

국내 가뭄평가를 위한 가뭄지수 고찰



이재경 ●●●
대진대학교 공학교육혁신센터
조교수
myroom1@daejin.ac.kr



장석환 ●●●
대진대학교 건설시스템공학과
교수
drjang@daejin.ac.kr

지수가 제시되었다(Niemeyer, 2008). 기상·수문 분야 등 특정분야의 가뭄을 모니터링하고 평가하기 위해 수문기상학적 변수를 활용한 가뭄지수를 개발하거나 최근에는 지상의 관측자료 뿐만 아니라 위성 등의 remote sensing 자료까지 활용하고 있다. 또한 특정 분야만의 가뭄을 평가하기보다 다양한 분야의 가뭄을 평가하기 위해 가뭄지수간의 결합을 시도하기도 한다.

따라서 본 기사에서는 전 세계적으로 지금까지 제안 및 활용되고 있는 주요 가뭄지수들을 간략하게 살펴보고 그 특징들을 정리하고자 한다.

1. 서론

가뭄발생은 강수의 부족에서 출발하며 그 영향이 급격히 피해로 이어지지는 않으나, 광범위한 지역에서 오랫동안 지속되는 특징이 있다. 이러한 가뭄발생을 정량적으로 객관화하기 위해 가뭄지수를 활용하며, 가뭄지수는 가뭄발생과 관련된 다양한 변수에 의한 자료들을 활용하여 정량화된 값으로 제시된다(Zarger, 2011). 하지만 가뭄은 강수부족, 토양수분 부족, 하천과 저수지 수위 저하 등의 다양한 조건과 상황에 의해 발생되므로, 이들 모두를 가뭄지수에 반영하기는 쉽지 않다. 이에 따라 가뭄지수는 연구목적이나 활용가능한 자료들에 따라 다양한 형태로 개발되었으며, 전 세계적으로 150여 개 이상의

2. 가뭄형태와 특징

가뭄이란 매우 극심한 강수의 부족에 의해 시작되나(Gonzalez and Valdes, 2006), 토양수분, 하천유량, 지하수 수위, 저수지 저류량 등 다양한 변수들의 복잡한 물리적 과정에 의해 발생한다. 이렇게 발생하는 가뭄의 형태는 물리적으로 기상학적 가뭄, 농업적 가뭄, 수문학적 가뭄으로 분류할 수 있다(Wilhite and Grantz, 1985). 기상학적 가뭄은 강수발생의 부족이 원인이며, 농업적 가뭄은 강수부족이 토양수분에 영향을 줌으로써 발생하며, 수문학적 가뭄은 부족한 토양수분으로 인해 하천, 저수지, 지하수 등이 영향을 받음으로써 발생하게 된다(그림 1).

또한 가뭄의 구조적인 특징은 다음과 같다(Zargar et al., 2011).

- 심도(severity): 강수(하천유량) 부족의 정도
- 지속기간(duration): 강수부족이 발생한 시점부터 끝난 시점까지의 기간
- 빈도(frequency): 가뭄이 발생하는 평균적 주기
- 크기(magnitude): 물부족의 누적량

• 강도(intensity): 지속기간 대비 크기의 비율

그 밖에 발생예측가능성(predictability), 공간적 분포(spatial distribution) 등이 있으며, 가뭄분석이나 평가를 위한 가뭄의 정도를 살펴볼 때, 가장 많이 활용되는 것이 강도, 지속기간, 크기이다(그림 2).

