

M Ű E G Y E T E M 1 7 8 2

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem,
Vásárhelyi Pál Építőmérnöki és Földtudományi Doktori Iskola
Fotogrammetriai és Térinformatika Tanszék

Fenntartható urbanisztikai területhasználat optimalizálása tér adatok alapján

Ph.D értekezés új tudományos eredményei

Md. Mostafizur Rahman

Ph.D. jelölt

Fotogrammetriai és Térinformatika Tanszék

Témavezető

Dr. Szabó György

egyetemi docens

Budapest, 2022

1. Bevezetés

A földhasználat optimalizálás fontos eszköze a fenntartható települési területhasználat-tervezés megvalósításának, amelynek célja a hosszú távú kiegyensúlyozott településfejlesztés a gazdasági jólét, az erőforrások hatékony felhasználása, a környezetvédelem és a társadalmi méltányosság révén [1]. Feladata a különböző területhasználatok (pl. lakóterület, ipari, kereskedelmi, rekreációs létesítmény, szabad terület stb.) olyan kiosztása, hogy az optimális haszon származzon [2]. A valóságban azonban ezek a célok versengenek, sőt, néha ütköznek is egymással [3]. Például, ha alacsony fekvésű területen történik lakóépület, az kielégítheti a települési lakásigényt, de problémát okoz a települési vízvezetésben. Az épületszerkezetek építése növelheti a gazdasági hasznot, de rontja a környezetet és a települési egészséget. Tehát a gondos tervezés kiemelten fontos a területhasználat-tervezésben. A földhasználat-optimalizálás koncepciója lehetővé teszi alternatív földhasználati forgatókönyvek generálását, amelyből a döntéshozó az ütköző érdekek figyelembevételével a legjobb megoldást választja [1], [4]. A területhasználat optimalizálás a téroptimalizálás egyik ága, amely három lényeges elemből áll. Ezek a) döntési változók, b) célfüggvények és c) megszorítások [5]. Egy többcélú területhasználat-optimalizálási probléma a következőképpen fogalmazható meg [6]:

$$\begin{aligned} & \text{Minimize or Maximize} && f_m(x), && m = 1, 2, \dots, \dots, M; \\ \text{alá} & g_j(x) \geq 0, && j = 1, 2, \dots, \dots, J; \\ & h_k(x) = 0, && k = 1, 2, \dots, \dots, K; \\ & x_i^{(L)} \leq x_i \leq x_i^{(U)}, && i = 1, 2, \dots, \dots, n; \end{aligned}$$

ahol $f_m(x)$ található a célfüggvények; $g_j(x)$ és $h_k(x)$ az egyenlőtlenség, illetve az egyenlőség korlátai. x_i a térbeli döntési változó; $x_i^{(L)}$ és $x_i^{(U)}$ a döntési változó alsó és felső határa.

A kutatás átfogó célja a települési területhasználat optimalizálása téradatok felhasználásával. E cél elérése érdekében egyrészt szisztematikus szakirodalmi áttekintésen keresztül vizsgáltam a többcélú települési területhasználat-optimalizálási problémákat. Szisztematikus szakirodalmi áttekintéssel több kutatási hiányosságot is azonosítottam az érintett témában. Ezután pótoltam néhány kutatási hiányosságot a tanulmányomban.

2. Célok

A disszertáció fő célkitűzései a következők.

- a) Többcélú települési területhasználat-optimalizálási probléma vizsgálata.
- b) Elemezni a területhasználat földborítás-változás hatását a települési ökoszisztéma szolgáltatási értékére.
- c) Index kidolgozása a társadalmi előnyök mérésére a települési területhasználat optimalizálási problémájában.
- d) Index kidolgozása a környezeti előnyök mérésére a települési földhasználat elosztásában.
- e) Egy térinformatikai alapú többszemponútú döntéshozatali (GIS-MCDM) megközelítés bemutatása a fenntartható települési területfelosztás optimalizálására.

