

## Derleme (Review)

Ege Üniv. Ziraat Fak. Derg., 2024, 61 (4):519-532  
<https://doi.org/10.20289/zfdergi.1465366>

Uğur YEGÜL<sup>1</sup> 

Ayten ONURBAŞ AVCIOĞLU<sup>1</sup> 

<sup>1</sup> Ankara Üniversitesi, Ziraat Fakültesi,  
Tarım Makinaları ve Teknolojileri  
Mühendisliği Bölümü, 06135, Keçiören,  
Ankara, Türkiye

\* Sorumlu yazar (Corresponding author):  
[yegul@ankara.edu.tr](mailto:yegul@ankara.edu.tr)

**Anahtar sözcükler:** Su-enerji-gıda (SEG)  
zinciri, sürdürülebilirlik, sürdürülebilir  
kalkınma hedefi, entegre kaynak yönetimi

**Keywords:** Water-Energy-Food (WEF)  
Nexus, sustainability, sustainable  
development goal (SDG), integrated  
resource management (IRM)

# Su-enerji-gıda zinciri kavramına dayalı ulusal politikaların belirlenmesi

## Determination of national policies based on the concept of water-energy-food nexus

Received (Alınış): 05.04.2024

Accepted (Kabul Tarihi): 02.08.2024

### ÖZ

Gıda fiyatlarındaki artış, doğal kaynaklardaki azalışın göstergesi olarak kabul edilmektedir. Nüfus artışıyla birlikte su, enerji ve gıda gibi doğal kaynaklara yönelik küresel talebin de artacağı tahmin edilmektedir. Son on yıl içerisinde su-enerji-gıda zinciri ortaya çıkmıştır. Su-enerji-gıda zinciri doğal çevre ve insan faaliyetleri arasındaki etkileşimleri sistematik olarak analiz etmek ve sektörler arasında doğal kaynakların daha koordineli bir yönetimi ve kullanımı için kavramsal bir yaklaşım sunmaktadır. Su-enerji-gıda zinciri ile ilgili çalışmalarda en önemli zorluk, sistemin nasıl temsil edileceği ve izleneceğidir. Bu amaçla enerji, tarım-gıda ve su ile ilgili konuları vurgulayan su-enerji-gıda zinciri ile ilgili ülke düzeyinde gösterge değerlerinin oluşturulması ve bunların izlenmesi gerekmektedir. Bu çalışmada; ilk olarak su-enerji-gıda zinciri hakkında temel bilgiler verilerek aralarındaki ilişkiler incelenmiştir. Makalenin ikinci bölümünde konuyla ilgili bir çalışmaya yer verilerek ülkemizin durumu değerlendirilmiştir. Son bölümde ise su-enerji-gıda zincirinin özellikleri ve gösterge değerlerinden yararlanılarak Ulusal bazda yapılması gereken çalışmalarla ilgili önerilerde bulunulmuştur.

### ABSTRACT

The increase in food prices is recognized as an indicator of the decline in natural resources. With population growth, global demand for natural resources such as water, energy and food are projected to increase. The water-energy-food nexus has emerged in the last decade. The water-energy-food nexus provides a conceptual approach for systematically analyzing the interactions between the natural environment and human activities and for a more coordinated management and use of natural resources across sectors. A major challenge in the study of the water-energy-food nexus is how to represent and monitor the system. For this purpose, it is necessary to establish and monitor country-level indicator values related to the water-energy-food nexus, which emphasizes energy, agri-food and water-related issues. In this study, firstly, basic information about the water-energy-food nexus is given and the relationships between them are analyzed. In the second part of the article, a study on the subject is given and the situation of our country is evaluated. In the last part, the characteristics of the water-energy-food nexus and indicator values are utilized, and suggestions are made regarding the studies to be carried out on a national basis.

## GİRİŞ

İkinci Dünya Savaşından sonra başlayan ve 1940'lar ile 70'ler arasında gözlenen "yeşil devrim" olarak bilinen tarımsal teknoloji türü (Carson, 1962), önemli bir tarımsal üretim artışı sağlamakla birlikte çevresel eleştirilere maruz kalmıştır. Yeşil devrimin başarısı; bitki ıslahının geliştirilmesi, yoğun sulama, fazla inorganik gübre kullanımı ve tarımsal üretimden gıda eldesine kadar yoğun enerji kullanımına dayanıyordu. Tarımsal üretimin her aşamasında mekanizasyon uygulamalarından kimyasal gübreler ve ilaçlar, ürün işleme, soğutma, paketlenme ve taşımaya kadar fosil yakıt kullanımının bu başarıya büyük katkısı olmuştur (Pellegrinia & Fernández, 2018).

Yeşil devrimin teknolojik ilerlemelerinin sağladığı mahsul üretimindeki fazlalık, mahsullerin yem olarak kullanılmasına izin vermiş, böylece "hayvancılık devrimi" olarak bilinen bir fenomen olan hayvancılık üretim oranlarını önemli ölçüde artırmıştır. Bu yeni hayvancılık üretim sistemi, mera üretimine alternatif olarak giderek artan bir şekilde kesif hayvan yemi üretimine dayanıyordu (Davis & D'Odorico, 2015; FAOSTAT, 2017). Benzer şekilde, deniz ürünlerine yönelik küresel talep artmış ve su ürünleri yetiştiriciliği faaliyetlerinde artan balık ve deniz ürünleri üretimi ile karşılaşmıştır (D'Odorico, 2018).

Bu başarılar yanında, zararlı pestisit kullanımı ve aşırı gübrelemenin neden olduğu toprak yapısında bozulma, ağır makinelerin kullanımına bağlı toprak sıkışması ve erozyon yanında fosil yakıtlara olan güçlü bağımlılık ve atmosferdeki sera gazlarının artışı bu tarım biçiminin sürdürülemez olduğunu ortaya koymaktadır (Pellegrinia & Fernández, 2018).

Küresel tarım-gıda sistemi, insanlığın çevreyi olumsuz yönde değiştirmesinin en kapsamlı yollarından biri haline gelmiştir. Tarlalar ve meralar artık gezegenin buzsuz yüzeyinin yaklaşık %38'ini kaplamaktadır. Erişilebilir suyun yarısından fazlası insan için kullanılmaktadır (Ertuğrul, 2023; Richter, 2014) ve antropojenik tüketilen suyun neredeyse tamamı tarım içindir. Tarımsal mekanizasyonla, yoğun toprak işleme gerçekleşmiş ve toprak oluşumundan daha fazla olan toprak kaybı gerçekleşmiştir. Gübre üretimi, çevredeki reaktif nitrojen (N) miktarını iki katından fazla artırmış ve gıda üretiminde (örneğin, geviş getiren hayvanların sindirimi ve gübre denitrifikasyonu) ve arazi kullanımındaki değişikliklerden (örneğin ormansızlaşma) kaynaklanan sera gazı emisyonları insanlığın sera gazı emisyonlarının %30'unu oluşturmuştur (Tubiello et al., 2013). Tarımsal faaliyetlerden kaynaklanan sera gazı emisyonları, 2000 yılından 2010 yılına kadar yıllık olarak %1,1 oranında artmıştır (Tubiello et al., 2013; D'Odorico et al., 2018).

İnsan nüfusu artmaya devam ettikçe, gıda talebi de artmaktadır. Bununla birlikte, artan talebi karşılamak için yeşil devrimin basit bir tekrarı pek olası değildir. Birleşmiş Milletler 2050 yılına kadar 9,7 milyar ve 2100'e kadar 10,9 milyar bir dünya nüfusu öngörmektedir (Gerland et al., 2014; D'Odorico et al., 2018). Sonuç olarak, dünya bugün olduğundan 2,5 milyar daha fazla insanı beslemek zorunda kalacaktır. Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü, artan talebi karşılamak için 2050 yılına kadar mevcut gıda üretiminin yüzde 70 artması gerektiğini tahmin etmektedir (FAO, 2011). Gezegenin sınırları, özellikle sınırlı enerji ve su kaynakları göz önüne alındığında, bu hedefe ulaşmak yüzyılın en büyük zorluklarından biridir. Aynı zamanda, işlenmiş gıda, et, süt ürünleri ve balık için artan talep, gıda tedarik sistemine daha fazla baskı eklemekte ve iklim değişikliğinin artan etkileri başka bir kısıtlama oluşturmaktadır (Godfray, 2010; Anonymous, 2021a).

Su, gıda üretimini etkileyen sınırlayıcı bir faktör olarak hayati öneme sahiptir (Porkka et al., 2017). Bu nedenle, sınırlı su kaynaklarıyla yeterli gıda arzını sağlama yeteneği, ciddi bir endişe haline gelmiştir. Aslında yeni teknolojilerin (örneğin, yeni çeşitler, sulama teknikleri ve suyun yeniden kullanım yöntemleri) gelişmesine rağmen; nüfus artışı ve beslenme düzenindeki değişikliklere bağlı olarak, küresel su kaynakları üzerindeki insan baskısı endişe verici oranlarda artmakta ve yeni endişeler ortaya çıkmaktadır (Carr et al., 2013; Varis et al., 2017).

