



water



Makale

Litvanya'da Hidrolojik Kuraklık Riskinin Değerlendirilmesi

Serhii Nazarenko, Diana Šarauskienė, Viktor Putrenko ve Jūratė Kriauciūnienė



<https://doi.org/10.3390/w15152830>

Makale

Litvanya'da Hidrolojik Kuraklık Riskinin Değerlendirilmesi

Serhii Nazarenko ^{1,*}, Diana Šarauskienė ¹, Viktor Putrenko ⁽²⁾ ve Juozas Kriaučiūnienė ¹

¹ Hidroloji Laboratuvarı, Litvanya Enerji Enstitüsü, 44403 Kaunas, Litvanya

² Enerjide Dijital Teknolojiler Bölümü, Nükleer ve Termal Enerji Enstitüsü, 03056 Kiev, Ukrayna

* Yazışmalar: serhii.nazarenko@lei.lt

Özet: Hidrolojik kuraklık, iklim değişikliği ve artan su talebiyle daha da kötüleşen, su kıtlığına, çevresel bozulmaya ve sosyoekonomik etkilere yol açan önemli bir küresel sorun teşkil etmektedir. Bu nedenle, hidrolojik kuraklıkları değerlendirmek ve tahmin etmek için kapsamlı yöntemlere ihtiyaç vardır. Metodoloji kısmı, her bir değişkenin eşit ağırlık ölçeğine göre hidrolojik kuraklık risk bileşenlerinin - tehlike ve kırılganlık- hesaplanmasına dayanmaktadır. Nokta değerlerinin mekânsal dağılımı ters mesafe ağırlıklandırma enterpolasyon yöntemi ile gerçekleştirilmiştir. Endeksleri hesaplamak için, değişkenlerin mekânsal katman örtüşmesi Raster Hesaplayıcı aracı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Nehir havzalarındaki kuraklık riskini tahmin etmek için istatistiksel araçlar kullanılmıştır. Sonuç olarak üç ana harita hazırlanmıştır: Hidrolojik kuraklık tehlike endeksi, hidrolojik kuraklık kırılganlık endeksi ve hidrolojik kuraklık riski. Bu haritalar kuraklık tehlikesi, kırılganlık ve riskteki bölgesel farklılıkları vurgulamaktadır. Tehlike ve risk endeksi değerleri Litvanya'nın kuzeyinde daha yüksek, güneyinde ise daha düşüktür. Orta bölge yüksek ve çok yüksek risk altındaki alanların en yüksek yüzdesini sergilemektedir; batı bölgesi deniz iklimi nedeniyle daha az risk göstermektedir; ve Güneydoğu bölgesi fiziksel-coğrafi faktörler nedeniyle hidrolojik kuraklığa karşı en düşük duyarlılığı göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: hidrolojik kuraklık; alçak arazi nehirleri; risk değerlendirmesi; tehlike; kırılganlık; coğrafi uzamsal analiz



Atıf: Nazarenko, S.; Šarauskienė, D.; Putrenko, V.; Kriaučiūnienė, J. Litvanya'da Hidrolojik Kuraklık Riskinin Değerlendirilmesi. *Su* **2023**, *15*, 2830. <https://doi.org/10.3390/w15152830>

Akademik Editör: Luis Gimeno

Alındı: 26 Haziran 2023

Revize: 26 Temmuz 2023

Kabul edildi: 3 Ağustos 2023

Yayınlanma Tarihi: 4 Ağustos 2023



Telif hakkı: © 2023 yazarlar tarafından. Lisans sahibi MDPI, Basel, İsviçre. Bu makale Creative Commons Attribution (CC BY) lisansının hüküm ve koşulları altında dağıtılan açık erişimli bir makaledir (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

1. Giriş

Kuraklık, modern dünyada acil bir sorundur. Bu fenomen yaygın olarak bilinmektedir çünkü dünya çapında herhangi bir iklim bölgesinde meydana gelebilir [1-4]. Büyük ölçüde insanlar tarafından tetiklenen iklim değişikliği, kuraklık da dahil olmak üzere aşırı hava olaylarının sıklığında ve şiddetinde artışa katkıda bulunmaktadır [4-7]. Nüfus artışı nedeniyle, su talebi ve açığı önemli ölçüde artmaktadır [7,8] ve kuraklık uzun zamandır insanlıkla birlikte olmasına rağmen, kuraklıkları değerlendirmek ve tahmin etmek için hala gerekli yöntemlerin eksikliği vardır [3].

Genel olarak dört tür kuraklık ayırt edilir: Meteorolojik, tarımsal, hidrolojik ve sosyoekonomik. İlk üç tür kuraklık genellikle basamaklı bir etkiye sahiptir, çünkü yağış eksikliği toprak neminin azalmasına ve ardından yüzey akışının azalmasına neden olur [9]. Son yıllarda, kuraklık değerlendirmesi için istatistiksel analizlerden sofistike modelleme yaklaşımlarına kadar çeşitli yöntem ve tekniklerin geliştirilmesi ve uygulanmasına yönelik artan bir ilgi vardır. Bu tekniklerden bazıları belirli kuraklık türleri için oluşturulmuştur (tarımsal kuraklık için kullanılan toprak nem açığı indeksi [10] veya hidrolojik kuraklık için kullanılan standartlaştırılmış akış indeksi [11] gibi). Bazıları ise evrenselidir (standartlaştırılmış yağış indeksi (SPI) [12] veya Palmer kuraklık şiddeti indeksi [13] gibi).

Ancak, gelecekte kuraklığın etkisini en aza indirmek için sadece kuraklık olaylarını tespit edebilmek değil, aynı zamanda bunların nedenlerini ve bölgelerin kuraklığa karşı kırılganlığını anlamak da çok önemlidir. Stratejik kalkınma planlarında kuraklık sorununun göz ardı edilmesi yıkıcı sonuçlar doğurabilir ve su kıtlığına, gıda güvensizliğine ve

ekonomik kayıplar. Tek bir kuraklıktan kaynaklanan ekonomik kayıplar birkaç milyar avroya ulaşabilir [14].

Diğer doğal tehlikelerin aksine, kuraklık aniden ortaya çıkmaz (genellikle "sürünen fenomen" olarak adlandırılır) ve uzun bir süre boyunca geniş alanları kapsayabilir. Bu nedenle, bu yavaş başlangıç ve büyüme, kuraklık olaylarının baskısına dayanmaya hazırlanmak için büyük bir fırsat verir [3,15]. Hedeflenen risk azaltma ve adaptasyon yoluyla kuraklığın doğrudan ve dolaylı sosyal, çevresel ve ekonomik etkilerinin azaltılması küresel bir öncelik haline gelmektedir [16]. Birleşmiş Milletler Uluslararası Afet Azaltma Stratejisi Sekreterliği'ne [17] göre kuraklık riski, doğal tehlike ile bir toplumun veya ülkenin insani, sosyal, ekonomik ve çevresel zarar görebilirliğinin birleşimidir ve riskin yönetilmesi, bu iki bileşenin ve ilgili faktörlerin zaman ve mekan içinde anlaşılmasını gerektirir. Kuraklık tehlikesi bileşeni genellikle çalışılan alanda meydana gelen geçmiş kuraklıkların değerlendirilmesinden oluşur ve SPI, akış kuraklık indeksi (SDI), bitki örtüsü durum indeksleri gibi indeksleri veya belirli kriterlere dayalı bir kuraklık analizini içerebilir [18-20]. Kuraklık hassasiyeti bileşeni nispeten öznedir ve belirli bir olayın sistem üzerindeki etki derecesini gösterir [21]. Kuraklıktan etkilenebilirlik, toplam gayrisafi yurtiçi hasıla (GSYİH), sulanan araziler, tarım arazileri, hayvancılık yoğunluğu, nüfus yoğunluğu, altyapıya yakınlık, şebeke suyu ve diğer faktörlerin (çalışmanın hedeflerine ve araştırma alanına bağlı olarak) analizini içerebilir [18-20,22]. Hem iklim sistemindeki hem de sosyoekonomik süreçlerdeki değişiklikler, riski oluşturan temel bileşenlerin (kırılganlık, maruziyet ve tehlikeler) temel itici güçleridir [23].

Genel olarak, çeşitli yöntem ve tekniklerin geliştirilmesi ve uygulanması, kuraklıkların ve bunların su kaynakları üzerindeki etkilerinin daha iyi anlaşılmasının yanı sıra etkili kuraklık yönetimi ve adaptasyon stratejilerinin geliştirilmesi için kritik öneme sahiptir. Bununla birlikte, kuraklığa adaptasyon veya direncin artırılması, bölgenin hassasiyetinin önceden analiz edilmesine dayanmalıdır [18].

[16] tarafından yapılan mevcut kuraklık riski değerlendirmelerinin sistematik bir literatür taraması, çoğu çalışmanın nicel veya karma yöntem yaklaşımlarını uyguladığını, nitel yaklaşımların ise nispeten nadir olduğunu ortaya koymuştur. Aynı inceleme, değerlendirme metodolojisi açısından, çalışmaların yarısından fazlasının indeks tabanlı yaklaşımlar uyguladığını ortaya koymuştur. Yaklaşım seçimi, değerlendirmenin ölçeğine ve kapsamına bağlıdır.

Carrão ve arkadaşları [24] tarafından birden fazla bölgeyi, nüfus grubunu ve ekonomik sektörü kapsayan küresel bir kuraklık risk haritasının oluşturulması, kuraklığa hazırlığı geliştirmek ve uygun kuraklık yönetimi politikalarını güçlendirmek için yerel risk değerlendirmelerinin nerede yapılması gerektiğini belirlemeye yönelik bu tür ilk girişimlerden biriydi. Bu küresel değerlendirme, uzak bölgelerde (tundralar ve tropikal ormanlar gibi) kuraklık riskinin daha düşük olduğunu ve Güney-Orta Asya, Güney Amerika'nın Güneydoğusu, Orta Avrupa ve Amerika Birleşik Devletleri'nin Güneydoğusu gibi bitkisel üretim ve hayvancılık için yoğun olarak kullanılan nüfuslu bölgelerde riskin daha yüksek olduğunu ortaya koymuştur. Pan-Avrupa ölçeğinde yapılan bir çalışmada, genel olarak güneydoğu Avrupa ve kuzey Avrupa'nın (İzlanda, Norveç ve Finlandiya) diğer Avrupa bölgelerine kıyasla düşük kuraklık riski altında olduğu, deniz Avrupa'sının bazı bölümleri ve batı Akdeniz'in ise artan kuraklık riski gösterdiği tespit edilmiştir [25]. Bu arada, daha küçük ölçekli çalışmalar, tek tek ülkelerin bölgelerindeki kuraklık riski bölgelerini tanımlamaktadır. Örneğin, Türkiye'de yapılan bir analiz, 81 il içinde orta ve yüksek kuraklık riski taşıyan yedi idari ili ortaya çıkarmıştır [20]. Kuraklığa en çok maruz kalan il, geniş tarımsal ve sulanan arazilerle karakterize edilmiştir. İran'daki değerlendirme de arazi kullanımının kuraklık riskini azaltmadaki benzersiz rolünü ve ikisi arasındaki yakın ilişkiyi vurgulamıştır [26]. Oluşturulan risk haritası, İran'ın orta kesimi, kuzeydoğu, güneydoğu ve batı bölgelerinin yüksek riskli kuraklık sınıfına girdiğini ve kuraklık riskinin İran'ın merkezinden güneybatı ve kuzeybatıya doğru azaldığını göstermiştir. Malezya Yarımadası bölgeleri için kuraklık riski göstergelerinin zamansal ve mekansal örüntüleri, orta derecede kuraklık riski taşıyan iki ilçe ve 42 ilçeden düşük hidrolojik kuraklık riski taşıyan 35 ilçenin yanı sıra kurak koşullara doğru bir eğilim olduğunu ortaya koymuştur [19]. Genellikle, kuraklık riskine ilişkin değerlendirmeler