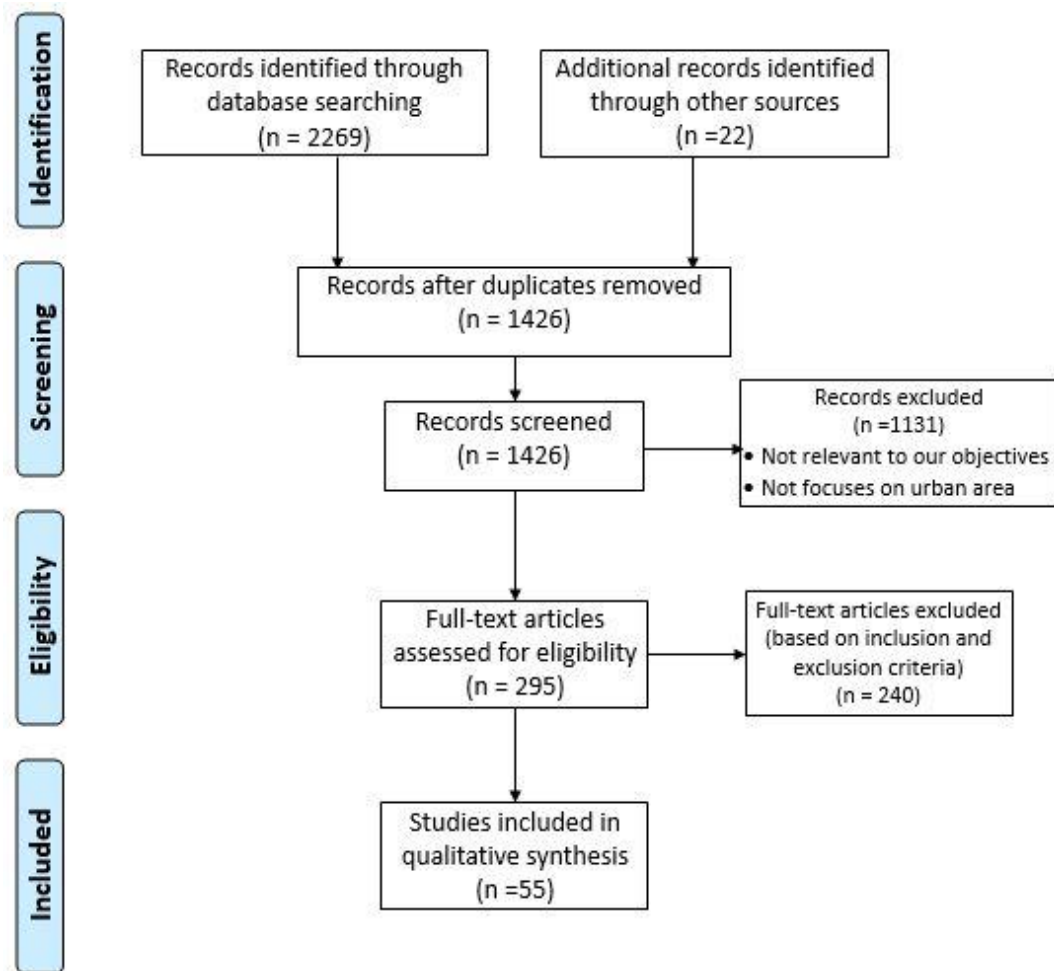
3. Módszertan

3.1 Az 1. célkitűzéshez kapcsolódó módszertan

Szisztematikusan áttekintettem a települési területhasználat optimalizálási problémáját a Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analysis (PRISMA) protokoll segítségével [7]. A PRISMA protokoll (1. ábra) első lépése a kutatási cikkek felkutatása. A cikkek megtalálásához a Web of Science Core Collection adatbázist és a Scopus adatbázist használtam. A PRISMA protokoll második lépése a cikkek felvételére és kizárására vonatkozó alkalmassági kritériumok meghatározása. A kutatási cikkek felvételéhez és kizárásához két kategóriájú alkalmassági kritérium javasolt. Ezek a tanulmány jellemzői (pl. probléma, beavatkozás és tanulmányterv stb.) és a jelentés jellemzői (pl. földrajzi elhelyezkedés, figyelembe vett évek, nyelv, publikációs állapot stb.) [7]. Ezt az irányelvet követve azokat a tanulmányokat vettem fel, amelyek a) kifejezetten a többcélú területhasználat-optimalizálásra fókuszáltak, b) az optimalizálás matematikai megközelítését követték, és c) térbeli adatokat használtak. A jelentés jellemzőinél azokat a tanulmányokat vettem figyelembe, amelyek a) csak települési területekre fókuszáltak, b) angol nyelven készültek, c) lektorált folyóiratcikkben jelentek meg.

Az első szakaszban a keresési stratégia alapján kezdetben összesen 2291 cikk került kiválasztásra a Web of Science, a Scopus és egyéb forrásokból. A második szakaszban az összes cikket rendeztem az MS Excelben, és eltávolítottam az ismétlődő rekordokat. Mintegy 865 cikk került eltávolításra, így 1246 cikk maradt az átvilágítás következő szakaszára. A harmadik szakaszban a kizárási kritériumok figyelembevétele történt meg. Így 1131 cikk került kizárásra,

295 cikk esetében pedig teljes szöveges értékelés történt. A negyedik, egyben utolsó szakaszban alaposan átvizsgáltam ezt a 295 cikket, és végül 55 cikket csatoltam ehhez az áttekintéshez a felvételi és kizárási kritériumok alapján. Ezt az 55 cikket a földhasználat-optimalizálási problémák különböző aspektusainak azonosítására használták fel, ideértve a célkitűzéseket, a problémák konstrukciós megközelítését, a megoldási módszereket, valamint a téradatok és modellek használatát.