Su krizinin sıklıkla gözden kaçan bir yönü, önümüzdeki birkaç on yılda su güvenliği tartışmalarına hakim olması beklenen gıda ve enerji endüstrileri arasındaki su kaynakları için ortaya çıkan rekabettir (Rosa et al.,

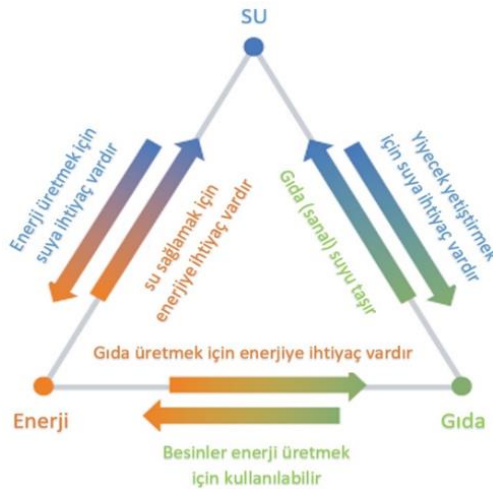
2017, 2018; Scanlon et al., 2017). Yakın zamana kadar, sanayi toplumlarının enerji ihtiyaçlarının çoğu, çıkarılmaları için nispeten düşük su maliyetleri gerektiren geleneksel fosil yakıtların kullanımıyla karşılanmaktaydı. Hidroelektrik gibi yenilenebilir enerjiye ek olarak, yakın gelecekte, daha fazla miktarda su gerektiren petrol kumları, kaya yağı ve kaya gazı gibi geleneksel olmayan fosil yakıt yataklarına artan bir bağımlılık görülecektir (Rosa et al., 2017, 2018). Bunlar, Dünya'daki fosil yakıtların çoğunu oluşturmakta olup, bunların çıkarılması özellikle gıda ve enerji için su kullanımları arasında daha güçlü bir rekabetin ortaya çıkmasının beklendiği, kurak ve yarı kurak bölgelerdeki su mevcudiyeti ile sınırlı olabilir (Rosa et al., 2018). Yenilenebilir enerji talebindeki artışın, nehir havzalarında sayısız sosyal ve çevresel sonuçlara yol açabilecek baraj gelişimini de önemli ölçüde artırması muhtemeldir; örneğin, yakın zamanda, dünya çapında yaklaşık 3.700 büyük hidroelektrik barajının planlandığını veya yapım aşamasında olduğunu tahmin etmektedirler (Zarfl et al. 2015; 2017). Aynı zamanda, son biyoenerji politikaları (European Union Parliament, 2009), gıda ve enerji kullanımları arasında doğrudan bir rekabetle biyoyakıt endüstrisinin gelişimini teşvik ederek, yenilenebilir enerjiye belirli bir derecede güvenilmesini zorunlu kılmıştır (Hermele, 2014; Ravi et al., 2014; Rulli et al., 2016; D'Odorico et al., 2018).

### Su-enerji-gıda zinciri

Enerji, gıda ve su talebi istikrarlı bir şekilde artmakta, ancak bunları üretmek için gereken kaynaklar sınırlı ve çoğu durumda da azalmaktadır.

Enerji, gıda ve su arasındaki karşılıklı bağımlılıklar sayısız ve çok boyutludur. Bunların ilişkisi genellikle enerji, gıda ve su zinciri (bileşenlerin sırası değişebilse de) (Rasul & Sharma, 2016) ya da "su-enerji-gıda zinciri" (SEG) olarak adlandırılmaktadır. Gıda üretiminin tek yolunun tarım olması nedeniyle, zincir içerisinde bazı kaynaklarda gıdaya bazı kaynaklarda da tarıma yer verilmektedir.

SEG zinciri yaklaşımı, enerji, su ve gıda arasındaki dinamik ve karmaşık bağlantıları tanıır. Bu yaklaşımın temelinde, sektörel konular olarak enerji, su ve tarımın birbirinden ayrı düşünülmemeyeceği inancı yatmaktadır. Her sektör kendi içinde çok yönlü olsa da üç sektör arasındaki bağlantılar, daha da karmaşık olan ilişkileri, zorlukları ve fırsatları ortaya çıkarmaktadır. Örneğin su, yakıt çıkarma, arıtma ve üretim için olduğu kadar elektrik üretimi için de gereklidir. Bu arada, suyu çıkarmak, pompalamak ve iletmek için olduğu kadar içme suyu amaçlı ve atık arıtma için de enerjiye ihtiyaç vardır. Su ve enerji, gıda üretimi, işlenmesi, dağıtımı ve hazırlanması için temel girdilerdir; bazı biyoyakıtların üretiminde ise gıda ürünleri kullanılır. Tarım ve gıda üretimi, arazi bozulumu, akıştaki değişiklikler ve yeraltı suyu deşarjının bozulması yoluyla su sektörünü etkiler. Şekil 1'de SEG zincirindeki ilişkiler gösterilmektedir (Anonymous, 2017).



Şekil 1. Su-Enerji-Gıda Zinciri (Anonymous, 2017).

Figure 1. Water-Energy-Food Nexus (Anonymous, 2017).

Şekil 1'de verilen SEG zinciri kapsamında bileşenler arasındaki ilişkiler şöyle incelenebilir:

### **Tarım-su bağlantısı**

Tarım, Dünya mevcut tatlı suyunun açık ara en büyük tüketicisidir. Küresel olarak, akarsulardan ve yeraltı suyundan çekilen suyun yüzde 70'i, bölgeler arasında önemli farklılıklar olmakla birlikte, tarımsal üretimde kullanım içindir (Anonymous, 2017).

Gıda talebinin karşılanması, doğrudan veya dolaylı olarak yerel su varlığına bağlıdır. Doğrudan, karasal ekosistemlerde tüm birincil tarımsal üretim yani bitkisel üretim su gerektirmektedir. Dolaylı olarak tüm ikincil, yani hayvansal üretim (balıkçılık hariç) nihayetinde ot, yem vb üretimi için suya gereksinim duyar. Bu nedenle, gıda üretimi ve su mevcudiyeti arasında güçlü bir bağ vardır. Böyle bir bağ, gıda ve su güvenliği tartışmasının merkezinde yer alır. Çünkü;

(1) Dünyanın birçok bölgesinde tarımsal üretim su mevcudiyeti ile sınırlıdır.

(2) Tarımsal ürün verimindeki artış, yüzey ve yeraltı sularından çekilen ve sulama için kullanılan suya bağlıdır.

(3) Genel olarak, bu tür tarımsal su kullanımı, dünya çapında su kaynaklarına insan tarafından el konulmasının herhangi bir biçimini çok aşmaktadır (D'Odorico et al., 2018).

Özellikle tarım-su ilişkilerinin daha iyi izlenebilmesi için ortaya çıkan su ayak izi kavramı bu noktada önemlidir. Tarımda kullanılan suyun ayak izinin izlenebilmesi için sanal su kavramı ortaya atılmıştır. Bu kavram uyarınca tarımsal amaçlı kullanılacak suyun detaylı analizi için mavi, yeşil ve gri su sınıflandırması yapılmıştır. Buna göre, mavi su, göl, nehir ve yeraltı rezerv suyunu; yeşil su, yağış ile toprakta sağlanan, bitkilerin kullanımına hazır suyu ve gri su, kullanılabilir temizlik düzeyine getirilebilen atık suyu tanımlanmaktadır. Bu tanımlama yardımı ile yetiştirilen ürünlerin ticareti ile arka planda bu ürünlerin yetiştirilmesi için harcanan suyun miktarı belirlenebilmekte ve ticaret ile ne kadar suyun da el değiştirdiği tahminlenebilmektedir. Bu sayede karar vericilerin sürdürülebilir kaynak yönetimi için geliştireceği politikaların tutarlılığı artırılabilir (Ertuğrul vd., 2022).

### **Enerji-su bağlantısı**

Yakıt üretimi ve elektrik üretimi, su mevcudiyetine bağlıdır ve su çıkarılması ve dağıtılması da enerji gerektirir (King et al., 2008). Hem su hem de enerji, hızla değişen bir dünyada artan stres altında kalmaya hazır olan sınırlı kaynaklardır. Sanayi toplumlarının ekonomisini "karbondan arındırmak" için uygulanan yeni enerji teknolojileri, su yoğun yakıtlara olan bağımlılığı artırmaktadır (IEA, 2016; Mielke et al., 2010). Enerji üretimi ile su kaynakları arasındaki bağlantıyı her geçen gün daha da şiddetlenmektedir. Örneğin, biyoyakıt üretimi, konsantre güneş enerjisi (CSP) ve karbon yakalama ve depolama, büyük miktarda su gerektiren uygulamalardır. Bu nedenle, su mevcudiyeti mevcut enerji operasyonlarını zorlayabilir ve enerji üretim projelerinin fiziksel, ekonomik ve çevresel uygulanabilirliğini belirleyen bir faktör olarak giderek daha fazla önem kazanmaktadır (Alexander et al., 2017; Durmuş & Gücüyeter, 2024; D'Odorico et al., 2018).

