



(19) 대한민국특허청(KR)

(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2025년02월11일

(11) 등록번호 10-2766766

(24) 등록일자 2025년02월07일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

G06N 3/126 (2023.01) G06N 7/02 (2022.01)

G06Q 50/10 (2012.01) G06Q 50/26 (2024.01)

G09B 29/00 (2006.01)

(52) CPC특허분류

G06N 3/126 (2023.01)

G06N 7/02 (2022.01)

(21) 출원번호 10-2024-0082426

(22) 출원일자 2024년06월25일

심사청구일자 2024년06월25일

(56) 선행기술조사문헌

V. V. Nguyen et al., Hybrid Machine Learning Approaches for Landslide Susceptibility Modeling, Forests Vol.10, 157(2019.02.12.)*

W. Chen et al., Combining Evolutionary Algorithms and Machine Learning Models in Landslide Susceptibility Assessments, Remote Sens. Vol.12, 3854(2020.11.25.)*

장동호 외, 말레이시아 페낭섬의 산사태 민감도 지도작성, 한국지형학회지 제22권 제1호, pp109-121(2015.03.31.)*

*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자

세종대학교산학협력단

서울특별시 광진구 능동로 209 (군자동, 세종대학교)

(72) 발명자

아불가셈

서울특별시 광진구 능동로 209, 대양AI 센터 433 호(군자동, 세종대학교)

최수미

서울특별시 광진구 능동로 209, 대양AI 센터 720 호(군자동, 세종대학교)

바히드 라자비 테르메

서울특별시 광진구 능동로 209, 광개토관 1001호 (군자동, 세종대학교)

(74) 대리인

양성보

전체 청구항 수 : 총 13 항

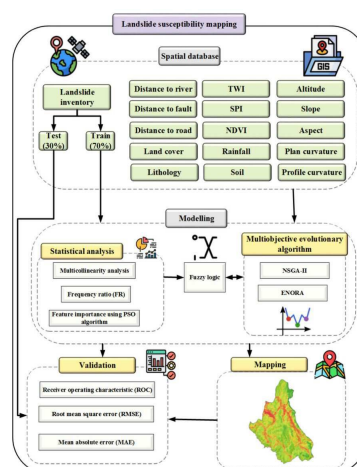
심사관 : 권계민

(54) 발명의 명칭 산사태 민감도 매핑을 위한 GIS 기반 다중 목표 진화 알고리즘

(57) 요약

산사태 민감도 매핑을 위한 GIS 기반 다중 목표 진화 알고리즘이 개시된다. 일 실시예에 따른 산사태 민감도 매핑 시스템에 의해 수행되는 산사태 민감도 매핑 방법은, 특정 지역의 산사태 인벤토리 지도와 산사태 관련 요인을 포함하는 산사태 데이터를 준비하는 단계; 상기 준비된 산사태 데이터 중 훈련 데이터 셋에 대한 통계 분석을 수행하는 단계; 및 퍼지 로직과 다목적 진화 알고리즘을 이용하여 상기 통계 분석이 수행된 훈련 데이터 셋으로부터 산사태 민감도 지도를 생성하는 단계를 포함할 수 있다.

대표도 - 도4



(52) CPC특허분류

G06Q 50/10 (2015.01)

G06Q 50/26 (2024.01)

G09B 29/007 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 1711179366

과제번호 00156354

부처명 과학기술정보통신부

과제관리(전문)기관명 정보통신기획평가원

연구사업명 대학ICT연구센터지원사업

연구과제명 실-가상 연계 메타버스를 위한 초실감 XR 기술 연구

과제수행기관명 세종대학교산학협력단

연구기간 2022.07.01 ~ 2029.12.31

공지예외적용 : 있음

명세서

청구범위

청구항 1

산사태 민감도 매핑 시스템에 의해 수행되는 산사태 민감도 매핑 방법에 있어서,
 특정 지역의 산사태 인벤토리 지도와 산사태 관련 요인을 포함하는 산사태 데이터를 준비하는 단계;
 상기 준비된 산사태 데이터 중 훈련 데이터 셋에 대한 통계 분석을 수행하는 단계; 및
 퍼지 로직과 다목적 진화 알고리즘을 이용하여 상기 통계 분석이 수행된 훈련 데이터 셋으로부터 산사태 민감도 지도를 생성하는 단계
 를 포함하고,
 상기 다목적 진화 알고리즘은,
 NSGA-II(Non-dominated sorting genetic algorithm II) 및 ENORA(Evolutionary non-dominated radial slots-based algorithm)을 포함하는 산사태 민감도 매핑 방법.

청구항 2

삭제

청구항 3

산사태 민감도 매핑 시스템에 의해 수행되는 산사태 민감도 매핑 방법에 있어서,
 특정 지역의 산사태 인벤토리 지도와 산사태 관련 요인을 포함하는 산사태 데이터를 준비하는 단계;
 상기 준비된 산사태 데이터 중 훈련 데이터 셋에 대한 통계 분석을 수행하는 단계; 및
 퍼지 로직과 다목적 진화 알고리즘을 이용하여 상기 통계 분석이 수행된 훈련 데이터 셋으로부터 산사태 민감도 지도를 생성하는 단계
 를 포함하고,
 상기 생성하는 단계는,
 NSGA-II(Non-dominated sorting genetic algorithm II) 및 ENORA(Evolutionary non-dominated radial slots-based algorithm)을 이용하여 퍼지 로직을 조정하고, 상기 조정된 퍼지 로직 기반의 산사태 민감도 모델을 구성하는 단계
 를 포함하는 산사태 민감도 매핑 방법.

청구항 4

제1항 또는 제3항에 있어서,
 상기 준비하는 단계는,
 지구과학 데이터베이스에 저장된 과거 기록을 이용하여 특정 지역의 산사태 인벤토리 지도를 생성하고, 상기 산사태 인벤토리 지도를 기 설정된 비율에 따라 훈련 데이터 셋 및 테스트 데이터 셋으로 분류하는 단계
 를 포함하는 산사태 민감도 매핑 방법.

청구항 5

제1항 또는 제3항에 있어서,
 상기 준비하는 단계는,

방향(aspect), 고도, 단층까지의 거리(distance from the fault), 토양, 경사, 암석학, 강우, 도로까지의 거리, NDVI(Normalized Difference Vegetation Index), 토지 피복, 평면 곡률, 프로파일 곡률, TWI(Topographic Wetness Index), SPI(Stream Power Index), 하천까지의 거리를 포함하는 산사태 관련 요인을 선택하는 단계

를 포함하는 산사태 민감도 매핑 방법.

청구항 6

제1항 또는 제3항에 있어서,

상기 통계 분석을 수행하는 단계는,

상기 준비된 산사태 데이터 중 훈련 데이터 셋에서 예측 변수 간의 상관관계를 분석하기 위해 다중 공선성 테스트를 수행하고,

빈도 비율(Frequency ratio)을 통해 산사태 관련 요인 클래스의 가중치를 결정하고,

PSO(Particle swarm optimization) 알고리즘을 이용하여 상기 산사태 관련 요인의 중요도를 분석하는 단계

를 포함하는 산사태 민감도 매핑 방법.

청구항 7

제1항 또는 제3항에 있어서,

상기 생성된 산사태 민감도 지도에 기초하여 산사태 민감도 모델의 성능을 평가하는 단계

를 더 포함하고,

상기 평가하는 단계는,

RMSE(Root Means Squared Error) 지수, ROC(Receiver Operating Characteristic) 곡선을 사용하여 상기 산사태 민감도 모델의 성능을 평가하는 단계

를 포함하는 산사태 민감도 매핑 방법.

청구항 8

제1항, 제3항 중 어느 한 항의 산사태 민감도 매핑 방법을 상기 산사태 민감도 매핑 시스템에 실행시키기 위해 비-일시적인 컴퓨터 판독가능한 기록 매체에 저장된 컴퓨터 프로그램.

청구항 9

산사태 민감도 매핑 시스템에 있어서,

특정 지역의 산사태 인벤토리 지도와 산사태 관련 요인을 포함하는 산사태 데이터를 준비하는 데이터 준비부;

상기 준비된 산사태 데이터 중 훈련 데이터 셋에 대한 통계 분석을 수행하는 데이터 전처리부; 및

퍼지 로직과 다목적 진화 알고리즘을 이용하여 상기 통계 분석이 수행된 훈련 데이터 셋으로부터 산사태 민감도 지도를 생성하는 모델링부

를 포함하고,

상기 다목적 진화 알고리즘은,

NSGA-II(Non-dominated sorting genetic algorithm II) 및 ENORA(Evolutionary non-dominated radial slots-based algorithm)를 포함하는 산사태 민감도 매핑 시스템.

청구항 10

삭제

청구항 11

산사태 민감도 매핑 시스템에 있어서,

특정 지역의 산사태 인벤토리 지도와 산사태 관련 요인을 포함하는 산사태 데이터를 준비하는 데이터 준비부;

상기 준비된 산사태 데이터 중 훈련 데이터 셋에 대한 통계 분석을 수행하는 데이터 전처리부; 및

퍼지 로직과 다목적 진화 알고리즘을 이용하여 상기 통계 분석이 수행된 훈련 데이터 셋으로부터 산사태 민감도 지도를 생성하는 모델링부

를 포함하고,

상기 모델링부는,

NSGA-II(Non-dominated sorting genetic algorithm II) 및 ENORA(Evolutionary non-dominated radial slots-based algorithm)을 이용하여 퍼지 로직을 조정하고, 상기 조정된 퍼지 로직 기반의 산사태 민감도 모델을 구성하는

것을 특징으로 하는 산사태 민감도 매핑 시스템.

