



Araştırma Makalesi / Research Article

Türkiye Melamin Kaplı Yonga Levha Sektörü İçin ARIMA Tabanlı Karbon Ayak İzi Projeksiyonu

ARIMA-Based Carbon Footprint Projection for the Melamine-Faced Particleboard Sector in Türkiye

Gülşen GÖKDEMİR¹, Hamza ÇINAR²

¹ Dicle Üniversitesi, Diyarbakır Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Malzeme ve Malzeme İşleme Teknolojileri Bölümü, gulsen.gokdemir@dicle.edu.tr, ORCID: 0000-0002-6400-2529

² Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Ağaççşleri Endüstri Mühendisliği, hamzacinar@gazi.edu.tr, ORCID: 0000-0003-2607-852X

MAKALE BİLGİLERİ

Makale Geçmişi:

Geliş 17 Kasım 2025
Revizyon 27 Şubat 2026
Kabul 26 Nisan 2026
Online 10 Temmuz 2026

Anahtar Kelimeler:

Yonga levha, ARIMA, Karbon ayak izi, sürdürülebilirlik

ÖZ

Bu çalışma ile, Türkiye'nin yongalam sektöründeki üretim eğilimlerini analiz etmek, üretim miktarı ile sosyoekonomik göstergeler arasındaki ilişkileri belirlemek ve sektörel karbon ayak izi projeksiyonlarını ortaya koymak amaçlanmıştır. Box-Jenkins yaklaşımına dayalı ARIMA kullanılarak 1995–2019 dönemine ait üretim verileri eğitim seti olarak değerlendirilmiş, 2020–2024 yılları test verisi ile model doğrulanmış ve 2025–2030 dönemine ilişkin üretim tahminleri yapılmıştır. Üretim miktarı ile nüfus, kişi başına GSYİH ve orman alanı arasındaki ilişkiler korelasyon analizi ile incelenmiştir. Analiz sonuçlarında, durağanlaştırılmamış serilerde gözlenen yüksek korelasyonların sahte korelasyon niteliğinde olduğu, durağanlaştırılmış serilerde ise üretim ile kişi başına GSYİH arasında anlamlı bir ilişki bulunurken, nüfus ve orman alanı değişkenlerinin kısa dönemde anlamlı bir ilişki göstermediği belirlenmiştir. Karbon ayak izi hesaplamaları, sektörün öncü üreticilerinden birine ait Çevresel Ürün Beyanı (EPD) verileri kullanılarak beşikten mezara sistem sınırında gerçekleştirilmiştir. Bulgular, yongalam levhaların biyogenik karbon içeriği sayesinde geçici karbon yutağı özelliği gösterdiğini, ancak bu etkinin ürünün kullanım ömrü ve kullanım ömrü sonu senaryolarına bağlı olarak değişebileceğini ve depolanan karbonun uzun vadede atmosfere geri salınabileceğini göstermektedir. Ayrıca üretim tahminlerine göre yongalam üretiminin 2030 yılına kadar yaklaşık 2,3 milyon m³ seviyesine ulaşacağı öngörülmektedir. Bu çalışma, zaman serisi analizi ile bütünlük olarak ele alarak literatüre metodolojik katkı sunmakta ve sektörün sürdürülebilirlik açısından değerlendirilmesine yönelik çıkarımlar ortaya koymaktadır.

ARTICLE INFO

Article history:

Received 17 November 2025
Received in revised form 27 February 2026
Accepted 26 April 2026
Available online 10 July 2026

Keywords:

Particleboard, ARIMA, carbon footprint, sustainability

Doi: 10.24012/dumf.1825425

*Sorumlu Yazar

ABSTRACT

This study aims to analyze the production trends of the melamine-faced particleboard (YongaLAM) sector in Türkiye, to determine the relationships between production volume and selected socioeconomic indicators, and to present sectoral carbon footprint projections. Using the Box-Jenkins approach, the ARIMA model was applied to production data for the period 1995–2019 as the training set, while the model was validated using test data from 2020–2024, and production forecasts were generated for the period 2025–2030. The relationships between production volume and population, GDP per capita, and forest area were examined through correlation analysis. The results indicate that the high correlations observed in non-stationary series are of a spurious nature, whereas, in stationary series, a significant relationship exists between production and GDP per capita, while population and forest area do not show a statistically significant relationship in the short term. Carbon footprint calculations were carried out within a cradle-to-grave system boundary using Environmental Product Declaration (EPD) data from one of the leading manufacturers in the sector. The findings reveal that melamine-faced particleboards exhibit a temporary carbon sink characteristic due to their biogenic carbon content; however, this effect depends on the product lifespan and end-of-life scenarios, and the stored carbon may be released back into the atmosphere in the long term. In addition, production is projected to reach approximately 2.3 million m³ by 2030. This study provides a methodological contribution to the literature by integrating time series analysis and offers insights for evaluating the sector in terms of sustainability.

Giriş

Ahşap esaslı levhalar, orman endüstrisinin en önemli yarı mamullerinden biri olup, mobilya, yapı elemanları ve iç mekân uygulamaları gibi birçok alanda yaygın biçimde kullanılmaktadır. Bu ürün grupları içerisinde yer alan yonga levhalar, ahşap artıklarının ve liflerinin sentetik reçinelerle birleştirilip preslenmesiyle üretilen, ekonomik bir malzemedir. Özellikle son yıllarda artan kentleşme, nüfus artışı ve yaşam standartlarındaki yükseliş, yonga levha tüketimini önemli ölçüde artırmıştır [1], [2].

Yonga levha sanayisi, hammadde kaynağının yerel olarak temin edilebilmesi, enerji verimliliği sağlayan modern üretim teknolojilerinin kullanılabilirliği ve düşük maliyetli üretim avantajları sayesinde, sürdürülebilir endüstriler arasında yer almaktadır. Bununla birlikte, üretim süreçlerinde enerji tüketimi, reçine kullanımı ve taşıma faaliyetleri gibi faktörler, çevresel etkilerin de dikkate alınmasını zorunlu hâle getirmiştir. Özellikle sera gazı emisyonlarının azaltılması, karbon dengesinin korunması ve kaynak verimliliğinin artırılması, sektörün geleceği açısından önemli hedefler arasında yer almaktadır [3], [4], [5], [6].

Dünya genelinde ahşap levha endüstrisi sürekli bir büyüme eğilimi göstermekte olup, bu büyümenin çevresel sürdürülebilirlik ilkeleriyle uyumlu biçimde yönetilmesi büyük önem taşımaktadır. Avrupa Birliği'nin Yeşil Mutabakat hedefleri ve küresel ölçekte yürürlüğe konulan Paris İklim Anlaşması, ahşap esaslı panel üretiminde karbon ayak izini azaltım politikalarının güçlendirilmesini zorunlu kılmaktadır. Bu kapsamda, ülkeler üretim süreçlerini izleyebilmek, kaynak kullanımını optimize edebilmek ve çevresel etkilerini azaltabilmek için çeşitli analiz ve tahmin yöntemleri geliştirmektedir [7], [8], [9].

Türkiye, coğrafi konumu, gelişmiş sanayi altyapısı ve orman kaynaklarının etkin kullanımı sayesinde, dünya yonga levha üretiminde önemli bir paya sahip ülkelerden biridir. Son yıllarda artan iç talep, ihracat kapasitesi ve üretim teknolojilerindeki yenilikler sayesinde sektör dinamik bir büyüme göstermektedir. Ancak artan üretim miktarlarıyla birlikte, sürdürülebilir kaynak yönetimi, enerji verimliliği ve çevresel etkilerin kontrolü konularında bilimsel temelli yaklaşımlara olan ihtiyaç da giderek artmaktadır [10].

Yonga levha endüstrisinde üretim eğilimlerinin doğru analiz edilmesi ve geleceğe yönelik öngörülerin yapılabilmesi, hem yatırım planlaması hem de çevresel sürdürülebilirlik stratejilerinin oluşturulması açısından kritik öneme sahiptir. Bu bağlamda, üretim miktarlarının zamana bağlı olarak analiz edilmesi ve çevresel performansın ölçülmesi, sektörün rekabet gücünü ve uzun vadeli sürdürülebilirliğini artıracak temel unsurlar olarak değerlendirilmektedir [11].

