

I. 소개

위험은 자연 또는 인간이 유발 한 위험과 취약한 조건 간의 상호 작용으로 인한 유해한 결과 또는 예상 손실 (사망, 부상, 재산, 생계, 경제 활동 중단 또는 환경 손상)의 가능성으로 정의됩니다 (UN-ISDR, 2009, EC, 2011). 위험은 그림 1에 표시된 다음 기본 방정식으로 개념적으로 제시 될 수 있습니다.

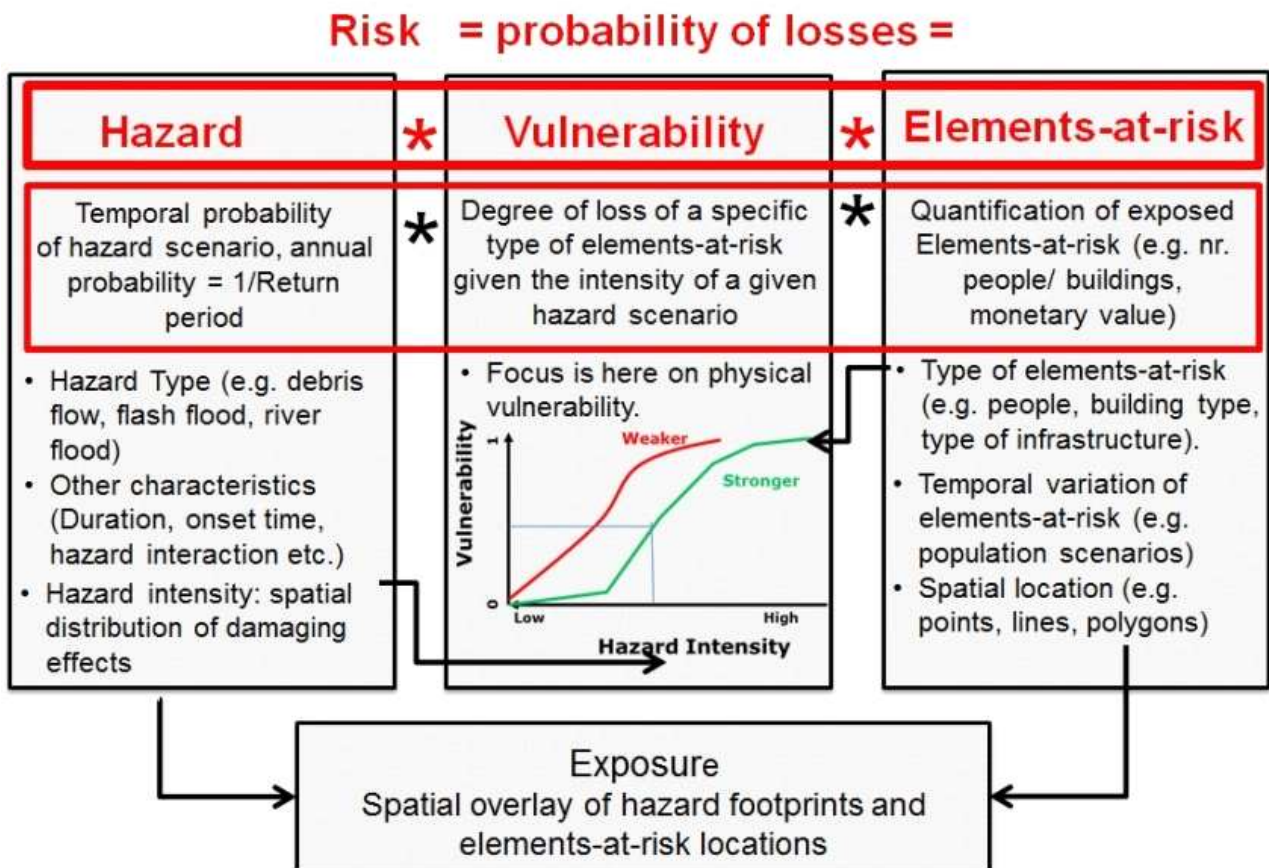


그림 1 : 위험에 노출 된 요소의 위험, 취약성 및 정량화의 곱셈으로서의 위험의 개략적 표현. 위험, 취약성 및 위험 요소 및 상호 작용의 다양한 측면도 표시됩니다. 이 프레임 워크는 물리적 취약성 데이터를 사용하여 물리적 손실 분석에 중점을 둡니다.

위험 평가는 잠재적 위험을 분석하고 재산, 사람, 생계 및 의존하는 환경에 위협이나 해를 끼칠 수 있는 기존 취약성 조건을 평가하여 손실 가능성을 결정하는 프로세스입니다. (UN-ISDR, 2009). ISO 31000 (2009)은 위험 평가를 위험 식별, 위험 분석 및 위험 평가의 세 가지 프로세스로 구성된 프로세스로 정의합니다. 위험 식별은 목표 달성에 영향을 줄 수

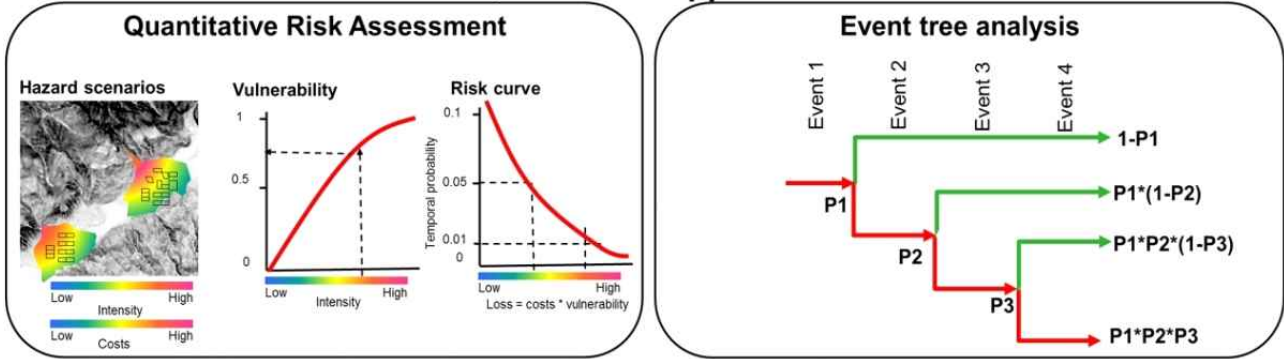
있는 위험을 찾고, 인식하고, 설명하는 데 사용되는 프로세스입니다. 위험 분석은 식별된 위험의 특성, 원인 및 원인을 이해하고 위험 수준을 추정하는 데 사용되는 프로세스입니다. 또한 영향과 결과를 연구하고 현재 존재하는 통제를 조사하는 데 사용됩니다. 위험 평가는 지정된 수준의 위험이 수용 가능하거나 허용 가능한지 여부를 결정하기 위해 위험 분석 결과를 위험 기준과 비교하는 데 사용되는 프로세스입니다.

자연 재해 위험에 대한 위험 매핑은 다양한 규모와 다양한 목적으로 수행 될 수 있습니다. 표 1은 요약을 제공합니다. 다음 섹션에서는 정량적 위험 평가(QRA), 이벤트 트리 분석(ETA), 위험 매트릭스 접근 방식(RMA) 및 지표 기반 접근 방식(IBA)의 네 가지 위험 매핑 방법에 대해 설명합니다.