청구항 12

제9항 또는 제11항에 있어서,

상기 데이터 준비부는,

지구과학 데이터베이스에 저장된 과거 기록을 이용하여 특정 지역의 산사태 인벤토리 지도를 생성하고, 상기 산사태 인벤토리 지도를 기 설정된 비율에 따라 훈련 데이터 셋 및 테스트 데이터 셋으로 분류하는

것을 특징으로 하는 산사태 민감도 매핑 시스템.

청구항 13

제9항 또는 제11항에 있어서,

상기 데이터 준비부는,

방향(aspect), 고도, 단층까지의 거리(distance from the fault), 토양, 경사, 암석학, 강우, 도로까지의 거리, NDVI(Normalized Difference Vegetation Index), 토지 피복, 평면 곡률, 프로파일 곡률, TWI(Topographic Wetness Index), SPI(Stream Power Index), 하천까지의 거리를 포함하는 산사태 관련 요인을 선택하는

것을 특징으로 하는 산사태 민감도 매핑 시스템.

청구항 14

제9항 또는 제11항에 있어서,

상기 데이터 전처리부는,

상기 준비된 산사태 데이터 중 훈련 데이터 셋에서 예측 변수 간의 상관관계를 분석하기 위해 다중 공선성 테스트를 수행하고,

빈도 비율(Frequency ratio)을 통해 산사태 관련 요인 클래스의 가중치를 결정하고,

PSO(Particle swarm optimization) 알고리즘을 이용하여 상기 산사태 관련 요인의 중요도를 분석하는

것을 특징으로 하는 산사태 민감도 매핑 시스템.

청구항 15

제9항 또는 제11항에 있어서,

상기 생성된 산사태 민감도 지도에 기초하여 산사태 민감도 모델의 성능을 평가하는 성능 평가부

를 더 포함하고,

상기 성능 평가부는,

RMSE(Root Means Squared Error) 지수, ROC(Receiver Operating Characteristic) 곡선을 사용하여 상기 산사태 민감도 모델의 성능을 평가하는

것을 특징으로 하는 산사태 민감도 매핑 시스템.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 아래의 설명은 산사태 민감도 매핑 기술에 관한 것이다.

배경 기술

[0003] 자연 재해는 인간 정착에 미치는 영향 때문에 지구과학자 및 엔지니어에게 중요한 연구 문제이다. 전 세계적으로 산사태는 다수의 사망자를 발생시키는 전형적인 위험한 자연 재해이다. 긴급 사건 데이터베이스(Guha-Sapir et al. 2020)에 따르면 산사태로 인해 1900년부터 2020년까지 전 세계적으로 66,438명이 사망하고 약 100억 달러의 경제적 손실이 발생했다. 이에, 잠재적인 산사태 재해의 위험을 낮추기 위한 기술이 요구되고 있다.

[0004] 참고로, 대한민국공개특허 제10-2020-0052398호(2020.05.15.공개일)에 머신 러닝 기법을 이용한 산사태 취약성 지도 작성 방법 및 장치가 개시되어 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0006] 퍼지 논리와 함께 다목적 진화 알고리즘을 활용하여 산사태 민감도를 매핑하는 방법 및 시스템을 제공할 수 있다.

과제의 해결 수단

[0008] 산사태 민감도 매핑 시스템에 의해 수행되는 산사태 민감도 매핑 방법은, 특정 지역의 산사태 인벤토리 지도와 산사태 관련 요인을 포함하는 산사태 데이터를 준비하는 단계; 상기 준비된 산사태 데이터 중 훈련 데이터 셋에 대한 통계 분석을 수행하는 단계; 및 퍼지 로직과 다목적 진화 알고리즘을 이용하여 상기 통계 분석이 수행된 훈련 데이터 셋으로부터 산사태 민감도 지도를 생성하는 단계를 포함할 수 있다.

[0009] 상기 다목적 진화 알고리즘은, NSGA-II(Non-dominated sorting genetic algorithm II) 및 ENORA(Evolutionary non-dominated radial slots-based algorithm)를 포함할 수 있다.

[0010] 상기 구성하는 단계는, NSGA-II(Non-dominated sorting genetic algorithm II) 및 ENORA(Evolutionary non-dominated radial slots-based algorithm)를 이용하여 퍼지 로직을 조정하고, 상기 조정된 퍼지 로직 기반의 산사태 민감도 모델을 구성하는 단계를 포함할 수 있다.

[0011] 상기 준비하는 단계는, 지구과학 데이터베이스에 저장된 과거 기록을 이용하여 특정 지역의 산사태 인벤토리 지도를 생성하고, 상기 산사태 인벤토리 지도를 기 설정된 비율에 따라 훈련 데이터 셋 및 테스트 데이터 셋으로 분류하는 단계를 포함할 수 있다.

[0012] 상기 준비하는 단계는, 방향(aspect), 고도, 단층까지의 거리(distance from the fault), 토양, 경사, 암석학, 강우, 도로까지의 거리, NDVI(Normalized Difference Vegetation Index), 토지 피복, 평면 곡률, 프로파일 곡률, TWI(Topographic Wetness Index), SPI(Stream Power Index), 하천까지의 거리를 포함하는 산사태 관련 요인을 선택하는 단계를 포함할 수 있다.

[0013] 상기 통계 분석을 수행하는 단계는, 상기 준비된 산사태 데이터 중 훈련 데이터 셋에서 예측 변수 간의 상관관계를 분석하기 위해 다중 공선성 테스트를 수행하고, 빈도 비율(Frequency ratio)을 통해 산사태 관련 요인 클래스의 가중치를 결정하고, PSO(Particle swarm optimization) 알고리즘을 이용하여 상기 산사태 관련 요인의 중요도를 분석하는 단계를 포함할 수 있다.

- [0014] 상기 산사태 민감도 매핑 방법은, 상기 생성된 산사태 민감도 지도에 기초하여 산사태 민감도 모델의 성능을 평가하는 단계를 더 포함하고, 상기 평가하는 단계는, RMSE(Root Means Squared Error) 지수, ROC(Receiver Operating Characteristic) 곡선을 사용하여 상기 산사태 민감도 모델의 성능을 평가하는 단계를 포함할 수 있다.
- [0015] 산사태 민감도 매핑 방법을 상기 산사태 민감도 매핑 시스템에 실행시키기 위해 비-일시적인 컴퓨터 판독가능한 기록 매체에 저장된 컴퓨터 프로그램을 포함할 수 있다.
- [0016] 산사태 민감도 매핑 시스템은, 특정 지역의 산사태 인벤토리 지도와 산사태 관련 요인을 포함하는 산사태 데이터를 준비하는 데이터 준비부; 상기 준비된 산사태 데이터 중 훈련 데이터 셋에 대한 통계 분석을 수행하는 데이터 전처리부; 퍼지 로직과 다목적 진화 알고리즘을 이용하여 상기 통계 분석이 수행된 훈련 데이터 셋으로부터 산사태 민감도 지도를 생성하는 모델링부; 및 상기 생성된 산사태 민감도 지도에 기초하여 상기 구성된 산사태 민감도 모델의 성능을 평가하는 성능 평가부를 포함할 수 있다.
- [0017] 상기 다목적 진화 알고리즘은, NSGA-II(Non-dominated sorting genetic algorithm II) 및 ENORA(Evolutionary non-dominated radial slots-based algorithm)를 포함할 수 있다.
- [0018] 상기 모델 구성부는, NSGA-II(Non-dominated sorting genetic algorithm II) 및 ENORA(Evolutionary non-dominated radial slots-based algorithm)를 이용하여 퍼지 로직을 조정하고, 상기 조정된 퍼지 로직 기반의 산사태 민감도 모델을 구성할 수 있다.
- [0019] 상기 데이터 준비부는, 지구과학 데이터베이스에 저장된 과거 기록을 이용하여 특정 지역의 산사태 인벤토리 지도를 생성하고, 상기 산사태 인벤토리 지도를 기 설정된 비율에 따라 훈련 데이터 셋 및 테스트 데이터 셋으로 분류할 수 있다.
- [0020] 상기 데이터 준비부는, 방향(aspect), 고도, 단층까지의 거리(distance from the fault), 토양, 경사, 암석학, 강우, 도로까지의 거리, NDVI(Normalized Difference Vegetation Index), 토지 피복, 평면 곡률, 프로파일 곡률, TWI(Topographic Wetness Index), SPI(Stream Power Index), 하천까지의 거리를 포함하는 산사태 관련 요인을 선택할 수 있다.
- [0021] 상기 데이터 전처리부는, 상기 준비된 산사태 데이터 중 훈련 데이터 셋에서 예측 변수 간의 상관관계를 분석하기 위해 다중 공선성 테스트를 수행하고, 빈도 비율(Frequency ratio)을 통해 산사태 관련 요인 클래스의 가중치를 결정하고, PSO(Particle swarm optimization) 알고리즘을 이용하여 상기 산사태 관련 요인의 중요도를 분석할 수 있다.
- [0022] 상기 산사태 민감도 매핑 시스템은, 상기 생성된 산사태 민감도 지도에 기초하여 산사태 민감도 모델의 성능을 평가하는 성능 평가부를 더 포함하고, 상기 성능 평가부는, RMSE(Root Means Squared Error) 지수, ROC(Receiver Operating Characteristic) 곡선을 사용하여 상기 산사태 민감도 모델의 성능을 평가할 수 있다.