Bu çalışma ile 1995–2024 dönemine ait yonga levha üretim verileri kullanılarak 2030 yılına kadar üretim miktarlarının zaman serisi analizleriyle (ARIMA modeli) tahmin edilmesi ve çevresel etkilerinin ortaya konması amaçlanmıştır. Bu kapsamda, üretim artışının karbon emisyonlarına etkisi incelenmiş, 2030 yılına kadar sektörel karbon yükü öngörülmüştür.

Türkiye ölçeğinde, zaman serisi analizi kullanılarak üretim tahmini ile karbon ayak izi hesaplamasının bütünleşik

biçimde ele alındığı kapsamlı bir çalışmaya literatürde rastlanmamaktadır. Bu nedenle, mevcut araştırma Türkiye yonga levha sektörüne odaklanarak 1995–2024 dönemine ait veriler üzerinden 2030 yılına kadar üretim miktarını tahmin etmeyi, bu tahminlerin gerçekleştirilmesinde bazı sosyoekonomik parametrelerle olan ilişkisini belirlemeyi ve elde edilen tahmin sonuçlarını çevresel etki değerlendirmesiyle ilişkilendirerek karbon ayak izi hesaplamasını gerçekleştirmeyi amaçlamaktadır. Literatür incelendiğinde, üretim tahminine yönelik çalışmaların çoğunlukla ARIMA (Autoregressive Integrated Moving Average) gibi zaman serisi modelleri temelinde yürütüldüğü, karbon ayak izi analizlerinin ise genellikle yaşam döngüsü değerlendirmesi yaklaşımıyla bağımsız olarak gerçekleştirildiği görülmektedir. Ancak, bu iki yöntemi entegre biçimde kullanan araştırmaların son derece sınırlı olması, mevcut çalışmanın özgün değerini artırmaktadır. Bu bağlamda, Türkiye yonga levha sektörüne ilişkin 1995–2024 dönemi üretim verilerinin modellenmesi, 2030 yılına yönelik üretim projeksiyonlarının oluşturulması ve bu projeksiyonlara bağlı karbon ayak izi değerlendirmesinin yapılması, literatüre önemli katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

Literatür

Ahşap esaslı levha endüstrisinde üretim projeksiyonları ve çevresel performans değerlendirmeleri üzerine birçok çalışma yapılmıştır. Ancak, özellikle yonga levha üretim miktarlarının zaman serisi modelleriyle tahmini ve bu verilerin karbon ayak izi analizleriyle birleştirildiği araştırmalar sınırlıdır.

Panel üretim miktarlarının öngörülmesine yönelik sınırlı sayıda araştırmadan biri, İran'da 1978–2009 yılları arasında yapılan çalışmadır (BioResources, 2015). Bu çalışmada ARIMA ve ARMA modelleri karşılaştırılmış, en uygun modelin ARMA_(2,1) olduğu ve panel üretiminin artış eğilimi gösterdiği belirlenmiştir [12].

Türkiye'de 1981–2003 yılları arasındaki ahşap levha üretim verileri kullanılarak 2015 yılına kadar olan üretim değerleri regresyon ve ARMA modelleriyle tahmin edilmiştir. Gerçek ve tahmin edilen değerler karşılaştırılmış; ARMA yönteminin diğer modellere göre daha düşük hata oranı verdiği ve en uygun tahmin modeli olduğu belirlenmiştir [13].

Çevresel açıdan, son yıllarda panel üretiminde karbon ayak izi hesaplamaları önem kazanmıştır. Cambazoğlu ve arkadaşlarının Türkiye'de melamin kaplı yonga levha üretimini konu alan çalışmasında, ISO 14067 ve IPCC 2006 Tier 1 metoduna göre “cradle-to-gate” sınırında 462 kg CO₂e/m³ değerini raporlamış; emisyonların %67'sinin Scope 3 kaynaklı olduğunu belirtmiştir [14].

Portekiz'de yapılan bir çalışmada, ISO/TS 14067, GHG Protocol, PAS 2050 ve Climate Declaration standartlarının karbon ayak izi sonuçlarını etkilediği ve biyogenik karbon varsayımına bağlı olarak sonuçların negatiften pozitifte değişebildiği ortaya konmuştur [15].

Türkiye bağlamında yapılan çalışmalar arasında, Erdil ve arkadaşları tarafından gerçekleştirilen çalışma öne çıkmaktadır. Bu çalışmada panel sektörünün karbon, enerji ve

su ayak izleri değerlendirilmiş; Tier metodolojisi ve Pareto analizi kullanılarak emisyon kaynakları belirlenmiştir [16].

Materyal ve Metot

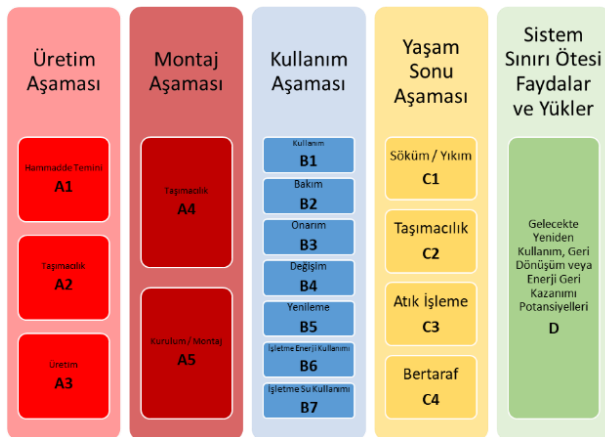
Materyal

Türkiye’de yonga levha sektörünün uzun dönemli eğilimini belirlemek amacıyla, FAOSTAT tarafından yayımlanan ve 1995–2024 dönemini kapsayan üretim verileri kullanılmıştır. Bu verilerin yıllık olarak raporlanması, zaman serisi tahmin modellerinin uygulanması için uygun bir yapı sunmaktadır [17].

Üretimdeki değişimleri açıklamak amacıyla; yıl ortası nüfus verileri (1995–2024) ve kişi başına Gayri Safi Yurtiçi Hasıla (GSYH) verileri (1995–2024) Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK)’ten temin edilmiştir [18], [19]. Orman kaynaklarına ilişkin veriler (2009–2024) ise FAOSTAT veri tabanından elde edilerek analize dahil edilmiştir [17]. Bu değişkenler, odun esaslı levha sektörü ile ekonomik ve demografik göstergeler arasındaki ilişkinin istatistiksel olarak incelenmesi amacıyla korelasyon analizlerinde kullanılmıştır.

Melamin kaplı yonga levha (yongalam) üretimine ilişkin doğrudan istatistiksel veri bulunmadığından, ürün bazı hesaplamalar için literatüre dayalı bir varsayım yapılmıştır. Avrupa Panel Federasyonu verilerine göre, yonga levha üretiminin önemli bir kısmı (%55) yüzeyi iyileştirilmiş ürünlerden oluşmaktadır. Bu ürün grubunun büyük bölümünü melamin kaplı levhaların oluşturduğu literatürde belirtilmektedir [20]. Doğrudan ayrıştırmış veri bulunmadığı için oran temelli yaklaşım benimsenmiş ve toplam üretimin yaklaşık %49,5’inin melamin kaplı yonga levha olduğu hesaplanmıştır.

EPD belgeleri, ISO 14025 ve EN 15804 standartları kapsamında hazırlanan ve bağımsız üçüncü taraflar tarafından doğrulanan çevresel ürün beyanlarıdır. Bu belgeler, bir ürünün yaşam döngüsü boyunca ortaya çıkan çevresel etkileri modüler bir yapı içerisinde raporlamaktadır. Ürün sistemine ait yaşam döngüsü aşamaları Şekil 1’de sunulmuştur[21].