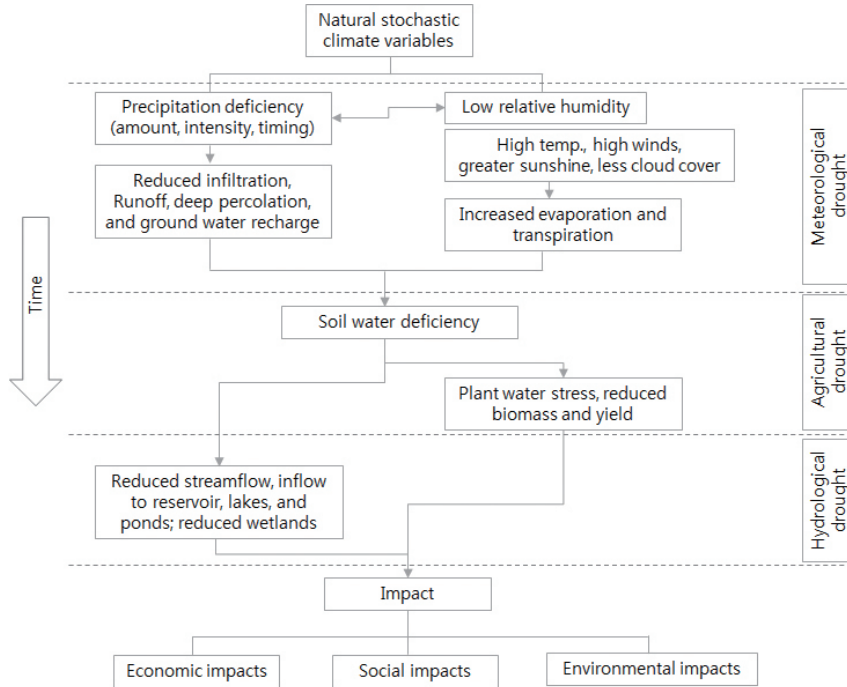


그림 1. The occurrence sequence of three drought types (NDMC, 2006)

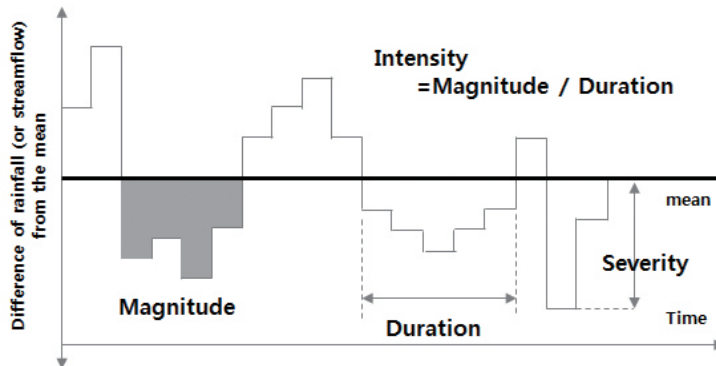


그림 2. Drought characteristics: severity, duration, and intensity (Zargar et al, 2011)

3. 가뭄지수의 분류

가뭄지수는 가뭄에 대한 모니터링, 분석, 대응 등을 위한 기초자료가 되므로 매우 중요한 정보이므로(Hayes, 2006), 가뭄을 정확하게 표현해야 한다. 하지만 일반적으로 가뭄지수는 하나의 정량적인 값으로 제시되기 때문에 다양한 수문기상학적 변수 중 어떤 변수를 이용할 것인가 또는 어떻게 조합할 것인가가 매우 중요하다. 또한 가뭄측정과 실시간 모니터링, 가뭄기간의 시작과 끝, 가뭄강도나 크기, 지형이나 시간에 따른 가뭄의 영향 등 목적에 따라 활용하는 가뭄지수가 달라진다(Tsakiris et al., 2007, Niemeier, 2008).

가뭄지수는 가뭄형태나 연구목적에 따라 기상학적 가뭄지수, 농업적 가뭄지수, 수문학적 가뭄지수로 분류할 수 있으며, 최근에는 포괄적(comprehensive) 가뭄지수, 결합(combined) 가뭄지수, remote-sensing 기반 가뭄지수로 분류하기도 한다(Niemeier, 2008). 포괄적 가뭄지수는 기존 기상학적·농업적·수문학적 변수를 활용하여 산정한 모든 가뭄지수를 의미하며, 기존보다 더 포괄적인 개념으로서 기존 분류 가뭄지수들을 대부분 포함한다. 다음으로 결합 가뭄지수는 두 개 이상의 가뭄지수를 조합하여 하나의 값으로 산정하는 가뭄지수를 나타내며, 마지막으로 remote-sensing 기반 가뭄지수는 위성 등의 remote-sensing 센서에서 추출한 자료 등을 이용하여 산정한 가뭄지수를 의미한다. 본 기사에서는 기존 분류기준에서 벗어나 새로운 시각으로 가뭄지수를 분류하고자 각 가뭄지수의 특징들을 포괄적 가뭄지수, 결합 가뭄지수, remote-sensing 기반 가뭄지수로 나누어 살펴보았다.

