

YONGA LEVHA ÜRETİMİ YAPAN BİR TESİSİN ENERJİ TÜKETİMİNİN İSTATİSTİKSEL ANALİZİ VE ENERJİ VERİMLİLİĞİNİN İNCELENMESİ

Yazarlar
İSMAİL UÇUR USLU
SAYIT ÖZBEY
İSMET TIKIZ



BİDGE Yayınları

YONGA LEVHA ÜRETİMİ YAPAN BİR TESİSİN ENERJİ TÜKETİMİNİN İSTATİSTİKSEL ANALİZİ VE ENERJİ VERİMLİLİĞİNİN İNCELENMESİ

Yazarlar: İSMAİL UĞUR USLU & SAYİT ÖZBEY & İSMET
TIKIZ

ISBN: 978-625-372-847-2

1. Baskı

Sayfa Düzeni: Gözde YÜCEL

Yayınlama Tarihi: 27.11.2025

BİDGE Yayınları

Bu eserin bütün hakları saklıdır. Kaynak gösterilerek tanıtım için yapılacak kısa alıntılar dışında yayıncının ve editörün yazılı izni olmaksızın hiçbir yolla çoğaltılamaz.

Sertifika No: 71374

Yayın hakları © BİDGE Yayınları

www.bidgeyayinlari.com.tr - bidgeyayinlari@gmail.com

Krc Bilişim Ticaret ve Organizasyon Ltd. Şti.

Güzeltepe Mahallesi Abidin Daver Sokak Sefer Apartmanı No: 7/9 Çankaya /
Ankara



İçindekiler

Giriş.....	4
1. Literatür.....	5
Yonga Levha	5
Enerji ve Enerji Tüketimi.....	9
Enerji Verimliliği.....	10
Enerji İzleme ve Yönetme Sistemleri	13
2. Materyal ve Yöntem.....	15
2020 Yılı'nın Trafo Bazında Elektrik Tüketimleri	15
Çalışmada Kullanılan Üretim Verileri.....	16
Veri Sistemleri.....	16
2020 Yılı'nın Referans Verileri	17
Regresyon Analizi	18
2020 Yılı Regresyon Analizleri.....	22
2022 Yılı Regresyon Analizleri.....	45
Termodinamik Kanunlar ve Ekserji Analizi.....	69
3. Sonuçlar ve Öneriler	106
Kaynaklar	110

Giriş

Günümüzde endüstriyel tesislerin enerji tüketimi, çevresel etkileri ve enerji verimliliği, sürdürülebilirlik çabalarının odak noktalarından biridir. Bu bağlamda, yonga levha üretim tesislerinin enerji kullanımı ve verimliliği hem çevresel hem de ekonomik açıdan büyük önem taşımaktadır. Yonga levha endüstrisi, sürdürülebilir orman yönetimi ve endüstriyel atık geri dönüşümü gibi çevresel avantajlar sunmasına rağmen, enerji tüketimi ve kaynakların verimli kullanımı konusunda dikkat gerektiren bir sektördür.

Sürdürülebilir orman yönetimi prensipleriyle uyumlu bir şekilde faaliyet gösteren bu sektör, ekonomik kalkınmayı desteklerken aynı zamanda orman ekosistemlerinin korunmasına da katkı sağlamaktadır. Ayrıca, yonga levha üretimi için kullanılan hammaddenin büyük bir kısmı geri dönüşümlü malzemelerden oluşmaktadır, bu da doğal kaynakların korunması açısından önemli bir adımdır.