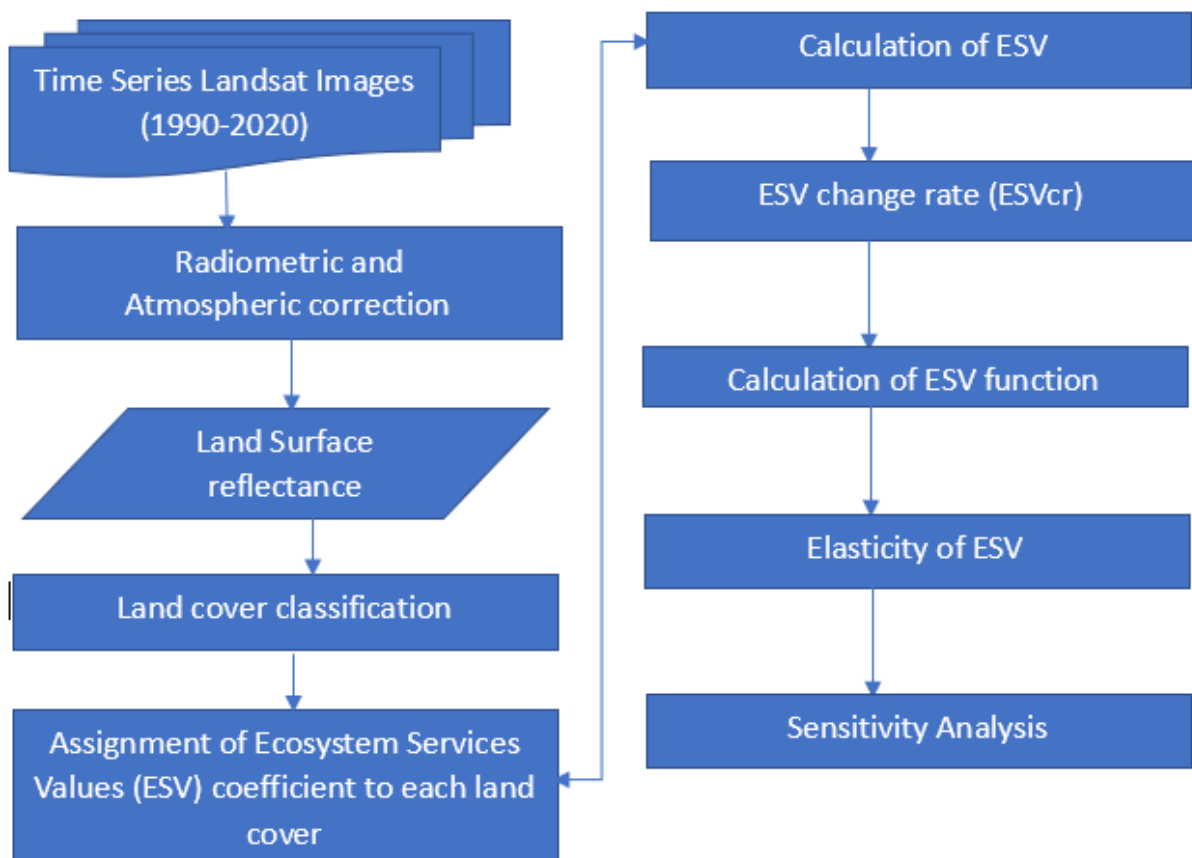


1. ábra: PRISMA folyamatábra az irodalomkutatásról és a közlemények végleges felvételéről, adaptálva [7] -ből

3.2 A 2. célkitűzéshez kapcsolódó módszertan

Az ökoszisztéma-szolgáltatás értékét (ESV) a vizsgált terület földhasználatára és földborítására (LULC) alapján került kiszámításra. Tehát először is a vizsgált terület LULC-jét öt kategóriába soroltam, nevezetesen a) mezőgazdasági terület, b) víztest c) erdő és növényzet, d) beépített terület és e) parlag terület. A LULC-t Landsat képek alapján osztályoztam. Ezután az ESV-t az ötféle LULC alapján számítottam ki. A szélesebb körű elfogadhatóságra és alkalmazhatóságra tekintettel a Costanza et al. által javasolt haszontranszfer módszert (BTM) alkalmaztam. [8] ,

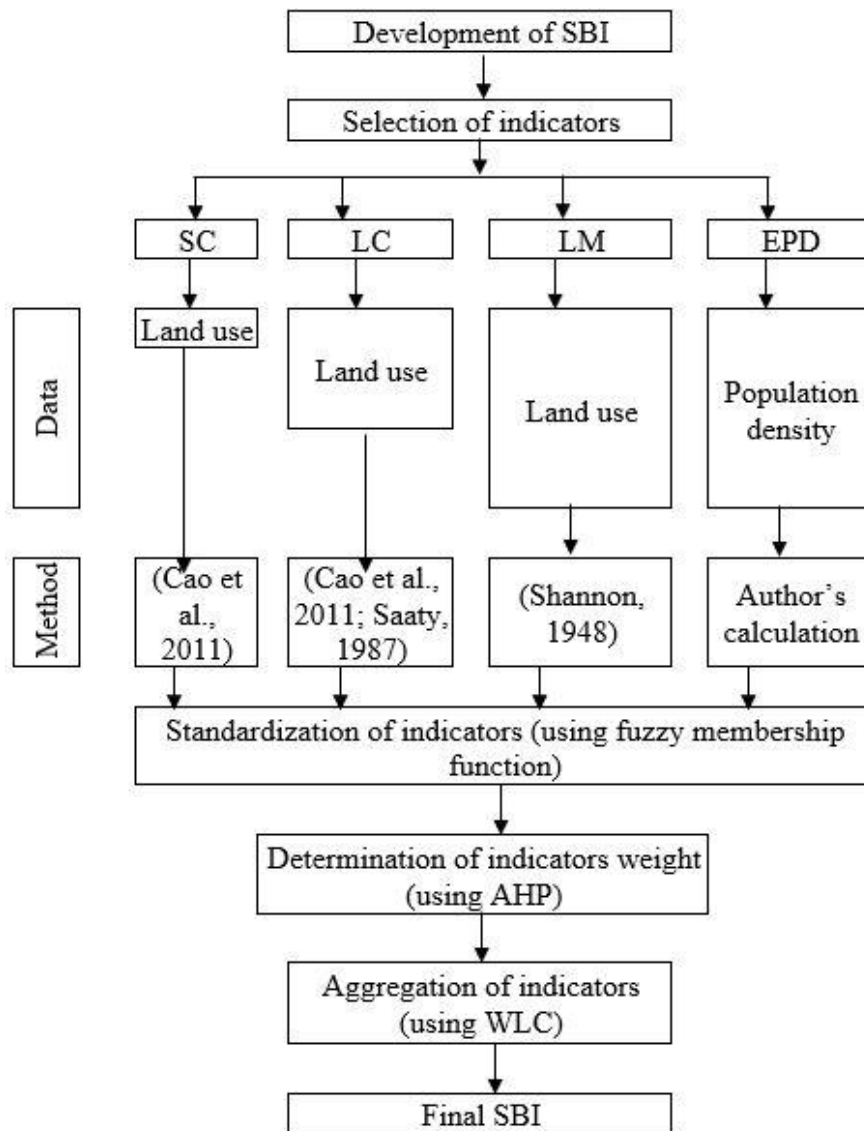
az ESV felmérésére a vizsgált területen . A BTM szerint az ESV értékelése három alapvető lépésből áll: a) az LULC hozzárendelése egyenértékű biomhoz, b) az ESV és változásának kiszámítása, valamint c) az ESV rugalmassága az LULC változása miatt. Ezen lépéseken túlmenően érzékenységi elemzést is végeztem az ESV értékelés robusztusságának és megbízhatóságának tesztelésére. Az alapvető lépéseket a 2. ábra szemlélteti.



