

## TOPSIS을 적용한 가뭄취약성 평가 방법에 관한 연구\*

이창우<sup>1</sup> · 신형진<sup>2\*</sup> · 권민성<sup>3</sup> · 이규민<sup>4</sup> · 남상혁<sup>1</sup> · 강문성<sup>2</sup>

### An Approach to Drought Vulnerability Assessment using TOPSIS Method\*

Chang-Woo LEE<sup>1</sup> · Hyung-Jin SHIN<sup>2\*</sup> · Min-Sung KWON<sup>3</sup>  
Gyu-Min LEE<sup>4</sup> · Sang-Hyeok NAM<sup>1</sup> · Mun-Sung KANG<sup>2</sup>

#### 요 약

본 연구에서는 가뭄과 연관되는 다양한 관련 요인을 포함한 가뭄취약성 평가방안을 수립하고 이를 적용하는 것을 목표로 하였다. 평가기법은 평가인자와 가중치 선정, 평가자료 데이터베이스 구축, 평가자료와 가중치를 조합한 평가의 세 단계로 구성되었으며 평가인자 및 가중치 선정에는 Delphi 조사기법을 적용하고 평가기법으로는 최근 널리 적용되고 있는 MCDM(Multi-Criteria Decision Making) 방법인 TOPSIS(Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution) 기법을 활용하였다. 수립한 가뭄취약성 평가방안을 2016년 3월부터 2019년 9월까지 우리나라 시군구 행정구역을 대상으로 적용하여 결과를 제시하였다. 평가 결과, 충청북도, 경상남도, 전라남도에 가뭄 취약지역이 다수 도출 되어 이들 지역에 대한 가뭄 대응 방안 수립이 필요한 것으로 분석되었다.

주요어 : 가뭄취약성, TOPSIS, MCDM, Delphi

#### ABSTRACT

This study aims to establish and apply a drought vulnerability assessment plan including various factors related to drought. The evaluation technique consisted of three stages: evaluation factor and weight selection, evaluation data database construction, evaluation data and weight combination, and Delphi investigation method was applied to

2019년 11월 11일 접수 Received on November 11, 2019 / 2019년 12월 19일 수정 Revised on December 19, 2019 / 2019년 12월 19일 심사완료 Accepted on December 19, 2019

\* 본 연구는 행정안전부 극한재난대응기반기술개발사업(2019-MOIS31-011) 및 (2019-MOIS31-010)에 의해 수행되었으며 이에 감사드립니다.

1 이엔지소프트 ENGSOFT

2 한국농어촌공사 농어촌연구원 Rural Research Institute, Korea Rural Community Corporation

3 환경부 영산강홍수통제소 Yeongsan River Flood Control Office, Ministry of Environment

4 성균관대학교 건설환경연구소 Construction and Environmental Research Center, Sungkyunkwan University

\* Corresponding Author E-mail : shjin@ekr.or.kr

evaluation factor and weight selection. As the evaluation method, the TOPSIS method, which is a widely used MCDM method, was used. The results of the drought vulnerability assessment were applied to the administrative districts of Sigun-gu, Korea from March 2016 to September 2019. As a result of the evaluation, drought vulnerable areas were identified in Chungcheongbuk-do, Gyeongsangnam-do, and Jeollanam-do, and it was analyzed that it is necessary to establish drought response plans for these areas.

**KEYWORDS** : Drought Vulnerability, TOPSIS, MCDM, Delphi

## 서론

가뭄은 강수량 부족에 따른 물수지 불균형 현상으로 정상적이면서 주기적으로 재발하는 기후의 한 특성(Maliva and Missimer, 2012)으로 우리나라는 연 강수량의 60% 이상이 3개월 간의 우기에 집중되어 있어 가뭄에 매우 취약한 기상학적 환경으로 가뭄에 의한 피해가 반복되고 있으며, 가뭄에 대한 정의에 따라 달라질 수 있으나 중앙재난안전대책본부, 농식품부, 환경부, 소방청 등의 보고서와 R&D 자료에서 농업 피해나 비상급수 피해가 기록된 년도를 기준으로 발생 빈도를 산정해 보면, 1980년 이후 2017년까지 총 14회가 발생되었으며, 2012년 이후에는 매년 발생되고 있어 최근 발생빈도가 높아지는 경향이 나타나며 특히 최근 2년(2014-2015)간 연속된 가뭄으로 인해 광범위한 지역에서 농업 피해와 용수공급피해가 발생하였다. 또한 가뭄은 기후변화로 인해 발생 빈도 및 심각성이 더 증가할 것으로 예상되고 있으며(WMO, 2009; Sheffield *et al.*, 2012), 최근 40개국 4만5천명을 대상으로 한 조사에 따르면 기후변화로 인해 가장 걱정되는 영향이 무엇인지에 대한 질문에 44%가 가뭄과 물부족을 가장 우려하고 있는 재해로 조사되었다(Stokes *et al.*, 2015). 위의 조사에 따라 가뭄과 물부족에 대한 사회적 우려가 매우 크다는 것을 알 수 있으며, 기후변화에 직면해 있는 지금 가뭄을 극복하기 위한 근본적 대책 마련에 대한 관심이 증가하고 있다.

Wilhite and Glantz(1985)는 가뭄을 기상학적 가뭄, 농업적 가뭄, 수문학적 가뭄, 사회·경제적 가뭄으로 구분하였고, 이는 가뭄을 구분하는 일반적인 기준으로 통용되고 있지만 가뭄에 대한 정의는 연구자마다 다양하게 제시되고 있으며, 목적에 대응하는 가뭄을 평가하기 위해 수많은 가뭄지수가 개발되고 사용되고 있다. 그러나 가뭄은 대기 및 지표 사이의 여러 물 순환 요소들이 복합적으로 작용하여 나타날 뿐만 아니라, 이의 영향은 장기적이며 그 파급효과가 사회·경제·환경 등에서 복잡한 양상으로 나타나기 때문에 관리하고자 하는 목적에 맞추어 제공되는 현재의 가뭄평가 방법은 단편적 대응에 적합하여 수자원의 통합적인 관리를 위한 자료로서의 효용이 부족하다.