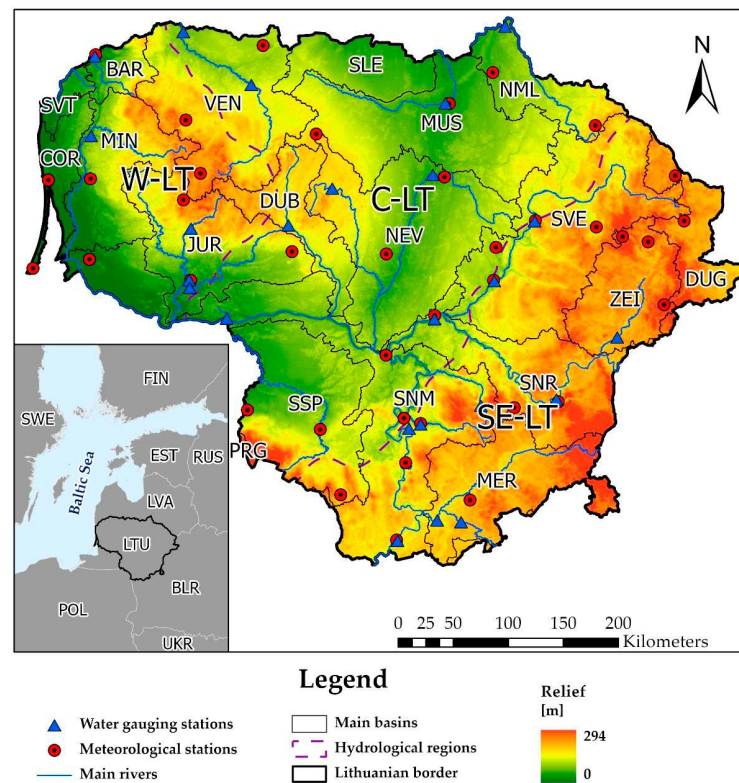
tek bir ülkede [27-29] veya birden fazla ülkede [18] seçilen çalışma bölgeleri veya seçilen nehir havzaları (özellikle hidrolojik kuraklık durumunda; [30,31]).

Son zamanlarda Litvanya'da kuraklığa yönelik çalışmaların sayısında bir artış olmasına rağmen [32-36], kuraklık riskini ve hidrolojik kuraklığa karşı duyarlılığı değerlendiren tek bir çalışma yapılmamıştır. Bu çalışma, hidrolojik kuraklık tehlikelerinin ve hassasiyetlerinin entegre bir değerlendirmesine dayalı bir harita oluşturarak indeks tabanlı bir yaklaşım kullanarak hidrolojik kuraklığın risk değerlendirmesini yapmayı amaçlamaktadır. Çalışma tamamen Litvanya nehir havzalarına odaklanmaktadır ve gelecekte kuraklığa daha dayanıklı sistemlerin şekillendirilmesine yardımcı olacaktır.

2. Materyaller ve Yöntemler

2.1. Çalışma Alanı ve Veriler

Toplam çalışma alanı 65.200 km² olup Litvanya'nın tüm topraklarına karşılık gelmektedir. Alan ovaya aittir ve sadece dört ana rölyef şeklini içerir: iki yayla (Žemaičiai yaylası ve Baltık yaylası) ve iki ova (Pajūris ovaları ve Orta Litvanya ovaları). Deniz seviyesinden maksimum yükseklik 294 m'ye ulaşır. Litvanya toprakları, Baltık Denizi'nin kıyı bölgelerindeki etkisiyle ılıman bir karasal iklime aittir ve bu da bir deniz iklimi şeridi oluşturur. Yağış miktarı 572 mm/y ile 856 mm/y arasında değişmektedir. Bu fizyografik koşullar Litvanya'da üç ana hidrolojik bölge oluşturur (Şekil 1): batı (W-LT), orta (C-LT) ve güneydoğu (SE-LT).



Şekil 1. Litvanya Haritası. Litvanya haritası (hidrolojik bölgeler, ana havzalar, WGS ve MS).

Litvanya küçük bir ülke olmasına rağmen, sınırları içerisinde toplam uzunluğu 37.000 km'yi aşan 22.000'den fazla nehir bulunmaktadır. Yaz döneminde nehir akışı C-LT bölgesinde $0.1 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s-km}^2$ ile SE-LT bölgesinde $4.7 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s-km}^2$ arasında değişmektedir. Nehri besleyen kaynaklar W-LT bölgesinde baskın yağıştan SE-LT bölgesinde yeraltı suyuna kadar değişmektedir.

Çalışma için, 1961-2020 dönemi için 24 su ölçüm istasyonundan (WGS) alınan hidrolojik veriler kullanılmıştır. Çalışma dönemi boyunca faaliyet gösteren 38 meteoroloji istasyonundan elde edilen veriler, Litvanya'daki yağış dağılımını araştırmak için kullanılmıştır. Günlük hidrolojik ve meteorolojik veri setleri Litvanya Hidromekanik Servisi'nden alınmıştır. Litvanya'nın genel analizi için, 19 ana Litvanya havzasından (Tablo 1) 1059 havza alınmıştır; bunlardan ikisi, birinin küçük alanı nedeniyle birleştirilmiştir (Šešupe nehir havzasına bağlı Prieglius nehir havzası). SRTM'nin 1 yay-saniye çözünürlüklü rasteri <https://earthexplorer.usgs.gov/> web sitesinden indirilmiştir (erişim tarihi 21 Nisan 2023). Arazi örtüsü, topraklar ve göller hakkındaki bilgiler <https://www.geoportal.lt/geoportal/> adresinden alınmıştır (22 Nisan 2023 tarihinde erişilmiştir).

Tablo 1. Nehir Havzaları Nehir havzalarının özellikleri ve kısaltmaları.

Hayır.	Havza	Kısaltma	A, km ²
Nemunas nehir bölgesi			
1.	Nemunas nehrinin küçük kolları (Nemunas nehri ile)	SNM	9294.3
2.	Merkys nehir havzası	MER	3781.0
3.	Neris nehrinin küçük kolları (ile Neris nehri)	SNR	4378.6
4.	Žeimena nehir havzası	ZEI	2792.7
5.	Šventoji nehir havzası	SVE	6800.7
6.	Nevežis nehir havzası	NEV	6143.8
7.	Dubysa nehir havzası	DUB	1972.6
8.	Jūra nehir havzası	JUR	3996.6
9.	Minija nehir havzası	MIN	2970.9
10.	Kıyı nehirleri havzası	COR	1100.0
11.	Šešupe nehir havzası	SSP	4899.0
12.	Prieglius nehir havzası	PRG	88.4
Lielupe nehir bölgesi			
13.	Muša nehir havzası	MUS	5296.7
14.	Nemune'lis nehir havzası	NML	1892.0
15.	Lielupe nehrinin küçük kolları	SLE	1749.6
Venta nehir bölgesi			
16.	Venta nehir havzası	VEN	5140.4
17.	Bartuva nehir havzası	BAR	747.7
18.	Šventoji nehir havzası	SVT	398.0
Dauguva nehir bölgesi			
19.	Dauguva nehir havzası	DUG	1857.0

Not: Küçük Prieglius nehir havzası hesaplama için Šešupe nehir havzasına katılmıştır. Birleşen havzalar renkli olarak vurgulanmıştır.

2.2. Yöntemler

2.2.1. Veri Hazırlama

Yukarıda da belirtildiği gibi, analiz için 24 WGS'den alınan günlük su deşarj verileri kullanılmıştır, ancak iki veri setinde ölçümler için eksik değerler bulunmaktadır. Bu boşluklar toplam veri serisi uzunluğunun %2'sini aşmadığından, eksik verilerin iki yaklaşım kullanılarak geri yüklenmesine karar verilmiştir.

Nehir üzerinde başka bir hidrolojik istasyon varsa, günlük deşarj verilerini geri yüklemek için aşağıdaki denklem kullanılmıştır:

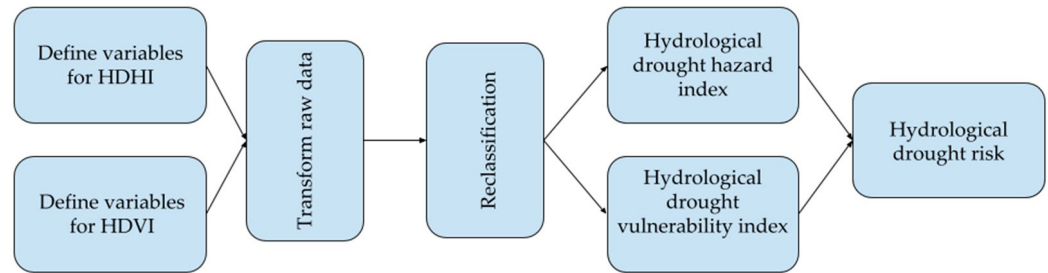
$$\alpha = \frac{\beta \times A_{\alpha}}{A_{\beta}} \quad (1)$$

Burada α ölçüm istasyonundaki bilinmeyen deşarj, β ilgili nehir üzerindeki komşu istasyondaki bilinen deşarj ve A her bir su ölçüm istasyonu için havza alanıdır.

Nehir üzerinde ikinci bir istasyon yoksa, büyüklük ve fizyografik özellikler bakımından benzer bir havza alanı seçilmesine karar verilmiştir. Bir sonraki adım, iki veri setini karşılaştırmak ve eksik verileri doldurmak için belirleme denklemini kullanmaktır.

2.2.2. Kuraklık Riski Hesaplaması

Hidrolojik kuraklık riskinin (HDR) analizi iki bileşen içerir: Kuraklık tehlikesi ve kuraklık hassasiyeti. Bu çalışma sadece su kütlelerine odaklanmıştır; bu nedenle sosyo-ekonomik göstergeler değerlendirmeye dahil edilmemiştir. Genel hesaplama süreci Şekil 2'de gösterilmektedir.



Şekil 2. Hidrolojik kuraklık riski hesaplamasının genel sürecinin şeması.

Böylece, hidrolojik kuraklık tehlike endeksi (HDHI) hidrolojik kuraklığı ve bunun iklime bağımlılığını değerlendirmek için dört değişken içermiştir:

- 5-16 gün süren hidrolojik kuraklıkların sayısı-WSD;
- 16'dan fazla gün süren hidrolojik kuraklıkların sayısı-WLD;
- Ortalama yağış-R;
- Nehir akışının yağışa bağımlılığı-RD.

Hidrolojik kuraklık kırılganlık indeksi (HDVI), nehir akışını etkileyen aşağıdaki fiziko-coğrafi değişkenlerden oluşmaktadır:

- Slope-S;
- Arazi kullanımı/arazi örtüsü türü-LULC;
- Toprakların morfolojik bileşimi-SL;
- Göl yoğunluğu-L.

Hidrolojik kuraklık riskini hesaplamak için kullanılan genel denklem aşağıdaki gibidir:

$$DR = ((WSD + WLD + R + RD)/4 + (S + LULC + SL + L)/4)/2, \quad (2)$$

Burada ilk kısım $(WSD + WLD + R + RD)/4$ kuraklık tehlike indeksini ve ikinci kısım $(S + LULC + SL + L)/4$ kuraklık hassasiyet indeksini temsil eder.