2. ábra: Az ESV értékelés módszertani folyamatábrája

3.3 A 3. célkitűzéshez kapcsolódó módszertan

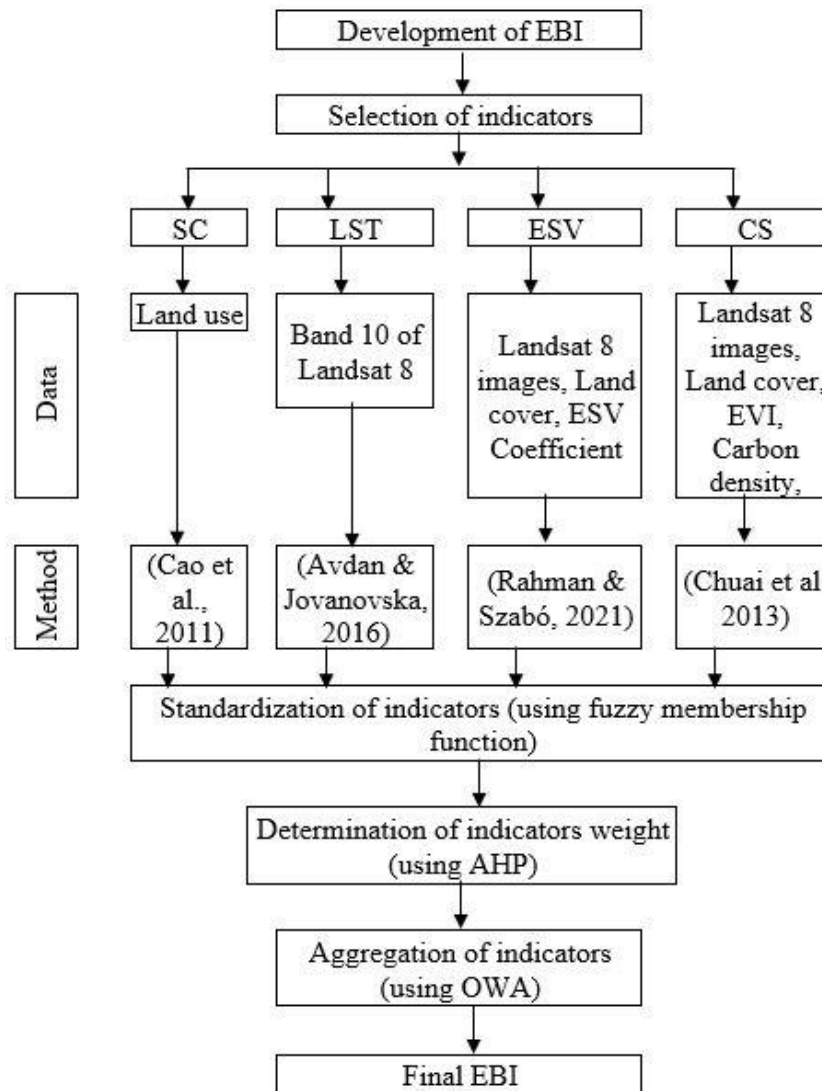
A szociális haszon összetett mutatójának kialakításához ki kell választani azokat a megfelelő mutatókat, amelyek tükrözik a földhasználati allokációból származó társadalmi hasznot. Négy mutatót, nevezetesen a) térbeli kompaktság (SC), b) területhasználati kompatibilitást (LC), c) földhasználati összetételt (LM), és d) a népességeloszlás egyenletességét (EPD) választottuk ki szakirodalmi áttekintés és szakértői vélemény alapján. Ezt követően mind a négy mutató értékét kiszámoltam és az értékeket standardizáltam. Ezután súlyozott lineáris kombinációs (WLC) aggregációs függvény segítségével összesítettem a mutatókat, és kialakítottam a szociális haszon indexet (SBI). Az indikátorok súlyának meghatározásához analitikus hierarchia eljárást alkalmaztunk. A módszertan alapvető lépéseit a 3. ábra szemlélteti.



3. ábra: Az SBI fejlesztés módszertani folyamatábrája

3.4 A 4. célkitűzéshez kapcsolódó módszertan

A környezeti előnyök összetett indexének létrehozásához olyan mutatókat kell használni, amelyek pontosan reprezentálják a földhasználat elosztásával kapcsolatos környezeti előnyöket. A szakirodalom tanulmányozása és a szakértői vélemény alapján négy mutatót választottam ki: a) térbeli kompaktság (SC), b) földfelszíni hőmérséklet (LST), c) karbon-tárolás (CS) és d) ökoszisztéma szolgáltatási értéke (ESV). Ezután kiszámítottam és normalizáltam mind a négy mutató eredményeit. Ezt követően a mutatószámokat összesítettem, és a rendezett súlyozott átlagolási (OWA) aggregációs algoritmus (EBI) segítségével létrehoztam a környezeti előnyök indexét. A mutatók súlyát analitikus hierarchia módszerrel határoztuk meg. A módszertan alapvető fázisait a 4. ábra mutatja.