따라서 가뭄 상황에 따른 대응방안 위주로 실행되던 기존의 가뭄 대책을 지역별 가뭄 취약성을 평가하고 이에 따른 지역별 가뭄 대책을 선제적으로 실행하는 대응 방안을 고안하는 연구가 활발하게 진행되고 있다. 가뭄 취약성 평가에 가뭄 발생가능성과 피해가능성 등을 고려한 대표적인 연구로는 Yang *et al.*(2012)가 남부 대만의 수자원 시스템에서 기후변화가 가뭄 위험성에 미치는 영향을 평가한 결과가 있다. 이 연구에서는 미래(2020-2039)에 남부 대만지역에 심각한 가뭄 발생 가능성을 언급하고 있으며, 공공 및 농업용수 수급에 영향을 줄 것으로 예측하였다. 가뭄지수를 이용하여 장강 삼각수지역에 대한 가뭄취약성 평가를 수행한 Fan *et al.*(2017)의 연구에서는 Shahid and Behrawan(2008)이 분석한 SPI와 RMI를 이용한 기상가뭄

종합지수(Meteorological Drought Composite Index; MDCI)를 구성하고 가뭄위험성을 산정한 후, 가뭄의 영향이 가장 큰 농업분야를 주요하게 반영한 7가지 요소를 취약요인으로 선정하여 취약성을 평가한 바 있다. Babaei *et al.* (2013)는 다기준의사결정 기법을 반영하여 가뭄취약성을 평가하였으며 이 연구에서는 가중치 결정에 AHP, 다기준 평가에 TOPSIS기법을 이용하였다. 여기서 TOPSIS방법은 평가에 반영하는 요소가 다양한 문제를 다루는 연구(Hwang & Yoon, 1981)에 최근 널리 사용되는 기법으로 본 연구에서도 이를 활용하고자 하며 평가 요소의 선정 및 가중치의 선정에는 견고한 합의를 도출할 수 있는 조사 기법인 Delphi를 적용하여 가뭄 취약성을 평가하는 방법을 수립하고자 한다. 특히 가중치의 경우, 평가결과에 영향을 크게 나타낼 수 있는 요인이므로 가중치의 결정 방법을 순위법, 비율법, 퍼지법 등으로 조사하여 가중치에 따른 평가결과의 영향으로 검토하고 최종적으로 평가결과를 GIS 기술로 구현하고자 한다.

## 재료 및 방법

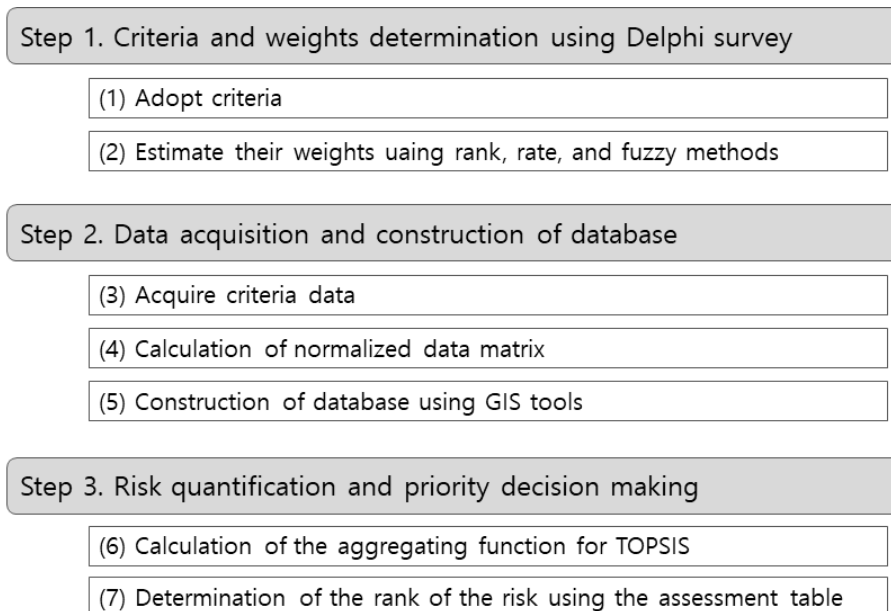


FIGURE 1. Study procedure

## 1. 가뭄취약성 평가 절차 구성

본 연구에서는 취약성 평가 절차를 평가인자의 선정, 가중치 선정, 평가자료 구성, 우선순위 도출의 과정으로 그림 1과 같이 구성하였다.

첫 번째 단계에서는 인자와 가중치를 선정한다. 위에서 언급한 바와 같이 평가인자와 가중치 선정은 매우 중요하므로 반복적인 절차를 통하여 견고한 결과를 도출하는 데 유리한 수정 델파이 설문조사 기법을 이용하며 설문조사 대상은 가뭄과 수자원 관련 전문가 및 가뭄에 민감한 분야인 농업 전문가를 포함한다.

두 번째 단계에서 평가인자의 자료를 수집, 분석하여 데이터베이스 구축한다. 평가 자료는 정량적, 정성적인 다양한 형태와 규모로 구성되어 있어, 이 데이터를 평가에 적용하기 위해서는 자료의 형식을 파악하고 이들을 평가에 적용할 방안을 고안해야 한다.

마지막으로 세 번째 단계에서 취약지역을 도출하고 평가지도를 작성한다. 본 연구에서는 평가기법으로 최근 다기준 의사결정에 있어 널리 사용되는 TOPSIS 방법을 적용하고 GIS 기법을 이용하여 지도를 작성한다.

## 2. 가뭄취약성 평가인자와 가중치 설정을 위한

### Delphi 조사

취약성 평가는 평가인자를 결정하고 평가인자의 중요성을 가중치로서 반영하여 내재되는 취약 정도를 산정하고 이를 기반으로 상대적인 우선순위를 도출하는 과정으로 진행되므로 평가인자와 가중치의 선정은 평가결과에 가장 중요한 단계이다. 그러나 다기준 접근법을 적용한 평가에서 적절한 평가인자를 결정하고 각 인자의 중요도를 판단하는 과정에서 결정에 임하는 당사자의 전문성, 객관성과 가중치의 수집방법 등에서 불확실성이 발생할 수 있다(Kaufmann and Gupta, 1991; Feng and Wang, 2000). 따라서 평가인자와 가중치의 선정을 위해서 전문가 집단을 활용한 Delphi 조사기법을 활용하고자 한다.

일반적인 Delphi 설문조사는 과정은 3~4회에 걸쳐 조사를 수행하는데 첫 번째 단계에서는 연구문제에 대하여 설문참여자들에게 개방형 질문에 응답하도록 하여 의견을 수집하고, 두 번째 단계에서는 앞에서 수집한 개방형 질문을 분석하여 구조화된 폐쇄형 질문으로 재구성하고 각 항목내용에 대한 참여자의 의견을 척도를 이용하여 동의의 정도를 판단하도록 하고 이를 수집한 후 다음 단계에서는 회수한 의견의 집중도, 변산도 등을 분석하여 참여자들에게 재배포하여 본인의 의견의 재고하고 수정할 수 있는 기회를 제공하며, 이 절차를 참여자들의 의견이 어느 정도 합의에 이를 때 까지 몇 차례 반복한다. Delphi 기법에서는 설문참여 패널들에게 익명을 보장하는 개별적인 조사를 실시한다. 이러한 기본적인 특징은 조사에 참여한 구성원들 간의 영향력을 배제하여 객관적인 결과를 기대할 수 있게 한다(Somerville, 2007). 델파이 설문 조사를 통한 연구의 성공은 구성된 패널의 전문성을 기반으로 한 의견 조합에 의존하며, 여기에는 두 가지 핵심적인 측면이 있는데 참여 패널의 전문성과 참여자의 수이다. 참여 패널의 수를 몇 명으로 구성해야 하는가에 대한 문제에 대해서는 몇 가지 논쟁이 있는데, Okoli and

Pawlowski(2004)는 Jolson(1978)의 연구를 기반으로 전문가를 대상으로 한 델파이 조사에서는 10~18명 정도의 패널의 참여가 적절한 것으로 제안한 바 있다.

