



Araştırma Makalesi • Research Article

Karbon Emisyonları ile Ekolojik Ayak İzi Aynı Hikâyeyi mi Anlatıyor? Türkiye’de Buğday, Arpa, Pamuk ve Şeker Pancarı Üzerine Kanıtlar*

Do Carbon Emissions and Ecological Footprint Tell the Same Story? Evidence from Wheat, Barley, Cotton, and Sugar Beet in Türkiye

Muhammed Benli ^{a,**}, Sibel İbiş ^b

^a Prof. Dr., Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, İktisat Bölümü, 11100, Bilecik/Türkiye.

ORCID: 0000-0001-6486-8739

^bYüksek Lisans, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, 11100, Bilecik/Türkiye.

ORCID: 0009-0001-5057-1245

MAKALE BİLGİSİ

Makale Geçmişi:

Başvuru tarihi: 13 Temmuz 2018

Düzeltilme tarihi: 15 Kasım 2018

Kabul tarihi: 14 Aralık 2018

Anahtar Kelimeler:

Tarımsal Verim

İklim Değişikliği

NARDL

ARTICLE INFO

Article history:

Received July 13, 2018

Received in revised form November 15, 2018

Accepted December 14, 2018

Keywords:

Agricultural Productivity

Climate Change

NARDL

ÖZ

Bu çalışma, Türkiye’de 1961-2024 döneminde buğday, arpa, pamuk ve şeker pancarı verimlerinin iklim değişkenleri, çevresel baskı göstergeleri ve teknolojik kapasite ile ilişkisini incelemektedir. Çevresel baskı, kişi başına CO₂ emisyonları ve kişi başına ekolojik ayak izi ile ölçülmektedir. Ampirik analizde ARDL ve NARDL yaklaşımları birlikte kullanılarak hem uzun dönem ilişkiler hem de kısa ve uzun dönem asimetrik etkiler test edilmektedir. Bulgular, çevresel baskı ile tarımsal verim arasındaki ilişkinin kullanılan göstergelere duyarlı olduğunu göstermektedir. Buğday ve arpa için CO₂ temelli modeller zayıf sonuçlar üretirken, ekolojik ayak izi modelleri çevresel baskıyı daha görünür hale getirmektedir. Buna karşılık pamuk ve şeker pancarında her iki çevresel baskı göstergesi de güçlü ve anlamlı uzun dönem etkiler üretmektedir. Sonuçlar ayrıca belirgin bir ürün bazlı heterojenliğe işaret etmektedir. Buğday ve arpada yağış ile mekanizasyon, pamuk ve şeker pancarında ise çevresel baskı daha belirleyici görünmektedir. NARDL bulguları, şokların yönüne bağlı etkilerin ürünler arasında farklılaştığını göstermektedir. Genel olarak çalışma, çevresel baskının ölçüm biçiminin ampirik sonuçları değiştirdiğini ve ürün-spesifik politika tasarımının gerekli olduğunu ortaya koymaktadır.

ABSTRACT

This study examines the relationship between climate variables, environmental pressure indicators, technological capacity, and the yields of wheat, barley, cotton, and sugar beet in Turkey over the 1961-2024 period. Environmental pressure is measured by per capita CO₂ emissions and per capita ecological footprint. The empirical analysis employs both ARDL and NARDL models to identify long-run relationships as well as short- and long-run asymmetric effects. The findings show that the relationship between environmental pressure and agricultural productivity is sensitive to the choice of indicator. For wheat and barley, CO₂-based models yield weak results, whereas ecological-footprint-based models make environmental pressure more visible. By contrast, for cotton and sugar beet, both indicators generate strong and statistically significant long-run effects. The results also reveal substantial cross-crop heterogeneity. While rainfall and mechanization are more prominent in wheat and barley, environmental pressure plays a more central role in cotton and sugar beet. The NARDL findings further show that the effects of shocks differ across crops depending on their direction. Overall, the study demonstrates that environmental measurement matters and that crop-specific policy design is essential.

* Bu çalışma, Sibel İBİŞ tarafından Prof. Dr. Muhammed BENLİ danışmanlığında hazırlanan “Çevresel Faktörlerin Tarımsal Üretim Üzerindeki Asimetrik Etkisi” başlıklı yüksek lisans tezinden türetilmiştir.

** Sorumlu yazar/Corresponding author.

e-posta: muhammed.benli@bilecik.edu.tr

e-ISSN: 2149-4622. © 2019 Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi. TÜBİTAK ULAKBİM DergiPark ev sahipliğinde. Her hakkı saklıdır. [Hosting by TUBITAK ULAKBİM JournalPark. All rights reserved.]

1. Giriş

İklim değişikliğinin tarımsal üretim üzerindeki etkisi artık tartışmalı bir mesele değil; asıl tartışma, bu etkinin hangi kanallar üzerinden işlediği ve neden ürünler arasında farklılaştığıdır. Tarımsal verim, sıcaklık ve yağış değişimlerinden doğrudan etkilenmekle birlikte, çevresel baskının üretim sistemi üzerindeki etkisi yalnızca iklim değişkenleriyle sınırlı değildir. Doğal kaynak kullanımı, karbon yoğunluğu, üretim yapısı ve teknolojik uyum kapasitesi bu ilişkinin yönünü ve büyüklüğünü birlikte belirlemektedir. Bu nedenle çevre-tarım ilişkisini yalnızca ortalama sıcaklık, yağış ya da CO₂ emisyonları üzerinden açıklayan tek boyutlu yaklaşımlar, üretim sistemlerinin gerçek işleyişini tam olarak yansıtmayabilir. Özellikle farklı ürünlerin aynı çevresel ve iklimsel şoklara aynı biçimde tepki vermemesi, bu ilişkinin hem ölçüm hem de yöntem bakımından daha dikkatli ele alınmasını zorunlu kılmaktadır.

İklim değişikliği, tarımsal üretimi yalnızca sıcaklık ortalamaları veya yağış miktarları üzerinden etkileyen basit bir çevresel süreç değildir. Aksine, bitki gelişimi, su kullanımı, toprak nemi, doğal kaynak baskısı ve teknolojik uyum kapasitesi gibi unsurların aynı anda etkileşime girdiği çok katmanlı bir dönüşüm sürecidir. Artan sıcaklıklar bitki gelişim süresini kısaltarak potansiyel verimi baskılayabilmekte, yağış rejimindeki düzensizlikler ise su stresi ve toprak nem dengesizliği yoluyla üretim oynaklığını artırabilmektedir. Buna karşılık atmosferik CO₂ yoğunluğundaki artış, belirli koşullar altında fotosentez etkinliğini destekleyerek üretim üzerinde olumlu bir etki yaratabilmektedir. Ancak süreç temelli modelleme çalışmaları, bu olumlu etkinin su ve besin kısıtları altında zayıflayabildiğini, ayrıca sıcaklık stresinin belirli eşiklerin aşılması durumunda verim kayıplarını hızlandırabildiğini göstermektedir (Aggarwal ve Mall, 2002; Alexandrov ve Hoogenboom, 2000; Asseng vd., 2004). Bu nedenle iklim ile tarımsal üretim arasındaki ilişkiyi doğrusal, tek yönlü ve tüm ürünler için ortak bir mekanizma olarak ele almak ikna edici değildir.

Gözleme dayalı ampirik literatür de bu karmaşık yapıyı doğrulamaktadır. Tarihsel veriler kullanılarak gerçekleştirilen çalışmalar, özellikle yüksek sıcaklık eşiklerinin aşılması durumunda verim kayıplarının hızlandığını ve sıcaklık-verim ilişkisinin çoğu durumda doğrusal olmadığını göstermektedir (Lobell vd., 2007; Schlenker ve Roberts, 2008). Benzer şekilde meta-analiz ve sentez çalışmaları, iklim değişikliğinin tarımsal verim üzerindeki etkilerinin ürün türüne, bölgesel koşullara ve kullanılan ampirik yaklaşıma bağlı olarak belirgin biçimde farklılaştığını ortaya koymaktadır (Roudier vd., 2011; Zhao vd., 2017; Makowski vd., 2020). Bu bulgular, tarımsal üretimin iklimsel ve çevresel şoklara verdiği tepkinin homojen olmadığını; dolayısıyla tek bir ortalama katsayıya dayanan genellemelerin hem analitik hem de politika açısından yetersiz kalabileceğini göstermektedir.

Bununla birlikte literatürde üç temel boşluk dikkat çekmektedir. İlk olarak, çevresel baskı çoğu ampirik çalışmada yalnızca CO₂ emisyonları ile temsil edilmektedir. Oysa CO₂ serisi bazı durumlarda ekonomik büyüme, yapısal dönüşüm ve teknolojik ilerleme ile birlikte hareket edebilmekte, bu da çevresel baskının tarımsal üretim üzerindeki bağımsız etkisinin ayrıştırılmasını güçleştirebilmektedir (Attavanich ve McCarl, 2014; Lobell ve Field, 2008). Dahası, CO₂ yoğunluğu çevre-üretim etkileşiminin yalnızca dar bir boyutunu yansıtmakta; arazi kullanımı, enerji tüketimi ve doğal sermaye üzerindeki baskı gibi daha geniş sürdürülebilirlik unsurlarını kapsamamaktadır. İkinci olarak, mevcut çalışmaların önemli bir kısmı iklim ve çevresel değişkenlerdeki artış ve azalışların verim üzerinde simetrik etkiler yarattığını varsaymaktadır. Oysa tarımsal üretim sistemleri eşik değerler, stres birikimi ve uyum kapasitesi gibi nedenlerle doğrusal olmayan tepki mekanizmaları sergileyebilmektedir. Bu nedenle negatif şokların maliyeti ile pozitif şokların getirisi aynı büyüklükte fakat ters işaretli olmayabilir. Üçüncü olarak, Türkiye bağlamında uzun dönemli ve ürünler arası karşılaştırmaya imkân veren zaman serisi çalışmaları sınırlıdır. Mevcut araştırmalar çoğu zaman tek ürün veya görece dar dönemler üzerine yoğunlaşmakta ve yön-bağımlı etkileri sistematik biçimde incelememektedir (Ozkan ve Akcaoz, 2002; Tatar, 2016; Doğan ve Kan, 2019).

Bu çalışma söz konusu boşlukları, Türkiye’de seçilmiş dört temel ürün (buğday, arpa, pamuk ve şeker pancarı) üzerinden ele almaktadır. Bu ürünlerin tercih edilmesinin nedeni, hem Türkiye tarımı içindeki ekonomik önemleri hem de çevresel baskı göstergelerine verdikleri tepkilerin birbirinden belirgin biçimde farklılaşabilmesidir. Çalışma, 1961-2024 döneminde bu dört ürünün hektar başına verimini sıcaklık, yağış, çevresel baskı ve teknolojik kapasite göstergeleri çerçevesinde incelemektedir. Çevresel baskı iki alternatif gösterge ile temsil edilmektedir: kişi başına CO₂ emisyonları ve kişi başına ekolojik ayak izi. Böylece çevresel baskının yalnızca dar bir karbon yoğunluğu perspektifiyle değil, daha geniş bir kaynak kullanımı ve sürdürülebilirlik yükü çerçevesiyle de değerlendirilmesi mümkün hale gelmektedir.

Makalenin temel çıkış noktası, çevresel baskının nasıl ölçüldüğünün ampirik sonuçları değiştirebileceği varsayımdır. Başka bir ifadeyle, CO₂ emisyonları ile ekolojik ayak izi aynı çevresel gerçekliğin farklı boyutlarını yansıtıyor olabilir ve bu nedenle tarımsal verim üzerindeki tahmin edilen etkiler ürün bazında farklılaşabilir. Bu mesele yalnızca ölçüm tekniğine ilişkin dar bir tercih sorunu değildir; aynı zamanda çevresel baskının üretim sistemi üzerindeki hangi mekanizmalar üzerinden işlediğine dair kavramsal bir tartışmadır. Dar karbon yoğunluğu göstergesi ile geniş kaynak kullanım baskısını temsil eden bir göstergenin aynı sonucu üretmesinin beklenmemesi gerekir. Bu nedenle çalışma, çevresel baskının ölçüm biçimini doğrudan araştırma tasarımının merkezine yerleştirmektedir.

Çalışmanın ikinci eksenini doğrusal simetri varsayımının sorgulanmasıdır. Tarımsal üretim, iklim ve çevresel değişkenlerdeki artış ve azalışlara çoğu zaman aynı biçimde tepki vermez. Belirli bir sıcaklık artışı ciddi verim kaybı yaratırken, benzer büyüklükteki bir sıcaklık düşüşü aynı ölçüde olumlu sonuç doğurmayabilir. Aynı şekilde çevresel baskıdaki azalma üretimi hemen desteklemeyebilirken, çevresel baskıdaki artış daha güçlü maliyetler yaratabilir. Bu nedenle çalışmada doğrusal modellerle yetinilmemekte; yön-bağımlı etkileri test etmeye imkân tanıyan doğrusal olmayan bir çerçeve de kullanılmaktadır. Böylece yalnızca ortalama etkiler değil, pozitif ve negatif şokların kısa ve uzun dönemde nasıl farklılaştığı da incelenebilmektedir.

Bu bağlamda çalışmanın kavramsal çerçevesi üç temel etkileşim kanalına dayanmaktadır. Birinci kanal iklim kanalıdır; sıcaklık ve yağış değişimleri tarımsal üretimin biyofiziksel sınırlarını doğrudan etkilemektedir. İkinci kanal çevresel baskı kanalıdır; CO₂ ile temsil edilen dar çevresel baskı ile ekolojik ayak izi ile temsil edilen geniş kaynak kullanım yükü üretim sürecini farklı mekanizmalar üzerinden şekillendirebilmektedir. Üçüncü kanal ise teknoloji ve uyum kanalıdır; mekanizasyon yalnızca doğrudan verim artışı sağlamakla kalmayıp aynı zamanda üretim sistemlerinin iklim ve çevresel şoklara karşı dayanıklılığını da artırabilmektedir. Bu çerçeve, ürün bazında heterojenliğin neden ortaya çıktığını anlamak açısından da önemlidir; çünkü aynı iklimsel veya çevresel sinyal, farklı ürünlerde farklı uyum süreçleri doğurabilmektedir.

Bu doğrultuda çalışma şu sorulara odaklanmaktadır: Türkiye’de sıcaklık ve yağış ile tarımsal verim arasında uzun dönemli bir ilişki bulunmakta mıdır? Çevresel baskının CO₂ emisyonları ile ölçülmesi ile ekolojik ayak izi ile ölçülmesi, verim üzerindeki tahmin edilen etkileri nasıl değiştirmektedir? İklim ve çevresel baskı değişkenlerindeki pozitif ve negatif şoklar verim üzerinde simetrik mi, yoksa yön-bağımlı etkiler mi üretmektedir? Mekanizasyon uzun dönemde verim dinamiklerinin önemli bir belirleyicisi midir? Ve nihayet, bu ilişkiler buğday, arpa, pamuk ve şeker pancarı arasında nasıl farklılaşmaktadır?

Bu sorulara yanıt vermek amacıyla çalışmada ARDL ve doğrusal olmayan ARDL (NARDL) sınır testi yaklaşımları birlikte kullanılmaktadır. ARDL yaklaşımı uzun dönem denge ilişkilerinin ve ortalama etkilerin belirlenmesine imkân sağlarken, NARDL yaklaşımı iklim ve çevresel değişkenlerdeki artış ve azalışların tarımsal verim üzerindeki asimetrik etkilerini test etmeye olanak tanımaktadır. Bu çift yönlü ampirik strateji, hem uzun dönem ilişkiyi hem de yön-bağımlı dinamikleri aynı araştırma tasarımıyla değerlendirmeyi mümkün kılmaktadır.

Bu çalışma literatüre üç açıdan katkı sunmaktadır. İlk olarak, çevresel baskının iki farklı gösterge ile ölçülmesi, üretim-çevre ilişkisini dar karbon perspektifi ile daha geniş kaynak kullanımı perspektifi arasında karşılaştırmalı biçimde incelemeye imkân vermektedir. İkinci olarak,

NARDL yaklaşımının kullanılması, iklim ve çevresel değişkenlerdeki artış ve azalışların tarımsal verim üzerindeki etkilerinin simetrik olup olmadığını test ederek yön-bağımlı tepki mekanizmalarını görünür kılmaktadır. Üçüncü olarak, dört seçilmiş ürünün aynı metodolojik çerçevede analiz edilmesi, tarımsal üretimin homojen bir yapı olmadığını ve iklim-çevre-teknoloji etkileşiminin ürün bazında farklılaştığını göstermektedir.

Sonuç olarak bu çalışma, Türkiye’de tarımsal verim dinamiklerini iklim değişikliği, çevresel baskı ve teknolojik dönüşüm bağlamında yeniden değerlendirmektedir. Temel iddiası şudur: tarımsal verim üzerindeki çevresel etkileri anlamak için yalnızca hangi değişkenin kullanıldığı değil, çevresel baskının hangi kavramsal çerçeveye ölçüldüğü de kritik önemdedir. Bu nedenle ürün-spesifik farklılıkları dikkate almayan ve çevresel baskıyı tek bir göstergeyle temsil eden yaklaşımlar, hem analitik düzeyde eksik kalmakta hem de politika tasarımı açısından sınırlı sonuçlar üretmektedir.

2. Literatür İncelemesi

İklim değişikliği ile tarımsal verim arasındaki ilişkiyi inceleyen literatür genel olarak iki tamamlayıcı hatta ayrılmaktadır. İlk hat, biyofiziksel mekanizmaları görünür kılan süreç temelli simülasyon çalışmalarından oluşmaktadır. İkinci hat ise tarihsel veriler üzerinden gerçekleşen etkileri tanımlayan gözleme dayalı ampirik araştırmaları kapsamaktadır. Bu iki literatür damarı birlikte okunduğunda, iklimin tarımsal üretim üzerindeki etkisinin ne tek boyutlu ne de ürünler arasında homojen olduğu açık biçimde görülmektedir.

Süreç temelli çalışmalar, iklim sinyalinin verime hangi biyofiziksel mekanizmalar üzerinden aktarıldığını ayrıntılı biçimde göstermektedir. Bu literatürde sıcaklık artışlarının büyüme süresini kısaltması, kritik gelişme dönemlerinde ısı stresini artırması ve yağış düzensizliklerinin su stresi yoluyla verimi baskılaması temel kanallar olarak öne çıkmaktadır (Alexandrov ve Hoogenboom, 2000; Aggarwal ve Mall, 2002; Asseng vd., 2004). Buna karşılık atmosferik CO₂ artışı çoğu zaman potansiyel bir gübreleme etkisiyle ilişkilendirilmekteyse de, bu etkinin su ve besin kısıtları altında zayıfladığı ve dolayısıyla tek başına yorumlanamayacağı da vurgulanmaktadır (Tubiello ve Ewert, 2002; Streck, 2005; Högy vd., 2013). Süreç temelli literatürün önemli bir başka bulgusu, iklim etkilerinin yönetim ve üretim sistemi bileşenlerine son derece duyarlı olmasıdır. Toprak süreçleri, sulama, ekim zamanı ve çeşit seçimi gibi unsurlar iklim şoklarının verime aktarımını dönüştürebildiğinden, su-toprak-bitki etkileşimini birlikte ele alan yaklaşımlar özellikle kurak ve yarı kurak koşullarda belirleyici hale gelmektedir (Savabi ve Stockle, 2001; Xiao vd., 2005; Yano vd., 2007). Aynı iklim sinyalinin farklı ürün fizyolojileri ve farklı yetiştirme koşulları altında farklı sonuçlar üretmesi de bu çerçevede şaşırtıcı değildir (DaMatta vd., 2010; Bannayan vd., 2011; Zimmermann vd., 2017). Bu nedenle süreç temelli literatürün verdiği ilk net

mesaj, tek ürün-tek katsayı mantığının teorik olarak zayıf olduğudur.

Gözleme dayalı ampirik literatür de bu sonucu desteklemekte, ancak bunu tarihsel gerçekleştirmeler üzerinden göstermektedir. Bu hattın en güçlü bulgularından biri, iklim-verim ilişkisinin çoğu durumda doğrusal olmamasıdır. Özellikle sıcaklık etkisinin belirli eşiklerin aşılmasıyla hızlanan zarar fonksiyonları üretebildiğini gösteren çalışmalar, ortalama etkilerle yetinen modellerin riskleri küçümseyebileceğini ortaya koymaktadır (Schlenker ve Roberts, 2008). Küresel ve çok ülke ölçekli analizler de iklim etkilerinin ürünler ve coğrafyalar arasında belirgin biçimde ayrıştığını göstermektedir (Lobell vd., 2007; Lobell ve Field, 2007). Ayrıca birlikte gerçekleşen streslerin bileşik etkilerine dikkat çeken çalışmalar, iklim riskinin yalnızca sıcaklık ve yağış ortalamalarına indirgenemeyeceğini ve tarımsal sistemlerin yön-bağımlı tepkiler verebileceğini göstermektedir (Zscheischler vd., 2017). Bu çerçevede, pozitif ve negatif şokların aynı büyüklükte fakat ters işaretli etkiler doğurduğu yönündeki basit simetri varsayımını zayıflatmaktadır.

