

Istraživački okvir za odabir lokacija evakuacijskih skloništa kod prirodnih katastrofa

Bojan Ožinger¹, prof. dr. sc. **Ivica Završki**²

¹Ministarstvo obrane Republike Hrvatske, OSRH, bojanozinger@gmail.com

²Sveučilište u Zagrebu Građevinski fakultet, ivica.zavrski@grad.unizg.hr

Sažetak

Evakuacijska skloništa ključna su za zaštitu ljudi u područjima pogođenim katastrofama, minimizirajući gubitke života i povećavajući otpornost zajednica. Planiranje i dodjela skloništa smanjuju ranjivost i uključuju poboljšanje infrastrukture, krizno upravljanje, edukaciju, zakonodavstvo, sustave ranog upozoravanja i strategije oporavka. Međutim, neravnomjerna distribucija skloništa i razlike u gustoći naseljenosti ograničavaju njihovu pristupačnost. Odabir lokacija skloništa temelji se na udaljenosti od katastrofe, pristupu zelenim površinama i kvaliteti zgrada. Članak predlaže istraživački okvir za analizu utjecaja broja stanovnika na odabir lokacije skloništa, s ciljem postavljanja skloništa izvan ranjivih područja kako bi se maksimizirala sigurnost. Studija nudi praktične informacije za buduće planiranje, prevenciju i pripremu za katastrofe.

Ključne riječi: evakuacijska skloništa, prostorna dostupnost, GIS, smanjenje rizika od katastrofe, potražnja i resursi skloništa, sklonište za hitne slučajeve, odabir lokacije

Methodology for selecting emergency shelter locations in natural disasters

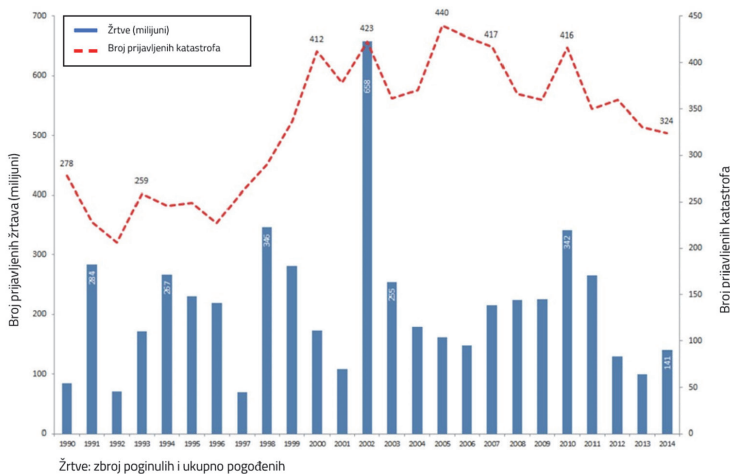
Abstract

Evacuation shelters are crucial for protecting people in areas affected by disasters, minimizing loss of life and increasing community resilience. Planning and allocating shelters reduce vulnerability and include improving infrastructure, crisis management, education, legislation, early warning systems, and recovery strategies. However, uneven distribution of shelters and differences in population density limit their accessibility. Shelter location selection is based on distance from disaster areas, access to green spaces, and building quality. The article proposes a research framework to analyze the impact of population numbers on shelter location selection, aiming to place shelters outside vulnerable areas to maximize safety. The study offers practical information for future disaster planning, prevention, and preparation.

Key words: evacuation shelters, spatial accessibility, GIS, disaster risk reduction, shelter demand and resources, emergency shelter, site selection