IEA'nın bir raporuna göre; küresel enerji talebinin 2040 yılına kadar %30 artması öngörülse de (BP, 2017; ExxonMobil, 2017; IEA, 2016), daha gelişmiş su tasarrufu teknolojilerinin benimsenmesi nedeniyle enerji üretimi için su kullanımının artması beklenmemektedir. Ancak nükleer enerjinin, biyoyakıt üretiminin ve geleneksel olmayan fosil yakıtların çıkarılmasının artması, enerji sektöründe su tüketimini %60'tan fazla artıracaktır. Birleşmiş Milletler (BM)'nin sürdürülebilir kalkınma hedeflerinden (SKH) biri; her insanın suya erişimini sağlamaktır. Bu amaca ulaşmak için atık, tuzlu veya acı suyu arıtmak daha fazla enerji gerekecektir. Önümüzdeki 25 yıl içinde, çoğunlukla tuzdan arındırma projeleri ve büyük ölçekli su transferi nedeniyle, su için enerji kullanımını iki katına çıkaran enerji yoğun su projelerine doğru bir geçiş olacaktır (IEA, 2016; Bakken et al., 2017; D'Odorico et al., 2018).

Tüketim, üretim ve ticaretle bağlantılı olarak su kullanımı, kıtlığı ve kirliliği üzerine giderek artan araştırmalar, su ayak izi değerlendirmesi (WFA) alanının ortaya çıkmasına yol açmıştır. Bu alanın temelinde, 2002 yılının başlarında Hoekstra tarafından geliştirilen ve Aralık 2002'de sanal su ticareti (VWT) konulu bir uzman toplantısında, uluslararası bir kitleye tanıtılan su ayak izi (WF) kavramı yer almaktadır (Hoekstra, 2017).

### **Gıda (Tarım)-enerji bağlantısı**

Sanayi devrimiyle, 1950'lerden sonraki "Büyük Hızlanma" döneminde, özellikle fosil yakıta (kömür, petrol ve doğal gaz) dayalı enerji sistemlerinde (Steffen et al., 2007) büyük artışlarlaönemli bir enerji geçişi yaşanmıştır. Yüksek enerjili bir topluma doğru bu geçiş, artan tarımsal üretim (sonraki yeşil devrimden gelen yeniliklerle birlikte) ve artan üretim oranı, ekonomik büyüme, kentleşme ve demografik büyüme de dahil olmak üzere sosyoekonomik değişikliklerle aynı zamana denk gelmiştir (Steffen et al., 2007; Ben-Ari & Makowski, 2014; D'Odorico et al., 2018).

Modern küresel gıda sektörü enerjiye bağımlıdır. Tarımsal yeşil devrimin temelini oluşturan teknoloji ve sanayileşme, tarımsal ürün veriminde muazzam bir iyileşme sağlarken, aynı zamanda tarım ve gıda üretiminin enerji ihtiyaçlarını da artırmıştır. Bugün, küresel gıda sektörünün nihai kullanım enerji talebi, yaklaşık 2.270 milyon ton eşdeğer petrol (mtep/yıl) veya toplam küresel nihai enerji talebinin %32'sidir. Çiftlikten sofraya kadar gıda üretiminin tüm değer zinciri boyunca enerjiye ihtiyaç vardır (Şekil 2) (Anonymous, 2017).

Degirmencioglu et al. (2019) tarımsal üretim için gerekli enerji kalemlerini temel detaylarıyla incelemişler ve sulama suyunun pompalanması ve/veya işlem görmesi için gereken enerji miktarı ile toprak işleme, hasat, gübre üretimi ve taşıma gibi işlemlerde harcanan enerji sarfiyatlarının belirlenmesi ile üretilen ürünlerin toplam enerji sarfiyat bilançolarının ortaya konabileceğini, su ve enerji sarfiyatlarını dikkate alarak üretilebilecek gelecek senaryoları ile sürdürülebilir tarım için gereken optimum kaynak kullanımının sağlanabileceğini belirtmişlerdir.

Tarım ve enerji ilişkisi iki yönlüdür. Tarım için enerji sarfiyatı söz konusu olabildiği gibi üretilen ürünlerin atıklarından enerji üretilebilmesi mümkündür. Tarımsal ürünlerin atıklarından çeşitli yöntemlerle enerji elde edilebilmektedir. Her ürünün literatürde belirlenmiş atık oranları, elde edilebilir atık oranları ve kendine özgü ısı değerleri aracılığı ile enerji üretim potansiyelinin hesaplanabilmesi mümkündür (Ertuğrul et al., 2024).

### **SEG zinciri gösterge değerleri**

Su, enerji ve gıda-tarım (SEG) zinciri ilk olarak 2010 yılında (Wong, 2010) vurgulandı ve 2011'den beri akademik, politika ve kalkınma ile ilgili ortamlarda SEG zincirine büyük önem verildi. Bonn2011 Konferansı (Hoff, 2011) ve Dünya Ekonomik Forumunun "Su Güvenliği" yayınında Su-Gıda-Enerji-İklim Bağlantısından etkili bir şekilde söz edilmektedir. Sonraki çalışmalarda ise SEG zincirinin yalnızca felsefi bir yaklaşım veya çerçeve olmasının aksine, nicel ve işlevsel hale getirilmesi gerektiği belirtildi. Nicel ve nitel SEG Zinciri değerlendirmelerini entegre etme zorunluluğu pek çok kaynaklarda vurgulanmıştır (FAO, 2018; Galaitsi et al., 2018; Allouche et al., 2019; Hoff et al., 2019; Simpson & Jewitt, 2019). SEG zincirini sürdürmenin önemli nedenlerinden biri de BM Sürdürülebilir Kalkınma Hedeflerine (SKH2: Açlığa son, SKH6: Temiz su ve sanitasyon, SKH7: Erişilebilir ve temiz enerji, SKH13: İklim eylemi) ulaşmak için önemli bir mekanizma olmasıdır (Nhamo et al., 2020).

SEG zincirinin gerçek bir bağlantı noktası olması için, üç sektörü birlikte değerlendiren, sektörler arası bağlantıların ölçülmesini ve dengesizliklerin görselleştirilmesini sağlayan, kaynakların gelişimini ve kullanımını bütüncül bir şekilde değerlendirebilen bir karar destek aracına ihtiyacı vardır (McGrane et al., 2018; Shannak et al., 2018). Kaynak yönetimini değerlendirmenin bir yolu, bileşik endekslerle ifade edilen sürdürülebilirlik

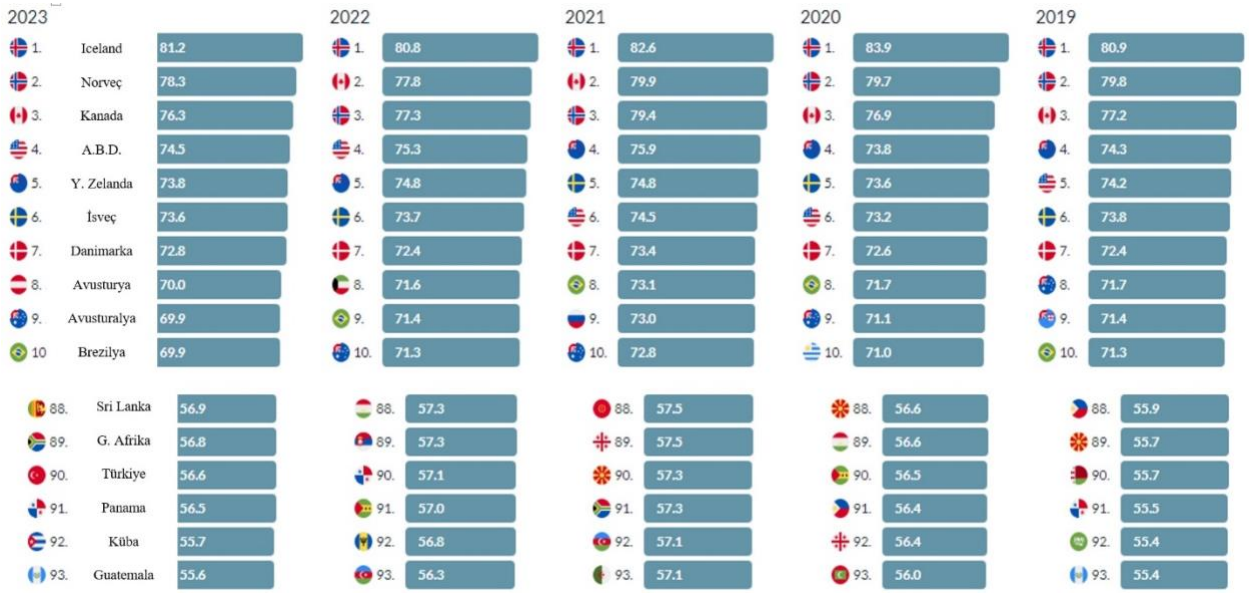
göstergeleridir (Dizdaroglu, 2017; Farinha et al., 2019). Sürdürülebilirlik göstergeleri, belirli bir mekansal ölçekte kaynakların performansı ve mevcut durumu hakkında (Singh et al., 2012; Bell & Morse, 2018) ve kaynak kullanımının durumunu veya eğilimini ölçmek için yararlanabilecek değerlerdir (Nhamo et al., 2020). Sürdürülebilirlik göstergeleri tek tek kullanılabilir gibi, tüm bireysel gösterge puanları tek bir bileşik endekse entegre edilerek birleştirilebilir (Schernewski et al., 2014). SEG zinciri sürdürülebilirlik göstergeleri, karar vericilere kısa, orta ve uzun vadeli perspektifler açısından SEG kaynaklarının durumunu gösteren önemli bir analitik çerçeve sağlar. SEG zincirinin önemli bileşenleri olarak sürdürülebilirlik göstergeleri, şimdi ve gelecekte insan refahını artırmak için kaynak planlama, yönetim ve teknoloji geliştirmeyi dengelemek için gerekli parametreleri sağlar (Bizikova et al., 2013). Ekolojik, sosyal veya ekonomik sistemlerin performansını gösteren ölçülebilir parametrelerdir (Nhamo et al., 2020).

