

Türkiye’de İklim Verileri ile Buğday ve Arpa Verimi Arasındaki Nedensellik İlişkisinin Toda-Yamamoto Testi ile Belirlenmesi

Determining the Causality Relationship Between Climate Data and Wheat and Barley Yield in Turkey with The Toda-Yamamoto Test

Didem DOĞAR^{1*}, Adnan ÇİÇEK²

Öz

Bu çalışmanın amacı, uzun dönemli iklim verileri ile buğday ve arpa verimi arasındaki nedensellik ilişkisini incelemektir. Çalışmanın veri seti, Türkiye’de 1970-2023 yılları arasındaki 53 yıllık iklim verileri ile buğday ve arpa verimlerini kapsamaktadır. Sıcaklık, yağış, nem ve karlı gün sayısı ile buğday ve arpa verimi arasındaki nedensellik ilişkisinin belirlenmesinde Toda-Yamamoto nedensellik testinden yararlanılmıştır. Bu amaçla ilk olarak serilerin Augmented Dickey-Fuller (ADF) ile Phillips-Perron (PP) birim kök testi yapılmış, serilerin birinci farkında birim kök içerip içermediği belirlenmiştir. Lagrange Çarpanı (LM) Otokorelasyon Testi, White Değişen Varyans Testi (With Cross) ve Granger Nedensellik testi uygulanmış, serilerde otokorelasyon ve değişen varyans sorunu bulunmadığı tespit edilmiştir. Granger nedensellik testine göre, buğday verimi ile sıcaklık arasında %1, buğday verimi ile karlı gün sayısı arasında %5 düzeyde nedensellik ilişkisi bulunmuştur. Arpa verimi ile sıcaklık ve karlı gün sayısı arasında %5, arpa verimi ile nem değerleri arasında %1 düzeyde nedensellik ilişkisi bulunmuştur. Yapılan analizler sonucunda, buğday ve arpa verimindeki değişimlerin büyük oranda sıcaklık ve nem değişikliklerine bağlı olduğu belirlenmiştir. Sıcaklık, yağış ve karlı gün sayısından buğday verimine doğru %1 anlamlılık düzeyinde tek yönlü nedensellik olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, sıcaklık ve yağış ile buğday verimi arasında pozitif, karlı gün sayısı ile buğday verimi arasında negatif bir ilişki olduğu belirlenmiştir. Sıcaklık, nem ve karlı gün sayısından arpa verimine doğru %1 anlamlılık düzeyinde tek yönlü nedensellik ilişkisi saptanmıştır. Sıcaklık ve arpa verimi arasında pozitif, nem ve karlı gün sayısı ile arpa verimi arasında negatif bir ilişki olduğu belirlenmiştir. Bu bulgular ışığında, iklim değişkenlerinin buğday ve arpa veriminde önemli bir etkiye sahip olduğu görülmektedir. Ayrıca, sıcaklık, nem, yağış ve karlı gün sayısı gibi iklim faktörlerinin tarımsal üretim üzerindeki etkilerinin analiz edilmesi, gelecekteki gıda güvenliği ve sürdürülebilir tarım için gerekli önlemlerin alınması önem taşımaktadır.

Anahtar Kelimeler: Toda-Yamamoto testi, Buğday ve arpa verimi, İklim değişikliği, Nedensellik analizi, Türkiye

^{1*}**Sorumlu Yazar/Corresponding Author:** Didem Doğan, Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarım Ekonomisi Anabilim Dalı, Tokat, Türkiye. E-mail: dogardidem@gmail.com  OrcID: [0000-0003-0330-255X](https://orcid.org/0000-0003-0330-255X)

²Adnan Çiçek, Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarım Ekonomisi Anabilim Dalı, Tokat, Türkiye. E-mail: adnan.cicek@gop.edu.tr  OrcID: [0000-0002-2671-1439](https://orcid.org/0000-0002-2671-1439)

Atıf: Doğan, D., Çiçek, A. (2025). Türkiye’de iklim verileri ile buğday ve arpa verimi arasındaki nedensellik ilişkisinin Toda-Yamamoto testi ile belirlenmesi. *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 22(2): 411-427.

Citation: Doğan, D., Çiçek, A. (2025). Determining the causality relationship between climate data and wheat and barley yield in Turkey with the Toda-Yamamoto Test. *Journal of Tekirdag Agricultural Faculty*, 22(2): 411-427.

©Bu çalışma Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi tarafından Creative Commons Lisansı (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>) kapsamında yayınlanmıştır. Tekirdağ 2025

Abstract

The aim of this study is to examine the causality relationship between long-term climate data and wheat and barley yields. The data set of the study covers 53 years of climate data and wheat and barley yields between 1970-2023 in Turkey. Toda-Yamamoto causality test was used to determine the causality relationship between temperature, precipitation, humidity and number of snowy days and wheat and barley yields. For this purpose, firstly Augmented Dickey-Fuller (ADF) and Phillips-Perron (PP) unit root tests were performed on the series to determine whether the series contained a unit root in the first difference. Lagrange Multiplier (LM) Autocorrelation test, White Heteroscedasticity test (With Cross) and Granger Causality test were applied to determine that there was no autocorrelation or heteroscedasticity problems in the series. According to the Granger Causality test, a causality relationship of 1% was found between wheat yield and temperature, 5% between wheat yield and number of snowy days. A causal relationship of 5% was found between barley yield and temperature and number of snowy days, and 1% between barley yield and humidity values. As a result of the analyses, it was determined that changes in wheat and barley yield were largely dependent on temperature and humidity changes. It was determined that there was a unidirectional causality at a significance level of 1% from temperature, precipitation and number of snowy days to wheat yield. In addition, it was determined that there was a positive relationship between temperature and precipitation and wheat yield, and a negative relationship between number of snowy days and wheat yield. A unidirectional causal relationship at a significance level of 1% was found from temperature, humidity and number of snowy days to barley yield. It was determined that there was a positive relationship between temperature and barley yield, and a negative relationship between humidity and number of snowy days and barley yield. In the light of these findings, it is seen that climate variables have a significant effect on wheat and barley yield. In addition, it is important to analyze the effects of climatic factors such as temperature, humidity, precipitation and number of snowy days on agricultural production, and to take the necessary precautions for future food security and sustainable agriculture.

Keywords: Toda-Yamamoto test, Wheat and barley yield, Climate change, Causality analysis, Turkey

1.Giriş

Dünya’da 2022 yılında yaklaşık 2.8 milyar ton olarak gerçekleşen tahıl üretimi içerisinde buğday, %28 oran ile ilk sırada yer almaktadır (FAO, 2023). Beslenme açısından büyük öneme sahip olan buğdayın toplam ekim alanı 222 milyon ha olup, üretim miktarı 776 milyon tondur. Buğday ekim alanının %55’ini, üretimin ise %48’ini Hindistan, Rusya, AB ülkeleri, Çin ve ABD oluşturmaktadır. Türkiye’de 2023 yılında 6.8 milyon ha alanda buğday üretimi yapılmıştır (TÜİK, 2023). Türkiye’de son yıllarda buğday üretimi mevsimsel dalgalanmaların etkisiyle yaklaşık 19-21 milyon ton arasında değişmektedir. Türkiye, AB ülkeleri ile kıyaslandığında geniş bir buğday ekim alanına sahiptir. Ancak başta toprak verimliliği olmak üzere sıcaklık, yağış, rüzgâr, nem, gibi faktörlerin etkisiyle mevsimsel dalgalanmalar ve verim düşüklüğü yaşanmaktadır (Taner ve Sade, 2005).

Dünya genelinde tahıl üretimi sıralamasında buğday, çeltik ve mısırın ardından dördüncü sırada arpa yer almaktadır. Arpanın ekolojik sınırlarının esnek olması nedeniyle dünya genelinde yaygın bir şekilde üretildiği görülmektedir (Taşcı ve Bayramoğlu, 2020). Dünyada 2022 yılı arpa ekim alanı 49.8 milyon ha, üretim miktarı ise 151.9 milyon tondur. AB ülkeleri, yaklaşık %22 oran ile arpa ekim alanları ve arpa üretiminde ilk sırada bulunmakta olup bunu %16.4 ile Rusya, %8.7, ile Avusturalya ve %8.0 ile Türkiye izlemektedir. Türkiye’de 2023 yılında yaklaşık 3.3 milyon ha alanda 9.2 milyon ton üretim yapılmıştır (USDA, 2023; TÜİK, 2023).

Dünya’da ve Türkiye’de ekim alanlarının artırılamayacağı dikkate alındığında, buğday ve arpa üretimini artırmanın en önemli yolu birim alandan alınan verimi artırmaktan geçmektedir. Verimi artırmada bazı faktörlere etki etmek mümkün iken sıcaklık, yağış, nem ve karlı gün sayısı gibi faktörlere etki edilememektedir. Dünyada artan nüfusun da etkisiyle birlikte sera gazlarının atmosferde artması küresel sıcaklıklarda ciddi artışlara neden olmaktadır. Bu bağlamda, 1860-1990’lı yıllarda küresel sıcaklığın ortalama 0.3°C-0.5°C derece arasında arttığı ve günümüzde ise sanayi öncesi döneme göre yaklaşık 1.5°C’ye kadar ulaştığı, ilerleyen yıllarda ise 1.4°C-5.8°C’ye kadar artabileceği öngörülmektedir. Bu nedenle, birçok doğal afette artışlar yaşanmakta ve sıcaklık ile yağış rejimlerinde değişimler görülmektedir (Andrady ve ark., 2008; Demir, 2009; Aydın ve Sarptaş, 2018; WMO, 2022).