2.2.3. Mekânsal Analiz

Değişkenlerin mekânsal analizi ArcGIS 10.5 yazılımı (ESRI, Redlands, CA, ABD, Litvanya'da HNIT-BALTIC tarafından dağıtılmıştır) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Hidrolojik kuraklık tehlikesi bileşen indekslerinin değerleri, IDW (ters mesafe ağırlıklı enterpolasyon) aracı kullanılarak Litvanya topraklarının tamamındaki çalışma noktalarından enterpole edilmiştir. Kuraklık hassasiyeti bileşeninin mekansal katmanları da ArcGIS yazılımındaki Raster Hesaplayıcı aracı kullanılarak analiz edilmiş ve yeniden sınıflandırılmıştır. Her bir havza için ortalama değer Zonal Statistics as Table aracı ile hesaplanmıştır.

Hidrolojik kuraklık riski, tehlikesi ve zarar görebilirlik haritaları, Denklem (2)'ye dayalı olarak Alan Hesaplama aracı kullanılarak oluşturulmuştur. Havza alanlarının daha fazla analizi ve potansiyel olarak tehlikeli alanların hesaplanması da CBS araçları kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

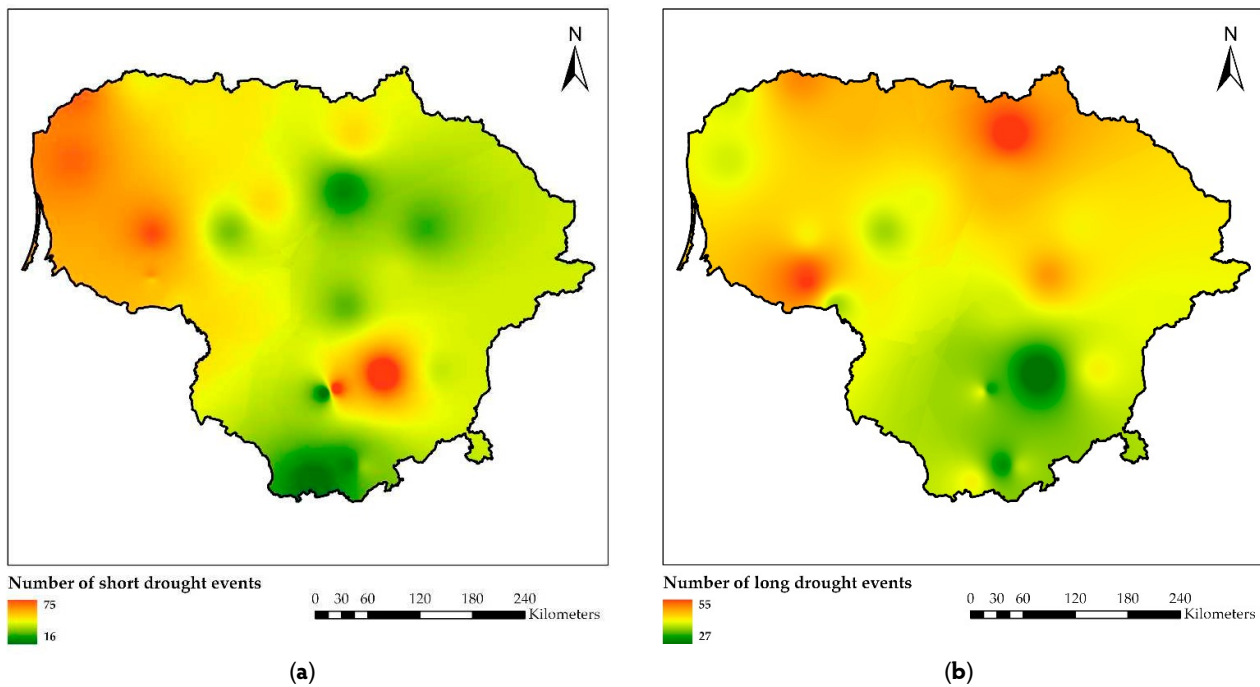
Tüm HDHI, HDVI ve HDR sınıfları doğal kırılma (Jenks) sınıflandırma yöntemine göre tanımlanmıştır.

2.2.4. Endeks Hesaplama Yöntemi

Hidrolojik Kuraklık Tehlikesi Bileşen Endeksleri

- 5-16 gün ve 16 günden fazla süren kuraklıkların sayısı.

Bu değişkenleri hesaplamak için eşik yöntemi kullanılmıştır. Q30 indeksi eşik değer olarak kullanılmış ve çalışma dönemi için Mayıs-Ekim ayları arasındaki en küçük 30 günlük sürekli deşarj değerinin ortalaması olarak hesaplanmıştır. Bir sonraki adım, günlük deşarj değerlerini eşik değerle karşılaştırarak hidrolojik kuraklığı belirlemektir. Minimum ve maksimum eşik değerler kuraklık süresi olasılık eğrisinden hesaplanmıştır. Eşik değer altındaki günlük deşarj değerleri (1-4 gün süreli) çok kısa oldukları için dikkate alınmamıştır. Kısa vadeli ve uzun vadeli hidrolojik kuraklıklar arasındaki eşik, olasılığın yaklaşık %20'sine (16 gün) eşitti. Altmış yıllık dönem boyunca 24 WGS için alınan sonuçlar enterpole edilmiş ve haritalar üzerinde gösterilmiştir (Şekil 3a,b).



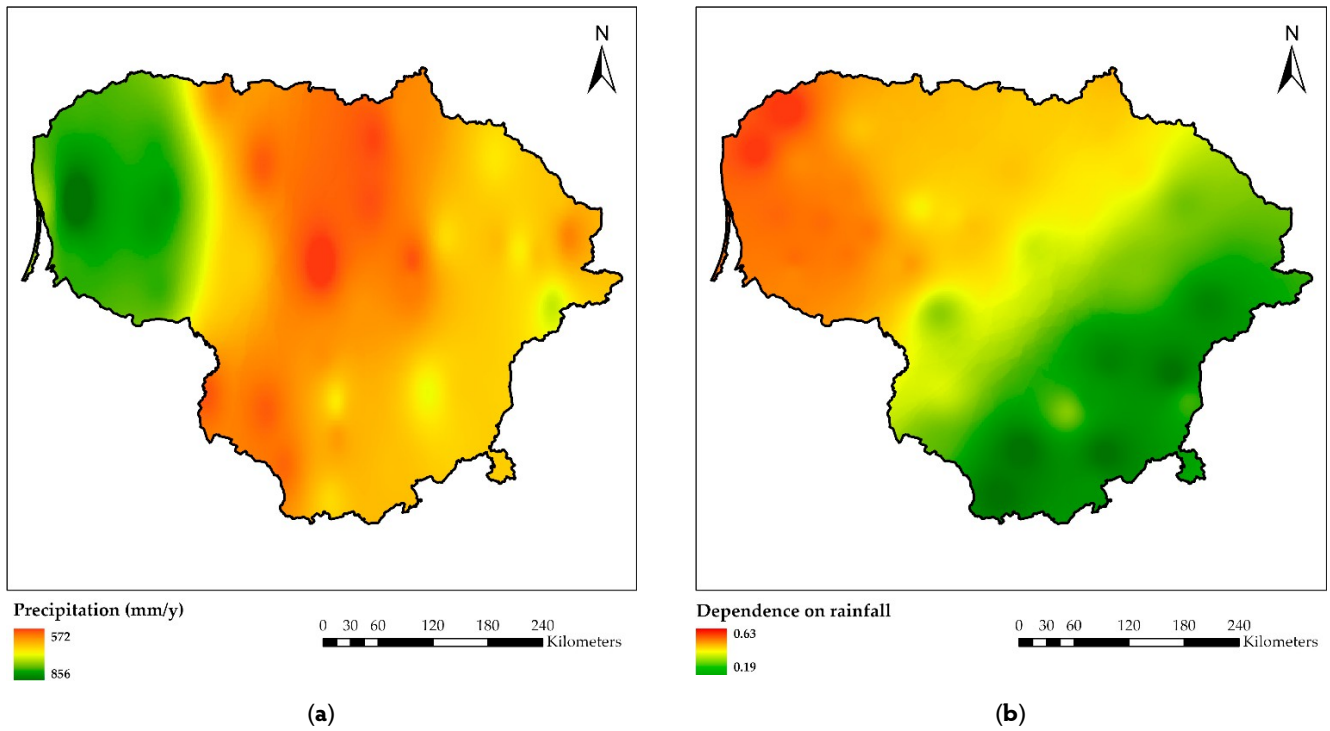
Şekil 3. Harita: (a) kısa kuraklık olaylarının sayısı; (b) uzun kuraklık olaylarının sayısı.

- Ortalama yağış miktarı.

Ortalama yağış değerlerini analiz etmek için 38 meteoroloji istasyonunun yıllık yağış verileri kullanılmıştır. Litvanya toprakları için enterpole edilmiş yağış değerlerinden oluşan ayrı bir raster her yıl için oluşturulmuştur. Son adım, 60 yıllık bir dönem boyunca ortalama değeri hesaplamak için raster hesaplayıcıyı kullanmaktır. Nihai harita Şekil 4a'da gösterilmektedir.

- Yağış rejiminin etkisi.

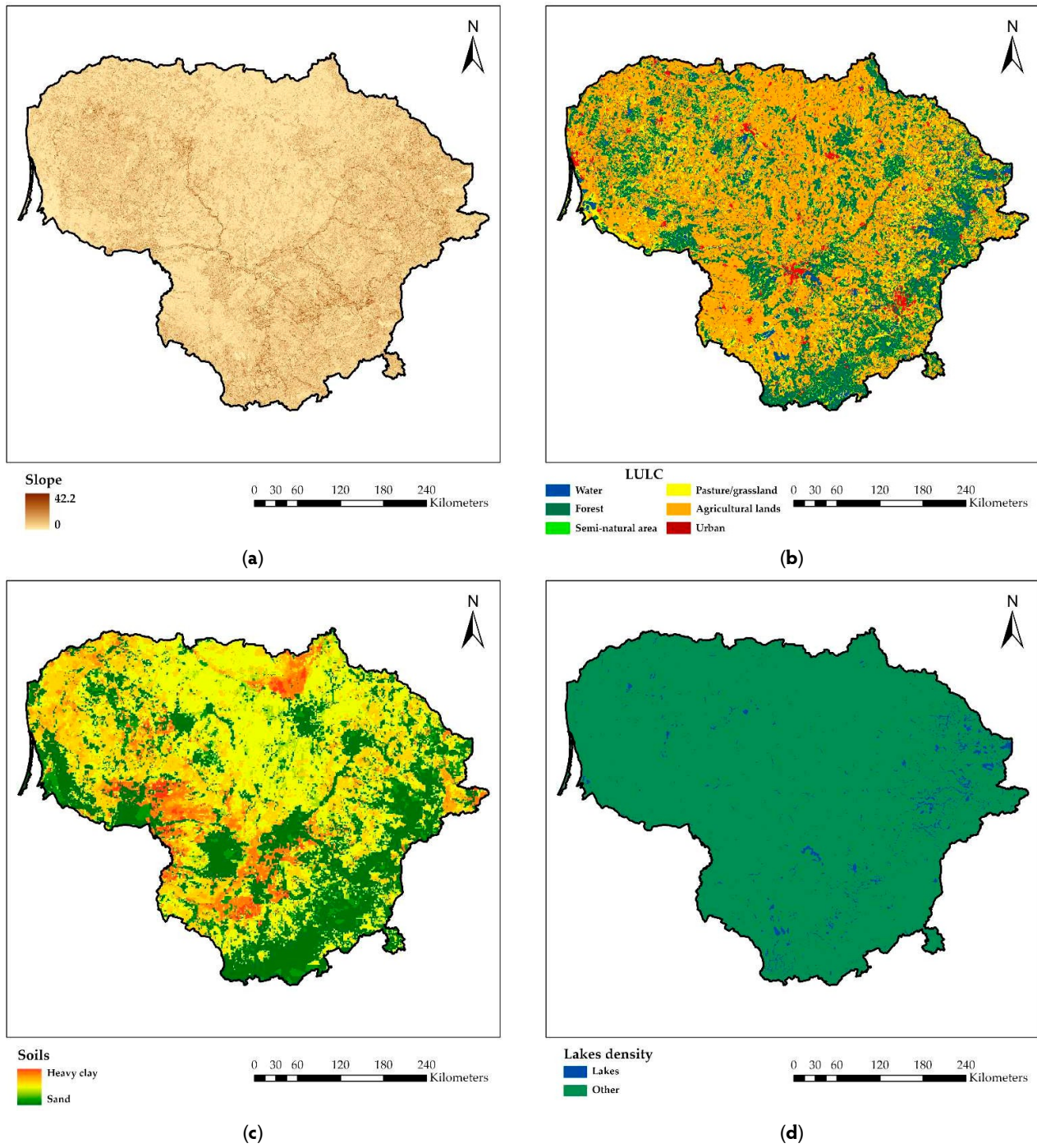
Yağış rejimine bağımlılık, yıllık akış hidrograflarının üç tip nehir beslemesine dağıtılmasıyla değerlendirilmiştir. Toplam nehir akışına yağış katkısının hesaplanması için ayrıntılı bir açıklaması önceki makalelerden birinde sunulmuştur [37]. Nehir akışının yağış beslemesine bağımlılığının haritası Şekil 4b'de gösterilmektedir. Litvanya'da yağışa tamamen bağımlı veya tamamen bağımsız nehir olmadığı için 0 ve 1 uç değerleri ve bunlara yakın olanlar kullanılmamıştır.