Literatürdeki bir diğer kritik tartışma, çevresel baskının nasıl temsil edilmesi gerektiğine ilişkindir. Ampirik çalışmaların önemli bir bölümü çevresel baskıyı CO₂ emisyonlarıyla ölçmektedir. Ancak CO₂ serisinin uzun dönem trendi çoğu durumda teknolojik değişim, verim artışı ve yapısal dönüşümle iç içe geçtiği için, bu değişkenin tarımsal verim üzerindeki etkisini doğrudan yorumlamak her zaman kolay değildir (Attavanich ve McCarl, 2014). Benzer biçimde, CO₂'nin verim artış hızlarında nasıl yakalandığına ilişkin tartışmalar da bu ilişkinin ürün ve ülke bazında farklılaştığını ve model varsayımlarına duyarlı olduğunu göstermektedir (Lobell ve Field, 2008). Dahası, çevresel baskının yalnızca karbon yoğunluğu üzerinden tanımlanması kavramsal olarak eksiktir; çünkü bu yaklaşım arazi kullanımı, tüketim temelli kaynak baskısı ve doğal sermaye aşınması gibi daha geniş sürdürülebilirlik boyutlarını dışarıda bırakmaktadır. Nitekim CO₂ artışı ile iklim değişikliğinin azot stresi gibi ek çevresel kısıtlarla birlikte ele alınması gerektiğini vurgulayan çalışmalar, çevresel baskının tek boyutlu bir değişken olarak temsil edilmesinin yetersiz kaldığını göstermektedir (Marcinkowski ve Piniewski, 2024). Bu nedenle çevresel baskının hem dar karbon yoğunluğu yaklaşımıyla hem de daha geniş kaynak kullanım yükünü yansıtan göstergelerle değerlendirilmesi, literatürde açık bir ihtiyaç olarak ortaya çıkmaktadır.

Yöntem tartışması da en az değişken seçimi kadar önemlidir. İklim-tarım ilişkisini inceleyen zaman serisi çalışmalarında ARDL yaklaşımı, farklı bütünleşme derecelerine sahip serilerle çalışabilmesi ve kısa dönem ile uzun dönem dinamiklerini aynı model içinde ayrıştırabilmesi nedeniyle yaygın biçimde kullanılmaktadır. Bu yönüyle ARDL ve sınır testi yaklaşımı, iklim değişkenleri ile tarımsal üretim arasındaki uzun dönem bağları incelemede işlevsel bir çerçeve sunmaktadır

(Demirhan, 2020). Ancak yalnızca doğrusal ARDL ile yetinmek, literatürde giderek daha belirgin hale gelen eşik davranışları, bileşik riskler ve yön-bağımlı etkiler karşısında sınırlı kalmaktadır. Bu nedenle doğrusal olmayan ARDL yaklaşımı, artış ve azalış şoklarının etkilerini ayrıştırarak tarımsal verimdeki asimetrik uyum süreçlerini incelemek açısından daha uygun bir araç sunmaktadır. Özellikle iklimsel ve çevresel değişkenlerin etkilerinin yalnızca büyüklük değil yön bakımından da farklılaşabileceğini düşündüren literatür dikkate alındığında, doğrusal olmayan spesifikasyonların kullanımı metodolojik bir tercih olmanın ötesinde analitik bir zorunluluk haline gelmektedir.

Türkiye'ye ilişkin literatür bu genel tartışmaları ülke ölçeğine taşımakla birlikte, hâlâ önemli sınırlılıklar içermektedir. Erken dönem çalışmalar, iklim ve çevresel koşulların tarımsal performansla bağlantısını kuran temel bir ampirik zemin sağlamıştır (Ozkan ve Akcaoz, 2002; Özdoğan, 2011; Doğan ve Kan, 2019; Tatar, 2016; Demirhan, 2020). Bununla birlikte bu literatürün büyük bölümü ya tek ürün ya da dar zaman aralıkları üzerinde yoğunlaşmıştır. Yakın dönemde ARDL yaklaşımıyla Türkiye'de ürün bazlı iklim duyarlılığını inceleyen çalışmalar bu boşluğu kısmen daraltmıştır. Benli ve Özdemir (2025), buğday, patates ve pirinç için 1981-2020 döneminde kısa ve uzun dönem ayrımını kurmakta ve iklim değişkenleri arasındaki etkileşimleri de modele dahil ederek birleşik etkilerin önemini göstermektedir. Benli (2025) ise arpa ve bezelye için yine ARDL çerçevesinde ürün bazlı bulurken bezelyede bu ilişkinin daha zayıf kaldığını raporlamaktadır. Bu çalışmalar, Türkiye'de ürün bazlı heterojenliğin ve kısa-uzun dönem ayrımının önemini açıkça göstermektedir. Ancak yine de üç temel eksiklik sürmektedir: çevresel baskının çoğunlukla yalnızca CO₂ ile temsil edilmesi, asimetrik etkilerin sistematik biçimde test edilmemesi ve seçilmiş ürünler arasında doğrudan karşılaştırmalı bir tasarımın yeterince kurulmamış olması.

Uluslararası literatür de çok ünlü ve karşılaştırmalı tasarımların önemini desteklemektedir. Farklı coğrafyalarda yürütülen çalışmalar, iklim etkilerinin ülke, ürün ve yöntem tercihlerine duyarlı olduğunu; bu nedenle geniş veri setleri ve ürün bazlı ayrıştırmaların bilgi üretimi açısından kritik olduğunu göstermektedir (Singh vd., 1998; Sen vd., 2012; Waha vd., 2013; Verón vd., 2015; Yang vd., 2014; Laux vd., 2010; Chandio vd., 2021; Mariem vd., 2021; Morel vd., 2021; Qin vd., 2023; Najafi vd., 2018). Sonuçların model seçimine ve senaryo varsayımlarına duyarlı olduğunu vurgulayan çalışmalar da tek bir tahminin evrensel doğruluk iddiası taşıyamayacağını hatırlatmaktadır (Roudier vd., 2011; Pirttioja vd., 2015). Meta-analiz ve sentez literatürü ise iki temel sonucun altını çizmektedir: iklim değişikliği başlıca ürünlerde verim kaybı riskini artırmaktadır ve bu etkiler ürünler arasında belirgin ölçüde heterojendir (Wilcox ve Makowski, 2014; Makowski vd., 2015; Makowski vd., 2020; Zhao vd., 2017). Derleme çalışmaları da iklim değişikliğinin tarım üzerindeki etkilerini mekanizma, gıda güvenliği ve uyum politikaları bağlamında sistematize

ederek ampirik model tasarımına teorik bir zemin sunmaktadır (Fuhrer, 2003; Kang vd., 2009; Hatfield vd., 2011). Daha erken dönem katkılar ise iklimin üretim sistemleri üzerindeki etkisini daha geniş kaynak kullanımı ve sürdürülebilirlik tartışmalarıyla ilişkilendirmektedir (Nonhebel, 1996).

Bu literatür çerçevesi çalışmanın araştırma boşluğunu net biçimde ortaya koymaktadır. Birincisi, çevresel baskının CO₂ ve ekolojik ayak izi gibi iki farklı göstergeyle karşılaştırmalı biçimde incelenmesi hâlâ sınırlıdır. İkincisi, iklim ve çevresel değişkenlerdeki artış ve azalışların tarımsal verim üzerindeki yön-bağımlı etkileri çoğu çalışmada yeterince test edilmemektedir. Üçüncüsü, Türkiye özelinde uzun dönemli zaman serisi verileri kullanılarak seçilmiş ürünler arasında sistematik karşılaştırma yapan çalışmalar yetersizdir. Bu makale, söz konusu boşlukları Türkiye’de 1961-2024 dönemini kapsayan yıllık veriler üzerinden, buğday, arpa, pamuk ve şeker pancarı örnekleriyle ele almaktadır. Böylece hem çevresel baskının ölçüm biçiminin sonuçları nasıl değiştirdiğini hem de iklim ve çevresel şokların ürünler arasında neden farklı etkiler ürettiğini ortaya koymayı amaçlamaktadır.

3. Veriler

Bu çalışmada Türkiye için yıllık frekansta derlenen bir veri seti kullanılmaktadır ve örneklem dönemi veri erişilebilirliğine bağlı olarak 1961-2024 aralığını kapsamaktadır. Bağımlı değişkenler, seçilmiş dört temel ürüne ait hektar başına verim serileridir. Buna göre buğday, arpa, pamuk ve şeker pancarı verimleri ton/hektar cinsinden ölçülmekte olup veriler Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü (FAO) kaynaklıdır ve Our World in Data tarafından derlenip işlenmiştir.

Çalışmada çevresel baskı göstergeleri ile iklim değişkenleri birden fazla kaynaktan elde edilmiştir. İlk çevresel baskı göstergesi olarak kullanılan kişi başına CO₂ emisyonları, fosil yakıt kullanımı ve endüstriyel süreçlerden kaynaklanan karbon dioksit emisyonlarını kapsamaktadır. Bu seri ulaştırma, elektrik üretimi ve ısınma kaynaklı emisyonları içermekte, ancak arazi kullanım değişikliklerinden kaynaklanan emisyonları kapsamamaktadır. Veri, Global Carbon Budget 2025 çalışmasına dayanmakta olup nüfus serileri farklı kaynaklardan derlenerek Our World in Data tarafından işlenmiştir.

İklim değişkenleri kapsamında ortalama yıllık yüzey sıcaklığı ile toplam yıllık yağış serileri kullanılmıştır. Ortalama sıcaklık, yer yüzeyinden iki metre yükseklikte ölçülen hava sıcaklığını ifade etmekte ve kara, deniz ile iç su yüzeylerini kapsamaktadır. Toplam yıllık yağış serisi ise günlük ortalama yağış değerlerinin toplamı olarak hesaplanan yıllık yağış derinliğini göstermekte; yağmur ve kar yağışını içerirken sis ve çığ oluşumlarını kapsamamaktadır. Her iki değişken de Copernicus Climate Change Service verilerine dayanmakta ve Our World in Data tarafından işlenmektedir.

Tarımsal üretimde teknolojik kapasiteyi temsil etmek amacıyla hektar başına düşen tarım makineleri serisi modele dahil edilmiştir. Bu değişken, toplam tarım makinelerinin beygir gücü cinsinden ölçülmesi ve toplam tarım alanına bölünmesiyle elde edilmektedir. Veri kaynağı USDA Economic Research Service olup seri yine Our World in Data tarafından derlenmiştir.

Çevresel baskıyı daha geniş bir çerçevede temsil etmek amacıyla ikinci bir gösterge olarak kişi başına ekolojik ayak izi kullanılmıştır. Bu seri, bir ülkenin toplam ekolojik ayak izinin nüfusa bölünmesiyle elde edilmekte ve üretim ile tüketim faaliyetlerinin doğal kaynaklar üzerindeki toplam talebini yansıtan bileşik bir gösterge niteliği taşımaktadır. Ekolojik ayak izi verileri Global Footprint Network veri tabanından alınmıştır.

Analizde teknik kolaylık sağlamak amacıyla değişkenler kısa kodlarla gösterilmektedir. Buna göre *WHT*, *BRL*, *CTN* ve *SGR* sırasıyla buğday, arpa, pamuk ve şeker pancarı verimlerini ifade etmektedir. İklim değişkenleri *TEMP* (ortalama sıcaklık) ve *PREC* (yağış) ile, çevresel baskı göstergeleri *CO₂* ve *FP* (ekolojik ayak izi) ile gösterilmektedir. Tarımsal teknoloji düzeyini temsil eden kontrol değişkeni ise *MACH* olarak tanımlanmaktadır.

Model tahminlerinde değişkenlerin varyansını stabilize etmek ve katsayıların elastikiyet biçiminde yorumlanmasını sağlamak amacıyla bağımlı değişkenler ile sürekli açıklayıcı değişkenlerin logaritmik dönüşümleri kullanılmaktadır. Bu dönüşüm aynı zamanda seriler arasındaki ölçek farklılıklarının tahmin sonuçları üzerindeki etkisini azaltmakta ve parametrelerin yorumlanabilirliğini artırmaktadır. Bu nedenle ampirik modellerde değişkenler *lnWHT*, *lnBRL*, *lnCTN*, *lnSGR*, *lnTEMP*, *lnPREC*, *lnCO₂*, *lnFP* ve *lnMACH* biçiminde yer almaktadır. NARDL yaklaşımı kapsamında iklim ve çevresel değişkenler ayrıca pozitif ve negatif kısmi toplamlarına ayrıştırılmaktadır.

Tablo 1, çalışmada kullanılan değişkenlere ilişkin tanımlayıcı istatistikleri sunmaktadır. Düzey değerleri serilerin ekonomik büyüklüklerini göstermekte, logaritmik dönüşümler ise tahminlerde kullanılan serilerin dağılım özelliklerini ortaya koymaktadır. Tanımlayıcı istatistikler, tarımsal verim serileri arasında önemli ölçek farklılıkları bulunduğunu göstermektedir. Özellikle şeker pancarı veriminin ortalama düzeyi diğer ürünlerden belirgin biçimde yüksektir. Buna karşılık iklim değişkenlerinin görece daha sınırlı oynaklık sergilediği görülmektedir. Çarpıklık ve basıklık değerleri genel olarak serilerde aşırı uç gözlemlerin baskın olmadığını, logaritmik dönüşüm sonrasında ise dağılımların daha dengeli hale geldiğini düşündürmektedir. Bu özellikler, logaritmik dönüşümün hem varyans stabilizasyonu hem de ölçek farklılıklarının azaltılması açısından uygun bir tercih olduğunu desteklemektedir.

Tablo 1. Tanımlayıcı İstatistikler

Değişken	N	Ortalama	Std. Sapma	Min	Max	Çarpıklık	Basıklık
<i>WHT</i>	63	2.010	0.566	0.909	3.220	-0.038	2.293
<i>lnWHT</i>	63	0.655	0.307	-0.095	1.169	-0.596	2.555
<i>BRL</i>	63	2.052	0.501	1.058	2.936	-0.257	2.160
<i>lnBRL</i>	63	0.686	0.266	0.056	1.077	-0.666	2.453
<i>CTN</i>	63	2.987	1.257	0.914	5.205	0.336	1.808
<i>lnCTN</i>	63	1.000	0.450	-0.090	1.650	-0.298	2.329
<i>SGR</i>	63	40.926	12.103	21.689	69.355	0.661	2.556
<i>lnSGR</i>	63	3.670	0.290	3.077	4.239	0.109	2.467
<i>MACH</i>	59	0.771	0.466	0.066	1.518	-0.140	1.730
<i>lnMACH</i>	59	-0.590	0.976	-2.718	0.418	-0.993	2.593
<i>CO2</i>	63	2.884	1.465	0.596	5.580	0.152	1.725
<i>lnCO2</i>	63	0.901	0.605	-0.518	1.719	-0.554	2.249
<i>FP</i>	63	2.581	0.575	1.629	3.579	0.133	1.795
<i>lnFP</i>	63	0.923	0.227	0.488	1.275	-0.154	1.932
<i>PREC</i>	63	717.512	82.003	541.094	910.157	0.214	2.386
<i>lnPREC</i>	63	6.569	0.114	6.294	6.814	-0.016	2.378
<i>TEMP</i>	63	11.296	0.874	9.256	13.329	0.324	2.695
<i>lnTEMP</i>	63	2.422	0.077	2.225	2.590	0.137	2.688

Kaynak: Yazar hesaplamaları

4. Metodoloji

Bu çalışmada Türkiye’de tarımsal verim ile iklimsel ve çevresel değişkenler arasındaki ilişkilerin doğrusal ve doğrusal olmayan bileşenlerini ortaya koymak amacıyla ARDL ve NARDL yaklaşımları birlikte kullanılmaktadır. Ampirik çerçeve, Pesaran vd. (2001) tarafından geliştirilen ARDL sınır testi yaklaşımı ile Shin vd. (2014) tarafından önerilen doğrusal olmayan uzantının bütünleştirilmesine dayanmaktadır.

ARDL yaklaşımı, değişkenlerin farklı bütünleşme derecelerine sahip olmasına izin vermesi bakımından klasik eşbütünleşme yöntemlerine göre önemli bir esneklik sunmaktadır. Engle-Granger (1987) ve Johansen (1988) yaklaşımlarının aksine, ARDL yöntemi serilerin I(0) veya I(1) olması durumunda uygulanabilmekte, ancak I(2) süreçler içermemesi gerekmektedir. Bu özellik, iklimsel ve çevresel zaman serilerinin çoğu zaman farklı durağanlık özellikleri sergilediği tarımsal üretim analizleri açısından yöntemi özellikle uygun hale getirmektedir.

Bununla birlikte doğrusal ARDL modeli, açıklayıcı değişkenlerdeki artış ve azalışların bağımlı değişken üzerindeki etkilerinin simetrik olduğu varsayımına dayanır. Oysa tarımsal üretim süreçlerinde iklim şokları, çevresel baskı değişimleri veya teknolojik uyum dinamikleri üretim üzerinde eşit büyüklükte fakat ters yönlü etkiler

yaratmayabilir. Bu nedenle çalışmada doğrusal modelin bu kısıtını aşmak amacıyla NARDL yaklaşımı benimsenmiştir. NARDL modeli, açıklayıcı değişkenlerin pozitif ve negatif bileşenlerini ayrıştırarak hem kısa hem de uzun dönemde asimetrik etkilerin test edilmesine imkân tanımaktadır.

Analizde her bir ürün için bağımlı değişken, ilgili ürünün hektar başına veriminin doğal logaritması ($\ln Y_t$) olarak tanımlanmıştır. Açıklayıcı değişkenler ise sıcaklık ($\ln TEMP_t$), yağış ($\ln PREC_t$), çevresel baskı göstergesi ($\ln ENV_t$), CO2 emisyonu ($\ln CO2_t$) veya kişi başına ekolojik ayak izi ($\ln FP_t$) ve teknolojik kapasiteyi temsilen makineleşme göstergesi ($\ln MACH_t$) olarak modele dâhil edilmiştir.

Genel NARDL($p, q_1, q_2, \dots, q_k$) modeli aşağıdaki şekilde ifade edilmektedir:

$$\Delta \ln Y_t = \alpha_0 + \rho \ln Y_{t-1} + \sum_{k=1}^K (\theta_k^+ X_{k,t-1}^+ + \theta_k^- X_{k,t-1}^-) + \sum_{i=1}^{p-1} \phi_i \Delta \ln Y_{t-i} + \sum_{k=1}^K \sum_{j=0}^{q_k-1} (\gamma_{kj}^+ \Delta X_{k,t-j}^+ + \gamma_{kj}^- \Delta X_{k,t-j}^-) + \varepsilon_t \quad (1)$$

Burada $X_{k,t}^+$ ve $X_{k,t}^-$ ilgili açıklayıcı değişkenin sırasıyla pozitif ve negatif kısmi toplamalarını temsil etmektedir.

Her bir açıklayıcı değişken X_t için pozitif ve negatif kısmi toplamlar aşağıdaki şekilde tanımlanmıştır:

$$X_t^+ = \sum_{j=1}^t \Delta X_j^+ = \sum_{j=1}^t \max(\Delta X_j, 0) \quad (2)$$

$$X_t^- = \sum_{j=1}^t \Delta X_j^- = \sum_{j=1}^t \min(\Delta X_j, 0) \quad (3)$$

Bu ayrıştırma, değişkenlerdeki artış ve azalışların üretim üzerindeki etkilerinin ayrı ayrı tahmin edilmesine imkân vermekte ve böylece doğrusal olmayan uyum dinamikleri yakalanabilmektedir.

Uzun dönem pozitif ve negatif etkiler aşağıdaki şekilde hesaplanmaktadır:

$$\beta_k^+ = -\frac{\theta_k^+}{\rho} \quad (4)$$

$$\beta_k^- = -\frac{\theta_k^-}{\rho} \quad (5)$$

Bu katsayılar, ilgili değişkende kalıcı bir artış veya azalışın tarımsal verim üzerindeki uzun dönem etkisini göstermektedir.

Modelde uzun dönemli ilişkinin varlığı öncelikle Pesaran vd. (2001) sınır testi ile değerlendirilmiştir. Bunun yanı sıra NARDL çerçevesinde Shin vd. (2014) tarafından önerilen iki istatistik kullanılmıştır. tBDM istatistiği, hata düzeltme teriminin anlamlılığını test ederken FPSS istatistiği, eşbütünleşmenin varlığını doğrular.

Test hipotezi $H_0: \rho = \theta_k^+ = \theta_k^- = 0$ şeklindedir. Test istatistiklerinin üst kritik değerleri aşması durumunda değişkenler arasında uzun dönemli bir denge ilişkisi olduğu kabul edilmektedir.

Uzun dönem asimetrisinin varlığı aşağıdaki Wald testi ile incelenmiştir:

$$H_0 = \beta_k^+ = \beta_k^- \quad (6)$$

Kısa dönem asimetri ise kısa dönem katsayılarının toplamalarının eşitliği test edilerek değerlendirilmiştir:

$$H_0: \sum_j \gamma_{kj}^+ = \sum_j \gamma_{kj}^- \quad (7)$$

Bu hipotezlerin reddedilmesi, ilgili değişkenin üretim üzerinde doğrusal olmayan bir etki yarattığını göstermektedir.

