

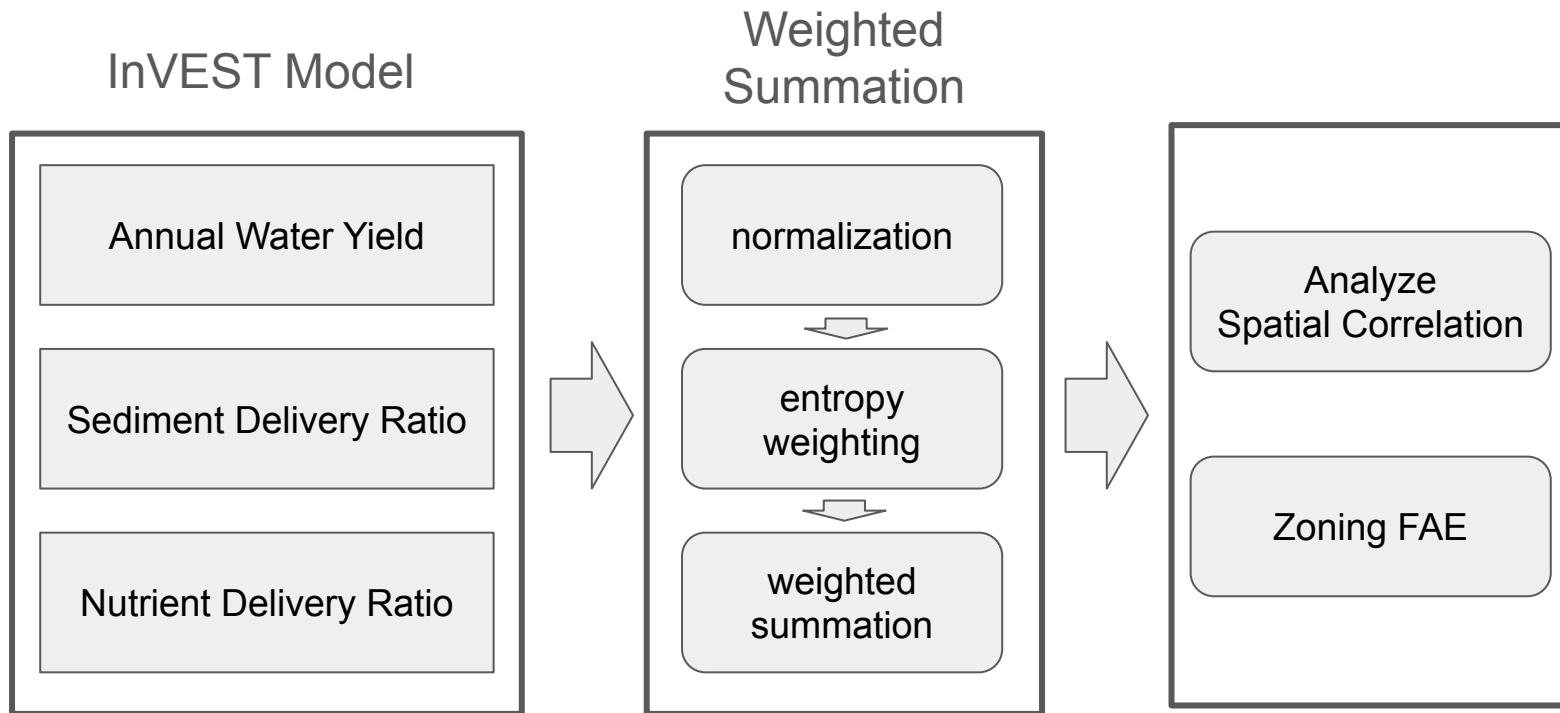
Evaluation of urban flood adaptability based on the InVEST model and GIS: A case study of New York City, USA

적극적 논문읽기 진행사항

산림자원학과 노윤수(M2025053)