발명의 효과

- [0024] 두 가지 다목적 진화 퍼지 알고리즘을 이용하여 퍼지 규칙을 최적화함으로써 산사태 민감도 지도의 불확실성을 감소시킬 수 있다.
- [0025] 산사태가 발생하기 쉬운 지역의 정책 입안자와 의사 결정자에게 도움을 제공할 수 있다.

도면의 간단한 설명

- [0027] 도 1은 일 실시예에 있어서, 연구 지역을 설명하기 위한 예이다.
- 도 2는 일 실시예에 있어서, 연구 지역 내 산사태 발생 사진을 나타낸 예이다.
- 도 3은 일 실시예에 있어서, 산사태에 영향을 주는 요인을 설명하기 위한 도면이다.
- 도 4는 일 실시예에 있어서, 산사태 민감도 매핑 동작을 설명하기 위한 도면이다.
- 도 5는 일 실시예에 있어서, 다목적 진화 알고리즘을 사용하여 연구 지역의 산사태 민감도를 매핑한 산사태 민감도 지도를 나타낸 예이다.
- 도 6은 일 실시예에 있어서, 산사태 민감도 매핑 시스템을 설명하기 위한 블록도이다.

도 7은 일 실시예에 있어서, 산사태 민감도 매핑 방법을 설명하기 위한 흐름도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0028] 이하, 실시예를 첨부한 도면을 참조하여 상세히 설명한다.
- [0030] 도 1은 일 실시예에 있어서, 연구 지역을 설명하기 위한 예이다.
- [0031] 도 1(a)는 이란, 도 1(b)는 Khalkhal 마을, 도 1(c)는 산사태 지점을 나타낸 것이다.
- [0032] Khalkhal 마을은 2688km²의 면적으로, 위도 37° 11'N 및 37° 51'N, 경도 48° 10'E와 48° 55'E 사이의 이란 Ardabil 주에 위치해 있다. 마을의 가장 높은 지점의 고도는 3318m(AghDagh 산)이다. 산악 특성으로 인해 이 마을은 길고 매우 추운 겨울과 온화하고 건조한 여름을 가지고 있다. 이 지역의 평균 기온은 20° C 미만이다. 이 지역에서 1년 중 가장 춥고 더운 달은 각각 1월과 8월이다. 칼할은 연평균 350mm의 강우량을 가지고 있으며 봄에 가장 많은 비가 내린다. 이 지역의 형성은 고생대 하부 암석에서 4차 충적 퇴적물까지 다양하며 가장 초기의 암석은 고생대 하부로 거슬러 올라간다. 이 마을에는 43,029헥타르의 반습식 및 반건조 숲이 있다. 여름 목초지는 마을 토지 피복의 50~80%를 덮고 있다. Ardabil 주의 천연 자원 및 유역 보고에 따르면, 이 지역 내에서 산사태가 발생하는 6800개 이상의 지역이 확인되었다. 이러한 산사태의 52.5%를 차지하는 대부분은 Sefid-rud 댐 지역과 Kausar 및 Khalkhal 마을과 같은 특정 지역에 집중되어 있음을 언급할 필요가 있다. 연구 지역에서 문서화된 산사태의 약 48%는 활성 산사태로 분류된다. 이러한 활성 산사태 중 53.5%는 회전 운동을 보이는 반면 17.3%는 과도기적 활동을 보인다. 지형, 높은 경사도, 저항성 층의 느슨하고 저항성이 없는 표면 물질, 봄비와 강설을 포함한 특정 기후 조건 등 다양한 요인으로 인해 Khalkhal 마을은 산사태 발생 가능성이 높은 지역으로 확인되었다. Ardabil 주에서 산사태 발생과 관련하여 가장 취약한 지역으로 간주된다. 이러한 요인의 조합은 Khalkhal 마을의 산사태에 대한 위험과 취약성을 높이는 데 기여한다. 도 2를 참고하면, 연구 지역의 산사태 발생 사진이 도시되어 있다.
- [0033] 산사태 발생에 대한 기존 데이터베이스를 사용하여 전문가들은 특정 지역의 정의 변수와 산사태 발생 간의 관계를 더 잘 이해할 수 있다. 따라서 과거 및 현재 산사태의 위치를 정확하게 식별하는 것이 가장 중요하다. 산사태 민감도 매핑 시스템은 이란 국립 지구과학 데이터베이스(NGDIR)의 과거 기록을 사용하여 산사태 인벤토리(inventory) 지도를 생성할 수 있다. 데이터는 지역 전체의 153개 산사태 위치(도심)를 식별할 수 있다. 산사태 민감도 매핑 시스템은 홀드아웃 방법을 이용하여 산사태 데이터를 기 설정된 비율로 훈련 데이터 셋(set) 및 테스트 데이터 셋(70:30 비율)을 분류할 수 있다. 산사태 모델링을 위해 총 107개의 산사태(70%)가 무작위로 선택되었으며, 그 결과는 46개의 추가 산사태(30%)를 활용하여 검증될 수 있다(도 1). 실시예에서 훈련 및 테스트 데이터 셋 간의 분할에 70:30 비율을 활용하기로 한 것은 새로운 데이터 인스턴스에 대한 통찰력을 효과적으로 추정할 수 있는 탄력적인 모델을 구축하려는 실시예의 목표에 의해 뒷받침된다. 동시에, 분할은 잠재적인 과적합을 식별하고 관리할 수 있도록 보장한다. 모델링을 훈련하고 테스트하기 위해 153개의 비산사태 위치에 대한 무작위 계층도 생성될 수 있다.
- [0034] 도 3은 일 실시예에 있어서, 산사태에 영향을 주는 요인을 설명하기 위한 도면이다.
- [0035] 도 3(a)는 고도, 도 3(b)는 경사, 도 3(c)는 방향, 도 3(d)는 평면 곡률, 도 3(e)는 프로파일 곡률, 도 3(f)는 TWI, 도 3(g)는 SPI, 도 3(h)는 강까지의 거리, 도 3(i)는 단층까지의 거리, 도 3(j)는 도로까지의 거리, 도 3(k)는 NDVI, 도 3(l)는 강우, 도 3(m)은 토양, 도 3(n)는 암석학, 도 3(o)는 토지 피복을 나타낸 예이다.
- [0036] 정확한 산사태 민감도 지도를 구축하기 위해서는 적절한 산사태 조건부 요인을 사용하는 것이 중요하다. 따라서, 산사태 민감도 지도(Landslide Susceptibility Map, LSM)를 개발하기 위해 기존 산사태 민감도 연구와 이란의 연구를 바탕으로 방향(aspect), 고도, 단층까지의 거리(distance from the fault), 토양, 경사, 암석학, 강우, 도로까지의 거리, NDVI(Normalized Difference Vegetation Index), 토지 피복, 평면 곡률, 프로파일 곡률(Profile curvature), TWI(Topographic Wetness Index), SPI(Stream Power Index), 강까지의 거리 등 15개의 산사태 관련 요인(조건부 요인)을 선정할 수 있다. ArcGIS 10.3과 SAGA GIS 8.2.1 소프트웨어는 공간 해상도 30 X 30 m의 래스터로 모든 조건부 요인을 생성할 수 있다.
- [0037] 디지털 고도 모델(Digital Elevation Model DEM)은 고도, 경사각, 경사향, 프로파일/평면 곡률, TWI 및 SPI 요인을 생성할 수 있다. 셔틀 레이더 지형 미션(Shuttle Radar Topography Mission, SRTM) 이미지는 Google 어스 엔진(GEE) 플랫폼에서 디지털 고도 모델을 생성할 수 있다. TWI와 SPI는 SAGA GIS 8.2.1에서 각각 식 (1)과 (2)를 사용하여 계산될 수 있다.

$$TWI = \ln \frac{A_s}{\tan \beta} \quad (1)$$

$$SPI = A_s * \tan \beta \quad (2)$$

[0038]

[0039] A_s 는 경사의 기울기에 기여하는 영역을 나타내고, β 는 경사각을 나타낸다. A_s 의 한계는 사용되는 지형 데이터의 공간 해상도와 범위에 따라 달라질 수 있다. 대부분의 경우 경사각은 0(평판 지형)에서 90(수직 지형)까지의 각도와 범위로 측정될 수 있다. 강과 도로까지의 거리는 1:50,000 스케일의 국가 지도 제작 기구(NCO) 지형도를 사용하여 결정될 수 있다. 연구 지역의 시놉틱 스테이션의 10년 평균 강우량 데이터는 이란 기상 기구(IMO)에서 제공될 수 있다. ArcGIS 10.3은 크리깅 보간 기법을 사용하여 강우 래스터 층을 개발할 수 있다. 이란의 1:100,000 스케일 지질도는 암석 단위와 단층의 분포를 결정하는 데 사용될 수 있다. 토지 피복도는 GEE 플랫폼에서 Sentinel-1 및 Sentinel-2 이미지를 분석하여 생성될 수 있다. 토지 피복도는 13개의 클래스에 의해 생성될 수 있다. 이란 천연자원 및 유역 관리 기구는 토양 유형을 제공할 수 있다. 토양 지도는 4개의 그룹으로 준비될 수 있다. NDVI 지도는 GEE 플랫폼의 Landsat 8 위성 이미지를 사용하여 생성될 수 있다. NDVI는 식 (3)을 사용하여 결정될 수 있다.