Şekil 1. Ürün Yaşam Döngüsünde Sınıflandırmalar

Bu çalışmada Küresel Isınma Potansiyeli (GWP), fosil kaynaklı emisyonlar (GWP_{fosil}), biyogenik karbon akışları (GWP_{biogenik}) ve arazi kullanımı ile arazi kullanım değişikliklerinden (GWP_{luluc}) kaynaklanan etkiler olmak üzere üç bileşen altında ele alınmıştır. EPD belgelerinde

GWP bu üç bileşen şeklinde ayrı ayrı raporlanmaktadır. Toplam GWP değeri (GWP_{total}), bu bileşenlerin toplamı olarak hesaplanmaktadır. Çevresel yüklerin belirlenmesinde, EPD belgelerinde yer alan üretim aşaması (A1–A3), kullanım ömrü sonu süreçleri (C1–C4) ve sistem sınırları ötesindeki geri kazanım potansiyellerini ifade eden Modül D’ye ait veriler kullanılmıştır. İncelenen ürüne ait GWP sonuçları, fonksiyonel birim olan 1 m³ ürün başına kg CO₂-eşdeğeri cinsinden ifade edilmiş olup Tablo 1’de sunulmuştur [21].

Tablo 1. Ürün yaşam döngüsüne göre 1m³ melamin kaplı yonga levha karbon ayak izi

Etki Kategorisi	A1-A3	C1	C2	C3	C4	D
GWP - Fosil	268	33,5	11,5	0	5,5	-352
GWP - Biogenik	-1107	0,306	0,008	0	712	-1,62
GWP - Luluc	1,3	0,33	0,003	0	0,001	-0,705
GWP - Total	-837,7	34,1	11,5	0	717,5	-354,3

Bu çalışmada değerlendirilen melamin kaplı yonga levha (YongaLAM) panellerinin kalınlık aralığı 8–30 mm olup ortalama yoğunluğu 635 kg/m³’tür. Ürün, Birleşmiş Milletler Merkezi Ürün Sınıflandırması (CPC) kapsamında 3143 kodu ile tanımlanmakta ve bu yönüyle yaşam döngüsü değerlendirmesi (LCA) ve EPD çalışmalarında referans ürün olarak kullanılabilir. Ürünün tipik bileşimi yaklaşık olarak %88–95 odun parçacığı, %2–5 üre-melamin formaldehit (UMF) esaslı reçine, %2–5 melamin kaplı kağıt ve %0–1 oranında diğer kimyasallardan oluşmaktadır. Çevresel değerlendirmeye esas olan yaşam döngüsü envanter verileri, 2019 yılı üretim verilerine dayanan doğrulanmış bir EPD’den elde edilmiştir. LCA modellemesi SimaPro 9.1 yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiş, arka plan verileri Ecoinvent 3.6 ve Türkiye Yaşam Döngüsü Veri Tabanı (TLCID) üzerinden sağlanmıştır. Sistem sınırları EN 15804 standardına uygun olarak ürün aşaması (A1–A3), kullanım ömrü sonu aşamaları (C1–C4) ve sistem sınırları ötesindeki faydaları temsil eden Modül D’yi kapsamaktadır. Kullanım ömrü sonu senaryosunda, yonga levha atıklarının %75’inin enerji geri kazanımı amacıyla yakıldığı, %25’inin ise düzenli depolama sahalarında bertaraf edildiği varsayılmıştır. Söküm işlemleri için 0,323 MJ/kg enerji tüketimi ve atık taşınması için 200 km mesafe kabul edilmiştir. Enerji geri kazanımı hesaplamalarında odun esaslı malzemeler için 18,6 MJ/kg alt ısı değeri ve %20 elektrik üretim verimi esas alınmıştır. Üretim aşamasında gözlenen negatif GWP değerleri, odun esaslı malzemelerde depolanan biyogenik karbon ile ilişkilidir. Bu karbon, ürünün kullanım süresi boyunca geçici olarak depolanmakta olup kullanım ömrü sonunda atmosfere geri salındığı varsayılmaktadır. Biyogenik karbon hesaplamaları EN 15804 ve ISO 14067 standartlarına uygun olarak, 100 yıllık zaman ufku (GWP100) dikkate alınarak gerçekleştirilmiştir[21].

Seçilen EPD, doğrulanmış ve şeffaf çevresel veriler sunmakla birlikte belirli bir üretim sistemini temsil etmektedir. Ulusal üretim sistemleri; enerji karışımı, teknolojik verimlilik, reçine formülasyonu ve lojistik açısından farklılık gösterebilir. Bu nedenle çalışmada kullanılan emisyon faktörleri, tüm üretim tesislerini tam olarak temsil eden kesin değerler olarak değil, sektöre ilişkin genel koşulları yansıtan gösterge niteliğinde değerler olarak değerlendirilmelidir.

Metot

Çalışmanın metodolojik çerçevesi, Yongalam levhaların geçmiş üretim miktarlarından yararlanarak gelecekteki olası çevresel etkilerini öngörmeye yönelik bütünlük bir analiz yapısına dayanmaktadır. Bu kapsamda değerlendirmeler zaman serisi modellemesi (ARIMA), değişkenler arasındaki ilişkilerin incelenmesine yönelik korelasyon analizleri ve EPD veri setlerinden elde edilen GWP değerlerine dayalı karbon ayak izi hesaplamaları olmak üzere üç temel aşamada gerçekleştirilmiştir:

Veri işleme ve analiz süreçlerinde Microsoft Office Excel (2016), Minitab Statistical Software (Version 22) ve IBM SPSS Statistics (Version 24) kullanılmıştır. Microsoft Excel, resmi ve uluslararası veri tabanlarından elde edilen verilerin derlenmesi ve GWP yüklerinin hesaplanmasında kullanılmıştır. Üretim serilerinin durağanlığını incelemek amacıyla Genişletilmiş Dickey–Fuller (ADF) birim kök testleri Minitab Statistical Software (Version 22) ile gerçekleştirilmiştir. ARIMA modelleme ve tahmin analizleri ise IBM SPSS Statistics (Version 24) kullanılarak yapılmıştır.

Zaman serisi analizi

Bu araştırmada, Türkiye'nin yonga levha üretim miktarlarının geleceğe yönelik tahminini gerçekleştirmek amacıyla Box–Jenkins yaklaşımına dayalı ARIMA (Autoregressive Integrated Moving Average) modeli kullanılmıştır. ARIMA modeli, geçmiş dönem verilerini esas alarak öngörü yapan bir zaman serisi analiz yöntemidir ve p, d, q parametreleri ile tanımlanır. Modeldeki otoregresif (AR(p)) bileşen, mevcut gözlemler ile önceki dönem değerleri arasındaki doğrusal bağıntıyı ifade eder ve geçmiş verilerin güncel değeri açıklamadaki etkisini ortaya koyar. Entegrasyon derecesi (d), serinin durağan hale getirilebilmesi için kaç kez fark işlemi uygulandığını gösterir; bu işlem ortalama ve varyanstaki zaman bağımlılığını ortadan kaldırmayı amaçlar. Hareketli ortalama (MA(q)) bileşeni ise tahmin hatalarının gecikmeli değerlerini dikkate alarak serideki korelasyon yapısını açıklar. Bu üç bileşenin birlikte değerlendirilmesiyle, ARIMA modeli hem geçmiş gözlemlerin hem de hata terimlerinin etkisini içeren güçlü bir öngörüleme yapısı oluşturur. Modelin genel matematiksel ifadesi Denklem (1)'de verilmiştir[22],[23].

$$y_t = c_t + \sum_{i=1}^p \phi_i y_{t-i} + \sum_{j=1}^q \theta_j e_{t-j} \quad (1)$$

ARIMA modelinin tahmin performansını değerlendirmek amacıyla veri seti eğitim ve test olmak üzere iki alt döneme ayrılmıştır. 1995–2019 dönemine ait gözlemler modelin kurulması için eğitim veri seti olarak kullanılırken, 2020–2024 dönemi modelin örneklem dışı tahmin performansını değerlendirmek üzere test veri seti olarak ayrılmıştır. Bu yaklaşım, modelin tahmin gücünün model kurulum sürecine dahil edilmeyen veriler üzerinden değerlendirilmesine olanak sağlamaktadır. Doğrulama sürecinin ardından seçilen ARIMA modeli kullanılarak izleyen yıllara ait üretim tahminleri elde edilmiştir.