NARDL modelinin önemli bir avantajı, pozitif ve negatif şokların zamana bağlı etkilerinin dinamik çarpanlar aracılığıyla izlenebilmesidir. h dönemlik kümülatif dinamik çarpan aşağıdaki şekilde hesaplanmaktadır:

$$m_h^+ = \sum_{j=0}^h \frac{\partial \ln Y_{t+j}}{\partial X_t^+} \quad (8)$$

$$m_h^- = \sum_{j=0}^h \frac{\partial \ln Y_{t+j}}{\partial X_t^-} \quad (9)$$

Bu çarpanlar, pozitif ve negatif şokların kısa dönemde nasıl yayıldığını ve uzun dönemde dengeye nasıl yakınsadığını göstermektedir. Özellikle tarımsal üretimde iklim ve çevresel değişkenlere verilen tepkilerin zaman içinde kademeli biçimde oluştuğu düşünüldüğünde, dinamik çarpanlar model sonuçlarının ekonomik yorumunu güçlendiren önemli bir araç sunmaktadır.

Bu genel çerçeve içinde çalışma iki alternatif çevresel baskı spesifikasyonu üzerinden yürütülmektedir. İlk spesifikasyonda çevresel baskı göstergesi olarak kişi başına CO₂ emisyonları kullanılırken, ikinci spesifikasyonda kişi başına ekolojik ayak izi kullanılmaktadır. Böylece çevresel baskının dar karbon yoğunluğu yaklaşımı ile daha geniş kaynak kullanım baskısı yaklaşımı arasındaki fark, aynı metodolojik yapı içinde doğrudan karşılaştırılabilmektedir. Bu tercih, çalışmanın temel araştırma sorusuyla doğrudan uyumludur; çünkü amaç yalnızca çevresel baskının tarımsal verim üzerindeki etkisini tahmin etmek değil, aynı zamanda bu etkinin çevresel baskının nasıl ölçüldüğüne bağlı olarak değişip değişmediğini ortaya koymaktır.

Tahmin edilen modellerin ekonometrik varsayımlarının geçerliliğini değerlendirmek amacıyla çeşitli tanısal testler uygulanmaktadır. Seri korelasyon problemi Breusch-Godfrey LM ve Portmanteau testleri ile, değişen varyans problemi Breusch-Pagan ve White testleri ile incelenmektedir. Model spesifikasyonunun doğruluğu Ramsey RESET testi ile değerlendirilmekte, hata terimlerinin normalliği ise Jarque-Bera testi ile sınanmaktadır. Bu testler, elde edilen katsayıların yalnızca istatistiksel olarak değil, aynı zamanda ekonometrik açıdan da güvenilir bir çerçevede yorumlanmasını sağlamaktadır.

Sonuç olarak bu metodolojik yaklaşım, tarımsal üretim sistemlerinde iklimsel ve çevresel şokların etkilerinin yalnızca doğrusal ortalama etkilerle sınırlı olmadığını dikkate almakta ve hem kısa hem uzun dönem dinamiklerini ayrıntılı biçimde incelemeye olanak tanımaktadır. ARDL modeli uzun dönem ilişkisi ve ortalama etkileri ortaya koyarken, NARDL modeli artış ve azalış şoklarının etkilerini ayrıştırarak yön-bağımlı uyum mekanizmalarını görünür kılmaktadır. Bu nedenle kullanılan ampirik çerçeve, buğday, arpa, pamuk ve şeker pancarı verimlerinin iklim değişkenleri ile alternatif çevresel baskı göstergelerine verdiği tepkilerin yapısal özelliklerini incelemek açısından tutarlı ve kapsamlı bir temel sunmaktadır.

5. Bulgular

5.1. Öncül Analizler

Ekonometrik analize geçmeden önce, serilerin zaman serisi özelliklerinin belirlenmesi gerekmektedir. Bu adım, uzun dönem ve kısa dönem katsayılarının güvenilir biçimde tahmin edilmesi açısından temel bir ön koşuldur. Özellikle ARDL ve NARDL çerçevesinde yürütülen analizlerde değişkenlerin bütünsel derecelerinin I(0) veya I(1) olması gerekir. Sınır testi yaklaşımı, farklı bütünselme derecelerine sahip serilerle çalışabilme esnekliği sunmakla birlikte, I(2) süreçler içeren seriler söz konusu olduğunda geçerliliğini kaybetmektedir. Bunun nedeni, sınır testi için türetilen kritik değerlerin yalnızca I(0) ve I(1) süreçleri altında geçerli olmasıdır.

I(2) serilerin modele dahil edilmesi halinde test istatistiklerinin dağılım özellikleri bozulmakta, bu durum ise

eşbütünleşme sonuçlarının yanıltıcı olmasına ve sahte regresyon riskinin artmasına yol açabilmektedir (Pesaran ve Shin, 1999; Pesaran vd., 2001). Benzer biçimde Kripfganz ve Schneider (2023), sınır testi yaklaşımının uygulanabilmesi için serilerin ikinci dereceden bütünlük olmamasının temel koşul olduğunu vurgulamaktadır.

Bu nedenle çalışmada kullanılan tüm değişkenler için durağanlık özellikleri sistematik biçimde incelenmiştir. Bu amaçla Augmented Dickey-Fuller (ADF) ve Phillips-Perron (PP) birim kök testleri hem sabitli hem de sabitli ve trendli spesifikasyonlar altında uygulanmıştır. Testler serilerin hem düzey değerleri hem de birinci farkları için ayrı ayrı yürütülmüştür. Böylece yalnızca durağanlık durumu değil, aynı zamanda deterministik bileşenlerin sonuçlar üzerindeki etkisi de kontrol edilmiştir.

Tablo 2, analizde kullanılan değişkenlere ilişkin ADF ve PP birim kök testi sonuçlarını sunmaktadır. Bulgular genel olarak tarımsal verim serilerinin düzeyde durağan olmadığını, ancak birinci farkları alındığında durağan hale geldiklerini göstermektedir. Bu sonuç, bağımlı değişkenlerin ağırlıklı olarak I(1) süreçler izlediğine işaret etmektedir. İklim değişkenleri ile çevresel baskı göstergeleri açısından ise daha heterojen bir yapı gözlenmektedir. Sıcaklık ve yağış serileri bazı spesifikasyonlarda düzeyde durağan veya sınırda durağan görünürken, CO₂ ve ekolojik ayak izi değişkenleri çoğunlukla birinci farkta durağan hale gelmektedir. Benzer şekilde mekanizasyon değişkeni de test spesifikasyonuna bağlı olarak düzeyde ya da birinci farkta durağanlık göstermektedir.

Tablo 2. Birim Kök Testlerine İlişkin Sonuçlar

Değişken	Model	ADF	PP
<i>lnWHT</i>	Sabit	-1.744 (4)	-1.936 (4)
	Sabit + Trend	-2.092 (4)	-4.973 (4)***
<i>ΔlnWHT</i>	Sabit	-4.174 (4)***	-15.525 (4)***
	Sabit + Trend	-4.212 (4)***	-15.646 (4)***
<i>lnBRL</i>	Sabit	-2.034 (4)	-2.567 (4)*
	Sabit + Trend	-1.873 (4)	-6.271 (4)***
<i>ΔlnBRL</i>	Sabit	-5.407 (4)***	-17.476 (4)***
	Sabit + Trend	-5.681 (4)***	-17.783 (4)***
<i>lnCTN</i>	Sabit	-1.823 (4)	-2.988 (4)**
	Sabit + Trend	-2.396 (4)	-3.515 (4)**
<i>ΔlnCTN</i>	Sabit	-3.181 (4)**	-9.466 (4)***
	Sabit + Trend	-3.348 (4)*	-10.096 (4)***
<i>lnSGR</i>	Sabit	-1.070 (4)	-1.144 (4)
	Sabit + Trend	-2.151 (4)	-3.646 (4)**
<i>ΔlnSGR</i>	Sabit	-3.821 (4)***	-11.728 (4)***
	Sabit + Trend	-3.757 (4)**	-11.615 (4)***
<i>lnTEMP</i>	Sabit	-0.385 (4)	-4.790 (4)***
	Sabit + Trend	-1.915 (4)	-6.633 (4)***
<i>ΔlnTEMP</i>	Sabit	-4.817 (4)***	-20.060 (4)***

<i>lnPREC</i>	Sabit + Trend	-5.137 (4)***	-20.614 (4)***
	Sabit	-2.716 (4)*	-7.340 (4)***
<i>ΔlnPREC</i>	Sabit + Trend	-3.650 (4)**	-8.043 (4)***
	Sabit	-5.211 (4)***	-16.326 (4)***
<i>lnCO2</i>	Sabit + Trend	-5.136 (4)***	-16.193 (4)***
	Sabit	-2.457 (4)	-3.835 (4)***
<i>ΔlnCO2</i>	Sabit + Trend	-2.394 (4)	-3.193 (4)*
	Sabit	-3.135 (4)**	-8.146 (4)***
<i>lnFP</i>	Sabit + Trend	-3.512 (4)**	-8.819 (4)***
	Sabit	-1.559 (4)	-1.195 (4)
<i>ΔlnFP</i>	Sabit + Trend	-3.071 (4)	-5.058 (4)***
	Sabit	-4.451 (4)***	-13.193 (4)***
<i>lnMACH</i>	Sabit + Trend	-4.543 (4)***	-13.306 (4)***
	Sabit	-4.627 (4)***	-3.841 (4)***
<i>ΔlnMACH</i>	Sabit + Trend	-3.207 (4)*	-0.971 (4)
	Sabit	-1.697 (4)	-2.995 (4)**
	Sabit + Trend	-2.501 (4)	-4.596 (4)***

ADF, Augmented Dickey-Fuller birim kök testini; PP, Phillips-Perron birim kök testini ifade etmektedir. Testler sabit ve sabit-trend olmak üzere iki farklı deterministik spesifikasyon altında uygulanmıştır. Δ işareti serilerin birinci farkını göstermektedir. Parantez içindeki değerler, testlerde kullanılan gecikme uzunluklarını ifade etmektedir. *, ** ve *** sırasıyla %10, %5 ve %1 anlamlılık düzeylerini göstermektedir.

Burada kritik nokta şudur: sonuçlar serilerin bütünlük derecelerinin homojen olmadığını göstermekle birlikte, hiçbir değişkenin ikinci dereceden bütünlük olduğuna dair bir bulgu üretmemektedir. Dolayısıyla veri seti, ARDL ve NARDL yaklaşımlarının uygulanabilmesi için gerekli olan temel koşulu sağlamaktadır. Başka bir ifadeyle, seriler arasında I(0) ve I(1) süreçlerin birlikte bulunması mümkündür; ancak I(2) bir yapı bulunmaması, sınır testi yaklaşımının metodolojik geçerliliğini korumaktadır.

Bu bulgular iki açıdan önem taşımaktadır. İlk olarak, değişkenlerin aynı bütünlük derecesine sahip olmasını gerektiren geleneksel eşbütünleşme yaklaşımlarının bu çalışma için daha sınırlı bir çerçeve sunduğunu göstermektedir. İkinci olarak, veri setinin karma bütünlük yapısı, ARDL/NARDL yaklaşımının neden tercih edildiğini doğrudan desteklemektedir. Özellikle çalışmanın yalnızca uzun dönem ilişkiyi değil, aynı zamanda asimetrik kısa ve uzun dönem etkileri de test etmeyi amaçladığı dikkate alındığında, NARDL çerçevesi metodolojik olarak en tutarlı seçenek haline gelmektedir.

Özetle, birim kök testlerinden elde edilen sonuçlar, çalışmada kullanılan serilerin I(0) ve I(1) süreçlerden oluştuğunu, ancak hiçbir değişkenin I(2) olmadığını göstermektedir. Bu sonuç, hem ARDL sınır testinin hem de NARDL yaklaşımının uygulanabilirliğini doğrulamakta ve sonraki ampirik analizler için uygun bir zemin sağlamaktadır.

5.2. Buğday (WHT)

5.2.1. ARDL Sonuçları: CO₂ ve Ekolojik Ayak İzi Spesifikasyonlarının Karşılaştırılması

Bu alt bölümde buğday verimi ile iklim koşulları, çevresel baskı ve teknolojik kapasite arasındaki uzun dönem ilişki

ARDL sınır testi yaklaşımıyla incelenmektedir. Çevresel baskı, kişi başına CO₂ emisyonu ve kişi başına ekolojik ayak izi ile temsil edilmektedir. ARDL-ECM sonuçları Tablo 3'te, eşbütünleşme ve tanısıl testler ise Tablo 4'te sunulmaktadır.

Tablo 3. ARDL-ECM Sonuçları (Buğday: CO₂ ve Ekolojik Ayak İzi Spesifikasyonları)

Değişken	CO ₂ Spesifikasyonu Katsayı	Std. Hata	t-ist.	p	FP Spesifikasyonu Katsayı	Std. Hata	t-ist.	p
Panel A. Hata Düzeltme ve Uzun Dönem Katsayılar								
<i>ECT</i> (-1)	-0.798***	0.119	-6.700	0.000	-0.467***	0.135	-3.460	0.001
<i>lnTEMP</i>	0.260	0.285	0.910	0.367	-0.857*	0.429	-2.000	0.052
<i>lnPREC</i>	0.287**	0.129	2.230	0.030	0.243	0.374	0.650	0.520
<i>lnCO₂ / lnFP</i>	0.158	0.097	1.620	0.111	1.857***	0.695	2.670	0.010
<i>lnMACH</i>	0.208***	0.054	3.820	0.000	0.127**	0.060	2.090	0.042
Panel B. Kısa Dönem Dinamikler								
$\Delta \ln TEMP$	-0.345**	0.170	-2.030	0.048	—	—	—	—
$\Delta \ln WHT(-1)$	—	—	—	—	-0.299***	0.105	-2.860	0.006
$\Delta \ln PREC$	—	—	—	—	0.090	0.148	0.610	0.547
$\Delta \ln PREC(-1)$	—	—	—	—	0.014	0.111	0.130	0.899
$\Delta \ln PREC(-2)$	—	—	—	—	-0.178**	0.079	-2.260	0.029
<i>Trend</i>	—	—	—	—	-0.005**	0.003	-2.080	0.043
<i>Sabit</i>	-1.517*	0.784	-1.930	0.059	10.634*	5.322	2.000	0.052

Bağımlı değişken $\Delta \ln WHT$ 'dir. CO₂ modeli ARDL(1,0,0,0,0), ekolojik ayak izi modeli ARDL(2,0,3,0,0) biçiminde tahmin edilmiştir. Uzun dönem katsayılar düzey değişkenlerinden türetilmiştir. *, ** ve *** sırasıyla %10, %5 ve %1 anlamlılık düzeylerini göstermektedir.

Her iki spesifikasyonda da hata düzeltme teriminin negatif ve anlamlı olması, buğday verimi ile açıklayıcı değişkenler arasında uzun dönemli bir ilişki bulunduğunu göstermektedir. Ancak uyum hızları farklıdır. CO₂

modelinde hata düzeltme katsayısı -0.798 olup dengesizliklerin yaklaşık %80'i bir sonraki dönemde giderilmektedir. Ekolojik ayak izi modelinde ise bu katsayı -0.467'dir ve uyum daha kademeli gerçekleşmektedir.

Tablo 4. ARDL Eşbütünleşme ve Tanısıl Testler (Buğday: CO₂ ve Ekolojik Ayak İzi Spesifikasyonları)

Test	CO ₂ Spesifikasyonu	Ekolojik Ayak İzi Spesifikasyonu
Panel A. Eşbütünleşme Testleri		
F-istatistiği	9.350	13.914
t-istatistiği	-6.704	-3.465
Panel B. Tanısıl Testler		
Breusch-Godfrey LM	>0.10	>0.10
Breusch-Pagan (istatistik / p)	0.120 / 0.728	0.780 / 0.376
White (istatistik / p)	34.470 / 0.153	56.000 / 0.437
Ramsey RESET (istatistik / p)	0.300 / 0.828	0.550 / 0.649
Jarque-Bera Normalite (istatistik / p)	2.760 / 0.252	2.320 / 0.314

Sınır testi Pesaran vd. (2001) yaklaşımına göre hesaplanmıştır. F ve t istatistikleri ilgili kritik değerlerle karşılaştırılarak yorumlanmıştır. Tanısıl testler seri korelasyon, heteroskedastisite, fonksiyonel form ve normallik varsayımlarını değerlendirmektedir.

Uzun dönem sonuçları iki modelin farklı bir yapı sunduğunu göstermektedir. CO₂ temelli modelde yağış ve mekanizasyon pozitif ve anlamlıdır; buna karşılık sıcaklık ve CO₂ istatistiksel olarak anlamlı değildir. Bu sonuç, buğday üretiminde su koşulları ile teknolojik kapasitenin belirleyici, CO₂ göstergesinin ise zayıf olduğunu göstermektedir. Ekolojik ayak izi modelinde ise çevresel

baskı değişkeni pozitif ve güçlü biçimde anlamlıdır; mekanizasyon yine pozitif, sıcaklık ise negatif ve sınırda anlamlıdır. Buna karşılık yağış bu modelde anlamlı değildir. Dolayısıyla ekolojik ayak izi modeli, buğday üretimi ile çevresel baskı arasındaki ilişkiyi CO₂ modeline kıyasla daha görünür hale getirmektedir.

Kısa dönem dinamikler de iki spesifikasyonda ayrılmaktadır. CO₂ modelinde kısa dönemli anlamlı etki sıcaklıkta ortaya çıkmakta ve sıcaklık artışı buğday verimini azaltmaktadır. Ekolojik ayak izi modelinde ise kısa dönem uyum mekanizması daha belirgindir; gecikmeli bağımlı değişken ve yağışın ikinci gecikmesi anlamlıdır. Genel olarak ARDL bulguları, çevresel baskının ölçüm biçiminin sonuçları değiştirdiğini, ancak her iki modelde de mekanizasyonun en istikrarlı belirleyicilerden biri olduğunu göstermektedir.

5.2.2. NARDL Sonuçları ve Asimetri Bulguları

Bu alt bölümde buğday verimi ile iklim, çevresel baskı ve teknolojik kapasite arasındaki ilişkinin yön-bağımlı olup olmadığı NARDL modeli ile incelenmektedir. NARDL uzun dönem etkileri ve asimetri testleri Tablo 5'te, eşbütünleşme ve model tanısalları ise Tablo 6'da raporlanmaktadır.

Tablo 5. NARDL Uzun Dönem Etkiler ve Asimetri Testleri (Buğday: CO₂ ve Ekolojik Ayak İzi Spesifikasyonları)

Değişken	CO ₂ Pozitif Etki	CO ₂ Negatif Etki	FP Pozitif Etki	FP Negatif Etki
Panel A. Uzun Dönem Pozitif ve Negatif Etkiler				
<i>lnTEMP</i>	0.096	-0.189	0.045	-0.011
<i>lnPREC</i>	-0.156	-0.035	0.174	0.058
<i>lnCO₂ / lnFP</i>	0.186	-0.325	0.523***	-0.764**
<i>lnMACH</i>	0.330***	4.832***	0.283***	2.887***
Değişken	CO ₂ F-ist.	CO ₂ p	FP F-ist.	FP p
Panel B. Uzun Dönem Asimetri (Wald)				
<i>lnTEMP</i>	0.210	0.650	0.025	0.875
<i>lnPREC</i>	2.175	0.151	2.529	0.127
<i>lnCO₂ / lnFP</i>	0.103	0.750	1.333	0.262
<i>lnMACH</i>	25.100***	0	15.200***	0.001
Değişken	CO ₂ F-ist.	CO ₂ p	FP F-ist.	FP p
Panel C. Kısa Dönem Asimetri (Wald)				
<i>lnTEMP</i>	0.149	0.703	0.950	0.341
<i>lnPREC</i>	0.003	0.954	0.125	0.727
<i>lnCO₂ / lnFP</i>	0.062	0.805	0.538	0.474
<i>lnMACH</i>	1.658	0.208	5.022**	0.037

Pozitif ve negatif etkiler NARDL uzun dönem kısmi toplam katsayılarından elde edilmiştir. Wald istatistikleri ilgili değişken için simetri hipotezini sınamaktadır. *, ** ve *** sırasıyla %10, %5 ve %1 anlamlılık düzeylerini göstermektedir.

CO₂ spesifikasyonunda sıcaklık, yağış ve CO₂ değişkenleri için uzun dönem simetri hipotezi reddedilememektedir. Buna karşılık mekanizasyon değişkeni için güçlü bir uzun dönem asimetrisi bulunmaktadır. Bu sonuç, buğday üretiminde teknolojik kapasite şoklarının yön-bağımlı

etkiler yarattığını göstermektedir. Kısa dönem asimetri testlerinde ise anlamlı bir sonuç elde edilmemektedir. Dolayısıyla CO₂ modelinde doğrusal olmayan yapı esas olarak uzun dönemli teknoloji kanalında ortaya çıkmaktadır.