표 1: 관련 목표 및 데이터 특성을 사용한 분석 척도 표시

분석 규모	저울	가능한 목표	가능한 접근법
인터넷서널, 글로벌	< 1:100만	국가/지역의 우선 순위 지정; 조기 경보	간소화된 RMA 및 IBA
소 규모 : 지방에서 전국 규모	< 1:100,000	지역의 우선 순위 지정; 트리거 이벤트 분석; 국가 프로그램의 구현; 전략적 환경 평가; 보험	단순화 된 EVA, RMA 및 IBA
중간: 지방 자치 단체에서 지방 수준	1:100000에서 1:25000	변화의 효과 분석; 트리거 이벤트 분석; 지역 개발 계획	RMA/IBA
지역: 지역 사회에서 지방 자치 단체로	1:25000에서 1:5000	토지 이용 구역 설정; 변화의 효과 분석; 환경 영향 평가; 위험 감소 조치 설계	QRA/EVA/RMA /IBA
사이트별	1:5000 이상	위험 감소 조치 설계; 조기 경보 시스템; 상세한 토지 이용 구역 설정	QRA/EVA/RMA

Quantitative approaches



Qualitative approaches

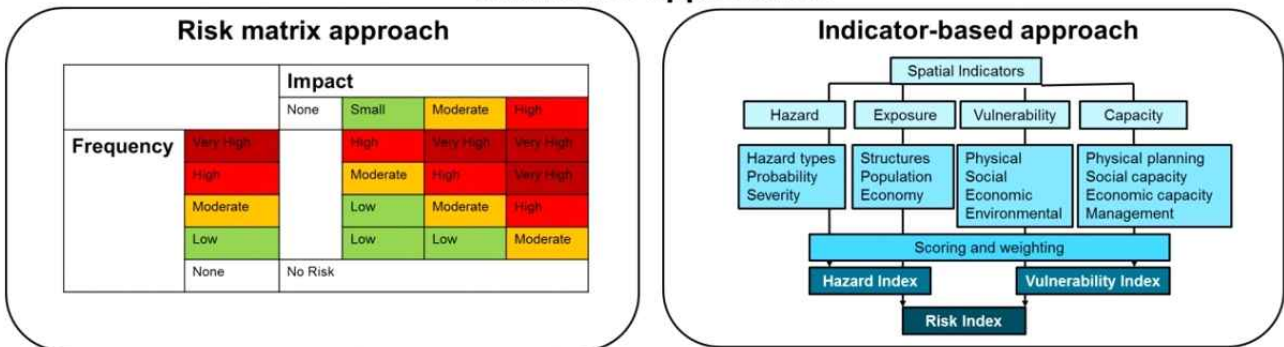


그림 2. 위험 평가와 관련된 구성 요소 및 4가지 주요 유형의 위험 매핑.

(접근 방식: QRA = 정량적 위험 평가, EVA = 이벤트 트리 분석, RMA = 위험 매트릭스 접근 방식, IBA = 지표 기반 접근 방식)

II. 정량적 위험 평가

위험 방정식의 다양한 구성 요소가 주어진 위험 시나리오 및 위험 요소 세트에 대해 공간적으로 정량화될 수 있는 경우 다음 방정식을 사용하여 위험을 분석할 수 있습니다.

$$RISK = \sum_{All\ hazards} \left(\int_{P_T=0}^{P_T=1} P_{(T|HS)} \times \left(\sum_{All\ EoR} (P_{(S|HS)} \times (A_{(ER|HS)} \times V_{(ER|HS)})) \right) \right)$$

여기서 :

$P_{(T|HS)}$ = 특정 위험 시나리오(HS)의 시간적 확률. 위험 시나리오는 특정 규모와 빈도를 가진 특정 유형(예: 홍수)의 위험 이벤트

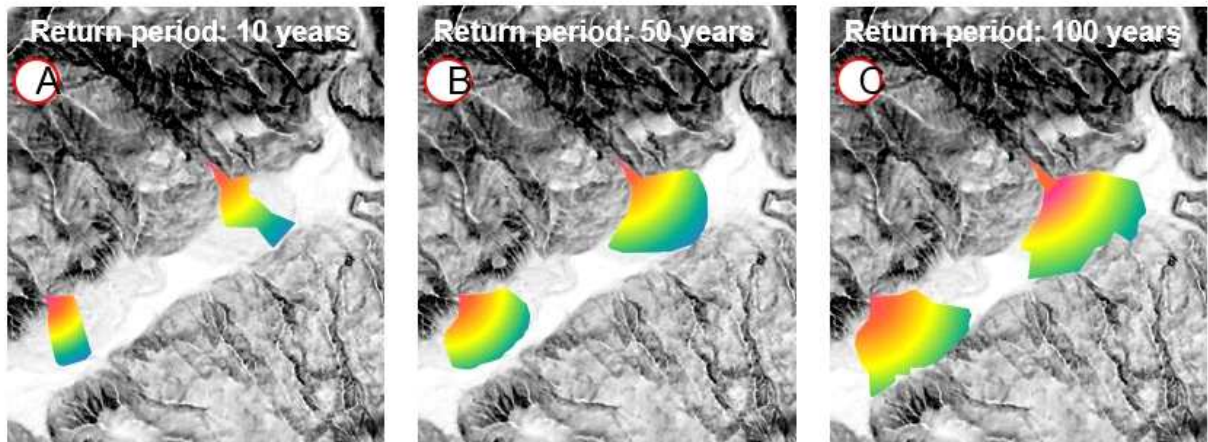
$P_{(S|HS)}$ = 특정 위험 시나리오가 주어지면 특정 위치가 영향을 받을 공간적 확률

$A_{(ER|HS)}$ = 특정 위험 시나리오 (예 : 사람 수, 건물 수, 금전적 가치, 토지면적)가 주어지면 위험에 처한 노출 된 요소의 양을 정량화

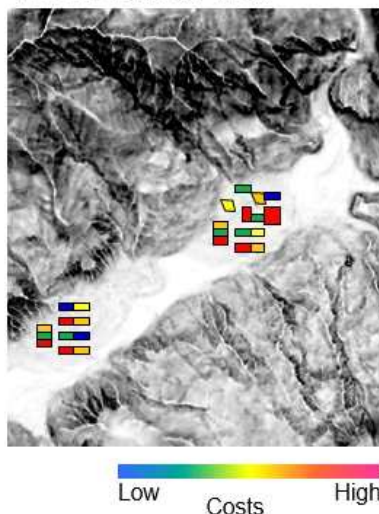
$V_{(ER|HS)}$ = 특정 위험 시나리오에서 위험 강도가 주어진 위험에 처한 요소의 취약성 (0과 1 사이의 값)

이 방법은 그림 3에 개략적으로 표시되어 있습니다. GIS 작업은 각 위험 시나리오에 대한 위험 요소와 위험 발자국 영역 간의 교차점으로 노출을 분석하는 데 사용됩니다. 위험에 처한 각 요소에 대해서도 GIS 오버레이 작업을 통해 강도 수준이 기록됩니다. 이러한 강도 값은 위험 요소 유형과 함께 사용되어 해당 취약성 곡선을 찾은 다음 취약성 값을 찾기 위한 조회 테이블로 사용됩니다. 위험에 처한 요소의 양이 특성화되는 방식 (예 : 건물 수, 사람 수, 경제적 가치)은 위험이 계산되는 방식도 정의합니다. 노출된 양과 취약성의 곱셈은 동일한 위험 시나리오에 대해 위험에 처한 모든 요소에 대해 수행되어야 합니다. 결과에 위험 발자국이 주어진 위험 시나리오 P에 대한 위험 요소와 실제로 교차하는 공간 확률을 곱합니다. ($S|HS$) 위험 모델링의 불확실성을 설명합니다. 결과 값은 손실을 나타내며, 이는 소위 위험 곡선에서 동일한 위험 시나리오에 대한 시간적 발생 확률에 대해 표시됩니다. 이는 사용 가능한 모든 위험 시나리오에 대해 반복됩니다. 위험 곡선을 더 잘 나타내려면 반환 기간이 다른 최소 6개의 이벤트(FEMA, 2004)를 사용하는 것이 좋지만 최소 3개의 개별 시나리오를 사용해야 합니다. 그런 다음 곡선 아래의 면적은 모든 손실을 각각의 연간 확률과 통합하여 계산됩니다. 전체 연구 영역 또는 행정 단위, 인구 조사 트랙, 도로 또는 철도 섹션 등과 같은 다른 공간 단위에 대한 위험 곡선을 만들 수 있습니다. 위험은 위험 평가의 목적에 따라 여러 가지 방법으로 제시 될 수 있습니다 (Birkmann, 2007). 위험은 절대적 또는 상대적 용어로 표현할 수 있습니다. 절대 인구 위험은 개인 위험 (노출 된 단일 사람이 사망 할 연간 확률) 또는 사회적 위험 (연간 확률과 사망 할 수있는 사람 수 간의 관계)으로 표현 될 수 있습니다. 절대 경제 위험은 평균 연간 손실, 최대 예상 손실 또는 일련의 손실 시나리오에서 계산된 기타 지수로 표현될 수 있으며, 각각 빈도와 예상 금전적 손실 간의 관계가 있습니다. (Jonkman, van Gelder and Vrijling, 2002)