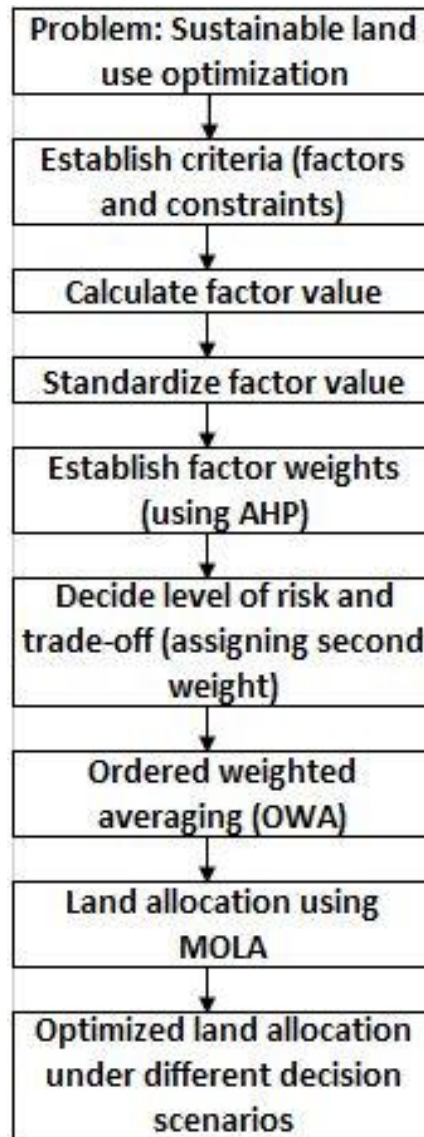


4. ábra: Az EBI fejlesztés módszertani folyamatábrája

3.5 Az 5. célkitűzéshez kapcsolódó módszertan

E cél érdekében számos adatkészletet használtam. A tanulmányban felhasznált elsődleges adatok közé tartozik a területhasználat és a felszínborítás, az úthálózat és más fizikai jellemzők, valamint a digitális magassági modell (DEM). Ezek az adatok raszteres és ESRI shapefile formátumban voltak, és különböző tényezőkhöz használt megfeleléségi térképek levezetésére szolgáltak. Az adatokat TerrSet v 19.0 és ArcGIS 10.8 szoftverrel dolgoztam fel. Bemutattam a térinformatikai alapú többszemponútú döntéshozatali (MCDM) megközelítést az új lakóövezet helyének optimalizálására. Fenntarthatósági dimenziókat vettem figyelembe (társadalmi, gazdasági és környezeti előnyök) a területhasználat optimalizálása során. Az új lakóövezet fejlesztés helyének optimalizálásának teljes folyamata két fő lépésből áll: a) a lakóterület-alkalmassági térképezés értékelése többszemponútú értékelés (MCE) segítségével és b) az új

lakóövezet fejlesztés optimális helyének meghatározása. A négy fő lépést a terület alkalmasság értékelésére hajtottuk végre. Ezek a) a kritériumérték számítása, b) a kritériumok standardizálása, c) a kritériumok súlyozása és d) a kritériumok súlyozott összesítése. Az 5. ábra szemlélteti a módszertani lépéseket.



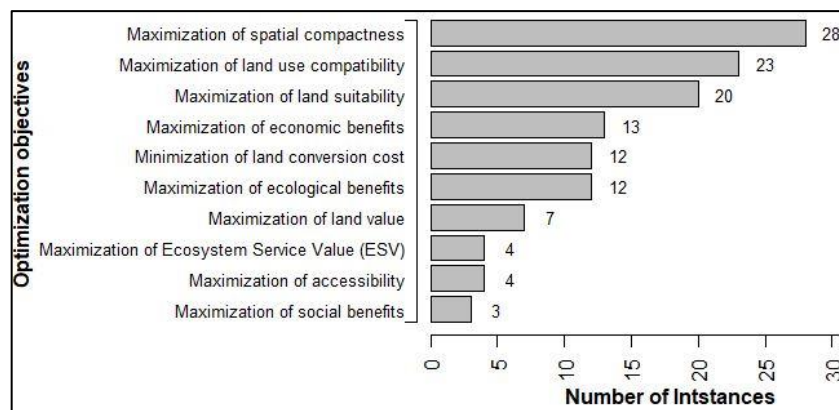
5. ábra: A fenntartható települési területhasználat optimalizálásának módszertani menete

4. Tézisek és új tudományos eredmények (NSR)

4.1. Tézis 1

A **többcélú települési területhasználat-optimalizálási problémákat szisztematikus szakirodalmi áttekintésen keresztül vizsgáltam.** Az alábbiak az új tudományos eredmények.

- [NSR 1.1]: A települési területhasználat-optimalizálási problémák leggyakoribb célkitűzései a térbeli kompaktság maximalizálása (16,67%), ezt követi a területhasználati kompatibilitás maximalizálása (13,69%) és a területhasználati alkalmasság maximalizálása. (11,90%) (6. ábra).
- [NSR 1. 2]: A fenntarthatósági dimenziókkal (társadalmi, gazdasági és környezeti) kevésbé foglalkoztak a települési területhasználat-optimalizálási problémákban. 55 tanulmányból csak 2 foglalkozott a fenntarthatóság három dimenziójával.
- [NSR 1.3]: A fenntarthatóság társadalmi dimenziója nem kapott hangsúlyt a települési területhasználat-optimalizálási problémákban. A tanulmányok mindössze 10%-a (n=3) tartalmazta a fenntarthatóság társadalmi szempontjait.
- [NSR 1.4]: Nincs általánosított módszer a társadalmi és környezeti előnyök kiszámítására a települési területhasználat-optimalizálási problémákban. Különböző kutatók különböző, egyetlen változó alapú társadalmi és környezeti előnyöket használtak. Például Yuan és mtsai. [9] a térbeli tömörséget használta a társadalmi haszon mértékeként, és (Gómez-Baggethun et al. [10] az ökoszisztéma szolgáltatási értéket (ESV) használta a környezeti előnyök mérőszámaként.
- [NSR 1.5]: A raszteres formátum a legelőnyösebb adatmodell (80%) a vektoros adatokkal (20%) szemben a területhasználat optimalizálásában.
- [NSR 1.6]: A részvételi megközelítés a földhasználati döntéshozatalban nagyon elhanyagolható.