[0040]

[0041] 여기서, NIR(밴드 5)은 근적외선을 나타내고 R(밴드 4)은 적색을 나타낸다.

[0042]

산사태 민감도 매핑 시스템은 방향(aspect), 고도, 단층까지의 거리(distance from the fault), 토양, 경사, 암석학, 강우, 도로까지의 거리, NDVI(Normalized Difference Vegetation Index), 토지 피복, 평면 곡률, 프로파일 곡률, TWI(Topographic Wetness Index), SPI(Stream Power Index), 하천까지의 거리를 포함하는 산사태 관련 요인을 포함하는 조건부 요인 지도를 생성할 수 있다.

[0043]

산사태 민감도 매핑 시스템은 산사태 인벤토리와 복수 개의 조건부 요인 지도를 포함하는 산사태 데이터에 대해 전처리를 수행할 수 있다.

[0044]

다중공선성(Multicollinearity)은 다중 회귀에서 적어도 두 개의 예측 매개변수의 특성이 선형성과 실질적으로 관련이 있음을 나타낸다. 따라서, 서로 독립성을 확립하기 위해서는 이러한 요인을 적절하게 선택해야 한다. 다중공선성 결과는 VIF(variance inflation factor) 지표를 사용하여 객관적으로 평가될 수 있다. 모델링에서 다중공선성 요인(VIF>10)을 제거해야 한다.

[0045]

빈도 비율(Frequency ratio, FR)은 산사태의 가능성을 추정하는 데 사용될 수 있다. 빈도 비율은 산사태와 그 원인 사이의 공간적 상관관계를 설명한다. 각 요인 클래스에 대한 빈도 비율 방법은 식 4를 사용하여 계산될 수 있다.

$$FR_i = \frac{\sum_j A_i^j}{\sum_j B_i^j} \quad (4)$$

[0046]

[0047] 여기서, A_i^j 는 요인 i의 클래스 j의 산사태 픽셀 수를 나타내고, B_i^j 는 요인 i의 클래스 j의 픽셀 수를 나타낸다. 특정 요인 클래스(즉, 요인 i의 클래스 j)에 대한 빈도 비율을 계산하기 위해 해당 클래스(A_i^j)의 산사태 픽셀 수를 요인 i($\sum_j A_i^j$)의 모든 클래스의 산사태 픽셀 수로 나눈다. 마찬가지로, 요인 클래스(B_i^j)의 픽셀

수는 요인 $i(\sum_j B_i^j)$ 의 모든 클래스의 전체 픽셀 수로 나눈다. A_i^j 와 B_i^j 에 대한 특정 클래스와 값은 분석된

요인과 연구에 사용된 데이터에 따라 달라진다. 식은 각 요인 클래스에 대해 A_i^j 와 B_i^j 에 대한 적절한 값을 대입함으로써 다른 요인에 적용될 수 있다. i 와 j 의 값은 요인과 클래스의 수에 따라 달라지며 이러한 매개변수의 수에는 제한이 없다.

[0048] 퍼지 로직은 퍼지 집합 이론을 기반으로 제안된 것이다. 퍼지 멤버십 함수를 사용한 매개변수 표준화는 퍼지 모델의 첫 번째 단계이다. 정규화된 멤버십 함수가 0과 1 사이에 존재한다. 입력과 출력 간의 매핑은 퍼지 로직을 사용한 퍼지 추론으로 표현될 수 있다. 가장 많이 접하는 퍼지 추론 접근 방식은 Mamdani 퍼지 추론이다. 퍼지 인터페이스 모델은 Mamdani의 구성 추론 규칙을 사용하여 개발되었다. 실시예에서는 Mamdani 퍼지 추론 시스템을 만들기 위해 다음 네 가지 단계를 설명한다. (1) 퍼지화: 퍼지 규칙 모음이 결정된 후 멤버십 함수로 입력을 검사한다. 해당 퍼지 집합에 할당된 언어 순위의 요인은 높고 낮다. 생성된 퍼지 인터페이스 시스템의 입력 변수에 대한 멤버십 함수는 가우스 분포를 사용하여 결정된다. (2) 두 번째 단계에서는 퍼지 규칙을 기반으로 퍼지 입력을 통합하여 규칙 강도를 추정한다(퍼지 연산). 일련의 IF-THEN 규칙은 지식의 기본 법칙을 결정한다. (3) 퍼지 추론 방법: 규칙의 영향은 마지막으로 세 번째 단계에서 결정되며, 이는 규칙의 강도와 출력 함수를 결합한다. (4) 역퍼지화: 퍼지 집합을 입력으로 취하고(집계 출력 퍼지 집합) 단일 정수를 출력으로 생성한다. 알고리즘에 따르면 퍼지의 수는 식 (5)를 사용하여 crisp 수로 변환해야 한다.

$$X = \frac{\sum_{i=1}^n X_i * \mu_i(X_i)}{\sum_{i=1}^n \mu_i(X_i)} \quad (5)$$

[0049] 이 방정식에서 "n"은 퍼지 집합에 있는 원소의 총 개수이다. X_i 로 표시된 각 원소는 멤버십 값 μ_i 와 연관되어 있다.

[0050]

[0051] PSO(Particle swarm optimization) 알고리즘은 무리 속 새들의 사회적 행동을 기반으로 인구 기반 검색 알고리즘을 시뮬레이션한다. PSO 알고리즘에서 최적화 문제에 대한 최적의 솔루션은 하나의 입자로 나타낼 수 있다. 주어진 검색 공간에서 최적화 문제에 대한 잠재적인 솔루션을 나타내는 입자는 주변을 날아다닐 수 있다. 각 입자의 속도(v)와 위치(x)를 조정하기 위해 다음 식이 사용된다.

$$v_{ij}(t+1) = wv_{ij}(t) + c_1r_1(pB_{ij}(t) - x_{ij}(t)) + c_2r_2(gB_{ij}(t) - x_{ij}(t)) \quad (6)$$

$$x_{ij}(t+1) = x_{ij}(t) + v_{ij}(t+1) \quad (7)$$

[0052]

[0053] 반복 j 에서의 입자 속도 및 현재 위치는 각각 $v_{ij}(t+1)$ 및 $x_{ij}(t+1)$ 에 의해 제공된다. w 는 관성 가중치, t 는 반복 횟수, c_1 은 인지 학습 요인, c_2 는 사회적 학습 요인, r_1 및 r_2 는 무작위 값이다.

[0054] 실시예에서는 PSO 알고리즘을 이용하여 어떤 요인이 가장 중요한지 분석할 수 있다. 실시예에서는 다음과 같은 목적 함수(식 8)를 따라 PSO 알고리즘을 이용하여 특징을 분석할 수 있다.

$$E = \min\left(\frac{\sum_{i=1}^N (y - y')^2}{N} + w * n\right) \quad (8)$$

[0055]

[0056] 여기서, E 는 최소화하고자 하는 목적 함수를 나타내며, 실제값은 y , 추정값은 y' , w 는 0~1 사이, n 은 특징의 수이다. 각 요인의 빈도 백분율을 이용하여 중요도를 추정할 수 있다.