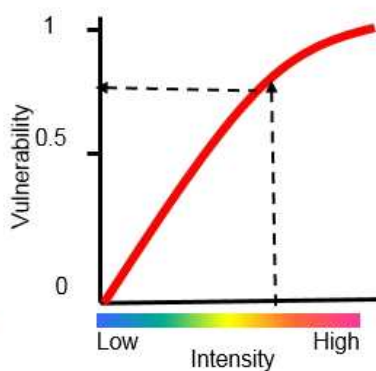
Hazard scenarios



Elements-at-risk



Vulnerability



Risk curve

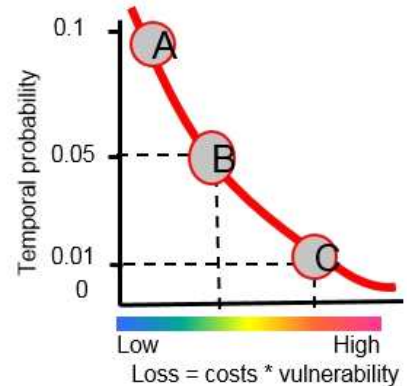


그림 3 : 정량적 위험 평가의 개략적 표현.

위험 평가와 관련된 구성 요소는 불확실성이 높습니다. 알레 토리 불확실성은 위험 평가에 사용된 입력 데이터의 변동과 관련이 있습니다. 예를 들어 산사태 확률, 표면 특성, 건물 특성 등을 모델링하는 데 사용되는 토양 특성의 변화. 이들은 일반적으로 몬테카를로 시뮬레이션과 같은 기술을 사용하여 입력 요소의 변형을 취하고 초과 확률을 계산하는 수천 개의 위험 및 위험 시나리오를 계산하는 확률론적 위험 분석 (Bedford and Cook, 2001)에 통합됩니다. 인식론적 불확실성은 관련된 프로세스에 대한 불완전하거나 불완전한 지식 및 충분한 데이터 부족과 관련된 불확실성을 나타냅니다. 개별 위험 시나리오를 결정하는 데 사용할 수 있는 데이터가 충분하지 않거나 연구 영역 내에서 위험에 처한 요소 유형에 대한 취약성 곡선이 없기 때문에 이는 종종 심각한 문제입니다. 확률론적 위험 평가는 수천 개의 손실 시나리오를 실행하여 가능한 모든 위험 시나리오와 입력 요소의 불확실성을 고려하고 결국 손실 초과 곡선을 계산합니다. 산사태나 홍수와 같은 여러 위험의 경우 데이터 부족으로 인한 큰 인식론적 불확실성으로 인해 많은 위험

시나리오를 개발하는 것은 매우 복잡합니다. 이러한 경우 그림 4에 설명된 방법을 사용하여 불확실성을 고려할 수 있습니다. 이 방법에서는 시간적 확률, 공간적 확률, 위험의 강도, 위험에 처한 요소의 값 및 취약성에 대한 가능한 값의 범위를 보여주는 데이터가 사용됩니다. 위험 시나리오의 시간적 확률의 불확실성 범위는 위험 곡선의 Y축에 있는 가능한 값 범위에 반영됩니다. 취약성 곡선의 불확실성과 결합된 위험 강도 (예 : 홍수의 경우 수위, 산사태의 충격 압력)의 불확실성은 취약성의 불확실성 범위를 더 크게 초래하며, 이는 위험에 처한 요소의 정량화의 불확실성 범위와 곱해집니다 (예 : 건물 비용). 그러면 예상 손실에 대한 값 범위가 제공됩니다. 따라서 위험 곡선의 단일점 대신 각 위험 시나리오는 확률과 손실의 변동으로 정의되는 직사각형을 생성합니다. 사각형의 오른쪽 위 모서리는 가장 비관적인 위험 곡선을 제공하기 위해 연결되고 오른쪽 아래 모서리는 가장 낙관적인 위험 곡선을 제공하도록 연결됩니다. 곡선 아래의 면적을 계산할 때 연간 예상 손실 범위를 표시할 수 있습니다.

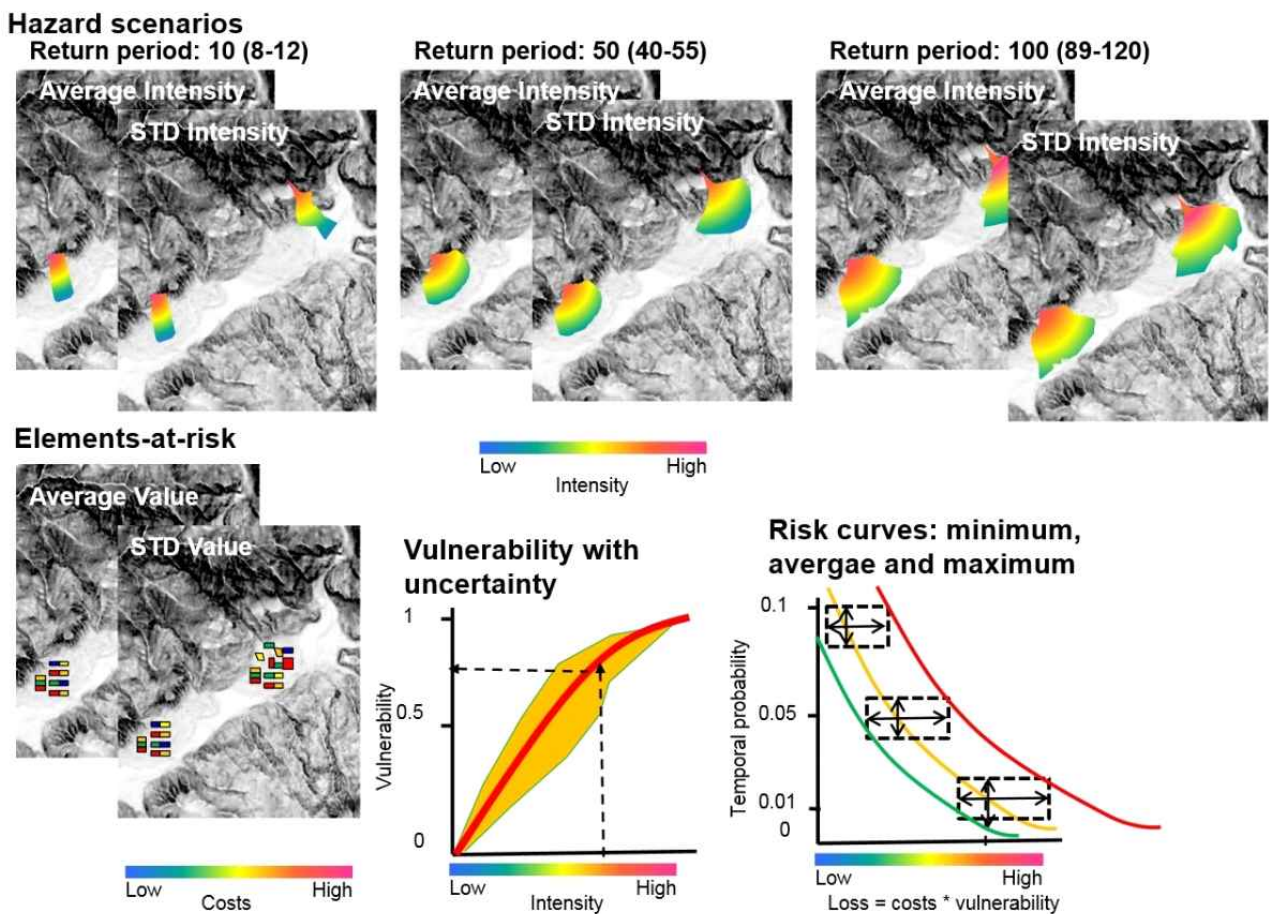


그림 4 : 많은 위험 시나리오를 정의 할 수 없는 경우 정량적 위험 분석에 불확실성을 포함하는 방법.