Dünyada birçok sektör iklim değişikliğinden olumsuz etkilenmektedir. Bunlardan birisi olan tarım sektörü, iklim değişikliğinin yarattığı etkilere karşı en hassas sektörlerdendir. Tarım sektörü, pek çok yönden doğal çevreyi etkilemektedir. Bu etkinin yoğunluğu, doğal koşullara bağlı olarak değişiklik gösterebilmektedir. Bu nedenle iklim değişikliğinin analiz edilerek azaltılmasına yönelik tedbirlerin alınması, üretimin sürdürülebilirliğinde önemli bir rol oynamaktadır (Neset ve ark., 2019; Çetin ve ark., 2020; Uslu ve ark., 2023). Ayrıca küresel iklim değişikliğinin tarım sektöründeki olumsuz etkisi bitkisel ürünlerin verimliliğini, ürün miktarlarını ve kalitelerini de olumsuz yönde etkilemektedir.

Bitkiler sağlıklı büyüüp gelişmeleri için bitki besin maddelerinin yanı sıra sıcaklık, su, nem, karlı gün sayısı ve gün ışığı gibi faktörlere ihtiyaç duyarlar. Son dönemlerde iklimsel değişkenlerin üretim ve verim üzerindeki etkilerini inceleyen çok sayıda çalışma bulunmaktadır. Türkiye’de bu gibi etkilerin devam etmesi durumunda, buğday gibi tahıl ürünlerinin veriminde önemli düşüşler yaşanabileceği öngörülmektedir (Öztürk, 2002). Düşük ve yüksek sıcaklık, don, az ya da aşırı yağış, yüksek rüzgâr hızı ve düşük güneşlenme gibi meteorolojik olayların verimin azalmasında etkili faktörler olduğu belirtilmektedir (TOB, 2021). Tonk ve ark. (2011), 2007-2008 ve 2009-2010 yıllarında Ege Bölgesi’nde yaptıkları denemede yüksek yağış miktarının buğday veriminde azalmaya neden olduğunu belirlemişlerdir. Sayılğan (2016), normal koşullarda buğday gelişme döneminde optimum sıcaklık değerlerinin üzerindeki ortalama 1°C’lik artışın yazlık buğday veriminde 5.7 kg/da azalmaya neden olduğunu belirtmektedir. Benzer şekilde Mina ve ark. (2018), yüksek sıcaklık koşullarında, çeşitli tahılların veriminde azalma meydana geldiğini ifade etmektedirler. 2050 yılında Türkiye’de iklim değişikliği nedeniyle buğday ve arpa üretiminde verimin %7.6 oranında azalacağı öngörülmektedir (Dellal ve ark., 2011).

İklim değişkenleri ile tarımsal ürünler arasındaki nedensellik ilişkilerinin belirlenmesinde Toda Tamamoto testinin kullanıldığı çalışmalar da söz konusudur. Eştürk (2022), Ardahan ilinde, 1990-2020 yılları arasında küresel iklim verileri (ortalama sıcaklık ve toplam yağış miktarı) ile hayvancılıkta kullanılan tahıllar ve yem bitkilerinin verimliliği arasındaki ilişkileri araştırmıştır. Çalışmada sınır testi ve Toda-Yamamoto nedensellik testi kullanılmış olup, yağış miktarından ot ve yem verimliliğine doğru nedensellik ilişkisi olduğu belirlenmiştir. Kamçı (2022), dünya tahıl üretimi ve veriminin karbondioksit emisyonu üzerine etkisini Toda-Yamamoto testiyle analiz etmiş olup tahıl üretiminden ve veriminden karbondioksit emisyonuna doğru tek yönlü nedensellik ilişkisi olduğu saptanmıştır. Ürkmez ve ark. (2024), Türkiye’de 1969-2018 yılları arasında tarım sektörü aktivitesi ile CO₂

emisyollarının nedensellik ilişkisini incelenmiş olup Maki eşbütünleşme testi ve Toda Yamamoto nedensellik testi kullanılmışlardır. Analiz sonuçlarına göre tarımsal katma değer ile yapısal kırılmalar altındaki CO₂ emisyonları arasında uzun dönemli nedensellik ilişkisi saptanırken tarımsal katma değer ile CO₂ arasında da tarımsal üretimden CO₂’ye doğru tek yönlü nedensellik ilişkisi bulunmuştur. Özkurt (2024), Türkiye’de tarımsal üretim miktarının iklim değışikliklerinin göstergesi olarak kabul edilen değışkenlerden nasıl ve ne yönde etkilendiğini ortaya koymuştur. Bu amaçla birim kök testlerinden sonra Varyans Ayırıştırması, Etki-Tepki Fonksiyonu ve Toda Yamamoto nedensellik analizi yapılmıştır. Türkiye’de tarımsal üretim ile sera gazı emisyonu arasında bir nedensellik ilişkisinin yanı sıra kuraklık, ortalama sıcaklık ve yağış değışkenleri ile sera gazı emisyonu arasında da nedensellik ilişkisi olduğunu, yani sera gazı emisyonunun doğrudan ve dolaylı olarak iklim değışikliğini nedeni olduğunu ortaya koymuştur.

Bu çalışmada ise Türkiye’de uzun dönemli (1970-2023) iklim verileri ile buğday ve arpa verimleri arasındaki nedensellik ilişkisi belirlenmeye çalışılmıştır. Buğday ve arpa Türkiye tarımı açısından önemli ürünlerdir. Son dönemlerde gündeme gelen iklim değışkenlerinin tarımsal ürünler üzerindeki etkisinin bilimsel olarak belirlenmesine ihtiyaç vardır. Bu kapsamda sıcaklık, nem, yağış ve karlı gün sayısı gibi iklim faktörlerinin buğday ve arpa verimi üzerindeki nedensellik ilişkisi Toda-Yamamoto testi ile saptanmıştır. Söz konusu iklim değışkenleri ve ürünlerin verimleri arasındaki ilişkinin yönü ve anlamlılık derecesi belirlenmiştir. Çalışmada elde edilecek sonuçların literatüre katkı sağlayacağı ümit edilmektedir.

2. Materyal ve Metot

Çalışmada, 1970-2023 yılları arasında Türkiye'deki buğday ve arpa verimi (kg da⁻¹) ile sıcaklık, yağış, nem ve karlı gün sayısı gibi iklim verileri arasındaki ilişkiyi incelemek amacıyla 53 yıllık veri seti kullanılmıştır. Araştırmada, iklim verileri Meteoroloji Genel Müdürlüğü’nden (MGM) ve buğday ile arpa verimi ise Toprak Mahsulleri Ofisi (TMO)’inden alınmıştır. Çalışmada verilerin analizinde ise Eviews 10 istatistiksel paket programından yararlanılmıştır.

Serilerin durağanlık düzeylerini belirlemek amacıyla birim kök testi yöntemlerinden Genişletilmiş Dickey-Fuller (ADF) ile Phillips-Perron (PP) testleri uygulanmıştır. Ayrıca, VAR modelleriyle değışen varyansı ve korelasyonu dikkate alan denklem sistemleri tahmini yapılmıştır. Yapılan denklemler arasındaki hem kalıntıların birbirleriyle olan ilişkilerini ortadan kaldırmak hem de MWALD testinin uygulanabilmesi amacıyla Zellner (1962), tarafından geliştirilmiş olan Görünürde İlişisiz Regresyon (SUR) yöntemi kullanılmıştır (Tunçsiper ve Biçen, 2016). Görünürde ilişisiz regresyon yöntemi, denklemlerin hata terimlerindeki değışen varyans ile korelasyonu dikkate alır (Alkan ve Kılıçtekin, 2020). Ayrıca, çalışmada buğday ve arpa verimi ile iklim verileri arasındaki nedenselliği incelemek amacıyla Toda ve Yamamoto (1995) tarafından tavsiye edilen Granger testi kullanılmıştır.

Analizlerde durağan olmayan verilerin kullanılması sahte nedensellik ilişkilerine yol açabileceğinden, serilerin durağanlık koşulunu sağlaması önemlidir. Durağan olmayan verilerin durağan olabilmesi için birinci veya ikinci farkının alınması da bilgi kaybına yol açabilmektedir. Granger, 1969 yılında değışkenler arasındaki nedensellik ilişkisini belirleyen bir analiz yöntemini geliştirmiştir. Bu test, iki veya daha fazla değışken arasında nedenselliği belirlemek için yaygın olarak tercih edilen bir yöntemdir (Jain ve Ghosh, 2013). Granger testinde, durağan olmayan serilerin farkları alınıp durağan hale getirildiği durumlarda, eşbütünleşme ilişkisi de dahil olmak üzere çeşitli ilişkilerin incelenmesine olanak tanır. Bununla birlikte, Granger analizinde kullanılan F-istatistiğinin, değışkenlerin birbirleriyle eşbütünleşme ilişkisinin bulunması durumunda normal olmayan bir dağılım göstererek geçerliliğini yitirdiği gözlemlenmiştir.

Bu sorunlardan dolayı Toda ve Yamamoto (1995), VAR modeline dayalı olarak, seriler arasında durağanlığın seviyesini ve eşbütünleşme ilişkisini göz ardı ederek, seviye değerlerini kullanarak değışkenlerin birbirleri ile olan nedensellik ilişkisini MWALD testi ile tahmin etmeye yarayan Toda-Yamamoto analizi olarak adlandırılan bir analiz geliştirmiştir (Toda ve Yamamoto, 1995; Gazel, 2017; Mert ve Çağlar, 2019).

Toda-Yamamoto modeli, Granger nedensellik testinin farklı bir versiyonudur. Bir serinin I(0), I(1), I(2) olmasına veya başka bir dereceden eşbütünleşik olup olmamasına bakılmaksızın uygulanabilir bir testtir. Ayrıca, durağanlık seviyelerine sahip seriler için optimal yöntem olarak değerlendirilmektedir (Jain ve Ghosh, 2013; Yuan ve ark., 2014). Testin prosedür adımları şu şekildedir.

1. İlk adımda analiz için kullanılacak serilerin maksimum bütünleşme derecesinin (d_{max}) belirlenmesi için birim kök testi yapılır.