## 3. 가중치 산정 기법

또한 가중치는 인자간의 상대적 중요성을 명시적으로 표현하며 인자와의 결합을 통하여 평가결과에 크게 영향을 줄 수 있다. 따라서 다기준 의사결정 연구에 있어서 가중치의 결정은 주요한 관심사중의 하나이며 평가과정의 한 부분으로 고려되어야 한다는 견해가 많다(Rios Insua, 1990; Wolters and Mareschal, 1995). 따라서 평가인자의 가중치는 MCDA방법론을 적용하는데 있어 가장 중요하고 어려운 문제 중 하나이고 많은 불확실성을 내재하고 있다(Hyde *et al.*, 2005; Larichev and Moshkovich, 1995). 많은 가중치 관련 연구에서 단일한 접근 방식을 채택하는 것은 정확한 결과를 보장할 수 없는 것으로 분석되었으며, 다양한 접근 방식 즉, 여러 종류의 가중치를 산정하여 적용하도록 제안하고 있다(Moshkovich *et al.*, 1998; Kheireldin and Fahmy, 2001). 따라서 전문가들로부터 다양한 형태의 가중치를 수집하여 비교하는 과정이 연구에 포함될 필요가 있으며 정성적인 의견을 정량적으로 다루는데 있어서 발생할 수 있는 불확실성 문제를 개선 할 수 있는 퍼지수를 도입하는 것도 하나의 방법으로 제시될 수 있다.

본 연구에서는 대표적인 가중치 책정 방법인 순위법, 비율법과 퍼지수법을 사용하고 평가 결과를 비교하고자 한다. 순위법은 주어진 변수들에 대하여 그 중요성에 따라 순위를 결정하고 이를 정량화하는 방법으로 각 인자에 대하여 가장 높은 가치가 있는 순서로 순위를 결정한다. 비율법은 변수들을 비교하고 그 중요성을 상대적으로 평가하여 가중치를 배분하는 방법으로 각 인자에 대해서 가중치를 수치로 제시되 주어진 범위 내에서 값을 선정한다. 퍼지수법은 표 1과 같이 각 인자의 가중치의 중요성에 대한

언어 변수를 활용하며 본 연구에서는 계산이 용이하여 널리 사용되는 삼각퍼지수(TFNs : Triangular Fuzzy Numbers)를 적용한 가중치를 사용하고자 한다(Raj and Kumer, 1999).

### 3. TOPSIS 평가 기법

MCDM 기법 중의 하나로서 Hwang and Yoon(1981)에 의해 제안된 TOPSIS 방법이 최근 다양한 취약성 평가에 널리 사용되고 있다. TOPSIS는 양의 이상적인 해(PIS: Positive Ideal Solution)로부터 가장 가까운 거리에 있고 부의 이상적인 해(NIS: Negative Ideal Solution)로부터는 가장 먼 거리에 있는 대안을 우선적으로 선정하게 하는 개념으로 최선의 대안과 최악의 대안을 동시에 고려하여 인간의 합리적 선택이 가능하도록 유도하는 기법(Chu, 2002; Jun *et al.*, 2011)이다. 본 연구에서 양의 이상적인 해는 가장 취약한 지역이며 부의 이상적인 해는 그 취약의 정도가 가장 낮은 지역이며, TOPSIS 기법의 평가절차는 다음과 같다. 표준화된 평가 자료에 식 1과 같이 가중치( $w_j$ )를 반영한다.

$$\begin{aligned} v_{ij} &= w_j n_{ij}, \\ i &= 1, \dots, n, \\ j &= 1, \dots, n \end{aligned} \quad (1)$$

각 평가단위별로 산정한 평가 값으로부터 PIS( $A^+$ )와 NIS( $A^-$ )를 다음의 식 2a, 2b를 적용하여 결정한다.

$$A^+ = \{\tilde{v}_1^+, \tilde{v}_2^+, \dots, \tilde{v}_n^+\} \quad (2a)$$

$$A^- = \{\tilde{v}_1^-, \tilde{v}_2^-, \dots, \tilde{v}_n^-\} \quad (2b)$$

여기서  $\tilde{v}_j^+ = \max(v_{ij})$ ,  $\tilde{v}_j^- = \min(v_{ij})$ 이며, 이상해인 PIS, NIS와 각 평가단위와의 거리는 다음의 식 3a, 3b로부터 산정한다.

$$d_i^+ = \left\{ \sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^+)^2 \right\}^{1/2}, \quad i = 1, \dots, m \quad (3a)$$

$$d_i^- = \left\{ \sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^-)^2 \right\}^{1/2}, \quad i = 1, \dots, m \quad (3b)$$

근접도 계수  $C^+$ 는 다음의 식 4로부터 산정, 순위(Rank)는 산정한  $C^+$ 로부터 결정한다.

$$C^+ = d_i^- / (d_i^+ + d_i^-), \quad i = 1, \dots, m \quad (4)$$

최근에는 TOPSIS 평가기법에 퍼지수를 적용한 fuzzy TOPSIS 기법이 활용되고 있는데 평가 방법은 기본적으로 TOPSIS를 따르지만 fuzzy수를 적용하기 위해서는 먼저 서로 다른 축척의 퍼지수를 본연의 성질을 유지하면서 비교 가능한 축척으로 표준화해야 한다. 본 연구에서는 이를 위하여 Chen and Hwang(1992)에 의해 고안된 삼각퍼지수( $a_{ij}, b_{ij}, c_{ij}$ )의 cost-benefit 기법으로 표준화하였으며, 아래의 식 5a와 5b를 사용하였다. 여기서 B와 C는 각 이득 기준(측정치가 클수록 더 선호되는 기준)과 비용기준(측정치가 작을수록 더 선호되는 기준)의 집합이다.