Tablo 6. NARDL Eşbütünleşme ve Tanısal Testler (Buğday: CO₂ ve Ekolojik Ayak İzi Spesifikasyonları)

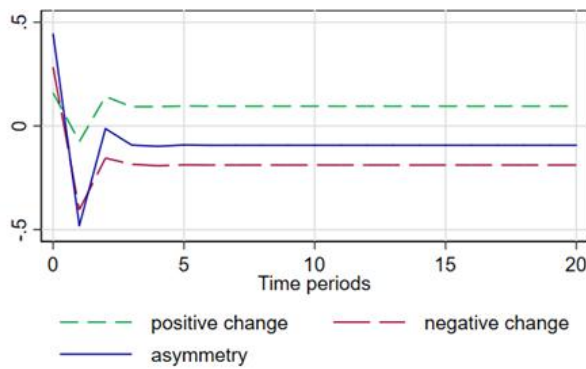
Test	CO ₂ Spesifikasyonu	Ekolojik Ayak İzi Spesifikasyonu
Panel A. Eşbütünleşme Testleri		
t _{BDM}	-4.700	-3.728
F _{PSS}	3.337	2.620
Panel B. Model Tanısal Testleri		
Portmanteau (istatistik / p)	19.560 / 0.812	44.480** / 0.013
Breusch-Pagan (istatistik / p)	0.598 / 0.439	0.183 / 0.669
Ramsey RESET (istatistik / p)	0.832 / 0.488	1.355 / 0.290
Jarque-Bera (istatistik / p)	1.675 / 0.433	0.193 / 0.908

Eşbütünleşme testleri Shin vd. (2014) NARDL çerçevesine dayanmaktadır. t_{BDM} ve F_{PSS} istatistikleri uzun dönem ilişkinin varlığını sınamak için raporlanmıştır. Ekolojik ayak izi modelinde Portmanteau testinin anlamlı çıkması, kısa dönem dinamiklerin yorumunda temkinli olunmasını gerektirmektedir.

Ekolojik ayak izi modelinde çevresel baskı değişkeninin düzey etkisi CO₂ spesifikasyonuna kıyasla daha görünürdür; ancak Wald testleri bu değişken için güçlü bir yön-bağımlı uzun dönem asimetrisini desteklememektedir. Mekanizasyon değişkeni için hem uzun hem de kısa dönemde istatistiksel olarak anlamlı asimetri bulguları elde edilmekle birlikte, aynı modelde Portmanteau testinin anlamlı çıkması kısa dönem dinamiklerin yorumunda ek bir temkin gerektirmektedir. Bu nedenle buğday verimi açısından en güvenli çıkarım, doğrusal olmayan yapının özellikle teknoloji kanalında yoğunlaşabileceği; ancak kısa dönem asimetrisinin büyüklüğü ve kalıcılığı konusunda daha ihtiyatlı olunması gerektiğidir.

İki NARDL modeli birlikte değerlendirildiğinde üç nokta öne çıkmaktadır. İlk olarak, buğday üretiminde iklim değişkenleri için güçlü ve tutarlı bir yön-bağımlı etki seti elde edilmemektedir. İkinci olarak, çevresel baskının

(a) *TEMP* şoklarının kümülatif etkisi



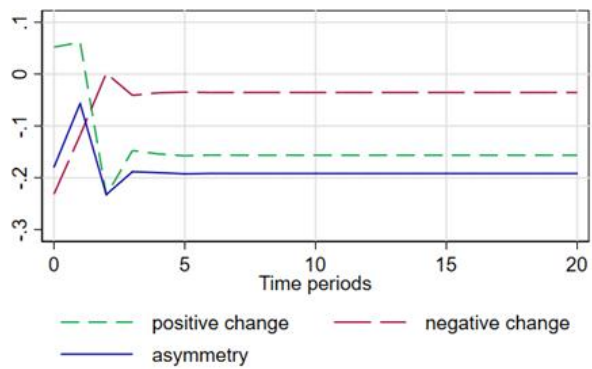
(c) CO₂ şoklarının kümülatif etkisi

üretimle olan bağı CO₂ modelinde daha zayıf, ekolojik ayak izi modelinde ise daha görünürdür; ancak bu farklılık daha çok düzey etkiler üzerinden ortaya çıkmaktadır. Üçüncü olarak, mekanizasyon değişkeni her iki spesifikasyonda da önemli görünmekle birlikte, özellikle ekolojik ayak izi modelindeki tanısal bulgular nedeniyle kısa dönem doğrusal olmayan etkilerin yorumunda ihtiyat payı korunmalıdır.

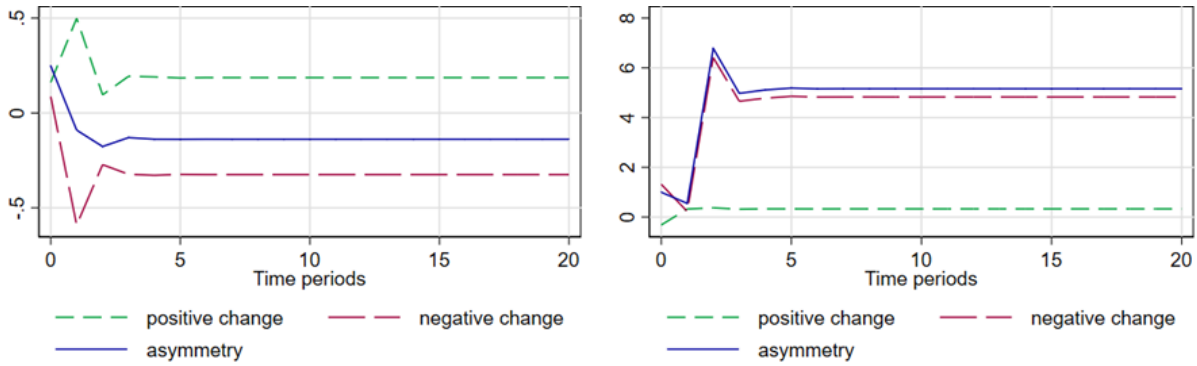
5.2.3 Dinamik Çarpanlar ve Karşılaştırmalı Değerlendirme

NARDL modelinden elde edilen kümülatif dinamik çarpanlar, pozitif ve negatif şokların buğday verimi üzerindeki etkilerinin zaman içinde nasıl şekillendiğini göstermektedir. CO₂ spesifikasyonuna ait dinamik çarpanlar Şekil 1'de, ekolojik ayak izi spesifikasyonuna ait dinamik çarpanlar ise Şekil 2'de sunulmaktadır.

(b) *PREC* şoklarının kümülatif etkisi



(d) MACH şoklarının kümülatif etkisi



Şekil 1. NARDL Kümülatif Dinamik Çarpanlar (CO₂ Spesifikasyonu - Buğday)

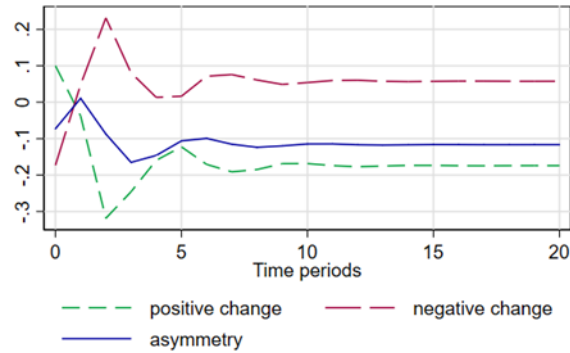
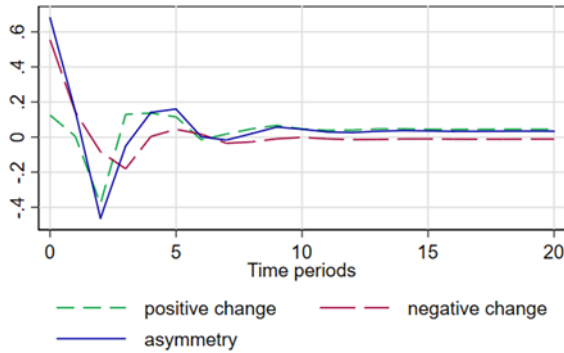
Not: Grafikler, Shin vd. (2014) NARDL yaklaşımına dayalı kümülatif dinamik çarpanları göstermektedir. Yeşil kesikli çizgi pozitif şokların, kırmızı kesikli çizgi negatif şokların, mavi çizgi ise iki etki arasındaki farkın zaman içindeki evrimini göstermektedir. Yatay eksen uyum dönemlerini, dikey eksen bağımlı değişkendeki kümülatif tepkiyi ifade etmektedir.

Şekiller, CO₂ modelinde sıcaklık, yağış ve çevresel baskı şoklarının etkilerinin zamanla dar bir bantta dengeye yaklaştığını, buna karşılık mekanizasyon şoklarının daha belirgin ve kalıcı bir ayrışma yarattığını göstermektedir. Ekolojik ayak izi modelinde ise çevresel baskı değişkeninin buğday verimiyle daha görünür bir birlikte hareket

sergilediği, ancak doğrusal olmayan yapının yine esas olarak mekanizasyon tarafında yoğunlaştığı görülmektedir.

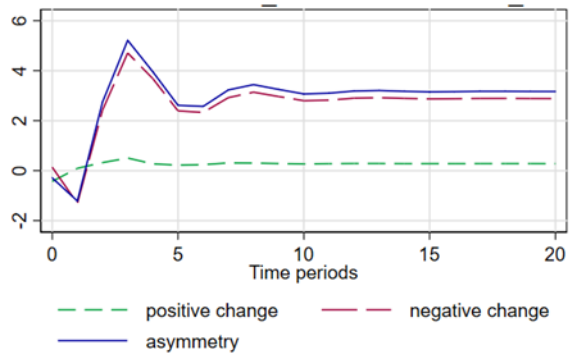
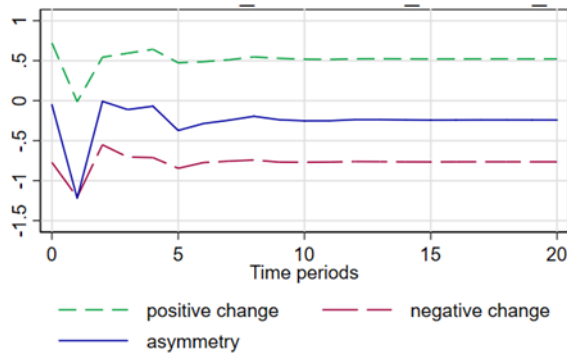
(a) TEMP şoklarının kümülatif etkisi

(b) PREC şoklarının kümülatif etkisi



(c) FP şoklarının kümülatif etkisi

(d) MACH şoklarının kümülatif etkisi



Şekil 2. NARDL Kümülatif Dinamik Çarpanlar (Ekolojik Ayak İzi Spesifikasyonu - Buğday)

Not: Grafikler, Shin vd. (2014) NARDL yaklaşımına dayalı kümülatif dinamik çarpanları göstermektedir. Yeşil kesikli çizgi pozitif şokların, kırmızı kesikli çizgi negatif şokların, mavi çizgi ise iki etki arasındaki farkın zaman içindeki evrimini göstermektedir. Yatay eksen uyum dönemlerini, dikey eksen bağımlı değişkendeki kümülatif tepkiyi ifade etmektedir.

Sonuç olarak, buğday için çevresel baskının etkisi kullanılan göstergeye duyarlı görünmektedir. CO₂ modeli çevresel baskı ile üretim arasındaki ilişkiyi daha sınırlı yansıtırken, ekolojik ayak izi modeli bu bağı daha görünür hale getirmektedir. Bununla birlikte, ekolojik ayak izi spesifikasyonundaki tanısal sınırlılıklar nedeniyle özellikle kısa dönem dinamiklerin yorumunda temkinli olunmalıdır. Buna karşılık her iki modelde de mekanizasyon değişkeni nispeten daha istikrarlı bir belirleyici olarak öne çıkmaktadır.

5.3. Arpa (BRL)

5.3.1. ARDL Sonuçları: CO₂ ve Ekolojik Ayak İzi Spesifikasyonlarının Karşılaştırılması

Bu alt bölümde arpa verimi ile iklim koşulları, çevresel baskı ve teknolojik kapasite arasındaki uzun dönem ilişki ARDL sınır testi yaklaşımıyla incelenmektedir. Çevresel baskı, kişi başına CO₂ emisyonları ve kişi başına ekolojik ayak izi ile temsil edilmektedir. ARDL-ECM sonuçları Tablo 7’de, eşbütünlüşme ve model tanısalı ise Tablo 8’de sunulmaktadır.

Tablo 7. ARDL-ECM Sonuçları (Arpa: CO₂ ve Ekolojik Ayak İzi Spesifikasyonları)

Değişken	CO ₂ Spesifikasyonu Katsayı	Std. Hata	t-ist.	p	FP Spesifikasyonu Katsayı	Std. Hata	t-ist.	p
Panel A. Hata Düzeltme ve Uzun Dönem Katsayılar								
<i>ECT</i> (-1)	-1.080***	0.119	-9.080	0.000	-1.078***	0.108	-9.980	0.000
<i>lnTEMP</i>	0.290	0.251	1.160	0.254	-0.215	0.181	-1.190	0.239
<i>lnPREC</i>	0.359***	0.113	3.180	0.003	0.323***	0.104	3.100	0.003
<i>lnCO₂ / lnFP</i>	0.117	0.086	1.360	0.179	0.539***	0.131	4.100	0.000
<i>lnMACH</i>	0.201***	0.048	4.180	0.000	0.167***	0.029	5.800	0.000
Panel B. Kısa Dönem Dinamikler								
<i>ΔlnTEMP</i>	-0.398*	0.203	-1.960	0.055	—	—	—	—
<i>Sabit</i>	-2.570***	0.935	-2.750	0.008	-1.431*	0.803	-1.780	0.081

Bağımlı değişken $\Delta \ln BRL$ ’dir. Her iki model de ARDL(1,1,0,0,0) çerçevesinde tahmin edilmiştir. Uzun dönem katsayılar düzey değişkenlerinden türetilmiştir. *, ** ve *** sırasıyla %10, %5 ve %1 anlamlılık düzeylerini göstermektedir.

Her iki spesifikasyonda da hata düzeltme teriminin negatif ve anlamlı olması, arpa verimi ile açıklayıcı değişkenler arasında uzun dönemli bir ilişki bulunduğunu göstermektedir. Bununla birlikte hata düzeltme katsayısının her iki modelde de mutlak değer olarak birden büyük olması, dengenin tekdüze bir yakınsamadan ziyade aşırı düzeltme

(overshooting) içeren daha sert bir uyum süreciyle yeniden kurulabileceğine işaret etmektedir. Bu nedenle uyum hızını yalnızca ‘güçlü düzeltme’ şeklinde değil, kısa dönem sapmaların denge etrafında dalgalanarak giderilebildiği bir mekanizma olarak yorumlamak daha uygundur.

Tablo 8. ARDL Eşbütünlüşme ve Tanısal Testler (Arpa: CO₂ ve Ekolojik Ayak İzi Spesifikasyonları)

Test	CO ₂ Spesifikasyonu	Ekolojik Ayak İzi Spesifikasyonu
Panel A. Eşbütünlüşme Testleri		
F-istatistiği	17.112	22.160
t-istatistiği	-9.081	-9.976
Panel B. Tanısal Testler		
Breusch-Godfrey LM	>0.10	>0.10
Breusch-Pagan (istatistik / p)	3.720* / 0.054	3.990** / 0.046
White (istatistik / p)	28.350 / 0.393	30.040* / 0.069
Ramsey RESET (istatistik / p)	1.720 / 0.175	3.220** / 0.031
Jarque-Bera Normalite (istatistik / p)	9.860*** / 0.007	10.920*** / 0.004

Sınır testi Pesaran vd. (2001) yaklaşımına göre hesaplanmıştır. Tanısal testler seri korelasyon, heteroskedastisite, fonksiyonel form ve normallik varsayımlarını değerlendirmektedir. Ekolojik ayak izi modelinde Breusch-Pagan ve Ramsey RESET testlerinin anlamlı çıkması, bu modelin yorumunda daha temkinli olunmasını gerektirmektedir.

Uzun dönem sonuçları, arpa veriminde yağış ve mekanizasyon değişkenlerinin görece daha tutarlı biçimde öne çıktığını, çevresel baskı göstergelerinin ise kullanılan

spesifikasyona bağlı olarak farklı görünürlük kazandığını düşündürmektedir. Bununla birlikte özellikle ekolojik ayak izi modelindeki tanısal sorunlar dikkate alındığında, bu

bulguların güçlü ve nihai ilişkiler olarak değil, yön ve olası mekanizma hakkında bilgi veren ihtiyatlı sonuçlar olarak değerlendirilmesi daha uygundur.

Kısa dönem dinamikler iki model arasında sınırlı ölçüde ayrılmaktadır. CO₂ modelinde sıcaklık değişkeninin kısa dönem katsayısı negatif ve sınırdan anlamlıdır; bu sonuç sıcaklık artışlarının kısa vadede üretimi baskılayabileceğini göstermektedir. Ekolojik ayak izi modelinde ise kısa dönem yapı daha zayıftır ve iklim değişkenleri belirgin bir rol oynamamaktadır. Genel olarak ARDL bulguları, arpa veriminde temel belirleyicilerin yağış ve mekanizasyon olduğunu, çevresel baskının ise ancak daha geniş ölçüldüğünde üretimle anlamlı ilişki kurduğunu göstermektedir.

Tanısal test sonuçları, özellikle ekolojik ayak izi spesifikasyonunda model yorumunun dikkatle yapılması gerektiğini göstermektedir. Breusch-Pagan ve Ramsey RESET testlerinin anlamlı çıkması, bu modelde değişen

varyans ve olası fonksiyonel form sorunlarına işaret etmektedir. Ayrıca her iki modelde de Jarque-Bera testinin anlamlı olması, artıkların normal dağılım varsayımını karşılamadığını göstermektedir. Bu nedenle arpa için elde edilen katsayılar bütünüyle değersiz değildir; ancak özellikle ekolojik ayak izi modelinde katsayı büyüklükleri ve anlamlılık düzeyleri güçlü nedensel veya aşırı kesin çıkarımlar üretmek yerine, ihtiyatla değerlendirilmesi gereken ampirik işaretler olarak okunmalıdır.

5.3.2. NARDL Sonuçları ve Asimetri Bulguları

Bu alt bölümde arpa verimi ile iklim, çevresel baskı ve teknolojik kapasite arasındaki ilişkinin yön-bağımlı olup olmadığı NARDL modeli aracılığıyla değerlendirilmektedir. NARDL uzun dönem etkileri ve asimetri testleri Tablo 9'da, eşbütünleşme ve model tanısalları ise Tablo 10'da sunulmaktadır.

Tablo 9. NARDL Uzun Dönem Etkiler ve Asimetri Testleri (Arpa: CO₂ ve Ekolojik Ayak İzi Spesifikasyonları)

Değişken	CO ₂ Pozitif Etki	CO ₂ Negatif Etki	FP Pozitif Etki	FP Negatif Etki
Panel A. Uzun Dönem Pozitif ve Negatif Etkiler				
<i>lnTEMP</i>	0.110	0.266	-0.364	0.736*
<i>lnPREC</i>	-0.293	-0.124	-0.190	-0.109
<i>lnCO₂ / lnFP</i>	0.151	-0.051	0.340	-0.240
<i>lnMACH</i>	0.303***	2.830**	0.228***	1.261
Panel B. Uzun Dönem Asimetri (Wald)				
<i>lnTEMP</i>	2.169	0.151	1.744	0.197
<i>lnPREC</i>	6.868**	0.014	9.532***	0.004
<i>lnCO₂ / lnFP</i>	0.035	0.854	0.144	0.707
<i>lnMACH</i>	5.689**	0.024	1.973	0.170
Panel C. Kısa Dönem Asimetri (Wald)				
<i>lnTEMP</i>	1.841	0.185	3.348*	0.077
<i>lnPREC</i>	0.033	0.858	0.597	0.446
<i>lnCO₂ / lnFP</i>	1.721	0.200	2.613	0.116
<i>lnMACH</i>	3.721*	0.063	6.676**	0.015

Pozitif ve negatif etkiler NARDL uzun dönem kısmi toplam katsayılarından elde edilmiştir. Wald istatistikleri ilgili değişken için simetri hipotezini sınamaktadır. *, ** ve *** sırasıyla %10, %5 ve %1 anlamlılık düzeylerini göstermektedir.

CO₂ spesifikasyonunda sıcaklık ve CO₂ değişkenleri için güçlü bir uzun dönem asimetri tespit edilmemektedir. Buna karşılık yağış ve mekanizasyon değişkenleri için anlamlı asimetri bulunmaktadır. Bu sonuç, arpa üretiminde su koşulları ile teknoloji şoklarının yönüne bağlı olarak farklı

üretim etkileri doğurduğunu göstermektedir. Kısa dönem asimetri testlerinde ise yalnızca mekanizasyon değişkeni sınırdan anlamlıdır. Dolayısıyla CO₂ modelinde doğrusal olmayan yapı esas olarak yağış ve teknoloji etrafında yoğunlaşmaktadır.