2. Seçim kriterlerine dayanarak VAR modeli oluşturulur ve optimum gecikme uzunluğu (k) belirlenir.

3. Değişkenin seviyesinde maksimum bütünleşme derecesi ile gecikme uzunluğu toplanıp VAR (k+d_{max}) modeli oluşturulur.

4. VAR modelinin güvenilirliğini doğrulamak için otokorelasyon, normallik, değişen varyans ve spesifikasyon hataları gibi çeşitli testler uygulanarak modelin güvenilirliği kontrol edilir.

5. Analizde kullanılan her bir verinin ilk “k” gecikme derecesi ile birlikte anlamlılıklarını belirlemek amacıyla MWALD testi yapılır. Test sonucu anlamlı ise Toda-Yamamoto testi ile nedenselliğin yönü belirlenir.

Toda-Yamamoto testinde, sıfır hipotezi reddedilerek nedenselliğin olduğu sonucuna varılır. Ayrıca yapılan bu teste göre, Y ve X değişkenleri için tahmin edilen VAR (k+d_{max}) modeli aşağıdaki gibi kullanılır (Gazel, 2017).

$$Y_t = \omega \sum_{i=1}^k a_{1i} X_{t-i} + \sum_{i=1}^k \beta_{1i} Y_{t-i} + \sum_{j=k+1}^{d_{max}} \delta_{1i} X_{t-i} + \sum_{j=k+1}^{d_{max}} \theta_{1i} Y_{t-i} + \varepsilon_{1t} \quad (\text{Eş. 1})$$

$$X_t = \varphi \sum_{i=1}^k a_{2i} X_{t-i} + \sum_{i=1}^k \beta_{2i} Y_{t-i} + \sum_{j=k+1}^{d_{max}} \delta_{2i} X_{t-i} + \sum_{j=k+1}^{d_{max}} \theta_{2i} Y_{t-i} + \varepsilon_{2t} \quad (\text{Eş. 2})$$

Denklemlerde verilen ε_{1t} ve ε_{2t} olarak gösterilen hata terimlerinin beyaz gürültü süreci sergilediği, sıfır ortalama ve sabit kovaryans matrisine sahip olduğu varsayılmakta olup, iki denklemde de dikkate alınarak kullanılacak modelin hipotezleri aşağıda verilmiştir;

H0: İklim değişkeni verilerinden (X), buğday ve arpa verimine (Y) doğru nedensellik ilişkisi yoktur.

H1: İklim değişkeni verilerinden (X), buğday ve arpa verimine (Y) doğru nedensellik ilişkisi vardır.

Değişkenlerin karşılıklı nedensellik ilişkisini belirlemek için, katsayıların sıfıra eşit olup olmadığını $H_0: \alpha_{1i} = 0$ ve $H_0: \alpha_{2i} = 0$ şeklinde ifade edilen hipotezler ile düzeltilmiş (modified) WALD test istatistiği kullanılarak değerlendirilir. MWALD test istatistiği, k serbestlik derecesi χ^2 tablosundaki değerden büyük olması durumunda hipotezler reddedilir (Gazel, 2017).

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Buğday ve arpa, ekiliş alanı ve üretim açısından Türkiye için büyük öneme sahiptir. 2023 yılında, yaklaşık 6.8 milyon ha alanda 17.3 milyon ton buğday, aynı yılda 3.3 milyon ha alanda ise 9.2 milyon ton arpa üretilmiştir. Bu araştırmada, 1970-2023 yıllarındaki iklim değişkenleri (yağış, sıcaklık, nem ve karlı gün sayısı) ile buğday ve arpa verimi arasındaki nedensellik ilişkisi incelenmiştir. 1970 yılında 116 kg/da olan buğday verimi, 2023 yılında 318 kg/da yükselmiştir. Ayrıca, 1970 yılında 125 kg/da olan arpa verimi 2023 yılında 278 kg/da çıkmıştır. Her iki ürünün verim artışında birçok faktörün etkisi bulunmaktadır. Bunların çoğunluğu kontrol edilebilir (tohum, gübre, ilaç vs.) değişkenler iken, iklim değişkenlerinin kontrol edilebilme durumu söz konusu değildir. Çalışmada iklim verileri ile buğday ve arpa verimlerine ait serilerin durağanlık düzeylerini belirlemek amacıyla Genişletilmiş Dickey-Fuller (ADF) ve Phillips-Perron (PP) birim kök testleri uygulanmıştır. Bu testler, serilerin otokorelasyon sorunları içerip içermediğini anlamak ve durağanlık seviyelerini tespit etmek için kullanılmıştır. Testler, sabit ve sabit + trend koşulları altında gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, karlı gün sayısı (KGS) ve yağış düzeyinde (I(0)) durağanlık göstermiştir. Nem ve sıcaklık verileri ise düzeyde durağan bulunmamış, ancak birinci farkları alındığında (I(1)) durağanlık kazanmıştır. Tüm serilerin test sonuçlarına ilişkin bilgiler ise *Tablo 1* ile *Tablo 2*'de verilmiştir.

Tablo 1 ve *Tablo 2*'ye göre, buğday ve arpa verimleri ile iklim verileri (sıcaklık, yağış, nem, karlı gün sayısı) incelendiğinde, sabit durumda karlı gün sayısı (KGS) ve yağış miktarının hem ADF hem de PP birim kök testinde durağanlık göstermektedir. Bu iki değişkenin I(0) seviyesinde olması, fark almadan doğrudan modele dahil edilebileceği anlamına gelir. Ancak nem ve sıcaklık için aynı durum geçerli değildir; bu değişkenler durağanlık göstermediği için I(1) olarak değerlendirilmiştir. Tüm değişkenlerin birinci farkları alındığında hem sabit hem de sabit + trend durumunda durağan oldukları ve farklı düzeylerde durağanlık özellikleri sergiledikleri ortaya konmuştur. Toda-Yamamoto modelinde, düzeyde durağan olan I(0) seriler (karlı gün sayısı ve yağış) fark almadan doğrudan modele dahil edilirken, I(1) seriler (nem ve sıcaklık) de fark alma işlemi uygulanmadan seviyelerinde

kullanılır. Bu yaklaşım, bilgi kaybını önlemek ve nedensellik ilişkilerini doğru bir şekilde incelemek için tercih edilir. Farklı entegrasyon derecelerine sahip serilerin $I(0)$ ve $I(1)$ aynı modelde yer alması, istatistiksel tutarlılığı olumsuz etkileyebileceğinden, modele en yüksek entegrasyon derecesi kadar ek bir gecikme ($d_{\max}$) eklenir. Bu çalışmada en yüksek entegrasyon derecesi $I(1)$ olduğu için $d_{\max}$ 1 olarak belirlenmiştir. Böylece, karlı gün sayısı ve yağış gibi $I(0)$ serilere de bir gecikme eklenerek modelin tutarlılığı sağlanmıştır. Yani, modelde fark alma işlemi uygulamadan $d_{\max}$ yalnızca ek gecikme sayısını belirlemek için eklenmiştir. Bu doğrultuda, Bootstrap Toda-Yamamoto nedensellik testinde maksimum bütünleşme derecesi ($d_{\max}$) 1 olarak belirlenmiştir (Dinç, 2022). ADF ve PP testleri birlikte kullanılarak serilerin durağanlık özellikleri daha sağlam temellere dayandırılmış ve sonuçlar karşılaştırılarak doğrulanmıştır.

Tablo 1. Buğday ve arpa verimlerinin birim kök testleri

Table 1. Unit root tests of wheat and barley yields

Düzy		Seriler	ADF	PP	Birinci Farklar	Seriler	ADF	PP
	Sabit	Arpa	-1,8574	-2,8997*		Arpa	-12,7148***	-46,8245***
		Buğday	-0,2830	-1,2428		Buğday	-7,2686***	-20,0108***
	Sabit+Trend	Arpa	-6,8871***	-6,8878***		Arpa	-12,5876***	-52,4489***
		Buğday	-2,8738	-5,5551***		Buğday	-7,1860***	-20,2457***

*, **, *** sırasıyla %10, %5 ve %1 anlamlılık düzeyini göstermektedir.

Tablo 2. İklim verilerinin birim kök testleri

Table 2. Unit root tests of climate data

Düzy		Seriler	ADF	PP	Birinci Farklar	Seriler	ADF	PP
	Sabit	KGS	-6.8426***	-6.8426***		KGS	-12.0775***	-34.7289***
		Nem	-1.8609	-3.9540***		Nem	-9.5722***	-14.4992***
		Sıcaklık	-1.9338	-3.4076**		Sıcaklık	-6.5683***	-24.4234***
		Yağış	-7.0853***	-7.0832***		Yağış	-8.8373***	-46.2865***
	Sabit+Trend	KGS	-7.2834***	-7.3074***		KGS	-11.9635***	-41.9997***
		Nem	-4.7875***	-4.7875***		Nem	-9.4504***	-14.0328***
		Sıcaklık	-6.9011***	-6.9006***		Sıcaklık	-6.5848***	-29.6520***
		Yağış	-7.0217***	-7.0177***		Yağış	-8.7721***	-48.8889***

*, **, *** sırasıyla %10, %5 ve %1 anlamlılık düzeyini göstermektedir.

3.1. Buğday verimindeki değişkenlerin analizi: sıcaklık, yağış ve karlı gün sayısı

Buğday verimi ile sıcaklık, yağış ve karlı gün sayısı (KGS) arasında nedensellik ilişkisi bulunurken, nem ile buğday verimi arasında ilişki bulunmamıştır. Oluşturulan VAR modeli üzerinden hesaplanan buğday verimi ile sıcaklık, yağış ve karlı gün sayısının (k) gecikme uzunluğu *Tablo 3*’te verilmiştir. Oluşturulan VAR modeline göre, buğday verimi ile sıcaklık, yağış ve karlı gün sayısı için en uygun gecikme uzunluğu $k=2$ olarak belirlenmiştir. Ayrıca, maksimum bütünleşme derecesi ve gecikme uzunluğu 3 ($k+d_{\max}=2+1$) olarak belirlenmiştir.

