasztrófavédelmi intézetekre történő sikeres felkészülésben. A görbék aktualizálása nem csak tudományos szükséglet, hanem olyan gyakorlati követelmény, ami elősegíti a tervezési normák javulását, segítenek a szakembereknek a meglévő infrastrukturális rendszerek ellenálló képességének értékelésében, és hozzájárulnak a fenntartható városi árvízgazdálkodási megoldások kidolgozásához.

Introduction

There is a growing necessity to update Intensity-Duration-Frequency (IDF) curves in water management and infrastructure planning. This is especially critical for analyzing the impacts of climate change, particularly extreme weather events. Several studies show that precipitation characteristics are highly variable in space and time. IDF curves (which can be used to characterise the intensity, temporal distribution and frequency of precipitation) play an important role in, among other things, the design of water infrastructure systems, the analysis of urban flood risk and, not least, are useful for successful disaster preparedness. Updating the curves is not only a scientific necessity but a practical requirement that will help improve design standards, assist practitioners in assessing the resilience of existing infrastructure systems, and contribute to developing sustainable urban flood management solutions.

Kulcsszavak: intenzitás, időtartam, gyakoriság, klímaváltozás, infrastruktúra, kockázat

Keywords: intensity, duration, frequency, climate change, infrastructure, risk

1. Bevezetés – fogalmi értelmezés

Az intenzitás-időtartam-gyakoriság (IDF) görbék aktualizálásának, frissítésének szükségessége elsősorban a klímaváltozás és annak következményei miatt fontos. A csapadékintenzitásban és a gyakoriságban bekövetkező jelentős változások megkérdőjelezzik a jelenleg használatos IDF görbék relevanciáját. A szakterületre vonatkozó kutatások szerint a jövőbeli extrém csapadékesemények gyakorisága és intenzitása növekedni fog, ami új tervezési szemléletmódot, korszerűbb földhasználati és várostervezési stratégiákat igényel különösen a víziközmű infrastruktúrák (például csapadékvíz-elvezető rendszerek) tervezésében [1], szükségessé teszi a tervezés újraértékelését, a tervezési alapok megújítását, ideértve az IDF görbéket is. A múltbeli csapadékadatokon alapuló jelenlegi tervek már nem elégítik ki a jelenkor infrastrukturális igényeit. A kutatások rávilágítanak arra, hogy

- a meglévő víziközmű infrastruktúra rendszerek sok esetben alultervezettek, nem képesek a fokozódó szélsőséges időjárási események kezelésére [2],
- az IDF görbék frissítése nélkül a tervezők nem képesek hatékony jövőbeli védelmi intézkedéseket kidolgozni a városi árvíz kockázat csökkentésére [3],
- a legmegfelelőbb módszerek regionálisan változhatnak, és a legjobb gyakorlatokon kell, hogy alapuljanak [4],
- az IDF görbék aktualizálása segíthet a tervezőknek abban, hogy jobban felkészüljenek a jövőbeli szélsőséges eseményekre, és csökkentsék a klímaváltozás által okozott kockázatokat [5].

Fentiekre tekintettel az IDF görbék aktualizálása elengedhetetlen feltétele a hatékony városi víziközmű infrastruktúra-tervezés és a környezeti kockázatok kezelésének.

A meglévő ismeretek és számítási módszerek újragondolása, a legújabb tudományos ismeretek és technológiák (pl. modellkísérletek) alkalmazása lehetővé teszi a tervezők számára a fenntarthatóbb és biztonságosabb infrastrukturális megoldások kidolgozását [6][7].

2. Az IDF-görbék alapvető funkciói és története

Az IDF görbék alapvető funkciói és története a 20. század elejére nyúlik vissza és szorosan kötődik a hatékony belvízvédelmi tervezés és vízgazdálkodás gyakorlatához (a csapadékintenzitások statisztikai elemzése). Az IDF görbék alapvető eszközök a hidrológiában, matematikai keretben biztosítanak a szélsőséges csapadékesemények gyakoriságának előrejelzésére, emellett széles körben használják őket a vízkészletek tervezése során, annak biztosítása érdekében, hogy a különböző infrastruktúra elemek képesek legyenek megbirkózni a nem várt csapadékintenzitásokkal.