Yonga levha üretim tesislerinin enerji tüketimi, genellikle ısıtma, kurutma, presleme ve taşıma gibi süreçlerde yoğunlaşmaktadır. Bu süreçlerde kullanılan enerjinin büyük bir kısmı, odun yongalarının kurutulması ve preslenmesi gibi termal işlemlerde harcanmaktadır. Ayrıca, tesis içi taşıma ve işleme ekipmanlarının çalışması da önemli ölçüde enerji gerektirmektedir. Yonga levha tesislerinde enerji verimliliğinin artırılması, sera gazı emisyonlarının azaltılmasına ve enerji maliyetlerinin düşürülmesine katkı sağlar. Ayrıca, enerji verimliliği ile üretim süreçlerinin iyileştirilmesi ve atıkların azaltılması da sağlanabilir, bu da çevresel etkinin azaltılmasına ve kaynakların daha verimli kullanılmasına olanak tanır.

Bu çalışma, bir yonga levha üretim tesisindeki enerji tüketiminin istatistiksel analizi ve verimliliği konusunda bir analiz sunmayı amaçlamaktadır. Çalışmanın temel amacı, mevcut yonga levha üretim süreçlerindeki enerji tüketimini belirlemek, enerji verimliliği potansiyelini değerlendirmek ve enerji tasarrufu sağlayacak stratejiler geliştirmektir. Ayrıca, enerji tüketimi ile

çevresel etkiler arasındaki ilişkiyi anlamak ve sürdürülebilir bir yonga levha üretim süreci için öneriler sunmak da hedeflenmektedir. Bu çalışmanın sonuçları, yonga levha endüstrisinde enerji tüketimi ve verimliliği konusundaki bilgi eksikliklerini dolduracak ve sektörde sürdürülebilirlik çabalarını destekleyecektir.

1. Literatür

Yonga Levha

Yonga levha, doğal olarak oluşan odun veya lignoselülozik kaynaklardan elde edilen yongaların özel özelliklere sahip olanlarının belirli bir nem içeriğine kadar önceden kurutulması ve uygun bir tutkalla karıştırılması sonucunda oluşan düz levha veya şekillendirilmiş malzemelerdir. Bu süreç genellikle yüksek sıcaklık ve basınç altında gerçekleştirilir. Yonga levha, özellikle mobilya üretimi, dekorasyon sektörü, yapı endüstrisi ve ambalaj sektörü gibi birçok alanda yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu levhalar, dayanıklılıkları, çeşitli boyut seçenekleri ve işlenebilirlikleri ile endüstriyel kullanımların yanı sıra ev içi dekorasyon ve tasarım projelerinde de tercih edilmektedir (Akbulut 2000).

Şekil 1: Farklı kalınlıklara sahip yonga levhalar



Kaynak: (Aydın 2016)

Yonga levhalar, geniş ve düzgün yüzeyleri sayesinde çeşitli birleştirme yöntemleriyle, örneğin çivi, vida ve farklı yapıştırıcılar kullanılarak kolayca birleştirilebilir. Ayrıca, mantar gibi mikroorganizmalara karşı doğal bir direnç gösterir ve masif ağaç malzemelerde sıkça görülen budak, çürüme veya lif kıvrıklığı gibi kusurları barındırmazlar. Bu özellikleriyle yonga levhalar,

dayanıklılık ve estetik açıdan çeşitli uygulamalarda tercih edilen bir malzeme haline gelmiştir (İstek ve diğ., 2017a).

Yonga levhalar, özgül ağırlıkları bakımından üç ana gruba ayrılır. Avrupa standartlarına göre, 500 kg/m^3 'ün altındaki levhalar "hafif" olarak adlandırılır. Bu levhalar genellikle daha düşük yoğunlukları nedeniyle taşınabilirlik ve işlenebilirlik açısından tercih edilir. Öte yandan, $500\text{-}600 \text{ kg/m}^3$ arasındaki levhalar "orta" ağırlık kategorisinde yer alır. Bu grup levhalar, daha yüksek yoğunlukları sayesinde dayanıklılık ve stabilite açısından öne çıkar. Son olarak, 650 kg/m^3 'ün üzerindeki levhalar "yüksek özgül ağırlık" gruplarına girer. Bu levhalar, genellikle özel uygulamalar için tercih edilir ve yüksek dayanıklılık gerektiren alanlarda kullanılır.