$$\tilde{r}_{ij} = \left( \frac{a_{ij}}{c_j^*}, \frac{b_{ij}}{c_j^*}, \frac{c_{ij}}{c_j^*} \right) \quad (5a)$$

$$c_j^* = \max c_{ij} \text{ if } j \in \text{Benefit}$$

$$\tilde{r}_{ij} = \left( \frac{\tilde{a}_j}{c_{ij}^*}, \frac{\tilde{a}_j}{b_j^*}, \frac{\tilde{a}_j}{a_j^*} \right) \quad (5b)$$

$$a_j^* = \min a_{ij}, \text{ if } j \in \text{Cost}$$

FPIS, FNIS와 각 평가결과와의 간격  $d_i^+$ 와  $d_i^-$ 은 식 6과 7을 이용해 유도할 수 있으며 각 대안의 상대적 근접도 계수,  $\mu_j$ 은 식 8을 이용해서 도출할 수 있으며, 산정된 근접도계수 값을 내림차순으로 정리하면 평가순위를 설정할

수 있다(Lee *et al.*(2014)). 이때 1위는 가장 취약한 지역이며 최하위는 가장 덜 취약한 지역을 의미한다.

$$d_i^* = \sum_{j=1}^n d(\tilde{v}_{ij}, \tilde{v}_j^*), (i = 1, \dots, m) \quad (6)$$

$$d_i^- = \sum_{j=1}^n d(\tilde{v}_{ij}, \tilde{v}_j^-), (i = 1, \dots, m) \quad (7)$$

$$\mu_j = \frac{(d_j^-)^2}{(d_j^+)^2 + (d_j^-)^2} \quad (8)$$

## 결과 및 고찰

### 1. 평가자료의 구성

본 연구에서는 가뭄으로 인한 사회 경제 환경 피해에 대한 광범위한 취약성 평가를 목적으로 하며, 가뭄에 많은 영향을 받는 수자원, 농업분야 또는 가뭄관련 업무경력이 있는 전문가를 대상으로 조사 그룹을 표 1과 같이 설정하였다. 조사 참여자 중 80%가 학계와 연구기관 소속으로 수자원, 농업 등 가뭄과 관련하여 유의미한 분야의 전문가이다. 그러나 가뭄과 관련하여 직접적인 업무를 수행한 경험이 있는 전문가가 60%로서 가뭄에 대한 정보가 많지 않은 전문가가 다수 조사에 참여하였다. 설문조사는 비대면으로 온라인 집계방법으로 수행하였다.

설문조사 절차는 3단계로 구성되었으며 1차 설문조사에서는 제시된 인자의 타당성에 대한 질문에 답변하여 평가인자를 선정, 이때 설문 참여자들은 제시된 취약성 평가인자에 포함되지 않았지만 취약성 평가에 포함되어야 할 것으로 판단되는 인자를 추가적으로 제시할 수 있다. 설문을 주최한 연구진은 수집한 설문조사 결과로부터 취약성 평가인자를 선정하고 이를 2차 설문조사에 배포한다. 설문 참여자는 1차 조사로부터 도출된 평가인자에 대한 중요함의 정도를 정량적으로 표현할 수 있는 가중치를 설정하고 설문 주최자는 2차 설문조사 결과를 수집하여 주최자는 응답자들이 제안한 가중치들을 분석한 결과를 3차 설문조사에서 설문참여자들에게 재배포하고 이를 참고하여 가중치에 대한 자신의 의견을 재평가하도록 하였다. 최종적인 가중치는 이를 분석하여 설정하였다.

평가인자는 기상분야(Meteorological factors), 농업분야(Agricultural factors), 사회경제분야(Socioeconomic factors), 환경분야(Natural System)로 구성하였으며 선정된 인자(Table 2)에 대한 데이터베이스를 구성하기 위하여 기상청, 농어촌공사, 환경부(수자원공사) 등의 관계기관이 관리하는 자료를 수집하였다. 연구 대상기간은 2016년 3월부터 2019년 9월까지로서 평가지표별로 표준화하여 정리하였다. 대상 지역은 우리나라 시군구 행정구역 단위, 총 167개 지역이며 평가인자별로 구성한 데이터베이스는 다음의 그림 2와 같다.

기상분야의 평가자료를 분석한 결과 경기도 오산시, 이천시, 안성시, 화성시, 여주시 등 경기

TABLE 1. Information of Survey Participant

Employer	University(27%), Research institutes(53%), National institutions(13%), Engineering company and other organizations(7%)
Field of work	Water resources(47%), Agriculture(40%), Government official(13%)
Education	Bachelors(40%), Masters(13%), PhD(47%)
Experience in water resources	Yes(73%), No(27%)
Career(Yes response)	Less than 2yr(18%), Less than 5yr(37%), Less than 10yr(27%), More than 10 yr(18%)
Experience in drought management	Yes(60%), No(40%)
Career(Yes response)	Less than 2yr(0%), Less than 5yr(33%), Less than 10yr(56%), More than 10 yr(11%)
Experience in drought damage	Yes(20%), No(80%)

TABLE 2. Assesment criteria

Criteria	Sub-criteria
C1. Meteorological factors	S1. Precipitation
	S2. Evapotranspiration
C2. Agricultural factors	S3. Crop damage
	S4. Agricultural output
	S5. Agricultural water quantity
	S6. Reservoir
	S7. River level
C3. Socioeconomic factors	S8. Drought damage
	S9. Quantity of living
	S10. Industrial water quantity
	S11. Gross regional product
	S12. Hydropower
	S13. Disease outbreak
	S14. Fire occurs
	S15. Measures established
C4. Natural System	S16. River maintenance water
	S17. Land use

도 지역이 매우 취약하였으며, 농업 분야는 충청남도 홍성군, 서산시, 경기도 안성시와 울산광역시 울주군이 취약하였다. 또한 사회경제적 요인 분석 결과로는 대구광역시, 광주광역시 및 충청남도과 전라남도의 다수 지역이 취약하였으며 환경 분야로는 부산시를 포함한 남해안 지역이 취약하였다.

설문조사에 응답한 참가자 15명의 가중치 설

정방법별 응답을 다음의 표 3, 5, 7에 나타내었으며 이를 분석하여 산정한 가중치는 표 4, 6, 8에 제시하였다. 대체적으로 농업 분야가 모든 가중치 측정법에서 가장 크게 산정되었고 사회경제 분야, 자연 환경 분야, 기상 분야의 순서로 가중치가 설정되었다. 이는 실제적인 피해와 연관되는 분야가 농업과 사회경제 분야이기 때문에 취약성과 직접적인 관련이 있는 것으로 분석된다.