3.1 포괄적 가뭄지수

포괄적 가뭄지수는 앞서 언급한 바와 같이 기상학적·수문학적·농업적 변수를 활용한 가뭄지수를 나타내므로, 변수이용에 따라 분류하였다. 표1은 대

표적인 가뭄지수의 분류, 관련된 변수, 특징 등을 정리한 표이다.

기상학적 변수를 활용한 가뭄지수

대표적인 기상학적 변수는 강수가 있다. 과거 강수만을 이용한 가뭄지수에는 RAI(Rainfall Anomaly Index; Van-Rooy, 1965), BMDI(Bhalme and Mooly Drought Index; Bhalme and Mooley 1980), NRI(National Rainfall Index; Gommès and Petrassi 1994), EDI(Effective Drought Index; Byun and Wilhite 1999) 등이 있으며, 가장 대표적인 가뭄지수로는 SPI(Standardized Precipitation Index; McKee et al., 1993)가 있다. 하지만 강수만으로 가뭄을 정확하게 표현하기에는 한계점이 존재하므로 온도, 증발산 등의 변수들을 더 포함하여 가뭄지수를 나타내고 있으며, PDSI(Palmer Drought Severity Index; Palmer, 1965), RDI(Reconnaissance Drought Index, Tsakiris and Vangelis, 2005), SPI에 증발산을 고려할 수 있도록 개선한 SPEI(Standardized Precipitation-Evapotranspiration Index; Vicente-Serrano et al., 2010), PSDI의 매개변수 등을 적용지역 등에 상관없이 스스로 자동으로 산정할 수 있도록 개선한 SC-PDSI(Self Calibrating-PDSI; Wells et al., 2004) 등이 있다. 국내에서는 기상학적 가뭄연구를 위해 SPI나 PDSI를 많이 이용하였으며(장연구 등, 2006; 김광섭과 이준원, 2011; 이주현 등, 2012), 최근에는 기존 기상학적 가뭄지수를 개선한 SPEI나 SC-PDSI를 활용하여 가뭄을 평가하였다(김병식 등, 2012; 강신욱과 문장원, 2014; 이보람 등, 2015).

수문학적 변수를 활용한 가뭄지수

하천유량, 토양수분, 지하수 등 수문학적 변수가 가뭄에 미치는 영향은 물리적으로 기상학적 변수보다 지연되는 특징이 있으며, 수문학적 가뭄지수는 가뭄평가나 분석에서 이러한 특징들이 잘 반영될 수

있도록 해야 한다. 수문학적 변수를 사용하는 대표적인 가뭄지수에는 하천유량, 토양수분, 증발산량, 강수 등을 활용하는 PHDI(Palmer Hydrological Drought Index; Palmer, 1965)가 있으며, SWSI(Surface Water Supply Index; Shafer and Dezman, 1982)는 강설에 대한 인자까지 반영한 가뭄지수이다. MDI(Soil Moisture Drought Index; Hollinger et al., 1993)는 토양수분에 초점을 맞춘 가뭄지수이며, RDSI(Regional Streamflow Drought Index; Stahl, 2001)은 동일지역에 대한 하천유량 부족분을 이용하는 가뭄지수이다.

국내에서는 권형중 등(2006)은 SWSI를 국내에 적합하도록 개선하여 강설인자 대신 지하수인자를 반영한 MSWSI(Modified SWSI)를 제안하였으며, 서형덕 등(2008)은 MSWSI를 이용하여 가뭄대비 저수지 최적운영방안을 연구하였다. 이보람 등(2015)은 수문학적 가뭄평가를 위해 하천유량을 이용하는 가뭄지수인 SDI(Streamflow Drought Index)를 이용하였다.