[0057] NSGA-II(Non-dominated sorting genetic algorithm II, NSGA-II)는 비지배적 정렬 유전 알고리즘(NSGA)의 향상된 형태이다. NSGA-II 설계는 엘리트적이며 매개변수를 공유할 필요가 없다. NSGA-II 알고리즘은 세 가지 주요 요소로 구성될 수 있다. NSGA-II 알고리즘의 요소는 비지배적 정렬, 군집 거리 및 NSGA-II 연산자를 포함한다. (1) 비지배적 정렬: 벡터 $u = (u_1, u_2, \dots, u_k)$ 와 벡터 $v = (v_1, v_2, \dots, v_k)$ 사이의 지배 관계는 u 가 v 보다 부분적으로 작을 경우에만 유지된다. 위의 개념은 수학적으로 식 9와 같이 표현될 수 있다.

$$\forall i \in \{1, \dots, k\}, u_i \leq v_i \wedge \exists i \in u_i \leq v_i \quad (9)$$

[0058]

[0059] x_1 이 어떤 목적 함수에서 x_2 보다 열등하지 않고 적어도 하나의 목적함수에서 x_2 보다 우수할 때 솔루션 x_1 이 솔루션 x_2 를 지배한다고 한다. (2) 군집 거리: 군집 거리의 목적은 모집단 내의 특정 솔루션을 둘러싼 솔루션의 밀도를 평가하는 것이다. 주어진 지점 i 에 대해 군집 거리는 모집단의 다른 문제를 포함하지 않고 지점 i 를 둘러싸는 거대한 직육면체의 대략적인 크기를 나타낸다. 수학적으로 군집 거리는 다음 식으로 나타낼 수 있다.

$$d_i^1 = \frac{f_1(x_{i+1}) - f_1(x_{i-1})}{f_1^{\max} - f_1^{\min}} \quad (10)$$

$$d_i^2 = \frac{f_2(x_{i+1}) - f_2(x_{i-1})}{f_2^{\max} - f_2^{\min}} \quad (11)$$

$$d_i = d_i^1 + d_i^2 \quad (12)$$

[0060]

[0061] 여기서, x_i 는 i 에 대한 솔루션이고, d_i^1 은 첫 번째 목적 함수에서 솔루션 i 의 군집 거리, d_i^2 은 두 번째 목적 함수에서 솔루션 i 의 군집 거리, d_i 는 솔루션 i 에 대한 군집 거리의 수치를 나타낸다. (3) NSGA-II 연산자: NSGA-II의 성능은 교차와 돌연변이라는 두 가지 기본 연산자에 의존한다. 교차 연산자에서는 두 개의 염색체를 선택하고, 이들의 유전자 정보를 무작위로 교환하여 개선된 모집단을 생성한다. 1 지점 교차, 2 지점 교차 등 여러 교차 연산자가 존재한다. NSGA-II에서 돌연변이는 솔루션의 다양성을 유지하는 데 중요한 또 다른 연산자 역할을 한다. 염색체 내의 하나 이상의 유전자 값을 원래 상태에서 수정하는 것을 포함한다. 돌연변이 연산자를 적용하면 이전과 다른 답을 얻을 수 있어 솔루션 공간의 탐색을 강화하고 모집단 내의 다양성을 촉진할 수 있다. NSGA-II는 솔루션의 초기 모집단을 생성하는 것으로 시작한다. 그런 다음, 각 답에 대해 목적 함수를 평가하고 가중합 방법을 사용하여 결합한다. 도메인 수는 비지배적 정렬을 사용하여 모든 솔루션에 대해 계산된다. 밀도를 측정하기 위해 각 키에 대해 군집 거리를 계산한다. 답은 비지배적 정렬과 군집 거리를 기반으로 순위가 매겨진다. 적합한 솔루션을 선택하고, 교차와 돌연변이 연산자를 통해 다음 세대를 만들어낸다. 이 과정은 정지 기준이 충족될 때까지 계속되어 알고리즘이 최적의 솔루션으로 수렴할 수 있다.

[0062]

ENORA(Evolutionary non-dominated radial slots-based algorithm)는 엘리트주의 파레토 기반 접근법을 채택하는 다중 목적 진화 알고리즘이다. $(\mu + \lambda)$ 로 알려진 생존 전략을 사용하는데, 여기서, μ 는 모집단 크기를 나타내고, λ 는 생산된 자손의 수를 나타낸다. 1973년 Rechenberg가 진화 전략으로 처음 도입한 $(\mu + \lambda)$ 전략은 모집단 크기가 1인 것을 포함하며 $(1 + 1)$ -ES라고 한다. 이 접근법은 선택, 적응 돌연변이 및 작은 모집단 크기를 활용했다. 나중에 한 명 이상의 개인의 재조합과 모집단을 $(\mu + \lambda)$ 전략에 도입되었다. 엘리트주의 방법으로써 $(\mu + \lambda)$ 기법은 모집단에서 가장 우수한 μ 명의 자녀와 부모의 생존을 가능하게 한다. ENORA에서는 $(\mu + \lambda)$ 생존 전략이 사용되며, 여기서 μ 는 λ 와 같고 모집단 크기를 나타낸다. 이진 토너먼트 선택 및 자체 적응형 교차 및 돌연변이 기술은 다중 목적 진화 최적화에 사용된다. N 명의 개인으로 구성된 모집단 P

의 초기화 및 평가 후 각 T 세대 동안 이진 토너먼트 선택을 사용하여 모집단 P에서 한 쌍의 부모를 선택한다. 알고리즘은 순위 군집 향상 함수를 기반으로 무작위 개인 쌍에서 가장 우수한 사람을 선택한다. 알고리즘 맥락에서 모집단 P의 I 순위가 J의 순위보다 낮으면(즉, 더 우수한) 개인 I가 개인 J보다 우수한 것으로 간주된다. 순위(P, I)로 표시되는 모집단 P에서 개인 I의 순위는 모집단 P에서 개인 J 사이의 비지배 수준에 의해 결정된다. 개인 I와 개인 J가 검색 공간의 특정 영역을 나타내는 동일한 방사형 슬롯(슬롯(I)) = 슬롯(J)에 할당되었다고 가정한다. 그 경우, 그것들은 동일한 비지배 수준(식 13 및 14)을 공유한다.

$$\text{slot}(I) = \sum_{j=1}^{n-1} d^{j-1} \left\lfloor d \frac{\alpha'_j}{\pi/2} \right\rfloor \quad (13)$$

$$\alpha'_j = \begin{cases} \frac{\pi}{2} \text{if } h'_j = 0 \\ \arctan\left(\frac{h'_{j+1}}{h'_j}\right) \text{if } h'_j \neq 0 \end{cases} \quad (14)$$

[0063]

[0064]

주어진 식에서 $\mathbf{d} = \lfloor \sqrt[n]{N} \rfloor$ 은 최적화 문제의 목표 수를 나타내고, h'_j 은 [0, 1] 범위 내에서 정규화된 목적 함수 f'_j 을 나타낸다. 두 사람이 모집단에서 동일한 순위를 공유할 때, 가장 좋은 개인은 각 전선 내의 군집 거리를 기반으로 결정될 수 있다. 군집 거리가 더 큰 개인이 더 우수한 개인으로 간주된다. 알고리즘은 부모 개체를 선택하고 교차 및 돌연변이를 수행하여 자손을 평가하고 보조 모집단 Q에 추가한다. 이 과정은 Q가 크기 N에 도달할 때까지 반복될 수 있다. P와 Q는 병합되어 추가 모집단 R을 생성한다. 순위는 비지배 수준을 기반으로 R에 있는 개체에게 할당된다. 마지막으로, 더 나은 함수를 가진 순위 군집에 의해 결정되는 R의 N개의 가장 우수한 개인이 다음 세대까지 살아남는다.

[0065]

산사태 민감도 매핑 시스템은 퍼지 로직과 다목적 진화 알고리즘을 이용하여 산사태 민감도 모델을 최적화할 수 있다. 산사태 민감도 매핑 시스템은 표준 편차와 중심의 두 가지 매개변수를 가진 가우시안 퍼지 멤버십 함수를 사용할 수 있다.

$$\mu_{A_{ij}}(x_j) = \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{x_j - c_{ij}}{\sigma_{ij}}\right)^2\right] \quad (15)$$

[0066]

[0067]

여기서, c_{ij} 는 중심을 나타내고 σ_{ij} 는 표준 편차를 나타낸다. 식 15 $\mu_{A_{ij}}(x_j)$ 는 퍼지 집합 A_{ij} 에 대한 값 x_j 의 멤버십 정도를 나타낸다.

[0068]

산사태 민감도 매핑 시스템은 세 가지 주요 기준인 정확성, 투명성, 압축성을 평가할 수 있다. 이러한 목표에 대한 정량적 지표를 정의하기 위해 적절한 목적 함수를 사용해야 한다. (1) 정확성: 모델 정확성을 측정하기 위해 RMSE(평균 제곱근 오차)를 사용할 수 있다.

$$\text{RMSE} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (y_i - t_i) \quad (16)$$

[0069]

[0070]

여기서, y_i 는 모델의 출력을 나타내고 t_i 는 원하는 출력을 나타내며 샘플 수는 N이다. (2) 투명성: 투명도를 위해 유사도 함수를 사용할 수 있다. 식 17은 두 개의 서로 다른 퍼지 집합(A와 B) 간의 유사도를 측정할 수 있다.

$$S(A, B) = \max \left\{ \frac{|A \cap B|}{|A|}, \frac{|A \cap B|}{|B|} \right\} \quad (17)$$

(3) 압축성: 퍼지 모델의 압축성을 위해 모델의 규칙 수(M)와 다양한 퍼지 집합의 수(L)가 지표가 된다. 이전 논의를 바탕으로 다음과 같은 다중 목적 제약 최적화 모델이 제안될 수 있다(식 18).

$$\begin{cases} \text{Minimize } f_1 = RMSE \\ \text{Minimize } f_2 = M \\ \text{Subject to } S < g_s \end{cases} \quad (18)$$

여기서, g_s [0, 1]은 정의된 유사도 기준이다($g_s = 0.4$).