Bir zaman serisinin öngörü amacıyla kullanılabilmesi için öncelikle durağan bir yapıya sahip olması gerekir [24]. Bu

nedenle seriye ADF (Augmented Dickey–Fuller) birim kök testi uygulanmıştır. Testin temel regresyon modeli şu şekilde ifade edilir:

$$\Delta Y_t = \alpha_0 + \alpha_1 Y_{t-1} + \sum_{j=1}^p \gamma_j \Delta Y_{t-j} + \varepsilon_t \quad (2)$$

Bu modelde; ΔY_t serinin farkını, α_0 regresyon başlangıç düzeyini belirten sabit terim, $\alpha_1 Y_{t-1}$ gecikmeli seviye değeri, $\sum_{j=1}^p \gamma_j \Delta Y_{t-j}$ gecikmeli fark değeri, ε_t ise hata terimini ifade etmektedir. ADF testinde boş hipotez $H_0: \alpha_1 = 0$ seride birim kök bulunduğunu, alternatif hipotez $H_1: \alpha_1 < 0$ ise serinin durağan olduğunu göstermektedir. H_0 reddedildiğinde serinin durağan olduğu sonucuna ulaşılır [25].

Korelasyon analizi

Yonga levha üretiminin ekonomik ve çevresel faktörler ile olan ilişkisini belirlemek için kullanılan Pearson Katsayısı formülü Denklem(3)'te ve Spearman korelasyon katsayısı ise Denklem (4)'te verilmiştir[26].

$$r = \frac{N \Sigma XY - (\Sigma XY)(\Sigma Y)}{\sqrt{[N \Sigma X^2 - (\Sigma X)^2][N \Sigma Y^2 - (\Sigma Y)^2]}} \quad (3)$$

$$r_s = 1 - \frac{6 \sum d_i^2}{n(n^2 - 1)} \quad (4)$$

Karbon ayak izi analizi

GWP projeksiyonları, EPD belgelerinde 1 m³ ürün için modül bazında raporlanan emisyon değerlerinin, ARIMA modeli ile tahmin edilen yıllık üretim miktarlarıyla çarpılmasıyla hesaplanmıştır. Hesaplamalarda üretim aşaması (A1–A3), kullanım ömrü sonu modülleri (C1–C4) ve sistem sınırları ötesindeki geri kazanım potansiyellerini temsil eden Modül D dikkate alınmıştır.

Projeksiyonlar, tahmin dönemi boyunca emisyon yoğunluklarının sabit kaldığı varsayımına dayanan bir temel senaryoyu temsil etmektedir. Bu nedenle elde edilen sonuçlar, emisyon yoğunluğu, teknolojik verimlilik veya enerji sistemlerindeki yapısal değişimlerden ziyade üretim hacmindeki değişimlerin ölçek etkilerini yansıtmaktadır. Bu kapsamda bulgular, sabit teknoloji varsayımı altında elde edilmiş temel senaryo tahminleri olarak değerlendirilmelidir.

Bulgular

Çalışma kapsamında gerçekleştirilen analizlerden elde edilen bulgular üç ana başlık altında sınıflandırılmıştır: zaman serisi analizine ilişkin sonuçlar, korelasyon analizine ilişkin sonuçlar ve panellerin GWP değerlerine yönelik tahmin sonuçları.

Zaman serisi analizine ait bulgular

Yonga levhalara ait yıllık üretim verileri Tablo 2'de sunulmuştur.

Tablo 2. Türkiye’de 1995–2024 dönemi yonga levha üretim miktarları.

Yıl	Üretim miktarı (m ³)	Yıl	Üretim miktarı (m ³)
1995	1 243 000	2010	3 060 000
1996	1 193 000	2011	3 580 000
1997	1 728 000	2012	3 875 000
1998	1 525 000	2013	4 225 000
1999	1 643 000	2014	4 425 000
2000	1 884 000	2015	4 361 000
2001	1 664 000	2016	4 202 000
2002	1 999 000	2017	4 150 000
2003	2 264 000	2018	4 000 000
2004	2 700 000	2019	4 200 000
2005	2 890 000	2020	4 400 000
2006	2 750 000	2021	4 600 000
2007	3 047 000	2022	4 300 000
2008	3 181 000	2023	4 600 000
2009	2 320 000	2024	4 330 000

Model tahmini öncesinde, eğitim veri setinde (1995–2019) yer alan yonga levha üretim serisinin durağanlık özellikleri incelenmiştir. Bu amaçla, serinin birim kök içerip içermediğini belirlemek ve ARIMA modellemesi öncesinde fark alma gereksinimini değerlendirmek üzere Genişletilmiş Dickey–Fuller (ADF) birim kök testi uygulanmıştır. Tüm istatistiksel analizler Minitab Statistical Software (Version 22) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Eğitim veri setine ait ADF birim kök testi sonuçları Şekil 2’de sunulmuştur.

1995–2019 dönemine ait yonga levha üretim serisinin durağanlığı incelenmiş ve bu amaçla Minitab Statistical Software 22 aracılığıyla ADF (Augmented Dickey–Fuller) birim kök testi uygulanmıştır. Testin sonucu Şekil 2 ‘de gösterilmiştir.

Augmented Dickey-Fuller Test

Null hypothesis: Data are non-stationary
Alternative hypothesis: Data are stationary

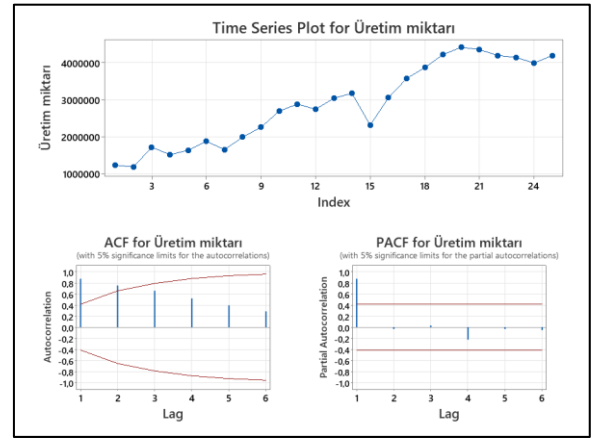
Test

Statistic P-Value Recommendation

-1,03009 0,742 Test statistic > critical value of -2,99222.
Significance level = 0,05
Fail to reject null hypothesis.
Consider differencing to make data stationary.

Şekil 2. 1995-2019 yılları arasında yonga levha üretimine ait ADF testi sonucu

Test sonucunda elde edilen p-değerinin 0,05’ten büyük olması ($p=0,742$), serinin durağan olmadığını göstermektedir. Şekil 3’te ise 1995-2019 yılları arasında yonga levha yıllarına ait ACF ve PACF tabloları verilmiştir.



Şekil 3. Yonga levha üretimine ait ACF ve PACF testi sonucu

Orijinal seriye ait ACF grafiğinde otokorelasyon katsayılarının yavaş azalan bir yapı sergilediği Şekil 3’te görülmüştür. Bu durum serinin durağan olmadığını desteklemektedir. PACF grafiğinde ise ilk gecikmede belirgin bir ilişki gözlemlenmiştir. Serinin durağan hale getirilmesi amacıyla öncelikle birinci dereceden fark alma işlemi ($I=1$) uygulanmıştır (Şekil4).

Augmented Dickey-Fuller Test

Null hypothesis: Data are non-stationary
Alternative hypothesis: Data are stationary

Test

Statistic P-Value Recommendation

-2,96111 0,039 Test statistic > critical value of -3,08491.
Significance level = 0,05
Fail to reject null hypothesis.
Consider differencing to make data stationary.