Şekil 4. Harita: (a) ortalama yağış; (b) nehir akışının yağış tipi beslemeye bağımlılığı.

Hidrolojik Kuraklık Hassasiyet Bileşen Endeksleri

Eğim, arazi örtüsü tipi, toprak morfolojisi ve göl yoğunluğunu tahmin etmek için raster katmanları kullanılmıştır. Her değişken için, önceden atanmış bir puana sahip bir raster oluşturuldu veya yüklendi ve ardından minimum ve maksimum değerlere göre 0-1 ölçeğine yeniden ölçeklendirildi. Havzadaki göl yoğunluğu söz konusu olduğunda, ölçek değişikliği her bir havza için göl alanının yüzdesi belirlendikten sonra gerçekleşmiştir. Hassasiyet endeksi için Earth Explorer ve Geoportal web sitelerinden elde edilen mekansal katmanlar dönüştürülmüş ve Şekil 5'teki haritalarda gösterilmiştir.



Şekil 5. Harita: (a) eğim; (b) arazi kullanımı ve arazi örtüsü; (c) baskın topraklar; (d) göller.

2.2.5. Değişken Kümelerini Yeniden Ölçekleme

Analizin ilk aşamasında tüm değişkenler farklı ölçek ve değerlere sahip olduğundan, bunları ön işleme tabi tutmadan birleştiremedik (Tablo 2). Bu nedenle, değerlendirme ölçeklerinin aynı türe dönüştürülmesine karar verilmiştir. Her değişken aşağıdaki iki denklemden birine göre yeniden ölçeklendirildi:

$$Y = \frac{X - (X)_{(min)}}{X_{range}} \quad n \quad (3)$$

$$Y = \frac{X_{maks} - X}{X_{range}} n, \quad (4)$$

Burada Y düzeltilmiş değişken, X orijinal değişken, X_{min} orijinal değişkenin gözlemlenen minimum değeri, $X_{aralık}$ orijinal değişkenin maksimum ve minimum potansiyel puanları arasındaki fark ve n yeniden ölçeklendirilmiş değişkenin üst sınırıdır. Denklem (4), ters ölçeklendirmenin gerekli olduğu durumlarda kullanılmıştır (örneğin, daha düşük yağış oranlarının daha yüksek riske karşılık geldiği yağış).

Tablo 2. Değişkenlerin birincil sınırları. Değişkenlerin birincil sınırları.

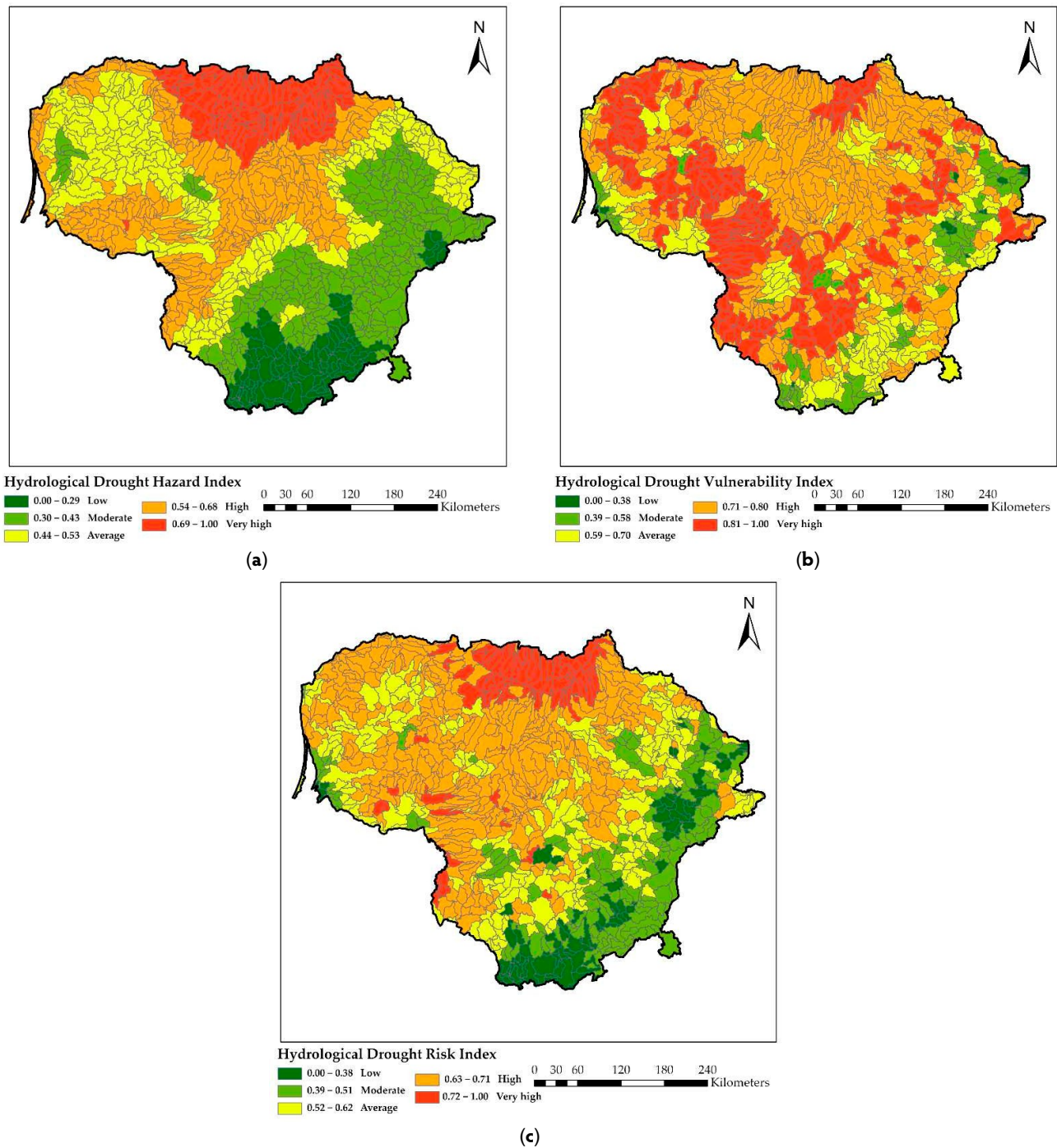
Değişken	Değerler Ölçeğinin Sınırları	Açıklama
5-16 gün süren kuraklıkların sayısı	16-75 etkinlik	CBS'de kullanılmadan önce yeniden
On altı günden fazla süren kuraklık sayısı	ölçeklendirildi	
	27-55 etkinlik	CBS'de kullanılmadan önce yeniden
	ölçeklendirildi	
(Ortalama) (yağış)	(572-856) (mm/yıl)	Litvanya'daki minimum ve maksimum yıllık değerler yeniden ölçeklendirme için sınır olarak alınmıştır
Nehir akışının yağışa bağımlılığı	0-1	Litvanya'da nehrin maksimum değeri akışının yağış tipi beslemeye bağımlılığı 0,63 ve minimum değeri 0,19'dur.
Eğim	0-42.2	SRTM'den hesaplanmıştır; bir havza için ortalama olarak hesaplanmıştır
Arazi kullanımı/arazi örtüsü tipi	Su-0 Orman-1 Yarı doğal alan-2 Mera/otlak-3 Tarım arazileri-4 Kentsel-5	Bir havza için ortalama olarak hesaplanmıştır
Toprakların morfolojik bileşimi	Kum-1 ↓ Ağır kil-10	Killi toprakların daha büyük yüzey akışıyla ilişkili olduğu ve bu toprakların aralıklı nehirlerin varlığına belirli bir bağımlılığının önceki çalışmalarda ortaya çıktığı göz önüne alındığında, bu topraklara maksimum kırılma puanı verilmesine karar verilmiştir; bir havza için ortalama olarak hesaplanmıştır
Göl yoğunluğu	0-30%	Yüzde 30'luk göl yoğunluğu 0 olarak alınmıştır. Bölgedeki kuraklık hassasiyeti üzerinde en az etkiye sahip olan

Yeniden ölçeklendirmeden sonra tüm değişkenler aynı ağırlığı (0-1) almıştır. "Nehir akışının yağışa bağımlılığı" değişkeni için sadece bir istisna yapılmıştır, çünkü Litvanya'da yağışa tamamen bağımlı veya bağımsız bir nehir yoktur, bu nedenle bu değişkenin minimum ve maksimum değerleri sırasıyla 0 ve 1'e ulaşmaz.

3. Sonuçlar

3.1. Litvanya Ölçeğinde Hidrolojik Kuraklık Tehlikesi, Hassasiyet ve Risk

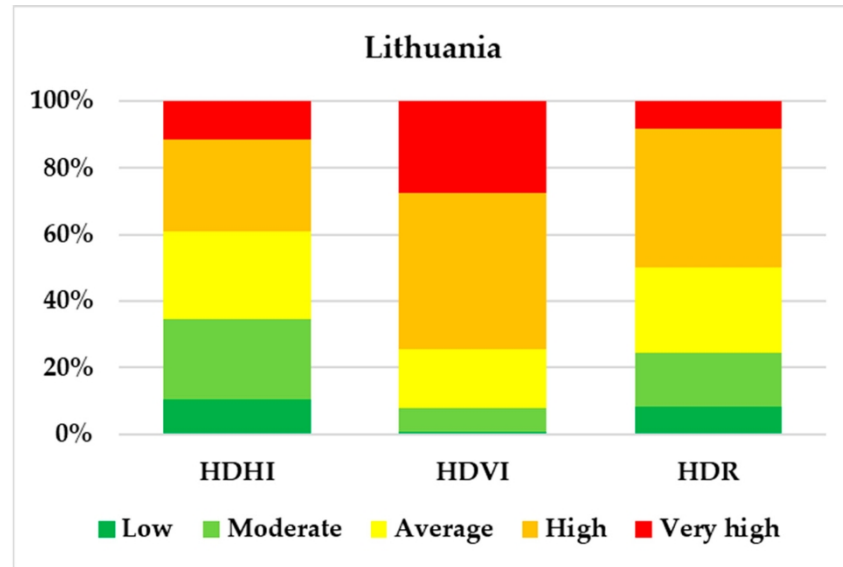
Katmanların nihai olarak birleştirilmesinden sonra üç ana harita elde edilmiştir: Hidrolojik kuraklık tehlike endeksi (Şekil 6a), hidrolojik kuraklık hassasiyet endeksi (Şekil 6b) ve hidrolojik kuraklık riski (Şekil 6c). HDHI'nın dağılım haritasından iki kutbun olduğu görülebilir: En yüksek tehlike puanı kuzeyde, en düşük tehlike puanı ise güneyde görülmektedir. HDHI haritası Litvanya'nın rölyefi ve hidrolojik bölgelerin konumu ile benzerlikler göstermektedir. HDVI haritası biraz farklı eğilimleri yansıtmakta ve aynı kırılma seviyesine sahip önemli kümeleri açıkça ifade etmemektedir. Sadece merkezi hidrolojik bölgenin kuzey kısmı, yüksek hassasiyet göstergelerine sahip en homojen bölge olarak tanımlanabilir.