논문 개요

~다기준 분석과 GIS를 통합한 도시 홍수 적응성 평가 프레임워크 개발~



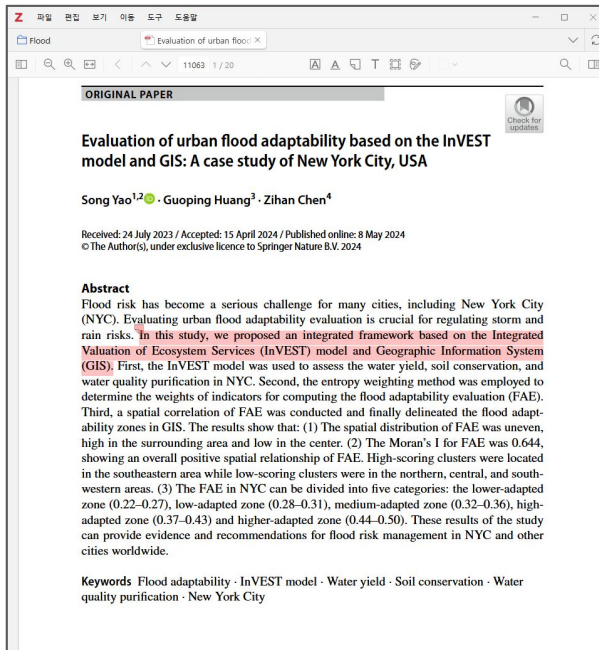
적극적 논문읽기 진행



Zotero

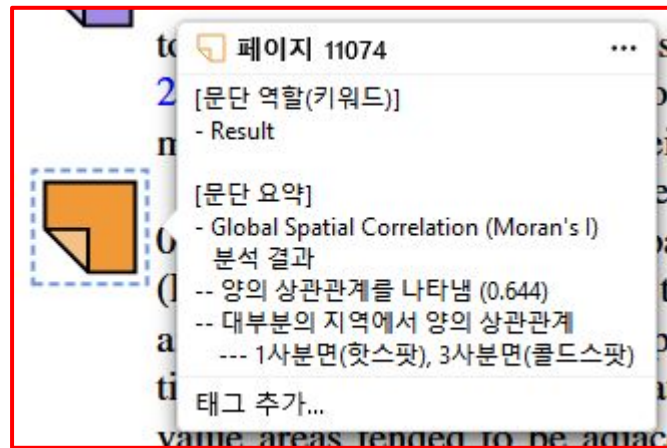


Obsidian



적극적 논문읽기 진행

문단별 요약



(4.2) Spatial correlation analysis of FAE

- 최종 결과의 excessive fragmentation을 방지하기 위해, 그리드 공간 단위를 변환
 - 이전 연구들을 참조하여 1km 그리드로 설정 (typical neighborhood의 크기)
- 전역적 공간 상관관계 분석결과 (Global Spatial Correlation)
 - 연구지역의 전역 공간 상관관계(Moran's I)는 양의 상관관계를 나타냄 (0.644)
 - 모란 분산도 상, 대부분의 지역이 1사분면(Hot Spot)과 3사분면(Cold Spot)에 위치
 - 대부분의 지역에서 강한 양의 상관관계 (비슷한 값들이 공간적으로 모여있음)
 - 즉, FAE가 높은 지역은 높은 지역과 인접 / 낮은 지역은 낮은 지역과 인접하는 경향이 존재

4.2 Spatial correlation analysis of FAE



To avoid excessive fragmentation of the final partitioning results, we used the Create Fish-net tool in ArcGIS to convert the 30m grid to a more manageable spatial unit. Referring to previous studies (Winsemius et al. 2013; Ward et al. 2013; Xia et al. 2023; Feng et al. 2021), a 1 kilometer grid is considered to be a suitable spatial unit for management as it matches the size of a typical neighborhood.