Ancak, endüstride çoğunlukla üretilen yonga levhaların özgül ağırlıkları genellikle 600 ile 700 kg/m^3 arasında değişir. Bu aralık, çeşitli kullanım alanlarına uygun bir denge sağlar; örneğin, mobilya üretiminde kullanılan levhalar genellikle daha yüksek yoğunluklarda tercih edilirken, ambalaj sektöründe daha hafif levhalar daha yaygın olarak kullanılır. Bu çeşitlilik, yonga levha endüstrisinde geniş bir uygulama yelpazesi sunar ve farklı ihtiyaçlara cevap verecek şekilde üretim yapılmasını sağlar (Özdamar, 2007)

Yonga levha fikri, küresel orman varlığının giderek azalmasına rağmen, insan nüfusunun artan ihtiyaçlarını karşılamak amacıyla endüstriyel atıkların kullanımını içeren araştırmaların bir ürünüdür. İlk yonga levha fabrikası, 1941 yılında Almanya'nın Bremen şehrinde Torfit-Werke G A. Firması tarafından kurulmuş olup, günde 10 ton kapasiteyle faaliyet göstermiştir. Bu üretim sürecinde fenol formaldehit yapıştırıcı kullanılmış ve ladin ağaçlarından levhalar üretilmiştir (Karakuş, 2007).

Yonga Levha, yapısal olmayan ahşap kompozit paneller grubunda çok yönlü bir mühendislik malzemesidir (Bekhta ve Hiziroglu 2002).

Endüstriyel sınıf yonga levha, ahşap sektöründe çeşitli üst yüzey kaplama malzemeleri kullanılarak lamine panel yapıları için ideal bir altlık olarak kabul edilmektedir (Nemli, ve diğ., 2007)

Kaplama panellerin tipik uygulamaları arasında; döşeme altlığı, ev inşaatı, dolaplar, merdiven basamakları, raflar, masa ve tezgâh üstleri, ev, kurum ve ofis mobilyaları, lavabolar, hoparlörler, çift kanatlı kapılar, sürgülü kapılar, kilit bloklar, iç mekân işaretleri, teşhir stantları, masa tenisi masaları, bardo masaları ve elektronik oyun konsolları yer almaktadır (Nemli ve diğ., 2005).

Ancak tüm yonga levhalar tüm uygulamalar için uygun değildir; özellikle mobilya sektörüne yönelik yonga levhalar için bu durum geçerlidir. Yonga levha kompozitlerini dekore etme ve mobilya üretme yöntemleri, yüzey kalitesinin gerçekçi spesifikasyonlara duyulan ihtiyacı artırmıştır. Yonga levhanın çoğu kullanım alanı için pürüzsüz yüzeyler gereklidir (Vansteenkiste, 1981).

Ahşap esaslı levhalar, genellikle yüzeylerinin kaplanması için çeşitli malzemeler kullanırlar. Bunlar arasında laminantlar, fenolik kraft kağıtları, polivinil asetat esaslı dekoratif kağıtlar, polivinil klorür esaslı kağıtlar, çeşitli reçinelerle emprenye edilmiş kağıtlar, amonyum sülfonat emprenye edilmiş kağıtlar ve ince kağıtlar bulunmaktadır. Bu çeşitli kaplama malzemeleri, ahşap esaslı levhaların dayanıklılığını artırırken aynı zamanda dekoratif ve estetik bir görünüm sağlar (İstek ve diğ., 2017b).

Melamin emdirilmiş kağıtlar, kaplamalar, laminantlar, vinil filmler vb. gibi çok ince üst yüzeylerin yonga levha altlıklar üzerinde kullanılması, yüzey kalitesine daha fazla dikkat edilmesini zorunlu kılmıştır (Hiziroglu ve Suchsland, 1993).