Tablo 10. NARDL Eşbütünleşme ve Tanısal Testler (Arpa: CO₂ ve Ekolojik Ayak İzi Spesifikasyonları)

Test	CO ₂ Spesifikasyonu	Ekolojik Ayak İzi Spesifikasyonu
Panel A. Eşbütünleşme Testleri		
t _{BDM}	-4.989	-5.700
F _{PSS}	3.858	4.139
Panel B. Model Tanısal Testleri		
Portmanteau (istatistik / p)	16.180 / 0.932	22.970 / 0.635
Breusch-Pagan (istatistik / p)	0.032 / 0.859	4.985** / 0.026
Ramsey RESET (istatistik / p)	5.636*** / 0.004	12.310*** / 0.000
Jarque-Bera (istatistik / p)	0.001 / 0.999	11.000*** / 0.004

Eşbütünleşme testleri Shin vd. (2014) NARDL çerçevesine dayanmaktadır. Her iki modelde de eşbütünleşme desteklenmektedir. Bununla birlikte özellikle ekolojik ayak izi modelinde heteroskedastisite, fonksiyonel form ve normallik testlerinden gelen bulgular, sonuçların dikkatli yorumlanmasını gerektirmektedir.

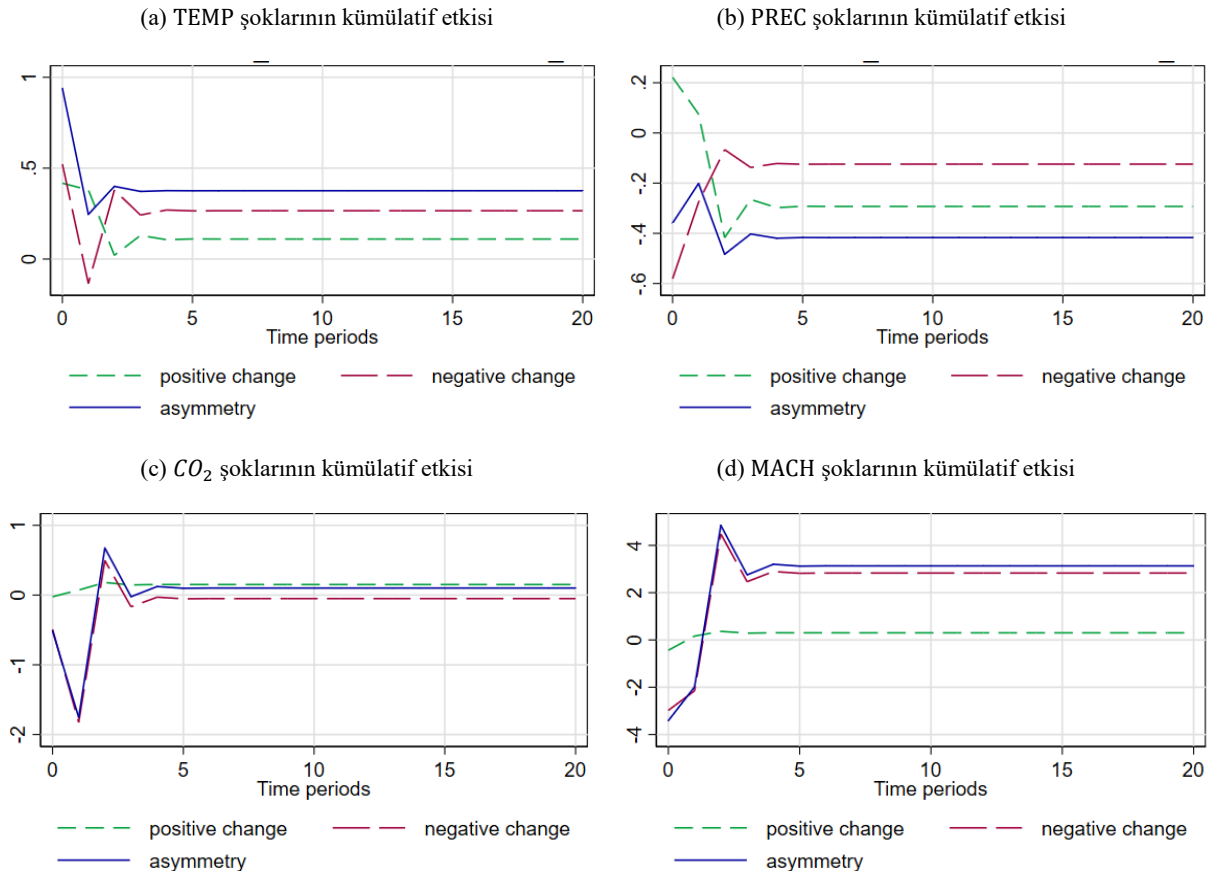
Ekolojik ayak izi modelinde çevresel baskı değişkeni NARDL düzeyinde de zayıf görünmektedir; ekolojik ayak izinin pozitif ve negatif bileşenleri için belirgin bir uzun dönem asimetri tespit edilmemektedir. Buna karşılık yağış değişkeni için uzun dönem asimetri yine anlamlıdır. Mekanizasyon için uzun dönem asimetri zayıf kalırken, kısa dönem asimetri anlamlıdır. Sıcaklık için de kısa dönem asimetri sınırda anlamlıdır. Bu bulgular, arpa üretim sisteminin yön-bağımlı tepkilerinin esas olarak su koşulları ve teknolojik kapasite üzerinden şekillendiğini göstermektedir.

İki NARDL modeli birlikte değerlendirildiğinde üç sonuç öne çıkmaktadır. İlk olarak, çevresel baskının yön-bağımlı etkileri arpa için güçlü ve tutarlı biçimde doğrulanmamaktadır; bu değişken daha çok düzey etkileri üzerinden önem taşımaktadır. İkinci olarak, yağış değişkeni

her iki modelde de belirgin bir asimetri üretmektedir. Üçüncü olarak, mekanizasyon değişkeni arpa üretiminde hem doğrusal hem doğrusal olmayan dinamiklerde kritik rol oynamaktadır. Bu nedenle arpa üretim sisteminin ana uyum kanallarının su koşulları ve teknolojik kapasite üzerinden işlediği söylenebilir.

5.3.3. Dinamik Çarpanlar ve Karşılaştırmalı Değerlendirme

NARDL modelinden elde edilen kümülatif dinamik çarpanlar, pozitif ve negatif şokların arpa verimi üzerindeki etkilerinin zaman içinde nasıl evrildiğini göstermektedir. CO₂ spesifikasyonuna ait dinamik çarpanlar Şekil 3'te, ekolojik ayak izi spesifikasyonuna ait dinamik çarpanlar ise Şekil 4'te sunulmaktadır.

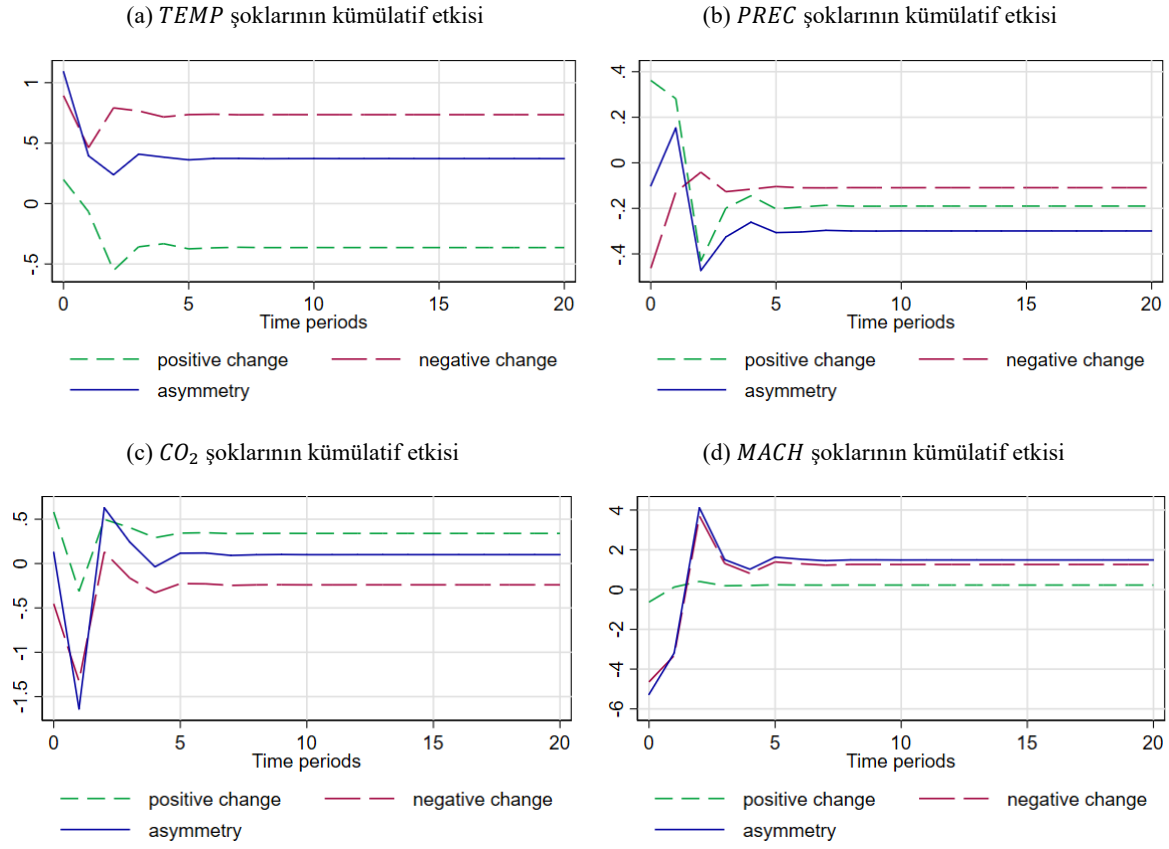


Şekil 3. NARDL Kümülatif Dinamik Çarpanlar (CO_2 Spesifikasyonu - Arpa)

Not: Grafikler, Shin vd. (2014) NARDL yaklaşımına dayalı kümülatif dinamik çarpanları göstermektedir. Yeşil kesikli çizgi pozitif şokların, kırmızı kesikli çizgi negatif şokların, mavi çizgi ise iki etki arasındaki farkın zaman içindeki evrimini göstermektedir. Yatay eksen uyum dönemlerini, dikey eksen bağımlı değişkendeki kümülatif tepkiyi ifade etmektedir.

Şekiller, CO_2 modelinde sıcaklık ve CO_2 şoklarının etkilerinin zamanla sönümlendiğini, buna karşılık yağış ve özellikle mekanizasyon şoklarının daha belirgin yön-bağımlı tepkiler ürettiğini göstermektedir. Ekolojik ayak izi modelinde de benzer biçimde çevresel baskı değişkeni zayıf kalırken, yağış ve mekanizasyon öne çıkmaktadır. Bu görünüm, Wald testlerinden elde edilen asimetri sonuçlarıyla uyumludur.

Sonuç olarak, arpa için çevresel baskının etkisi kullanılan göstergeye duyarlıdır. CO_2 modeli çevresel baskıyı zayıf biçimde yansıtırken, ekolojik ayak izi modeli bu ilişkiyi daha görünür hale getirmektedir. Bununla birlikte arpa üretiminde doğrusal olmayan yapının ana kaynağı çevresel baskı değil, yağış ve mekanizasyondur. Bu durum, arpa üretiminin hem doğal kaynak koşullarına hem de teknolojik altyapıya duyarlı bir üretim yapısına dayandığını göstermektedir.



Şekil 4. NARDL Kümülatif Dinamik Çarpanlar (Ekolojik Ayak İzi Spesifikasyonu - Arpa)

Not: Grafikler, Shin vd. (2014) NARDL yaklaşımına dayalı kümülatif dinamik çarpanları göstermektedir. Yeşil kesikli çizgi pozitif şokların, kırmızı kesikli çizgi negatif şokların, mavi çizgi ise iki etki arasındaki farkın zaman zaman içindeki evrimini göstermektedir. Yatay eksen uyum dönemlerini, dikey eksen bağımlı değişkendeki kümülatif tepkiyi ifade etmektedir.

5.4. Pamuk (CTN)

5.4.1. ARDL Sonuçları: *CO₂* ve Ekolojik Ayak İzi Spesifikasyonlarının Karşılaştırılması

Bu alt bölümde pamuk verimi ile iklim koşulları, çevresel baskı ve teknolojik kapasite arasındaki uzun dönem ilişki ARDL sınır testi yaklaşımıyla incelenmektedir. Çevresel baskı, kişi başına *CO₂* emisyonları ve kişi başına ekolojik ayak izi ile temsil edilmektedir. ARDL-ECM sonuçları Tablo 11’de, eşbütünlük ve model tanısalı ise Tablo 12’de sunulmaktadır.

Tablo 11. ARDL-ECM Sonuçları (Pamuk: *CO₂* ve Ekolojik Ayak İzi Spesifikasyonları)

Değişken	<i>CO₂</i> Spesifikasyonu Katsayı	Std. Hata	t-ist.	p	FP Spesifikasyonu Katsayı	Std. Hata	t-ist.	p
Panel A. Hata Düzeltme ve Uzun Dönem Katsayılar								
<i>ECT</i> (-1)	-0.392***	0.103	-3.810	0.000	-0.347***	0.091	-3.810	0.000
<i>lnTEMP</i>	0.777*	0.418	1.860	0.069	0.408	0.463	0.880	0.383
<i>lnPREC</i>	0.231	0.229	1.010	0.317	-0.023	0.270	-0.090	0.932
<i>lnCO₂ / lnFP</i>	0.908***	0.168	5.410	0.000	1.705***	0.338	5.040	0.000
<i>lnMACH</i>	-0.157	0.099	-1.580	0.121	-0.021	0.079	-0.270	0.788
Panel B. Kısa Dönem Dinamikler								
$\Delta \ln CO_2$	0.459**	0.218	2.100	0.041	—	—	—	—
Sabit	-1.292*	0.674	-1.920	0.061	-0.470	0.684	-0.690	0.495

Bağımlı değişken $\Delta \ln CTN$ ’dir. Her iki model de ARDL(1,0,0,0,0) çerçevesinde tahmin edilmiştir. Uzun dönem katsayılar düzey değişkenlerinden türetilmiştir. *, ** ve *** sırasıyla %10, %5 ve %1 anlamlılık düzeylerini göstermektedir.

Her iki spesifikasyonda da hata düzeltme teriminin negatif ve anlamlı olması, pamuk verimi ile açıklayıcı değişkenler arasında uzun dönemli bir ilişki bulunduğunu

göstermektedir. Hata düzeltme katsayıları -0.392 ve -0.347 olup, dengeye dönüşün mevcut fakat buğday ve arpadaki kadar hızlı olmadığını göstermektedir.

Tablo 12. ARDL Eşbütünleşme ve Tanısal Testler (Pamuk: CO₂ ve Ekolojik Ayak İzi Spesifikasyonları)

Test	CO ₂ Spesifikasyonu	Ekolojik Ayak İzi Spesifikasyonu
Panel A. Eşbütünleşme Testleri		
F-istatistiği	3.321	3.495
t-istatistiği	-3.814	-3.813
Panel B. Tanısal Testler		
Breusch-Godfrey LM	>0.10	>0.10
Breusch-Pagan (istatistik / p)	0.090 / 0.771	0.100 / 0.750
White (istatistik / p)	21.310 / 0.771	33.130** / 0.033
Ramsey RESET (istatistik / p)	0.710 / 0.549	2.020 / 0.124
Jarque-Bera Normalite (istatistik / p)	0.310 / 0.857	0.990 / 0.609

Sınır testi Pesaran vd. (2001) yaklaşımına göre hesaplanmıştır. Her iki modelde de t-istatistiği eşbütünleşme lehine sonuç vermektedir; F-istatistikleri ise ilişkinin zayıf/sınırdaki bir yapıya sahip olabileceğini düşündürmektedir. Bu nedenle sonuçlar tamamen reddedilecek kadar zayıf değil, fakat abartılacak kadar da kusursuz değildir.

Uzun dönem sonuçları pamuk için çevresel baskı göstergelerinin merkezi bir rol oynadığını ortaya koymaktadır. CO₂ modelinde CO₂ değişkeni pozitif ve güçlü biçimde anlamlıdır; sıcaklık zayıf düzeyde anlamlı, yağış ve mekanizasyon ise anlamsızdır. Ekolojik ayak izi modelinde de çevresel baskı değişkeni pozitif ve güçlü biçimde anlamlıdır; buna karşılık sıcaklık, yağış ve mekanizasyon anlamlı değildir. Bu bulgular, pamuk üretiminin uzun dönem dinamiklerinde iklim değişkenlerinden ziyade çevresel baskı göstergeleriyle daha güçlü bir ilişki sergilediğini göstermektedir.

Kısa dönem dinamiklerde CO₂ modelinde anlamlı olan temel değişken yine CO₂'dir; bu da üretim ölçeğindeki genişlemenin kısa vadede de çevresel baskı ile birlikte hareket ettiğine işaret etmektedir. Ekolojik ayak izi

modelinde ise kısa dönem katsayıları genel olarak anlamsızdır. Genel olarak ARDL bulguları, pamuk veriminin diğer ürünlerden ayrıştığını ve çevresel baskının hem CO₂ hem de ekolojik ayak izi modellerinde güçlü bir uzun dönem belirleyici olduğunu göstermektedir.

5.4.2. NARDL Sonuçları ve Asimetri Bulguları

Bu alt bölümde pamuk verimi ile iklim, çevresel baskı ve teknolojik kapasite arasındaki ilişkinin yön-bağımlı olup olmadığı NARDL modeli aracılığıyla değerlendirilmektedir. CO₂ spesifikasyonunda ayrıca 1990 sonrası dönemi temsil eden yapısal kırılma değişkeni de dikkate alınmaktadır. NARDL uzun dönem etkileri ve asimetri testleri Tablo 13'te, eşbütünleşme ve model tanısalı ise Tablo 14'te sunulmaktadır.

Tablo 13. NARDL Uzun Dönem Etkiler ve Asimetri Testleri (Pamuk: CO₂ ve Ekolojik Ayak İzi Spesifikasyonları)

Değişken	CO ₂ Pozitif Etki	CO ₂ Negatif Etki	FP Pozitif Etki	FP Negatif Etki
Panel A. Uzun Dönem Pozitif ve Negatif Etkiler				
<i>lnTEMP</i>	-0.549	1.635***	-0.315	1.654
<i>lnPREC</i>	0.092	-0.444*	0.262	-0.666
<i>lnCO₂ / lnFP</i>	0.259	-0.289	0.317	-0.390
<i>lnMACH</i>	-0.005	4.086**	0.036	3.253
<i>post90</i>	0.034	—	0.017	—
Panel B. Uzun Dönem Asimetri (Wald)				
<i>lnTEMP</i>	13.250***	0.001	6.740**	0.015
<i>lnPREC</i>	4.610**	0.041	2.671	0.114
<i>lnCO₂ / lnFP</i>	0.003	0.955	0.019	0.891
<i>lnMACH</i>	5.236**	0.030	1.396	0.248
<i>post90</i>	0.112	0.740	0.017	0.898

Panel C. Kısa Dönem Asimetri (Wald)

<i>lnTEMP</i>	0.738	0.398	0.186	0.669
<i>lnPREC</i>	3.408*	0.076	1.030	0.319
<i>lnCO₂ / lnFP</i>	1.602	0.216	1.446	0.240
<i>lnMACH</i>	3.824*	0.061	2.406	0.133
<i>post90</i>	4.715**	0.039	4.145*	0.052

Pozitif ve negatif etkiler NARDL uzun dönem kısmi toplam katsayılarından elde edilmiştir. Wald istatistikleri ilgili değişken için simetri hipotezini sınamaktadır. *, ** ve *** sırasıyla %10, %5 ve %1 anlamlılık düzeylerini göstermektedir.

CO₂ spesifikasyonu, pamuk üretiminin sıcaklık ve yağış değişkenlerine yön-bağımlı tepkiler verebildiğini göstermektedir. Uzun dönem Wald testleri sıcaklık ve yağış için anlamlıdır; buna karşılık CO₂ için asimetri hipotezi reddedilememektedir. Bu sonuç, çevresel baskının CO₂ modeli altında daha çok düzey etkisi ürettiğini, doğrusal

olmayan yapının ise esas olarak iklim değişkenlerinde yoğunlaştığını göstermektedir. Mekanizasyon için de uzun dönem asimetri anlamlıdır. Kısa dönem asimetri testlerinde yağış ve mekanizasyon sınırda anlamlı, *post90* değişkeni ise anlamlıdır.