1 Uvod

Pojavljivanje katastrofa, bilo prirodnih ili antropogenih, kao što su potresi, poplave, oluje, klizišta i ostale, neizbježan je dio naše svakodnevice. One mogu imati razarajuće učinke na društva, što rezultira gubitkom ključne infrastrukture, ekonomske održivosti, i prije svega, gubitkom života. Međutim, ovisno o vrsti i opsegu katastrofe, kao i njezinoj lokaciji, mogu imati različite negativne posljedice [1, 2]. Jedan od prirodnih fenomena čije zanemarivanje će uzrokovati nepopravljivu štetu društvu su potresi i poplave [3, 4]. Globalno se prognozira da će prirodne katastrofe, zbog klimatskih promjena, nastupati sve češće i biti ozbiljnije u bliskoj budućnosti. Pošto se sve više ljudi seli iz ruralnih dijelova u gradove, dolazi do neplanirano velike urbanizacije te porasta koncentracije ljudi i imovine u gradovima, opasnim i ranjivim područjima [5, 6]. U proteklom desetljeću, ekstremni klimatski događaji uzrokovali su ogroman broj smrtnih slučajeva i znatnu ekonomsku štetu. Od 1950. godine broj prirodnih katastrofa kontinuirano raste, a od 1990. godine, u Bazi podataka za upravljanje hitnim situacijama (EMDAT-CRED), prijavljeno je najmanje 15,490 prirodnih katastrofa (Slika 1). Sve navedene katastrofe uzrokovale su više od 32,6 milijuna smrtnih slučajeva, zahvatile su preko osam milijardi ljudi i prouzročile ukupnu štetu od najmanje 3,5 bilijuna američkih dolara na globalnoj razini [7]. Gradovi su ranjiviji na prirodne katastrofe poput potresa i poplava zbog gustoće naseljenosti i ekonomskih aktivnosti u velikim i gustim područjima [8, 9]. Svjetska zdravstvena organizacija (WHO) definira "katastrofu" kao svaki događaj koji uzrokuje štetu, uništenje, ekološki poremećaj, gubitak ljudskih života, ljudsku patnju, pogoršanje zdravlja i zdravstvenih usluga u mjeri dovoljnoj da opravda izvanredni odgovor izvan pogođene zajednice ili područja [10]. Utjecaj katastrofa na zajednice varira ovisno o sektoru i razini [11, 12], a određen je društvenim, ekonomskim i okolišnim kapacitetima zajednice za prilagodbu [13].



Slika 1. Trend prirodnih katastrofa i broja poginulih [14]

2 Upravljanje rizikom kod katastrofa

Upravljanje rizikom kod katastrofa je način sprečavanja novih rizika od katastrofa, smanjenje postojećih rizika i upravljanje preostalim rizicima u svrhu jačanja otpornosti i smanjenja gubitaka [15]. Upravljanje rizikom kod katastrofa označuju dva bitna pojma, a to su: otpornost i ranjivost. Otpornost je sposobnost sustava ili društva izloženog opasnostima da se suprotstavi, prilagodi i oporavi od učinaka opasnosti [15]. Otpornost se oslanja na učinkovito donošenje odluka u svim fazama upravljanja rizikom kod katastrofa: procjena rizika i ranjivosti, planiranje, prevencija i ublažavanje, priprema, odgovor, oporavak, ponovna procjena i revizija. Ranjivost je mjera podložnosti društva, zajednice, sustava ili imovine utjecajima opasnosti zbog fizičkih, socijalnih, ekonomskih i okolišnih čimbenika [15], te odupiranju, prilagodbi ili brzom oporavljanju od posljedica katastrofalnih događaja.