Simpson ve Arkadaşlarının (2000) uluslararası bir proje kapsamında "Entegre Kaynak Yönetimi ve Sürdürülebilir Kalkınma için Bir Araç olarak Su-Enerji-Gıda Zinciri Endeksi" konulu çalışmalarında geliştirdikleri SEG bağlantı endeksi kriterlerinin oluşturulmasında AB Ortak Araştırma Merkezi: Bileşik Göstergeler ve Puan Tabloları Yeterlilik Merkezi (JRC: COIN: Joint Research Centre: Competence Centre on Composite Indicators and Scoreboards) tarafından geliştirilen metodoloji kullanılmıştır. JRC: COIN yanı sıra Çevresel Performans Endeksi (Yale Üniversitesi, Columbia Üniversitesi), Küresel Yenilik Endeksi (INSEAD ve Dünya Fikri Mülkiyet Örgütü), Eşitsizliği Azaltma Taahhüdü Endeksi (Oxfam), Mali Gizlilik Endeksi (Vergi Adalet Ağı), Çok Boyutlu Yoksulluk Belirleme Aracı (BM Uluslararası Tarımsal Kalkınma Fonu), Küresel Rekabet Edebilirlik Endeksi (Dünya Ekonomik Forumu) ve Yolsuzluk Algılama Endeksi de dikkate alınarak 170 ülke için su, enerji ve gıdayla ilgili 60'dan fazla gösterge oluşturulmuştur. SEG Bağlantı Endeksi'nin geliştirilmesinde incelenen göstergelerin yanı sıra bunların tanımlarını, kaynağını, veri yeterliliğini, referans yılını ve her bir göstergenin neden var olup olmadığına ilişkin motivasyonu sunan gösterge seçim tablosu, bileşik endekse dahil edilmiştir. JRC: COIN'e göre bileşik göstergenin geliştirilmesindeki bir sonraki aşama, endeksi oluşturacak göstergelerin seçimidir. Göstergeler için kullanılacak veriler; ulusal istatistik ofisleri, devlet daireleri, sivil toplum kuruluşları gibi çeşitli kuruluşlar, Dünya Bankası, Uluslararası Gıda ve Tarım Örgütü (FAO), Uluslararası Enerji Ajansı (IEA) ve Dünya Sağlık Örgütü (WHO) gibi uluslararası kuruluşlar tarafından toplanmaktadır. Bu veri tabanlarında yapılan küresel bir araştırma, su, enerji ve gıdayla ilgili 87 göstergeden oluşan bir listenin oluşturulmasını sağlamıştır. SEG Bağlantı Endeksini oluşturacak göstergelerin seçimi, paydaş/uzman katılımını kolaylaştırmak için bu proje kapsamında gerçekleştirilen 6 ayrı forumda sunulmuştur. Paydaş/uzman katılımının sonucu, SEG Bağlantı Endeksini oluşturmak için; 170 ülke için hesaplanacak endeks için, yeterli verinin sağlanabileceği 21 göstergeden oluşan bir setin seçilmesi gerçekleşmiştir. SEG Bağlantı Endeksi'nin su, enerji ve gıdayı temsil eden üç eşit sütunu vardır. Bu kaynak sektörlerinin her birinin sırasıyla "Erişim" ve "Kullanılabilirlik" alt sütunları bulunmaktadır (Simpson et al., 2020; Anonymous, 2021b).

Çalışma ile ilgili tüm bilgiler, hesaplama yöntemleri ve alınan veriler online olarak <https://wefnexusindex.org/> web sayfasında tüm ülkeler için yayınlanmaktadır. 2019'da başlayan çalışmada veri eldesine göre; ülke sayılarında değişiklikler olabilmektedir.

SEG Zinciri Endeksini oluşturan 21 gösterge için kullanılan veriler; Dünya Bankası, Uluslararası Enerji Ajansı (IEA) ve Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü (FAO) tarafından yayınlanan verilerdir.

Yukarıda açıklanan SEG bileşenlerinden yararlanılarak 184 ülke için SEG-Endeks değerleri hesaplanmıştır (Şekil 2). Her bir ülke için hesaplanan değerlerin verildiği grafikte ülke isminin yanında SEG-Endeks değerleri 2019-2023 yılları için yer almaktadır.

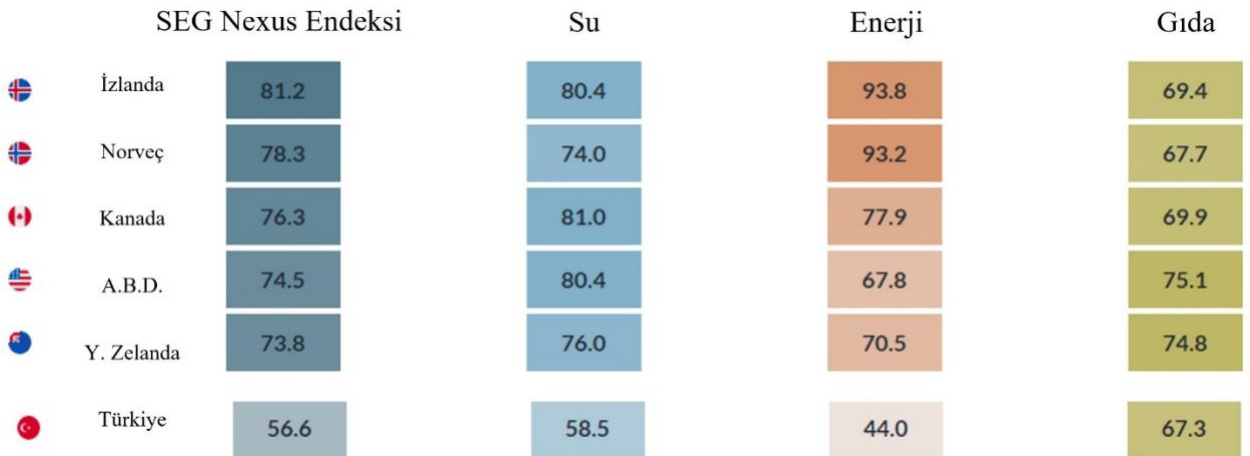


Şekil 2. Çeşitli ülkelerin SEG-Endeks değerleri (Anonymous 2023).

Figure 2. WEF-Index values of various countries (Anonymous 2023).

En yüksek SEG-Endeks değerine sahip olan ülkeler (2023) sırasıyla; İzlanda (81.2), Norveç (78.3), Kanada (76.3), ABD (74.5) ve Yeni Zelanda (73.8) olmuştur. Türkiye ülkeler sıralamasında 56.6 SEG-Endeks puanı ile 90. sırada yer almaktadır.

SEG-Endeks üç sütundan oluşmaktadır. Bunlar; su sütunu, enerji sütunu ve gıda sütunudur. Bu bileşenlerin gösterge değerleri de Şekil 3'te verilmiştir. İlk sırada yer alan İzlanda'nın su göstergesi 80.4, enerji göstergesi 93.8 ve gıda göstergesi 69.4'tür. Türkiye'nin ise; su göstergesi 58.5, enerji göstergesi 44.0 ve gıda göstergesi 67.3 olarak belirlenmiştir.



Şekil 3. SEG bileşenlerinin gösterge değerleri (Anonymous 2023).

Figure 3. Indicative values of WEF components (Anonymous 2023).

Su-Enerji-Gıda (SEG) Zinciri Endeksi, küresel olarak mevcut 21 göstergesi bir araya getiren bileşik bir göstergedir. Endeksin üç bileşeninin her biri iki alt sütun içermektedir: Erişim ve Kullanılabilirlik. Bu başlıklar altında da SEG-Endeksi Göstergeleri ve bunların sayısal değerleri yer almaktadır. Türkiye'ye ait SEG-Endeks Göstergeleri ve bunların sayısal değerleri Çizelge 1'de verilmiştir.