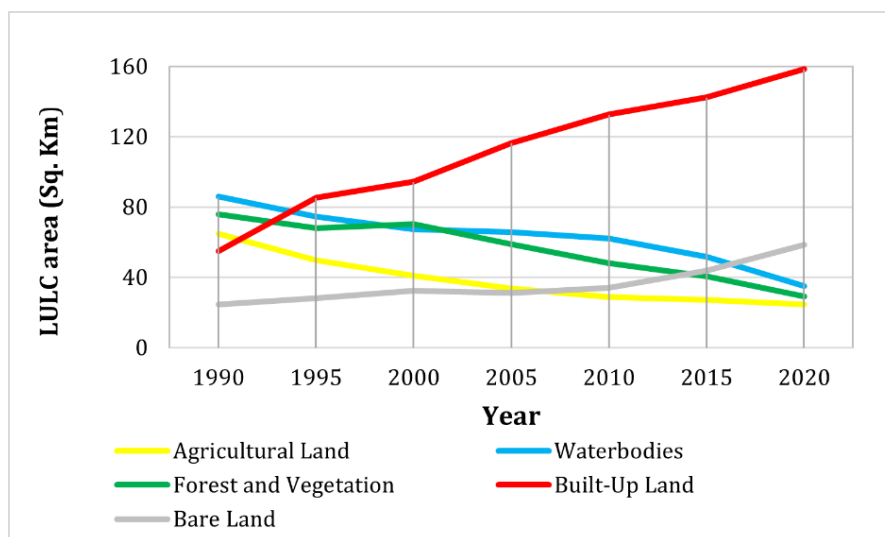


6. ábra: A leggyakrabban használt célok a települési területhasználat-optimalizálási problémákban

4.2. Tézis 2

Elemeztem a földhasználat és a felszínborítás (LULC) változásainak hatását a bangladesi Dhaka város települési ökoszisztéma szolgáltatási értékére (ESV) az 1990-2020 közötti időszakban. Az alábbiak az új tudományos eredmények.

[NSR 2.1]: A beépített terület a domináns felszínborítás, amely 1990-ről 2020-ra 188,35%-kal nőtt, átlagos éves növekedési üteme körülbelül 6,28% (7. ábra és 1. táblázat).

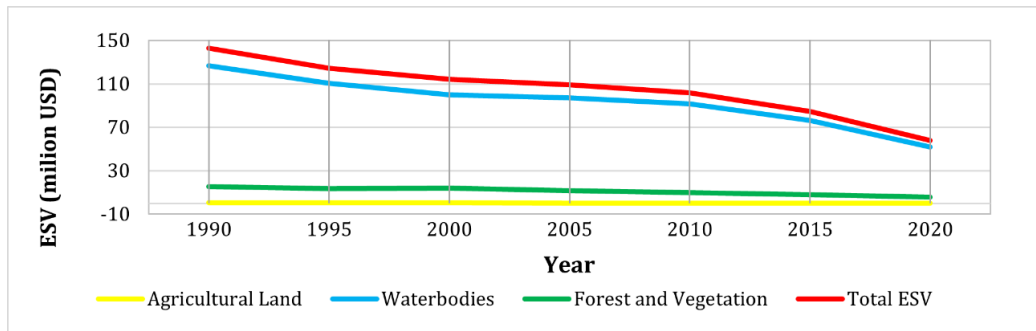


7. ábra : A LULC változásának trendje Dakka városában 1990-2020 között.

1. táblázat: A LULC éves változási üteme 1990 és 2020 között.

Felszínborítottsági osztály	1990-1995	1995-2000	2000-2005	2005-2010	2010-2015	2015-2020	1990-2020
Mezőgazdasági	-4.66	-3.52	-3.49	-2,88	-1.07	-1,92	-2.06
Víztestek	-2.61	-1,93	-0,54	-1.08	-3.34	-6.49	-1,98
Erdő és növényzet	-2.04	0,68	-3.29	-3.66	-3.10	-5.65	-2.05
Beépített terület	11.01	2.18	4.64	2.77	1.48	2.26	6.28
Parlag	2.96	3.12	-0,88	1.94	5.64	6.71	4.61

- [NSR 2.2]: Az ESV 59,55%-kal (85 millió USD) csökkent az 1990-es 142,72 millió USD-ről 2020-ra 57,72 millió USD-ra, az átlagos éves csökkenési ráta körülbelül 1,99% (8. ábra).



8. ábra: A teljes ESV trendje Dakka városában 1990-2020 között.

- [NSR 2.3]: Az ESV csökkenésének fő oka a beépített terület mezőgazdasági területek, víztestek, erdők és növényzetes területek átalakításával történő fejlesztése volt.
- [NSR 2.4]: A víztest és a szabályozási szolgáltatás volt a legnagyobb mértékben hozzájáruló tényező a teljes ESV-hez.
- [NSR 2.5]: Az ESV LULC-hez viszonyított rugalmasságára vonatkozó eredmény azt jelenti, hogy a LULC-ben körülbelül 1%-os átmenet körülbelül 0,33%-os változást eredményezne a teljes ESV-ben a vizsgálati időszak alatt.

4.3. Tézis 3

Kidolgoztam egy összetett indexet, a szociális haszon indexet (SBI) a társadalmi haszon mérésére a települési területhasználat-optimalizálási problémákban. Az alábbiak az új tudományos eredmények.