Yonga levha, yüzey kaplama malzemesi olarak kullanıldığında, yonga levha yüzeylerinin soyulmaya karşı direnç göstermesi gerekir. Yonga levha yüzeyindeki ince düzensizlikler, üst katmanlardan görülebilir ve ürünün sınıfını, kalitesini ve yapıştırmayı etkiler (Hiziroglu. 1996).

Kaplama kağıtları genellikle ince olduğundan iyi maskeleyme özelliğine sahip değildir ve yonga levha yüzeyindeki herhangi bir kusur film finisajından görülebilir (Akbulut ve Koc 2004).

Pürüzlü yüzeyler, üst katmanlar ile sunta arasındaki teması azaltarak zayıf bir tutkal hattı ve düşük katman yapışma mukavemeti ile sonuçlanır (Yossifov, 1988).

Yonga levha, modern ahşap endüstrisinin bel kemiği haline gelmiştir; günümüzde üretim ve kullanım bakımından en yaygın tercih edilen ahşap esaslı levha türüdür. Bu levha çeşidi, kontrplak ve doğal lif levhaların geliştirilmesinin ardından ortaya çıkmış ve sektördeki en büyük hacmi elinde bulundurmaktadır (Akbulut. 2000).

Yonga levha, doğal ahşaba kıyasla düşük nem içeriğine sahip olduğundan, boyutsal stabilitesi ile tanınır. Dahası, yonga levha oldukça çok yönlüdür çünkü belirli tasarım gereksinimlerini karşılamak için kolayca kesilebilir, şekillendirilebilir ve delinir (Ceccotti, 1993).

Türkiye'nin ormancılık endüstrisindeki en hızlı gelişen alt sektörlerden biri, lif levha ve yonga levha sektörüdür. MDF levha için yıllık üretim kapasitesi 6,7 milyon m³'e, yonga levha için ise 5,1 milyon m³'e ulaşmıştır. Levha sektöründe kapasite kullanım oranı genellikle %75 ila %80 arasında değişmektedir ve bu sektördeki büyüme dikkate değerdir (Şahin ve diğ., 2019).

Ulusal Yonga Levha Üreticileri Birliği'ne göre, 2009 yılında 1.563.231 m³ sunta ve lif levha üretimi yapan 21 şirket ve 23 fabrika vardı. Bu üretimin ekonomik değeri 368.103.000 € olarak hesaplanmıştır (Saravia-Cortez ve diğ., 2013).

Deneysel çalışmalar, sunta yüzey kalitesini etkileyen çeşitli faktörlerin varlığını ortaya koymuştur. Aynı ham kalınlığına sahip suntalarda, pres kapama süresinin uzaması (45 saniyeye yükselmesi) yüzey pürüzlülüğünü artırmaktadır. Yani, daha kısa pres süresiyle (36 saniye) üretilen suntalar daha pürüzsüz yüzeylere sahip olmaktadır. Aynı pres süresi kullanılsa bile, ham kalınlığı daha düşük olan suntalar (17,9 mm) daha pürüzlü yüzeylere sahip olmaktadır. Kalınlığı daha yüksek olan suntalar (18,2 mm) ise daha pürüzsüz yüzeyler göstermektedir (Hiziroglu ve Graham 1998).

Yüzey tabakası yoğunlaştırılmış yonga levhalarda, yüzey pürüzlülüğü daha düşüktür. Bu da daha pürüzsüz yüzeylerin elde edildiğini göstermektedir (Maloney, 1977).