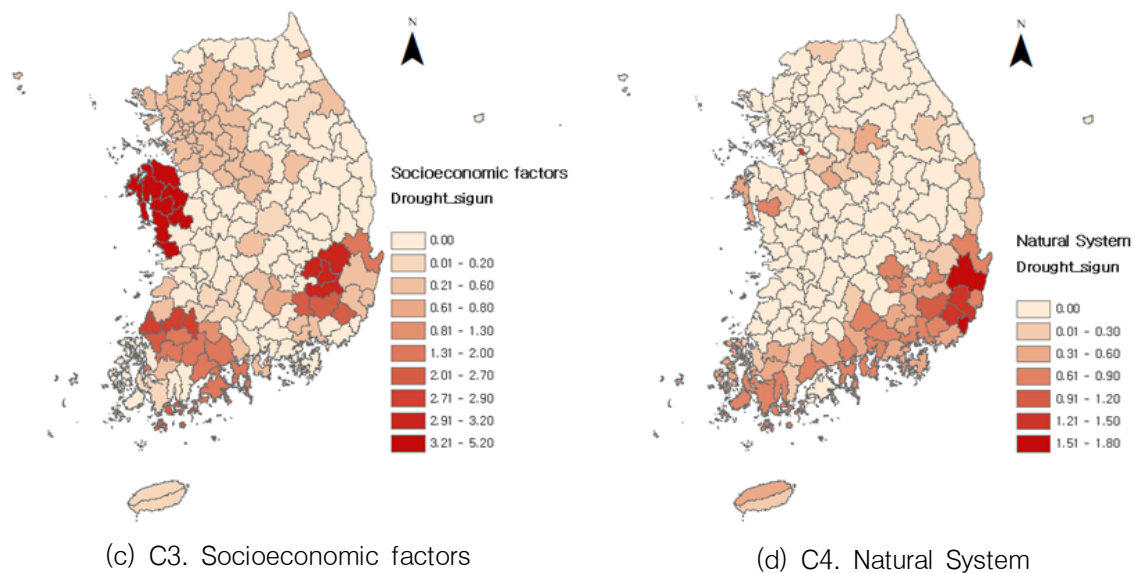


FIGURE 2. Criteria database

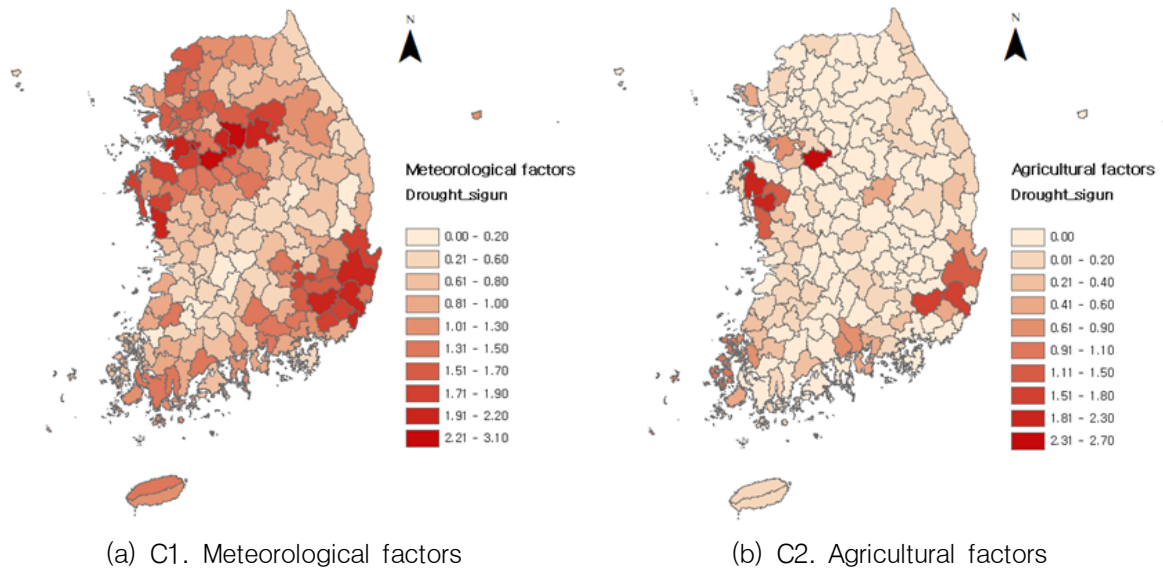


FIGURE 2. Continued

TABLE 3. Survey results of rank weights method

Contents	C1	C2	C3	C4
P1	4	2	1	3
P2	4	1	2	3
P3	4	1	1	3
P4	2	1	2	4
P5	1	1	1	4
P6	2	1	2	4
P7	1	2	2	4
P8	1	1	1	4
P9	4	2	2	1
P10	3	1	2	3
P11	4	1	2	2
P12	4	1	1	3
P13	4	1	2	2
P14	4	1	2	3
P15	4	1	1	1

TABLE 4. Calculation results of rank weights method

Contents	C1	C2	C3	C4
Rank weights ( $w_i$ )	0.17	0.34	0.30	0.19

## 2. TOPSIS 평가 결과

표준화된 평가인자 데이터베이스와 가중치를 사용하여 TOPSIS 기법으로 평가결과를 도출하였다. 평가의 기간과 지역은 2016년 3월부터

2019년 9월까지 우리나라 시군구 행정구역 단위, 총 167개 지역이며 순위법, 비율법, fuzzy 등 가중치 선정방법에 따라 결과에 약간의 차이가 나타난다. 평가결과는 다음의 그림 3~5에



TABLE 5. Survey results of rate weights method

Contents	C1	C2	C3	C4
P1	0.130	0.304	0.348	0.217
P2	0.150	0.350	0.300	0.200
P3	0.185	0.296	0.296	0.222
P4	0.222	0.370	0.222	0.185
P5	0.263	0.263	0.263	0.211
P6	0.250	0.313	0.250	0.188
P7	0.290	0.258	0.258	0.194
P8	0.263	0.263	0.263	0.211
P9	0.222	0.250	0.250	0.278
P10	0.200	0.350	0.250	0.200
P11	0.200	0.320	0.240	0.240
P12	0.190	0.286	0.286	0.238
P13	0.214	0.286	0.250	0.250
P14	0.143	0.333	0.286	0.238
P15	0.182	0.273	0.273	0.273

TABLE 6. Calculation results of rate weights method

Contents	C1	C2	C3	C4
Rate weights ( $w_i$ )	0.207	0.301	0.269	0.223

TABLE 7. Survey results of fuzzy weights method

Contents	C1	C2	C3	C4
P1	VL	MH	H	ML
P2	VL	MH	M	L
P3	ML	H	H	M
P4	M	VH	M	ML
P5	VH	VH	VH	H
P6	H	VH	H	M
P7	VH	H	H	M
P8	VH	VH	VH	H
P9	MH	VH	VH	VH
P10	L	MH	ML	L
P11	ML	H	M	M
P12	L	M	M	ML
P13	M	H	MH	MH
P14	VL	MH	M	ML
P15	L	M	M	M

TABLE 8. Calculation results of fuzzy weights method

Contents	C1	C2	C3	C4
Fuzzy weights ( $\tilde{w}_i$ )	0.176	0.336	0.287	0.201

나타내었으며 평가에 따른 가뭄취약성 상위 25 개 지역과 함께 동기간의 기상, 생·공, 농업 가

뭄예경보 현황을 취합하여 예경보 발령이 많은 순서로 표 9에 제시하였다.