Wang és társai szerint az IDF görbék statisztikai ábrázolást nyújtanak a csapadék intenzitása, időtartama és előfordulásának valószínűsége közötti kapcsolatról. Alapvető funkciói magukban foglalják a különböző csapadékintenzitások valószínűségének becslését lehetővé téve a különböző időtartamú csapadékeseményekhez kapcsolódó infrastruktúra rendszerek tervezését [8]. Az IDF görbék ezeknek a statisztikai elemzéseknek a révén jönnek létre, egyrészt elemzik a változó éghajlati viszonyokhoz köthető extrém csapadékeseményeket, másrészt lehetővé teszik a különböző visszatérési idővel rendelkező csapadékintenzitások előrejelzését [9] nemkülönben előrejelzésére is szolgálnak [10] elősegítve az infrastrukturális projektek biztonságának növelését, a széleskörű vízgyűjtőkezelési stratégiák kialakítását [11].

Következésképpen az IDF görbék a jövőbeli tervezési és kockázatkezelési stratégiák alapját képezik, a legújabb kutatások és fejlesztések során alkalmazott új módszereket és technológiák adoptálása által (pl. távérzékelés és a statisztikai modellek kombinációja).

3. A jelenlegi IDF-görbék alkalmazási korlátai

A tradicionális IDF görbék a múlt csapadékadatát elemzik feltételezve, hogy ugyanazok a mögöttes folyamatok fogják meghatározni a jövőbeli csapadékviszonyokat és a csapadékmennyiséget. Ez a feltételezés azonban nem érvényes a változó éghajlati feltételek mellett. A klímaváltozásnak köszönhetően a csapadékintenzitások és a gyakoriságok dinamikusan változnak, ami megkérdőjelezi a statikus IDF-görbék megbízhatóságát [12], mivel nem képesek precízen előre jelezni a múltbeli mintáktól eltérő extrém időjárási eseményeket, nem veszik figyelembe a klímaváltozás által súlyosbodó szélsőséges időjárási események miatti csapadékintenzitások időbeli változásait [13], ez nagyfokú bizonytalanságot jelent a tervezők számára. Az éghajlat változás hatásai miatt a csapadékintenzitás és az extrém időjárási események gyakoriságának növekedésével az múltbeli adatok már nem fedik le kellően az aktuális helyzetet, ezért a mérnököknek újfajta modellkísérletekkel kell a jövőbeli csapadékviszonyok alakulását szimulálni [14]. A statikus IDF-görbék nem képesek figyelembe venni a nem statikus éghajlati viszonyokat, amelyek a csapadékintenzitások és a gyakoriságok megváltozásához vezetnek, ezért a tervezési folyamatok a kockázatok alábecsüléséhez vezethetnek [15]. A megoldás érdekében a kutatók folyamatosan dolgoznak a klímaváltozás hatásait és a csapadékintenzitások időbeli változásait [16] figyelembe vevő modellek kidolgozásán. Ennek köszönhetően a pontosabb előrejelzések válhatnak elérhetővé a tervezők számára a jövőben jelentkező szélsőséges eseményekre való jobb felkészülés érdekében. Ezért is elengedhetetlen a fenntartható települési csapadékvíz-gazdálkodás hatékonyságának növelése érdekében az IDF-görbék folyamatos frissítése a legújabb tudományos ismeretek alkalmazása [17] mellett.