아래 애니메이션은 각각 다른 발생 확률 (2 년, 10 년 및 50 년)을 가진 세 가지 시나리오로 홍수 위험이있는 건물에 대한 정량적 위험 평가의 예를 제공합니다. 이 간단한 예에는 두 가지 유형의 위험에 처한 요소 (건물)가 3 개 있습니다. 유형 1 건물은 유형 2 건물보다 건설이 약합니다. 과거의 홍수 발생을 기반으로 취약성 곡선을 사용하여 수심과 피해 정도 사이에 관계가 형성되었습니다 (5 장, 섹션 5.3에서 설명). 즉, 동일한 수심으로 유형 1 건물이 유형 2 건물보다 더 많은 피해를 입습니다. 애니메이션에 제시된 취약성 곡선은 가상의 곡선이지만 위험 평가에서 중요한 구성 요소입니다. 세 가지 위험 시나리오는 세 건물에 다른 방식으로 영향을 미칩니다. 애니메이션의 작은 테이블은 세 가지 시나리오와 관련된 세 집에 대해 예상 할 수 있는 수심을 나타냅니다.

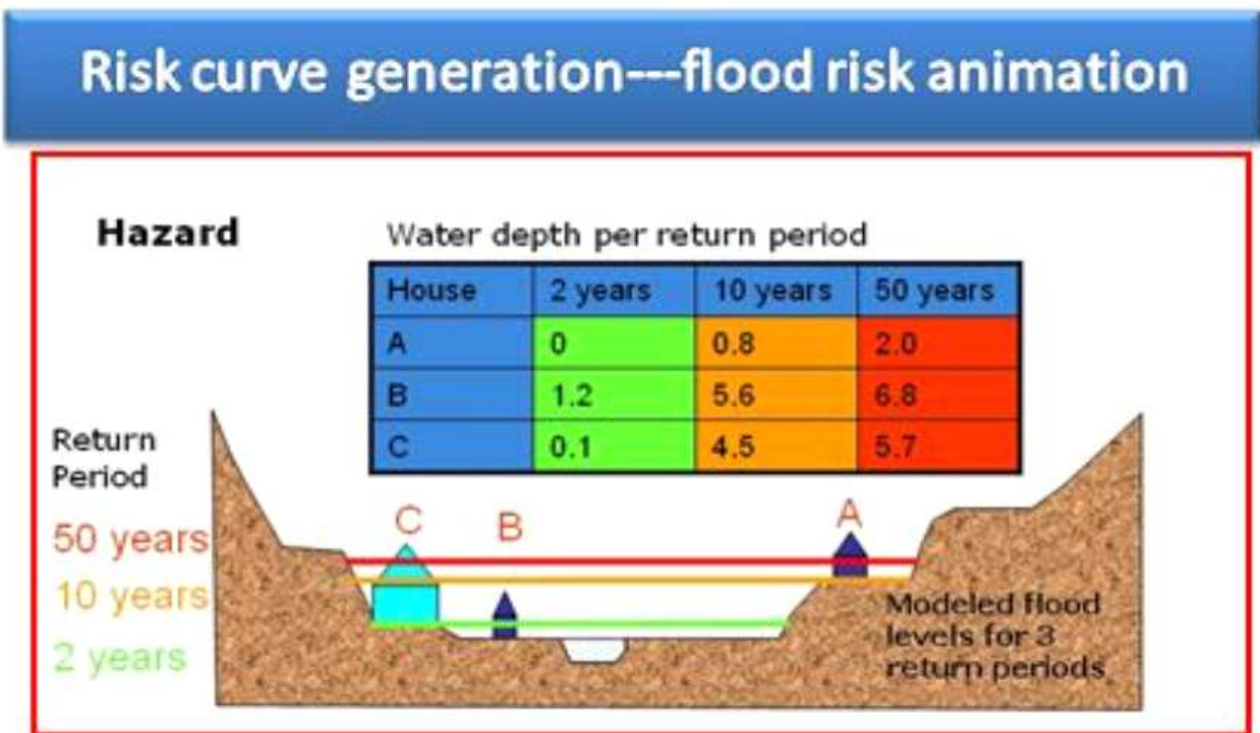


그림 5: 홍수에 대해 표시된 위험 평가의 단계별 애니메이션.

III. Event tree 접근 방식

체인에서 여러 가지 위험이 발생할 수 있습니다 : 하나의 위험이 다음 위험을 유발합니다. 이를 도미노 효과 또는 연쇄 위험이라고도 합니다. 이들은 다중 위험 위험 평가에서 분석하기에 가장 문제가 되는 유형입니다. 이러한 위험 체인을 분석하는 가장 좋은 방법은 소위 이벤트 트리를 사용하는 것입니다. 이벤트 트리는 분석 중인 시스템에 영향을 미치는 매개변수의 모든 조합(및 관련 발생 확률)을 분석하는 데 적용되는 시스템입니다. 분석된 모든 이벤트는 노드를 통해 서로 연결되며(그림 6 참조) 시스템의 모든 가능한 상태는 각 노드에서 고려되며 각 상태(Event tree의 분기)는 정의된 발생 확률값을 특징으로 합니다.