Tablo 14. NARDL Eşbütünlüşme ve Tanısal Testler (Pamuk: CO₂ ve Ekolojik Ayak İzi Spesifikasyonları)

Test	CO ₂ Spesifikasyonu	Ekolojik Ayak İzi Spesifikasyonu
Panel A. Eşbütünlüşme Testleri		
<i>t</i> _{BDM}	-4.800	-3.575
<i>F</i> _{PSS}	4.371	2.942
Panel B. Model Tanısal Testleri		
Portmanteau (istatistik / p)	33.390 / 0.151	31.260 / 0.219
Breusch-Pagan (istatistik / p)	0.226 / 0.635	0.507 / 0.477
Ramsey RESET (istatistik / p)	0.144 / 0.933	0.857 / 0.477
Jarque-Bera (istatistik / p)	3.390 / 0.184	1.546 / 0.462

Eşbütünlüşme testleri Shin vd. (2014) NARDL çerçevesine dayanmaktadır. CO₂ modelinde hem *t*_{BDM} hem de *F*_{PSS} eşbütünlüşmeyi açık biçimde desteklemektedir. Ekolojik ayak izi modelinde ise *t*_{BDM} daha güçlü, *F*_{PSS} ise daha sınırlı bir destek sunmaktadır; bu nedenle burada da ilişkiyi zayıf/sınırlı ama geçersiz olmayan bir çerçevede yorumlamak gerekir.

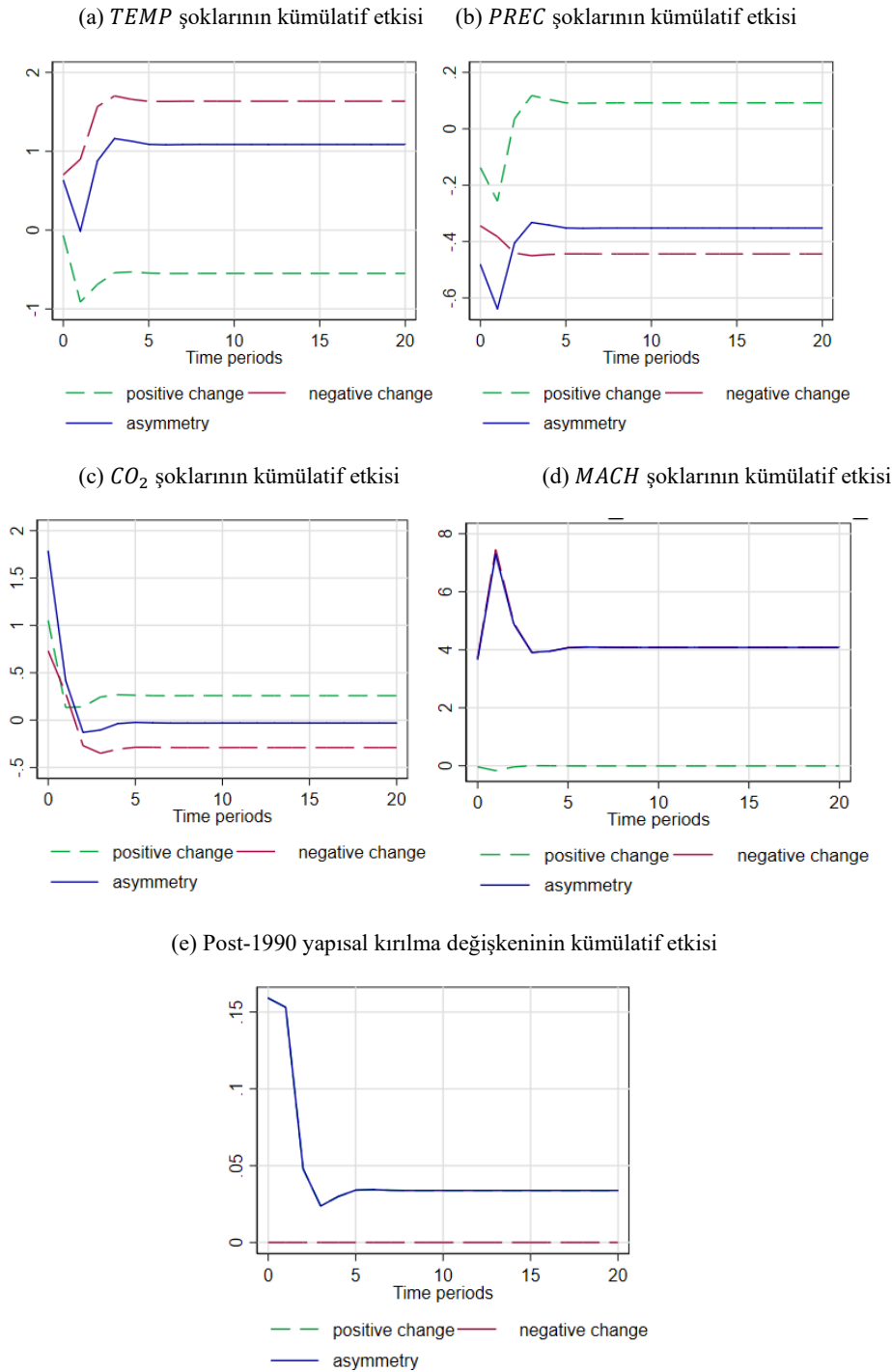
Ekolojik ayak izi spesifikasyonunda uzun dönem asimetri yalnızca sıcaklık değişkeni için anlamlıdır. Bu bulgu, pamuk üretiminin ısı stresine karşı yön-bağımlı tepki verdiğini göstermektedir. Buna karşılık yağış, ekolojik ayak izi ve mekanizasyon değişkenleri için uzun dönem asimetri tespit edilmemektedir. Kısa dönem asimetri testlerinde ise belirgin bir yapı yoktur; yalnızca *post90* değişkeni sınırda anlamlıdır. Dolayısıyla bu modelde çevresel baskının etkisi daha çok düzey ilişkisi olarak görünmektedir.

İki NARDL modeli birlikte değerlendirildiğinde üç sonuç öne çıkmaktadır. İlk olarak, çevresel baskının pamuk üretimi üzerindeki düzey etkisi güçlüdür, ancak bu etkinin yön-bağımlı bir asimetriye dönüştüğü söylenemez. İkinci olarak, doğrusal olmayan yapı daha çok sıcaklık, yağış ve

kısmen mekanizasyon şoklarında ortaya çıkmaktadır. Üçüncü olarak, *post90* değişkeni özellikle CO₂ modelinde kısa dönem dinamikler açısından anlamlıdır; bu da 1990 sonrası dönemde üretim yapısında belirli bir rejim farklılaşması olabileceğini düşündürmektedir.

5.4.3. Dinamik Çarpanlar ve Karşılaştırmalı Değerlendirme

NARDL modelinden elde edilen kümülatif dinamik çarpanlar, pozitif ve negatif şokların pamuk verimi üzerindeki etkilerinin zaman içinde nasıl şekillendiğini göstermektedir. CO₂ spesifikasyonuna ait dinamik çarpanlar Şekil 5'te, ekolojik ayak izi spesifikasyonuna ait dinamik çarpanlar ise Şekil 6'da sunulmaktadır.



Şekil 5. NARDL Kümülatif Dinamik Çarpanlar (CO₂ Spesifikasyonu - Pamuk)

Not: Grafikler, Shin vd. (2014) NARDL yaklaşımına dayalı kümülatif dinamik çarpanları göstermektedir. Yeşil kesikli çizgi pozitif şokların, kırmızı kesikli çizgi negatif şokların, mavi çizgi ise iki etki arasındaki farkın zaman içindeki evrimini göstermektedir. Yatay eksen uyum dönemlerini, dikey eksen bağımlı değişkendeki kümülatif tepkiyi ifade etmektedir. Post90 paneli tek yönlü rejim değişimini temsil ettiğinden yalnızca toplam etkiyi göstermektedir.

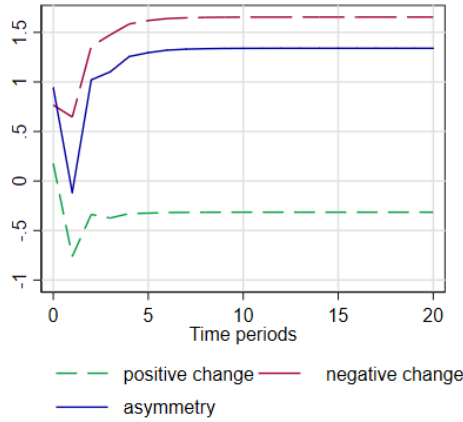
Şekiller, CO₂ modelinde sıcaklık ve yağış şoklarının belirgin yön-bağımlı etkiler yarattığını, buna karşılık CO₂ değişkeninin güçlü düzey etkisine rağmen asimetrik yapısının zayıf kaldığını göstermektedir. Mekanizasyon ve post90 değişkenlerine ilişkin tepkiler de teknoloji ve yapısal

dönüşümün pamuk üretim sisteminde önem taşıdığını desteklemektedir. Ekolojik ayak izi modelinde ise sıcaklık şoklarının yön-bağımlı etkisi daha belirgin görünmekte, çevresel baskı değişkeninin etkisi ise zamanla sönümlenerek daha çok düzey ilişkisi niteliği taşımaktadır.

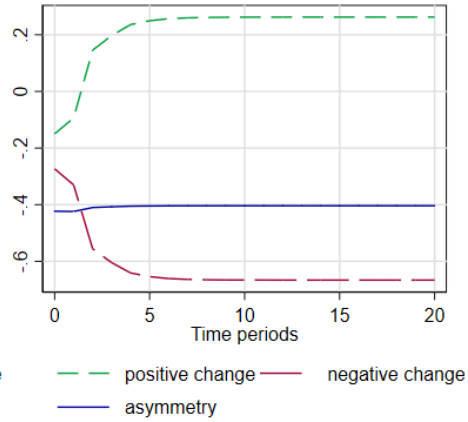
Sonuç olarak, pamuk için çevresel baskı her iki modelde de güçlü bir uzun dönem belirleyicidir; ancak doğrusal olmayan yapı esas olarak iklim ve kısmen teknoloji şoklarında yoğunlaşmaktadır. Bu yönüyle pamuk, buğday ve arpadan ayrılmaktadır. Buğday ve arpa için su koşulları

ve mekanizasyon ön plana çıkarken, pamukta çevresel baskı üretim düzeyiyle daha yakın ilişki içindedir. Kısacası pamuk için çevresel baskı düzey etkisinde, iklim ise yön-bağımlı etkilerde daha belirgin rol oynamaktadır.

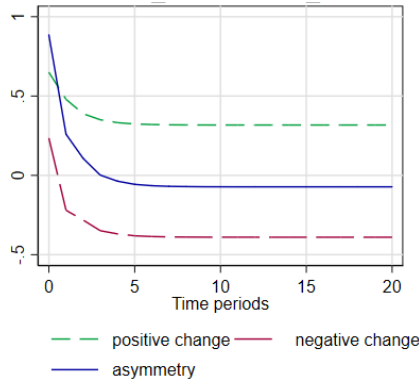
(a) *TEMP* şoklarının kümülatif etkisi



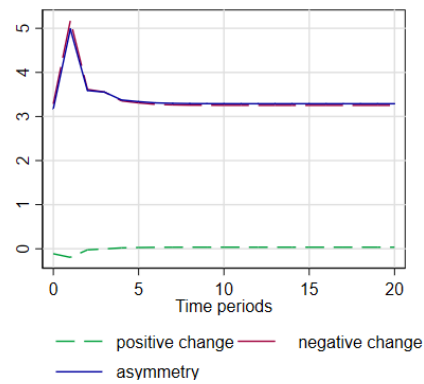
(b) *PREC* şoklarının kümülatif etkisi



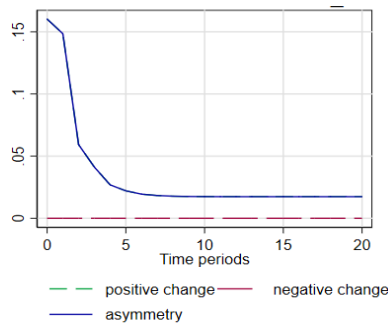
(c) *CO₂* şoklarının kümülatif etkisi



(d) *MACH* şoklarının kümülatif etkisi



(e) Post-1990 yapısal kırılma değişkeninin kümülatif etkisi



Şekil 6. NARDL Kümülatif Dinamik Çarpanlar (Ekolojik Ayak İzi Spesifikasyonu - Pamuk)

Not: Grafikler, Shin vd. (2014) NARDL yaklaşımına dayalı kümülatif dinamik çarpanları göstermektedir. Yeşil kesikli çizgi pozitif şokların, kırmızı kesikli çizgi negatif şokların, mavi çizgi ise iki etki arasındaki farkın zaman içindeki evrimini göstermektedir. Yatay eksen uyum dönemlerini, dikey eksen bağımlı değişimdeki kümülatif tepkiyi ifade etmektedir. Post90 paneli tek yönlü rejim değişimini temsil ettiğinden yalnızca toplam etkiyi göstermektedir.

5.5. Şeker Pancarı (SGR)

5.5.1. ARDL Sonuçları: CO₂ ve Ekolojik Ayak İzi Spesifikasyonlarının Karşılaştırılması

Bu alt bölümde şeker pancarı verimi ile iklim koşulları, çevresel baskı ve teknolojik kapasite arasındaki uzun dönem

ilişki ARDL sınır testi yaklaşımıyla incelenmektedir. Çevresel baskı, kişi başına CO₂ emisyonları ve kişi başına ekolojik ayak izi ile temsil edilmektedir. ARDL-ECM sonuçları Tablo 15'te, eşbütünleşme ve model tanısalları ise Tablo 16'da sunulmaktadır.

Tablo 15. ARDL-ECM Sonuçları (Şeker Pancarı: CO₂ ve Ekolojik Ayak İzi Spesifikasyonları)

Değişken	CO ₂ Spesifikasyonu Katsayı	Std. Hata	t-ist.	p	FP Spesifikasyonu Katsayı	Std. Hata	t-ist.	p
Panel A. Hata Düzeltme ve Uzun Dönem Katsayılar								
<i>ECT</i> (-1)	-0.540***	0.105	-5.130	0.000	-0.509***	0.097	-5.260	0.000
<i>lnTEMP</i>	0.665	0.509	1.310	0.198	-0.329	0.424	-0.780	0.441
<i>lnPREC</i>	0.358	0.228	1.570	0.123	0.216	0.239	0.900	0.371
<i>lnCO₂ / lnFP</i>	0.818***	0.174	4.710	0.000	1.814***	0.317	5.730	0.000
<i>lnMACH</i>	-0.295***	0.097	-3.040	0.004	-0.185**	0.069	-2.680	0.010
Panel B. Kısa Dönem Dinamikler								
$\Delta \ln TEMP$	-0.465**	0.204	-2.280	0.027	—	—	—	—
<i>Sabit</i>	-0.632	0.940	-0.670	0.505	0.656	0.879	0.750	0.459

Bağımlı değişken $\Delta \ln SGR$ 'dir. Her iki model de ARDL(1,1,0,0,0) çerçevesinde tahmin edilmiştir. Uzun dönem katsayılar düzey değişkenlerinden türetilmiştir. *, ** ve *** sırasıyla %10, %5 ve %1 anlamlılık düzeylerini göstermektedir.

Her iki spesifikasyonda da hata düzeltme teriminin negatif ve anlamlı olması, şeker pancarı verimi ile açıklayıcı değişkenler arasında uzun dönemli bir ilişki bulunduğunu

göstermektedir. Hata düzeltme katsayıları -0.540 ve -0.509 olup, dengesizliklerin görece hızlı biçimde giderildiğine işaret etmektedir.

Tablo 16. ARDL Eşbütünleşme ve Tanısal Testler (Şeker Pancarı: CO₂ ve Ekolojik Ayak İzi Spesifikasyonları)

Test	CO ₂ Spesifikasyonu	Ekolojik Ayak İzi Spesifikasyonu
Panel A. Eşbütünleşme Testleri		
F-istatistiği	5.731	6.794
t-istatistiği	-5.126	-5.257
Panel B. Tanısal Testler		
Breusch-Godfrey LM	>0.10	>0.10
Breusch-Pagan (istatistik / p)	0.020 / 0.875	0.320 / 0.570
White (istatistik / p)	37.940* / 0.079	19.690 / 0.477
Ramsey RESET (istatistik / p)	0.560 / 0.582	1.160 / 0.333
Jarque-Bera Normalite (istatistik / p)	2.560* / 0.072	3.600 / 0.165

Sınır testi Pesaran vd. (2001) yaklaşımına göre hesaplanmıştır. Her iki modelde de eşbütünleşme lehine güçlü kanıt vardır. Tanısal testler genel olarak kabul edilebilir olmakla birlikte, CO₂ modelinde White ve Jarque-Bera testleri sınırda bir görünüm sunmaktadır.

Uzun dönem sonuçları, şeker pancarında çevresel baskı göstergelerinin her iki modelde de güçlü ve anlamlı olduğunu göstermektedir. CO₂ modelinde kişi başına CO₂ emisyonları pozitif ve güçlü biçimde anlamlıdır. Benzer şekilde ekolojik ayak izi modelinde de çevresel baskı değişkeni pozitif ve güçlüdür. Bu bulgu, şeker pancarı üretiminin hem dar karbon göstergesiyle hem de daha geniş çevresel yük göstergesiyle güçlü biçimde birlikte hareket ettiğini göstermektedir. Bu açıdan şeker pancarı, dört ürün içinde çevresel baskı göstergelerine en net tepki veren ürünlerden biridir.

Buna karşılık her iki ARDL modelinde de mekanizasyon değişkeni negatif ve anlamlıdır. Bu sonuç, mekanizasyonun

üretim düzeyiyle ilişkisinin doğrudan ve basit bir verim artışı mantığıyla açıklanamayacağını düşündürmektedir. İklim değişkenleri ise her iki modelde de uzun dönemde zayıf kalmaktadır. Kısa dönem dinamiklerde CO₂ modelinde yalnızca sıcaklık değişkeni negatif ve anlamlıdır; ekolojik ayak izi modelinde ise anlamlı kısa dönem katsayı bulunmamaktadır. Genel olarak ARDL bulguları, şeker pancarı veriminin çevresel baskıya güçlü ve tutarlı biçimde duyarlı olduğunu, buna karşılık iklim değişkenlerinin daha sınırlı bir rol oynadığını göstermektedir.

5.5.2. NARDL Sonuçları ve Asimetri Bulguları

Bu alt bölümde şeker pancarı verimi ile iklim, çevresel baskı ve teknolojik kapasite arasındaki ilişkinin yön-bağımlı olup

olmadığı NARDL modeliyle değerlendirilmektedir. NARDL uzun dönem etkileri ve asimetri testleri Tablo 17’de, eşbütünleşme ve model tanısalları ise Tablo 18’de sunulmaktadır.

Tablo 17. NARDL Uzun Dönem Etkiler ve Asimetri Testleri (Şeker Pancarı: CO₂ ve Ekolojik Ayak İzi Spesifikasyonları)

Değişken	CO ₂ Pozitif Etki	CO ₂ Negatif Etki	FP Pozitif Etki	FP Negatif Etki
Panel A. Uzun Dönem Pozitif ve Negatif Etkiler				
<i>lnTEMP</i>	0.826	0.534	0.222	1.719***
<i>lnPREC</i>	0.118	-0.287	0.094	-0.042
<i>lnCO₂ / lnFP</i>	0.601	-2.021**	0.405	-1.772***
<i>lnMACH</i>	-0.308	-1.131	-0.285***	-3.610*
<i>post90</i>	-0.220	—	-0.029	—
Panel B. Uzun Dönem Asimetri (Wald)				
<i>lnTEMP</i>	9.860***	0.004	30.870***	0
<i>lnPREC</i>	0.505	0.483	0.130	0.721
<i>lnCO₂ / lnFP</i>	2.736	0.110	13.670***	0.001
<i>lnMACH</i>	0.274	0.605	3.551*	0.070
<i>post90</i>	2.532	0.123	0.106	0.748
Panel C. Kısa Dönem Asimetri (Wald)				
<i>lnTEMP</i>	3.975*	0.056	11.710***	0.002
<i>lnPREC</i>	2.296	0.141	4.354**	0.047
<i>lnCO₂ / lnFP</i>	3.209*	0.084	10.750***	0.003
<i>lnMACH</i>	0.181	0.674	5.082**	0.032
<i>post90</i>	5.104**	0.032	7.893***	0.009

Pozitif ve negatif etkiler NARDL uzun dönem kısmi toplam katsayılarından elde edilmiştir. Wald istatistikleri ilgili değişken için simetri hipotezini sınamaktadır. *, ** ve *** sırasıyla %10, %5 ve %1 anlamlılık düzeylerini göstermektedir.

CO₂ spesifikasyonu, doğrusal olmayan yapının özellikle sıcaklık değişkeni etrafında şekillendiğini göstermektedir. Uzun dönem asimetri testi sıcaklık için anlamlıdır; kısa dönem asimetri de sınırda anlamlıdır. Buna karşılık yağış ve mekanizasyon için uzun dönem asimetri bulunmamaktadır. CO₂ değişkeni için de uzun dönem asimetri zayıftır, ancak

kısa dönem asimetri sınırda anlamlıdır. Ayrıca *post90* değişkeni için kısa dönem asimetri anlamlıdır. Bu sonuçlar, CO₂ modelinde yön-bağımlı yapının esas olarak sıcaklık ve kısmen kısa dönem çevresel baskı ve yapısal kırılma etkileri üzerinden şekillendiğini göstermektedir.