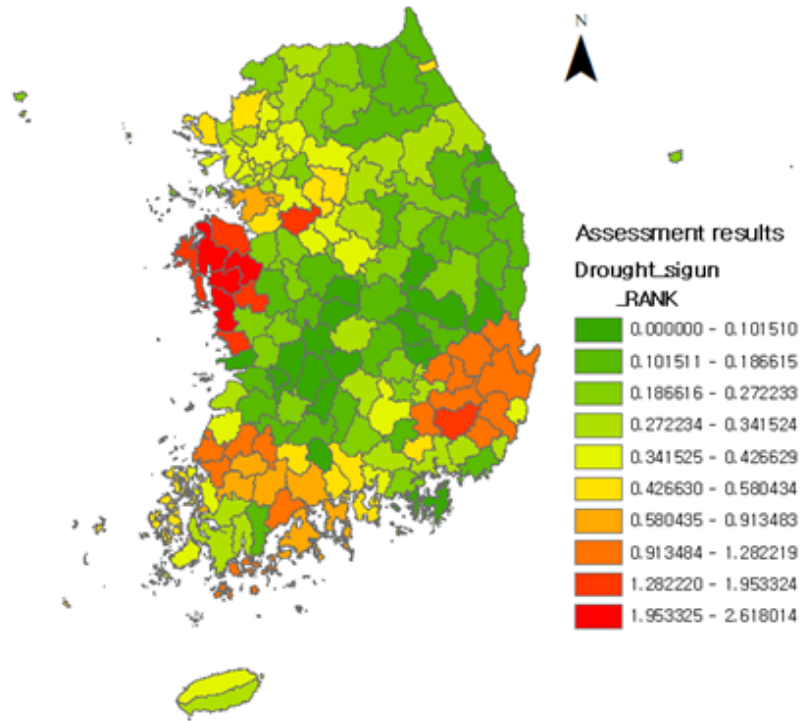


FIGURE 3. Assessment results using rank weights method

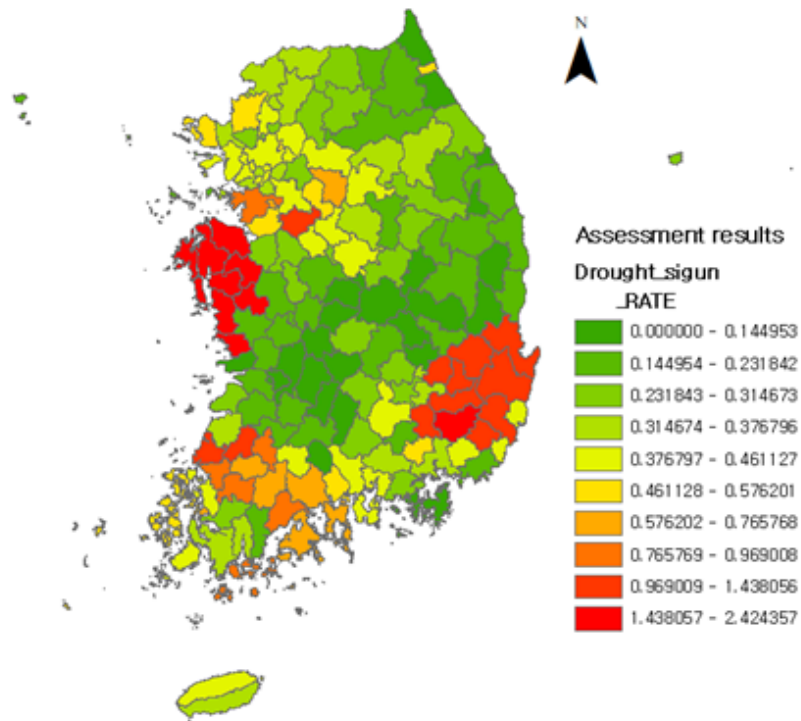


FIGURE 4. Assessment results using rate weights method

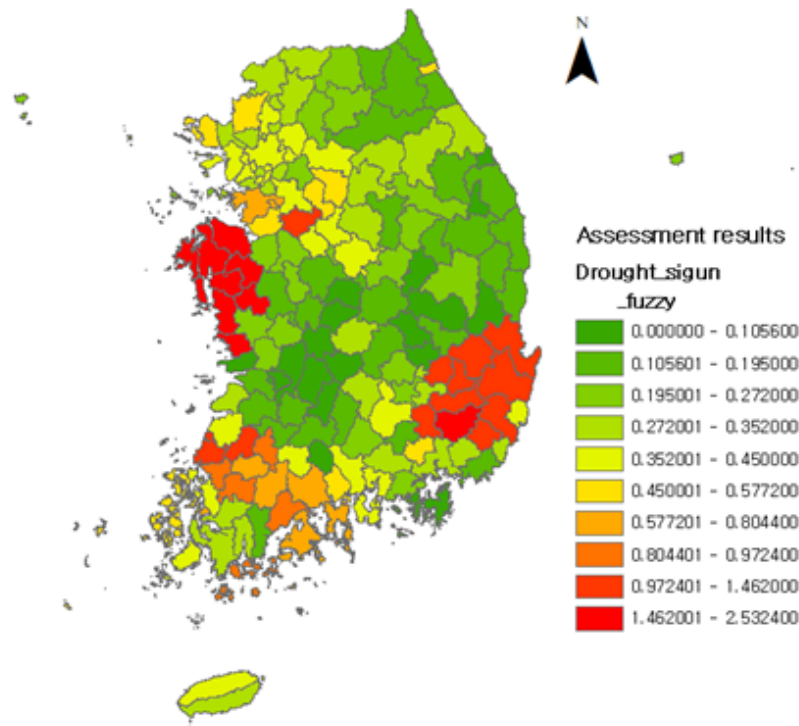


FIGURE 5. Assessment results using fuzzy weights method

TABLE 9. Top 25 regions of drought vulnerability assessment

Rank	Results using rank weights		Results using rate weights		Results using fuzzy weights		Drought Warning and Emergency	
	Province	District	Province	District	Province	District	Province	District
1	Chungcheongnam-do	Hongseong-gun	Chungcheongnam-do	Hongseong-gun	Chungcheongnam-do	Hongseong-gun	Chungcheongnam-do	Hongseong-gun
2	Chungcheongnam-do	Seosan	Chungcheongnam-do	Seosan	Chungcheongnam-do	Seosan	Chungcheongnam-do	Boryeong
3	Chungcheongnam-do	Boryeong	Chungcheongnam-do	Boryeong	Chungcheongnam-do	Boryeong	Chungcheongnam-do	Seosan
4	Chungcheongnam-do	Yesan-gun	Chungcheongnam-do	Yesan-gun	Chungcheongnam-do	Yesan-gun	Chungcheongnam-do	Yesan-gun
5	Chungcheongnam-do	Tae'an-gun	Chungcheongnam-do	Tae'an-gun	Chungcheongnam-do	Tae'an-gun	Chungcheongnam-do	Dangjin
6	Chungcheongnam-do	Dangjin	Chungcheongnam-do	Dangjin	Chungcheongnam-do	Dangjin	Chungcheongnam-do	Tae'an-gun
7	Chungcheongnam-do	Cheongyang-gun	Chungcheongnam-do	Cheongyang-gun	Chungcheongnam-do	Cheongyang-gun	Chungcheongnam-do	Cheongyang-gun
8	Chungcheongnam-do	Seocheon-gun	Chungcheongnam-do	Seocheon-gun	Chungcheongnam-do	Seocheon-gun	Chungcheongnam-do	Seocheon-gun
9	Gyeongsangnam-do	Miryang	Gyeongsangnam-do	Miryang	Gyeongsangnam-do	Miryang	Gyeonggi-do	Anseong
10	Gyeonggi-do	Anseong	Gyeonggi-do	Anseong	Gyeonggi-do	Anseong	Gyeongsangnam-do	Miryang
11	Gyeongsangnam-do	Yangsan	Gyeongsangnam-do	Yangsan	Gyeongsangnam-do	Yangsan	Gyeongsangbuk-do	Pohang
12	Gyeongsangbuk-do	Gyeongsan	Gyeongsangbuk-do	Gyeongsan	Gyeongsangbuk-do	Gyeongsan	Gyeongsangnam-do	Yangsan
13	Gyeongsangbuk-do	Cheongdo-gun	Gyeongsangbuk-do	Cheongdo-gun	Gyeongsangbuk-do	Cheongdo-gun	Ulsan	Uiju-gun
14	Jeollanam-do	Jangseong-gun	Jeollanam-do	Jangseong-gun	Jeollanam-do	Jangseong-gun	Jeollanam-do	Jangseong-gun