Şekil 6. Hidrolojik kuraklık tehlike endeksi (a); hidrolojik kuraklık hassasiyet endeksi (b); hidrolojik kuraklık risk haritası (c).

HDR haritası, kuzeyde çok yüksek değerlere sahip daha belirgin bir küme oluşumu ve güneydoğuda zayıf ila orta risk değerlerine sahip uzun bir küme göstermektedir; bu da temelde Litvanya'nın güneydoğu hidrolojik bölgesinin konumuna karşılık gelmektedir. Güney ve doğudaki bu değerler, daha fazla göl ve ormanın varlığı ve o bölgedeki arazinin etkisi ile açıklanabilir. Aksine, kuzeydeki yüksek kuraklık riski değerleri göl ve ormanların yokluğuna, düşük yağışa ve bir dereceye kadar toprakların etkisine bağlanabilir. Örneğin killi topraklar daha düşük yüzey altı akışına katkıda bulunur ve bu da kurak dönemlerde daha sabit bir taban akışı sağlayabilir.

Şekil 7'deki grafikten, Litvanya'nın önemli bir kısmının yüksek ve çok yüksek risk kategorilerine (%49,8), sadece yaklaşık %24,4'ünün ise düşük ve orta risk kategorilerine girdiği görülmektedir. Dikkate değer bir diğer gözlem de HDHI ve HDVI sınıflarının yüzde bileşimindeki farklılıktır ki bu da farklı değişkenlerle ilgili olabilir. HDHI durumunda, değişkenler daha geniş bir mekansal dağılıma sahiptir ve insan faaliyetlerinden daha az doğrudan etkilenmektedir. Buna karşılık, HDVI değişkenleri mekansal olarak daha az sabittir ve hem zamansal hem de mekansal boyutlarda insan faaliyetlerinden daha fazla etkilenir, bu da değişkenlerin daha az tekdüze veya düzgün dağılımına neden olur.



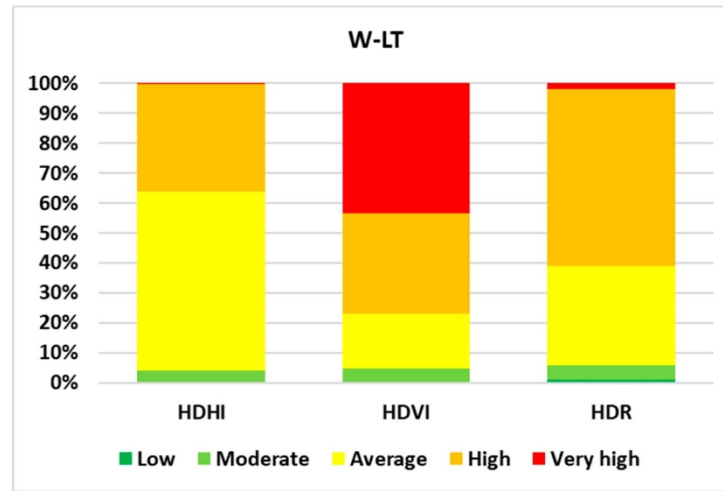
Şekil 7. Hidrolojik kuraklık tehlike endeksi (HDHI); hidrolojik kuraklık kırılganlık endeksi (HDVI); hidrolojik kuraklık risk endeksine (HDR) göre bölgenin yüzde olarak bileşimi.

3.2. Hidrolojik Bölgeler Ölçeğinde Hidrolojik Kuraklık Tehlikesi, Hassasiyet ve Risk

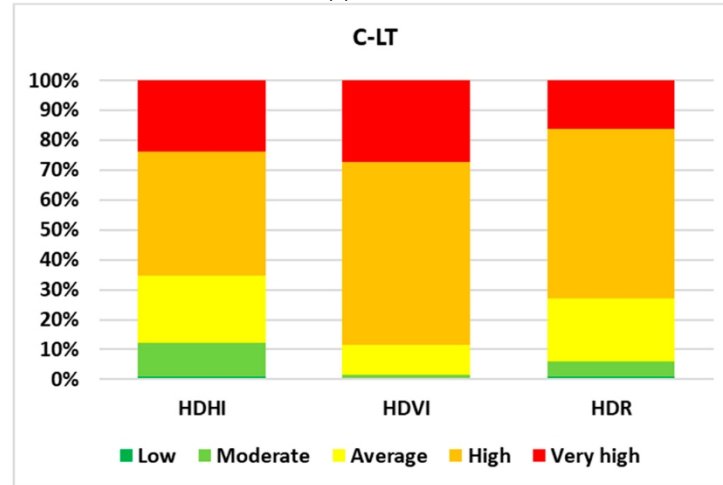
Hidrolojik bölgelerdeki HDHI, HDVI ve HDR analizi, Litvanya'nın hidrolojik bölgeleri arasında önemli bir heterojenlik olduğunu ortaya koymaktadır (Şekil 8). Merkezi hidrolojik bölge (Şekil 8b), HDHI için %65,1, HDVI için %88,6 ve HDR için %72,7 ile yüksek ve çok yüksek risk altındaki alanların en yüksek yüzdesine sahiptir. Buna karşılık, bölgenin düşük ve orta risk sınıflarındaki yüzdesi HDHI için %12,2, HDVI için %1,5 (düşük risk sınıfının tamamen yokluğu ile birlikte) ve HDR için %6,0'dır.

Batı hidrolojik bölgesi (Şekil 8a) yüksek ve çok yüksek risk altında daha az alana sahiptir: HDHI için %36,2, HDVI için %77,0 ve HDR için %61,1. Daha düşük risk, öncelikle kuraklık oluşumu için daha az elverişli koşullar yaratan deniz iklimi ve yağışların etkisiyle ilişkilidir. Bununla birlikte, düşük ve orta risk sınıfları da HDHI için sadece %4,2 (düşük risk sınıfının tamamen yokluğu ile), HDVI için %4,6 ve HDR için %5,7 ile neredeyse hiç yoktur.

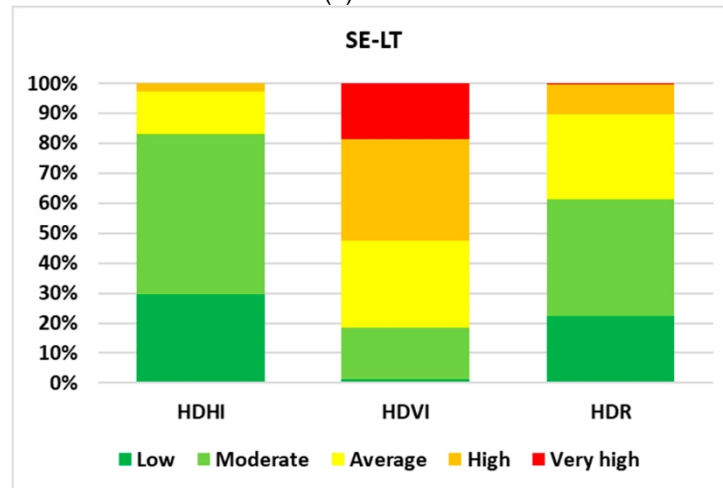
Diğer iki hidrolojik bölgenin aksine, güneydoğu hidrolojik bölgesi hidrolojik kuraklığa karşı en düşük duyarlılığa sahiptir (Şekil 8c). Örneğin, düşük ve orta riskli sınıfların alanı HDHI için %83,3, HDVI için %18,6 ve HDR için %61,3'tür. Aynı zamanda, yüksek ve çok yüksek riskli sınıfların yüzdesi HDHI için %2,7 (çok yüksek riskli sınıfın tamamen yokluğu ile birlikte), HDVI için %52,5 ve HDR için %10,4'tür. Bu endeks değerleri, bu bölgenin yeraltı su kaynaklarına daha fazla bağımlı olmasının yanı sıra, hidrolojik kuraklık risklerine karşı daha dirençli bir yanıt verilmesini sağlayan daha yüksek orman örtüsü yüzdesi ve göllerin varlığı ile açıklanabilir.



(a)



(b)



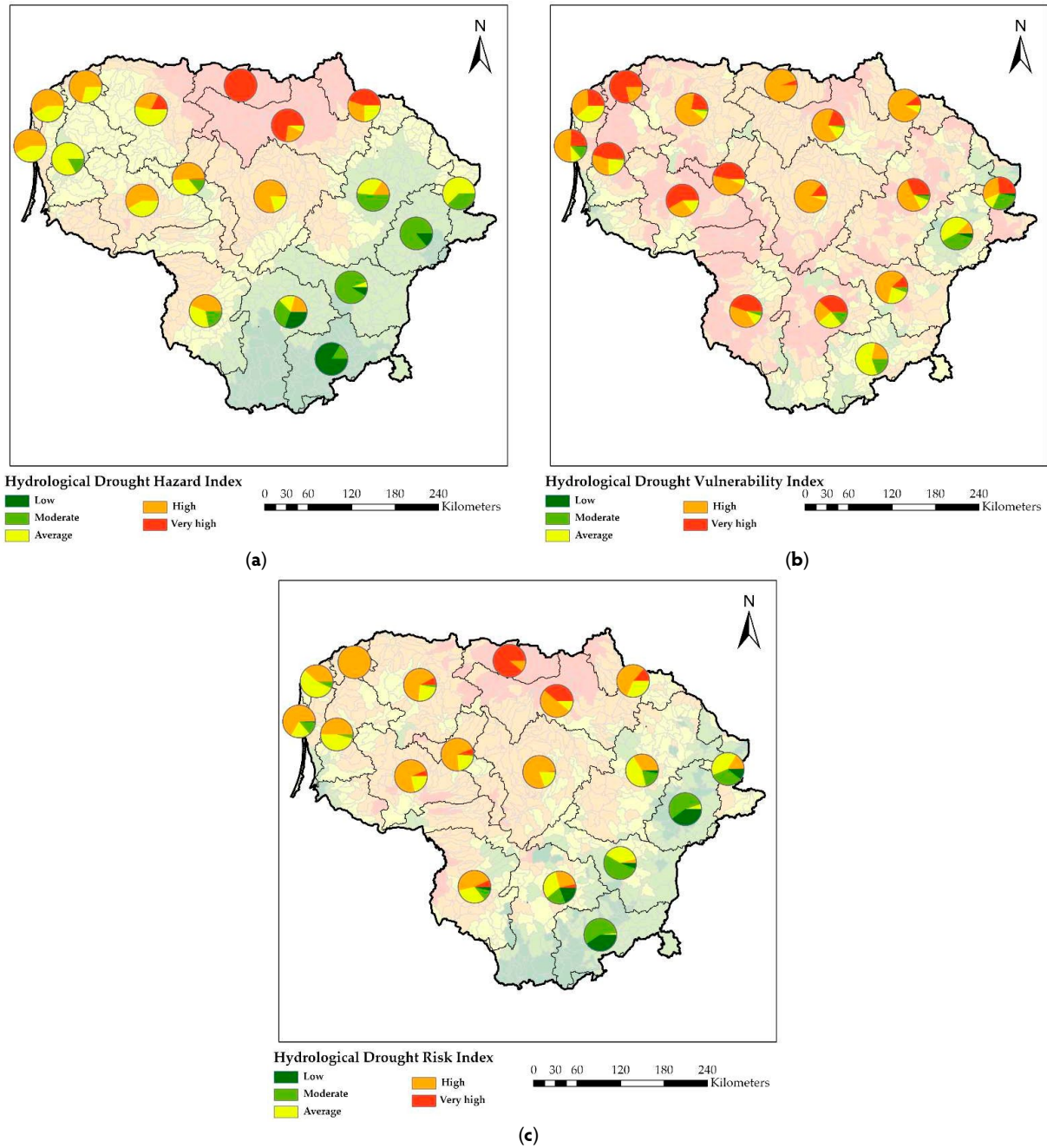
(c)

Şekil 8. Litvanya'nın hidrolojik bölgelerinde Litvanya'nın hidrolojik bölgelerinde HDHI, HDVI ve HDR sınıflarının dağılımı: batı (a); orta (b); güneydoğu (c).