Türkiye, su endeksinde 58.5 değeri ile 2022 yılındaki 59. sıradan, 2023 yılında 80. sıraya düşmüştür. Enerji değerinde 2022'de 115. sırada olan Türkiye, 44 puanla 116. sıraya gerilemiştir. Gıda endeksinde ise 2022'de 37. sırada iken, 2023'de 67.3 puanla 38. sırada yer almıştır. SEG endeksinde ise 2022'de 75. sırada olan Türkiye, 2023 yılında 56.6 puanla 90. sırada bulunmaktadır.

Simpson ve arkadaşlarının 2020 yılında yaptığı çalışma, su, enerji ve tarım-gıda ile ilgili konuları vurgulayan SEG zinciri ile ilgili ülkeler düzeyinde bir bileşik gösterge sağlamaktadır. SEG Zincirini bir mercek olarak kullanarak, entegre kaynak yönetimi açısından 170 farklı ulusun statüsünü tespit etmek için nicel bir araç sağlanmıştır. Aynı zamanda, bir ulusun statüsünü aynı bölgeden benzer düzeyde (yani gelişmiş veya gelişmekte olan) diğer ülkelerle veya bir ulusun belirli bir ülkeye göre değerlendirilmesi yoluyla karşılaştırma fırsatı oluşturmaktadır (Simpson et al., 2020).

2030 SKH hedef yılına giden on yılda SEG Zinciri değerlendirmeleri daha kapsamlı olmalıdır. Nitel çalışmalar nicel değerlendirmelere paralel olarak yürütülmelidir. SEG Zinciri yaklaşımını kullanan entegre kaynak yönetimi için herkese uyan tek bir yöntem yoktur. Bunun yerine, metodoloji her benzersiz durum için uyarlanmalıdır ve SEG Zinciri Endeksi, bu tür çalışmalar için bir katalizör ve giriş noktası olabilir. SKH'lerin bir alt kümesini/bağlantısını değerlendiren endeks, SKH'leri tamamlayıcı niteliktedir. Ancak SKH'lerde olduğu gibi, bu bağlantı çalışması "entegre" göstergelerin eksikliğinden muzdariptir. Bu boşluk gelecekte yeni göstergeler geliştirildikçe giderilebilecektir. (Simpson et al., 2020). D'Odorico et al. (2018)'e göre de küresel SEG sisteminin anlaşılmasında ve yönetiminde bazı büyük boşluklar bulunmaktadır. Daha spesifik olarak, sürdürülebilir SEG çözümlerini gerçek dünya sonuçlarıyla ilişkilendirmeye ve yerel uzmanlar ve paydaşlarla etkileşime giren araştırmalara katılmaya acil bir ihtiyaç vardır.

**Çizelge 1.** Türkiye için hesaplanan 2023 SEG-Endeks değerleri\*

**Table 1.** 2023 WEF-Index values calculated for Türkiye\*

		Gösterge No	Gösterge Değerleri	Gösterge Puanı	Endeks değeri (sıralama)
Su	Erişim	01	Minimum içme suyu hizmetlerinden yararlanan kişiler (%)	97	58.5 (80)
		02	Minimum temel temizlik hizmetlerini kullanan kişiler (%)	78.4	
		03	IWRM (Entegre Su Kaynakları Yönetimi) uygulama derecesi (1-100)	72	
	Kullanılabilirlik	04	Yıllık tatlı su çekimi, toplam (iç kaynakların yüzdesi)	27.1	
		05	Kişi başına düşen yenilenebilir iç tatlı su kaynakları (m3)	2,698	
		06	Çevresel akış gereksinimleri (10 <sup>6</sup> m3/yıl)	0.7	
		07	Derinlikteki ortalama yağış (mm/yıl)	593	
Enerji	Erişim	08	Elektriğe erişim (nüfusun yüzdesi)	100	44 (116)
		09	Yenilenebilir enerji tüketimi (toplam nihai enerji tüketiminin yüzdesi)	13.7	
		10	Yenilenebilir elektrik üretimi (toplam elektrik üretiminin yüzdesi)	32	
	Kullanılabilirlik	11	CO2 emisyonları (kişi başına metrik ton)	4.8	
		12	Elektrik güç tüketimi (kWh/kişi).	2,815	
		13	Enerji ithalatı, net (enerji kullanımının yüzdesi)	75.2	
Gıda	Erişim	14	Yetersiz beslenme yaygınlığı (%)	2.5	67.3 (38)
		15	Aşırı zayıflıktan etkilenen 5 yaş altı çocukların yüzdesi (%)	1.7	
		16	Yeterince gelişmemiş 5 yaş altı çocukların yüzdesi (%)	5.5	
		17	Yetişkin popülasyonda (18 yaş ve üstü) obezite yaygınlığı	32.1	
	Kullanılabilirlik	18	Ortalama protein arzı (gram/kişi/gün)	110.7	
		19	Tahıl verimi (kg/hektar).	2,918.5	
		20	Ortalama Diyet Enerji Arz Yeterliliği (ADESA) (%)	159	
		21	Gıda üretiminin ortalama değeri (I\$/kişi).	159	
<b>SEG Zinciri</b>					<b>56.6 (90)</b>

\* (<https://www.wefnexusindex.org/TUR> (Anonymous, 2023) adresinden yararlanılarak hazırlanmıştır).



## Ulusal Düzenlemeler

Dünya genelinde Nexus Çalışmaları, bilimsel araştırmalar ve projeler olarak gerçekleştirilmektedir. En yoğun çalışmalar Brezilya ve Çin'de, en az araştırma Grönland, Kongo ve İrlanda'da yapılmıştır. İran, Güney Afrika, Suudi Arabistan ve Lübnan gibi su kıtlığı çeken ülkelerde de yoğun araştırmalar yer almaktadır. Asya, Avustralya, Kuzey Amerika, Güney Amerika, Afrika ve Avrupa dahil olmak üzere farklı bölgelerdeki farklı yaklaşım türlerinin (WEF bağlantı noktası, WEFC bağlantı noktası ve WEFC bağlantı noktası) dağılımı görülmektedir. SEG bağlantısı içerisinde Asya'da gıda sektörüne daha fazla odaklanıldığı, Avrupa'da su ve enerji sektörleri arasındaki etkileşime daha önem verildiği ve Afrika'da iklim bağlantısına etkilerinin daha yoğun araştırıldığı görülmektedir (Kalvani & Celico, 2024).

Sürdürülebilir kalkınma bağlamında gıda güvenliği, sağlıklı su yönetimi ve modern enerji hizmetlerine evrensel erişim temel hedeflerdir. Bu sektörlerdeki politikalar ve uygulamalar sektörler arası koordinasyon olmadan yapılırsa riskler ve belirsizlikler ortaya çıkabilir. Enerji, su ve gıda güvenliğini ayrı ayrı ele alan geleneksel geliştirme çözümleri yetersizdir ve genellikle istenmeyen sonuçlara yol açar.

SEG zincir yaklaşımı, sınırlı kaynaklarımızı sürdürülebilir bir şekilde kullanabilmemiz ve yönetebilmemiz için su, enerji ve tarım-gıda arasındaki karmaşık ve dinamik ilişkileri daha iyi anlamamıza yardımcı olur. Bir sektördeki kararın sadece o sektör üzerinde değil, diğerleri üzerinde de yaratabileceği etkileri düşünmeye zorlar. Potansiyel değişimleri ve sinerjileri öngörerek, farklı sektörlerde uygulanabilir yanıt seçeneklerini tasarlayabilir, değerlendirebilir ve önceliklendirebilir.

SEG Zincir Endeksinin geliştirilmesi, hiçbir ülkede entegre kaynak yönetiminin kusursuz bir şekilde gerçekleşeceğini göstermemektedir. Her ulus sürekli olarak gelişme potansiyeline sahiptir ve endeks değerleri de olumlu ya da olumsuz yönde değişiklik gösterebilecektir. Ne SEG Zincir yaklaşımı ne de Zincir Endeksi küresel toplumun karşı karşıya olduğu tüm önemli kalkınma veya çevresel zorlukları çözecek her derde deva değildir. Bununla birlikte, entegre kaynak yönetimine katkıda bulunabilir ve Sürdürülebilir Kalkınma Hedeflerini tamamlayıcı niteliktedir.

Enerji-tarım-su zinciri kavramına dayalı olarak Ulusal politikaların belirlenmesi amacıyla aşağıda belirtilen konular dikkate alınmalıdır.