4. A klímaváltozás hatása az IDF-görbékre

Az intenzitás-időtartam-gyakoriság (IDF) görbék és az klímaváltozás közötti kapcsolat kritikus fontosságú a hatékony városi árvízkezelés és a víziközmű infrastruktúra tervezése szempontjából. A klímaváltozásból eredő szélsőséges időjárási események jelentős kihívások elé állítják a települési vízgazdálkodást és a víziközmű infrastruktúra tervezést. Az éghajlati extrémítások növekednek, ez kihatással van az IDF görbék fejlődésére és alkalmazhatóságára [18], ami szükségessé teszi a szélsőséges időjárási minták megbízhatóbb figyelembevétele mellett azok folyamatos frissítését. A csapadékminták változása különböző földrajzi régiókban eltérő módon történik [19] (egyes területeken a csapadékintenzitás növekedése mellett a szélsőséges események gyakoribbá válása, máshol a csapadékeloszlás változása figyelhető meg). Ennek a folyamatnak az eredményeképpen az IDF görbe értékek frissítéséről ideális esetben többször kell gondoskodni, mint a múltban és a számításokhoz a különböző éghajlatváltozási scenáriókat is figyelembe kell venni. Minél inkább képesek leszünk megérteni a szélsőséges csapadékmintázatok területi heterogenitását, annál inkább válik egyre fontosabbá a "helyileg releváns" IDF-információk értéke.

Ennek okán a terüleetspecifikus IDF görbék kidolgozása elengedhetetlen a helyi éghajlati viszonyok és a csapadékintenzitás változékonysága mellett, mivel a globális modellek gyakran nem adnak pontos előrejelzéseket a lokalizált forgatókönyvekre [20]. Az éghajlatváltozás által kiváltott csapadék intenzitás és gyakoriság dinamikus változásai szükségessé teszi a hagyományos, statikus IDF görbék felülvizsgálatát, mivel azok már képesek megfelelően leképezni a modellezésből származó dinamikusan változó jövőbeli csapadékviszonyokat [21]. Ezáltal lehetővé válik a tervezők számára, hogy csökkentsék a klímaváltozás által okozott kockázatokat és hatékonyabb védelmi intézkedéseket dolgozzanak ki [22] a környezeti kockázatok kezelésének érdekében.

5. Új technológiák és módszerek az IDF-görbék frissítéséhez, azok gyakorlati alkalmazásai

Az olyan új technológiák és módszerek, mint például a „bigdata” elemzés, a gépi tanulás, és különböző klímamodellek integrálása, lehetővé teszik a csapadékesemények adatainak gyors, hatékony és pontos elemzését. Ezek a fejlett technológiák a gépi tanulási algoritmusok által képesek az adatokból olyan irányvonalakat azonosítani, amelyek segíthetnek a jövőbeli csapadékintenzítások előrejelzésében [23] (változékonyság és a bizonytalanságokat figyelembevétele mellett) és képesek a klímaváltozás hatásait összevonni [24]. A klímamodellek integrálása és a helyi adatok kombinálása lehetővé teszi a területspecifikus IDF-görbék létrehozását, amelyek pontosabb előrejelzéseket nyújtanak a helyi viszonyokra tekintettel [25].

Amikor a helyi viszonyokról, hatékonyabb védelmi intézkedésekről, a kockázatok mérsékléséről beszélünk szót kell ejteni a helyi építési előírások és a vonatkozó törvények felülvizsgálatáról. Ezeknek a jogszabályoknak tükrözniük kell a legújabb tudományos ismereteket és a klímaváltozási előrejelzések javaslatait, hogy az adott víziközmű infrastruktúra képes legyen ellenállni az időjárási extrémításoknak [26]. A kockázatkezelés és az adaptív stratégiák kialakítása szempontjából az új típusú IDF-görbék jelentős szerepet játszanak a tervezési normák és előírások optimalizálásában, garantálva, hogy a városi vízvezető rendszerek és árvízvédelmi intézkedések hatékonyan kezeljék a jövőbeli kihívásokat [27]. Az aktualizálás tehát nemcsak a városi infrastruktúra tervezésében, hanem a jogszabályi keretek és a kockázatkezelési stratégiák fejlesztésében is elengedhetetlen [28].