Lagrange Çarpanı (LM) otokorelasyon test sonuçları incelendiğinde, buğday verimi ile sıcaklık (0.1565), yağış (0.8067) ve karlı gün sayısının (0.1556) olasılık değerlerinin 0.05’ten büyük olduğu tespit edilmiş ve otokorelasyon sorunu olmadığı belirlenmiştir. White değişen varyans testine göre ise buğday verimi ile sıcaklık (0.1737), yağış (0.4035) ve karlı gün sayısının (0.2492) olasılık değerlerinin 0.05’ten büyük olması, değişen varyans probleminin bulunmadığını göstermektedir. Granger nedensellik testine göre buğday verimi ile sıcaklık arasında %1, buğday verimi ile yağış arasında %10 ve buğday verimi ile karlı gün sayısı arasında %5 düzeyde nedensellik ilişkisi bulunmuştur. Buğday verimi ile iklim verileri için her bir değişkenin 3 gecikme uzunluğuna göre VAR model tekrar oluşturulmuştur. Oluşturulan VAR modeli, değişen varyansı ve korelasyonu dikkate alarak denklem sistemlerinin tahmin edilmesi için kullanılmıştır. Ayrıca, bu denklemler arasındaki kalıntıların birbiriyle olan ilişkilerini gidermek için Görünürde İlişkisiz Regresyon (Seemingly Unrelated Regression) modeli uygulanmıştır (Tunçsiper ve Biçen, 2016). Buğday ile sıcaklığın SUR modeli *Tablo 5*’te verilmiştir.

Tablo 3. Buğday verimi ile sıcaklık, yağış ve karlı gün sayısının VAR modelinde gecikme uzunluğu seçimi

Table 3. Lag length selection of wheat yield and temperature, precipitation and snowy days in the VAR model

Buğday verimi ve sıcaklık VAR modelinin gecikme uzunluğunun seçimi						
Lag	LogL	LR	FPE	AIC	SC	HQ
0	97.01893	NA	7.09e-05	-3.878324	-3.801106	-3.849028
1	140.7603	82.12671	1.40e-05	-5.500421	-5.268770	-5.412533
2	150.1391	16.84342*	1.13e-05*	-5.719961*	-5.333876*	-5.573481*
3	153.3331	5.475507	1.17e-05	-5.687065	-5.146545	-5.481993
4	155.6118	3.720262	1.26e-05	-5.616806	-4.921852	-5.353142
5	160.3716	7.382662	1.23e-05	-5.647822	-4.798433	-5.325565
Buğday verimi ve yağış VAR modelinin gecikme uzunluğunun seçimi						
Lag	LogL	LR	FPE	AIC	SC	HQ
0	54.92697	NA	0.000395	-2.160285	-2.083068	-2.130989
1	88.24831	62.56252	0.000119	-3.357074	-3.125423	-3.269186
2	99.65342	20.48263*	8.84e-05*	-3.659323*	-3.273237*	-3.512843*
3	100.3086	1.123167	0.000102	-3.522800	-2.982280	-3.317727
4	101.3378	1.680407	0.000115	-3.401545	-2.706590	-3.137880
5	102.7975	2.263978	0.000129	-3.297858	-2.448469	-2.975601
Buğday verimi ve karlı gün sayısı VAR modelinin gecikme uzunluğunun seçimi						
Lag	LogL	LR	FPE	AIC	SC	HQ
0	-4.035626	NA	0.004386	0.246352	0.323569	0.275648
1	32.16236	67.96356	0.001179	-1.067851	-0.836200*	-0.979963
2	39.54236	13.25388*	0.001028*	-1.205811*	-0.819725	-1.059330*
3	41.15502	2.764565	0.001136	-1.108368	-0.567848	-0.903296
4	44.14060	4.874421	0.001189	-1.066963	-0.372009	-0.803299
5	45.55349	2.191417	0.001331	-0.961367	-0.111978	-0.639110

(*) gecikme uzunluğunu vermektedir.

Tablo 4. Buğday verimi ile sıcaklık, yağış ve karlı gün sayısının (KGS) LM Otokorelasyon, White Değişen varyans ve Granger nedensellik testi sonuçları

Table 4. LM Autocorrelation, White Heteroscedasticity and Granger causality test results of wheat yield and temperature, precipitation and number of snowy days (KGS)

Lagrange Çarpanı (LM) Otokorelasyon Testi			
	Gecikme Uzunluğu	LM-Test İstatistiği	P-Değeri
Buğday ve Sıcaklık	3	1.703039	0.1565
Buğday ve Yağış	3	1.611865	0.8067
Buğday ve KGS	3	6.649940	0.1556
White Değişen Varyans Testi (With Cross)			
	Serbestlik Derecesi	Ki-Kare	P-Değeri
Buğday ve Sıcaklık	42	50.46666	0.1737
Buğday ve Yağış	42	43.59279	0.4035
Buğday ve KGS	42	47.79051	0.2492
Granger Nedensellik Testi			
	Serbestlik Derecesi	Ki-Kare	P-Değeri
Buğday ve Sıcaklık	2	14.03250	0.0009***
Buğday ve Yağış	2	4.779080	0.0917*
Buğday ve KGS	2	8.685399	0.0130**

*, **, *** sırasıyla %10, %5 ve %1 anlamlılık düzeyini göstermektedir.

VAR modelinin güvenilirliğini doğrulamak için Lagrange Çarpanı (LM) Otokorelasyon Testi, White Değişen Varyans Testi (With Cross) ve Granger Nedensellik testi yapılmış olup, sonuçlara ilişkin bilgiler *Tablo 4*’te verilmiştir.

Sıcaklık ve buğday verimi arasındaki nedensellik ilişkisini test etmek amacıyla SUR modeli oluşturulmuştur. Denklem kısmında belirtilen değişkenler üzerinden analiz yapılmış ve modele ilişkin R^2 , 0.554064 olarak belirlenmiştir. Çoklu belirtme katsayısına göre, diğer faktörler sabitken buğday verimindeki değişimin %55.4’ünün sıcaklık değişkeni tarafından açıklandığı söylenebilir. Bu bulgu, sıcaklık ile buğday verimi arasındaki ilişkinin önemli olduğunu ve sıcaklık değişimlerinin buğday veriminde etkili olduğunu göstermektedir. Ayrıca modelde, sıcaklık ile buğday verimi arasında pozitif yönlü bir ilişki olduğu sonucuna varılmıştır. Bu sonuca göre, sıcaklık, buğday bitkisinin büyüme ve gelişme süreçlerinde önemli bir faktördür. Optimum sıcaklık koşulları, buğday bitkisinin fotosentez verimliliğini, su ve besin alımını artırarak verimi yükseltir. Ancak aşırı sıcaklık stresine maruz kalma, bitki metabolizmasını olumsuz etkileyebilir ve verim düşüşlerine neden olabilir. (Gregory, 2010; FAO, 2022). Buğday verimi ile yağışın Görünüşte İlgisiz Regresyon Modeli sonuçları *Tablo 6*’da verilmiştir.

Tablo 5. Buğday verimi ile sıcaklığın görünüşte ilgisiz regresyon (SUR) modeli sonuçları

Table 5. Seemingly unrelated regression (SUR) model results of wheat yield and temperature

	Katsayı	Std. Hata	t-istatistik	P-Değeri
C(1)	0.171387	0.136435	1.256181	0.2124
C(2)	0.057327	0.137849	0.415870	0.6785
C(3)	0.069100	0.134776	0.512701	0.6094
C(4)	0.089757	0.068454	1.311197	0.1932
C(5)	-0.063393	0.071992	-0.880552	0.3810
C(6)	0.124170	0.062810	1.976906	0.0512
C(7)	1.015960	0.330286	3.076000	0.0028
C(8)	0.441153	0.277517	1.589645	0.1155
C(9)	0.450212	0.280393	1.605648	0.1119
C(10)	-0.092437	0.274142	-0.337189	0.7368
C(11)	0.440458	0.139240	3.163301	0.0021
C(12)	0.194983	0.146436	1.331524	0.1865
C(13)	0.137913	0.127760	1.079470	0.2833
C(14)	-0.828700	0.671821	-1.233512	0.2207
Determinant Artık Kovaryans				1.05E-05
Denklem: LOGSICAKLIK= C(1)*LOGSICAKLIK(-1)+ C(2) *LOGSICAKLIK(-2) + C(3)*LOGSICAKLIK (3) + C(4)*LOGBUGDAY(-1) + C(5)*LOGBUGDAY(-2) + C(6)*LOGBUGDAY(-3) + C(7)				
R^2				0.554064
Düzeltilmiş R^2				0.493254
R. S. Hatası				0.043383
Korelasyon				0.579475

Yağış ile buğday verimi arasındaki nedensellik ilişkisini test etmek amacıyla SUR modeli oluşturulmuş ve denklemde belirtilen değişkenler üzerinden analiz yapılmıştır. SUR modeline göre, R^2 değeri incelendiğinde, diğer tüm faktörler sabitken buğday verimindeki değişimin %18.3’ünün yağış değişkeni tarafından açıklandığını göstermektedir. Yağış ile buğday verimi arasında düşük düzeyde ve pozitif yönlü bir ilişki olduğunu belirlenmiştir. Bu sonuca göre, yağışın buğday verimi üzerindeki etkisi önemlidir, ancak diğer faktörlerin de (toprak kalitesi, gübre kullanımı, tarım teknikleri vb.) buğday verimini etkileyebileceği göz önünde bulundurulmalıdır. Bu bağlamda, yağış miktarının buğday verimi üzerinde pozitif bir etkisi vardır. Yeterli ve dengeli yağış, toprağın nem seviyesini ideal düzeyde tutar, bitki beslenmesini ve su emilimini kolaylaştırır ve böylece verimi artırabilir. (FAO, 2012; IPCC, 2014). Buğday verimi ile karlı gün sayısının SUR modeli sonuçları *Tablo 7*’de verilmiştir.