- [NSR 3.1]: Négy változó, nevezetesen a térbeli kompaktság, a földhasználati kompatibilitás, a földhasználati összetétel és a népességeloszlás együttesen használható a társadalmi haszon mérésére a települési területfelosztásban.
- [NSR 3.2]: Az ipari és kereskedelmi területhasználat nagymértékben kompatibilis (kompatibilitás = 1), míg a lakossági-ipari és ipari-egészségügyi létesítmények kompatibilitása a legalacsonyabb (kompatibilitás = 0,004)
- [NSR 3.3]: A térbeli kompaktság (0,52) a leginkább befolyásoló kritérium az SBI-re, a legkevésbé pedig a népességeloszlás egyenletessége (0,10) (2. táblázat).
- [NSR 3.4]: A vizsgált területen a terület legnagyobb része (40,36%) a közepes SBI zónába esik.
- [NSR 3.5]: Az SBI jobb megközelítés a szociális juttatások más egyváltozós mérőszámaihoz képest.

2. táblázat Különböző mutatók súlya.

Mutatók	súly
Földhasználati kompatibilitás	0.24
A népességeloszlás egyenletessége	0.10
Földhasználati keverék	0.14
Térbeli kompaktság	0,52

4.4. Tézis 4

Kidolgoztam egy új összetett indexet, a környezeti előnyök indexét (EBI) a környezeti előnyök mérésére a települési területhasználat optimalizálási problémákban. Az alábbiak az új tudományos eredmények.

- [NSR 4.1]: Négy változó, nevezetesen a térbeli kompaktság, az ökoszisztéma-szolgáltatási érték (ESV), a földfelszíni hőmérséklet (LST) és a karbon-tárolás, amelyek együttesen a környezeti előnyök mérésére szolgálnak a települési földhasználat elosztásában.
- [NSR 4.2]: A földfelszíni hőmérséklet (LST) a legbefolyásosabb mutatója (0,4996) az EBI-nak, és a karbon-tárolás (0,0776) csekély mértékben befolyásolja az EBI-t (3. táblázat).
- [NSR 4.3]: Átlagos kockázatú döntés esetén a vizsgált terület nagy része (64,55 %) az alacsony környezeti haszon zónába esik, ezt követi a közepes környezeti haszon (28,48%).
- [NSR 4.4]: Az EBI jobb megközelítés a környezeti előnyök más egyváltozós mérőszámaihoz képest.

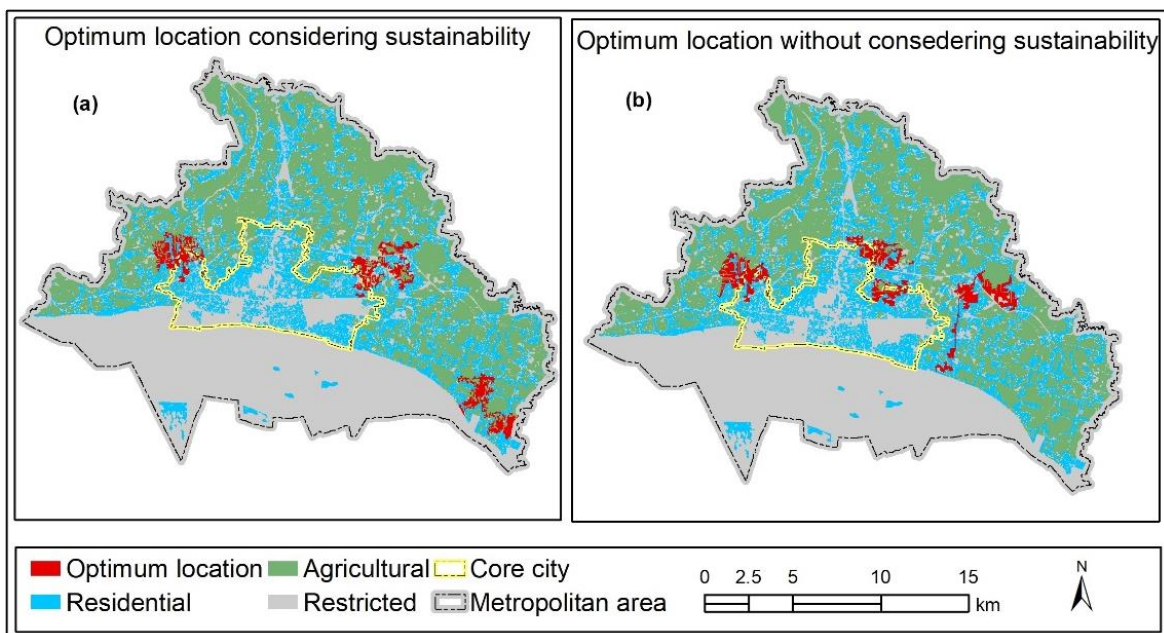
3. táblázat Különböző mutatók súlya

Mutatók	súly
Karbondároló	0,0776
A talaj felszínének hőmérséklete	0,4996
Térbeli tömörség	0,1667
Ökoszisztéma-szolgáltatás értéke	0,2562

4.5. Tézis 5

Bemutattam egy térinformatikai alapú többszemponú döntéshozatali (GIS-MCDM) megközelítést a települési lakóterület-használat optimalizálására. Az alábbiak az új tudományos eredmények.

- [NSR 5.1]: A fenntarthatósági tényezők (társadalmi, gazdasági és környezeti) hozzájárulnak a hagyományos tényezőkhöz, hogy optimalizálják a települési lakóterületek elosztását.
- [NSR 5.2]: Kiszámítottam a lakóterület-elhelyezés fenntarthatósági hasznát. Az eredmény azt mutatta, hogy az általam javasolt megközelítéssel körülbelül 9,00%-kal több fenntarthatósági haszon származtatható a hagyományos megközelítéshez képest (4. táblázat és 9. ábra).
- [NSR 5.3]: Különböző döntési stratégiák alapján határoztam meg a lakóterületek optimális elhelyezkedését. A „High Risk-No Tradeoff” döntési stratégia hozta meg a legnagyobb fenntarthatósági hasznot esetenben.