3.3. Havzalar Ölçeğinde Hidrolojik Kuraklık Tehlikesi, Hassasiyet ve Risk

Litvanya'nın ana havzalarındaki kuraklık tehlike endeksinde göre (Şekil 9a), kuzeyde havzaların önemli bir yüzdesinin çok yüksek tehlike kategorisine ait olduğu dört havza tespit edilebilir: Lielupe (bölgenin %100'ü), Musa

(bölgenin %72,9'u), Nemunelis (bölgenin %45,1'i) ve Venta (bölgenin %17,6'sı) nehir havzaları. Güneydoğuda, hidrolojik kuraklık tehlikesi olasılığı düşük olarak sınıflandırılan havzalara sahip dört havza da bulunmaktadır: Merkys (bölgenin %83,8'i, %16,2'si orta sınıfta), Nemunas Nehri havzasının küçük kolları (%30,4 - havzanın doğu kısmında bulunan havzalar), Zeimena (bölgenin %13,9'u, kalan %86,1'i orta sınıfta) ve Neris (bölgenin %8,3'ü) nehir havzaları. Orta ve batı hidrolojik bölgelerde, baskın havzalar orta kategoriye (Venta ve Minija nehir havzaları topraklarının %50'sinden fazlasını bu sınıfa dahil etmektedir) ve yüksek tehlike kategorisine (Jura, Dubysa, Nevezis, Bartuva, Sventoji nehirleri ve kıyı nehir havzaları topraklarının %50'sinden fazlasını bu sınıfa dahil etmektedir) girmektedir.



Şekil 9. Hidrolojik kuraklık tehlike indeksine (a); hidrolojik kuraklık hassasiyet indeksine (b); hidrolojik kuraklık risk haritasına (c) göre havzalar için her bir sınıfın alanının yüzde olarak dağılımı.

Kuraklık tehlike endeksinin aksine, kuraklık hassasiyet endeksi daha az iyimserdir (Şekil 9b). 18 havzadan sadece ikisinde düşük ve orta kırılmalılık sınıflındaki havzaların oranı %30'u aşmaktadır: Zeimena (bölgenin %42,2'si) ve Daguva (bölgenin %32'si) nehir havzaları. Diğer üç havza düşük ve orta kırılmalılık sınıflarında nispeten yüksek oranda havzaya sahiptir: Merkys (bölgenin %19,6'sı), Nemunas (bölgenin %13,9'u) ve kıyı (bölgenin %13,9'u) nehir havzaları. Litvanya'nın batı ve orta hidrolojik bölgelerindeki tüm havzalar, %60'tan fazlası hidrolojik kuraklık için yüksek ve çok yüksek kırılmalılık sınıflarına ait olan havzalardan oluşmaktadır. Yüksek ve çok yüksek sınıflarda en yüksek yüzdeye sahip havzalar arasında Bartuva (bölgenin %100'ü), Dubysa (bölgenin %93,2'si) ve Jura (bölgenin %86'sı) nehir havzaları yer almaktadır.

Kuraklık risk endeksi incelendiğinde (Şekil 9c), en yüksek hidrolojik kuraklık riskinin merkezi hidrolojik bölgenin kuzey kısmında, özellikle Lielupe Nehri (bölgenin %89,2'si çok yüksek risk ve %10,8'i yüksek risk sınıfına girmektedir) ve Musa Nehri (bölgenin %38,7'si çok yüksek risk ve %50,6'sı yüksek risk kategorisine girmektedir) havzalarında yoğunlaştığı görülmektedir. Yüksek risk değerlerine sahip önemli yüzdelere Bartuva, Venta, Nemunelis, Nevezis, Dubysa, Jura, Minija nehirleri ve kıyı nehirleri havzalarında da bulunmaktadır. Hidrolojik kuraklık riskinin en düşük olduğu havzalar Merkys (bölgenin %98,1'i düşük ve orta risk sınıflarına aittir) ve Zeimena (bölgenin %95'i düşük ve orta risk sınıflarına aittir) nehir havzalarıdır. Genel olarak, Litvanya'nın güneydoğu bölgesinde, denize yakın havzalarda hafif bir artışla birlikte, düşük ve orta risk sınıflarına sahip havzaların önemli bir oranı bulunmaktadır. Örneğin, kıyı nehirleri havzasında, düşük ve orta risk sınıflarındaki havzalar toplam bölgenin %13,9'unu oluşturmaktadır.

4. Tartışma

Birçok çalışma, kuraklık olgusuna yönelik geleneksel kriz yönetimi yaklaşımının etkisizliğini ve bunun yerine kuraklık riskini azaltma yaklaşımına geçilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır. Genel olarak proaktif kuraklık risk yönetiminin maliyetinin eylemsizliğin maliyetinden daha düşük olduğu kabul edilmektedir [38]. Bu nedenle risk azaltma önlemlerini uygulamak için yüksek riskli alanlar belirlenmelidir [39]. Mevcut çalışma, Litvanya'da hidrolojik kuraklık riskinin en yüksek olduğu bölgeleri ilk kez havza ölçeğine kadar belirlemeyi amaçlamıştır.

Litvanya'nın ova nehirlerinde hidrolojik kuraklık riski değerlendirmesi için oluşturulan metodoloji, kısa ve uzun vadeli hidrolojik kuraklıkların sayısı, ortalama yağış ve nehir akışının yağış beslemesine bağımlılığı gibi doğal tehlike endekslerini içermektedir. Bu endekslerin seçimi, fiziksel-coğrafi koşullardan bağımsız olarak, kuraklık tehlikesinin genellikle yağış açığını veya akış rejimini bir şekilde tanımlayan kuraklık endeksleri (SPI, SDI, çok değişkenli standardize kuraklık endeksi, vb.) kullanılarak değerlendirildiği diğer çalışmalarda kullanılan metodolojilere dayanmaktadır [18,20,26,29]. Batı ve orta hidrolojik bölgelerde, muhtemelen yağışa bağımlılıkları nedeniyle birçok nehir havzası tehlikeye açık alanlara düşmüştür. Bu arada, güneydoğu bölgesindeki nehirler akışlarının önemli bir kısmını (yarısından fazlasını) yeraltı sularından almaktadır, bu nedenle yıllık akışları daha eşit dağılmıştır. W-LT bölgesinde (C-LT ile karşılaştırıldığında) az sayıda uzun vadeli kuraklık olayı ve ortalama tehlike endeksi sınıfına atanan daha fazla sayıda havza, Baltık Denizi'ne yakınlık nedeniyle daha nemli koşullar ve daha yüksek yağıştan kaynaklanabilir. Hidrolojik bölgelerin tanımlanmasına yönelik önceki çalışmalar [37,40], yağış miktarının ve nehri besleyen kaynakların oransal katkısının Litvanya nehir akış oluşumunun özelliklerini belirleyen ana faktörler olduğunu ortaya koymuştur.

Litvanya nehir havzalarının duyarlılığını etkilemesi beklenen fiziksel-coğrafi faktörlere (su yolu eğimi, arazi kullanımı/arazi örtüsü, topraklar ve göl yoğunluğu) göre, SE-LT bölgesi en düşük endeks değerlerine sahip olarak ortaya çıkmıştır. Göllerin ve yarı doğal ve ormanlık alanların daha fazla olması, daha yüksek bir indeks değerine katkıda bulunmuş olabilir.

Bu bölgede yer alan havzalarda tutarlı ve istikrarlı bir akış söz konusudur. Buna karşılık, C-LT bölgesi, toprakların en yüksek verimliliğine bağlı olarak tarım için kullanılan birçok alan ve dolayısıyla sulama ihtiyaçları için daha yüksek su talebi ile ayırt edilmiştir. C-LT ve W-LT bölgeleri ayrıca SE-LT'ye kıyasla daha fazla şehirleşmiş alana ve daha az yarı doğal ve ormanlık alana sahiptir. 21,26'nın aksine, çalışmamız yüksek eğimli (ülkenin geri kalanından daha yüksek) bir araziye sahip olan bölgenin (SE-LT) kuraklığa karşı daha hassas olduğunu gösterememiştir. Çoğu çalışmanın aksine [21,41,42], bu çalışmada kumlu toprakların hidrolojik kuraklık kırılganlığı üzerindeki etkisinin en az olduğu tahmin edilmiştir. Daha hafif toprakların hakim olması, yeraltı suyu katmanında daha hızlı infiltrasyona ve yeraltı akışının tutulmasına katkıda bulunmaktadır. Yeraltı suyu ne kadar çok şarj olursa, nehirler o kadar dirençli hale gelir [43,44]. Çalışmamızın dezavantajlarından biri, temel olarak veri mevcudiyetine dayandığı için kırılganlık analizi için değişken seçiminin sınırlı olmasıdır. Evsel su temini, nüfus yoğunluğu veya yeraltı suyu seviyesi gibi göstergeler, hidrolojik kuraklık tehlikelerinin etkilerine karşı duyarlılığın daha doğru bir değerlendirmesini verebilir.

Önceki çalışmaya göre [36], bölgesel ölçekte kuraklık hassasiyet indeksleri, SDI indeksi ile hesaplanan kuraklık şiddeti ile çok yakından ilişkilidir. Her iki çalışma için de batı bölgesi en aşırı kuraklık değerleriyle en hassas bölge olarak tanımlanabilir. Öte yandan, SE-LT bölgesi diğer bölgelere kıyasla daha düşük şiddet değerlerine sahiptir, bu da çok yüksek kırılganlığa sahip daha az sayıda havza ile ilişkilendirilebilir. Genel olarak, hidrolojik kuraklık tehlike ve risk indeksleri de SE-LT'yi çok yüksek değerlerin daha düşük bir yüzdesi ile sunmaktadır.

Ne yazık ki, kuraklığın olumsuz çevresel veya sosyo-ekonomik sonuçlarındaki bölgesel farklılıklara ilişkin benzer mekansal analizlerin sonuçlarını ortaya koyan bu ölçekte ve ayrıntıda herhangi bir çalışma bulamadık. Sadece tarımsal kuraklıkla ilgili birkaç çalışmanın ilgili sonuçlarına ulaşılmıştır. Tarımsal kuraklık endekslerine (hidrotermal katsayı ve sıcaklık-yağış indeksi) göre, Litvanya'nın batı ve orta kesimlerinde daha sık, güneydoğu ve doğusunda ise daha seyrek kuraklık kaydedilmektedir [45,46].