Tablo 6. Buğday verimi ile yağışın Görünüşte İlgisiz Regresyon (SUR) Modeli sonuçları*Table 6. Seemingly Unrelated Regression (SUR) Model results of wheat yield and precipitation*

	Katsayı	Std. Hata	t-istatistik	P-Değeri
C(1)	0.043259	0.135907	0.318296	0.7510
C(2)	-0.076148	0.128964	-0.590458	0.5564
C(3)	0.063759	0.130807	0.487425	0.6272
C(4)	0.348270	0.167849	2.074897	0.0409
C(5)	-0.540575	0.169763	-3.184297	0.0020
C(6)	0.140631	0.162534	0.865238	0.3893
C(7)	6.500384	1.503767	4.322733	0.0000
C(8)	0.073237	0.114607	0.639029	0.5245
C(9)	-0.127548	0.108752	-1.172830	0.2440
C(10)	-0.044362	0.110306	-0.402170	0.6885
C(11)	0.451189	0.141544	3.187637	0.0020
C(12)	0.244919	0.143157	1.710843	0.0906
C(13)	0.242822	0.137061	1.771632	0.0799
C(14)	0.987371	1.268093	0.778627	0.4383
Determinant Artık Kovaryans				7.20E-05
Denklem: LOGYAGIS = C(1)*LOGYAGIS(-1) + C(2)*LOGYAGIS(-2) + C(3)*LOGYAGIS(-3) + C(4)*LOGBUGDAY(-1) + C(5)*LOGBUGDAY(-2) + C(6)*LOGBUGDAY(-3) + C(7)				
R ²				0.182888
Düzeltilmiş R ²				0.071463
R. S. Hatası				0.109021
Korelasyon				0.078086

Tablo 7. Buğday verimi ile karlı gün sayısı görünüşte ilgisiz regresyon (SUR) modeli sonuçları*Table 7. Wheat yield and snowy days seemingly unrelated regression (SUR) model results*

	Katsayı	Std. Hata	t-istatistik	P-Değeri
C(1)	-0.059569	0.142591	-0.417762	0.6771
C(2)	-0.105171	0.145946	-0.720613	0.4731
C(3)	-0.104196	0.145494	-0.716156	0.4758
C(4)	-0.653055	0.564419	-1.157040	0.2504
C(5)	0.248691	0.593617	0.418942	0.6763
C(6)	-0.397225	0.516499	-0.769073	0.4439
C(7)	8.440503	2.034689	4.148300	0.0001
C(8)	-0.031646	0.034465	-0.918216	0.3610
C(9)	-0.033763	0.035276	-0.957127	0.3411
C(10)	0.062454	0.035166	1.775967	0.0792
C(11)	0.488118	0.136422	3.578000	0.0006
C(12)	0.275618	0.143479	1.920959	0.0580
C(13)	0.162293	0.124840	1.300011	0.1970
C(14)	0.430341	0.491791	0.875048	0.3839
Determinant Artık Kovaryans				0.000796
Denklem: LOGKAR = C(1)*LOGKAR(-1) + C(2)*LOGKAR(-2) + C(3)*LOGKAR(-3) + C(4)*LOGBUGDAY(-1) + C(5)*LOGBUGDAY(-2) + C(6)*LOGBUGDAY(-3) + C(7)				
R ²				0.164895
Düzeltilmiş R ²				0.051017
R. S. Hatası				0.369425
Korelasyon				-0.218760

Karlı gün sayısı ve buğday verimi arasındaki nedensellik ilişkisini test etmek amacıyla SUR modeli oluşturulmuş ve denklemde belirtilen değişkenler üzerinden analiz yapılmıştır. Buğday verimi ile karlı gün sayısının R² değeri incelendiğinde, diğer tüm faktörler sabitken buğday verimindeki değişimin %16.5'inin karlı gün sayısı değişkeni tarafından açıklandığı belirlenmiştir. Karlı gün sayısı ile buğday verimi arasında negatif yönlü

bir ilişki söz konusudur. Bu sonuca göre, karlı gün sayısı arttıkça buğday verimi azalmaktadır, yani aralarında negatif bir ilişki bulunmaktadır. Kar yağışının, buğdayın büyüme dönemine zarar vererek, toprağın su tutma kapasitesini aşırı doldurması sonucu bitki köklerinin çürümeye ya da don olayları nedeniyle bitkinin hasar görmesine neden olabileceği söylenebilir (Özberk ve ark., 2001; Çapar ve Uçan, 2015). Yapılan analizler sonucunda Toda-Yamamoto analizi için gecikme uzunluğu ve maksimum bütünleşme derecesi belirlenmiş olup değişkenler arasındaki ilişkiyi gösteren Görünürde İlişkisiz Regresyon denklem çıktıları da kullanılarak WALD Testi yapılmıştır. Toda-Yamamoto sonuçlarına ilişkin bilgiler *Tablo 8*’de verilmiştir.

Tablo 8. Buğday verimi ile sıcaklık, yağış ve karlı gün sayısının (KGS) Toda-Yamamoto nedensellik testi sonuçları

Table 8. Toda-Yamamoto causality test results of wheat yield and temperature, precipitation and number of snowy days (KGS)

Model	Denklem	MWALD	P-Değeri
Buğday verimi=f(Sıcaklık)	$k = 2$ $d_{\max} = 1$	15.21115	0.0005
Buğday verimi=f(Yağış)	$k = 2$ $d_{\max} = 1$	10.69266	0.0048
Buğday verimi=f(Karlı gün sayısı)	$k = 2$ $d_{\max} = 1$	9.790089	0.0075

İklim verileri ile buğday veriminin gecikme uzunluğu (k) ve maksimum bütünleşme derecesi $d_{\max}$ ’i *Tablo 8*’de gösterilmiştir. Yapılan analiz sonucunda, sıcaklık ile buğday verimi ilişkisinde WALD testi 15.21115 ve P değeri 0.005 olarak elde edilmiştir. Sıcaklık değerlerinden buğday verimine doğru %1 anlamlılık düzeyinde tek yönlü nedensellik ilişkisi bulunmuştur. Sıcaklık değişimlerinin buğday verimini etkilediği ve sıcaklıklarda meydana gelebilecek artış ya da azalışların kayda değer bir etki yaratabileceği öngörülmektedir. Yağış ile buğday verimi arasında WALD testi 10.69266 ve P değeri 0.0048 bulunmuştur. Yağış değerlerinden buğday verimine doğru %1 anlamlılık düzeyinde nedensellik ilişkisi olduğu tespit edilmiştir. Yağış miktarı, buğday veriminin önemli, bir belirleyicisidir. Yani yağışın zamanlaması ve dağılımı da buğday verimi açısından önemlidir. Özellikle ekim öncesi ve büyüme döneminde yetersiz yağış, bitkinin gelişimini olumsuz etkileyebilir. Aşırı yağış ise bitki köklerinde çürümeye neden olabilir, bu da verimi olumsuz etkiler. Karlı gün sayısı ile buğday verimi arasında ise WALD testi 9.790089 ve P değeri 0.0075 bulunmuştur. Karlı gün sayısından buğday verimine doğru %1 anlamlılık düzeyinde tek yönlü nedensel bir ilişki olduğu belirlenmiştir. Yaşanan karlı gün sayısındaki artış veya azalışın buğday verimi üzerinde etkiye sahip olduğu söylenebilir. Kış dönemlerinin uzun sürmesi veya ani don olayları buğday verimini azaltabilmektedir.

3.2. Arpa verimindeki değişkenlerin analizi: sıcaklık, nem ve karlı gün sayısı

Arpa verimi ile sıcaklık, nem ve karlı gün sayısı (KGS) arasında nedensellik ilişkisi bulunurken, yağış ile arpa verimi arasında herhangi bir ilişki bulunamamıştır. Oluşturulan VAR modeli sonuçlarına göre, arpa verimi ile iklim verileri için en uygun gecikme uzunlukları belirlenmiştir. *Tablo 9*’a göre sıcaklık için en uygun gecikme uzunluğu $k=3$, nem için $k=2$ ve karlı gün sayısı için $k=1$ olarak tespit edilmiştir. Maksimum bütünleşme derecesi ile gecikme uzunluğu, sıcaklık için 4 ($k+d_{\max}=3+1$), nem için 3 ($k+d_{\max}=2+1$) ve karlı gün sayısı için 2 ($k+d_{\max}=1+1$) olarak belirlenmiş ve testler yapılmıştır.

VAR modelinin güvenilirliğini doğrulamak için Lagrange Çarpanı (LM) Otokorelasyon Testi, White Değişen Varyans Testi (With Cross) ve Granger Nedensellik testi yapılmış olup, sonuçlara ilişkin bilgiler *Tablo 10*’da verilmiştir.

Lagrange Çarpanı (LM) otokorelasyon test sonuçları incelendiğinde, arpa verimi ile sıcaklık (0.8471), nem (0.3641) ve karlı gün sayısının (0.2474) olasılık değerlerinin 0.05’ten büyük olduğu ve bu nedenle otokorelasyon sorununun bulunmadığı tespit edilmiştir. White değişen varyans testinde ise arpa verimi ile sıcaklık (0.4519), nem (0.1916) ve karlı gün sayısının (0.7488) olasılık değerlerinin 0.05’ten büyük olması, değişen varyans probleminin olmadığını göstermektedir. Granger nedensellik testine göre, arpa verimi ile sıcaklık ve karlı gün sayısı arasında %5, arpa verimi ile nem arasında %1 düzeyde nedensellik ilişkisi bulunmuştur. Arpa verimi ile sıcaklıkta 4, nemde 3 ve karlı gün sayısında 2 gecikme uzunluğuna göre VAR modeli yeniden oluşturulmuştur. Oluşturulan VAR modeli kullanılarak, değişen varyansı ve korelasyonu göz önüne alan denklem sistemlerinin tahmini yapılmıştır. Arpa ile sıcaklığın SUR modeli *Tablo 11*’de verilmiştir.