Şekil 4. Birinci dereceden fark alma işlemi sonucu

Birinci fark sonrasında elde edilen ADF test sonucunda p-değeri 0,05’ten küçük olmasına rağmen, test istatistiğinin kritik değerin altında kalmadığı ve Minitab çıktısında sıfır hipotezinin reddedilemediğinin belirtildiği görülmüştür. Bu nedenle birinci fark sonucunun durağanlık açısından sınırda olduğu değerlendirilmiş ve Şekil 5’te seriye ikinci dereceden fark alma işlemi uygulanmıştır.

Augmented Dickey-Fuller Test

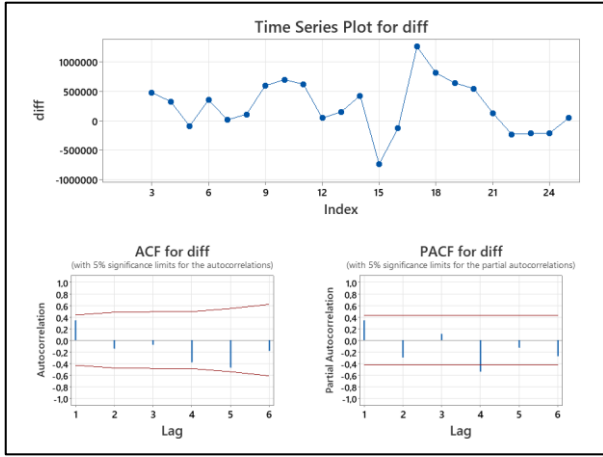
Null hypothesis: Data are non-stationary
Alternative hypothesis: Data are stationary

Test

Statistic P-Value Recommendation

-3,46280 0,009 Test statistic <= critical value of -3,08491.
Significance level = 0,05
Reject null hypothesis.
Data appears to be stationary, not supporting differencing.

Şekil 5. İkinci dereceden fark alma işlemi sonucu



Şekil 6 İkinci dereceden fark alma işleminin ACF ve PACF grafikleri

İkinci fark sonrasında yapılan ADF testi ve ACF-PACF grafikleri (Şekil 6), serinin durağan hale geldiğini ortaya koymaktadır. Bu doğrultuda, zaman serisinin ARIMA modeli ile analiz edilebilmesi için gerekli ön koşul sağlanmıştır. Uygun modelin belirlenmesi amacıyla farklı ARIMA(p,2,q) model alternatifleri değerlendirilmiş ve model seçiminde istatistiksel anlamlılık, hata ölçütleri ve artık analizleri dikkate alınmıştır.

Zaman serisi analizinde, en yüksek tahmin doğruluğu ve istatistiksel uyumu elde edebilmek için seçilen ARIMA modeline ait farklı parametre kombinasyonları Tablo 3 'te denenmiş ve en uygun model belirlenmiştir.

Tablo 3. ARIMA modeli seçim alternatifleri

Model	RMSE	MAE	MAPE(%)	Normalized BIC	Ljung-Box p
ARIMA(0,2,0)	515,399	364,896	15,106	26,442	0,199
ARIMA(0,2,1)	373,959	276,910	11,11	25,936	0,481
ARIMA(1,2,0)	455,910	332,293	13,18	26,333	0,300
ARIMA(1,2,1)	379,333	281,448	11,109	26,101	0,362

Tablo 3'e göre elde edilen sonuçlar incelendiğinde, ARIMA(0,2,1) modelinin diğer modellere kıyasla en düşük RMSE (373,959), MAE (276,910) ve MAPE (%11,11) değerlerine sahip olduğu belirlenmiştir. Ayrıca bu modelin normalize edilmiş BIC değerinin (25,936) de en küçük olduğu görülmektedir. Ljung-Box testi sonuçlarına göre model artıklarının otokorelasyon içermediği ($p=0,481>0,05$) ve beyaz gürültü özelliği gösterdiği tespit edilmiştir. Bu bulgular doğrultusunda, tahmin performansı ve model uyumu birlikte değerlendirildiğinde ARIMA(0,2,1) modeli en uygun model olarak seçilmiştir.

Modelin tahmin performansını değerlendirmek amacıyla, 1995–2019 dönemi eğitim veri seti olarak kullanılmış ve seçilen ARIMA(0,2,1) modeli ile 2020–2024 yılları için üretim tahminleri elde edilmiştir (Tablo 4). Elde edilen tahmin değerleri, aynı döneme ait gerçekleşen üretim verileri ile karşılaştırılmıştır.

Tablo 4. ARIMA(0,2,1) modeli ile elde edilen 2020–2024 dönemi üretim tahminleri ve hata değerleri

Yıl	Gerçek üretim(m ³)	Tahmin edilen üretim (m ³)	Alt (%95)	Üst (%95)	APE
2020	4 400 000	4 297 547	3 563 462	5 031 631	2,33
2021	4 600 000	4 393 040	3 334 328	5 451 753	4,50
2022	4 300 000	4 486 481	3 166 480	5 806 482	4,34
2023	4 600 000	4 577 869	3 028 606	6 127 132	0,48
2024	4 330 000	4 667 204	2 908 979	6 425 430	7,79

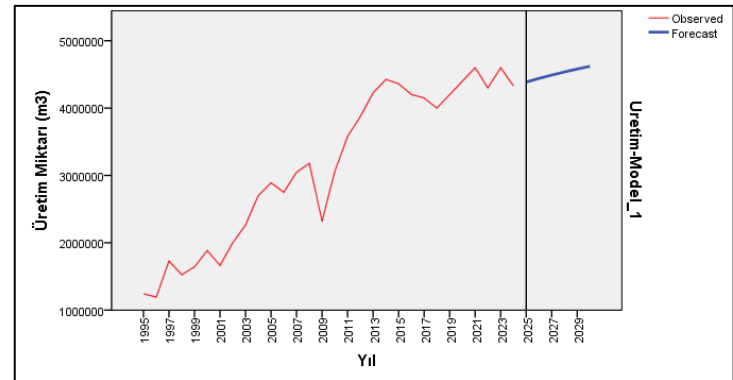
Tablo 4 incelendiğinde, tahmin edilen üretim değerlerinin doğrulama dönemindeki gerçek üretim değerleri ile genel olarak uyumlu olduğu görülmektedir. Hesaplanan mutlak yüzde hata (APE) değerleri %0,48 ile %7,79 arasında değişmekte olup, ortalama APE değerinin yaklaşık %3,89 olması modelin yüksek tahmin doğruluğuna sahip olduğunu göstermektedir. Özellikle bazı yıllarda elde edilen düşük hata oranları, modelin serinin genel eğilimini başarılı bir şekilde yakaladığını ortaya koymaktadır. Bu bulgular, ARIMA(0,2,1) modelinin üretim miktarının tahmin edilmesinde güvenilir bir model olduğunu desteklemektedir.

Seçilen ARIMA(0,2,1) modeli kullanılarak 2025–2030 dönemi için üretim tahminleri elde edilmiştir. Elde edilen tahmin değerleri ve %95 güven aralıkları Tablo 5'te sunulmuştur.

Tablo 5. ARIMA(0,2,1) modeline göre 2025–2030 yıllarında üretim tahminleri

Yıl	Tahmin edilen üretim (m ³)	Alt (%95)	Üst (%95)
2025	4 386 760	3 695 359	5 078 162
2026	4 440 208	3 446 256	5 434 160
2027	4 490 343	3 254 413	5 726 274
2028	4 537 166	3 089 839	5 984 494
2029	4 580 676	2 941 237	6 220 116
2030	4 620 874	2 802 960	6 438 788

Tablo 5'te elde edilen projeksiyonlara göre, yonga levha üretiminin 2025 yılında yaklaşık 4,39 milyon m³ seviyesinden başlayarak 2030 yılına gelindiğinde yaklaşık 4,62 milyon m³ düzeyine ulaşması beklenmektedir. Bu durum Türkiye'de yonga levha üretiminin 2025–2030 döneminde istikrarlı bir artış eğilimi göstereceğini ortaya koymaktadır. (Şekil 7).



Şekil 7. 2025-2030 yıllarında yongalam üretim tahminleri grafiği

Bu kapsamda, ARIMA modeli ile elde edilen 2025–2030 dönemi toplam üretim tahminleri kullanılarak, % 49,5 oranı esas alınmış ve söz konusu dönem için yongalam üretim miktarları hesaplanmıştır. Elde edilen tahmini değerler Tablo 6'da sunulmuştur.