농업적 변수를 활용한 가뭄지수

농업적 변수를 활용한 가뭄지수는 수문학적 변수와 동일하나 대부분의 가뭄지수가 토양수분에 초점을 맞추는 특징이 있으며, PDSI 등과 같은 수문학적 가뭄지수도 농업적 가뭄지수로 활용되기도 한다. 농업적 변수를 활용하는 대표적인 가뭄지수는 1~2m의 토양깊이에 대한 수분량을 고려하는 RSM(Thorntwaite and Mather, 1955)와 CMI(Crop Moisture Index; Palmer, 1968)가 있으며, CSDI(Crop Specific Drought Index; Meyer et al., 1993)은 옥수수나 콩 등 특정작물의 물부족을 분석하기 위한 가뭄지수이다. DTx(Matera et al., 2007)은 물부족량을 계산하기 위한 물균형모델을 구축하고 그 결과를 이용하는 가뭄지수이다. 특히 농업적 가뭄지수에는 remote-sensing 센서를 통한 식생지수, 토양습윤, 농업성장발육 등의 결과를 이용한 가뭄지수가 많이 연구되었으며, 가장 대표적인

지수는 NDVI(Normalized Difference Vegetation Index; Tucker, 1979)이다. VCI(Vegetation Condition Index, Kogan, 1990)은 NDVI를 이용하여 가뭄지수를 산정하며, TCI(Temperature Condition Index; Kogan, 1995)는 NDVI 대신 밝기 온도를 이용하여 가뭄지수를 산정한다. NDWI(Normalized Difference Water Index; Gao, 1996)은 근적외선(near infrared)과 단파적외선(short wave infrared)을 기반으로 산정된 작물의 물부족량을 이용하여 가뭄지수를 산정한다.

국내에서는 안소라 등(2009)은 농업적 가뭄을 평가하기 위해 SWSI를 개선하여 농업용 저수지저류량과 유입량인자 및 강수인자를 반영한 ASWSI(Agricultural SWSI)를 제안하였으며, 남원호 등(2013)은 저수지저수량과 필요수량 등의 물균형에 기반한 RDI(Reservoir Drought Index)를 이용하여 농업적 가뭄의 위험도를 평가하였다. 특히 Remote sensing의 NDVI를 기반으로 한 농업적 가뭄지수에 대한 연구들이 다수 진행되었다(신사철과 김철준, 2003; 김광섭과 박한균, 2009; 박근애 등; 2010).

3.2 결합 가뭄지수

기존 포괄적 가뭄지수에 포함되는 가뭄지수들은 대부분 특정 목적이나 적용 대상에 국한되는 한계점이 존재한다. 이에 따라 목적, 적용지역, 적용대상에 한정되지 않고 다양하게 효과적으로 적용할 수 있는 가뭄지수에 대한 연구가 진행되고 있다. 결합 가뭄지수들을 살펴보면, VegDRI(Vegetation Drought Response Index; Brown et al., 2008)는 농업적 가뭄지수에 가까우나 식의 구성이 SPI와 PDSI를 결합한 형태로 되어 있으며, HDI(Hydrological Drought Index; karamouz et al., 2009)는 수문학적 가뭄지수에 포함되나 SPI, SWSI, PDSI의 지수값에 가중치를 주어 결합하는 형태의 가뭄지수이다. MSDI(Multivariate Standardized Drought

Index; Hao and AghaKouchak, 2013)는 결합분포함수를 이용하여 기상학적 가뭄과 농업적 가뭄을 같이 나타낼 수 있는 지수이다.