Tablo 9. Arpa verimi ile sıcaklık, nem ve karlı gün sayısının VAR modelinde gecikme uzunluğu seçimi

Table 9. Lag length selection in the VAR model of barley yield, temperature, humidity and number of snowy days

Arpa verimi ve sıcaklık VAR modelinin gecikme uzunluğunun seçimi						
Lag	LogL	LR	FPE	AIC	SC	HQ
0	95.35762	NA	7.59e-05	-3.810515	-3.733298	-3.781219
1	117.1754	40.96407	3.67e-05	-4.537773	-4.306122*	-4.449885
2	121.6798	8.089395	3.60e-05	-4.558358	-4.172272	-4.411877
3	131.7806	17.31570*	2.81e-05*	-4.807371*	-4.266851	-4.602298*
4	133.3184	2.510764	3.12e-05	-4.706875	-4.011920	-4.443210
5	138.3149	7.749653	3.02e-05	-4.747548	-3.898159	-4.425291
Arpa verimi ve nem VAR modelinin gecikme uzunluğunun seçimi						
Lag	LogL	LR	FPE	AIC	SC	HQ
0	-66.51707	NA	0.056184	2.796615	2.873832	2.825911
1	-43.77676	42.69610	0.026154	2.031704	2.263356	2.119593
2	-34.67676	16.34285*	0.021263	1.823541	2.209627*	1.970022*
3	-30.45953	7.229548	0.021128*	1.814675*	2.355195	2.019747
4	-28.60425	3.029027	0.023165	1.902214	2.597169	2.165879
5	-26.05651	3.951598	0.024756	1.961490	2.810879	2.283747
Arpa verimi ve karlı gün sayısı VAR modelinin gecikme uzunluğunun seçimi						
Lag	LogL	LR	FPE	AIC	SC	HQ
0	-0.374829	NA	0.003777	0.096932	0.174149	0.126228
1	12.71913	24.58458*	0.002607*	-0.274250*	-0.042599*	-0.186362*
2	16.45606	6.711225	0.002638	-0.263513	0.122573	-0.117032
3	20.54548	7.010436	0.002635	-0.267163	0.273357	-0.062090
4	23.94452	5.549441	0.002712	-0.242633	0.452321	0.021031
5	26.19564	3.491546	0.002934	-0.171251	0.678138	0.151006

(*) gecikme uzunluğunu vermektedir.

Tablo 10. Arpa verimi ile sıcaklık, nem ve karlı gün sayısı (KGS) LM Otokorelasyon, White Değişen varyans ve Granger nedensellik testi sonuçları

Table 10. Barley yield and temperature, humidity and number of snowy days (KGS) LM Autocorrelation, White Heteroscedasticity and Granger causality test results

Lagrange Çarpanı (LM) Otokorelasyon Testi			
	Gecikme Uzunluğu	LM-Test İstatistiği	P-Değeri
Arpa ve Sıcaklık	4	1.383071	0.8471
Arpa ve Nem	3	4.322574	0.3641
Arpa ve KGS	2	5.413488	0.2474
White Değişen Varyans Testi (With Cross)			
	Serbestlik Derecesi	Ki-Kare	P-Değeri
Arpa ve Sıcaklık	42	42.44252	0.4519
Arpa ve Nem	42	49.76638	0.1916
Arpa ve KGS	42	35.54019	0.7488
Granger Nedensellik Testi			
	Serbestlik Derecesi	Ki-Kare	P-Değeri
Arpa ve Sıcaklık	2	7.964231	0.0186**
Arpa ve Nem	2	10.84569	0.0044***
Arpa ve KGS	2	8.039683	0.0180**

*, **, *** sırasıyla %10, %5 ve %1 anlamlılık düzeyini göstermektedir.

Tablo 11. Arpa verimi ile sıcaklığın Görünüşte İlgisiz regresyon (SUR) modeli sonuçları

Table 11. Seemingly unrelated regression (SUR) model results of barley yield and temperature

	Katsayı	Std. Hata	t-istatistik	P-Değeri
C(1)	0.235231	0.138716	1.695774	0.0937
C(2)	0.029541	0.120561	0.245032	0.8070
C(3)	0.063453	0.119273	0.532001	0.5962
C(4)	0.108776	0.117087	0.929022	0.3556
C(5)	0.042195	0.041393	1.019374	0.3110
C(6)	-0.057064	0.041635	-1.370558	0.1743
C(7)	0.208351	0.046165	4.513142	0.0000
C(8)	-0.046199	0.049063	-0.941629	0.3491
C(9)	0.669407	0.314859	2.126054	0.0365
C(10)	0.145722	0.434705	0.335220	0.7383
C(11)	0.497382	0.377811	1.316486	0.1917
C(12)	0.021470	0.373776	0.057440	0.9543
C(13)	0.184187	0.366924	0.501974	0.6170
C(14)	0.200255	0.129715	1.543803	0.1265
C(15)	0.157076	0.130476	1.203866	0.2321
C(16)	0.003878	0.144672	0.026807	0.9787
C(17)	0.195882	0.153752	1.274017	0.2063
C(18)	0.215208	0.986699	0.218110	0.8279
Determinant Artık Kovaryans				1.59E-05
Denklem: LOGSICAKLIK = C(1)*LOGSICAKLIK(-1) + C(2) *LOGSICAKLIK(-2) + C(3)*LOGSICAKLIK(-3) + C(4) *LOGSICAKLIK(-4) + C(5)*LOGARPA(-1) + C(6)*LOGARPA(-2) + C(7)*LOGARPA(-3) + C(8) *LOGARPA(-4) + C(9)				
R ²				0.650312
Düzeltilmiş R ²				0.582080
R. S. Hatası				0.039471
Korelasyon				0.475529

Sıcaklık değerleri ile arpa verimi arasındaki nedensellik ilişkisini test etmek amacıyla SUR modeli oluşturulmuştur. Denklemden belirtilen değişkenler üzerinden analiz yapılmıştır. Yapılan SUR analiz sonucunda elde edilen R² değerine göre, diğer tüm faktörler sabitken arpa verimindeki değişimin %65.0'nın sıcaklık değişkeni tarafından açıklandığı belirlenmiştir. Sıcaklık değerleri ile arpa verimi arasındaki ilişkinin önemli olduğu ve sıcaklık değişimlerinin arpa verimi üzerinde etkili olduğu söylenebilir. Ayrıca sıcaklık ile arpa verimi arasında pozitif yönlü bir ilişki söz konusudur. Bu sonuca göre, optimum sıcaklık koşulları arpa bitkisinin fotosentez verimliliğini artırabilmekte olup besin ve su alımını optimize ederek bitki sağlığını desteklemektedir. Ancak aşırı sıcaklıklarda bitki metabolizmasını olumsuz etkileyerek verim düşüşlerine neden olabilir. Bu nedenle, tarımsal üretimde iklim değişikliklerinin dikkate alınması ve sıcaklık stresine dayanıklı arpa çeşitlerinin geliştirilmesi büyük önem taşımaktadır (Haddadin, 2015; Doğan ve Yıldırım, 2023). Arpa verimi ile nem değerleri arasındaki Görünüşte İlgisiz Regresyon Modeli sonuçları *Tablo 12*'de verilmiştir.

Nem değerleri ile arpa verimi arasındaki nedensellik ilişkisini test etmek amacıyla SUR modeli oluşturulmuş olup denklemden belirtilen değişkenler üzerinden analizler yapılmıştır. SUR analiz sonucunda elde edilen R² değerine göre, diğer tüm faktörler sabitken arpa verimindeki değişimin %48.4'ünün nem değişkeni tarafından açıklandığı ve iki değişken arasında negatif yönlü bir ilişki olduğu belirlenmiştir. Bu durum, arpa bitkisinin aşırı nem koşullarında optimal büyüme ve gelişme gösteremediğini ortaya koymaktadır. Aşırı nem, toprağın oksijen seviyesini düşürebilir, bitki köklerinin sağlıklı büyümesini engelleyebilir ve kök çürüklüğü gibi hastalıklara yol açabilir. Ayrıca yüksek nem, bitkinin buharlaşma ve terleme süreçlerini bozarak su alımını zorlaştırabilir. Bu bağlamda, tarımda optimal verimi sağlamak için nem seviyelerinin dikkatlice izlenmesi ve yönetilmesi gereklidir. Özellikle iklim değişikliklerinin bu tür tarımsal parametreler üzerindeki etkilerini anlamak, sürdürülebilir tarım uygulamaları açısından önem taşımaktadır (Aktaş, 2017). Arpa verimi ile karlı gün sayısının SUR modeli sonuçları *Tablo 13*'de verilmiştir.