Tablo 18. NARDL Eşbütünleşme ve Tanısal Testler (Şeker Pancarı: CO₂ ve Ekolojik Ayak İzi Spesifikasyonları)

Test	CO ₂ Spesifikasyonu	Ekolojik Ayak İzi Spesifikasyonu
Panel A. Eşbütünleşme Testleri		
<i>t</i> _{BDM}	-3.967	-5.729
<i>F</i> _{PSS}	2.696	5.295
Panel B. Model Tanısal Testleri		
Portmanteau (istatistik / p)	25.370 / 0.498	32.880 / 0.166
Breusch-Pagan (istatistik / p)	0.783 / 0.376	0.881 / 0.348
Ramsey RESET (istatistik / p)	0.696 / 0.564	0.868 / 0.471
Jarque-Bera (istatistik / p)	1.887 / 0.389	0.216 / 0.898

Eşbütünleşme testleri Shin vd. (2014) NARDL çerçevesine dayanmaktadır. CO₂ modelinde eşbütünleşme desteği mevcut ancak görece daha sınırlıdır. Ekolojik ayak izi modelinde ise hem *t*_{BDM} hem de *F*_{PSS} istatistikleri uzun dönem ilişkiyi daha güçlü biçimde desteklemektedir. Tanısal testler her iki modelde de genel olarak tatmin edici görünmektedir.

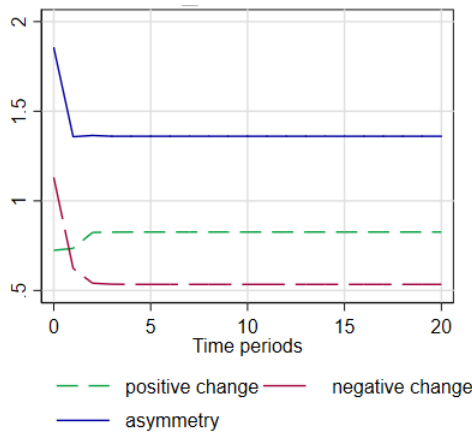
Ekolojik ayak izi spesifikasyonunda doğrusal olmayan yapı daha belirgindir. Bu modelde uzun dönem asimetri hem

sıcaklık hem de ekolojik ayak izi için anlamlıdır. Mekanizasyon için uzun dönem asimetri sınırda anlamlıdır.

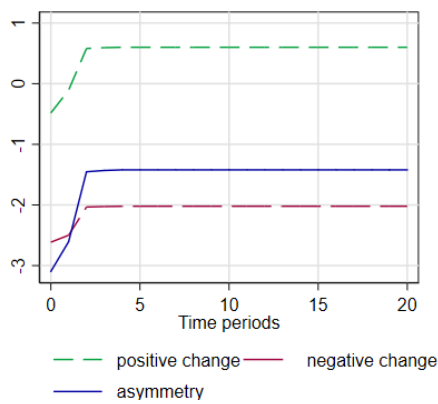
Daha dikkat çekici olan, kısa dönem sonuçların çok daha güçlü olmasıdır: sıcaklık, yağış, ekolojik ayak izi, mekanizasyon ve *post90* değişkenlerinin tamamı için kısa dönem asimetri anlamlıdır. Bu bulgu, şeker pancarı üretim sisteminin kısa vadede hem iklimsel hem çevresel hem de teknolojik şoklara karşı belirgin biçimde yön-bağımlı tepkiler verebildiğini göstermektedir.

İki NARDL spesifikasyonu birlikte değerlendirildiğinde, şeker pancarı dört ürün içinde doğrusal olmayan yapının en açık görüldüğü ürünlerden biri olarak öne çıkmaktadır. ARDL bulgularında her iki çevresel gösterge için de güçlü düzey etkileri bulunurken, NARDL sonuçları özellikle ekolojik ayak izi modelinde bu ilişkinin asimetrik boyut

(a) *TEMP* şoklarının kümülatif etkisi



(c) *CO₂* şoklarının kümülatif etkisi



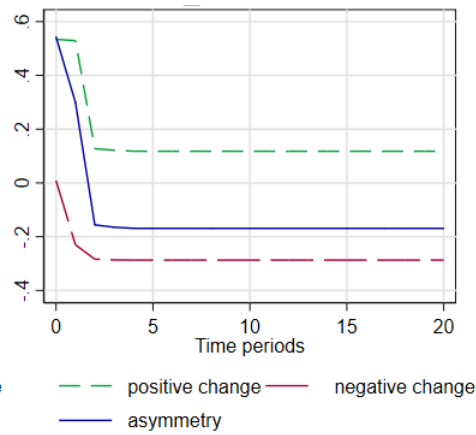
(e) Post-1990 yapısal kırılma değişkeninin kümülatif etkisi

taşıdığını göstermektedir. Bu nedenle şeker pancarı için çevresel baskının yalnızca düzey değil, aynı zamanda yön-bağımlı bir yapı taşıdığı söylenebilir.

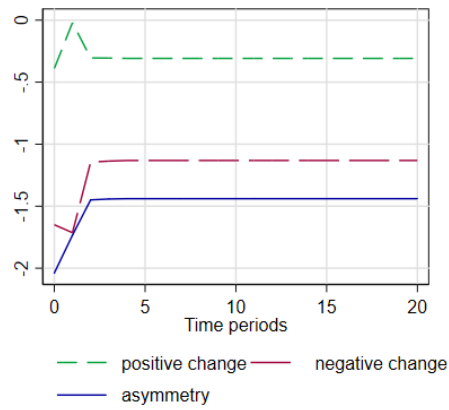
5.5.3. Dinamik Çarpanlar ve Karşılaştırmalı Değerlendirme

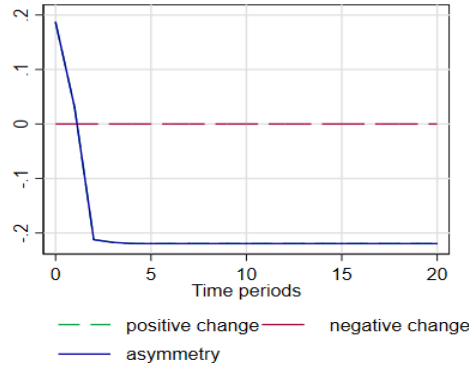
NARDL modelinden elde edilen kümülatif dinamik çarpanlar, pozitif ve negatif şokların şeker pancarı verimi üzerindeki etkilerinin zaman içinde nasıl şekillendiğini göstermektedir. *CO₂* spesifikasyonuna ait dinamik çarpanlar Şekil 7'de, ekolojik ayak izi spesifikasyonuna ait dinamik çarpanlar ise Şekil 8'de sunulmaktadır.

(b) *PREC* şoklarının kümülatif etkisi



(d) *MACH* şoklarının kümülatif etkisi





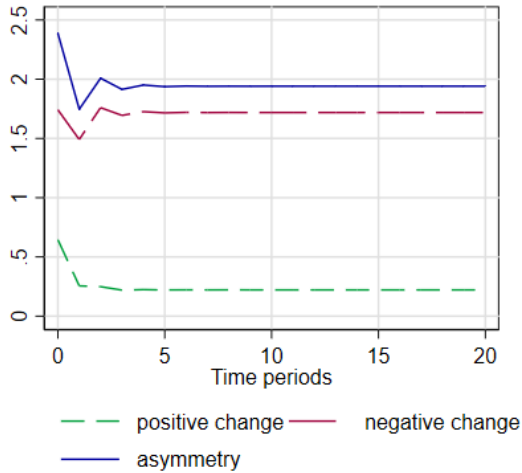
Şekil 7. NARDL Kümülatif Dinamik Çarpanlar (CO₂ Spesifikasyonu - Şeker Pancarı)

Not: Grafikler, Shin vd. (2014) NARDL yaklaşımına dayalı kümülatif dinamik çarpanları göstermektedir. Yeşil kesikli çizgi pozitif şokların, kırmızı kesikli çizgi negatif şokların, mavi çizgi ise iki etki arasındaki farkın zaman içindeki evrimini göstermektedir. Yatay eksen uyum dönemlerini, dikey eksen bağımlı değişimdeki kümülatif tepkiyi ifade etmektedir. Post90 paneli tek yönlü rejim değişimini temsil ettiğinden yalnızca toplam etkiyi göstermektedir.

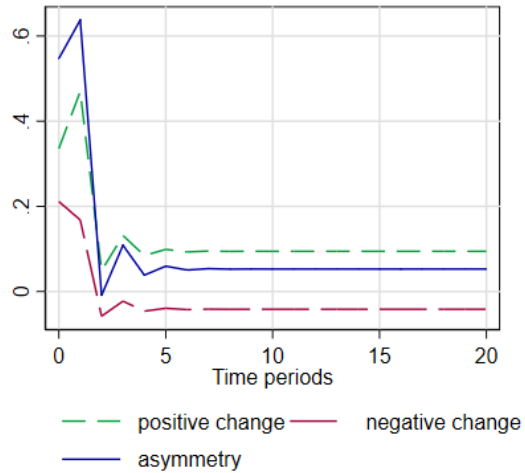
Şekiller, CO₂ modelinde sıcaklık ve CO₂ şoklarının yön-bağımlı etkiler yarattığını, ancak bu yapının ekolojik ayak izi modelinde daha güçlü ve daha yaygın hale geldiğini göstermektedir. Özellikle ekolojik ayak izi modelinde sıcaklık, çevresel baskı ve mekanizasyon şoklarının etkileri ilk dönemlerde belirgin biçimde ayrılmakta ve daha sonra yeni denge seviyelerine yaklaşmaktadır. Bu görünüm, kısa dönem asimetri testlerinde çok sayıda değişken için elde edilen anlamlı sonuçlarla uyumludur.

Sonuç olarak, şeker pancarı için çevresel baskının ölçüm biçimi yalnızca katsayı büyüklüklerini değil, doğrusal olmayan uyum dinamiklerini de değiştirmektedir. CO₂ modeli çevresel baskının karbon emisyonu boyutunu yakalarken, ekolojik ayak izi modeli çevresel baskının daha geniş ve daha belirgin bir asimetrik yapı sergileyen boyutunu ortaya koymaktadır. Bu nedenle şeker pancarı, bu çalışma içinde çevresel baskının hem düzey hem de asimetrik etkilerinin en açık biçimde gözlemlendiği ürünlerden biri olarak öne çıkmaktadır.

(a) TEMP şoklarının kümülatif etkisi

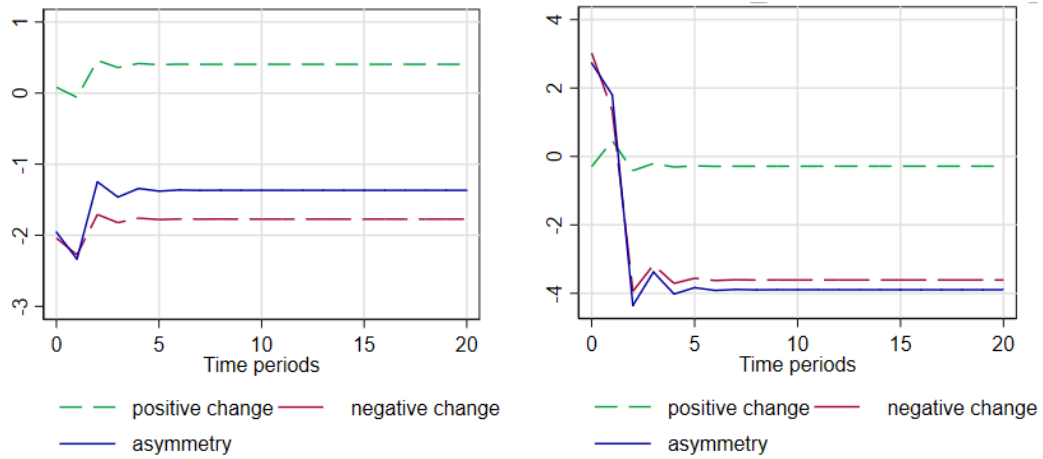


(b) PREC şoklarının kümülatif etkisi

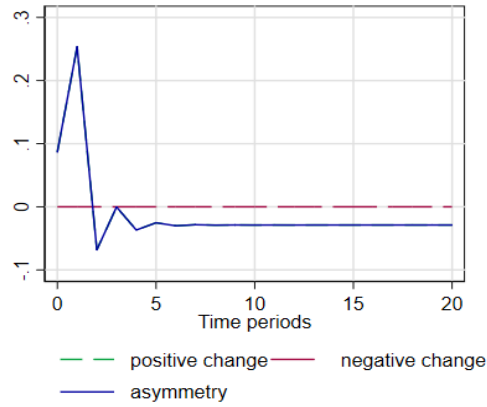


(c) FP şoklarının kümülatif etkisi

(d) MACH şoklarının kümülatif etkisi



(e) Post-1990 yapısal kırılma değişkeninin kümülatif etkisi



Şekil 8. NARDL Kümülatif Dinamik Çarpanlar (Ekolojik Ayak İzi Spesifikasyonu - Şeker Pancarı)

Not: Grafikler Shin vd. (2014) NARDL yaklaşımına dayalı kümülatif dinamik çarpanları göstermektedir. Yeşil kesikli çizgi pozitif şokların, kırmızı kesikli çizgi negatif şokların, mavi çizgi ise iki etki arasındaki farkın zaman içindeki evrimini göstermektedir. Yatay eksen uyum dönemlerini, dikey eksen bağımlı değişkendeki kümülatif tepkiyi ifade etmektedir. Post90 paneli tek yönlü rejim değişimini temsil ettiğinden yalnızca toplam etkiyi göstermektedir.

5.6. Karşılaştırmalı Sonuçlar ve Tartışma

Dört ürün birlikte değerlendirildiğinde, tarımsal verimin iklim, çevresel baskı ve teknolojik kapasite değişkenlerine verdiği tepkilerin homojen olmadığı açıkça görülmektedir. Bu heterojenlik ilk olarak uzun dönem doğrusal ilişkilerde ortaya çıkmaktadır. Nitekim Tablo 19, genel uzun dönem

belirleyicilerin ürünler arasında belirgin biçimde farklılaştığını göstermektedir. Buğday ve arpa için yağış ile mekanizasyon öne çıkarken, pamuk ve şeker pancarında çevresel baskı göstergeleri daha merkezi bir rol oynamaktadır. Bu sonuç, aynı ülke ve aynı dönem içinde dahi ürünlerin ortak bir üretim mekanizmasıyla açıklanamayacağını göstermektedir.

Tablo 19. ARDL Uzun Dönem Sonuçlarının Ürün Bazlı Özeti

Ürün	CO ₂ Etkisi	Ekolojik Ayak İzi Etkisi	Sıcaklık	Yağış	Mekanizasyon	Genel Uzun Dönem Belirleyici
Buğday	zayıf	güçlü	zayıf	güçlü	güçlü	çevresel baskı + teknoloji
Arpa	zayıf	güçlü	zayıf	güçlü	güçlü	sı koşulları + teknoloji
Pamuk	güçlü (+)	güçlü (+)	sınırlı	sınırlı	zayıf	çevresel baskı / üretim ölçeği
Şeker Pancarı	güçlü (+)	güçlü (+)	anlamsız	anlamsız	negatif (-)	çevresel baskı

“Güçlü” ifadesi, ilgili değişkenin uzun dönemde istatistiksel olarak anlamlı ve ekonomik olarak belirgin bir ilişki üretmesini; “zayıf” ifadesi ise ilişkinin anlamsız veya ikincil düzeyde kalmasını göstermektedir. “Genel uzun dönem belirleyici” sütunu, ARDL bulgularının ürün bazlı sentezini sunmaktadır.

Tablo 19 ayrıca buğday ve arpanın benzer, pamuk ve şeker pancarının ise farklı bir örüntü sergilediğini göstermektedir. Buğday ve arpada CO₂ temelli modeller çevresel baskı ile üretim arasındaki ilişkiyi zayıf yansıtırken, ekolojik ayak izi modeli bu ilişkiyi daha görünür hale getirmektedir. Buna karşılık pamuk ve şeker pancarında hem CO₂ hem de ekolojik ayak izi güçlü ve pozitif uzun dönem etkiler üretmektedir. Ancak bu iki ürün aynı değildir: pamukta çevresel baskı üretim ölçeği ve karbon yoğunluğu ile birlikte okunurken, şeker pancarında çevresel baskıya daha genel bir duyarlılık gözlenmektedir. Ayrıca şeker pancarında mekanizasyon değişkeninin negatif işaretli olması, teknoloji kullanımının her ürün için aynı ekonomik anlama gelmediğini göstermektedir.

Ürünler yalnızca ortalama uzun dönem etkiler bakımından değil, şokların yönüne verdikleri tepkiler bakımından da farklılaşmaktadır. Bu durum Tablo 20’de özetlenen NARDL bulgularında açık biçimde görülmektedir. Buğdayda doğrusal olmayan yapı esas olarak teknoloji değişkeninde yoğunlaşırken, arpada yağış ve mekanizasyon öne çıkmaktadır. Pamukta asimetrik yapı çevresel baskıdan çok iklim şokları, özellikle sıcaklık ve kısmen yağış üzerinden şekillenmektedir. Şeker pancarı ise dört ürün içinde doğrusal olmayan yapının daha görünür olduğu ürünlerden biri olarak öne çıkmaktadır; özellikle sıcaklık ve çevresel baskı değişkenleri daha belirgin asimetrikler üretmektedir. Bu bulgular, tarımsal üretim sistemlerinin yalnızca ortalama koşullara değil, şokların yönüne de farklı tepki verebildiğine işaret etmektedir.

Tablo 20. Asimetri Sonuçları (NARDL - Şok Yönüne Bağlı Etkiler)

Ürün	Sıcaklık Asimetrisi	Yağış Asimetrisi	CO ₂ / Çevresel Baskı Asimetrisi	Teknoloji Asimetrisi	Genel Değerlendirme
Buğday	zayıf	zayıf	zayıf	güçlü	doğrusal olmayan yapı esas olarak teknoloji kaynaklı
Arpa	sınırlı	güçlü	zayıf	güçlü	su koşulları ve teknoloji yön-bağımlı
Pamuk	güçlü	sınırlı-güçlü	zayıf	sınırlı	iklim şokları yön-bağımlı, çevresel baskı daha çok düzey etkisi üretiyor
Şeker Pancarı	güçlü	sınırlı	güçlü	sınırlı-güçlü	en belirgin doğrusal olmayan yapı

Tablo, NARDL uzun ve kısa dönem Wald testlerinin birlikte değerlendirilmesine dayalı özet bir sınıflandırma sunmaktadır. “Güçlü” ifadesi, ilgili değişken için bir veya birden fazla modelde istatistiksel olarak anlamlı asimetri tespit edildiğini; “sınırlı” ifadesi ise etkinin yalnızca bazı spesifikasyonlarda veya belirli dönemlerde ortaya çıktığını göstermektedir.

Uzun dönem belirleyiciler ile asimetrik tepkiler birlikte değerlendirildiğinde, çevresel baskının nasıl ölçüldüğünün sonuçları hangi yönde etkileyebildiği Tablo 21’de özetlenmektedir. Tablo, çalışmanın temel karşılaştırmalı çerçevesini sunmaktadır. Bulgular, buğday ve arpa için CO₂ temelli modellerin çevresel baskıyı daha sınırlı yansıttığını,

ekolojik ayak izi temelli modellerin ise bu ilişkiyi daha görünür hale getirdiğini düşündürmektedir. Buna karşılık pamuk ve şeker pancarında her iki gösterge de daha güçlü ilişkiler üretmektedir. Yine de bu karşılaştırmaların, bazı modellerdeki tanısal sınırlılıklar dikkate alınarak değerlendirilmesi gerekir.

Tablo 21. Çevresel Baskı Ölçümünün Karşılaştırılması (CO₂ - Ekolojik Ayak İzi)

Ürün	CO ₂ Modeli	Ekolojik Ayak İzi Modeli	Yorum
Buğday	zayıf	güçlü	çevresel baskı daha çok geniş kaynak kullanımı boyutunda yakalanıyor
Arpa	zayıf	güçlü	karbon emisyonları dar kalıyor; ekolojik baskı daha açıklayıcı
Pamuk	güçlü	güçlü	pamuk üretimi her iki çevresel baskı göstergesiyle de yakın ilişkili
Şeker Pancarı	güçlü	güçlü	çevresel baskıya en duyarlı ürünlerden biri

Bu tablo, çevresel baskının iki farklı gösterge ile ölçülmesinin ürün bazlı sonuçları nasıl değiştirdiğini özetlemektedir. Buradaki sınıflandırma, doğrusal ve doğrusal olmayan bulguların birlikte değerlendirilmesiyle oluşturulmuştur.

Bu üç tablo birlikte değerlendirildiğinde üç sonuç ortaya çıkmaktadır. İlk olarak, tarımsal üretim sistemleri ürünler arasında ciddi yapısal heterojenlik göstermektedir. İkinci olarak, bu sistemler şoklara simetrik tepki vermemektedir. Üçüncü olarak, çevre-üretim ilişkisinin ampirik görünümü çevresel baskının nasıl ölçüldüğüne bağlıdır. Dolayısıyla tek ülke ve benzer veri yapısı içinde dahi ürünlerin aynı ekonomik mantıkla hareket etmediği açıktır.