국내에서는 Copula 함수를 기반으로 한 가뭄지수의 결합 연구가 다수 진행되었다. 김상단 등(2012), 류정수 등(2012)은 Copula 함수 기반으로 기간별 SPI를 결합한 JDI(Joint Drought Index)를 제안하였으며, 소재민 등(2014)은 Copula 함수 기반으로 SPI와 SSI(Standardized Soil moisture Index)를 결합하였다.

3.3 Remote sensing 기반 가뭄지수

최근 remote-sensing에 대한 관심이 높아지고 해상도가 높아지고 노이즈 제거 기능이 개선되는 등의 센서와 알고리즘의 발전으로 가뭄평가와 분석에 많이 활용되고 있다. 과거 remote-sensing의 근거리 적외선, 단파적외선, 지표면 온도 등을 이용한 가뭄지수도 많이 이용되나 NDVI는 식생에 대한 정보들을 제공하므로 앞서 살펴본 바와 같이 농업적 가뭄지수에 많이 활용되고 있다.

3.4 새로운 가뭄지수의 개발

가뭄에 대한 모니터링을 기반으로 평가와 분석, 더 나아가 전망까지하는 다양한 연구가 진행되고 있으며, 이러한 연구의 기본은 어떠한 가뭄지수를 사용하느냐도 중요한 비중을 차지하고 있다. 특히 기존보다 더 향상된 가뭄분석을 위해 가뭄지수를 새롭게 개발하는 연구도 활발하게 진행되고 있다.

이에 대한 연구들을 국내 중심으로 살펴보면, 안국현과 김영오(2010)는 유역에서 사용 가능한 물의 양을 판단하여 가뭄지수를 산정할 수 있는 WAI(Water Ability Index)를 개발하였으며, 박민지 등(2011)은 기존 가뭄지수의 한계점인 취수원, 저수지, 댐 등 수리시설물의 공급 또는 가용능력을 반영하지 못하는 점을 개선한 수문학적 가뭄지

수인 WADI(Water Availability Drought Index)를 제시하였다. 성장현과 정은성(2014)은 수문학적 가뭄의 시작과 끝을 판단함에 장점이 있는 임계수준 방법을 이용하여 하천수의 가뭄을 평가하는 방법을 개발하였으며, 박예준 등(2014)은 가뭄지수를 이용하여 미리 정의된 기준값으로 인한 가뭄해석의 불확실성을 줄이고 유출량 자료의 특성을 재현하기 위해 HMM(Hidden Markov Model)에 기반한 HMDI(Hidden Markov Drought Index)를 제안하였다.

4. 결론

본 기사에서는 가뭄형태와 특징에 대해 살펴보고, 전세계적으로 활용되는 가뭄지수를 포괄적 가뭄지수, 결합 가뭄지수, remote-sensing 기반 가뭄지수로 분류하고, 각 가뭄지수의 특징들을 살펴보았다. 가뭄에 대한 관리와 대응을 잘 하기 위해서는 가뭄발생의 원인을 분석하고 가뭄지수를 이용하여 가뭄진행 정도를 파악하여야 한다. 특히 어떠한 가뭄지수를 이용하였는가에 따라 다양한 결과를 얻을 수 있기 때문에 가뭄지수의 사용은 매우 신중하게 판단하여야 한다.

이에 따라 본 기사에서 살펴본 다양한 가뭄지수들의 특징이 가뭄지수의 사용에 있어서 판단할 수 있는 기초자료가 될 것으로 사료된다. 향후 보다 정확하게 가뭄현상을 나타낼 수 있는 가뭄지수의 개발도 중요하지만 기존 가뭄지수를 적절하게 제대로 활용하는 것도 중요하다. 즉, 가뭄원인과 특징에 따라 이용할 수 있는 가뭄지수를 제시할 수 있는 가이드라인 작성이 필요하다. 또한 앞으로 가뭄이 발생할 것인지 또는 어떻게 진행될 것인지에 대한 가뭄전망에 대한 연구도 꾸준히 연구되어야 할 것이다.