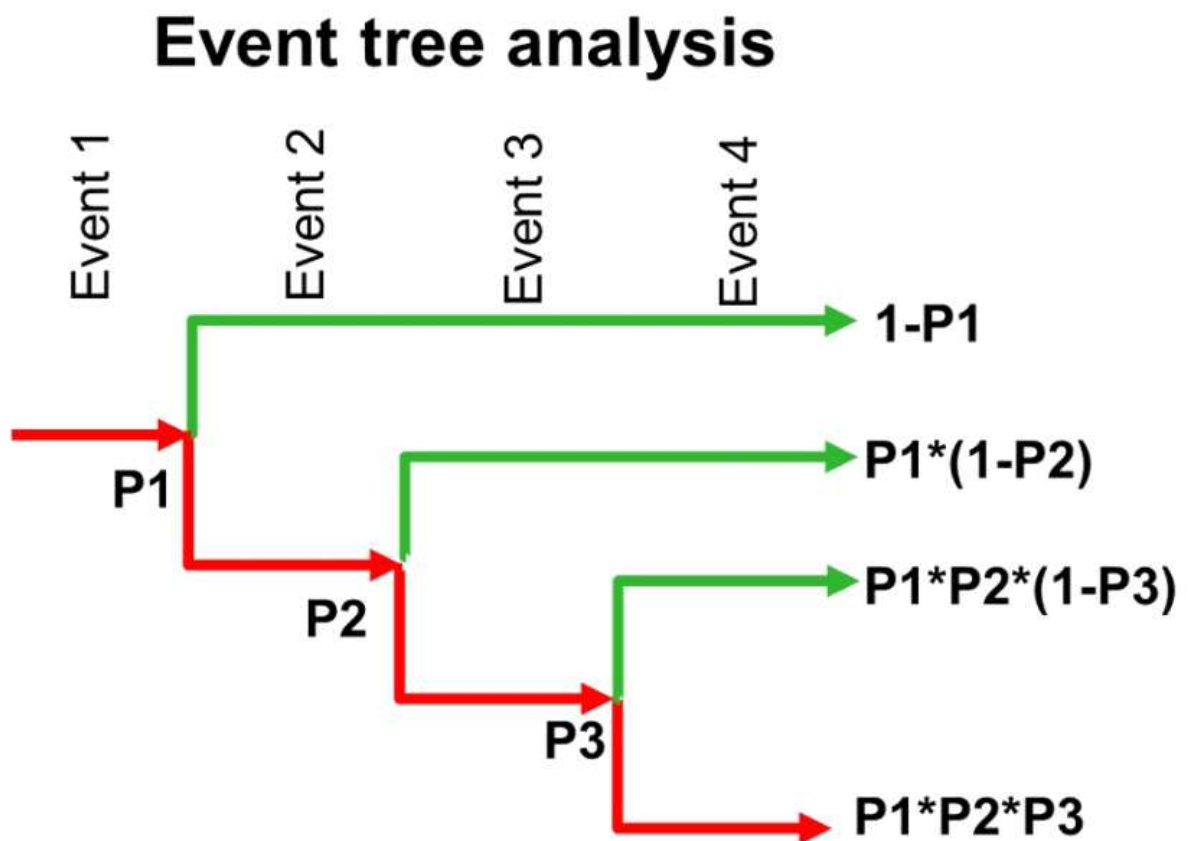


그림 6: Event tree 분석의 도식적 표현.

아래 그림은 호수의 낙석이 마을에 영향을 미칠 수 있는 홍수 파도를 유발할 수 있는 상황에 대한 이벤트 트리의 예를 제공합니다 (Lacasse et al., 2008).

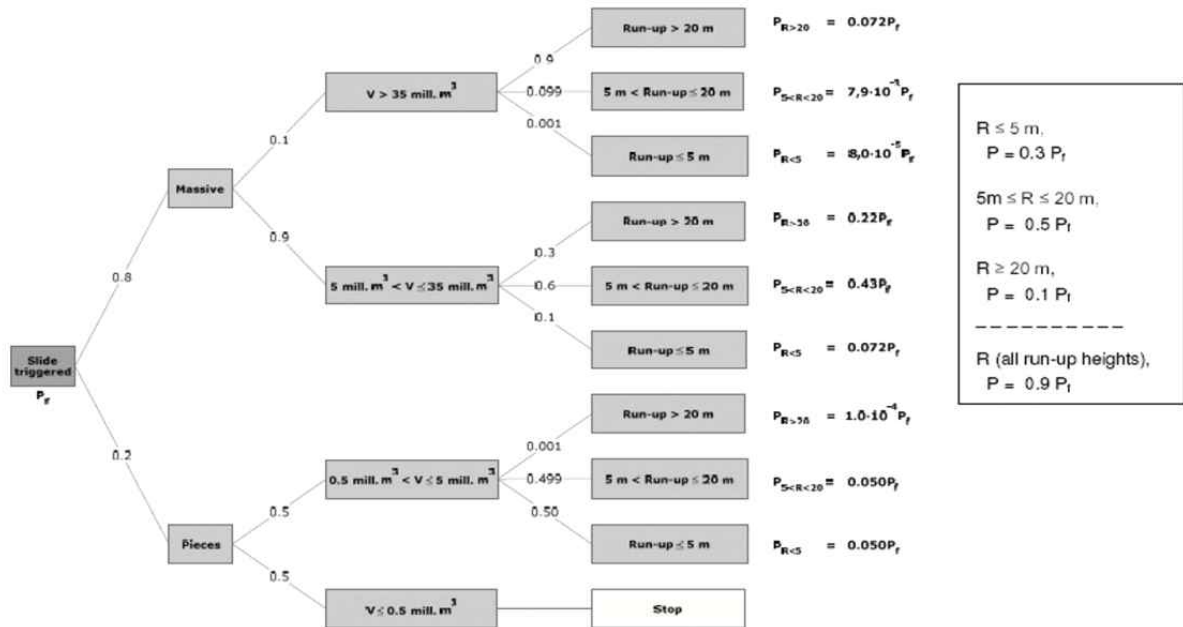


그림 7: Aknes에서 암석 슬라이드가 발생했다고 가정할 때 홍수 전파에 대한 베이저안 이벤트 트리(V= 암석 슬라이드 볼륨, R=런업 높이).

IV. 위험 매트릭스 접근 방식

위험 평가는 종종 복잡하며 많은 측면이 완전히 정량화 할 수 없거나 불확실성이 매우 크기 때문에 완전한 수치 적 접근 방식을 개발할 수 없습니다. 이는 위험 시나리오를 정의하거나, 위험에 처한 요소를 매핑 및 특성화하거나, 취약성 곡선을 사용하여 취약성을 정의하는 어려움과 관련이 있을 수 있습니다. 이러한 문제를 극복하기 위해 위험은 종종 축에 결과 및 주파수 클래스가 있는 다이어그램 인 소위 위험 매트릭스 또는 결과 주파수 매트릭스 (CFM)를 사용하여 평가됩니다 (그림 8 참조). 그들은 제한된 정량적 데이터로 전문 지식을 기반으로 위험을 분류 할 수 있습니다 (Haimes, 2008; Jaboyedoff et al., 2014). 위험 매트릭스는 한 축의 위험 사건 빈도 클래스와 다른 축의 결과 (또는 예상 손실)로 구성됩니다. 고정 값을 사용하는 대신 클래스를 사용하면 더 많은 유연성과 전문가 의견의 통합이 가능합니다. 이러한 방법은 예를 들어 스위스와 같은 자연 재해 위험 평가에 광범위하게 적용되었습니다 (Jaboyedoff et al., 2014). 이 접근법은 또한 위험 감소 조치의 효과와 결과를 시각화하고 위험 평가를 이해 하기위한 프레임 워크를 제공 할 수있게합니다. 이 시스템은 위험 시나리오를 식별하기 위해 구성되고 빈도 (확률) 및 충격 등급 및 해당 한계를 특징으로하는 여러 하위 단계에서 위험 필터링 및 순위를 수행하는 전문가 그룹의 품질에 달려 있습니다 (Haimes, 2008).

Risk matrix approach

		Impact			
		None	Small	Moderate	High
Frequency	Very High		High	Very High	Very High
	High		Moderate	High	Very High
	Moderate		Low	Moderate	High
	Low		Low	Low	Moderate
	None	No Risk			