산사태 민감도 매핑 시스템은 산사태 민감도 모델의 성능을 평가하기 위해 RMSE(Root Means Squared Error) 지수(식 16)를 사용할 수 있다. 산사태 민감도 매핑 시스템은 ROC(Receiver Operating Characteristic) 곡선을 사용하여 산사태 민감도 모델의 정확도를 테스트할 수 있다. ROC 곡선은 두 개의 TPR(True Positive Rate) 및 FPR(False Positive Rate) 지수(식 19-20)를 사용하여 계산될 수 있다.

$$TPR = \frac{TP}{TP + FN} \quad (19)$$

$$FPR = \frac{FP}{TN + FP} \quad (20)$$

ROC를 결정하는 네 가지 매개변수는 TP(True Positive), FP(False Positive), TN(True Negative), FN(False Negative) 픽셀이다. ROC 곡선에는 y축과 x축이 있으며, TPR과 FPR을 나타낸다. AUC(Area Under the Curve) 이라고 불리는 통계적 측정에 따르면 LSM 정확성은 그 값에 의해 결정될 수 있다. AUC 지수는 식 (21)을 기반으로 계산된다.

$$AUC = \int_0^1 ROC(t) \quad (21)$$

t가 임계값을 나타내는 경우 AUC 값이 0.5 미만이면 모델 성능이 좋지 않은 반면, 1 근처의 값은 모델 정확도가 높다는 것을 나타낸다.

도 4는 일 실시예에 있어서, 산사태 민감도 매핑 동작을 설명하기 위한 도면이다.

실시예에서는 산사태 민감도를 모델링하기 위해 사용한 방법론은 도 4와 같다. 절차는 산사태 인벤토리와 15개의 조건부 요인 지도를 생성하는 것으로 시작될 수 있다. 다음 단계에서는 다중공선성 분석, FR 방법 및 PSO 알고리즘을 사용하여 입력 데이터를 전처리할 수 있다. 퍼지 규칙은 다음 단계에서 다중 목적 진화 알고리즘을 사용하여 최적화될 수 있다. 도 5를 참고하면, 다목적 진화 알고리즘을 사용하여 연구 지역의 산사태 민감도를 매핑한 산사태 민감도 지도를 나타낸 예이다. 마지막으로, NSGA-II 및 ENORA 알고리즘을 사용하여 산사태 취약성 지도를 생성하고 메트릭 지표를 사용하여 평가할 수 있다.

도 6은 일 실시예에 있어서, 산사태 민감도 매핑 시스템을 설명하기 위한 블록도이고, 도 7은 일 실시예에 있어서, 산사태 민감도 매핑 방법을 설명하기 위한 흐름도이다.

- [0083] 산사태 민감도 매핑 시스템(100)의 프로세서는 데이터 준비부(610), 데이터 전처리부(620), 모델링부(630) 및 성능 평가부(640)를 포함할 수 있다. 이러한 프로세서의 구성요소들은 산사태 민감도 매핑 시스템에 저장된 프로그램 코드가 제공하는 제어 명령에 따라 프로세서에 의해 수행되는 서로 다른 기능들(different functions)의 표현들일 수 있다. 프로세서 및 프로세서의 구성요소들은 도 7의 산사태 민감도 매핑 방법이 포함하는 단계들(710 내지 740)을 수행하도록 산사태 민감도 매핑 시스템을 제어할 수 있다. 이때, 프로세서 및 프로세서의 구성요소들은 메모리가 포함하는 운영체제의 코드와 적어도 하나의 프로그램의 코드에 따른 명령(instruction)을 실행하도록 구현될 수 있다.
- [0084] 프로세서는 산사태 민감도 매핑 방법을 위한 프로그램의 파일에 저장된 프로그램 코드를 메모리에 로딩할 수 있다. 예를 들면 산사태 민감도 매핑 시스템에서 프로그램이 실행되면, 프로세서는 운영체제의 제어에 따라 프로그램의 파일로부터 프로그램 코드를 메모리에 로딩하도록 산사태 민감도 매핑 시스템을 제어할 수 있다. 이때, 데이터 준비부(610), 데이터 전처리부(620), 모델링부(630) 및 성능 평가부(640) 각각은 메모리에 로딩된 프로그램 코드 중 대응하는 부분의 명령을 실행하여 이후 단계들(710 내지 740)을 실행하기 위한 프로세서의 서로 다른 기능적 표현들일 수 있다.
- [0085] 단계(710)에서 데이터 준비부(610)는 특정 지역의 산사태 인벤토리 지도와 산사태 관련 요인을 포함하는 산사태 데이터를 준비할 수 있다. 데이터 준비부(610)는 지구과학 데이터베이스에 저장된 과거 기록을 이용하여 특정 지역의 산사태 인벤토리 지도를 생성하고, 산사태 인벤토리 지도를 기 설정된 비율에 따라 훈련 데이터 셋 및 테스트 데이터 셋으로 분류할 수 있다. 데이터 준비부(610)는 방향(aspect), 고도, 단층까지의 거리(distance from the fault), 토양, 경사, 암석학, 강우, 도로까지의 거리, NDVI(Normalized Difference Vegetation Index), 토지 피복, 평면 곡률, 프로파일 곡률, TWI(Topographic Wetness Index), SPI(Stream Power Index), 하천까지의 거리를 포함하는 산사태 관련 요인을 선택할 수 있다.
- [0086] 단계(720)에서 데이터 전처리부(620)는 준비된 산사태 데이터 중 훈련 데이터 셋에 대한 통계 분석을 수행할 수 있다. 데이터 전처리부(620)는 준비된 산사태 데이터 중 훈련 데이터 셋에서 예측 변수 간의 상관관계를 분석하기 위해 다중 공선성 테스트를 수행하고, 빈도 비율(Frequency ratio)을 통해 산사태 관련 요인 클래스의 가중치를 결정하고, PSO(Particle swarm optimization) 알고리즘을 이용하여 산사태 관련 요인의 중요도를 분석할 수 있다.
- [0087] 단계(730)에서 모델링부(630)는 퍼지 로직과 다목적 진화 알고리즘을 이용하여 통계 분석이 수행된 훈련 데이터 셋으로부터 산사태 민감도 지도를 생성할 수 있다. 여기서, 다목적 진화 알고리즘은, NSGA-II(Non-dominated sorting genetic algorithm II) 및 ENORA(Evolutionary non-dominated radial slots-based algorithm)를 포함할 수 있다. 모델링부(630)는 NSGA-II(Non-dominated sorting genetic algorithm II) 및 ENORA(Evolutionary non-dominated radial slots-based algorithm)를 이용하여 퍼지 로직을 조정하고, 조정된 퍼지 로직 기반의 산사태 민감도 모델을 구성할 수 있다.
- [0088] 단계(740)에서 성능 평가부(640)는 생성된 산사태 민감도 지도에 기초하여 산사태 민감도 모델의 성능을 평가할 수 있다. 성능 평가부(640)는 RMSE(Root Means Squared Error) 지수, ROC(Receiver Operating Characteristic) 곡선을 사용하여 산사태 민감도 모델의 성능을 평가할 수 있다.
- [0089] 이상에서 설명된 장치는 하드웨어 구성요소, 소프트웨어 구성요소, 및/또는 하드웨어 구성요소 및 소프트웨어 구성요소의 조합으로 구현될 수 있다. 예를 들어, 실시예들에서 설명된 장치 및 구성요소는, 예를 들어, 프로세서, 콘트롤러, ALU(arithmetic logic unit), 디지털 신호 프로세서(digital signal processor), 마이크로컴퓨터, FPGA(field programmable gate array), PLU(programmable logic unit), 마이크로프로세서, 또는 명령(instruction)을 실행하고 응답할 수 있는 다른 어떠한 장치와 같이, 하나 이상의 범용 컴퓨터 또는 특수 목적 컴퓨터를 이용하여 구현될 수 있다. 처리 장치는 운영 체제(OS) 및 상기 운영 체제 상에서 수행되는 하나 이상의 소프트웨어 애플리케이션을 수행할 수 있다. 또한, 처리 장치는 소프트웨어의 실행에 응답하여, 데이터를 접근, 저장, 조작, 처리 및 생성할 수도 있다. 이해의 편의를 위하여, 처리 장치는 하나가 사용되는 것으로 설명된 경우도 있지만, 해당 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자는, 처리 장치가 복수 개의 처리 요소(processing element) 및/또는 복수 유형의 처리 요소를 포함할 수 있음을 알 수 있다. 예를 들어, 처리 장치는 복수 개의 프로세서 또는 하나의 프로세서 및 하나의 콘트롤러를 포함할 수 있다. 또한, 병렬 프로세서(parallel processor)와 같은, 다른 처리 구성(processing configuration)도 가능하다.
- [0090] 소프트웨어는 컴퓨터 프로그램(computer program), 코드(code), 명령(instruction), 또는 이들 중 하나 이상의 조합을 포함할 수 있으며, 원하는 대로 동작하도록 처리 장치를 구성하거나 독립적으로 또는 결합적으로

(collectively) 처리 장치를 명령할 수 있다. 소프트웨어 및/또는 데이터는, 처리 장치에 의하여 해석되거나 처리 장치에 명령 또는 데이터를 제공하기 위하여, 어떤 유형의 기계, 구성요소(component), 물리적 장치, 가상 장치(virtual equipment), 컴퓨터 저장 매체 또는 장치에 구체화(embody)될 수 있다. 소프트웨어는 네트워크로 연결된 컴퓨터 시스템 상에 분산되어서, 분산된 방법으로 저장되거나 실행될 수도 있다. 소프트웨어 및 데이터는 하나 이상의 컴퓨터 판독 가능 기록 매체에 저장될 수 있다.