- 1. SEG Zinciri veri tabanının oluşturulması:** SEG Zinciri konusunda yapılan çalışmalarda görülmüştür ki; SEG sistemleri ve kaynakların sürdürülebilirliği konusunda sınırlı ve eksik veriler bulunmaktadır. Bu nedenle özellikle ulusal düzeyde, SEG Zincir bilgi tabanına gereksinim vardır. Bu amaçla SEG Zinciri akıllı altyapıya, çok işlevli ekosistemlere ve yenilikçi teknolojilere ve kurumlara yatırım yapılabilmesi için politikalar geliştirilmeli ve kurumsal destekler sağlanmalıdır. Böylece SEG Zincir anlayışımızı geliştirecek yeni veri kaynakları ve yaratıcı stratejiler oluşturulabilir.
- 2. SEG Zinciri içerisindeki sektörler arası koordinasyonu sağlamak:** Sektörler arası koordinasyon ve entegrasyonla veri tabanının geliştirilmesi, sektörler arasında sinerjiler yaratılması, kaynak kullanım verimliliğinin artırılması ve çevresel etkilerin azaltılması ve enerji-gıda-su yönetiminin entegre edilmesi sağlanacaktır.
- 3. SEG Sistemi ile ilgili ulusal araştırmaların yapılması:** Yapılan küresel çalışmalarda; SEG sisteminin anlaşılması ve yönetiminde önemli boşluklar olduğu bildirilmektedir (D'Odorico et al., 2018). Sürdürülebilir SEG çalışmalarını ulusal düzeyde uygulanmasını sağlayacak yerel uzmanlar ve paydaşlarla etkileşimini sağlayacak araştırmalara gereksinim vardır.
- 4. SEG Zincirinin tüm kalkınma alanlarında dikkate alınması:** SEG zinciri tüm kalkınma problemleri, alt yapı geliştirme ve planlamalarına dahil edilmelidir. Tüm sektörlerin amacı; gelecek nesiller için doğal çevreyi korurken üretimi artırmaya yatırım yapmak olmalıdır. Bu akılda tutularak her sektör için bilgi ve teknoloji paylaşımı, ortak kaynak yönetimi ve SEG zincir tabanlı çözümler üretilmesi sağlanmalıdır.

5. **SEG sistemleri arasındaki faydalı bağlantıların güçlendirilmesi:** Gıda, su ve enerji sistemleri arasındaki doğal bağlantılar, bir sistemin sürdürülebilirliğini iyileştirmeyi hedefleyen bazı stratejilerin, her üç sistemde birden çok amaca hizmet eden sinerjik etkilere sahip olabilmesi açısından fırsatlar da sunabilir. Döngüsel ekonomide atık yakalama ve geri dönüşüm gibi SEG zincirindeki bu faydalı bağlantıların güçlendirilmesi, küresel ölçekte gıda, su ve enerji güvenliğinin esnekliğini artırmak için kritik öneme sahip olacaktır.
6. **SEG Yönetim ve SEG Verimlilik Sistemlerinin geliştirilmesi:** Enerji yönetimi, enerji verimliliği alanında olduğu gibi; su ve gıda alanlarında da yönetim ve verimlilik çalışmaları yapılmalıdır. SEG yönetimi ve SEG verimliliğinin ulusal olarak tüm alanlarda öğretilmesi, benimsenmesi ve kullanılması yönünde yasal düzenlemeler yapılarak teşvik edilmesi ve desteklenmesi sağlanmalıdır.
7. **Sürdürülebilir Tarım:** Tarım, insan gıdasının tek sağlayıcısıdır ve tarımsal üretimin en önemli girdileri de tatlı su ve enerjidir. Sürdürülebilir tarım kavramı, sınırlı doğal kaynakların kullanımını ve zararlı çevresel etkileri en aza indirirken, ürün verimliliğini en üst düzeye çıkarmak ve ekonomik istikrarı sürdürmek arasındaki hassas bir dengeye dayanmaktadır. Dolayısıyla SEG zincirinde tarımsal üretimde, Sürdürülebilir Kalkınma Hedeflerini de dikkate alarak aşağıda verilen konular dikkate alınmalıdır:
  - Tarımsal üretim için su ve enerjinin verimli kullanımına yönelik teşviklerin düzenlenmesi ve tanıtılması yoluyla su ve enerji yönetimi sağlanmalıdır.
  - Çoğu tarım makinesinin çalıştırılmasında ve gübre, ilaç yapımında, sera gazı emisyonlarına katkıda bulunan ve buna bağlı olarak iklim değişikliğini hızlandıran fosil yakıtlarla çalışılmaktadır. Bu tür çevresel zararlar, ülkemizde potansiyeli yüksek olan güneş, rüzgar, jeotermal ve biyoyakıtlar gibi yenilenebilir kaynakların teşviki ile azaltılabilir. Bu yenilenebilir kaynaklar tarım sektörü için büyük bir potansiyele sahiptir. Çiftçiler sübvansiyonlarla yenilenebilir enerji teknolojilerini kullanmaya teşvik edilmelidir.
  - Küresel ısınma ve iklim değişikliğinden en fazla etkilenen sektör tarımdır. Bu değişiklikler, yeni teknolojiler ve yeni ürünlerin yetiştirilmesi gibi adaptasyon önlemleri gerektirmektedir.
  - Tarımın iklim değişikliğine katkısı da unutulmamalıdır. Toplam küresel sera gazı emisyonlarının yaklaşık çeyreği tarım kaynaklıdır. Özellikle metan salımına neden olan hayvan dışkıları ile ilgili atık yönetimine önem verilmelidir.

Tarımsal üretimin tüm alanları için hassas tarıma geçilmelidir. Hassas tarım, yeni bilgi teknolojilerinin kullanımı yoluyla tarımsal sürdürülebilirliği sağlamak için kilit bir ürün yönetim sistemidir. Hassas tarım su ve enerjinin en verimli kullanılabileceği gıda üretim sistemidir.

Arazinin yanlış kullanımı yüzünden ortaya çıkan organik madde kayıpları, toprak kalitesinin düşmesine ve toprak yapısının bozulmasına neden olmaktadır. Bununla birlikte, arazi kullanımının uygun şekilde yapılması ve doğru toprak yönetimi, topraktaki organik maddenin artışına ve karbondioksit (CO<sub>2</sub>) miktarının azaltılmasına ve toprak kalitesinin iyileştirilmesini sağlayabilmektedir. Uygun bitkiler kullanılarak su kullanımı veriminin artırılması, gübre uygulamalarının optimize edilmesi mümkündür. Ayrıca toprakta bulunan karbon miktarı ormanların alanlarının korunması ile sağlanabilmekte ve atmosferde bulunan CO<sub>2</sub> miktarındaki artış veya azalış ile direk ilişkilidir (Janzen, 2004; Topçu vd., 2022).

## SONUÇ

Bu çalışma ile su-enerji-gıda zinciri hakkında temel bilgiler verilerek aralarındaki ilişkilerin incelenmesi amaçlanmıştır. Makalenin ikinci bölümünde konuyla ilgili bir çalışmaya yer verilerek ülkemizin durumu değerlendirilmiştir. Üçüncü bölümde ise su-enerji-gıda zincirinin özellikleri ile birlikte gösterge değerlerinden yararlanılarak Ulusal bazda yapılması gereken çalışmalarla ilgili önerilerde bulunulmuştur.

Dünya 21. Yüzyılda başta su olmak üzere gıda ve enerjiye yönelik sürekli değişen ve artan talepleri karşılamak için büyük bir zorlukla karşı karşıyadır. Giderek artan bu talebin sürdürülebilir bir şekilde nasıl karşılanacağı kesin belirlenmemiş olsa da gelecekte gıdaya katkıda bulunabilecek yaklaşımlar söz konusu olmaktadır. Bu tür yaklaşımlar gıda, su ve enerji konusundaki yeni teknolojiler, çevre ve sağlık eğitimine dayalı kültürel önlemler veya su yönetimi, enerji yönetimi gibi politikalar olabilmektedir.

Yine aynı yaklaşımla su-enerji-gıda zinciri entegre kaynak yönetimini değerlendirmek için önem kazanmıştır. SEG zinciri farklı sosyal, ekonomik ve çevresel hedeflere ulaşmak için; küresel kaynakların birbiriyle ilişkili doğasını tanımlamak ve ele almak için yararlı bir kavram olarak ortaya çıkmıştır. Böylece, doğal kaynaklarla ilgili daha entegre ve uygun maliyetli planlama, karar verme, uygulama, izleme ve değerlendirme yapılarak sektörler arası sinerji oluşturulabilecektir.

SEG zinciri yaklaşımının temelinde, sektörel konular olarak enerji, su ve tarım-gıdanın birbirinden ayrı düşünülmemeyeceği inancı yatmaktadır. Her sektör kendi içinde çok yönlü olsa da, üç sektör arasındaki bağlantılar, daha da karmaşık olan ilişkileri, zorlukları ve fırsatları ortaya çıkarmaktadır. Kaynak değerlendirmelerinde ve politika oluşturmada su, enerji ve tarım arasındaki bağlantının dikkate alınmaması, çelişkili stratejilere ve kaynakların verimsiz kullanımına yol açacaktır.