표 1. Characteristic of drought indices (Zargar et al., 2011)

Index	Type*	Related variable**	Description
SPI	M	P	강수누적기간에 따라 가뭄특징들을 살펴볼 수 있음. SPI은 단기간 토양수분, SPI3은 계절적 강수영향을 파악할 수 있음.
PDSI	M	P, T, S, E	포괄적 가뭄지수이며, 다양한 수문기상학적 가뭄현상의 모니터링 기능하나 토양수분이나 증발산량에 민감함.
PMDI	I-M	P, T, R, S, E	PDSI를 개선한 방법으로 가뭄의 기간(시작과 끝)을 알 수 있으며, 실시간 가뭄모니터링이 가능함
EDI	M	P	시간에 따른 누적 일단위 강수감소값을 이용하여 가뭄지수 산정
SPEI	I-M	P, T, E	기존 SPI를 개선한 지수로서 기온과 증발산량을 고려한 가뭄지수
PHDI	I-H	P, T, R, S, E	PDSI의 강수와 온도결과를 이용하여 기상학적·수문학적 가뭄평가 가능
SWSI	H	P, R, Re, S	기존 가뭄지수에서 고려하지 못하던 강설인자의 고려 가능
MSWSI	I-H	P, R, Re, UW	SWSI를 우리나라에 적합하도록 강설인자 대신 지하수인자를 고려함
CMI	A	P, T	물수지모형에서 강수와 온도자료를 이용하여 토양수분 부족량을 산정
VegDRI	C	P, T, E, NDVI, S	SPI와 PDSI를 결합한 형태로서 고해상도의 RS자료를 기반으로 넓은 지역의 가뭄을 실시간 모니터링 가능
HDI	C	P, R, Re, S, T, E	SPI, PDSI, SWSI의 지수값에 가중치를 주어 결합한 형태로 기상학적·수문학적 가뭄에 적용 가능
VCI	RS	NDVI	NDVI를 이용하여 간단하게 지수를 주/월단위로 산정 가능
NDWI	RS	Ni, SWI	근적외선과 단파 적외선 자료를 기반으로 한 식생지수를 이용하여 가뭄지수 산정
WAI	N-H	Re, R, UW	유역에서 하천유량, 댐 저류량과 유입량, 지하수 등의 가용한 물의 양을 판단하여 가뭄지수 산정
WADI	N-H	Re, R, UW 등	기존 용수공급이 가능한 수리시설물의 수자원 양을 지수화하여 가뭄지수로 산정

* M: Meteorological, A: Agricultural, H: Hydrological, C: Combined, RS: Remote-Sensing, I-: Improved, N-:New

** P: Precipitation, T: Temperature, S: Soil moisture, R: Runoff, E: Evapotranspiration, Ni: Near Infrared, SWI: Short Wave Infrared, Re: Reservoir storage or inflow, S: Snowpack, UW: Underground Water