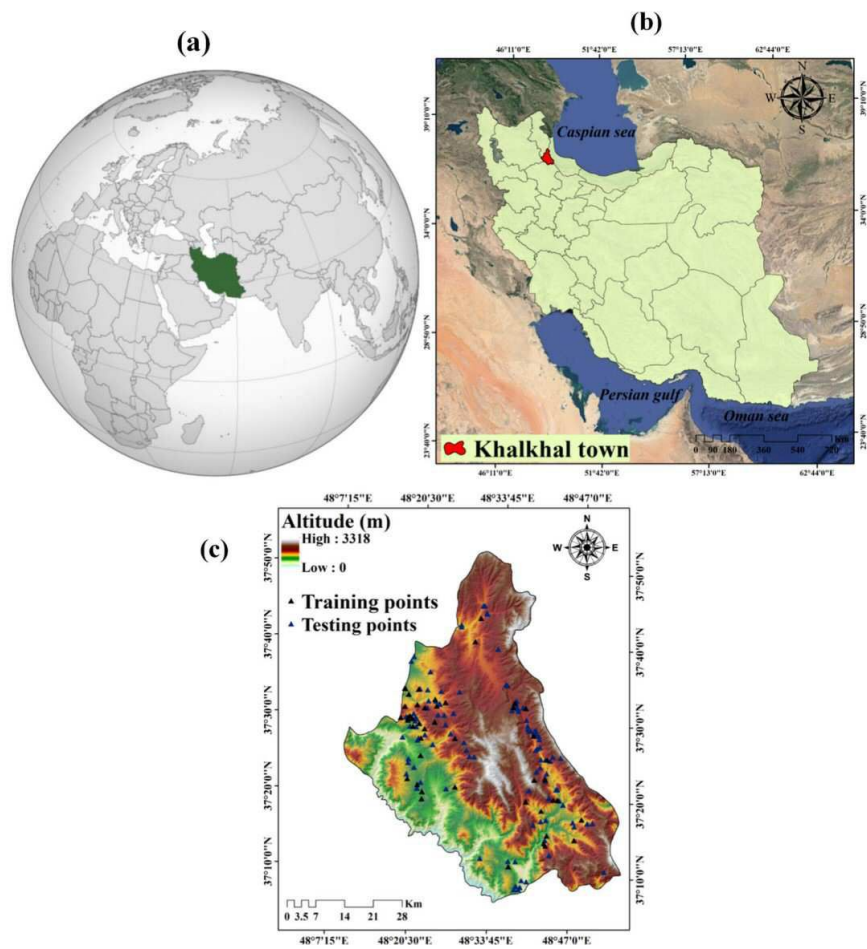
[0091] 실시예에 따른 방법은 다양한 컴퓨터 수단을 통하여 수행될 수 있는 프로그램 명령 형태로 구현되어 컴퓨터 판독 가능 매체에 기록될 수 있다. 상기 컴퓨터 판독 가능 매체는 프로그램 명령, 데이터 파일, 데이터 구조 등을 단독으로 또는 조합하여 포함할 수 있다. 상기 매체에 기록되는 프로그램 명령은 실시예를 위하여 특별히 설계되고 구성된 것들이거나 컴퓨터 소프트웨어 당업자에게 공지되어 사용 가능한 것일 수도 있다. 컴퓨터 판독 가능 기록 매체의 예에는 하드 디스크, 플로피 디스크 및 자기 테이프와 같은 자기 매체(magnetic media), CD-ROM, DVD와 같은 광기록 매체(optical media), 플롭티컬 디스크(floptical disk)와 같은 자기-광 매체(magneto-optical media), 및 롬(ROM), 램(RAM), 플래시 메모리 등과 같은 프로그램 명령을 저장하고 수행하도록 특별히 구성된 하드웨어 장치가 포함된다. 프로그램 명령의 예에는 컴파일러에 의해 만들어지는 것과 같은 기계어 코드뿐만 아니라 인터프리터 등을 사용해서 컴퓨터에 의해서 실행될 수 있는 고급 언어 코드를 포함한다.

[0092] 이상과 같이 실시예들이 비록 한정된 실시예와 도면에 의해 설명되었으나, 해당 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 상기의 기재로부터 다양한 수정 및 변형이 가능하다. 예를 들어, 설명된 기술들이 설명된 방법과 다른 순서로 수행되거나, 및/또는 설명된 시스템, 구조, 장치, 회로 등의 구성요소들이 설명된 방법과 다른 형태로 결합 또는 조합되거나, 다른 구성요소 또는 균등물에 의하여 대치되거나 치환되더라도 적절한 결과가 달성될 수 있다.

[0093] 그러므로, 다른 구현들, 다른 실시예들 및 특허청구범위와 균등한 것들도 후술하는 특허청구범위의 범위에 속한다.