Tablo 6. 2025-2030 yılları arasında tahmini yongalam üretim miktarı

Yıl	Toplam Tahmini Üretim Miktarı (m ³)	Tahmini yongalam miktarı (m ³)
2025	4 386 760	2 171 446,2
2026	4 440 208	2 197 902,96
2027	4 490 343	2 222 719,785
2028	4 537 166	2 245 897,17
2029	4 580 676	2 267 434,62
2030	4 620 874	2 287 332,63

Korelasyona Ait Bulgular

Korelasyon analizinin gerçekleştirilebilmesi için, öncelikle zaman serisi değişkenlerinin durağan olup olmadığı Augmented Dickey–Fuller (ADF) birim kök testi ile incelenmiştir. Durağanlık özelliği taşımayan seriler, zaman içinde benzer eğilimler gösterebildiğinden, analiz sonuçlarında yanıltıcı ilişkilere neden olabilmektedir. Bu sebeple, korelasyon analizinden önce durağanlık testlerinin yapılması gerekli görülmüştür. Elde edilen ADF test sonuçları Tablo 7’de verilmiştir.

Tablo 7. Sosyoekonomik değişkenlerin durağanlık test sonuçları

Değişken	Model	ADF İstatistiği	p-değeri	Sonuç
Nüfus	Sabit+ trend	-2,972	0,140	Durağan değil
Kişi başı GSYİH	Sabit+ trend	-3,113	0,103	Durağan değil
Ormanlık alan	Sabit+ trend	-3,531	0,036	Durağan değil

Tablo 7’de sunulan ADF birim kök testi sonuçlarına göre, Minitab yazılımında test istatistiğinin kritik değer ile karşılaştırılmasına dayanan karar kuralı esas alındığında, incelenen değişkenler için (ormanlık alan p-değerinin 0,05’ten küçük olmasına rağmen test istatistiğinin kritik değerin altında kalmaması nedeniyle) birim kök sıfır hipotezinin reddedilemediği görülmektedir. Bu durum, serilerin durağan olmadığını göstermektedir. Elde edilen bulgular, kişi başına düşen gelir ve nüfus gibi makroekonomik ve demografik değişkenlerin uzun dönemli artış eğilimi sergilemesi beklentisi ile uyumludur.

Durağanlık analizine ek olarak, kullanılacak istatistiksel yöntemin belirlenebilmesi amacıyla değişkenlerin dağılım özellikleri de incelenmiştir. Bu kapsamda her bir değişken için Shapiro–Wilk normallik testi uygulanmıştır. Değişkenlerin normal dağılım gösterdiği durumlarda Pearson korelasyon katsayısı kullanılmış, normal dağılım varsayımının sağlanmadığı durumlarda ise Spearman sıra korelasyon katsayısı tercih edilmiştir. Normallik testine ilişkin sonuçlar Tablo 8’de sunulmuştur.

Tablo 8. Sosyoekonomik değişkenlerin normallik test sonucu

Değişken	Shapiro–Wilk		Sonuç
	İstatistik	p-değeri	
Yongalam	0,958	0,035	Normal dağılım reddedildi
Nüfus	0,932	0,061	Normal dağılıma uygun
Kişi başı GSYİH	0,899	0,009	Normal dağılım reddedildi
Ormanlık alan	0,938	0,089	Normal dağılıma uygun

Tablo 8’de sunulan Shapiro–Wilk normallik testi sonuçlarına göre, yongalam üretim miktarı ve kişi başına düşen GSYİH değişkenlerinin p-değerlerinin 0,05’ten küçük olduğu belirlenmiştir. Bu durum, söz konusu değişkenlerin normal dağılım varsayımını sağlamadığını göstermektedir. Buna karşın, nüfus ve ormanlık alan değişkenlerinin normal dağılıma uygun olduğu görülmektedir. Ancak bu çalışmada yongalam üretim miktarı ile diğer değişkenler arasındaki ilişkiler incelendiğinden ve yongalam değişkeninin normal dağılım varsayımını karşılamaması nedeniyle, korelasyon analizinde parametrik olmayan Spearman sıra korelasyon katsayısı tercih edilmiştir (Tablo 9).

Tablo 9. Yonga levhaların sosyoekonomik değişkenlerle korelasyon sonuçları

Değişken	Analiz türü	Korelasyon Katsayısı (p)
Nüfus	Spearman	0,945
Kişi başı GSYİH	Spearman	0,801
Ormanlık alan	Spearman	0,943

Tablo 9’da elde edilen yüksek korelasyon değerlerinin, serilerde yer alan ortak zaman eğilimlerinden kaynaklanmış olabileceği değerlendirilmektedir. Durağan olmayan zaman serileri, değişkenler arasında gerçekte var olmayan ilişkilerin ortaya çıkmasına neden olabileceğinden, bu etkinin ortadan kaldırılması amacıyla analizler birinci farkı alınmış seriler kullanılarak yeniden gerçekleştirilmiştir (Tablo 10). Bu yaklaşım sayesinde, uzun dönemli eğilimlerden arındırılmış kısa dönemli ilişkilerin incelenmesi amaçlanmıştır.

Tablo 10. Durağanlaştırılan sosyoekonomik değişkenlerin yonga levhalar ile korelasyon sonucu

Değişken	Analiz türü	Analiz sonucu (p)	p-değeri
Nüfus	Spearman	-0,035	0,857
Kişi başı GSYİH	Spearman	0,412	0,026
Ormanlık alan	Spearman	-0,194	0,312

Tablo 10’da spearman korelasyon analizine göre, kişi başına düşen GSYİH ile yonga levha üretimindeki değişim arasında istatistiksel olarak anlamlı ve pozitif yönlü bir ilişki bulunurken, nüfus ve ormanlık alan değişkenleri ile üretim değişimi arasında anlamlı bir ilişki saptanmamıştır.

YongaLAM Panelleri için GWP Tahmin Sonuçları

Bu bölümde Türkiye ‘nin Yongalam levha sektöründe 2025–2030 dönemine ait yıllık GWP tahminleri sunulmaktadır. Hesaplamalar, EPD verisinde yer alan GWP değerleri ile ARIMA(0,2,1) modeli kullanılarak tahmin edilen üretim miktarlarının birlikte ele alınmasına dayanmaktadır.

GWP değerleri, kg CO₂-eşdeğeri cinsinden ifade edilmiş olup üç temel bileşen altında incelenmiştir: fosil kaynaklı emisyonlar (GWP fossil), biyogenik karbon akışları (GWP biogenic) ve arazi kullanımı ile arazi kullanım değişiminden kaynaklanan etkiler (GWP luluc). Her bir bileşen, üretim aşamasını kapsayan A1–A3 modülü, kullanım sonrası süreçleri içeren C1–C4 modülü ve sistem sınırları ötesindeki geri kazanım etkilerini temsil eden D modülü kapsamında değerlendirilmiştir.