그림 8: 위험 매트릭스 접근법의 예

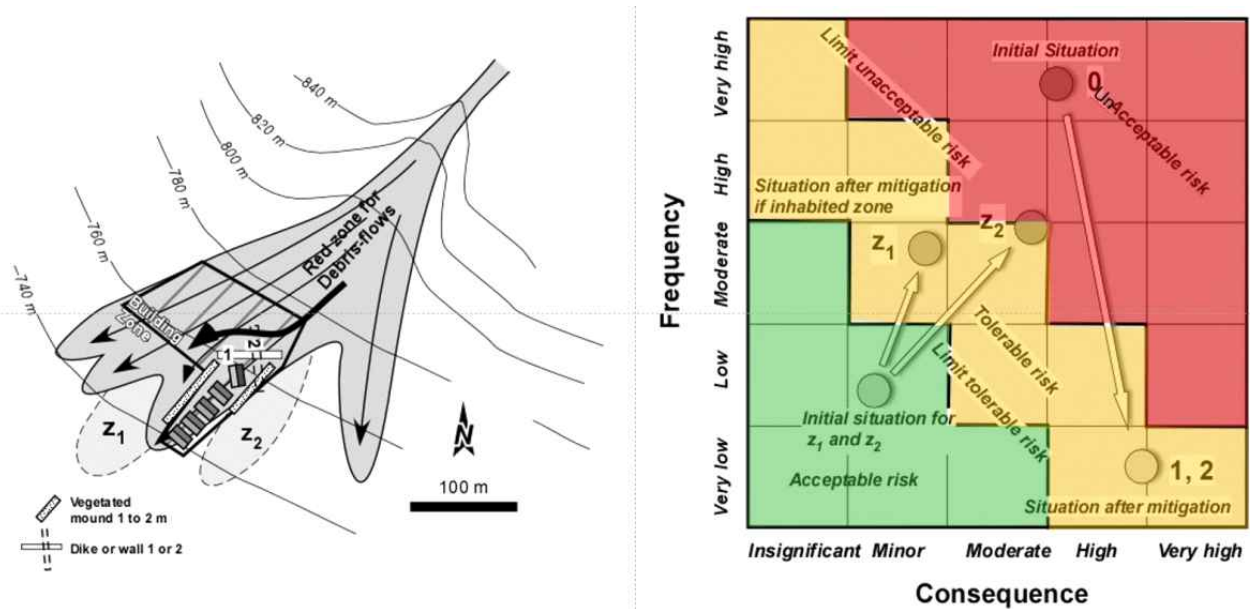


그림 9: 고위험 지역의 잠재적 건물 영역의 예

위험 매트릭스는 위험도를 나타내는 데 사용됩니다. 허용 가능한 위험(노란색)의 범위는 허용 범위와 수용 가능성 사이에 있습니다. 초기 상황 0은 매우 높은 주파수의 파편 흐름과 높은 충격의 조합입니다. 편향 제방 또는 벽을 만든 후에는 주파수가 변경되지 않지만 충격은 상당히 감소합니다. 반면에 Z1과 Z2 영역은 완화 작업의 결과로 더 높은 발생 빈도와 더 높은 결과를 얻을 것입니다 (Jaboyedoff et al., 2014).

V. 지표 기반 접근 방식

위험 매핑을 위한 (반) 정량적 방법이 적절하지 않은 상황이 많이 있습니다. 이는 위험 빈도, 강도 및 물리적 취약성과 같은 구성 요소를 정량화할 수 있는 데이터가 부족하기 때문일 수 있습니다. 예를 들어 위험 평가가 넓은 영역 또는 제한된 데이터가 있는 영역에서 수행되는 경우. 또 다른 이유는 사회적 취약성, 환경 취약성 및 용량과 같은 (반) 정량적 방법에 통합되지 않은 취약성의 여러 가지 구성 요소를 고려하고 싶기 때문입니다. 이러한 경우 지표 기반 접근 방식을 따라 선택한 비교 지표를 통해 정량적 방식으로 위험과 취약성을 측정하여 다른 영역이나 커뮤니티를 비교할 수 있습니다. 재난 위험 평가 프로세스는 위험, 노출, 취약성 및 용량 (그림 10 참조)과 같은 여러 구성 요소로 나뉘며, 소위 기준 트리를 통해 목표, 하위 목표 및 지표로 세분화됩니다. 이러한 각 지표에 대한 데이터는 예를 들어 관리 단위별로 특정 공간 수준에서 수집됩니다. 그런 다음 이러한 지표를 표준화하고(예: 0과 1 사이에서 재분류) 하위 목표 내에서 내부적으로 가중치를 부여한 다음 다양한 하위 목표도 서로 가중치를 부여합니다. 개별 지표는 일반적으로 정량적 데이터(예: 인구 통계)로 구성되지만 결과 취약성, 위험 및 위험 결과는 0과 1 사이에서 조정됩니다. 이러한 상대 데이터를 통해 다양한 행정 단위에 대한 지표를 비교할 수 있습니다. 이러한 방법은 지역 사회 (예 : Bollin and Hidajat, 2006) 도시 (Greiving et al, 2006)에서 국가 (Van Westen et al., 2012)에 이르기까지 다양한 수준에서 수행 할 수 있습니다.

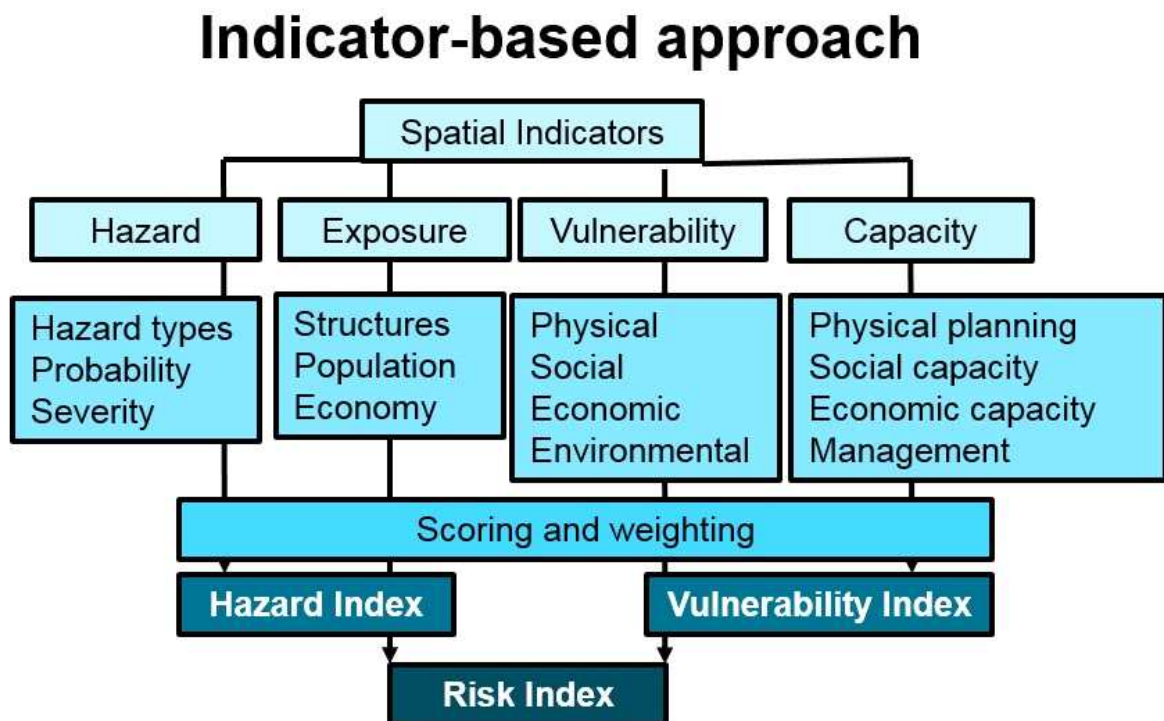


그림 10: 위험 지표 기반 접근 방식.

접근 방식은 대부분 소위 위험 지수의 개발과 공간 다중 기준 평가의 사용을 기반으로 합니다. 글로벌 위험 지표를 개발하려는 첫 번째 시도 중 하나는 핫스팟 프로젝트를 통해 이루어졌습니다 (Dilley et al. 2005). 미주 개발 은행에 대한 보고서에서 Cardona (2005)는 서로 다른 기간에 국가를 벤치마킹하고 국가 간 비교를하기위한 다양한 복잡한 지표 세트를 제안했습니다.

네 가지 구성 요소 또는 복합 지표는 취약성을 나타내는 주요 요소를 반영하고 위험 관리에서 여러 국가의 발전을 보여줍니다 : 재난 적자 지수, 지역 재해 지수, 널리 퍼진 취약성 지수 및 위험 관리 지수. 각 인덱스에는 연관되고 경험적으로 측정되는 여러 변수가 있습니다. DDI는 재난에 대한 국가의 경제적 취약성을 나타내는 지표로 간주 될 수 있습니다.