참고문헌

- 강신욱, 문장원 (2014). “SC-PDSI를 이용한 북한지역 가뭄분석 및 가뭄심도-지속기간-생기빈도 곡선의 유도.” 한국수자원학회논문집, 47(9), pp. 813-824.
- 권형중, 박현진, 홍대의, 김성준 (2006). “SWSI 가뭄지수를 보완한 준분포형 수문학적 가뭄평가 연구.” 한국수자원학회논문집, 39(8), pp. 645-658.
- 김광섭, 박한균 (2009). “위성영상 자료를 이용한 고해상도 가뭄지수 산정모형 개발.” 한국수자원학회 학술대회논문집, pp. 1607-1611.
- 김광섭, 이준원 (2011). “관측자료를 이용한 가뭄지수의 평가.” 한국수자원학회논문집, 44(8), pp. 639-652.
- 김병식, 성장현, 강현석, 조천오 (2012). “표준강수 증발산지수(SPEI)를 이용한 남한지역의 가뭄심도 평가.” 한국수자원학회논문집, 45(9), pp. 887-900.
- 김상단, 류정수, 오국열, 정상만 (2012). “종합적인 가뭄상황판단을 위한 Copulas 기반의 결합가뭄지수의 적용.” 한국방재학회논문집, 12(1), pp. 223-230.
- 남원호, 최진용, 장민원, 홍은미 (2013). “저수지 가뭄지수를 활용한 농업가뭄 위험도 평가.” 한국농공학회논문집, 55(3), pp. 41-49.
- 류정수, 안재현, 김상단 (2012). “Copulas 기반의 결합가뭄지수를 이용한 가뭄심도-영향면적-지속기간 곡선의 적용.” 한국수자원학회논문집, 45(10), pp. 1043-1050.
- 박근애, 홍우용, 정인균, 이미선, 김성준 (2010). “SWAT모형과 MODIS위성영상을 이용한 소양강댐 유역의 토양수분 평가.” 한국수자원학회 학술대회논문집, pp. 1466-1470.
- 박민지, 신형진, 최영돈, 박재영, 김성준 (2011). “수자원 가용능력을 고려한 수문학적 가뭄지수의 개발.” 한국농공학회논문집, 53(6), pp. 165-170.
- 박예준, 유지영, 권현한, 김태웅 (2014). “은닉 마코프 모형을 이용한 한강유역 수문학적 가뭄의 확률론적 평가.” 한국수자원학회논문집, 47(5), pp. 435-446.
- 서형덕, 정상만, 김성준, 이주현 (2008). “수문학적 가뭄지수와 가상가뭄훈련에 의한 저수지의 최적 물 공급 방안 연구.” 한국수자원학회논문집, 41(10), pp. 1045-1058.
- 성장현, 정은성 (2014). “임계수준 방법을 이용한 하천수 가뭄지수의 적용.” 한국수자원학회논문집, 47(5), pp. 491-500.
- 소재민, 손경환, 배덕효 (2014). “Copula 함수 기반의 이변량 결합가뭄지수 산정 및 평가.” 한국수자원학회논문집, 47(2), pp. 171-182.
- 신사철, 김철준 (2003). “우리나라에서의 가뭄 발생 지역 판별을 위한 식생지수(NDVI)의 적용성에 관한 연구.” 한국수자원학회논문집, 36(5), pp. 839-849.
- 안국현, 김영오 (2010). “국내 가뭄지수의 개선과 전망기법의 개발에 관한 연구.” 한국수자원학회 학술대회논문집, pp. 6-12.
- 안소라, 박종윤, 정인균, 나상진, 김성준 (2009). “SWSI에 기반한 금강권역 농업용 저수지의 수문학적 가뭄평가.” 한국농공학회논문집, 51(5), pp. 35-49.
- 이보람, 성장현, 정은성 (2015). “기상학적 가뭄지수와 수문학적 가뭄지수의 비교.” 한국수자원학회논문집, 48(1), pp. 69-78.
- 이주현, 서지원, 김창주 (2012). “가뭄지수를 활용한 한반도 가뭄의 경향성, 주기성 및 발생빈도 분석.” 한국수자원학회논문집, 45(1), pp. 75-89.
- 장연규, 김상단, 최계운 (2006). “SPI 가뭄지수의 EOF 분석을 이용한 가뭄의 시공간적 특성 연구.” 한국수자원학회논문집, 39(8), pp. 691-702.