SEG zinciri ile ilgili en önemli zorluk, su, enerji ve gıda ile ilgili parametreleri içeren sistemin karmaşık olması nedeniyle ölçülmesi ve izlenmesindeki zorluktur. SEG zincirinin tek bir gösterge kullanılarak değil, standartlaştırılması ve normalleştirilmesi gereken bir dizi farklı gösterge aracılığıyla ölçülmesi gerekmektedir. Bu amaçla pek çok gösterge parametreleri yardımıyla oluşturulan SEG Endeksi, SEG zincirinin nicel bir ölçüsünü sağlayarak karmaşık veri kümesine bir özet ve giriş noktası sağlamaktadır. Böylece çeşitli göstergelerin daha ayrıntılı analizi, araştırmacı, politikacı ve sektörel karar vericilere uygulama ve yatırımlar konusunda ipuçları verecektir.

Ulusal SEG Endeksinin oluşturulabilmesi için ilk aşamada SEG Zinciri içerisindeki sektörler arası koordinasyonun sağlanması gerekmektedir. Böylece, SEG sistemleri arasındaki faydalı bağlantıların güçlendirilmesiyle sinerji oluşturulması sağlanacaktır. Diğer önemli bir konu da SEG ile ilgili ortak ulusal araştırmalar yapılarak SEG Zinciri veri tabanının oluşturulması zorunluluğudur. Son aşamada SEG Yönetim ve SEG Verimlilik Sistemlerinin geliştirilmesiyle SEG zincirinin tüm kalkınma alanlarında dikkate alınması önemli olmaktadır. Yapılan Ulusal bazdaki SEG zinciri çalışmalarına dayalı olarak, ulusal kaynakların (toprak, su, fosil yakıtlar) yönetimi, kendi kendine yeterliliği, hizmet sunumu, tüketimi gibi konularda sürdürülebilir karar verme olanağı sağlayacaktır.

### **Veri Kullanılabilirliği**

Veriler makul talep üzerine sağlanabilmektedir.

### **Yazar Katkıları**

Çalışmanın konsepti ve tasarımı: UY, AOA; örnek toplama: UY, AOA; verilerin analizi ve yorumlanması: UY, AOA; istatistiksel analiz: UY, AOA; görselleştirme: UY, AOA; makalenin yazımı: UY, AOA.

### **Çıkar Çatışması**

Bu çalışmada yazarlar arasında çıkar çatışması bulunmamaktadır.

### **Etik Beyan**

Bu araştırma için etik kurula ihtiyaç olmadığını beyan ederiz.

### **Makale Açıklaması**

Bu makale Konu Editörü Doç. Dr. Arzu YAZGI tarafından düzenlenmiştir.

## KAYNAKLAR

- Alexander, P., C. Brown, A. Arneith, C. Dias, J. Finnigan, D. Moran & M.D. Rounsevell, 2017. Could consumption of insects, cultured meat or imitation meat reduce global agricultural land use? *Global Food Security*, 15 (1): 22-32. <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2017.04.001>
- Allouche, J., C. Middleton & D. Gyawali, 2019. *The Water-Energy-Food Nexus: Power, Politics, and Justice*. Routledge, London, 150 pp.
- Anonymous, 2017. *The Energy-Water-Food Nexus: Managing Key Resources for Sustainable Development*. Ofi Pamphlet Series 41, Druckerei Odysseus, Himberg, Austria, 100 pp.
- Anonymous, 2021a. *The Energy-Agriculture Nexus*. (Web page: [https://energypedia.info/wiki/Introducing\\_the\\_Energy-Agriculture\\_Nexus](https://energypedia.info/wiki/Introducing_the_Energy-Agriculture_Nexus)) (Date accessed: April 2024).
- Anonymous, 2021b. *The wef nexus index*. (Web page: <https://www.wefnexusindex.org/>) (Date accessed: April 2024).
- Anonymous, 2023. *The wef nexus index*. (Web page: <https://www.wefnexusindex.org/turkey>) (Date accessed: April 2024).
- Bakken, T. H., Å. Killingtveit & K. Alfredsen, 2017. The water footprint of hydropower production-state of the art and methodological challenges. *Global Challenges*, 1 (5): 1-8. <https://doi.org/10.1002/gch2.201600018>
- Bell, S. & S. Morse, 2018. Sustainability indicators past and present: what next? *Sustainability*, 10 (5): 1-15. <https://doi.org/10.3390/su10051688>
- Ben-Ari, T. & D. Makowski, 2014. Decomposing global crop yield variability. *Environmental Research Letters*, 9 (11): 1-10. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/9/11/114011>
- Bizikova, L., D. Roy, D. Swanson, H.D. Venema & M. McCandless, 2013. The water-energy-food security nexus: towards a practical planning and decision-support framework for landscape investment and risk management. (Web page: [www.iisd.org/system/files/publications/wef\\_nexus\\_2013.pdf](http://www.iisd.org/system/files/publications/wef_nexus_2013.pdf)) (Date accessed: April 2024).
- BP, 2017. *Energy outlook 2017*. (Web page: [www.bp.com/content/dam/bp/pdf/energy-economics/energy-outlook-2017/bp-energy-outlook-2017.pdf](http://www.bp.com/content/dam/bp/pdf/energy-economics/energy-outlook-2017/bp-energy-outlook-2017.pdf)) (Date accessed: April 2024).
- Carr, J. A., P. D'Odorico, F. Laio & L. Ridolfi, 2013. Recent history and geography of virtual water trade. *PLoS One*, 8 (2): 1-9. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0055825>
- Carson, R., 1962. *Silent spring*. (Web page: <https://www.bluejayjournal.ca/index.php/bluejay/article/download/2554/2543>) (Date accessed: April 2024).
- D'Odorico, P., K.F. Davis, L. Rosa, J. A. Carr, D. Chiarelli & J. Dell'Angelo, 2018. The global food-energy-water nexus. *Reviews of Geophysics*, 56 (3): 456-531. <https://doi.org/10.1029/2017RG000591>
- Davis, K.F. & P. D'Odorico, 2015. Livestock intensification and the influence of dietary change: a calorie-based assessment of competition for crop production. *Science of the Total Environment*, 538: 817-823. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.08.126>
- Degirmencioglu, A., R.H. Mohtar, B.T. Daher, G. Ozgunaltay-Ertugrul & O. Ertugrul, 2019. Assessing the sustainability of crop production in the Gediz Basin, Turkey: a water, energy, and food nexus approach. *Fresenius Environmental Bulletin*, 28 (4): 2511-2522.
- Dizdaroglu, D., 2017. The role of indicator-based sustainability assessment in policy and the decision-making process: a review and outlook. *Sustainability*, 9 (6): 1-28. <https://doi.org/10.3390/su9061018>
- Durmuş, İ. & İ. Gücüyeter, 2024. Karbon ayak izi ve yeşil organizasyon kavramlarına yönelik bibliyometrik araştırmalar. *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 61 (1): 113-124. <https://doi.org/10.20289/zfdergi.1388506>
- Ertuğrul, Ö., 2023. "A Review on The Mechanization Practices for Regenerative Agriculture, 295-309". In: *Advance Concepts on Natural and Agricultural Sciences*. 1st Ed. (Eds. A. Kazankaya & M.A. Ateş), Ankara, Türkiye, 309 pp.
- Ertuğrul, Ö., B. Daher, G. Özgünaltay Ertuğrul & R. Mohtar, 2024. From agricultural waste to energy: assessing the bioenergy potential of south-central texas. *Energies*, 17 (4): 1-16. <https://doi.org/10.3390/en17040802>
- Ertuğrul, Ö., G. Özgünaltay-Ertuğrul & A. Değirmencioglu, 2022. "Su, Enerji ve Gıda Kaynaklarının İlişkisi ve Sürdürülebilir Tarımdaki Yeri, 171-177". In: *Ziraat ve Su Ürünlerinde Kavramsal ve Olgusal Yaklaşımlar*. 1st ed. (Eds. Y. Banu & M. T. Tolon), Yenişehir, Ankara, 177 pp.