Milyen kihívásokkal és akadályokkal szembesülhetünk? Az aktualizálás során számos olyan kihívással és akadállyal kell szembenézni, mint például az adatok beszerzése, finansziális kérdések, a megfelelő feldolgozás lehetősége vagy a megfelelő modellek kiválasztása.

1. Adatbeszerzés és feldolgozás nehézségei

A szükséges adatok beszerzése gyakran komoly kihívásokkal jár, sok esetben a szükséges csapadékadatok nem állnak rendelkezésre, hiányosak vagy nem kompatibilisek, különösen igaz ez az olyan területeken, ahol nincs megfelelő mérési lefedettség, hiányoznak a meteorológiai állomások. Az ilyen „mértelen” területeken a lokális csapadékintenzítés meghatározásához alternatív módszerek alkalmazása szükséges, amelyek mindig magunkban hordoznak némi pontatlanságot [29]. Ezen kívül a meglévő adatok minősége is változó lehet, ami további nehézségeket okoz a megbízható görbék biztosításában [30].

2. Technológiai akadályok

Számos technológiai akadály merülhet fel a folyamatokban: a modellek futtatásához szükséges számítási kapacitás elégtelen, a szoftverek költségesek különösen, ha „bigdata” állományokkal dolgozunk. Ezen kívül a modellek kalibrálása is további technikai kihívást jelent, mivel a klímaváltozás hatásainak figyelembevételéhez komplex algoritmusok és matematikai modellek szükségesek [31].

3. Anyagi források és időráfordítás

A frissítési folyamat jelentős anyagi forrásokat emészt fel és időráfordítást igényel. Az adatok beszerzése, feldolgozása és a modellek fejlesztése költséges lehet, különösen, ha új technológiák (távérzékelés vagy gépi tanulás) alkalmazására van szükség [32]. Attól függően, hogy milyen mértékben állnak rendelkezésre a szükséges adatok, és mennyire bonyolult modellel van dolgunk [25] az időtartam is változó lehet. Ezek a kihívások jelentős nehézségeket okoznak nem csak a kisebb, de a nagyobb települések önkormányzatai számára.

6. Ajánlások a jövőre

A jövőbeli kutatási irányok számos területet érintenek, az új adatelemzési technikák alkalmazásától kezdve, a klímamodellek integrálásán keresztül egészen a regionális és helyi sajátosságok figyelembevételéig. A korszerű adatelemzési technikák alkalmazása, a gépi tanulás és a „bigdata” elemzése lehetőséget ad arra, hogy a tervezők és kutatók pontosabb és megbízhatóbb IDF-görbéket állítsanak elő [33]. A globális és regionális klímamodellek integrálása a folyamatokba segíthet a jövőbeli pontosabb előrejelzésében [34]. A globális modellek a Föld légkörének dinamikáját ábrázolják a jelenlegi és jövőbeli éghajlati viszonyok megértése céljából, ezzel szemben a regionális éghajlati modelleket a helyi szintű hatások vizsgálatára fejlesztették ki. Az adatok minőségének javítása érdekében a mérési módszerek és technológiák folyamatos fejlesztése szükséges, ehhez biztosítani kell a releváns csapadékadatok beszerzését (beleértve a távérzékelésből és a helyi meteorológiai állomásokból származó adatokat is) és meg kell teremteni a korszerű feldolgozás feltételeit [35]. A városi infrastruktúra biztonságának növelése és a kockázatok csökkentése érdekében a döntéshozóknak minden lehetséges eszközzel támogatni kell a legújabb tudományos ismereteket magába foglaló jogszabály és építési előírás korszerűsítést tartalmazó intézkedéseket [36]. Emellett nagy figyelmet kell fordítani a tervezők és hatósági szakemberek folyamatos képzésére, mert a tudatosság növelése segíthet a közösségek és a döntéshozók számára a fenntarthatóbb tervezési és kockázatkezelési gyakorlatok alkalmazásában. Ugyanez vonatkozik a súlyos balesetek elleni védekezés területén a természeti katasztrófák által okozott ipari balesetek védelmi tervezésben történő figyelembevételére [37]. Súlyos károkat okozhatnak továbbá az intenzív esőzések a veszélyes ipari üzemek csapadékvízszennyezése által is [38, 39].