Havza bazlı analiz, C-LT bölgesinin kuzey kesiminde, özellikle Mu⁻ şa ve Lielupe nehirlerinin havzalarında yüksek riskli değerlerden oluşan bir küme tespit etmiştir. Bu küme, Litvanya'da hidrolojik kuraklık oluşma riski en yüksek olan en tehlikeli bölgeyi temsil etmektedir. Elde edilen bulgular, kuraklığa en yatkın bu bölgede beş fasallı nehrin varlığını ortaya koyan önceki araştırmayı [47] da desteklemektedir. 48] tarafından yapılan çalışmada da Orta Litvanya ovasında sıcak dönem boyunca farklı sürelerde yağışsız dönemlerin en yüksek oranda tekrarlandığı tespit edilmiştir. Kuraklık değerlendirmesinin ölçeği göz önüne alındığında, Hasan ve diğerleri [19] daha iyi sonuçlar elde etmek için kuraklık özelliklerinin havza düzeyinde değerlendirilmesi gerektiğine dikkat çekmiştir.

Nemunas Nehri'nin küçük kollarının havzasından ayrıca bahsetmek gerekir. Bu uzun havza Litvanya'nın üç hidrolojik bölgesini de kapsamaktadır. Havzanın şekli, kuraklık riski endekslerinin doğudan batıya değişimine ilişkin değerli bilgiler sunmaktadır. Sonuç olarak, havzanın üst kısmı en düşük kuraklık riski endekslerinden birini sergilemektedir. Bununla birlikte, nehir ağzına yaklaştıkça, Litvanya'nın potansiyel olarak daha kuru bölgelerinden gelen kolların girişi nedeniyle durum değişmektedir. Sonuç olarak, havzanın orta kısmı ağırlıklı olarak yüksek kuraklık riskine sahip havzalardan oluşurken, sadece nehir ağzına yakın yerlerde, düşük ve orta hidrolojik kuraklık riskine sahip birkaç havza fark edilir hale gelmektedir. Bu eğilim her üç endeks için de gözlenmektedir.

Bu çalışma Litvanya'daki tüm nehir havzalarını (binden fazla) kapsamıştır, bu da onu benzersiz kılmaktadır çünkü önceki hidrolojik kuraklık araştırmaları yalnızca seçilen havza kümelerine dayanmaktaydı [35,36,49]. Sadece fiziksel-coğrafi yönler analiz edilmiş olsa da, böylesine ayrıntılı bir değerlendirme, ayrı bölgelere tahsis edilen farklı hidrolojik rejimlere sahip Litvanya nehirlerinin farklı kuraklık risklerine sahip olduğunu kanıtlamıştır. Öte yandan, arazi kullanımını dolaylı olarak su açığını ve antropojenik faaliyetlerle ilgili talepleri göstermektedir. Bu nedenle, kentleşmiş ve tarımsal alanların değerlendirmeye dahil edilmesi dolaylı olarak sosyo-ekonomik etkenleri temsil etmektedir. UNISDR'ye göre [17], meteorolojik verilerden farklı olarak

Bölgeden bölgeye değişen iklimsel nedenlerden kaynaklanan doğal bir olgu olan kuraklık, hidrolojik kuraklık büyük ölçüde insani ve sosyal unsurlara bağlıdır. Birçok çalışma, kuraklık riski çalışmalarında iklimsel değil antropojenik bir faktörün belirleyici etkisini göstermektedir, çünkü bu fenomen her türlü iklimde ortaya çıkabilir [5,44,50].

5. Sonuçlar

Bu çalışmada Litvanya nehir havzalarındaki hidrolojik kuraklık riski değerlendirilmiştir. Seçilen tehlike ve kırılganlık endekslerini entegre eden bir metodoloji oluşturulmuş ve ova nehir havzalarına uygulanmak üzere uygun olarak önerilmiştir. Bulgular, havzaların kuraklık tehlike endeksine göre dağılımının genel olarak Litvanya'nın hidrolojik bölgelerine iyi bir şekilde karşılık geldiğini göstermiştir. Bulgular, Litvanya topraklarının toplamda %70'inden fazlasının yüksek ve çok yüksek kırılganlık kategorilerine girdiğini, ülkenin neredeyse yarısının ise yüksek ve çok yüksek risk kategorilerinde olduğunu (%49,8) ortaya koymuştur. Gerçekleştirilen araştırma, kuraklığa daha dayanıklı ekosistemler kurmak için Litvanya'nın orta ve batı kesimlerinde belirlenen en hassas havzalarda bölgesel planlamada gelecekte revizyonlar yapılması gerektiğini vurgulamaktadır. Gelecekteki çalışmalar, su kaynağı tüketimini belirlemek için evsel su temini veya nüfus yoğunluğu gibi sosyo-ekonomik göstergelerin değerlendirilmesini içermelidir. Bu, bölgelerin tam olarak belirlenmesine yardımcı olacaktır.

yetersiz su kaynakları hükümleri ile.

Daha güvenilir sonuçlar elde etmek için, hidrolojik kuraklık riskinin değerlendirilmesine sadece kuraklığa duyarlı ek göstergeler dahil edilmemelidir, aynı zamanda sınır ötesi bir yaklaşım da uygulanmalıdır. Nehir havzaları nadiren siyasi sınırlarla çakışır; bu nedenle, Litvanya'daki hidrolojik kuraklık riski sorununun daha kapsamlı bir görünümünü elde etmek için tüm sınır ötesi havzalar dahil edilmelidir.

Elde edilen sonuçlar, ova nehir sistemlerinin hızla değişen bir ortamda ne kadar hassas ve kırılgan hale geldiğini anlamak açısından önemlidir.

Yazar Katkıları: Kavramsallaştırma, S.N. ve J.K.; metodoloji, S.N. ve V.P.; yazılım, S.N.; resmi analiz, S.N.; araştırma, S.N. ve D.Ş.; veri küratörlüğü, J.K. ve V.P.; yazı-oriijinal taslak hazırlama, S.N. ve D.Ş.; yazım-inceleme ve düzenleme, D.Ş.; görselleştirme, S.N.; süpervizyon, V.P. ve J.K. Tüm yazarlar makalenin yayınlanan versiyonunu okumuş ve kabul etmiştir.

Finansman: Bu araştırma herhangi bir dış finansman almamıştır.

Veri Kullanılabilirlik Beyanı: Geçerli değil.

Teşekkür: Yazarlar, günlük yağış ve deşarj verilerini sağlayan Litvanya Hidrometeoroloji Servisi'ne teşekkür eder.

Çıkar Çatışmaları: Yazarlar herhangi bir çıkar çatışması beyan etmemektedir.

Referanslar

1. Wilhite, D.A. *Move toward Kuraklık Risk Yönetimi: Küresel Strateji İhtiyacı*; Ulusal Kuraklık Azaltma Merkezi: Lincoln, NE, ABD, 1992.
2. Hayes, M.J.; Svoboda, M.; Wall, N.A.; Widhalm, M. Kuraklık İndekslerine İlişkin Lincoln Deklarasyonu: Evrensel Meteoroloji Kuraklık Endeksi Önerisi. *Bull. Am. Meteorol. Soc.* **2011**, *92*, 485-488. [CrossRef]
3. Hasan, H.H.; Mohd Razali, S.F.; Muhammad, N.S.; Ahmad, A. Hidrolojik Kuraklık Araştırma Eğilimleri: Sistemik Bir İnceleme. *Su* **2019**, *11*, 2252. [CrossRef]
4. Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli (IPCC). Politika Yapıcılar için Özet. *İklim Değişikliği 2021 içinde: The Physical Science Basis; Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*; Masson-Delmotte, V., Zhai, P., Pirani, A., Connors, S.L., Péan, C., Berger, S., Caud, N., Chen, Y., Goldfarb, L.M.I., Huang, M., et al., Eds.; Cambridge University Press: Cambridge, Birleşik Krallık, 2021. [CrossRef]
5. Mishra, A.K.; Singh, V.P. Kuraklık kavramı üzerine bir inceleme. *J. Hydrol.* **2010**, *391*, 202-216. [CrossRef]
6. Asadie, B.; Krakauer, N.Y. 21. yüzyılda iklim değişikliği altında akarsu akışındaki aşırı uçlarda küresel değişim. *Hidrol. Earth Syst. Sci.* **2017**, *21*, 5863-5874. [CrossRef]
7. Birleşmiş Milletler Afet Riskini Azaltma Ofisi (UNDRR). *GAR Kuraklık Özel Raporu 2021*; Birleşmiş Milletler Afet Riskini Azaltma Ofisi (UNDRR): Cenevre, İsviçre, 2021. Çevrimiçi olarak mevcuttur: <https://www.undrr.org/quick/13641> (19 Haziran 2023 tarihinde erişilmiştir).