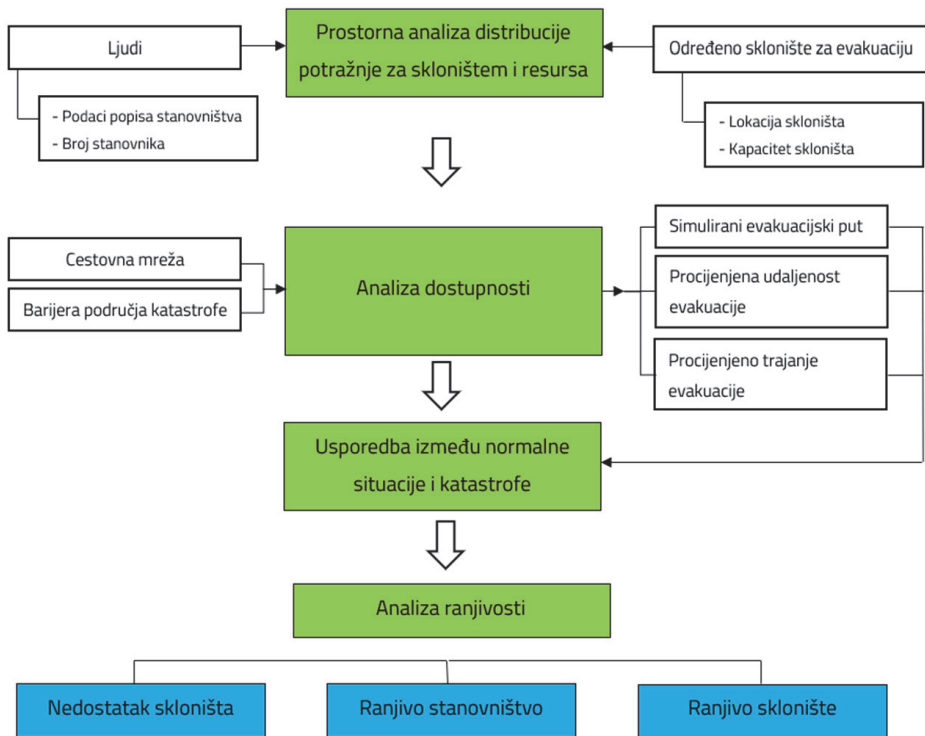
Slika 2. Aktivnosti ublažavanja katastrofa prema svjetskoj zdravstvenoj organizaciji (WHO)

Prilikom izrade projekata, neophodno je uključiti zajednice u proces kako bi se osiguralo zadovoljavanje njihovih potreba i smanjenje specifične ranjivosti. Brojne studije su pokazale da sudjelovanje zajednica u procesima upravljanja rizikom kod katastrofa, posebno u planiranju evakuacijskih skloništa, jača sposobnost zajednica za izgradnju otpornosti, povećanju šanse za njihov uspješan oporavak i dugotraju rehabilitaciju [16, 17].

3 Istraživački okvir odabira evakuacijskih skloništa

U prvom primjeru istraživačkog okvira, učinkovita dodjela skloništa i kvalitetno planiranje evakuacije ovise o lokaciji skloništa, te postotku raspodjele skloništa i populacije. Geografski informacijski sustavi (GIS) su ključni alati koji omogućavaju istraživačima efikasno prikupljanje, analizu i vizualizaciju prostornih podataka. Kroz napredne tehnike kartiranja, GIS tehnologija omogućuje detaljno razumijevanje geografskih obrazaca i trendova, što je ključno za planiranje, upravljanje resursima i donošenje odluka na različitim razinama. Kako bi analiza i procjena planiranja skloništa za katastrofe, te odabir njihove lokacije, bila što točnija i kvalitetnija, predložen je istraživački okvir sa Slike 3. Ranjivost tijekom katastrofe uzrokovana je prostornom heterogenošću neravnoteže između potražnje i kapaciteta resursa. Slika 3. prikazuje istraživački okvir za analizu evakuacije i distribucije skloništa u slučaju katastrofe. Detaljno se bavi procesom analize i planiranja evakuacije u slučaju katastrofe, fokusirajući se na distribuciju skloništa i resursa, analizu dostupnosti, usporedbu između normalnih i kriznih situacija, te analizu ranjivosti, postupak se sastoji od četiri glavna koraka. Prvi korak je prostorna analiza distribucije potražnje za skloništem i resursima, koja sadrži informacije o stanovništvu i skloništim za evakuaciju. Kako bi se dobile potrebne informacije o stanovništvu prikupljaju se i analiziraju demografski podatci iz popisa stanovništva, koji obuhvaćaju podatke kao što su ukupan broj stanovnika, starosna struktura, gustoća naseljenosti, specifične potrebe stanovništva, i slično. Prikupljeni podatci omogućuju točnu procjenu broja ljudi koji bi mogli biti pogođeni katastrofom i kojima će biti potrebna evakuacija i sklonište. Drugi dio koji se odnosi na skloništa za evakuaciju uključuje dva podkoraka. Prvi se odnosi na lokaciju skloništa. Na osnovu prikupljenih demografskih podataka, vrši se identifikacija i mapiranje postojećih skloništa. Ovo uključuje određivanje geografskih lokacija skloništa u odnosu na raspored stanovništva. Kapacitet skloništa, drugi podkorak, predstavlja ključni faktor u planiranju evakuacije jer je važno osigurati da postoji dovoljan broj dostupnih mjesta u skloništim u slučaju katastrofa. Na osnovu ulaznih varijabli, cestovne mreže i barijera područja katastrofe, provodi se drugi korak, odnosno analiza dostupnosti. Analiza cestovne mreže je ključna za identifikaciju postojećih prometnih ruta i infrastrukturnih kapaciteta, s ciljem optimalnog