7. Összefoglalás

A szélsőséges időjárási események, a városi táj megváltozása, az urbanizáció, mind-mind jelentős kihívást jelentenek a városok számára, fokozzák a természetes környezetre és a meglévő infrastruktúra hálózatokra nehezedő nyomást. Az IDF-görbék aktualizálása és beépítése a tervezési és kockázatkezelési gyakorlatokba elengedhetetlen a klímaváltozás elleni küzdelemben. Az újra értelmezést követően a tervezők, a hatóságok és a döntéshozók hatékonyabb és fenntarthatóbb megoldásokat dolgozhatnak ki a városi, különösen a víziközmű infrastruktúra védelme érdekében, amikor a klímaváltozás jelentette kihívásoknak köszönhetően a szélsőséges időjárási események egyre gyakoribbá válnak. A technológiai fejlődés, például a gépi tanulás és a távérzékelés lehetőséget ad arra, hogy pontosabb és megbízhatóbb IDF-görbéket állítsanak elő a szakemberek, amelyek egyre egzaktabban képesek jellemezni az helyi éghajlati viszonyokat is. Ebben a frissítési folyamatában a technológia és a tudomány nyújtotta lehetőségek közé tartozik a klímamodellek integrálása a jövőbeli csapadékvízviszonyok pontosabb előrejelzése érdekében.

8. Irodalomjegyzék

- [1] A. Sarhadi and E. Soulis, "Time-varying extreme rainfall intensity-duration-frequency curves in a changing climate", *Geophysical Research Letters*, vol. 44, no. 5, p. 2454-2463, 2017. [Online]. Elérhetőség: <https://doi.org/10.1002/2016gl072201> (2024.08.11.)
- [2] M. Xu, "Climate change impacts on rainfall intensity–duration–frequency curves in local scale catchments", *Environmental Monitoring and Assessment*, vol. 196, no. 4, 2024. [Online]. Elérhetőség: <https://doi.org/10.1007/s10661-024-12532-2> (2024.08.11.)
- [3] D. Ghebreyesus and H. Sharif, "Development and assessment of high-resolution radar-based precipitation intensity-duration-curve (idf) curves for the state of texas", *Remote Sensing*, vol. 13, no. 15, p. 2890, 2021. [Online]. Elérhetőség: <https://doi.org/10.3390/rs13152890> (2024.08.11.)