Bu sonuçlar politika açısından da önemlidir. Buğday ve arpa için çevresel baskının daha geniş ölçümler altında anlamlı hale gelmesi, yalnızca karbon emisyonlarına odaklanan politikaların yetersiz kalabileceğini göstermektedir. Bu ürünlerde su yönetimi ile teknolojik kapasitenin güçlendirilmesi daha önemli görünmektedir. Pamukta çevresel baskı göstergelerinin her iki modelde de güçlü olması, üretim artışlarının çevresel maliyetlerden bağımsız düşünülemeyeceğini göstermektedir. Şeker pancarında ise hem çevresel baskının düzey etkisinin hem de yön-bağımlı

etkilerin belirgin olması, çevresel yönetim ile üretim planlamasının birlikte ele alınması gerektiğini ortaya koymaktadır. Kısacası, tek tip çevre politikası ya da tek tip üretim desteği yaklaşımı bu bulgularla uyumlu değildir.

Bununla birlikte bazı ürün-spesifik modellerde tanınal testlerin tam olarak ideal bir tablo sunmaması, özellikle kısa dönem katsayılar ve doğrusal olmayan dinamikler yorumlanırken sonuçların ihtiyat payıyla değerlendirilmesini gerektirmektedir. Bu nedenle çalışmanın temel katkısı, tüm katsayıları eşit düzeyde kesin ilişkiler olarak sunmaktan ziyade, çevresel baskının ölçüm biçiminin ve ürün bazlı heterojenliğin ampirik sonuçları nasıl değiştirdiğini göstermesidir.

6. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışma, Türkiye’de 1961-2024 döneminde buğday, arpa, pamuk ve şeker pancarı verimlerinin iklim değişkenleri, çevresel baskı göstergeleri ve teknolojik kapasite ile ilişkisini ARDL ve NARDL yaklaşımları çerçevesinde incelemiştir. Çalışmanın temel amacı, tarımsal verim üzerindeki çevresel etkilerin yalnızca ortalama doğrusal ilişkiler üzerinden değil, aynı zamanda çevresel baskının nasıl ölçüldüğü ve şokların yönüne bağlı olarak nasıl farklılaştığı üzerinden değerlendirilmesidir. Bu amaç doğrultusunda çevresel baskı iki alternatif gösterge ile temsil edilmiştir: kişi başına CO₂ emisyonları ve kişi başına ekolojik ayak izi. Böylece çevresel baskının dar karbon yoğunluğu boyutu ile daha geniş kaynak kullanımı ve ekolojik yük boyutu karşılaştırmalı olarak analiz edilmiştir.

Elde edilen bulgular üç temel sonucu ortaya koymaktadır. İlk olarak, tarımsal verim ile çevresel baskı arasındaki ilişkinin niteliği kullanılan çevresel göstergeye duyarlıdır. Buğday ve arpa için CO₂ temelli modeller çevresel baskı ile üretim arasındaki ilişkiyi zayıf biçimde yansıtırken, ekolojik ayak izi modelleri bu ilişkiyi daha açık hale getirmektedir. Bu sonuç, söz konusu ürünlerde çevresel baskının yalnızca karbon emisyonlarının dar boyutu üzerinden değil, daha geniş doğal kaynak kullanımı ve ekolojik yük çerçevesinde anlaşılması gerektiğini göstermektedir. Buna karşılık pamuk ve şeker pancarında hem CO₂ hem de ekolojik ayak izi modelleri güçlü ve anlamlı uzun dönem ilişkiler üretmektedir. Ancak bu iki ürün aynı değildir: pamukta çevresel baskı daha çok üretim artışlarının karbon yoğunluğu ve kaynak kullanımı ile birlikte ilerlediği bir yapıya işaret ederken, şeker pancarında çevresel baskıya daha genel ve daha yaygın bir duyarlılık gözlenmektedir.

İkinci olarak, tarımsal verim dinamikleri ürünler arasında belirgin biçimde heterojendir. Buğday ve arpa için yağış ile mekanizasyon öne çıkan belirleyiciler durumundadır. Pamukta çevresel baskı göstergeleri doğrudan üretim sürecinin merkezinde yer almakta, iklim değişkenleri ise görece daha sınırlı bir rol oynamaktadır. Şeker pancarında da çevresel baskı güçlü bir belirleyici olarak öne çıkarken, mekanizasyon değişkeni negatif işaretli bir ilişki üretmektedir. Bu bulgu, teknolojik kapasitenin her ürün için aynı ekonomik içeriği taşımadığını ve üretim yapısına göre

farklı sonuçlar doğurabildiğini göstermektedir. Dolayısıyla tarımsal üretim sistemlerini tek bir ortalama davranış biçimi altında toplamak analitik olarak savunulabilir değildir.

Üçüncü olarak, doğrusal olmayan sonuçlar tarımsal üretim sistemlerinin şoklara simetrik tepki vermediğini göstermektedir. Buğdayda doğrusal olmayan yapı daha çok teknoloji şoklarında yoğunlaşırken, arpada yağış ve mekanizasyon belirgin yön-bağımlı etkiler üretmektedir. Pamukta asimetric yapı özellikle sıcaklık ve yağış değişkenleri üzerinden görünür hale gelmektedir. Şeker pancarı ise dört ürün içinde en güçlü doğrusal olmayan yapıya sahip ürünlerden biri olarak öne çıkmaktadır; özellikle sıcaklık ve çevresel baskı değişkenleri bu üründe hem uzun hem de kısa dönemde belirgin asimetrikler üretmektedir. Bu sonuç, tarımsal üretim sistemlerinin yalnızca ortalama iklim ve çevre koşullarına değil, bu koşullardaki artış ve azalışların yönüne de farklı tepkiler verdiğini göstermektedir. Başka bir ifadeyle, pozitif ve negatif şokların etkilerini birbirinin ayna görüntüsü gibi ele alan doğrusal yaklaşımlar önemli bilgi kaybına yol açabilmektedir.

Bu bulgular politika açısından da önemli sonuçlar doğurmaktadır. İlk olarak, çevresel baskının yalnızca CO₂ emisyonları üzerinden değerlendirilmesi, bazı ürünlerde üretim-çevre ilişkisinin eksik görülmesine yol açabilir. Bu bulgular, çevresel sürdürülebilirlik politikalarında yalnızca dar karbon göstergelerine dayanan bir yaklaşımın her ürün için aynı açıklayıcılığı sağlamayabileceğine işaret etmektedir. Ayrıca ürünler arasında belirgin heterojenlik bulunduğundan, tek tip tarım ve çevre politikaları yerine ürün-spesifik politika tasarımı daha uygun görünmektedir. Bulgular, buğday ve arpa için su yönetimi ile teknolojik altyapının görece daha belirgin bir rol oynayabileceğini; pamuk ve şeker pancarında ise çevresel baskı göstergelerinin üretim dinamikleriyle daha yakın ilişki sergilediğini düşündürmektedir. Bununla birlikte bazı modellerdeki tanınal sınırlılıklar dikkate alındığında, bu politika çıkarımlarının kesin reçeteler olarak değil, ürün bazlı öncelikleri tartışmaya açan ampirik işaretler olarak değerlendirilmesi daha uygundur.

Çalışmanın bazı sınırlılıkları bulunmaktadır. Öncelikle analiz yıllık zaman serileri üzerinden yürütüldüğü için bölgesel farklılıklar ve ürün bazında yerel üretim koşulları doğrudan gözlenememektedir. Ayrıca kullanılan çevresel baskı göstergeleri üretim sisteminin önemli boyutlarını yakalamakla birlikte, sulama yoğunluğu, toprak kalitesi, gübre kullanımı veya ürün bazlı girdi maliyetleri gibi değişkenlerin modele dahil edilmesi daha ayrıntılı sonuçlar sağlayabilir. Bunun yanında bazı ürün-spesifik modellerde tanınal testlerin tam olarak ideal bir tablo sunmaması, özellikle kısa dönem katsayılar ve doğrusal olmayan dinamikler yorumlanırken ihtiyat payı bırakılmasını gerektirmektedir. Dolayısıyla mevcut bulgular, tüm katsayıları eşit derecede kesin ilişkiler olarak sunmaktan ziyade, çevresel baskının ölçüm biçimi, ürün bazlı heterojenlik ve yön-bağımlı etkiler arasındaki ilişkiye dair

sistematiik ve karşılaştırmalı bir çerçeve sunması bakımından önem taşımaktadır.

Sonuç olarak bu çalışma, Türkiye’de tarımsal verim dinamiklerinin yalnızca iklim değişkenleriyle ya da yalnızca dar çevresel göstergelerle yeterince açıklanamayacağını ortaya koymaktadır. Bulgular, çevresel baskının nasıl ölçüldüğünün, hangi ürünün incelendiğinin ve şokların hangi yönde gerçekleştiğinin ampirik sonuçları anlamlı biçimde etkileyebildiğine işaret etmektedir. Bununla birlikte bazı modellerde gözlenen tanısal sınırlılıklar nedeniyle, özellikle kısa dönem ve doğrusal olmayan etkiler yorumlanırken temkinli olunmalıdır. Bu çerçevede çalışmanın temel katkısı, tek bir çevresel göstergeye veya tek tip bir ürün mantığına dayanan yaklaşımların yetersiz kalabileceğini göstermesi ve ürün-spesifik, ölçüm-duyarlı bir değerlendirme çerçevesi önermesidir.

Kaynakça

- Aggarwal, P. K., & Mall, R. K. (2002). Climate change and rice yields in diverse agro-environments of India. II. Effect of uncertainties in scenarios and crop models on impact assessment. *Climatic Change*, 52(3), 331-343.
- Alexandrov, V. A., & Hoogenboom, G. (2000). The impact of climate variability and change on crop yield in Bulgaria. *Agricultural and Forest Meteorology*, 104(4), 315-327.
- Asseng, S., Jamieson, P. D., Kimball, B., Pinter, P., Sayre, K., Bowden, J. W., & Howden, S. M. (2004). Simulated wheat growth affected by rising temperature, increased water deficit and elevated atmospheric CO₂. *Field Crops Research*, 85(2-3), 85-102.
- Attavanich, W., & McCarl, B. A. (2014). How is CO₂ affecting yields and technological progress? A statistical analysis. *Climatic Change*, 124(4), 747-762.
- Bannayan, M., Sadeghi Lotfabadi, S., Sanjani, S., Mohamadian, A., & Aghaalkhani, M. (2011). Effects of precipitation and temperature on crop production variability in Northeast Iran. *International Journal of Biometeorology*, 55(3), 387-401.
- Ben Mariem, S., Soba, D., Zhou, B., Loladze, I., Morales, F., & Aranjuelo, I. (2021). Climate change, crop yields, and grain quality of C3 cereals: A meta-analysis of [CO₂], temperature, and drought effects. *Plants*, 10(6), 1052.
- Benli, M. (2025). Adapting to climate variability: The role of environmental factors in crop yield stability in Türkiye. *ISPEC Journal of Agricultural Sciences*, 9(2), 531-546.
- Benli, M., & Özdemir, R. (2025). Balancing climate sensitivity and resilience: Environmental impacts on selected crop yields in Türkiye. *Journal of Agricultural Sciences*, 31(3), 670-689.
- Chandio, A. A., Gokmenoglu, K. K., & Ahmad, F. (2021). Addressing the long-and short-run effects of climate change on major food crops production in Turkey. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(37), 51657-51673.
- DaMatta, F. M., Grandis, A., Arenque, B. C., & Buckeridge, M. S. (2010). Impacts of climate changes on crop physiology and food quality. *Food Research International*, 43(7), 1814-1823.
- Demirhan, H. (2020). Impact of increasing temperature anomalies and carbon dioxide emissions on wheat production. *Science of The Total Environment*, 741, 139616.
- Doğan, H. G., & Kan, A. (2019). The effect of precipitation and temperature on wheat yield in Turkey: A panel FMOLS and panel VECM approach. *Environment, Development and Sustainability*, 21(1), 447-460.
- Engle, R. F., & Granger, C. W. (1987). Co-integration and error correction: Representation, estimation, and testing. *Econometrica: Journal of the Econometric Society*, 251-276.
- Friedlingstein, P., O'Sullivan, M., Jones, M. W., Andrew, R. M., Bakker, D. C., Hauck, J., ... & Zeng, J. (2025). Global carbon budget 2025. *Earth System Science Data Discussions*, 2025, 1-139.
- Fuhrer, J. (2003). Agroecosystem responses to combinations of elevated CO₂, ozone, and global climate change. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 97(1-3), 1-20.
- Hatfield, J. L., Boote, K. J., Kimball, B. A., Ziska, L. H., Izaurralde, R. C., Ort, D., ... & Wolfe, D. (2011). Climate impacts on agriculture: Implications for crop production. *Agronomy Journal*, 103(2), 351-370.
- Högy, P., Poll, C., Marhan, S., Kandeler, E., & Fangmeier, A. (2013). Impacts of temperature increase and change in precipitation pattern on crop yield and yield quality of barley. *Food Chemistry*, 136(3-4), 1470-1477.
- Johansen, S. (1988). Statistical analysis of cointegration vectors. *Journal of Economic Dynamics and Control*, 12(2-3), 231-254.
- Kang, Y., Khan, S., & Ma, X. (2009). Climate change impacts on crop yield, crop water productivity and food security—a review. *Progress in Natural Science*, 19(12), 1665-1674.
- Kripfganz, S., & Schneider, D. C. (2020). Response surface regressions for critical value bounds and approximate p-values in equilibrium correction models 1. *Oxford Bulletin of Economics and Statistics*, 82(6), 1456-1481.
- Kripfganz, S., & Schneider, D. C. (2023). ardl: Estimating autoregressive distributed lag and equilibrium correction models. *The Stata Journal*, 23(4), 983-1019.
- Laux, P., Jäkel, G., Tingem, R. M., & Kunstmann, H. (2010). Impact of climate change on agricultural productivity under rainfed conditions in Cameroon—A method to improve attainable crop yields by planting date adaptations. *Agricultural and Forest Meteorology*, 150(9), 1258-1271.
- Lobell, D. B., & Field, C. B. (2007). Global scale climate–crop yield relationships and the impacts of recent warming. *Environmental Research Letters*, 2(1), 014002.

- Lobell, D. B., Cahill, K. N., & Field, C. B. (2007). Historical effects of temperature and precipitation on California crop yields. *Climatic Change*, 81(2), 187-203.
- Makowski, D., Asseng, S., Ewert, F., Bassu, S., Durand, J. L., Li, T., ... & Zhu, Y. (2015). A statistical analysis of three ensembles of crop model responses to temperature and CO₂ concentration. *Agricultural and Forest Meteorology*, 214, 483-493.
- Makowski, D., Marajo-Petizon, E., Durand, J. L., & Ben-Ari, T. (2020). Quantitative synthesis of temperature, CO₂, rainfall, and adaptation effects on global crop yields. *European Journal of Agronomy*, 115, 126041.
- Marcinkowski, P., & Piniewski, M. (2024). Future changes in crop yield over poland driven by climate change, increasing atmospheric CO₂ and nitrogen stress. *Agricultural Systems*, 213, 103813.
- Morel, J., Kumar, U., Ahmed, M., Bergkvist, G., Lana, M., Halling, M., & Parsons, D. (2021). Quantification of the impact of temperature, CO₂, and rainfall changes on swedish annual crops production using the APSIM model. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 5, 665025.
- Najafi, E., Devineni, N., Khanbilvardi, R. M., & Kogan, F. (2018). Understanding the changes in global crop yields through changes in climate and technology. *Earth's Future*, 6(3), 410-427.
- Nonhebel, S. (1996). Effects of temperature rise and increase in CO₂ Concentration on simulated wheat yields in Europe. *Climatic Change*, 34(1), 73-90.
- Ozkan, B., & Akcaoz, H. (2002). Impacts of climate factors on yields for selected crops in the Southern Turkey. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 7(4), 367-380.
- Özdoğan, M. (2011). Modeling the impacts of climate change on wheat yields in Northwestern Turkey. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 141(1-2), 1-12.
- Pesaran, M. H., Shin, Y., & Smith, R. J. (2001). Bounds testing approaches to the analysis of level relationships. *Journal of Applied Econometrics*, 16(3), 289-326.
- Pirttioja, N., Carter, T. R., Fronzek, S., Bindi, M., Hoffmann, H., Palosuo, T., ... & Rötter, R. P. (2015). Temperature and precipitation effects on wheat yield across a European transect: A crop model ensemble analysis using impact response surfaces. *Climate Research*, 65, 87-105.
- Qin, M., Zheng, E., Hou, D., Meng, X., Meng, F., Gao, Y., ... & Xu, T. (2023). Response of wheat, maize, and rice to changes in temperature, precipitation, CO₂ concentration, and uncertainty based on crop simulation approaches. *Plants*, 12(14), 2709.
- Roudier, P., Sultan, B., Quirion, P., & Berg, A. (2011). The Impact of future climate change on west african crop yields: What does the recent literature say?. *Global Environmental Change*, 21(3), 1073-1083.
- Savabi, M. R., & Stockle, C. O. (2001). Modeling the possible impact of increased CO₂ and temperature on soil water balance, crop yield and soil erosion. *Environmental Modelling & Software*, 16(7), 631-640.
- Schlenker, W., & Roberts, M. J. (2008). *Estimating the impact of climate change on crop yields: The Importance of nonlinear temperature effects* (No. w13799). National Bureau of Economic Research.
- Sen, B., Topcu, S., Türkeş, M., Sen, B., & Warner, J. F. (2012). Projecting climate change, drought conditions and crop productivity in Turkey. *Climate Research*, 52, 175-191.
- Shin, Y., & Pesaran, M. H. (1999). An autoregressive distributed lag modelling approach to cointegration analysis. In *Econometrics and economic theory in the 20th century: The Ragnar Frish centennial symposium* (pp. 371-413). Cambridge University Press.
- Shin, Y., Yu, B., & Greenwood-Nimmo, M. (2014). Modelling asymmetric cointegration and dynamic multipliers in a nonlinear ARDL framework. In *Festschrift in honor of Peter Schmidt: Econometric methods and applications* (pp. 281-314). New York, NY: Springer New York.
- Singh, B., El Maayar, M., André, P., Bryant, C. R., & Thouez, J. P. (1998). Impacts of a GHG-induced climate change on crop yields: Effects of acceleration in maturation, moisture stress and optimal temperature. *Climatic Change*, 38(1), 51-86.
- Streck, N. A. (2005). Climate change and agroecosystems: The effect of elevated atmospheric CO₂ and temperature on crop growth, development, and yield. *Ciência Rural*, 35(3), 730-740.
- Tatar, Ö. (2016). Climate change impacts on crop production in Turkey. *Lucrări Științifice* 59(2).
- Tubiello, F. N., & Ewert, F. (2002). Simulating the effects of elevated CO₂ on crops: Approaches and applications for climate change. *European Journal of Agronomy*, 18(1-2), 57-74.
- Verón, S. R., De Aballeyra, D., & Lobell, D. B. (2015). Impacts of precipitation and temperature on crop yields in the Pampas. *Climatic Change*, 130(2), 235-245.
- Waha, K., Müller, C., & Rolinski, S. (2013). Separate and combined effects of temperature and precipitation change on maize yields in sub-Saharan Africa for mid-to late-21st century. *Global and Planetary Change*, 106, 1-12.
- Wilcox, J., & Makowski, D. (2014). A meta-analysis of the predicted effects of climate change on wheat yields using simulation studies. *Field Crops Research*, 156, 180-190.
- Xiao, G., Liu, W., Xu, Q., Sun, Z., & Wang, J. (2005). Effects of temperature increase and elevated CO₂ concentration, with supplemental irrigation, on the yield of rain-fed spring wheat in a semiarid region of China. *Agricultural Water Management*, 74(3), 243-255.
- Yang, P., Wu, W., Li, Z., Yu, Q., Inatsu, M., Liu, Z., ... & Tang, H. (2014). Simulated impact of elevated CO₂, temperature, and precipitation on the winter wheat yield in the North China Plain. *Regional Environmental Change*, 14(1), 61-74.

- Yano, T., Aydin, M., & Haraguchi, T. (2007). Impact of climate change on irrigation demand and crop growth in a Mediterranean environment of Turkey. *Sensors*, 7(10), 2297-2315.
- Zhao, C., Liu, B., Piao, S., Wang, X., Lobell, D. B., Huang, Y., ... & Asseng, S. (2017). Temperature increase reduces global yields of major crops in four independent estimates. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 114(35), 9326-9331.
- Zimmermann, A., Webber, H., Zhao, G., Ewert, F., Kros, J., Wolf, J., ... & de Vries, W. (2017). Climate change impacts on crop yields, land use and environment in response to crop sowing dates and thermal time requirements. *Agricultural Systems*, 157, 81-92.
- Zscheischler, J., Orth, R., & Seneviratne, S. I. (2017). Bivariate return periods of temperature and precipitation explain a large fraction of European crop yields. *Biogeosciences*, 14(13), 3309-3320.