- European Union Parliament, 2009. Directive 2009/28/EC. (Web page: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/ALL/?uri=CELEX%3A32009L0028>) (Date accessed: April 2024).
- ExxonMobil, 2017. The outlook for energy: A view to 2040. (Web page: <http://cdn.exxonmobil.com/~media/global/files/outlook-for-energy/2017/2017-outlook-for-energy.pdf>) (Date accessed: April 2024).
- FAO, 2011. Energy-smart food for people and climate, Issue paper, Food and Agriculture Organization of the United Nations. (Web page: <http://www.fao.org/docrep/014/i2454e/i2454e00.pdf>) (Date accessed: April 2024).
- FAO, 2018. Water-Energy-Food Nexus for the Review of SDG 7. Food and Agriculture Organization. (Web page: <http://www.fao.org/>) (Date accessed: April 2024).
- FAOSTAT, 2017. Food and Agriculture Organization 2017. FAOSTAT database. Rome, Italy: Food and Agriculture Organization of the United Nations. (Web page: <http://www.faostat.org/>) (Date accessed: April 2024).
- Farinha, F., M. J. Oliveira, E. M. Silva, R. Lança, M. D. Pinheiro & C. Miguel, 2019. Selection process of sustainable indicators for the algarve region-observe project. Sustainability, 11 (2): 1-24. <https://doi.org/10.3390/su11020444>
- Galaiti, S., J. Veysey & A. Huber-Lee, 2018. Where is the added value? A review of the waterenergy-food nexus literature. (Web page: <https://www.sei.org/wp-content/uploads/2018/07/review-of-the-water-energy-food-nexus.pdf>) (Date accessed: April 2024).
- Gerland, P., A. E. Raftery, H. Sevčiková, N. Li, D. Gu & T. Spoorenberg, 2014. World population stabilization unlikely this century. Science, 346 (6206): 234-237. <https://doi.org/10.1126/science.1257469>
- Godfray, H.C.J., J.R. Beddington, I.R. Crute, L. Haddad, D. Lawrence, J.F. Muir, J. Pretty, S. Robinson, S.M. Thomas & C. Toulmin, 2010. Food security: the challenge of feeding 9 billion people. Science, 327 (5967): 812-818. <https://doi.org/10.1126/science.1185383>
- Hermele, K., 2014. The appropriation of Ecological Space. Routledge, New York. 176 pp.
- Hoekstra, A.Y., 2017. Water footprint assessment: evolvment of a new research field. Water Resources Management, 31: 3061-3081. <https://doi.org/10.1007/s11269-017-1618-5>
- Hoff, H., 2011. Understanding the nexus. (Web page: <https://www.sei.org/mediamanager/documents/Publications/SEI-Paper-Hoff-UnderstandingTheNexus-2011.pdf>) (Date accessed: April 2024).
- Hoff, H., S.A. Alrahaife, R. El Hajj, K. Lohr, F.E. Mengoub, N. Farajalla, K. Fritzsche, G. Jobbins, G. Özerol, R. Schultz & A. Ulrich, 2019. A nexus approach for the mena region-from concept to knowledge to action. Frontiers in Environmental Science, 7 (48): 1-14. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2019.00048>
- IEA, 2016. International Energy Agency. (Web page: <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2016>) (Date accessed: April 2024).
- Janzen, H., 2004. Carbon cycling in earth systems-a soil science perspective. Agriculture, Ecosystems & Environment. 104 (3): 399-417. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2004.01.040>.
- Kalvani, S.R. & F. Celico. 2024. Analysis of pros and cons in using the water-energy-food nexus approach to assess resource security: a review. Sustainability, 16 (7): 1-18. <https://doi.org/10.3390/su16072605>
- King, C.W., A.S. Holman & M.E. Webber, 2008. Thirst for energy. Nature Geoscience, 1 (5): 283-286. <https://doi.org/10.1038/ngeo195>
- McGrane, S.J., M. Acuto, F. Artioli, P.Y. Chen, R. Comber, J. Cottee, G. Farr-Wharton, N. Green, A. Helfgott & S. Larcom, J. A. McCann, P. O'Reilly, G. Salmoral, M. Scott, L. C. Todman, T. Van Gevelt & X. Yan, 2018. Scaling the nexus: towards integrated frameworks for analysing water, energy and food. The Geographical Journal, 185 (4), 419-431. <https://doi.org/10.1111/geoj.12256>
- Mielke, E., L.D. Anadon & V. Narayanamurti, 2010. Water consumption of energy resource extraction, processing, and conversion. (Web page: <https://www.belfercenter.org/sites/default/files/legacy/files/ETIP-DP-2010-15-final-4.pdf>) (Date accessed: April 2024).
- Nhamo, L., T. Mabhaudhi, S. Mpandeli, C. Dickens, C. Nhemachena, A. Senzanje, D. Naidoo, S. Liphadzi & A.T. Modi, 2020. An integrative analytical model for the water-energy-food nexus: South Africa case study. Environmental Science and Policy, 109: 15-24. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2020.04.010>

- Pellegrinia, P. & R.J. Fernández, 2018. Crop intensification, land use, and on-farm energy-use efficiency during the worldwide spread of the green revolution. *Proceeding of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 115 (10): 2335-2340. <https://doi.org/10.1073/pnas.1717072115>
- Porkka, M., J.H., Guillaume, S. Siebert, S. Schaphoff & M. Kummu, 2017. The use of food imports to overcome local limits to growth. *Earth's Future*, 5 (4): 393-407. <https://doi.org/10.1002/2016EF000477>
- Rasul, G. & B. Sharma, 2016. The nexus approach to water-energy-food security: an option for adaptation to climate change. *Climate Policy*, 16 (6): 682-702. <https://doi.org/10.1080/14693062.2015.1029865>
- Ravi, S., D.B. Lobell & C.B. Field, 2014. Tradeoffs and synergies between biofuel production and large solar infrastructure in deserts. *Environmental Science and Technology*, 48 (5): 3021-3030. <https://doi.org/10.1021/es404950n>
- Richter, B., 2014. *Chasing Water: A Guide For Moving From Scarcity To Sustainability*. Island Press Washington DC, 192 pp.
- Rosa, L., K.F. Davis, M.C. Rulli & P. D'Odorico, 2017. Environmental consequences of oil production from oil sands. *Earth's Future*, 5 (2): 158-170. <https://doi.org/10.1002/2016EF000484>
- Rosa, L., M.C. Rulli, K.F. Davis & P. D'Odorico, 2018. The water-energy nexus of hydraulic fracturing: A global hydrologic analysis for shale oil and gas extraction. *Earth's Future*, 6 (5): 745-756. <https://doi.org/10.1002/2018EF000809>
- Rulli, M.C., D. Bellomi, A. Cazzoli, G. De Carolis & P. D'Odorico, 2016. The water-land-food nexus of first-generation biofuels. *Scientific Reports*, 6: 1-10. <https://doi.org/10.1038/srep22521>
- Schernewski, G., S. Schönwald & M. Kataržytė, 2014. Application and evaluation of an indicator set to measure and promote sustainable development in coastal areas. *Ocean & Coastal Management*, 101 (Part A): 2-13. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2014.03.028>
- Shannak, S., D. Mabrey & M. Vittorio, 2018. Moving from theory to practice in the water-energy-food nexus: an evaluation of existing models and frameworks. *Water-Energy Nexus*, 1 (1): 17-25. <https://doi.org/10.1016/j.wen.2018.04.001>
- Simpson, G. B. & G.P.W. Jewitt, 2019. The water-energy-food nexus in the anthropocene: Moving from 'nexus thinking' to 'nexus action'. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 40: 117-123. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2019.10.007>
- Simpson, G.B., G.P.W. Jewitt, W. Becker, J. Badenhorst, A.R. Neves, P. Rovira & V. Pascual, 2020. the water-energy-food nexus index: a tool for integrated resource management and sustainable development. (Web page: <https://osf.io/preprints/osf/tdhw5>) (Date accessed: April 2024).
- Singh, R.K., H.R. Murty, S.K. Gupta & A.K. Dikshit, 2012. An overview of sustainability assessment methodologies. *Ecological Indicators*, 15: 281-299. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2011.01.007>
- Steffen, W., P.J. Crutzen & J.R. McNeill, 2007. The anthropocene: are humans now overwhelming the great forces of nature. *Ambio: A Journal of the Human Environment*, 36 (8): 614-621. [https://doi.org/10.1579/0044-7447\(2007\)36\[614: TAAHNO\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1579/0044-7447(2007)36[614: TAAHNO]2.0.CO;2)
- Topçu, P., Ö. Yavuz & A. Tolunay, 2022. Sürdürülebilir toprak yönetiminde toprak organik karbonunun önemi. *Turkish Journal of Forest Science*, 6 (2): 604-614. <https://doi.org/10.32328/turkjforsci.1039785>
- Tubiello, F.N., M. Salvatore, S. Rossi, A. Ferrara, N. Fitton & P. Smith, 2013. The faostat database of greenhouse gas emissions from agriculture. *Environmental Research Letters*, 8 (1): 1-10. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/8/1/015009>
- Varis, O., M. Keskinen & M. Kummu, 2017. Four dimensions of water security with a case of the indirect role of water in global food security. *Water Security*, 1: 36-45. <https://doi.org/10.1016/j.wasec.2017.06.002>
- Wong, J.L., 2010. The food-energy-water nexus. (Web page: <https://cdn.americanprogress.org/wp-content/uploads/issues/2010/07/pdf/haqspring2010final.pdf>) (Date accessed: April 2024).
- Zarfl, B.R., B.L. Ruddell, P.M. Reed, R.I. Hook, C. Zheng, V.C. Tidwell & S. Siebert, 2017. The food-energy-water nexus: Transforming science for society. *Water Resources Research*, 53 (5): 3550-3556. <https://doi.org/10.1002/2017WR020889>
- Zarfl, C., A.E. Lumsdon, J. Berlekamp, L. Tydecks & K. Tockner, 2015. A global boom in hydropower dam construction. *Aquatic Sciences*, 77 (1): 161-170. <https://doi.org/10.1007/s00027-014-0377-0>