- [4] S. Liew, S. Raghavan, & S. Liong, "How to construct future idf curves, under changing climate, for sites with scarce rainfall records?", *Hydrological Processes*, vol. 28, no. 8, p. 3276-3287, 2013. [Online]. Elérhetőség: <https://doi.org/10.1002/hyp.9839> (2024.08.11.)
- [5] D. Kareem, A. Amen, A. Mustafa, M. Yüce, & M. Szydlowski, "Comparative analysis of developed rainfall intensity–duration–frequency curves for erbil with other iraqi urban areas", *Water*, vol. 14, no. 3, p. 419, 2022. [Online]. Elérhetőség: <https://doi.org/10.3390/w14030419> (2024.08.11.)
- [6] C. Lago, E. Mendiondo, F. Olivera, & M. Giocomoni, "Application of a disaggregation method for the generation of climate changed intensity-duration-frequency curves for predicting future extreme rainfall impacts on transportation infrastructure", *Matec Web of Conferences*, vol. 271, p. 04002, 2019. [Online]. Elérhetőség: <https://doi.org/10.1051/mateconf/201927104002> (2024.08.11.)
- [7] F. Paola, M. Giugni, M. Topa, & E. Bucchignani, "Intensity-duration-frequency (idf) rainfall curves, for data series and climate projection in african cities", *Springerplus*, vol. 3, no. 1, 2014. [Online]. Elérhetőség: <https://doi.org/10.1186/2193-1801-3-133> (2024.08.11.)
- [8] X. Wang, G. Huang, & J. Liu, "Projected increases in intensity and frequency of rainfall extremes through a regional climate modeling approach", *Journal of Geophysical Research Atmospheres*, vol. 119, no. 23, 2014. [Online]. Elérhetőség: <https://doi.org/10.1002/2014jd022564> (2024.08.11.)
- [9] R. Pizarro, R. Valdés, A. Abarza, & P. García-Chevesich, "A simplified storm index method to extrapolate intensity–duration–frequency (idf) curves for ungauged stations in central chile", *Hydrological Processes*, vol. 29, no. 5, p. 641-652, 2014. [Online]. Elérhetőség: <https://doi.org/10.1002/hyp.10187> (2024.08.11.)
- [10] T. Alsumaiti, "Development of intensity–duration–frequency (idf) curves over the united arab emirates (uae) using chirps satellite-based precipitation products", *Remote Sensing*, vol. 16, no. 1, p. 27, 2023. [Online]. Elérhetőség: <https://doi.org/10.3390/rs16010027> (2024.08.11.)
- [11] M. Maiolo, S. Palermo, A. Brusco, B. Pirouz, M. Turco, A. Vinciet al., "On the use of a real-time control approach for urban stormwater management", *Water*, vol. 12, no. 10, p. 2842, 2020. [Online]. Elérhetőség: <https://doi.org/10.3390/w12102842> (2024.08.11.)
- [12] L. Yan, L. Xiong, C. Jiang, M. Zhang, D. Wang, & C. Xu, "Updating intensity–duration–frequency curves for urban infrastructure design under a changing environment", *Wiley Interdisciplinary Reviews Water*, vol. 8, no. 3, 2021. [Online]. Elérhetőség: <https://doi.org/10.1002/wat2.1519> (2024.08.11.)
- [13] S. Doulabian, E. Tousi, A. Toosi, & S. Alaghmand, "Non-stationary precipitation frequency estimates for resilient infrastructure design in a changing climate: a case study in sydney", *Hydrology*, vol. 10, no. 6, p. 117, 2023. [Online]. Elérhetőség: <https://doi.org/10.3390/hydrology10060117> (2024.08.11.)
- [14] D. Escobar-González, M. Singaña-Chasi, J. González-Vergara, B. Erazo, M. Zambrano, D. Acosta et al., "Intensity-duration-frequency curve for extreme rainfall event