Tablo 11. Yongalam levhaların 2030 yılına kadar karbon ayak izi tahmini (kg CO₂-eşdeğeri)

Year	GWP category	A1-A3	C1	C2	C3	C4	D	Total
2025	GWP _{fossil}	581 947 582	72 743 448	24 971 631	0	11 942 954	-764 349 062	-72 743 447,7
	GWP _{biogenic}	-2 403 790 943	664 463	17 372	0	1 546 069 694	-3 517 743	-860 557 157,7
	GWP _{luluc}	2 779 451	694 863	6 514	0	2 171	-1 530 870	1 952 130,134
	GWP _{total}	-1 819 063 911	74 102 773	24 995 517	0	1 558 014 820	-769 397 675	-931 348 475,3
2026	GWP _{fossil}	589 037 993	73 629 749	25 275 884	0	12 088 466	-773 661 842	-73 629 749,16
	GWP _{biogenic}	-2 433 078 577	672 558	17 583	0	1 564 906 908	-3 560 603	-871 042 130,5
	GWP _{luluc}	2 813 316	703 329	6 594	0	2 198	-1 549 522	1 975 914,761
	GWP _{total}	-1 841 227 268	75 005 636	25 300 061	0	1 576 997 572	-778 771 966	-942 695 964,9
2027	GWP _{fossil}	595 688 902	74 461 113	25 561 278	0	12 224 959	-782 397 364	-74 461 112,8
	GWP _{biogenic}	-2 460 550 802	680 152	17 782	0	1 582 576 487	-3 600 806	-880 877 187,1
	GWP _{luluc}	2 845 081	711 270	6 668	0	2 223	-1 567 017	1 998 225,087
	GWP _{total}	-1 862 016 818	75 852 535	25 585 727	0	1 594 803 668	-787 565 188	-953 340 074,8
2028	GWP _{fossil}	601 900 442	75 237 555	25 827 817	0	12 352 434	-790 555 804	-75 237 555,2
	GWP _{biogenic}	-2 486 208 167	687 245	17 967	0	1 599 078 785	-3 638 353	-890 062 523,9
	GWP _{luluc}	2 874 748	718 687	6 738	0	2 246	-1 583 358	2 019 061,556
	GWP _{total}	-1 881 432 977	76 643 487	25 852 522	0	1 611 433 465	-795 777 515	-963 281 017,5
2029	GWP _{fossil}	607 672 478	75 959 060	26 075 498	0	12 470 890	-798 136 986	-75 959 059,77
	GWP _{biogenic}	-2 510 050 124	693 835	18 139	0	1 614 413 449	-3 673 244	-898 597 944,5
	GWP _{luluc}	2 902 316	725 579	6 802	0	2 267	-1 598 541	2 038 423,723
	GWP _{total}	-1 899 475 330	77 378 474	26 100 440	0	1 626 886 607	-803 408 772	-972 518 580,6
2030	GWP _{fossil}	613 005 145	76 625 643	26 304 325	0	12 580 329	-805 141 086	-76 625 643,11
	GWP _{biogenic}	-2 532 077 221	699 924	18 299	0	1 628 580 833	-3 705 479	-906 483 645,3
	GWP _{luluc}	2 927 786	731 946	6 862	0	2 287	-1 612 570	2 056 312,034
	GWP _{total}	-1 916 144 291	78 057 513	26 329 486	0	1 641 163 449	-810 459 134	-981 052 976,3

Tartışma

Elde edilen bulgular, Türkiye melamin kaplı yonga levha sektörünün 2030 yılına kadar sürdürülebilir bir büyüme eğiliminde olduğunu göstermektedir. ARIMA_(0,2,1) modeli, yüksek açıklayıcılığıyla üretim artışını güvenilir biçimde öngörmüş ve sonuçlar literatürdeki benzer çalışmalarla uyum göstermiştir[12], [13].

Korelasyon analizinde elde edilen bulgular, üretim artışının kısa dönemli değişimler açısından yalnızca kişi başına düşen GSYİH ile anlamlı bir ilişki gösterdiğini ortaya koymuştur. Nüfus ve ormanlık alan değişkenleri ile üretim arasında anlamlı bir ilişki bulunmaması, bu değişkenlerin üretim üzerinde etkisiz olduğu anlamına gelmemektedir. Aksine, söz konusu değişkenlerin üretim üzerinde uzun dönemli ve dolaylı etkiler oluşturduğu değerlendirilmektedir. İlk analizlerde elde edilen yüksek korelasyon değerlerinin, değişkenlerin ortak zaman eğilimlerinden kaynaklanan sahte ilişkiler olduğu, durağanlaştırılmış seriler ile yapılan analizler sonucunda ortaya konmuştur. Bu durum, zaman serisi analizlerinde sıklıkla karşılaşılan sahte korelasyon (spurious correlation) problemi ile uyumludur[27].

Karbon ayak izi analizleri incelendiğinde, özellikle biyogenik karbonun toplam GWP üzerindeki belirleyici etkisi dikkat çekmektedir. Üretim aşamasında elde edilen negatif GWP değerleri, odun esaslı malzemelerin karbon depolama kapasitesine sahip olduğunu göstermektedir. Ancak bu durum, biyogenik karbonun hesaplama yöntemi ve kullanım ömrü sonu senaryolarına bağlı olarak değişebilmektedir. Literatürde de biyogenik karbonun dahil edilip edilmemesine bağlı olarak karbon ayak izi sonuçlarının önemli ölçüde farklılaştığı görülmektedir.

Bununla birlikte, fosil kaynaklı emisyonların varlığı, sektörün çevresel etkilerinin tamamen ortadan kalkmadığını

göstermektedir. Özellikle üretim sürecinde kullanılan enerji kaynakları, reçine türleri ve taşıma faaliyetleri, toplam emisyon yükü üzerinde belirleyici rol oynamaktadır. Üretim miktarındaki artış, toplam karbon yükünün mutlak olarak artmasına neden olmakta olup, bu durum sürdürülebilir üretim stratejilerinin önemini artırmaktadır[28].

Çalışmada kullanılan EPD verisinin tek bir üretim sistemine ait olması, elde edilen sonuçların genellenebilirliği açısından bir sınırlılık oluşturmaktadır. Türkiye'deki farklı üretim tesisleri; enerji karışımı, üretim teknolojileri ve hammadde yapısı açısından farklılık gösterebileceğinden, elde edilen sonuçlar sektöre ilişkin kesin değerler olarak değil, genel eğilimleri yansıtan göstergeler olarak değerlendirilmelidir.

Sonuç

Bu çalışmada, Türkiye melamin kaplı yonga levha sektörüne ilişkin üretim eğilimleri zaman serisi analizi ile incelenmiş ve 2030 yılına kadar üretim projeksiyonları ile karbon ayak izi tahminleri bütünsel bir yaklaşımla değerlendirilmiştir. Elde edilen bulgular, sektörün önümüzdeki dönemde istikrarlı bir büyüme eğilimi göstereceğini ortaya koymaktadır. ARIMA(0,2,1) modelinin düşük hata oranları ile yüksek tahmin performansı sergilemesi, yöntemin üretim tahminlerinde güvenilir bir araç olduğunu göstermektedir.

Korelasyon analizleri, üretim değişimlerinin kısa dönemli dinamikler açısından özellikle kişi başına düşen gelir ile ilişkili olduğunu ortaya koyarken, nüfus ve ormanlık alan değişkenlerinin doğrudan istatistiksel olarak anlamlı bir etki göstermediğini ortaya koymuştur. Bununla birlikte, bu değişkenlerin uzun dönemli üretim eğilimleri üzerinde dolaylı etkiler oluşturduğu değerlendirilmektedir.

Karbon ayak izi sonuçları, biyogenik karbonun etkisi dikkate alındığında yonga levha ürünlerinin karbon depolama

potansiyeline sahip olduğunu göstermektedir. Ancak fosil kaynaklı emisyonların varlığı, sektörün çevresel etkilerinin tamamen ortadan kalkmadığını ortaya koymaktadır. Bu durum, üretim süreçlerinde enerji verimliliği, düşük emisyonlu üretim teknolojileri ve sürdürülebilir hammadde kullanımının önemini vurgulamaktadır.

Bu çalışma, zaman serisi analizi ile yaşam döngüsü değerlendirmesini entegre ederek literatüre metodolojik bir katkı sunmaktadır. Elde edilen bulgular, sektörün sürdürülebilirlik politikaları kapsamında dönüşüm potansiyeline sahip olduğunu göstermekte olup, gelecekte farklı üretim senaryolarının ve çoklu EPD verilerinin modele dahil edilmesi önerilmektedir.