도면

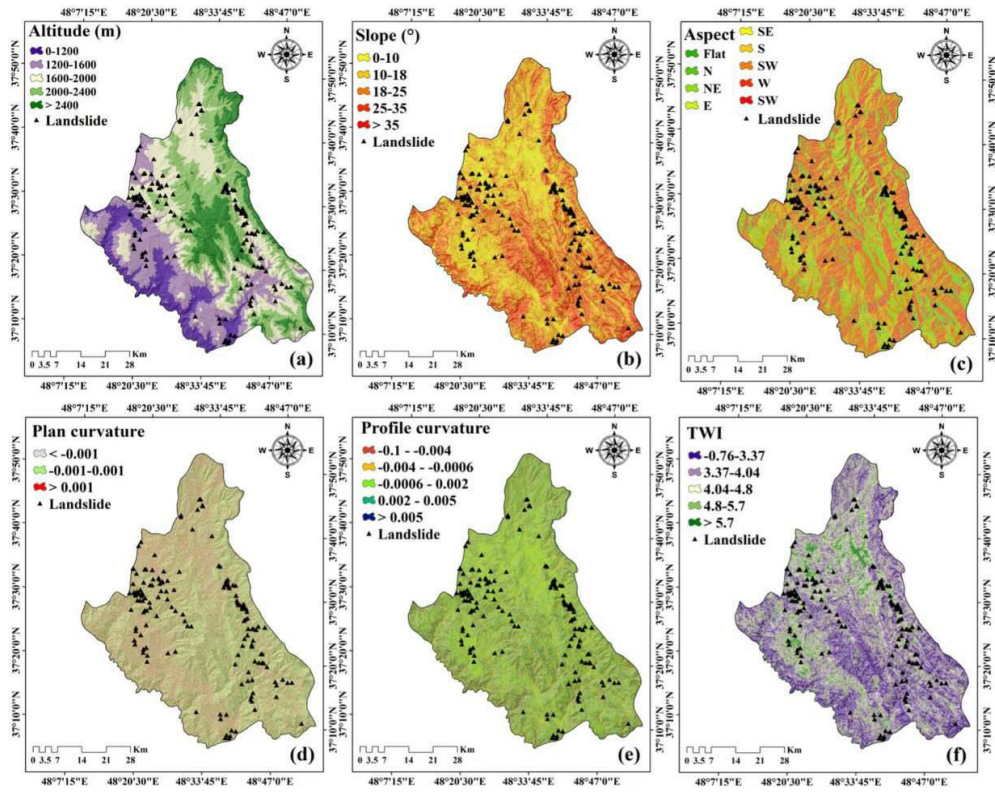
도면1



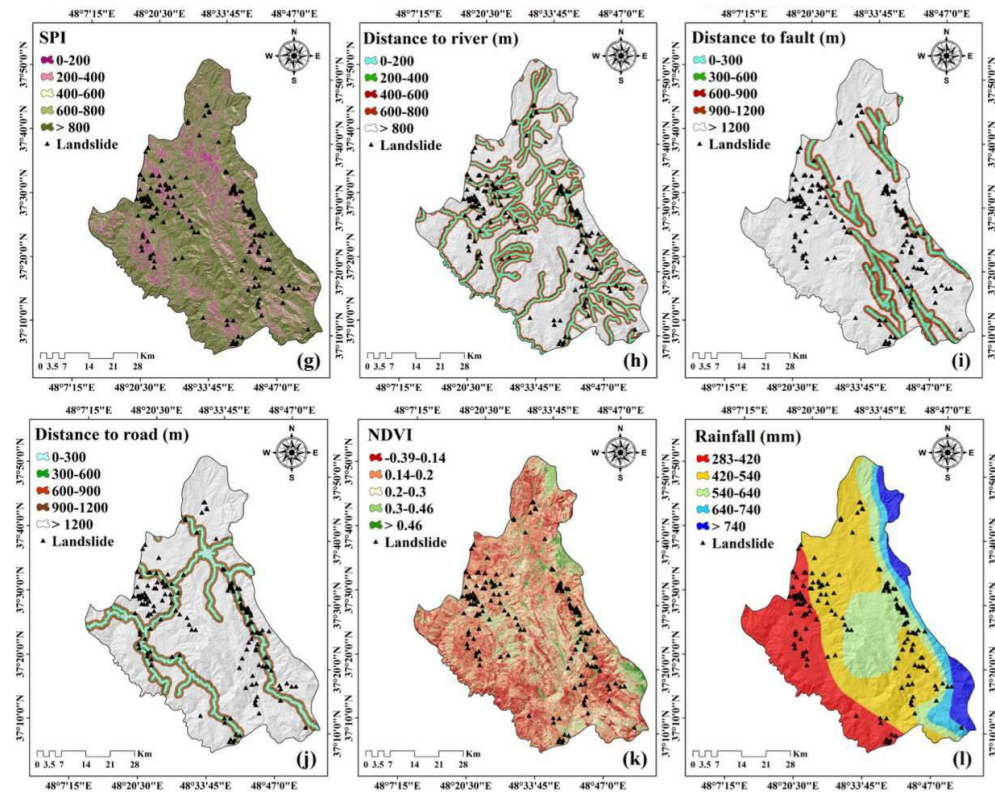
도면2



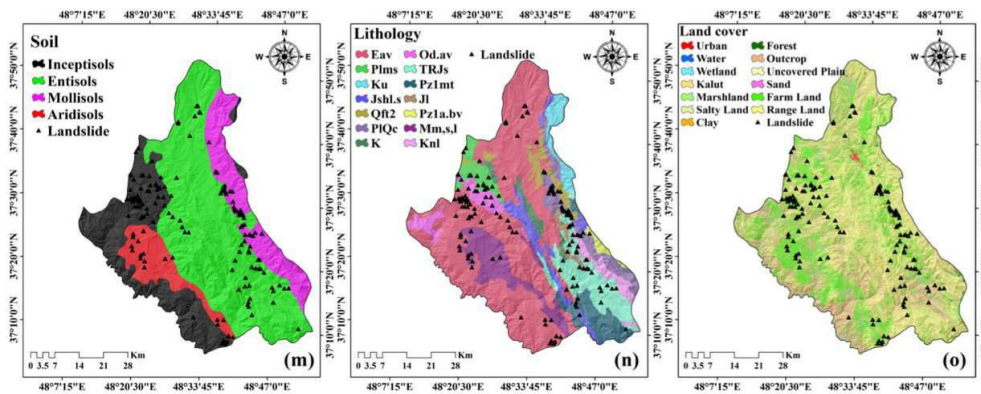
도면3a



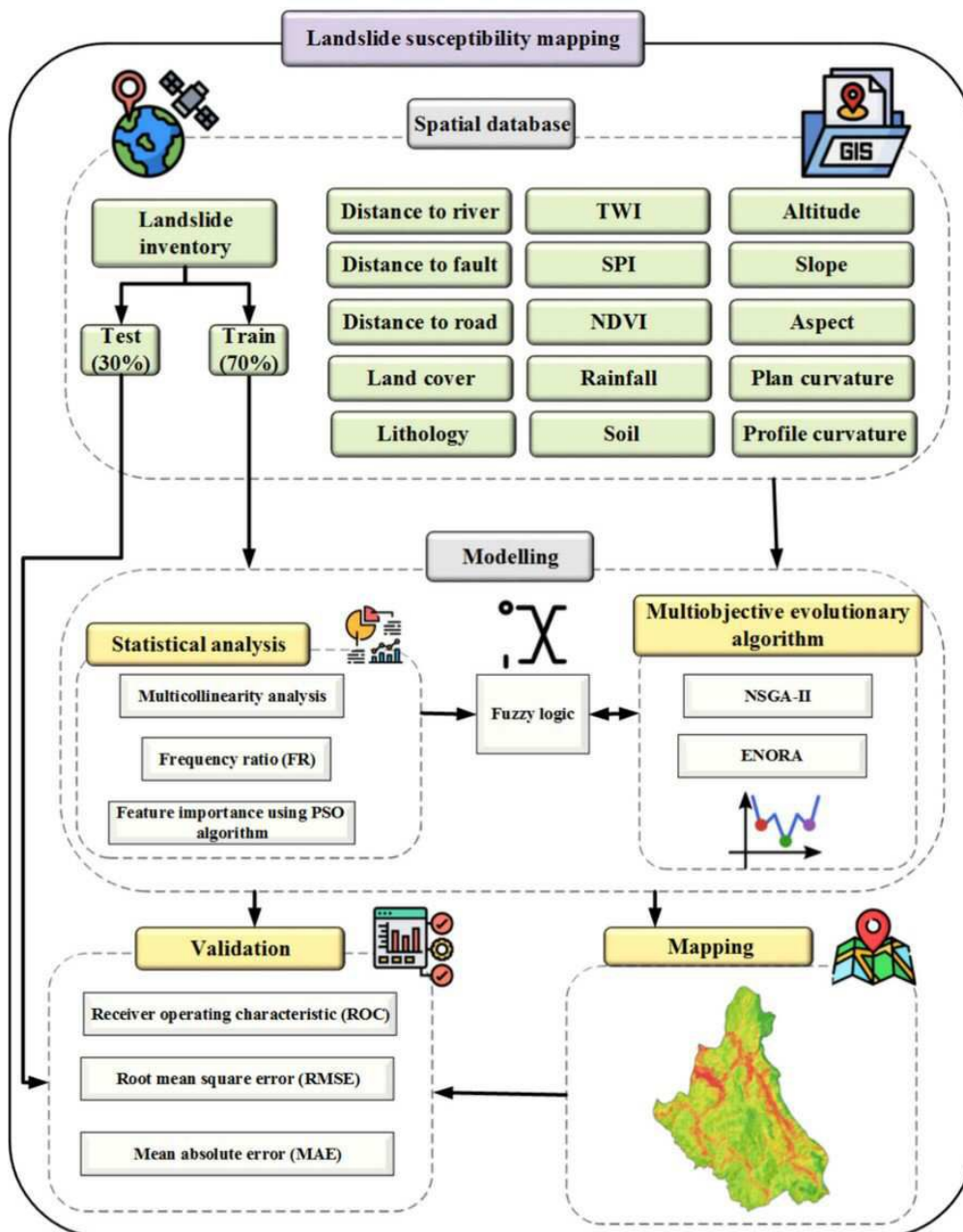
도면3b



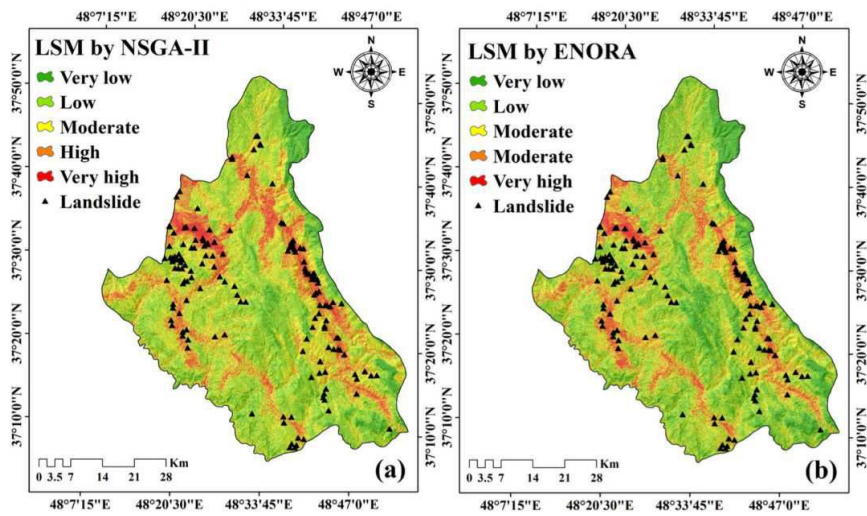
도면3c



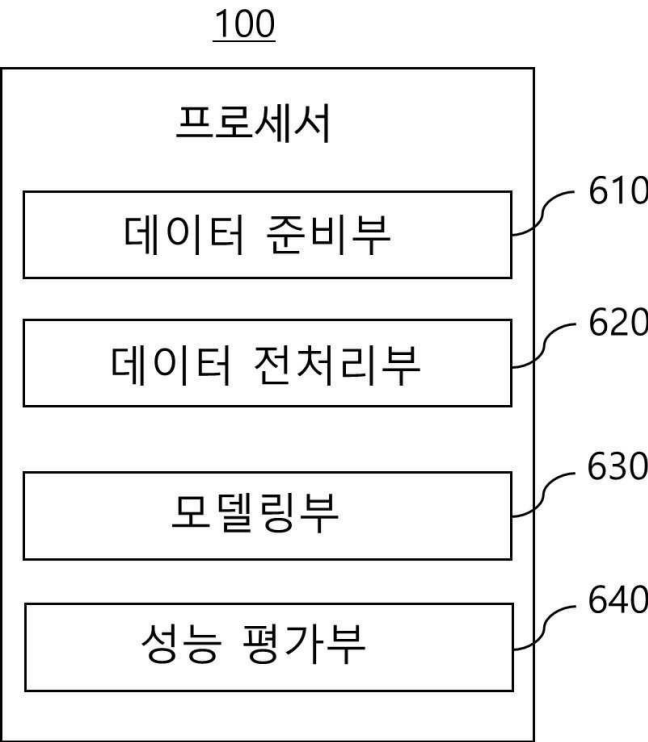
도면4



도면5



도면6



도면7