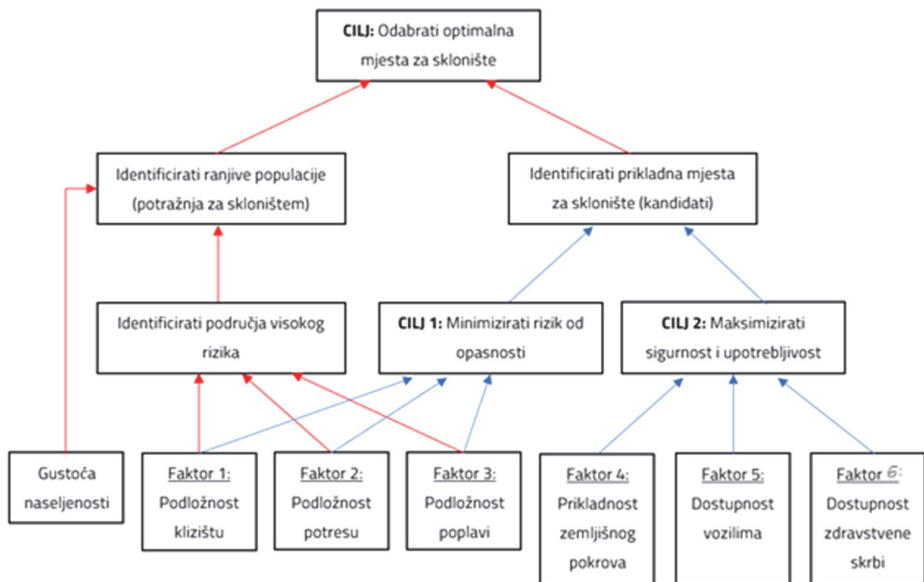
usmjeravanja evakuacije prema skloništim. Uključuje detaljnu evaluaciju glavnih puteva, alternativnih ruta, uskih grla u prometu i drugih relevantnih faktora koji bi mogli utjecati na protok evakuacije. Identifikacija barijera u području katastrofe uključuje prepoznavanje svih prepreka koje bi mogle ometati proces evakuacije, poput poplavljenih puteva, srušenih mostova ili drugih oštećenja infrastrukture uzrokovanih katastrofom. Nakon provedbe analize dostupnosti dobiju se izlazni podatci: simuliranje evakuacijskog puta, procijenjena udaljenost evakuacije i procijenjeno trajanje evakuacije. Proces planiranja evakuacije uključuje simuliranje evakuacijskog puta kako bi se testirala njegova efikasnost i sigurnost. Tijekom simulacije, analiziraju se različiti scenariji, uključujući različite vremenske i prometne uvjete, kako bi se osiguralo da su evakuacijske rute optimalne i da mogu efikasno funkcionirati pod različitim okolnostima. Procjena udaljenosti evakuacije uključuje simulaciju potencijalnih evakuacijskih puteva kako bi se odredila udaljenost koju bi ljudi morali prijeći do najbližeg skloništa. Procijenjeno trajanje evakuacije izračunava se na temelju simulacija, uzimajući u obzir faktore kao što su prometni uvjeti, brzina kretanja ljudi i moguće prepreke na putu. Na temelju dobivenih podataka provodi se treći korak: usporedba između normalne situacije i katastrofe. Analiza uključuje detaljno uspoređivanje uobičajenih prometnih i infrastrukturnih uvjeta s onima tijekom katastrofalnih događaja. Cilj je identificirati kako se dostupnost i efikasnost evakuacijskih ruta mijenjaju u kriznim situacijama. U procesu se procjenjuju faktori kao što su promjene u prometnom opterećenju, oštećenja infrastrukture te moguća ograničenja pristupa važnim putevima. Zadnji korak je analiza ranjivosti koji obuhvaća: nedostatak skloništa, ranjivo stanovništvo i ranjivost skloništa. Analiza nedostatka skloništa uključuje ispitivanje postojanja adekvatnog broja skloništa, te njihove pravilne. Identifikacija ranjivosti stanovništva uključuje prepoznavanje skupina koje su posebno osjetljive tijekom katastrofa, kao što su starije osobe, djeca, osobe s invaliditetom i druge ugrožene grupe. Analiza ranjivosti skloništa temeljito se provodi kako bi se procijenilo njihovo trenutno stanje i sigurnosne karakteristike, s ciljem osiguranja da skloništa mogu adekvatno izdržati učinke katastrofa. Ovaj proces uključuje detaljnu analizu strukturalne integritete svakog skloništa, sposobnost otpornosti na specifične vrste katastrofa (potresi ili poplave), te procjenu opremljenosti i resursa dostupnih unutar skloništa. Za planiranje pripreme za katastrofe i raspodjelu resursa ključno je poznavanje veličine, gustoće i prostorne raspodjele populacije, kao i određenih ili postojećih skloništa za evakuaciju. Problem koji se može pojaviti je taj da se podatci popisa stanovništva obično koriste za određena geografska područja koja su organizirana u velike jedinice kao što su države, regije ili općine, a one imaju ograničenu prostornu preciznost i ne prikazuju stvarnu, promjenjivu raspodjelu stanovništva. Najbolji pokazatelj i način za razumijevanje rezultata popisa stanovništva u određenoj regiji ili području jest razmatranje broja stanovnika po gradskim četvrtima, posebice u odnosu na površinu tih četvrti.