Enerji ve Enerji Tüketimi

Enerji, en basit tanımıyla "bir maddenin iş yapabilme kapasitesi" olarak ifade edilir ve kullanımlarına veya dönüşebilirliklerine göre sınıflandırılabilir. (Koç and Kaya 2015). Enerji, toplumsal yapının temel bir unsuru olup, sosyal ve ekonomik yaşam kalitesini artırmada önemli bir görev üstlenir. Geçmişten günümüze, insanlar enerji üretiminde odun, nükleer enerji gibi çeşitli kaynaklardan yararlanmışlardır (Ahmad ve diğ., 2008). Enerji, üretimde temel bir girdi olarak toplumların refah seviyesinin artması için hayati bir unsurdur ve günlük yaşamın neredeyse her alanında kullanılır. Kısaca, iş yapabilme kapasitesi olarak tanımlanan enerji; mekanik (potansiyel ve kinetik), ısı, elektrik, kimyasal ve nükleer gibi çeşitli türlerde mevcuttur (Koç ve Kaya 2015). Günümüzün sanayileşmiş dünyasında, fabrikalar mal üretiminde ve ekonomik büyümeyi sağlamakta hayati bir rol oynamaktadır (Markwood, 2006). Sanayi sektörü, diğer tüm sektörlerden daha fazla enerji kullanmakta olup, şu anda dünya enerji tüketiminin yaklaşık %37'sini karşılamaktadır. Enerji, sanayi sektöründe üretim, tarım, madencilik ve inşaat dahil olmak üzere çeşitli endüstrilerde ve işleme, montaj, iklimlendirme ve aydınlatma gibi geniş bir faaliyet yelpazesi için kullanılmaktadır. Önümüzdeki 25 yıl içinde, dünya sanayi enerji tüketiminin 2006 yılındaki 51.275 ZW'den (zettawatt) 2030 yılında 71.961 ZW'e yıllık ortalama %1,4 oranında artması beklenmektedir (McKane ve Price, 2007). Ülkeler, dış etkenlere daha az bağımlı olmak için coğrafi konumlarına uygun çeşitli önlemler almaktadır. Bu bağlamda, enerji sadece coğrafi konumun bir sonucu değil, aynı zamanda enerji çeşitliliği de ülke jeopolitiğini etkileyen önemli bir faktördür (Bekar, 2020). Malzeme Bilimi ve Mühendisliği serisi tarafından yürütülen bir araştırmaya göre, fabrikalar da dahil olmak üzere binalar dünya çapında en büyük enerji tüketen yapılardır (Dzaferovic ve diğ., 2020). Fabrikalar da dahil olmak üzere binalar artan enerji tüketimine ve toplu atmosferik emisyonlara katkıda bulunur (Kavitha ve Molykutty, 2021). Fabrikalarda yüksek enerji tüketimine katkıda bulunan ana faktörlerden biri, bina yapısının zayıf ısı yalıtım özellikleridir (Cuce

ve Riffat, 2015).Fabrikalar ve endüstriyel ortamlarda enerji, makineleri çalıştırmak, aydınlatma ve ısıtma sağlamak ve malzemeleri taşımak için çeşitli şekillerde tüketilir. Bu enerji kaynakları arasında elektrik, doğal gaz ve dizel yakıt bulunur (Hecht, 2008).

Enerji kaynakları, toplumların refahı, sosyal gelişimi ve dünya ekonomilerinin temelini oluşturur. Dünya ekonomilerinin artan enerji ihtiyacını çevreye duyarlı ve ekonomik yöntemlerle karşılamak büyük önem taşır. Enerji, artık ülkeler için "kendi kendine yeterlilik" tanımının ötesine geçmiştir. Ülkeler arası ticaret gereklidir ve bu ticaretin güvenli bir şekilde gerçekleştirilmesi şarttır. Ticaret ve güvenlik bir arada arandığında, enerji stratejik bir konuma gelir. Ticaret söz konusu olduğunda, arz ve talep akla gelir. Talep olması için ekonomik gelişme ve enerjiyi satın alacak bireyler gereklidir. 1950'den günümüze dünya nüfusu iki katından fazla artarken, enerji talebi altı kat artmıştır. Günümüzde dünya nüfusu yaklaşık 6,5 milyar olarak tahmin edilmektedir ve Birleşmiş Milletler 'in tahminlerine göre bu nüfusun 2015'te 7,2 milyar ve 2050'de 8,9 milyar olması öngörülmektedir (Uylukçuoglu, 2009).