- characterization, in the high tropical andes", *Water*, vol. 14, no. 19, p. 2998, 2022. [Online]. Elérhetőség: <https://doi.org/10.3390/w14192998> (2024.08.11.)
- [15] A. Rana, L. Bengtsson, J. Olsson, & V. Jothiprakash, "Development of idf-curves for tropical india by random cascade modeling", 2013. [Online]. Elérhetőség: <https://doi.org/10.5194/hessd-10-4709-2013> (2024.08.11.)
- [16] M. Ombadi, P. Nguyen, S. Sorooshian, & K. Hsu, "Developing intensity-duration-frequency (idf) curves from satellite-based precipitation: methodology and evaluation", *Water Resources Research*, vol. 54, no. 10, p. 7752-7766, 2018. [Online]. Elérhetőség: <https://doi.org/10.1029/2018wr022929> (2024.08.11.)
- [17] H. Minh, L. Kim, L. Lanh, L. Thinh, N. Cong, T. Týet al., "Developing intensity-duration-frequency (idf) curves based on rainfall cumulative distribution frequency (cdf) for can tho city, vietnam", *Earth*, vol. 3, no. 3, p. 866-880, 2022. [Online]. Elérhetőség: <https://doi.org/10.3390/earth3030050> (2024.08.11.)
- [18] J. Martel, F. Brissette, P. Lucas-Picher, M. Troin, & R. Arsenault, "Climate change and rainfall intensity–duration–frequency curves: overview of science and guidelines for adaptation", *Journal of Hydrologic Engineering*, vol. 26, no. 10, 2021. [Online]. Elérhetőség: [https://doi.org/10.1061/\(asce\)he.1943-5584.0002122](https://doi.org/10.1061/(asce)he.1943-5584.0002122) (2024.08.11.)
- [19] H. Tayşi and M. Özger, "Disaggregation of future gcms to generate idf curves for the assessment of urban floods", *Journal of Water and Climate Change*, vol. 13, no. 2, p. 684-706, 2021. <https://doi.org/10.2166/wcc.2021.241> (2024.08.11.)
- [20] H. Hu and B. Ayyub, "Machine learning for projecting extreme precipitation intensity for short durations in a changing climate", *Geosciences*, vol. 9, no. 5, p. 209, 2019. [Online]. Elérhetőség: <https://doi.org/10.3390/geosciences9050209> (2024.08.11.)
- [21] A. Schardong, S. Simonović, A. Gaur, & D. Sandink, "Web-based tool for the development of intensity duration frequency curves under changing climate at gauged and ungauged locations", *Water*, vol. 12, no. 5, p. 1243, 2020. [Online]. Elérhetőség: <https://doi.org/10.3390/w12051243>
- [22] Ulrich, F. Fauer, & H. Rust, "Modeling seasonal variations of extreme rainfall on different time scales in germany", 2021. [Online]. Elérhetőség: <https://doi.org/10.5194/hess-2021-336> (2024.08.11.)
- [23] L. Cook, S. McGinnis, & C. Samaras, "The effect of modeling choices on updating intensity-duration-frequency curves and stormwater infrastructure designs for climate change", *Climatic Change*, vol. 159, no. 2, p. 289-308, 2020. [Online]. Elérhetőség: <https://doi.org/10.1007/s10584-019-02649-6> (2024.08.11.)
- [24] C. Lago, E. Mendiondo, F. Olivera, & M. Giocomoni, "Application of a disaggregation method for the generation of climate changed intensity-duration-frequency curves for predicting future extreme rainfall impacts on transportation infrastructure", *Matec Web of Conferences*, vol. 271, p. 04002, 2019. [Online]. Elérhetőség: <https://doi.org/10.1051/mateconf/201927104002> (2024.08.11.)