From a global spatial correlation perspective (city scale), Moran's I, which stood at 0.644, indicating a positive spatial correlation as it surpassed 0. The Moran scatter plot (Fig. 6a) showed that most of the areas were located in the first quadrant (hot spot areas) and the third quadrant (cold spot areas), indicating that most areas exhibited strong positive spatial correlation. The spatial correlation characteristics of the FAE showed that high-value areas tended to be adjacent to high-value areas, and low-value areas tended to be adjacent to low-value areas.



From a local spatial correlation perspective (1 kilometer grid scale), the LISA cluster analysis (Fig. 6b) and Getis-Ord Gi* Analysis Chart (Fig. 7a) exhibited similarity in spatial distribution, indicating that high-high aggregation areas and hot spot areas of the FAE were mainly distributed in the southeast, where the FAE evaluation values were not only high but also concentrated and extensive. The main reason for this could be that there are fewer artificial surfaces and more grassland in these areas. The low-low aggregation areas and cold spot areas of the FAE evaluation were mainly distributed in the Bronx, Brooklyn, Queens, and Staten Island in the north, central, and southwest regions, which have more artificial surfaces. Overall, the spatial distribution of the FAE was closely related to the land cover situation, with high-value

적극적 논문읽기 진행

주제문 강조 & 영어표현수첩

Sustainable urban flood management has **garnered** widespread attention as a solution to urban flood risk (Pour et al. 2020). In the US, many practitioners and researchers have proposed best management practices (Fletcher et al. 2015), low-impact development models (Pyke et al. 2011), and sustainable urban drainage systems (Mitchell 2005). In addition, blue-green infrastructure (Thorne et al. 2018), water-sensitive urban design (Morison and Brown 2011), and low-impact developments urban design (Voyde et al. 2010) were also widely **advocated** by researchers. However, these concepts and strategies are still in the **development stage** and have only been applied in small-scale environments such as experimental pilot projects and local areas (Nguyen et al. 2019). In recent years, the concept and practice of Sponge City have gained recognition as an effective means of managing rainstorm risk (Shao et al. 2019; Li et al. 2019). Sponge cities prioritize enhancing the resilience of urban areas to rainstorm disasters by maximizing natural accumulation, infiltration, and purification of urban flood (Yu et al. 2015; Chen et al. 2022). Therefore, **this study employed the flood adaptability evaluation (FAE) to assess urban flood risk based on the principles of Sponge City.**

Conducting scientific assessments of flood risk is a prerequisite and foundation for implement sustainable urban flood management (Chen et al. 2022; Zhang et al. 2022). In recent years, many scholars have conducted extensive research at the global (Ward et al. 2013), national (Zhao et al. 2014), regional (Sun et al. 2020), provincial (Ji and Chen 2022), and city levels (Chen et al. 2015). In general, there are three approaches to assessing flood risk (Xu et al. 2018): (1) Historical disaster statistics method. This method relies on analyzing historical flood data to evaluate current flood risk through mathematical analysis (Luu et al. 2019). For example, Zhao et al. conducted a flood risk evaluation in mainland China based on historical hazard data (Zhao et al. 2014), and Adikari et al. used historical flood data to assess the flood vulnerability of selected megacities in Asia (Adikari et al. 2010). However, typically lack spatial resolution beyond the county and city scale, thus hindering accurate identification of spatial characteristics of flood risk (Xu et al. 2018). (2) Scenario simulation. This method employs