Tablo 12. Arpa verimi ile nemin görünüşte ilgisiz regresyon (SUR) modeli sonuçları*Table 12. Seemingly unrelated regression (SUR) model results of barley yield and moisture*

	Katsayı	Std. Hata	t-istatistik	P-Değeri
C(1)	0.469899	0.140369	3.347603	0.0012
C(2)	-0.158937	0.143183	-1.110033	0.2700
C(3)	0.299494	0.132067	2.267744	0.0258
C(4)	0.158630	1.269680	0.124937	0.9009
C(5)	-3.088599	1.227062	-2.517069	0.0136
C(6)	1.056926	1.300229	0.812877	0.4185
C(7)	34.76804	12.59703	2.760020	0.0070
C(8)	-0.008173	0.016280	-0.502041	0.6169
C(9)	-0.015145	0.016606	-0.911989	0.3643
C(10)	-0.005762	0.015317	-0.376201	0.7077
C(11)	0.284345	0.147255	1.930976	0.0567
C(12)	0.197977	0.142312	1.391146	0.1677
C(13)	0.228837	0.150798	1.517510	0.1327
C(14)	3.418887	1.460976	2.340139	0.0215
Determinant Artık Kovaryans				0.015532
Denklem: $NEM = C(1)*NEM(-1) + C(2)*NEM(-2) + C(3)*NEM(-3) + C(4)*LOGARPA(-1) + C(5)*LOGARPA(-2) + C(6)*LOGARPA(-3) + C(7)$				
R ²				0.483544
Düzeltilmiş R ²				0.413118
R. S. Hatası				1.155660
Korelasyon				-0.221997

Tablo 13. Arpa verimi ile karlı gün sayısı görünüşte ilgisiz regresyon (SUR) modeli sonuçları*Table 13. Barley yield and snowy days seemingly unrelated regression (SUR) model results*

	Katsayı	Std. Hata	t-istatistik	P- Değeri
C(1)	-0.032899	0.139660	-0.235562	0.8143
C(2)	-0.096489	0.141732	-0.680786	0.4977
C(3)	-0.780213	0.348246	-2.240410	0.0274
C(4)	0.032074	0.328805	0.097546	0.9225
C(5)	7.720165	1.771326	4.358411	0.0000
C(6)	-0.056536	0.053049	-1.065718	0.2893
C(7)	-0.003533	0.053836	-0.065618	0.9478
C(8)	0.435436	0.132279	3.291788	0.0014
C(9)	0.322659	0.124895	2.583444	0.0113
C(10)	1.510696	0.672829	2.245289	0.0271
Determinant Artık Kovaryans				0.002085
Denklem: $LOGKAR = C(1)*LOGKAR(-1) + C(2)*LOGKAR(-2) + C(3)*LOGARPA(-1) + C(4)*LOGARPA(-2) + C(5)$				
R ²				0.147799
Düzeltilmiş R ²				0.075271
R. S. Hatası				0.364689
Korelasyon				-0.180194

Karlı gün sayısı ile arpa verimi arasındaki nedensellik ilişkisini test etmek amacıyla SUR modeli oluşturulmuş olup denklemde belirtilen değişkenler üzerinden analizler yapılmıştır. Arpa verimi ile karlı gün sayısının R² değerine göre, diğer tüm faktörler sabitken arpa verimindeki değişimin %14.8'inin karlı gün sayısı değişkeni tarafından açıklandığı ve KGS ile arpa verimi arasında negatif yönlü ilişki belirlenmiştir. Bu sonuca göre, karlı gün sayısı arttıkça arpa verimi azalmakta ve karlı günlerin fazla olmasının arpa bitkisinin büyüme sürecine zarar

vermektedir. Kar yağışının bitki köklerinin donmasına, bitkilerin yeterli su ve besin alımını gerçekleştirememesine neden olabileceği düşünülmektedir. Ayrıca, uzun süreli kar örtüsü altında kalan bitkiler güneş ışığı alamadıkları için fotosentez yapamamaktadır. Bu olumsuz koşullar, bitki gelişimini engelleyerek verim düşüşlerine yol açmaktadır (Öztürk ve ark., 2017). Analizlerin sonucunda, Toda-Yamamoto analizinin yapılabilmesi için gecikme uzunluğu ve maksimum bütünleşme derecesi belirlenmiş olup, değişkenler arasındaki ilişkiyi gösteren Görünürde İlişkisiz Regresyon (SUR) denklem çıktıları da kullanılarak WALD Testi yapılmıştır. Toda-Yamamoto sonuçlarına ilişkin bilgiler *Tablo 14*’te verilmiştir.

Tablo 14. Arpa verimi ile sıcaklık, nem ve karlı gün sayısının Toda-Yamamoto nedensellik testi sonuçları

Table 14. Toda-Yamamoto causality test results of barley yield and temperature, humidity and number of snowy days

Model	Denklem	MWALD	P-Değeri
Arpa verimi=f(Sıcaklık)	k =3 $d_{\max} = 1$	27.26580	0.0000
Arpa verimi=f(Nem)	k =2 $d_{\max} = 1$	8.329983	0.0155
Arpa verimi=f(Karlı gün sayısı)	k =1 $d_{\max} = 1$	8.894968	0.0029

İklim verileri ile arpa veriminin gecikme uzunluğu (k) ve maksimum bütünleşme derecesi ($d_{\max}$) *Tablo 14*’te gösterilmiştir. Yapılan analiz sonucunda, sıcaklık ve arpa verimi ilişkisine göre WALD testi 27.26580, P değeri ise 0.0000 olarak elde edilmiştir. Sıcaklık değerlerinden arpa verimine doğru %1 anlamlılık düzeyinde tek yönlü bir nedensellik ilişkisi belirlenmiştir. Bu, sıcaklığın arpa bitkisinin fotosentez verimliliğini artırabileceği ve metabolik süreçlerini desteklediği anlamına gelir. Ancak aşırı sıcaklıklar bitki metabolizmasını olumsuz etkileyerek verim düşüşlerine yol açabilir. Nem değerleri ile arpa verimi arasında WALD testi 8.329983 ve P değeri 0.0155 bulunmuştur. Nem değerlerinden arpa verime doğru %5 anlamlılık düzeyinde tek yönlü bir nedensellik ilişkisi bulunduğu tespit edilmiştir. Aşırı nem, toprağın oksijen seviyesini düşürebilir ve bitki köklerinin sağlıklı büyümesini engelleyebilir. Ayrıca yüksek nem, bitki üzerindeki buharlaşma ve terleme süreçlerini bozarak su alımını zorlaştırabilir, bu da verim kaybına neden olabilir. Karlı gün sayısı ile arpa verimi arasında ise WALD testi 8.894968 ve P değeri 0.0029 bulunmuştur. Karlı gün sayısından arpa verimine doğru %1 anlamlılık düzeyinde tek yönlü bir nedensellik ilişkisi olduğu belirlenmiştir. Kar yağışı, bitki köklerinin donmasına ve fotosentez süreçlerinin engellenmesine neden olabilir. Bu durum bitki gelişimini olumsuz etkileyerek verim düşüşlerine yol açmaktadır.

4. Sonuç

Tahıllar içinde önemli bir yere sahip olan buğday ve arpa tarımının bilinen bir yetiştiricilik kültürü söz konusudur. Bu ürünlerin üretim sürecinde kullanılan girdilerin önemli bir kısmı kontrol edilebilirken, maksimum verim için çaba gösterilmektedir. Ancak kontrol edilemeyen iklim değişkenleri verimi etkilemektedir. Bunların başında sıcaklık, yağış, nem ve karlı gün sayısı gelmektedir. Bu çalışmada, 1970-2023 yılları arasında Türkiye’deki buğday ve arpa verimliliği ile sıcaklık, yağış, nem ve karlı gün sayısı gibi iklim verileri arasındaki nedenselliği belirlemek amacıyla Toda-Yamamoto testi yapılmıştır.

Yapılan analizler sonucunda, buğday ve arpa veriminde iklimsel faktörlerin önemli bir rol oynadığı belirlenmiştir. Buğday verimindeki değişimin, diğer değişkenler sabitken, %55.4’ünün sıcaklık değişkeni tarafından açıklandığı ve aralarında pozitif bir ilişki olduğu belirlenmiştir. Buğday verimindeki değişimlerin %18.8’inin yağış değişkeni tarafından açıklandığı ve aralarında pozitif bir ilişki olduğu saptanmıştır. Ayrıca, buğday verimindeki değişimin %16.5’inin ise karlı gün sayısı değişkeni ile açıklandığı ve aralarında negatif yönlü bir ilişki olduğu belirlenmiştir. Bunun yanında, sıcaklık, yağış ve karlı gün sayısından buğday verimine doğru %1 anlamlılık düzeyinde tek yönlü nedensellik ilişkisi bulunduğu belirlenmiştir. Arpa verimi üzerinde yapılan analizlerde ise verimdeki değişimin %65.0’inin sıcaklık değişkeni tarafından açıklandığı ve aralarında pozitif bir ilişki olduğu belirlenmiştir. Arpa verimindeki değişimlerin %48.4’ünün nem değişkeni tarafından açıklandığı ve aralarında negatif bir ilişki olduğu saptanmıştır. Ayrıca, arpa verimindeki değişimin %14.8’inin karlı gün sayısı tarafından açıklandığı ve aralarında negatif yönlü bir ilişki bulunduğu saptanmıştır. Sıcaklık ve karlı gün sayısından arpa verimine doğru %1 anlamlılık düzeyinde, nem değerlerinden ise arpa verimine doğru %5 düzeyde tek yönlü nedensellik ilişkisi olduğu belirlenmiştir.

Sonuç olarak, iklim değişkenlerinin buğday ve arpa veriminde önemli bir etkiye sahip olduğu görülmektedir. Bu etkilerin, iklim değişikliğiyle mücadelede, tarımsal planlama ve tarımsal adaptasyon stratejilerinin geliştirilmesinde

dikkate alınması gerekir. Sıcaklık, nem, yağış ve karlı gün sayısı gibi iklim faktörlerinin tarımsal üretim üzerindeki etkilerinin detaylı bir şekilde analiz edilmesi, gelecekteki gıda güvenliği ve sürdürülebilir tarım uygulamaları için önemlidir. Ayrıca, iklim değişikliklerine dayanıklı buğday ve arpa çeşitlerinin geliştirilmesi için genetik araştırmalara ve tohum ıslah çalışmalarına öncelik verilmelidir. Sürdürülebilir tarım uygulamaları için, çiftçilerin iklim değişikliği konusunda bilinçlendirilmesi ve alınabilecek önlemler hakkında eğitim verilmesi gerekmektedir.

Etik Kurul Onayı

Bu çalışma için etik kuruldan izin alınmasına gerek yoktur.

Çıkar Çatışması Beyanı

Makale yazarları olarak aramızda herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederiz.

Yazarlık Katkı Beyanı

Planlama: Doğar, D., Çiçek, A.; Materyal ve Metot: Doğar, D., Çiçek, A.; Veri toplama ve İşleme: Doğar, D.; İstatistiki Analiz: Doğar, D.; Literatür Tarama: Doğar, D.; Makale Yazımı, İnceleme ve Düzenleme: Doğar, D., Çiçek, A.