9. ábra: Lakóterület optimális elhelyezkedése: a) a fenntarthatóság figyelembevételével és b) a fenntarthatóság figyelembevétele nélkül

4. táblázat: Az optimális földelosztás fenntarthatósági előnyei

Fenntarthatósági dimenzió	Fenntarthatósági haszon értéke (egység nélkül)		
	A fenntarthatóság figyelembevétele nélkül	Figyelembe véve a fenntarthatóságot	% A haszon növekedése a fenntarthatóságot figyelembe véve
Szociális juttatás	95370.08	100775.70	5.67
Környezeti haszon	62277.21	67616.00	8.57
Gazdasági haszon	20283.13	25553.56	25.98
Teljes	177930.42	193945.26	9.00

5. tézisekhez kapcsolódó összes publikáció listája

Folyóiratok

1. Rahman, M. M., & Szabó, G. (2021). Multi-objective urban land use optimization using spatial data: A systematic review. *Sustainable Cities and Society*. 2021, 74, 103214. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.103214>
2. Rahman, M.M.; Szabó, G. Impact of land use and land cover changes on urban ecosystem service value in Dhaka, Bangladesh. *Land* **2021**, *10* (8), 793. <https://doi.org/10.3390/land10080793>
3. Rahman, M.M.; Szabó, G. A Geospatial Approach to Measure Social Benefits in Urban Land Use Optimization Problem. *Land* **2021**, *10* (12), 1398. <https://doi.org/10.3390/land10121398>
4. Rahman, M.M.; Szabó, G. A Novel Composite Index to Measure Environmental Benefits in Urban Land Use Optimization Problem. *ISPRS Int. J. Geo-Inf.* **2022**, *Paper accepted*
5. Rahman, M.M.; Szabó, G. Sustainable urban land use optimization using GIS-based multi-criteria decision making (GIS-MCDM) approach. *Land*. **2022**, *Paper submitted*

Konferencia publikáció

1. Rahman, M. M. and Szabó, G.: NATIONAL SPATIAL DATA INFRASTRUCTURE (NSDI) OF BANGLADESH – DEVELOPMENT, PROGRESS AND WAY FORWARD, *ISPRS Ann. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, V-4-2020, 131–138, <https://doi.org/10.5194/isprs-annals-V-4-2020-131-2020>, 2020.

2. Rahman, M. M., & Szabó, G. (2020). Exploring urban sustainability dimension through land use optimization. In: Molnár, Éva Vanda (ed.) The meeting of theory and practice in GIS XI.: Theory meets practice in GIS. Debrecen, Hungary: Debrecen University Press (2020). ISBN 978-963-318-886-6. pp. 217-222.
3. Rahman, M. M., & Szabó, G. (2021). Comparing K-Means Clustering and Random Forest technique to classify urban land cover. In: Molnár, Éva Vanda (ed.) The meeting of theory and practice in GIS XI.: Theory meets practice in GIS. Debrecen, Hungary: Debrecen University Press (2021). ISBN 978-963-318-977-1. pp. 217-222.

6. Hivatkozások

- [1] A. Ligmann-Zielinska, R. Church, and P. Jankowski, "Spatial optimization as a generative technique for sustainable multiobjective land-use allocation," *Int. J. Geogr. Inf. Sci.*, 2008, doi: 10.1080/13658810701587495.
- [2] K. Cao, B. Huang, S. Wang, and H. Lin, "Sustainable land use optimization using Boundary-based Fast Genetic Algorithm," *Comput. Environ. Urban Syst.*, vol. 36, no. 3, 2012, doi: 10.1016/j.compenvurbsys.2011.08.001.
- [3] B. Huang and W. Zhang, "Sustainable land-use planning for a Downtown Lake Area in Central China: Multiobjective optimization approach aided by urban growth modeling," *J. Urban Plan. Dev.*, 2014, doi: 10.1061/(ASCE)UP.1943-5444.0000186.
- [4] K. Cao and X. Ye, "Coarse-grained parallel genetic algorithm applied to a vector based land use allocation optimization problem: The case study of Tongzhou Newtown, Beijing, China," *Stoch. Environ. Res. Risk Assess.*, vol. 27, no. 5, 2013, doi: 10.1007/s00477-012-0649-y.
- [5] D. Tong and A. T. Murray, "Spatial Optimization in Geography," *Ann. Assoc. Am. Geogr.*, 2012, doi: 10.1080/00045608.2012.685044.
- [6] K. Deb, "Multi-objective Optimisation Using Evolutionary Algorithms: An Introduction," in *Multi-objective Evolutionary Optimisation for Product Design and Manufacturing*, 2011.
- [7] D. Moher *et al.*, "Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: The PRISMA statement," *PLoS Medicine*. 2009, doi: 10.1371/journal.pmed.1000097.
- [8] R. Costanza *et al.*, "The value of the world's ecosystem services and natural capital," *Nature*, 1997, doi: 10.1038/387253a0.
- [9] M. Yuan, Y. Liu, J. He, and D. Liu, "Regional land-use allocation using a coupled MAS and GA model: From local simulation to global optimization, a case study in Caidian District, Wuhan, China," *Cartogr. Geogr. Inf. Sci.*, 2014, doi: 10.1080/15230406.2014.931251.
- [10] E. Gómez-Baggethun *et al.*, "Urban ecosystem services," in *Urbanization, Biodiversity and Ecosystem Services: Challenges and Opportunities: A Global Assessment*, 2013.