8. Boretti, A.; Rosa, L. Dünya Su Kalkınma Raporu projeksiyonlarının yeniden değerlendirilmesi. *npj Clean Water* **2019**, *2*, 15. [CrossRef]
9. Engström, J.; Jafarzadegan, K.; Moradkhani, H. Amerika Birleşik Devletleri'nde Kuraklık Hassasiyeti: Entegre Bir Değerlendirme. *Su Kaynakları* **2020**, *12*, 2033. [CrossRef]
10. Narasimhan, B.; Srinivasan, R. Tarımsal kuraklığın izlenmesi için Toprak Nem Açığı İndeksi (SMDI) ve Evapotranspirasyon Açığı İndeksi (ETDI) geliştirilmesi ve değerlendirilmesi. *Tarım. İçin. Meteorol.* **2005**, *133*, 69-88. [CrossRef]
11. Modarres, R. Akış kuraklığı zaman serisi tahmini. *Stok. Environ. Araştırma. Risk Değerlendirmesi.* **2007**, *21*, 223-233. [CrossRef]
12. McKee, T.B.; Doesken, N.J.; Kleist, J. Kuraklık Sıklığı ve Süresinin Zaman Ölçekleriyle İlişkisi. Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology, Anaheim, CA, USA, 17-22 January 1993; pp. 179-184.
13. Palmer, W.C. *Meteorolojik Kuraklık*; Araştırma Belgesi No. 45; ABD Ticaret Bakanlığı: Washington, WA, ABD, 1965; s. 1-58.
14. Avrupa Komisyonu; Ortak Araştırma Merkezi; Cammalleri, C.; Pischke, F.; Masante, D.; Barbosa, P.; Naumann, G.; Spinoni, J.; Erian, W.; Vogt, J.V.; ve diğerleri. *Kuraklık Risk Değerlendirmesi ve Yönetimi-Kavramsal Bir Çerçeve*; Avrupa Birliği Yayınlar Ofisi: Lüksemburg, 2018. Çevrimiçi olarak mevcuttur: <https://data.europa.eu/doi/10.2760/057223> (11 Haziran 2023 tarihinde erişilmiştir).
15. Tsakiris, G. Kuraklık Risk Değerlendirmesi ve Yönetimi. *Su Kaynakları. Manag.* **2017**, *31*, 3083-3095. [CrossRef]
16. Hagenlocher, M.; Meza, I.; Anderson, C.; Min, A.; Renaud, F.; Walz, Y.; Siebert, S.; Sebesvari, Z. Kuraklık hassasiyeti ve risk değerlendirmeleri: Son teknoloji, kalıcı boşluklar ve araştırma gündemi. *Environ. Res. Lett.* **2019**, *14*, 083002. [CrossRef]
17. Birleşmiş Milletler Uluslararası Afet Azaltma Stratejisi Sekreteryası (UNISDR). *Kuraklık Risk Azaltma Çerçevesi ve Uygulamaları: Hyogo Eylem Çerçevesinin Uygulanmasına Katkıda Bulunmak*; Birleşmiş Milletler Uluslararası Afet Azaltma Stratejisi Sekreteryası (UNISDR): Cenevre, İsviçre, 2009. Çevrimiçi olarak mevcuttur: https://www.unisdr.org/files/11541_DroughtRiskReduction2009library.pdf (22 Haziran 2023 tarihinde erişilmiştir).
18. Nauditt, A.; Stahl, K.; Rodríguez, E.; Birkel, C.; Formiga-Johnsson, R.M.; Kallio, M.; Ribbe, L.; Baez-Villanueva, O.M.; Thurner, J.; Hann, H. Tropikal kuraklık riskini, açık erişimli gridlenmiş kırılganlık ve tehlike veri ürünlerini birleştirerek değerlendirmek. *Sci. Total Environ.* **2022**, *822*, 153493. [CrossRef] [PubMed]
19. Hasan, H.H.; Razali, S.F.M.; Muhammad, N.S.; Ahmad, A. Mekansal ve Zamansal Yaklaşımlara Dayalı Değiştirilmiş Hidrolojik Kuraklık Risk Değerlendirmesi. *Sürdürülebilirlik* **2022**, *14*, 6337. [CrossRef]
20. Dabanli, I. Türkiye'de kuraklık tehlikesi, kırılganlık ve risk değerlendirmesi. *Arap. J. Geosci.* **2018**, *11*, 538. [CrossRef]
21. Kalura, P.; Pandey, A.; Chowdary, V.M.; Raju, P.V. Hindistan'ın Tons Nehri Havzasında Hidrolojik Kuraklık Hassasiyetinin Jeo-uzamsal Teknikler Kullanılarak Değerlendirilmesi. *J. Indian. Soc. Remote Sens.* **2021**, *49*, 2623-2637. [CrossRef]
22. Khademipour, G.; Saberi Anari, S.M.; Nekoyi Moghadam, M.; Masoudi, A.; Jafari Baghini, R. Kapsamlı Değerlendirme ve Kerman Eyaletinde Kuraklık Riski ve Hassasiyetinin Bölgeleştirilmesi. *Sağlık Acil Durumları Afetler S.* **2018**, *3*, 113-120. [CrossRef]
23. Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli (IPCC). Ortaya çıkan riskler ve temel kırılganlıklar. *İklim Değişikliği 2014 içinde: Impacts, Adaptation, and Vulnerability*; Part A: Global and Sectoral Aspects; Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change; Field, C.B., Barros, V.R., Dokken, D.J., Mach, K.J., Mastrandrea, M.D., Bilir, T.E., Chatterjee, M., Ebi, K.L., Estrada, Y.O., Genova, R.C., et al., Eds.; Cambridge University Press: Cambridge, Birleşik Krallık, 2014; s. 1039-1099.
24. Carrao, H.; Naumann, G.; Barbosa, P. Küresel kuraklık riski modellerinin haritalanması: Alt-ulusal tehlike, maruziyet ve kırılganlık tahminlerine dayanan ampirik bir çerçeve. *Glob. Environ. Chang.* **2016**, *39*, 108-124. [CrossRef]
25. Blauhut, V.; Stahl, K.; Stage, J.H.; Tallaksen, L.M.; De Stefano, L.; Vogt, J. Rapor edilen kuraklık etkileri, kuraklık endeksleri ve kırılganlık faktörlerinden Avrupa genelinde kuraklık riskinin tahmin edilmesi. *Hidrol. Earth Syst. Sci.* **2016**, *20*, 2779-2800. [CrossRef]
26. Heydari Alamdarloo, E.; Khosravi, H.; Nasabpour, S.; Gholami, A. İran'da kuraklık tehlikesi, kırılganlığı ve riskinin CBS teknikleri kullanılarak değerlendirilmesi. *J. Arid Land* **2020**, *12*, 984-1000. [CrossRef]
27. Shahid, S.; Behrawan, H. Bangladeş'in batı kesiminde kuraklık riski değerlendirmesi. *Nat. Tehlikeler* **2008**, *46*, 391-413. [CrossRef]
28. Dayal, K.S.; Deo, R.C.; Apan, A.A. Mekansal-zamansal kuraklık riski haritalama yaklaşımı ve Avustralya'nın güneydoğusundaki Queensland'in kuraklığa eğilimli bölgesinde uygulanması. *Nat. Tehlikeler* **2018**, *93*, 823-847. [CrossRef]
29. Mens, M.J.P.; van Rhee, G.; Schasfoort, F.; Kielen, N. Hollanda'da uyarlanabilir politika oluşturmayı desteklemek için entegre kuraklık risk değerlendirmesi. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.* **2022**, *22*, 1763-1776. [CrossRef]
30. Nauditt, A.; Firoz, A.B.M.; Trinh, V.Q.; Fink, M.; Stolpe, H.; Ribbe, L. Antropojenik olarak etkilenmiş tropikal bir havzada hidrolojik kuraklık riski değerlendirmesi. *Orta Vietnam'da. Orta Vietnam'da Arazi Kullanımı ve İklim Değişikliği Etkileşimleri*; Springer: Singapur, 2017; s. 223-239. [CrossRef]
31. Omer, A.; Zhuguo, M.; Yuan, X.; Zheng, Z.; Saleem, F. Gelecekteki antropojenik faaliyetler altında Sarı Nehir Havzasında kuraklık riski değerlendirmesine hidrolojik bir bakış. *J. Environ. Manag.* **2021**, *289*, 112429. [CrossRef] [PubMed]
32. Rimkus, E.; Stonevic'ius, E.; Korneev, V.; Kažys, J.; Valiuškevic'ius, G.; Pakhomau, A. Neman nehir havzasındaki meteorolojik ve hidrolojik kuraklıkların dinamikleri. *Environ. Res. Lett.* **2013**, *8*, 045014. [CrossRef]
33. Rimkus, E.; Stonevic'ius, E.; Kilpys, J.; Maciulyte, V.; Valiukas, D. NDVI kullanarak doğu Baltık bölgesinde kuraklık tespiti. *Dünya Sist. Dyn.* **2017**, *8*, 627-637. [CrossRef]
34. Stonevic'ius, E.; Rimkus, E.; Kažys, J.; Bukantis, A.; Kriauc'iu' niene, J.; Akstinas, V.; Jakimavic'ius, D.; Povilaitis, A.; Ložys, L.; Kesminas, V.; et al. Nemunas Nehri Havzasında Son Kuraklık Eğilimleri ve Gelecek Projeksiyonları. *Clim. Res.* **2018**, *75*, 143-154. [CrossRef]
35. Kugyte', G.; Valiuškevic'ius, G. Litvanya Nehirlerindeki Hidrolojik Kuraklıkların Tanımlanması. *Geogr. Edukac.* **2021**, *9*, 87-99. [CrossRef]

36. Nazarenko, S.; Kriauciu̇nienė, J.; Šarauskienė, D.; Jakimavičius, D. Kalıcı Ova Nehirlerinde Geçmiş ve Gelecek Kuraklık Örüntüleri. *Su* **2022**, *14*, 71. [CrossRef]
37. Akstinas, V.; Šarauskienė, D.; Kriauciu̇nienė, J.; Nazarenko, S.; Jakimavičius, D. Spatial and Temporal Changes in Hydrological Regionalization of Lowland Rivers. *Int. J. Environ. Res.* **2022**, *16*, 1. [CrossRef]
38. Avrupa Komisyonu; Ortak Araştırma Merkezi; Cammalleri, C.; Naumann, G.; Mentaschi, L.; Formetta, G.; Forzieri, G.; Gosling, S.; Bisselink, B.; De Roo, A.; vd. *AB-JRC PESETA IV Projesinde Küresel Isınma ve Kuraklık Etkileri: Görev 7*; Avrupa Birliği Yayınlar Ofisi: Lüksemburg, 2020. Çevrimiçi olarak mevcuttur: <https://data.europa.eu/doi/10.2760/597045> (12 Haziran 2023 tarihinde erişilmiştir).
39. Wilhite, D.A. Kuraklık Yönetimi Politikaları ve Hazırlık Planları: Paradigmayı Krizden Risk Yönetimine Değiştirmek. *Arazi Restorasyonu* içinde; Elsevier: Amsterdam, Hollanda, 2016; s. 443-462. [CrossRef]
40. Jablonskis, J.; Janukėnienė, R. *Litvanya Nehir Akışının Değişimi*; Bilim: Vilnius, Litvanya, 1978. (Litvanca)
41. Hoque, M.; Pradhan, B.; Ahmed, N.; Alamri, A. Güney Queensland, Avustralya'da Jeo-uzamsal Teknikler Kullanılarak Kuraklık Hassasiyet Değerlendirmesi. *Sensörler* **2021**, *21*, 6896. [CrossRef]
42. Hoque, M.; Pradhan, B.; Ahmed, N. Bangladeş'in kuzeybatı kesiminde jeo-uzamsal teknikler kullanılarak kuraklık hassasiyetinin değerlendirilmesi. *Sci. Total Environ.* **2020**, *705*, 135957. [CrossRef]
43. Upadhyay, M.; Sherly, M.A. Entegre Kuraklık Hassasiyet Değerlendirmesi için Çok Değişkenli Çerçeve-Hindistan'a Bir Uygulama. *Int. J. Disaster Risk Reduct.* **2023**, *85*, 103515. [CrossRef]
44. Sahana, V.; Mondal, A. İklim değişikliği altında Hindistan'da çok değişkenli kuraklık tehlikesi, kırılganlık ve riskin evrimi. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.* **2023**, *23*, 623-641. [CrossRef]
45. Valiukas, D. Stichinė's sausros ir sausringi laikotarpiai pagal Selianinovo hidroterminį koeficientą (HTK) Lietuvoje 1961-2015 metais. *Geol. Geogr.* **2017**, *3*, 101-113. [CrossRef]
46. Rimkus, E.; Maciulyte, V.; Stonevičius, E.; Valiukas, D. Litvanya'da revize edilmiş bir tarımsal kuraklık indeksi. *Agric. Food Sci.* **2020**, *29*, 359-371. [CrossRef]
47. Šarauskienė, D.; Akstinas, V.; Nazarenko, S.; Kriauciu̇nienė, J.; Jurgelėnaite, A. Fiziko-coğrafi faktörlerin ve iklimin değişkenliğinin su fazlası bölgesi nehirlerindeki akış kesintisi üzerindeki etkisi. *Hidrol. Süreç* **2020**, *34*, 4727-4739. [CrossRef]
48. U̇selyte, J.; Bukantis, A. Litvanya'da yağışsız dönemlerin mezoklimatik analizi. *J. Environ. Eng. Landsc. Manag.* **2023**, *31*, 142-156. [CrossRef]
49. Nazarenko, S.; Kriauciu̇nienė, J.; Šarauskienė, D.; Povilaitis, A. Litvanya için bir Hidrolojik Kuraklık Endeksi Geliştirilmesi. *Su* **2023**, *15*, 1512. [CrossRef]
50. Wan, W.; Zhao, J.; Li, H.Y.; Mishra, A.; Ruby Leung, L.; Hejazi, M.; Wang, W.; Lu, H.; Deng, Z.; Demissis, Y.; vd. Antroposen'de hidrolojik kuraklık: ABD'de yerel su çıkarma ve rezervuar düzenlemesinin etkileri. *J. Geophys. Res. Atmos.* **2017**, *122*, 11313-11328. [CrossRef]

Sorumluluk Reddi/Yayıncının Notu: Tüm yayınlarda yer alan ifadeler, görüşler ve veriler yalnızca yazar(lar)a ve katkıda bulunan(lar)a aittir, MDPI ve/veya editör(ler)e ait değildir. MDPI ve/veya editör(ler), içerikte atıfta bulunulan herhangi bir fikir, yöntem, talimat veya üründen kaynaklanan insanlara veya mallara gelebilecek herhangi bir zarar için sorumluluk kabul etmez.