Slika 3. Istraživački okvir odabira lokacije i planiranja skloništa kod prirodnih katastrofa

Drugi primjer istraživačkog okvira (Slika 4.) sastoji od dvije faze. Prva faza je prostorno eksplicitna analiza odlučivanja s višestrukim ciljevima za identifikaciju prikladnih lokacija skloništa, dok algoritam za odabir lokacije radi optimizacije izbora među prikladnim lokacijama predstavlja drugu fazu. Algoritam za odabir lokacije skloništa temelji se na prepoznavanju ranjivih populacija i područja s visokim rizikom, te analizi adekvatnih lokacija za skloništa. Glavni cilj je odabrati optimalna mjesta za sklonište. U prvom koraku procesa odabira lokacija za skloništa, ključno je identificirati ranjive populacije. Ova faza obuhvaća dva bitna aspekta: prvi je identifikacija područja visokog rizika, gdje živi znatan broj ranjivih osoba izloženih čestim prirodnim katastrofama; drugi je analiza gustoće naseljenosti, koja pomaže u prepoznavanju područja s velikim brojem stanovnika koji bi u slučaju katastrofe mogli biti najviše pogođeni. Ovi koraci su ključni za preciziranje potreba za skloništima i strateško određivanje njihovih lokacija za efektivnu zaštitu ugroženih skupina. U prvom koraku procesa odabira lokacija za skloništa, analiziraju se faktori rizika povezane s prirodnim katastrofama, koje su vizualno predstavljene crvenim strelicama. Tri ključna faktora rizika su: podložnost klizištu (faktor 1), potresu (faktor 2) i poplavi (faktor 3). Pomoću njih se procjenjuje koliko određeno