- [25] A. Peck, P. Prodanovic, & S. Simonović, "Rainfall intensity duration frequency curves under climate change: city of london, ontario, canada", *Canadian Water Resources Journal / Revue Canadienne Des Ressources Hydriques*, vol. 37, no. 3, p. 177-189, 2012. [Online]. Elérhetőség: <https://doi.org/10.4296/cwrj2011-935> (2024.08.11.)
- [26] L. Yan, L. Xiong, C. Jiang, M. Zhang, D. Wang, & C. Xu, "Updating intensity–duration–frequency curves for urban infrastructure design under a changing environment", *Wiley Interdisciplinary Reviews Water*, vol. 8, no. 3, 2021. [Online]. Elérhetőség: <https://doi.org/10.1002/wat2.1519> (2024.08.11.)
- [27] J. Lutz, L. Grinde, & A. Dyrddal, "Estimating rainfall design values for the city of oslo, norway—comparison of methods and quantification of uncertainty", *Water*, vol. 12, no. 6, p. 1735, 2020. [Online]. Elérhetőség: <https://doi.org/10.3390/w12061735> (2024.08.11.)
- [28] R. V, "Development of intensity-duration-frequency curves for intake structures in irrigation projects", *International Journal of Lakes and Rivers*, vol. 16, no. 2, p. 95-105, 2023. [Online]. Elérhetőség: <https://doi.org/10.37622/ijlr/16.2.2023.95-105> (2024.08.11.)
- [29] C. Sangüesa, "Comparing methods for the regionalization of intensity–duration–frequency (idf) curve parameters in sparsely-gauged and ungauged areas of central chile", *Hydrology*, vol. 10, no. 9, p. 179, 2023. <https://doi.org/10.3390/hydrology10090179> (2024.08.11.)
- [30] M. Puricelli, "Rainfall extremes modeling under shortage of data and uncertainty in the pampean region (argentina)", *Cuadernos De Investigación Geográfica*, vol. 44, no. 2, p. 719-742, 2018. [Online]. Elérhetőség: <https://doi.org/10.18172/cig.3371> (2024.08.11.)
- [31] E. Ragno, A. AghaKouchak, C. Love, L. Cheng, F. Vahedifard, & C. Lima, "Quantifying changes in future intensity-duration-frequency curves using multimodel ensemble simulations", *Water Resources Research*, vol. 54, no. 3, p. 1751-1764, 2018. [Online]. Elérhetőség: <https://doi.org/10.1002/2017wr021975> (2024.08.11.)
- [32] T. Alsumaiti, "Development of intensity–duration–frequency (idf) curves over the united arab emirates (uae) using chirps satellite-based precipitation products", *Remote Sensing*, vol. 16, no. 1, p. 27, 2023. [Online]. Elérhetőség: <https://doi.org/10.3390/rs16010027> (2024.08.11.)
- [33] V. Agilan and N. Umamahesh, "Modelling nonlinear trend for developing non-stationary rainfall intensity–duration–frequency curve", *International Journal of Climatology*, vol. 37, no. 3, p. 1265-1281, 2016. [Online]. Elérhetőség: <https://doi.org/10.1002/joc.4774> (2024.08.11.)
- [34] C. Lago, E. Menciondo, F. Olivera, & M. Giacomoni, "Application of a disaggregation method for the generation of climate changed intensity-duration-frequency curves for predicting future extreme rainfall impacts on transportation infrastructure", *Matec Web of Conferences*.
- [35] A. Hamlet, "New observed data sets for the validation of hydrology and land surface models in cold climates", *Water Resources Research*, vol. 54, no. 8, p. 5190-5197, 2018. [Online]. Elérhetőség: <https://doi.org/10.1029/2018wr023123> (2024.08.11.)
- [36] H. Ewea, A. Elfeki, & N. Al-Amri, "Development of intensity–duration–frequency curves for the kingdom of saudi arabia", *Geomatics Natural Hazards and Risk*, vol. 8, no. 2, p. 570-

584, 2016. [Online]. Elérhetőség: <https://doi.org/10.1080/19475705.2016.1250113> (2024.08.11.)

- [37] Almási, Csaba; Christián, László; Kátai-Urbán, Lajos; Vass, Gyula: Security Planning in Transport of Dangerous Goods by Road in Hungary. In: Michal, Titko; Erika, Mošková; Katarína, Košútová (szerk.) Riešenie Krízových Situácií v Špecifickom Prostredí: zborník príspevkov z 25. vedeckej konferencie s medzinárodnou účasťou. Zilina, Szlovákia: Žilinská univerzita v Žiline (2022) 150 p. pp. 12-18.
- [38] Kátai-Urbán M. – Mesics Z. – Pimper L. – Cimer Zs. 2023. Veszélyes anyagok tárolása a logisztikai raktárakban. *Műszaki Katonai Közlemények*, 33: 3 pp. 63-75. [Online]. Elérhetőség: [doi:10.32562/mkk.2023.3.6](https://doi.org/10.32562/mkk.2023.3.6) (2024.08.11.)
- [39] Kátai-Urbán, M., Érces, G., Vass, Gy., Cimer, Zs.(2024) Veszélyes áru raktározás oltóvízszennyezéssel kapcsolatos tűzvédelmi követelményeinek értékelése. *Polgári Védelmi Szemle*, 16 : különszám pp. 312-323. [Online]. Elérhetőség: <https://real.mtak.hu/195793/1/KatLog8docB5KataiUrban.pdf> (2024.08.11.)