Endüstriyel devrimden bu yana, enerji üretiminde çeşitli ham maddeler dönemsel olarak ön plana çıkmış ve toplumsal gelişime etki etmiştir. Önce kömür egemen olmuş, ardından petrol baskın hale gelmiştir. Nükleer enerji, 1973-1974 petrol krizlerinden sonra önem kazanmış ancak bazı sakıncaları nedeniyle birçok ülkede sınırlamalarla karşılaşmıştır. Artan çevre bilinciyle birlikte, doğal gaz da petrol ve kömürün yanında daha fazla kullanılmaya başlamıştır. Gelecekte, bazı kişilerce küçümsense de temiz ve alternatif enerji kaynaklarının daha büyük bir öneme sahip olması beklenmektedir. Ancak, günümüzde kömür, petrol ve doğal gaz gibi fosil yakıtlar dünya enerji tüketiminin yüzde 88'ini oluşturmaktadır. Bu oran Türkiye'de %87'dir (Pamir, 2005).

Enerji Verimliliği

Enerji verimliliği, yaşam kalitesini ve üretim miktarını koruyarak, daha az enerji ile aynı işi yapabilmektir. Başka bir

ifadeyle, enerji verimliliği, birim hizmet veya ürün başına enerji kullanımını azaltmaktır (Yumurtacı ve Dönmez, 2013).

Enerji verimliliğinin temel taşı olan enerji tasarrufu, sadece daha az enerji tüketmekten ibaret değildir. Aynı zamanda, enerji atıklarını değerlendirmek ve enerji kayıplarını önlemek gibi kapsamlı bir yaklaşımı da içerir. Bu sayede hem bireysel hem de ulusal ölçekte enerji kaynaklarımızı daha etkin ve sürdürülebilir bir şekilde kullanabiliriz. (Kaya 2012)

Enerji verimliliği, son yıllarda giderek daha fazla önem kazanmış bir stratejidir. Bu nedenle enerji verimliliği ile ilgili çalışmalar, enerji politikası alanında bilimsel literatürde büyük ilgi görmüştür. Enerji verimliliği, enerji tasarrufu, teknolojik gelişme, emisyonlar ve maliyetler gibi bir enerji sisteminin çeşitli yönlerini etkileyerek bir ülkenin nihai enerji kullanım eğilimlerini şekillendirmektedir (Taylor ve diğ., 2010).

Enerji verimliliği, sürdürülebilir enerji elde etmenin güçlü ve maliyet etkin bir yolunu sunar. Bu alandaki ilerlemeler, enerji altyapısına yapılan yatırımları azaltabilir, yakıt maliyetlerini düşürebilir ve hem rekabeti hem de tüketici refahını artırabilir. Ayrıca, sera gazı emisyonlarının ve hava kirliliğinin azaltılması çevresel faydalar sağlar. Bunun yanı sıra, fosil yakıt ithalatına olan bağımlılığı azaltarak enerji güvenliğini artırır (İsa ve Onat 2012).

Enerji Verimliliği Kanunu, enerjinin etkin kullanımı, israfın önlenmesi, maliyetlerin düşürülmesi, çevrenin korunması ve enerji verimliliğinin artırılması amacıyla hazırlanmış olup, 2 Mayıs 2007'de Resmî Gazete de yayımlanarak yürürlüğe girmiştir. Kanun, enerjinin üretimden tüketime kadar olan süreçlerinde verimliliğin artırılması ve desteklenmesi, toplumda enerji verimliliği bilincinin oluşturulması ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımına ilişkin usul ve esasları belirlemektedir (Doğan ve Yılkırkan, 2015).