15	Gyeongsangbuk-do	Yeongcheon	Gyeongsangnam-do	Changnyeong-gun	Jeollanam-do	Yeonggwang-gun	Gyeongsangbuk-do	Gyeongsan
16	Jeollanam-do	Yeonggwang-gun	Gyeongsangbuk-do	Yeongcheon	Gyeongsangbuk-do	Yeongcheon	Gyeongsangbuk-do	Cheongdo-gun
17	Gyeongsangnam-do	Changnyeong-gun	Ulsan	Uiju-gun	Gyeongsangnam-do	Changnyeong-gun	Gyeongsangnam-do	Changnyeong-gun
18	Daegu	Daegu	Gyeongsangbuk-do	Pohang	Ulsan	Uiju-gun	Jeollanam-do	Boseong-gun
19	Gyeongsangbuk-do	Pohang	Jeollanam-do	Yeonggwang-gun	Gyeongsangbuk-do	Pohang	Gyeongsangbuk-do	Gyeongju
20	Ulsan	Uiju-gun	Gyeongsangbuk-do	Gyeongju	Gyeongsangbuk-do	Gyeongju	Gyeonggi-do	Hwaseong
21	Gyeongsangbuk-do	Gyeongju	Daegu	Daegu	Daegu	Daegu	Jeollanam-do	Yeonggwang-gun
22	Jeollanam-do	Boseong-gun	Jeollanam-do	Boseong-gun	Jeollanam-do	Boseong-gun	Gyeongsangbuk-do	Yeongcheon
23	Jeollanam-do	Hampyeong-gun	Jeollanam-do	Wando-gun	Jeollanam-do	Wando-gun	Daegu	Daegu
24	Jeollanam-do	Wando-gun	Jeollanam-do	Hampyeong-gun	Jeollanam-do	Hampyeong-gun	Jeollanam-do	Naju
25	Jeollanam-do	Damyang-gun	Jeollanam-do	Naju	Jeollanam-do	Damyang-gun	Gyeonggi-do	Osan

평가결과 충청남도, 경상북도, 전라남도에 가뭄취약지역이 다수 분포하는 것으로 평가되었으며 주요 취약지역으로는 충청남도 홍성군, 서산시, 보령시, 예산군, 태안군, 당진시, 청양군, 서천군 및 경상남도 밀양시, 경기도 안성시 등이고 가중치 적용방법에 대하여 순위에 변동이 있는 지역은 대구광역시, 울산광역시 등으로 최대 4단계의 순위차이가 발생한 지역이 있지만 대체로 유사한 결과가 나타났다.

따라서 본 연구에서의 평가자료의 경우 가중치 선정방법에 따른 평가결과의 차이는 크지 않은 것으로 판단할 수 있다. 가뭄예보결과와 취약성 평가결과를 비교해 보면 충청남도 홍성군이 동기간 동안 가뭄예보 발령 횟수가 가장 많았으며, 충청남도 보령시와 서산시도 매우 높은 빈도로 확인되었다.

가뭄취약성 평가결과와 예경보 발령 현황 모두 상위 10위권에서는 유사하였으며 취약성 평가에서는 상위 25위권에서 포함되지 않은 경기도 화성, 경기도 오산 지역이 예경보 발령 현황에서는 포함되었다. 그러나 두 지역 모두 취약성 평가에서 상위 35위권 이상에 포함되는 것을 확인하였으며, 따라서 본 연구의 평가 결과와 가뭄예보 결과가 대체로 유사하게 나타남을 알 수 있다. 이는 취약성 평가에 사용한 평가인자들이 현재의 기상, 생·공, 농업 가뭄예보를 위하여 분석하는 자료와 유사하기 때문이다.

## 요약 및 결론

본 연구에서는 가뭄과 연관되는 기상, 농업, 사회경제, 환경 등 여러 분야의 취약요인을 반영하는 가뭄취약성 평가를 위한 접근법을 제시하는 것을 목표로 하였다. 평가기법은 세 단계로 구성되었으며 먼저 Delphi 조사기법을 활용하여 평가인자와 가중치 선정하고 이를 기반으로 평가자료 데이터베이스 구축한 후 MCDM 기법인 TOPSIS를 활용하여 결과를 도출한다. 수립한 가뭄취약성 평가방안을 2016년 3월부터 2019년 9월까지 우리나라 시군구 행정구역 대상으로 평가한 결과, 충청북도, 경상남도, 전

라남도에 가뭄 취약지역이 다수 도출 되어 이들 지역에 대한 가뭄 대응 방안 수립이 필요한 것으로 분석되었다.