područje sklonu klizištima, analizira se rizik od zemljotresa za to područje, te ocjenjujemo mogućnost i opseg poplava. Ova sistematična analiza omogućava da se identificira područja s povećanim rizikom od prirodnih nepogoda, što je ključno za daljnje faze planiranja i postavljanje prioriteta. U drugom koraku procesa odabira lokacija za skloništa ključno je procijeniti faktore sigurnosti i upotrebljivosti, koji su vizualno označeni plavim strelicama. Ovaj korak uključuje tri detaljna faktora: prvo, prikladnost zemljinog pokrova (faktor 4), koja se odnosi na ocjenu kvalitete i stabilnosti zemljišta na kojem se planira izgradnja skloništa, osiguravajući da su strukture sigurne i dugotrajne. Drugo, dostupnost vozilima (faktor 5), što podrazumijeva analizu pristupačnosti lokacije za vozila, ključno za brzu evakuaciju stanovništva i efikasnu dostavu pomoći u kriznim situacijama. Treće, dostupnost zdravstvene skrbi (faktor 6), gdje se procjenjuje blizina i dostupnost medicinskih ustanova koje mogu pružiti neophodnu hitnu pomoć.



Slika 4. Istraživački okvir odabira optimalnog mjesta za sklonište, plave strelice predstavljaju fazu 1: prikladnost lokacije, a crvene fazu 2: odabir lokacije

Ovi faktori zajedno omogućavaju odabir lokacija za skloništa koje ne samo da minimiziraju rizike nego i maksimiziraju šanse za brzu reakciju i oporavak u slučaju katastrofe. Na prikazanom dijagramu toka, proces odabira optimalnih lokacija za skloništa strukturiran je u dvije glavne faze, jasno povezane putem crvenih i plavih strelica koje simboliziraju smjerove analize i odlučivanja. Crvene strelice predstavljaju prvu fazu koja se usmjerava na identifikaciju ranjivih populacija i procjenu rizika od prirodnih katastrofa, uzimajući u obzir prva tri faktora uz gu-

stoću naseljenosti, dok plave strelice vode u drugu fazu, koja se fokusira na odabir lokacija za skloništa s ciljem minimizacije izloženosti rizicima, te maksimizacije sigurnosti i pristupačnosti. Svi faktori detaljno se procjenjuje kako bi se osiguralo da su odabrane lokacije skloništa optimalno sigurne i funkcionalne, spremne pružiti zaštitu i podršku u trenucima krize. Ovako organiziran proces omogućava sistematičan pristup planiranju skloništa, s jasnim smjernicama za prioritizaciju lokacija na temelju razina rizika i infrastrukturne pripremljenosti.

4 Zaključak

U članku su prikazani i predloženi istraživački okviri za odabir lokacija i planiranja skloništa prilikom prirodnih katastrofa. Istraživački okviri uključuju niz aspekata koje je potrebno analizirati i uzeti u obzir prilikom planiranja smanjenja posljedica prirodnih katastrofa. Prikazani istraživački okviri i reference uvelike mogu pomoći u planiranju, rehabilitaciji, smanjenju posljedica i rizika od katastrofa. U nastavku istraživanja potrebno je izraditi matematičke modele i algoritme povezane s GIS, koji će predložiti i predvidjeti moguće lokacije skloništa u odnosu na elementarnu nepogodu i njezinu lokaciju bilo ona: potres, poplava, odron, oluja, s najbližim pogodnim lokacijama za postavljanje skloništa, postojećih infrastruktura i sadržaja potrebnih za život (bolnice, trgovine i slično). Najbolju lokaciju skloništa, ovisno o prirodnoj katastrofi, moguće je pronaći putem algoritama za odabir lokacija u stvarnom vremenu:

- Dijkstrin algoritam koji se koristi za pronalaženje najkraćih putova,
- OWA (Ordered Weighted Averaging) algoritam koji omogućuje donošenje odluka uzimajući u obzir različite razine rizika u procesu odabira lokacija za hitna skloništa nakon potresa,
- MCDA (Multi-Criteria Decision Analysis) algoritam u kombinaciji s metodama daljinskog istraživanja i terenskih istraživanja za odabir lokacija skloništa u slučaju seizmičkih katastrofa.