재난 위험 지수 (UN-ISDR, 2005b)는 가뭄, 홍수, 사이클론 및 지진과 관련된 대규모 및 중규모 재해에서 국가 당 사망자 수와 비율을 결합합니다. DRI에서 국가는 물리적 노출 정도, 상대적 취약성 정도 및 위험 정도에 따라 각 위험 유형에 대해 색인화됩니다. 또한 지역 규모에서 위험 지수가 사용되며, 종종 공간 다중 기준 평가 (SMCE)와 함께 사용됩니다. Castellanos와 Van Westen (2007)은 위험 지수와 취약성 지수를 결합하여 생성 된 쿠바 국가의 산사태 위험 지수 생성을위한 SMCE 사용의 예를 제시합니다. 위험 지수는 트리거 요인 (지진 및 강우) 및 환경 요인과 관련된 지표지도를 사용하여 만들어집니다. 취약성 지수는 주거 상태 및 교통 (물리적 취약성 지표), 인구 (사회적 취약성 지표), 생산 (경제적 취약성 지표) 및 보호 지역 (환경 취약성 지표)의 5 가지 주요 지표를 사용하여 작성되었습니다. 지표는 대부분 지방 자치 단체 수준에있는 정치 행정 구역과 관련된 다각형을 기반으로했습니다. 각 지표는 위험 및 취약성에 대한 기여도에 따라 처리, 분석 및 표준화되었습니다. 지표는 직접, 쌍별 비교 및 순위 순서 가중치 방법을 사용하여 가중치를 부여하고 가중치를 결합하여 최종 산사태 위험 지수 맵을 얻었습니다. 결과는 지방 및 지방 자치 단체 수준에서 지리 지역 및 행정 단위별로 분석되었습니다. 지역 수준의 또 다른 예는 Villagr n de Leon (2006)에 의해 제시되며, 이는 취약성의 3 가지 차원, 규모 또는 지리적 수준 (인간에서 국가 수준까지), 사회의 다양한 부문 및 취약성의 6 가지 구성 요소를 통합합니다. 이 방법은 행렬을 사용하여 정성적 클래스(높음, 중간 및 낮음)로 그룹화된 취약성 지수를 계산합니다.

표 2: 4 가지 위험 평가 방법의 장점과 단점

방법	장점	단점
정량적 위험 평가 (QRA)	위험 감소 조치의 비용 편익 분석에 사용할 수 있는 정량적 위험 정보를 제공합니다.	매우 많은 데이터가 필요합니다. 시간적 확률, 위험 강도 및 취약성을 정량화하기 어렵습니다.
이벤트 트리 분석 (ETA)	일련의 이벤트 모델링을 허용하고 도미노 효과에 적합	서로 다른 노드에 대한 확률은 평가하기 어렵고 데이터 부족으로 인해 공간 구현이 매우 어렵습니다.
위험 매트릭스 접근 방식 (RMA)	정확한 값 대신 클래스를 사용하여 위험을 표현할 수 있으며 위험 감소 조치를 논의하기 위한 좋은 방법임	이 방법은 위험 감소 조치의 비용 편익 분석에 사용할 수 있는 정량적 값을 제공하지 않습니다. 영향과 빈도를 평가하는 것은 어려우며 한 영역에는 영향과 빈도의 조합이 다를 수 있습니다.
지표 기반 접근 방식 (IBA)	사회적, 경제적, 환경적 취약성 및 역량을 포함한 전체론적 위험 평가를 수행할 수 있는 유일한 방법.	결과 위험은 상대적이며 실제 예상 손실에 대한 정보를 제공하지 않습니다.

VII. 참조

ACOE (ARMY CORPS OF ENGINEERS), 2004, Water Resources Assessment of Dominica, Antigua, Barbuda, St. Kitts and Nevis: Mobile District and Topographic Engineering Center Report, U.S. Army Corps of Engineers, Mobile, AL, 94 p.

Alexander D (2001). Encyclopedia of environmental science, Chapter Natural hazards. Kluwer Academic Publishers

Bedford T, Cooke RM (2001). Probabilistic Risk Analysis: Foundations and methods; Cambridge University Press

Birkmann J (ed) (2006). Measuring Vulnerability to Natural Hazards: Towards Disaster Resilient Societies. UNU Press, Tokyo, New York.

Birkmann J (2007). Risk and vulnerability indicators at different scales: Applicability, usefulness and policy implications. Environmental Hazards 7 (2007) 20-31

Bollin C, Hidajat R (2006). Community-based disaster risk index: pilot implementation in Indonesia. In: Birkmann, J. (Ed.), Measuring Vulnerability to Natural Hazards—Towards Disaster Resilient Societies. UNU-Press, Tokyo, New York, Paris

Breheeny, P., 2007, Hydrogeologic/Hydrological Investigation of Landslide Dam and Impounded Lake in the Matthieu River Valley, Commonwealth of Dominica, West Indies: Unpublished M.S. Dissertation, University of Leeds, United Kingdom.

Cannon S and DeGraff J (2009). The increasing wildfire and post-fire debris-flow threat in Western USA, and implications for consequences of climate change. In K Sassa and P Canuti (Eds.) Landslides - disaster risk reduction, Springer Verlag, 177-190

CAPRA (2013). Probabilistic Risk Assessment Program URL
<http://www.ecapra.org/>

Carpignano A Golia E Di Mauro C Bouchon S and Nordvik J-P (2009). A methodological approach for the definition of multi-risk maps at regional level: first application. *Journal of Risk Research*, 12:513-534

Coppock, JT (1995) GIS and natural hazards: an overview from a GIS perspective. In: Carrara A and Guzzetti F (eds) *Geographical Information Systems in Assessing Natural Hazards*. Volume 5 of the series *Advances in Natural and Technological Hazards Research* pp 21-34

Corominas J, van Westen CJ, Frattini P, Cascini L, Malet J-P, Fotopoulou S, Catani F, van den Eeckhaut M, Mavrouli O, Agliardi F, Pitilakis K, Winter MG, Pastor M, Ferlisi S, Tofani V, Hervas J, Smith JT (2014) Recommendations for the quantitative analysis of landslide risk : open access. In: *Bulletin of engineering geology and the environment IAEG*, 73 (2014)2 pp. 209-263

Cova TJ (1999) GIS in emergency management. In *Geographical Information Systems: Principles, Techniques, Applications*, 2nd Edition: *Management Issues and Applications*, Edited by: Longley (Eds) P. A.

DeGraff, J.V., 1987a. Landslide hazard on Dominica, West Indies-Final Report. Washington, D.C., Organization of American States.

DeGraff, J.V. 1987b. Geological Reconnaissance of the 1986 landslide activity at Good Hope, D'Leau Gommier, and Belvue Slopes, Commonwealth of Dominica, West Indies, Report submitted to: Commonwealth of Dominica and the OAS

DeGraff, J.V., Bryce, R., Jibson, R.W., Mora, S., and Rogers, C.T., 1989, Landslides: Their extent and significance in the Caribbean, *Proceedings of the 28th International Geological Congress: Symposium on Landslides*

DeGraff, J.V. 1990a. Post-1987 Landslides on Dominica, West Indies: An Assessment of Landslide Hazard Map Reliability and Initial Evaluation of Vegetation Effect on Slope Stability, Submitted to The Commonwealth of Dominica and the OAS

DeGraff, J.V. 1990b, Potential Landslide-Dam Hazard Below Freshwater Lake, Commonwealth of Dominica, West Indies, Report submitted to Commonwealth of Dominica and the OAS

DeGraff, J. V., 1991: Determining the significance of landslide activity: Examples from the Eastern Caribbean. *Caribb. Geogr.*, 3, 31-42.

DeGraff, J. V., 1995, Natural Hazards Vulnerability of the Dominica Hydroelectric Expansion Project: Caribbean Disaster Mitigation Project Final Report, Organization of American States, Washington, DC, 26 p.

DeGraff, J. V., 1997, Technical Assessment of the Landslide-Dam Emergency, Commonwealth of Dominica, W.I.: U.S. Agency for International Development Report, Office of the U.S. Foreign Disaster Assistance, Washington, DC, 24 p.

DeGraff, J.V., James, A. and Breheney, P., 2010. The Formation and Persistence of the Matthieu Landslide-Dam Lake, Dominica, W.I.. *Environmental & Engineering Geoscience*, Vol. XVI, No. 2, May 2010, pp. 73-89

DeGraff, J.V., Romesburg, H.C., Ahmad, R, and McCalpin, J. 2012. Producing landslide-susceptibility maps for regional planning in data-scarce regions. *Nat Hazards* (2012) 64:729-749

DeGraff, J. V. and Rogers, C. T., 2003, An unusual landslide dam event in Dominica, West Indies: *Landslide News*, No. 14/15, pp. 8-11.