처음 보는 영어 표현

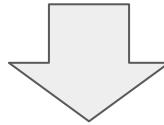
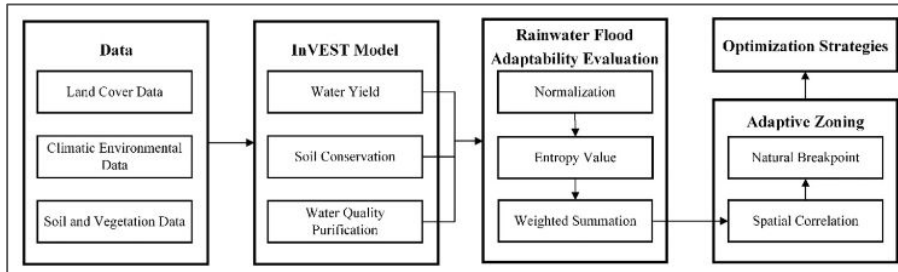
- **pose a threat to ~** : ~에 위협을 제시하다
- **garner** : 모으다(얻다)
- **advocate** : 지지하다/옹호하다
- **hinder** : 방해하다
- **shortcoming** : 단점
- **inundate** : 침수시키다
- **flood proofing** : 홍수 방지 공사
- **inadequate** : 부족한

논문에 넣고 싶은 영어 표현

- **~ are still in the development stage** : ~는 아직 개발 단계이다
- **~ which may lead to weaker guidance for specific practices** : 구체적인 실천 지침이 부족한 ~
- **Given the limitation of ~, ...** : ~의 한계를 고려하면,
- **~ was employed to ~** : ~를 위해 ~를 사용하였다
- **impervious surface** : 불투수면

적극적 논문읽기 진행

새로운 이론/방법론 정리



6. **새롭게 배운 이론/방법론**을 연구노트에 정리
- InVEST *Soil Conservation Model* -> **Sediment Delivery Ratio**
 - InVEST *Water Quality Purification Model* -> **Nutrient Delivery Ratio**
 - Entropy Weighting Method* (엔트로피 가중치 방법) -> **엔트로피 가중치**
 - Spatial Autocorrelation Analysis* (공간 자기상관관계 분석) -> **Moran's I / LISA**

Sediment Delivery Ratio

③ SDR 모델의 개념

- 토양 보전(잠식방지)은 잠재 토양침식(potential soil erosion) · 실제 침식(actual erosion)으로 정의됨
- 잠재 토양침식**: RUSLE value로 나타내며, 이는 식생이 없는 나지(Bare Land)에서의 침식량
- RUSLE(Revised Universal Soil Loss Equation)
- 실제 침식**: 지면 조건에서의 침식량 -> **USLE(Universal Soil Loss Equation)**로 개념으로 계산

· 토양 보전(SR) = RUSLE - USLE

· RUSLE(잠재 토양침식) = $R \times K \times I \times C \times P$

· USLE(실제 침식) = $R \times K \times I \times C \times P \times F$

· R: 강우 침식력 인자 · K: 토양 침식률 · I: 경사도 인자 · C: 작물 피복 인자 · P: 농경지 관리 인자

$$R_f = 0.067R_{usle}^{0.7}$$

· R_f: 다목적 평균 침식률

· K: 토양 침식성 인자 · Williams and Arnold(1997)의 방법을 기반으로 계산

$$K_{usle} = \left\{ 0.2 + 0.3 \exp \left[-0.0256SAN \left(1 - \frac{SHL}{100} \right) \right] \right\} \times \left(\frac{SHL}{CLA_i + SHL_i} \right)^{0.3} \times \left(1 - \frac{0.25C_i}{C_i + \exp(3.72 - 2.95C_i)} \right) \times \left(1 - \frac{0.7(1 - SAN_i/100)}{(1 - SAN_i/100) + \exp(22.9(1 - SAN_i/100) - 5.51)} \right)$$

Nutrient Delivery Ratio

③ 해당지 링크

· InVEST NDR Module User Guide

③ NDR 모델의 개념

- NDR 모델: 질소(N) 및 인(P)의 양은 영양물질의 흐름 및 저장 상태를 모델링
- 지면 및 토양이 영양물질의 유입을 흡수하는 능력에 기반하여 (다른 토양 및 기타 X)
- 주요 개념
 - 영양물질 흐름: 업스lope/다운스lope의 흐름에 따라 유출, 수분 흐름에 따라 (· 보전, 영양 능력)
 - 영양물질 저장: 토양/식생의 영양물질 저장/보존을 나타내는 능력