Cilj istraživanja je unaprjeđenje procesa odgovora u kriznim situacijama uzrokovanim prirodnim katastrofama i izrade modela koji prilikom izvanredne situacije može vrlo brzo dati pogodne lokacije skloništa.

Literatura

- [1] Ebert, C.H. Disasters: An Analysis of Natural and Human-Induced Hazards; Kendall Hunt Publishing: Dubuque, IA, USA, 2000.

- [2] Shahpari Sani, D., Heidari, M.T., Tahmasebi Mogaddam, H., Nadizadeh Shorabeh, S., Yousefvand, S., Karpour, A., Jokar Arsanjani, J. An Assessment of Social Resilience against Natural Hazards through Multi-Criteria Decision Making in Geographical Setting: A Case Study of Sarpol-e Zahab, Iran. *Sustainability* 2022, 14, 8304.
- [3] Cuny, F.C. *Disasters and Development*; Intertect Press: Dallas, TX, USA, 1994.
- [4] Alexander, D.E. *Principles of Emergency Planning and Management*; Oxford University Press on Demand: Oxford, UK, 2002
- [5] Rosselló, J.; Becken, S.; Santana-Gallego, M. The effects of natural disasters on international tourism: A global analysis. *Tour. Manag.* 2020, 79, 104080.
- [6] Jha, A.; Brecht, H.; Stanton-Geddes, Z. Building resilience to disasters and climate change in the age of urbanization. In *Disaster Risk Reduction for Economic Growth and Livelihood: Investing in Resilience and Development*; Davis, I., Yanagisawa, K., Georgieva, K., Eds.; Routledge: Abingdon, UK, 2015; pp. 7–27.
- [7] EM-DAT: The International Disaster Database. Available online: <https://public.emdat.be/>
- [8] Zhao, L.; Li, H.; Sun, Y.; Huang, R.; Hu, Q.; Wang, J.; Gao, F. Planning emergency shelters for urban disaster resilience: An integrated location-allocation modeling approach. *Sustainability* 2017, 9, 2098.
- [9] Bayram, V.; Tansel, B.Ç.; Yaman, H. Compromising system and user interests in shelter location and evacuation planning. *Transp. Res. Part B Methodol.* 2015, 72, pp. 146–163.
- [10] World Health Organization (WHO), [Online]. Available: <http://www.who.int/hac/about/definitions/en/>
- [11] Giovene di Girasole, E.; Cannatella, D. Social Vulnerability to Natural Hazards in Urban Systems. An Application in Santo Domingo (Dominican Republic). *Sustainability* 2017, 9, 2043.
- [12] De Silva, M.M.G.T.; Kawasaki, A. Socioeconomic Vulnerability to Disaster Risk: A Case Study of Flood and Drought Impact in a Rural Sri Lankan Community. *Ecol. Econ.* 2018, 152, pp. 131–140.
- [13] United Nations. *The United Nations Office for Disaster Risk Reduction Sendai Framework for Disaster Risk Reduction*; UNDRR: Geneva, Switzerland, 2015
- [14] Guha-Sapir, D., Hoyois, P. and Below, R. : *Annual Disaster Statistical Review 2014, The Numbers and Trends*, Brussels CRED, 2015.
- [15] United Nations. *United Nations International Strategy for Disaster Risk Reduction 2009 UNISDR Terminology on Disaster Risk Reduction*; UNDRR: Geneva, Switzerland, 2009

- [16] Ainuddin, S.; Routray, J.K. Community resilience framework for an earthquake prone area in Baluchistan. *Int. J. Disaster Risk Reduct.* 2012, 2, pp. 25–36.
- [17] Joerin, J.; Shaw, R.; Takeuchi, Y.; Krishnamurthy, R. Assessing community resilience to climate-related disasters in Chennai, India. *Int. J. Disaster Risk Reduct.* 2012, 1, pp. 44–54.