Kaynaklar

- [1] Y. A. Şişman ve H. Çınar, “Eko Tasarım Yaklaşımları Çerçevesinde, Formaldehit İçermeyen Ahşap Esaslı Kompozit Levhanın Malzeme Yoğunluğunun İncelenmesi”, *AJEAS*, c. 1, sy. 1, ss. 28-40, Ara. 2023.
- [2] A. Aydın ve G. Nemli, “Türkiye Yongalevha Endüstrisinin Üretim Problemleri Ve Çözüm Önerilerinin İncelenmesi”, *DUBİTED*, c. 10, sy. 3, ss. 1469-1475, Tem. 2022, doi: 10.29130/dubited.1005499.
- [3] D. Dukarska, J. Kawalerczyk, J. Sedláčik, P. Antov, ve M. Unisa, “Alternative Wood Raw Material Sources in Particleboard and OSB Production—Challenges and Perspectives”, *Polymers*, c. 17, sy. 13, s. 1760, Oca. 2025, doi: 10.3390/polym17131760.
- [4] R. Garcia, I. Calvez, A. Koubaa, V. Landry, ve A. Cloutier, “Sustainability, Circularity, and Innovation in Wood-based Panel Manufacturing in the 2020s: Opportunities and Challenges”, *Curr. For. Rep.*, c. 10, sy. 6, ss. 420-441, Ara. 2024, doi: 10.1007/s40725-024-00229-1.
- [5] M. Hussain, R. Malik, ve A. Taylor, “Environmental profile analysis of particleboard production: a study in a Pakistani technological condition”, *The International Journal of Life Cycle Assessment*, c. 23, Ağu. 2018, doi: 10.1007/s11367-017-1385-9.
- [6] M. Tola ve A. Tolunay, “Determination of economic success level of particleboard industry: Forest Integrated Products Industry and Trading Ltd. Co. (ORMA) example”, *Turkish Journal of Forestry*, c. 14, sy. 2, ss. 102-112, Ara. 2013, doi: 10.18182/tjf.22613.
- [7] P. Mensah vd., “The Global Supply Chain of Wood Products: A Literature Review”, *Forests*, c. 16, sy. 7, s. 1036, Tem. 2025, doi: 10.3390/f16071036.
- [8] “Finlandiya’da Ahşap Yapı Sektöründe Döngüsel Ekonomi Gelişimi”. Erişim: 03 Nisan 2026. [Çevrimiçi]. Erişim adresi: <https://www.mdpi.com/2071-1050/15/10/7871>
- [9] M. Puettmann, E. Oneil, ve J. Wilson, “Cradle to Gate Life Cycle Assessment of U.S. Particleboard Production”.
- [10] İ. Yıldırım, K. C. Akyüz, T. Gedik, Y. Balaban, ve Y. Çabuk, “Türkiye ahşap levha endüstrisinin Avrupa birliği ülkeleri ile rekabet edebilirliği”, *Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, c. 10, sy. 13, ss. 11-22, Mar. 2008.
- [11] T. C. BiLiM, “SANAYİNİN YAPISAL DÖNÜŞÜMÜ”, 2016.
- [12] “Tavakkoli, A., Hemmasi, A.H., Talaeipour, M., Bazyar, B. and Tajdini, A. (2015) Forecasting of Particleboard Consumption in Iran Using Univariate Time Series Models. *BioResources*, 10, 2032-2043. - References - Scientific Research Publishing”. Erişim: 03 Nisan 2026. [Çevrimiçi]. Erişim adresi: <https://www.scirp.org/reference/referencespapers?referenceid=1758959>
- [13] Y. Çabuk, “TÜRKİYE AHŞAP LEVHA ENDÜSTRİSİ ÜRETİM PROJEKSİYONU VE EN UYGUN TAHMİN YÖNTEMİNİN BELİRLENMESİ”, *Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, c. 20, sy. 1, ss. 105-109, Nis. 2018, doi: 10.24011/barofd.413314.
- [14] M. Cambazoğlu, S. Coskun, ve A. Sütçü, “Carbon footprint evaluation of melamine-coated particleboard production: A case study in Türkiye”, *BioRes*, c. 20, sy. 4, ss. 9561-9577, Eyl. 2025, doi: 10.15376/biores.20.4.9561-9577.
- [15] R. Garcia ve F. Freire, “Carbon footprint of particleboard: a comparison between ISO/TS 14067, GHG Protocol, PAS 2050 and Climate Declaration”,

Etik kurul onayı ve çıkar çatışması beyanı

Hazırlanan makalede etik kurul izni alınmasına gerek yoktur.

Hazırlanan makalede herhangi bir kişi/kurum ile çıkar çatışması bulunmamaktadır

Yazar Katkıları

Gökdemir; Verilerin toplanması, verilerin analizi ve yorumlanması, makalenin yazılması konusunda

Çınar; Verilerin yorumlanması, taslağın oluşturulması, revizyonlar konusunda katkı sunmuştur

- Journal of Cleaner Production*, c. 66, ss. 199-209, Mar. 2014, doi: 10.1016/j.jclepro.2013.11.073.
- [16] M. Erdil ve N. Yılğör, “An Assessment of Carbon Footprint in Medium-density Fiberboard (MDF) Manufacturing: A Case Study of Wood Based Panel Production In Turkey”, *JAES*, c. 5, sy. 5, ss. 841-848, Ara. 2020, doi: 10.35229/jaes.836311.
- [17] “FAOSTAT”. Erişim: 03 Nisan 2026. [Çevrimiçi]. Erişim adresi: <https://www.fao.org/faostat/en/#data/FO>
- [18] “Adrese Dayalı Nüfus Kayıt Sistemi Sonuçları - 2024”, Veri Portalı. Erişim: 03 Nisan 2026. [Çevrimiçi]. Erişim adresi: <https://veriportalı.tuik.gov.tr>
- [19] “Dönemsel Gayrisafi Yurt İçi Hasıla - II. Çeyrek: Nisan-Haziran, 2025”, Veri Portalı. Erişim: 03 Nisan 2026. [Çevrimiçi]. Erişim adresi: <https://veriportalı.tuik.gov.tr>
- [20] A.-L. Pattis, “Market analysis bio-based binder particleboards”, Bachelor’s thesis, LAB University of Applied Sciences, Lahti, 2024. [Çevrimiçi]. Erişim adresi: https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/859764/Pattis_Anna-Lena.pdf
- [21] “Kastamonu Entegre - Melamine Faced Chipboard”. Erişim: 03 Nisan 2026. [Çevrimiçi]. Erişim adresi: <https://epdturkey.org/tr/service/detail/s-p-01992>
- [22] D. B. Eravcı, “İş Kazalarının Box-Jenkins ARIMA Tekniği Kullanılarak Modellenmesi”, *CİDER*, c. 9, sy. 1, ss. 58-71, Haz. 2018.
- [23] C. Külahcı ve Z. Aslan, “Kara Yüzey Sıcaklığının ARIMA Yöntemiyle Modellenmesi ve Gelecek Tahmini: Antalya Uygulaması”, *ABMYO Dergisi*, c. 18, sy. 67, ss. 81-90, Tem. 2023.
- [24] Z. Guo, “Research on the Augmented Dickey-Fuller Test for Predicting Stock Prices and Returns”, *Advances in Economics, Management and Political Sciences*, c. 44, ss. 101-106, Kas. 2023, doi: 10.54254/2754-1169/44/20232198.
- [25] S. Barışık ve E. Demircioğlu, “Türkiye’de Döviz Kuru Rejimi, Konvertibilete, İhracat-İthalat İlişkisi (1980-2001)17”, *International Journal of Management Economics and Business*, c. 2, Oca. 2012, doi: 10.11122/ijmeb.2014.2.3.115.
- [26] A. F. Kılıç, “Değişkenlerin Kategori Sayılarının ve Dağılımlarının Korelasyon Katsayılarına Etkisi”, *Ege Eğitim Dergisi*, c. 23, sy. 1, ss. 50-80, Mar. 2022, doi: 10.12984/eggefd.890104.
- [27] B. Haig, “What Is a Spurious Correlation?”, *Understanding Statistics*, c. 2, ss. 125-132, Nis. 2003, doi: 10.1207/S15328031US0202_03.
- [28] G. Gokdemir ve H. Cinar, “Forecasting the Carbon Footprint of MDFLAM Production in Türkiye Using ARIMA and EPD Based GWP Data”, *Sustainability*, c. 18, sy. 6, s. 3081, 2026.