Upslope area (transport): D_{up}

Downslope path (retention): D_{down}

Pixel i: load

Pixel export: $load_i \times NDR_i(D_{up}, D_{down}, eff_{soil})$

Total export: $\sum_{watershed} Pixel_i \cdot export$

엔트로피 가중치

③ 엔트로피 가중치(Entropy Weight Method)

- 다기준 의사결정이나 평가 모델에서, 각 평가 지표의 상대적 중요도를 객관적으로 결정하기 위해 사용되는 기법

· 엔트로피 가중치 방법은 **정보 이론에서의 엔트로피 개념**을 활용

- **데이터의 변동성(분산)**에 관하여 해당 지표가 더 많은 정보를 제공한다
- 변동성(분산)에 따라 가중치를 부여
- 사용자의 주관적 판단을 배제하고, 데이터의 분포를 기반으로 가중치를 산출하므로 **객관적인 가중치**를 제공

· 단점

- 데이터의 분포가 크게 다른 > 왜곡/노이즈가 존재하는 데이터의 경우, 가중치 산출에 영향
- 모든 평가 기준에 동일한 기준으로 평가하지 않을 수 있음 > 주관적 판단과 편향에 영향을 줄 수도 있음

· 주요 절차

- **데이터 정규화**: 각 평가 지표의 데이터를 정규화 (0-1)

Positive indicators:

$$V_{ij} = \frac{x_{ij} - x_{min}}{x_{max} - x_{min}}$$

Negative indicators:

$$V_{ij} = \frac{x_{max} - x_{ij}}{x_{max} - x_{min}}$$

· 엔트로피 계산: 정규화된 데이터들을 기반으로 각 지표의 엔트로피를 계산

- 지표 값의 변동성(분산)이 작을수록, 해당 지표의 엔트로피는 낮아짐 (정규분포에 가까움)
- 즉, 엔트로피가 낮아지면 해당 지표의 중요성(엔트로피)이 낮아지고 중요도가 낮아짐

$$E_j = -\frac{1}{\ln n} \sum_{i=1}^n p_{ij} \times \ln p_{ij}$$

Moran's I

③ Moran's I란?

- 공간에서 한계 자기상관성이 있는지(대체 동형성)
- 공간 자기상관성(한계) 값들이 공간상에서 얼마나 유사하거나 대조적으로 분포하는지를 살펴보기 위한 대표적인 지표 중 하나

· 기본 개념

- 완전 공간의 무작위 상태(CSR, Complete Spatial Randomness)인면, 공간상에서 무작위로 사건의 발생을 것이다.
- 이때, Moran's I는 실제 값의 분포가 이 CSR 상태와 얼마나 다른지를 측정하는 수치

· 계산 방법

- 모든 구역의 값을 평균값 -> 전체 평균 값을 (Moran's I의 계산)
- 전집합 두 구역 간의 차이(분산)을 $(y_1 - \bar{y}) \times (y_2 - \bar{y})$
- 두 구역의 값이 모두 양(음수)이면 $y_1 y_2$ 는 항상 양수가 된다.
- 그리고 두 구역의 값이 전체 평균에서 양수, $y_1 y_2$ 는 커짐
- 반대로 두 구역의 값이 다르다면, $y_1 y_2$ 는 항상 양수가 된다.
- 전집합 두 구역 간의 차이(분산)을 줄여주는 다 더하면
- 새로운 값이 될수록, 그 값도 클 것임
- 너무나 다른 값이 있을수록, 평균편차의 값은 증가가 되어 총합이 작을 것

전체적 I 공식

$$I = \frac{n \sum_i \sum_j \omega_{ij} (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{\left(\sum_i \sum_j \omega_{ij} \right) \sum_i (x_i - \bar{x})^2}$$