Sanayi işletmelerinde enerji verimliliği için sistematik bir yaklaşımın benimsenmesi ve sürdürülmesi kritik öneme sahiptir. Sanayi işletmeleri için sistematik bir yaklaşımın kanıtı; belirlenmiş bir enerji politikasının varlığı, atanmış bir enerji yöneticisinin Türkiye’de yürürlükte olan 5627 Sayılı Enerji Verimliliği Kanunu ve

Enerji Verimliliği Strateji Belgesi gibi mevcut mevzuata uygun şekilde çalışması, TS-EN ISO 50001 Enerji Yönetim Sistemi'nin uygulanması, enerji etütlerinin yapılması ve enerji verimliliğini artırıcı çalışmaların yürütülmesidir (Uzun ve Değirmen 2018).

Ülkemiz sınırları içinde, devlete ait birçok eski sanayi tesisi bulunmaktadır. Bu tesisler, günümüzün ekonomik şartlarına uyum sağlayamayarak, yüksek maliyetli enerji harcamalarıyla ve eskiyen teknolojileriyle dikkat çekmektedirler. Enerji verimliliğini artırmak ve israfı önlemek adına, 1995'te Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı tarafından çıkarılan “Sanayi Kuruluşlarında Enerji Kullanımının Verimliliğini Yükseltme Yönetmeliği” kapsamında, yıllık 2000 TEP ve üzeri enerji tüketen fabrikaların, enerji kullanımını daha verimli hale getirmek için Enerji Yönetimi Sistemleri kurmaları öngörülmüştür. Bu adım, enerji tasarrufu sağlama ve çevresel etkileri azaltma yolunda önemli bir gelişme olarak kabul edilmektedir (Söğüt ve Oktay, 2006).

İlave olarak başbakanlığın 1997'de kamu kuruluşlarına yönelik genelgesine göre, tüm kamu kurumlarının enerji tüketiminde verimliliği sağlamak için şube müdürlükleri kurmaları ve 1995'te yayımlanan yönetmeliğe uygun hareket etmeleri gerekmektedir (Söğüt ve Oktay, 2006).

Enerji tasarrufu, enerji verimliliğini artırmayı amaçlayan enerji tasarruf önlemlerinin uygulanması anlamına gelir. Enerji verimliliği, mevcut teknolojik gelişme seviyesinde enerji kaynaklarını ve gücü kullanmanın teknik olarak uygulanabilir ve ekonomik olarak sürdürülebilir bir kalite olarak değerlendirilmektedir (Efremov ve Markman, 2007).

Enerji tasarrufu, aynı işi daha az enerji harcayarak yapmayı ifade ettiği için bu, enerjiyi hiç kullanmamak anlamına gelmez. Enerji tasarrufu, bilinen yöntemleri, gelişmiş prosedürleri ve yeni teknolojileri kullanarak, sosyal yaşam standartlarını dikkate alarak enerjiyi daha verimli kullanmayı ifade eder. En ucuz enerji, tasarruf edilen enerjidir. Türkiye'de enerji tüketiminin %41'i sanayi tesislerinde, %31'i binalarda ve %20'si ulaşımda gerçekleşmektedir. Türkiye'deki sanayi tesislerinde yıllık 3,7 milyon TEP (ton eşdeğer petrol) enerji tüketilmektedir. Bazı çalışmalar, Türk sanayisinde

kullanılan enerjinin %30'unun tasarruf edilebileceğini göstermektedir (Kanoğlu, 2010)

Sanayide enerji tasarrufu sağlamak amacıyla yaygın olarak uygulanabilecek önlemlerden biri, yüksek verimli motorların kullanımını artırmaktır. Sanayideki elektrik enerjisinin %45'i motorlar tarafından tüketilmektedir. Enerji tasarrufu için verimli motorların kullanılmasıyla önemli miktarda enerji tasarrufu sağlanabildiği ve bu motorlara yapılan yatırımların kısa sürede geri döndüğü birçok çalışmada gösterilmiştir (Teke ve diğ., 2009)