- Bhalme, H. N., and Mooley, D. A. (1980). "Large-scale drought / floods and monsoon circulation." *Monthly Weather Review*, 108(8), pp. 1197–1211.
- Byun, H. R., and Wilhite, D. A. (1999). "Objective quantification of drought severity and duration." *Journal of Climate*, 12(9), pp. 2747–2756.
- Gao, B. C. (1996). "NDWI—A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space." *Remote Sensing of Environment*, 58(3), pp. 257–266.
- Gommes, R. A., and Petrassi, F. (1994). *Rainfall variability and drought in sub-Saharan Africa since 1960*. Rome, Italy. pp. 100.
- Gonzalez, J. and Valdes, J. (2006). "New drought frequency index: Definition and comparative performance analysis." *Water Resource Research*, 42(11), W11421, doi:10.1029/2005WR004308.
- Hao, Z., and AghaKouchak, A. (2013). "Multivariate standardized drought Index: A parametric multi-index model." *Advances in Water Resources*, 57, pp. 12–18.
- Hayes, M. J. (2006). *Drought indices*. National Drought Mitigation Center.
- Hollinger, S. E., S. A. Isard, and Welford, M. R. (1993). "A new soil moisture drought index for predicting crop yields." Preprints, Eighth Conference on Applied Climatology, Anaheim, CA, American Meteorological Society, pp. 187–190.
- Kogan, F. N. (1990). "Remote sensing of weather impacts on vegetation in non-homogeneous areas." *International Journal of Remote Sensing*, 11(8), pp. 1405–1419.
- Kogan, F. N. (1995). "Application of vegetation index and brightness temperature for drought detection." *Advances in Space Research*, 15(11), pp. 91–100.
- Matera, A., Fontana, G., and Marletto, V. (2007). Use of a new agricultural drought index within a regional drought observatory. In *Methods and Tools for Drought Analysis and Management*. Edited by G. Rossi. Springer, Dordrecht, The Netherlands. pp. 103–124.
- McKee, T. B., Doesken, N. J., and Kleist, J. (1993). "The relationship of drought frequency and duration to time scales." In *Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology*, Anaheim, California, pp. 17–22. January 1993. American Meteorological Society.
- Meyer, S. J., Hubbard, K. G., and Wilhite, D. A. (1993). "A crop-specific drought index for corn. I: Model development and validation." *Agronomy Journal*, 85(2), pp. 388–395.
- NDMC. (2006). *What is drought? Understanding and Defining Drought*. National Climatic Data Center.
- Niemeyer, S. (2008). "New drought indices." *Options Mediterraneennes. Serie A: Seminaires Mediterraneens*, 80, pp. 267–274.
- Palmer, W. C. (1965). "Meteorological drought." *Weather Bureau Research Paper No. 45*, US Department of Commerce, Washington, DC. pp. 58.
- Palmer, W. C. (1968). "Keeping track of crop moisture conditions, nationwide: The new



crop moisture index." *Weatherwise*, 21(4), pp. 156–161.

Shafer, B., and Dezman, L. (1982). "Development of a Surface Water Supply Index (SWSI) to assess the severity of drought conditions in snowpack runoff areas." *Proceedings of the Western Snow Conference*, pp. 164–175.

Stahl, K. (2001). *Hydrological drought – A study across Europe*. Universitätsbibliothek Freiburg.

Thornthwaite, C. W., and Mather, J. R. (1955). "The water balance." *Climatology*, 8, pp. 1–104.

Tsakiris, G., and Vangelis, H. (2005). "Establishing a drought index incorporating evapotranspiration." *European Water*, 9(10), pp. 3–11.

Tsakiris, G., Loukas, A., Pangalou, D., Vangelis, H., Tigkas, D., Rossi, G., and Cancelliere, A. (2007). *Drought characterization*. Chapter 7. *Options Mediterraneennes*, 58, pp. 85–102.

Tucker, C. J. (1979). "Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation." *Remote Sensing of Environment*, 8(2), pp. 127–150.

Van-Rooy, M.P. 1965. "A rainfall anomaly index (RAI) independent of time and space." *Notos*, 14, pp. 43–48.

Wells, N., Goddard, S., and Hayes, M. J. (2004). "A self-calibrating Palmer drought severity index." *Journal of Climate*, 17, pp. 2335–2351.

Wilhite, D.A. and Glantz, M. (1985). "Understanding the drought phenomenon: The role of definitions." *Water International*, 10(3), pp. 111–120.

Wu, H., Soh, L. K., Samal, A., Hong, T., Marx, D., Chen, X. (2009). "Upstream-downstream relationships in terms of annual streamflow discharges and drought events in Nebraska." *Journal of Water Resources and Protection*, 1, pp. 299–315.

Zargar, A., Sadiq, R., Naser, B., and Khan, F. I. (2011). "A review of drought indices." *Environmental Reviews*, 19, pp. 333–349.