DeGraff JV (2012) Solving the dilemma of transforming landslide hazard maps into effective policy and regulations, *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 12, 53-60

Delmonaco G Margottini C and Spizzichino D (2006a). ARMONIA methodology for multi-risk assessment and the harmonisation of different natural risk maps. Deliverable 3.1.1, ARMONIA.

Delmonaco G Margottini C and Spizzichino D (2006b). Report on new methodology for multi-risk assessment and the harmonisation of different natural risk maps. Deliverable 3.1, ARMONIA.

de Pippo T Donadio C Pennetta M Petrosino C Terlizzi F and Valente A (2008). Coastal hazard assessment and mapping in Northern Campania, Italy. *Geomorphology*, 97:451-466.

EC (2011). Risk assessment and mapping guidelines for disaster management. European Commission Commission staff working paper, European Union.

FEMA (2004). HAZUS-MH. FEMA's Methodology for Estimating Potential Losses from Disasters. US Federal Emergency Management Agency. <http://www.fema.gov/plan/prevent/hazus/index.shtm>

Garcia-Aristizabal A, Marzocchi W (2013). Software for multi-hazard assessment. Deliverable 3.5 of the EU Matrix project: New methodologies for multi-hazard and multi-risk assessment methods for Europe. URL: <http://matrix.gpi.kit.edu/downloads/MATRIX-D3.05.pdf>.

Granger K, Jones TG, Leiba M, Scott G, (1999). Community risk in Cairns: a multi-hazards risk assessment. Technical report, Australian Geological Survey Organisation (AGSO) URL http://www.ga.gov.au/corporate_data/33548/33548.pdf.

Greiving S, Fleischhauer M, Lückenkötter, J. (2006) A Methodology for an

integrated risk assessment of spatially relevant hazards, Journal of Environmental Planning and Management, 49:1, 1-19

Guha-Sapir D, Below R, Hoyois Ph (2016) - EM-DAT: The CRED/OFDA International Disaster Database - www.emdat.be - Université Catholique de Louvain - Brussels - Belgium.

Haines YY (2009) Risk Modeling, Assessment, and Management. 3rd Edition. John Wiley & Sons, 1009 p

IRDR (2014) Integrated Research on Disaster Risk. Peril Classification and Hazard Glossary (IRDR DATA Publication No. 1). Beijing: Integrated Research on Disaster Risk .
http://www.irdrinternational.org/wp-content/uploads/2014/04/IRDR_DATA-Project-Report-No.-1.pdf

ISO 31000 Risk Management - Principles and guidelines. URL: <http://www.iso.org/iso/home/standards/iso31000.htm>

Jaboyedoff M, Aye ZC, Derron M-H, Nicolet P, Olyazadeh R. (2014) Using the consequence - frequency matrix to reduce the risk: examples and teaching. International Conference Analysis and Management of Changing Risks for Natural Hazards 18-19 November 2014, Padua, Italy

Jonkman, SN, Van Gelder P, and Vrijling H (2002). An overview of quantitative risk measures and their application for calculation of flood risk. $\lambda_{\mu 13}$ - ESREL 2002 European Conference

Kappes MS, Keiler M, Von Elverfeldt K, Glade T, (2012). Challenges of analyzing multi-hazard Risk: A Review. Natural Hazards 64(2), 1925-1958

Lacasse S Eidsvik U Nadim F Hoeg K and Blikra LH (2008). Event tree analysis

of Aknes rock slide hazard. IV Geohazards Quebec, 4th Canadian Conf. on Geohazards, 551-557.

Lee K and Rosowsky D (2006). Fragility analysis of woodframe buildings considering combined snow and earthquake loading. *Structural Safety*, 28: 289-303

Luino F (2005). Sequence of instability processes triggered by heavy rainfall in the northern Italy. *Geomorphology*, 66:13-39.

Marzocchi W Mastellone M and Di Ruocco A (2009). Principles of multi-risk assessment: interactions amongst natural and man-induced risks. European Commission. URL :
<http://cordis.europa.eu/documents/documentlibrary/106097581EN6.pdf>

OAS (1991) Geographic Information Systems In Natural Hazard Management. Organization of American States. Primer on Natural Hazard Management in Integrated Regional Development Planning
<https://www.oas.org/dsd/publications/Unit/oea66e/ch05.htm>

Peila D, Guardini C (2008) Use of the event tree to assess the risk reduction obtained from rockfall protection devices. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 8, 1441-1450, 2008

Perles Roselló M and Cantarero Prados F (2010). Problems and challenges in analyzing multiple territorial risks. methodological proposals for multi-hazard mapping. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Espanoles*, 52:399-404

Prinos P (2008). Review of Flood Hazard Mapping. European Community Sixth Framework Programme for European Research and Technological Development. FLOODsite.

Roberts NJ, Nadim F, Kalsnes B (2009). Quantification of vulnerability to natural

hazards. *Georisk: Assessment and Management of Risk for Engineered Systems and Geohazards*, 3 (3), 2009, 164-173

Roobol, M. J. and Smith, A. L., 2004, Geologic Map of Dominica, West Indies: Geology Department, University of Puerto Rico at Mayaguez. Electronic document, available at <http://www.caribbeanvolcanoes.com/dominica/content/dominicamap.pdf>

Schmidt J, Matcham I, Reese S, King A, Bell R, Henderson R, Smart G, Cousins J, Smith W, Heron D, (2011). Quantitative multi-risk analysis for natural hazards: a framework for multi-risk modelling. *Natural Hazards* 58(3), 1169-1192

Schneider PJ, Schauer BA, (2006). HAZUS, its development and its future. *Natural Hazards Review* 7(2), 40-44.

Shi P Shuai J Chen W and Lu L (2010). Study on the risk assessment and risk transfer mode of large scale disasters. In *The 3rd International Disaster and Risk Conference IDRC*, Davos, Switzerland

Talbot, J. (2016) What's right with risk matrices? <http://www.jakeman.com.au/media/whats-right-with-risk-matrices>

Tarvainen T Jarva J and Greiving S (2006). Spatial pattern of hazards and hazard interactions in Europe. In Schmidt-Thomé, P. (ed), *Natural and Technological Hazards and Risks Affecting the Spatial Development of European Regions*, 42: 83-91

UN-ISDR (2009). Terminology on Disaster risk Reduction. URL: <https://www.unisdr.org/we/inform/terminology>

Van Westen CJ, Castellanos Abella EA and Sekhar LK (2008) Spatial data for landslide susceptibility, hazards and vulnerability assessment : an overview. In: *Engineering geology*, 102 (2008)3-4 pp. 112-131.

Van Westen C J Quan Luna B Vargas Franco R D (2010) Development of training materials on the use of geo - information for multi - hazard risk assessment in a mountainous environment. In: Mountain risks : bringing science to society : proceedings of the Mountain Risks International Conference, Firenze, Italy, 24-26 November 2010 / ed. by J.-P. Malet, T. Glade and N. Casagli. - Strasbourg : CERG, 2010. ISBN 2-95183317-1-5. pp. 469-475.

Van Westen CJ, Straatsma MW, Turdukulov UD, Feringa WF, Sijmons K, Bakhtadze K, Janelidze T, Kheladze N. (2012) Atlas of natural hazards and risks of Georgia : e-book. Tbilisi, Caucasus Environmental NGO Network (CENN), University of Twente Faculty of Geo-Information and Earth Observation (ITC), 2012. ISBN: 978-9941-0-4310-9.

Van Westen CJ (2013). Remote sensing and GIS for natural hazards assessment and disaster risk management. In: Shroder, J. (Editor in Chief), Bishop, M.P. (Ed.), Treatise on Geomorphology. Academic Press, San Diego, CA, vol. 3, Remote Sensing and GIScience in Geomorphology, pp. 259-298.