Kaynakça

- Aktaş, H. (2017). Türkiye’de yoğun ekim alanına sahip bazı arpa (*Hordeum vulgare* L.) çeşitlerinin destek sulamalı ve yağışa dayalı koşullarda değerlendirilmesi. *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 14(3): 86 – 97.
- Alkan, Ö. ve Kılıçteke, B. (2020) Görünürde ilişkisiz regresyon modeli ile alkol ve tütün kullanım süresini etkileyen faktörlerin belirlenmesi. *Ekev Akademi Dergisi*, 24(84): 511-528.
- Andrady, A., Aucamp, P. J. and Bais, A. (2008). Environmental effects of ozone depletion and its interactions with climate change: progress report. *Photochem Photobiol Sciences*, 8: 13-22.
- Aydın, F. ve Sarptaş, H. (2018). İklim değişikliğinin bitki yetiştiriciliğine etkisi: model bitkiler ile Türkiye durumu. *Pamukkale Üniversitesi Mühendis Bilim Dergisi*, 24(3): 512-521.
- Çapar, F. ve Uçan, F. (2015). Kışlık buğdayda farklı toprak işleme tekniklerinin toprak nem içeriği ve verim parametreleri üzerine etkisi. *KSÜ Doğa Bilimleri Dergisi*, 18(2): 29-39.
- Çetin, M., Saygin, S. and Demir, H. (2020). The impact of agricultural sector on environmental pollution: A cointegration and causality analysis for Turkish economy. *Journal of Tekirdağ Agricultural Faculty*, 17(3): 329–345.
- Dellal, İ., Mccarl, B. A. and Butt, T. (2011). The economic assessment of climate change on Turkish agriculture. *Journal of Environmental Protection and Ecology*, 12(1): 376-385.
- Demir, A. (2009). Küresel iklim değişikliğinin biyolojik çeşitlilik ve ekosistem kaynakları üzerine etkisi. *Ankara Üniversitesi Çevre Bilimleri Dergisi*, 1(2): 37-54.
- Dinç, Ö. G. (2022). Türkiye’de tarım, sanayi ve hizmet sektörleri ile ekonomik büyüme arasındaki ilişki: Bootstrap Toda-Yamamoto nedensellik testi. *İşletme Ekonomi ve Yönetim Araştırmaları Dergisi*, 5(2): 226-233.
- Doğan, V. ve Yıldırım, M. (2023). Yüksek sıcaklık ve kuraklık stresi etkisinde arpa (*Hordeum vulgare* L.) genotiplerinin performansları: ı verim ve kalite değişimleri. *Wheat Studies*, 12(2): 72-79.
- Eştürk, Ö. ve Mert, N. (2022). Küresel iklim değişikliğinin Ardahan ilinde tahıl ve yem bitkileri verimliliği üzerine etkilerinin ARDL modeli ile analizi. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Taram ve Doğa Dergisi*, 25(2): 506-514.
- FAO (2012). Food and Agriculture Organization, The State of Food and Agriculture Plant, Production and Protection. <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/c76bf361-cc78-45d9-90b5-f799b72620f1/content> (Erişim Tarihi: 23.10.2024).
- FAO (2022). Food and Agriculture Organization of the United Nations, FAO Strategy on Climate Change 2022-2031, <https://openknowledge.fao.org/handle/20.500.14283/cc2274en> (Erişim Tarihi: 25.10.2024).
- FAO (2023). Food and Agriculture Organization of the United Nations. <https://www.Gaz.org/faostat/en/#data/QCL> (Erişim Tarihi:10.03.2024)
- Gazel, S. (2017). BİST Sınai endeksi ile çeşitli metaller arasındaki ilişki: Toda-Yamamoto nedensellik testi. *Akademik Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 52: 287-299.
- Gregory, P. J. (2010). Matthew P. Reynolds (Ed): Climate change and crop production. *International Society for Plant Pathology*, 3: 111–112.
- Haddadin, M.F. (2015) Assessment of drought tolerant barley varieties under water stress. *International Journal of Agriculture and Forestry*, 5(2): 131-137.
- IPCC (2014). Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability, Food Security and Food Production Systems, Intergovernmental Panel on Climate Change. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/WGIIAR5-FrontMatterA_FINAL.pdf (Erişim Tarihi: 28.10.2024).
- Jain, A. and Ghosh, S. (2013), Dynamics of global oil prices, exchange rate and precious metal prices in India. *Resources Policy*, 38(1): 88-93.
- Kamçı, G. ve Bicer, B. (2022). Dünya tahıl üretim ve veriminin karbon dioksit emisyonu üzerine etkisini inceleyen istatistiksel bir araştırma. *Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 11(1): 111-123.
- Mert, M. ve Çağlar, A. E. (2019). EvIEWS ve Gauss uygulamalı zaman serileri analizi. Detay Yayıncılık, Ankara, Türkiye.
- Mina, U., Singh, U. and Kumar, P. (2018). Climate change impacts on plants population and community ecological attributes mitigation strategies and policy interventions- A Review. *Applied Ecology and Environmental Sciences*, 6(3): 84-92.
- Neset, T. S., Wirén, L., Opach, T., Glaas, E. and Linnér, B.O. (2019). Evaluation of indicators for agricultural vulnerability to climate change: The case of Swedish agriculture. *Ecological Indicators*, 105: 571-580.
- Özberk, İ., Özberk, F., Güler, M., Öktem, A. ve Kılıç, H. (2001). Makarnalık buğdayda (*Triticum durum*) bazı meteorolojik veriler ile tane verimi arasındaki ilişkiler. *Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 16(2): 117-124.
- Özkurt, İ. C. (2024). İklim değişikliğinin Türkiye’de tarımsal üretime etkisi. *Tarım ve Doğa Dergisi*, 27(1): 263-275.
- Öztürk, İ., Girgin, V. Ç., Avcı, R., Kahraman, T., Çiftçi, T. H., Tülek, A. ve Tuna, B. (2017). Arpada (*Hordeum vulgare* L.) fizyolojik parametrelerin verim ve agronomik karakterlere etkisi. *Tarla Bitkileri Merkez Araştırma Enstitüsü Dergisi*, 26: 1 – 6.
- Öztürk, K. (2002). Küresel iklim değişikliği ve Türkiye’ye olası etkileri. *Gazi Üniversitesi Gazi Eğitim Fakültesi Dergisi*, 22(1): 47-65.
- Sayılgan, Ç. (2016). Küresel sıcaklık artışının buğdayda beklenen etkileri ve yüksek sıcaklığa toleranslılığın fizyolojik göstergeleri. *Yüzüncü Yıl*

Üniversitesi Tarım Bilimleri Dergisi, 26(3): 439-447.

Taner, S. ve Sade, B. (2005). Düşük sıcaklığın serin iklim tahıllarına etkileri. *Bitkisel Araştırma Dergisi*, 2: 19–28.

Taşcı, R. ve Bayramoğlu, Z. (2020). Arpa üretim işleme ve pazarlama yapısının değerlendirilmesi. *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 10(4): 2988-2998.

TOB (2021). T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı, Tarımsal Ekonomi ve Politika Geliştirme Enstitüsü. İklim değişikliği ve tarım değerlendirme raporu. <https://www.tarimorman.gov.tr/TRGM/Belgeler/IKLIM%20DEGISIKLIGI%20VE%20TARIM%20DEGERLENDIRME%20RAPORU.pdf> (Erişim Tarihi: 11.10.2024).

Toda, H. Y. and Yamamoto, T. (1995). Statistical inference in vector autoregressions with possibly integrated processes. *Journal of Econometrics*, 66: 225-250.

Tonk, F. A., İlker, E., Tatar, Ö., Reçber, A. ve Tosun, M. (2011). Farklı yağış miktarı ve dağılımlarının ekmeklik buğday verimi üzerine etkileri. *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 48(2): 127-132.

Tunçsiper, B. ve Biçen Ö. F. (2016). Feldstein-Horioka hipotezinin görünürde ilişkisiz regresyon yöntemiyle analizi: Gelişen ekonomiler (E7) üzerine bir inceleme. *Sosyal Ekonomik Araştırmalar Dergisi*, 16(31): 348-362.

TÜİK (2023). Türkiye İstatistik Kurumu. <https://www.tuik.gov.tr> (Erişim Tarihi: 04.03.2024).

USDA (2023). The United States Department of Agriculture, Foreign Agriculture Service <https://apps.fas.usda.gov/psdonline/app/index.html#/app/advQuery> (Erişim Tarihi: 08.03.2024)

Uslu, İ., Çelik, Z., Yüceerim, G., Karagül, V. ve Ozdarici Ok, A. (2023). Buğday yetiştiriciliğinin mevsimsel iklim değişkenliğinden etkilenebilirlik derecesi ve uyum kapasitesinin değerlendirilmesi üzerine bir araştırma. *Anadolu Ege Tarımsal Araştırma Enstitüsü Dergisi*, 33(2): 220–236.

Ürkmez, İ., Sevim, A. and Çatık, A. (2024). The relationship between agriculture and carbon dioxide emission in Türkiye: A non-linear Evidence. *Journal of Tekirdağ Agricultural Faculty*, 21(1): 94-110.

WMO, (2022). World Meteorological Organization Provisional State of The Global Climate 2022. <https://library.wmo.int/records/item/56335-wmo-provisional-state-of-the-global-climate-2022#.Y3dta%20XZBw2x> (Erişim Tarihi: 13.10.2024).

Yuan, J., Xu, Y. and Zhang, X. (2014). Income growth, energy consumption, and carbon emissions: the case of China. *Emerging Markets Finance and Trade*, 50(5): 169-181.

Zellner, A. (1962) An efficient method of estimating seemingly unrelated regression and tests for aggregation bias. *Journal of American Statistics Association*, 57: 348-368.