가뭄취약성을 평가하기 위하여 수립한 본 연구의 접근법은 평가인자의 구성에 환경 및 사회의 변화를 고려할 수 있으며 가중치를 활용하여 중요정도를 조정하는 방법으로서 가뭄 평가에 현상뿐 만아니라 가뭄에 대한 사회적 요구 등을 반영한 대응방안 수립에 활용이 가능하다. 즉, 가뭄취약성을 평가하기 위한 프레임워크를 제시한 것으로 평가관점에 따라 조사대상을 구성하는 방법으로 대응할 수 있으며 이는 현재 가뭄 평가에 사용되는 기상가뭄 평가, 농업가뭄 평가, 생·공업가뭄 평가 기법들에서 사용하는 평가인자 등을 활용하여 통합 가뭄평가를 위해 재구성하는 방법으로도 활용이 가능하다.

또한 본 연구에서 제시된 가뭄과 연관되는 다양한 지표를 적용하여 가뭄취약성을 평가하는 방안은 각 지역에 내재된 가뭄취약정도를 파악하여 사전에 가뭄에 대응하기 위한 정책 수립 등에 기여할 수 있다.

그러나 본 연구에서의 평가인자 선정에는 15명의 전문가가 참여한 것으로 대부분이 학계 또는 연구기관의 종사자이고, 가뭄관련 업무의 경험이 없는 경우가 40%로서 인자의 선정에 전문성을 보장하기에는 어려움이 있다. 따라서 이에 대한 개선을 위해 조사대상을 확대하고, 선정된 가뭄평가 인자들의 가뭄취약성 평가결과에 대한 민감도를 분석하여 주요한 관리 인자를 도출하며, 현재 주요 기관에서 도출하고 있는 가뭄평가 방안을 통합하기 위한 연구를 지속적으로 수행하고자 한다. **KAGIS**

## REFERENCES

- Afshar, A., M.A. Mariño, M. Saadatpour and A. Afsahr. 2011. Fuzzy TOPSIS multi-criteria decision analysis applied to Karun reservoirs system. *Water Resources Management* 25(2):545-563.

- Babaei, H., S. Araghinejad and A. Hoorfar. 2013. Developing a new method for spatial assessment of drought vulnerability (case study: Zayandeh–Rood river basin in Iran). *Water and Environment Journal* 27:50–57.
- Chen, S.J. and C.L. Hwang. 1992. Fuzzy multiple attribute decision making: method and application. *Lecture notes in economics and mathematical systems*. 375, Springer, New York.
- Chu, T.C. 2002. Selecting plant location via a fuzzy TOPSIS approach. *Int. J. Adv. Manuf. Tech.* 20:859–864.
- Fan, G., Y. Zhang, Y. He and K. Wang. 2017. Risk assessment of drought in the Yangtze river delta based on natural disaster risk theory. *Discrete Dynamics in Nature and Society* 2017:Article ID 5682180.
- Feng, C.M. and R.T. Wang. 2000. Performance evaluation for airlines including the consideration of financial ratios. *Journal of Air Transport Management* 6(3):133–142.
- Hwang, C.L. and K. Yoon. 1981. *Multiple attributes decision-making methods and applications*, Springer, Heidelberg.
- Hyde, K.M., H.R. Maier and C.B. Colby. 2005. A distancebased uncertainty analysis approach to multi-criteria decision analysis for water resource decision making. *Journal of Environmental Management* 77(4):278–290.
- Jun, K.S., E.S. Chung, J.Y. Sung and K.S. Lee. 2011. Development of spatial water resources vulnerability index considering climate change impacts. *Sci. Tot. Environ.* 409(24):5228–5242.
- Jolson, M.A. 1978. *Marketing Management: integrated Text, Readings and Cases*. Collier Macmillan International, London. 340.
- Kaufmann, A. and M.M. Gupta. 1991. *Introduction to fuzzy arithmetic: theory and application*. New York: Van Nostrand Reinhold.
- Kheireldin, K. and H. Fahmy. 2001. Multi-Criteria Approach for evaluating long term water strategies. *Water International* 26(4):527–535.
- Larichev, O.I. and H.M. Moshkovich. 1995. ZAPROS–LM-A method and system for ordering multiattribute alternatives. *European Journal of Operational Research* 82(3): 503–521.
- Lee, G., K.S. Jun and E.S. Chung. 2014. Robust spatial flood vulnerability assessment for Han River using fuzzy TOPSIS with  $\alpha$ -level sets. *Expert Systems with Applications* 41:644–654.
- Maliva, R. and T. Missimer. 2012. *Arid lands water evaluation and management*. Springer Science and Business Media.
- Moshkovich, H.M., R.E. Schellenberger and D.L. Olson. 1998. Data influences the result more than preferences: some lessons from implementation of multiattribute techniques in a real decision task. *Decision Support Systems* 22(1):73–84.
- Okoli, C. and S.D. Pawlowski. 2004. The Delphi method as a research Tool: an example, design considerations and applications. *Information and Management* 42(1):15–29.

- Rios Insua, D. 1990. Sensitivity analysis in multi-objective decision making, Springer Verlag, Berlin.
- Shahid, S. and H. Behrawan. 2008. Drought risk assessment in the western part of bangladesh. *Natural Hazards* 46(3):391-413.
- Sheffield, J., E.F. Wood and M.L. Roderick. 2012. Little change in global drought over the past 60 years. *Nature* 491(7424): 435-438.
- Somerville, J.A. 2007. Critical factors affecting the meaning assessment of student learning outcomes: a Delphi study of the opinions of community college personnel. Oregon State University, Corvallis, OR. ph.D degree.
- Stokes, B., R. Wike and J. Carle. 2015. Global concern about climate change. broad support for limiting emissions. Pew Research Center 5.
- Wilhite, D.A. and M.H. Glantz. 1985. Understanding: the drought phenomenon: the role of definitions. *Water International* 10(3):111-120.
- WMO. 2009. Experts agree on a universal drought index to cope with climate risks. WMO Press Release No. 872.
- Wolters, W.T.M. and B. Mareschal. 1995. Novel types of sensitivity analysis for additive MCDM methods. *European Journal of Operational Research* 81(2):281-290.
- Yang, T.C., C. Chen, C.M. Kuo, H.W. Tseng and P.S. Yu. 2012. Drought risk assessments of water resources systems under climate change: a case study in Southern Taiwan. *Hydrol. Earth Syst. Sci. Discuss.* 9:12395-12433. 