Fabrikaların cephelerinde gölgeleme sistemlerinin kullanılması, aşırı ısınmayı ve aşırı soğumayı önleyerek ısıtma ve soğutma için gereken enerji tüketimini azaltabilir. Ayrıca, fabrikalarda enerji tasarruflu aydınlatma sistemlerinin kullanılması, elektrik tüketimini önemli ölçüde düşürebilir. Enerji verimliliğinin artırılması, sadece çevreye faydalı olmakla kalmaz, aynı zamanda ekonomik avantajlar da sağlar. Fabrikalar, enerji verimliliği önlemleri uygulayarak enerji maliyetlerini önemli ölçüde azaltabilirler. Bu önlemler, enerji tasarruflu ekipmanların kurulmasını, enerji israfını en aza indirecek şekilde üretim süreçlerinin optimize edilmesini ve enerji kullanımını izlemek ve kontrol etmek için enerji yönetim sistemlerinin uygulanmasını içerebilir. Genel olarak, fabrikaların enerji verimliliğine öncelik vermesi ve enerji tüketimini azaltması çok önemlidir (Wanas ve diğ., 2017).

Enerji İzleme ve Yönetme Sistemleri

Enerji yönetimi, enerji kaynaklarının etkin ve tasarruflu bir şekilde kullanılmasını sağlamak amacıyla gerçekleştirilen enerji etütleri, eğitim programları, ölçüm ve izleme çalışmaları, planlama ve uygulama süreçlerini içermektedir. Enerji tasarrufu, üretim miktarını, kaliteyi ve performansı düşürmeden, sosyal yaşam standartlarını olumsuz etkilemeden enerji tüketiminin azaltılmasını mümkün kılan yeni teknolojilerin kullanımıdır. Enerji verimliliği ise enerji kaynaklarının üretimden son kullanıcıya kadar tüm aşamalarda en verimli şekilde değerlendirilmesi anlamına gelmektedir (Akhan, 2022).

Enerji yönetimi, enerjiye ne zaman ve nerede ihtiyaç duyulursa karşılanmasını sağlayan stratejidir. Bu, enerji kullanım sistemlerini ve prosedürlerini ayarlayarak ve optimize ederek, çıkan birim ürün başına enerji gereksinimlerini azaltırken, bu sistemlerden elde edilen toplam elde edilen ürünlerin üretim maliyetlerini sabit tutarak veya azaltarak elde edilebilir (Petrecca, 2012).

Fabrikalarda enerji verimliliğini artırmanın umut verici yaklaşımlarından biri, enerji izleme sistemlerinin kullanılmasıdır (Lyons ve diğ., 2008).

Bu sistemler, enerji kullanım verilerini yakından takip edip analiz ederek üreticilerin enerji tüketimlerini optimize etme fırsatlarını belirlemelerine, hedeflenmiş verimlilik önlemleri uygulamalarına ve çabalarının etkisini ölçmelerine olanak sağlar. (Schmid, 2012).

Son yıllarda, kurumlar ve bireyler enerji tüketimlerini optimize etmek ve çevresel etkilerini azaltmak istedikleri için, enerji izleme ve yönetim sistemleri giderek daha önemli hale geldi. Bu sistemler, gerçek zamanlı enerji kullanımı hakkında bilgi sağlamak ve verimliliği artırmak amacıyla sensörler, veri analitiği ve kontrol sistemleri gibi çeşitli teknolojileri kullanmaktadır (Reddy ve Jeyaprabha, 2020).

Modern enerji yönetim sistemlerinin temel özelliklerinden biri de daha geniş akıllı şebeke altyapısıyla entegrasyonudur. Bu sistemler, enerji sağlayıcıları ve tüketiciler arasında iki yönlü iletişime izin vererek daha verimli enerji dağıtımı ve talep-cevap programları sağlar (Pasupuleti ve diğ., 2020). Akıllı binalar ve evler, toplam enerji tüketiminin önemli bir bölümünü oluşturdukları için enerji yönetimi araştırmalarının özel bir odak noktası olmuştur (Abbasi ve diğ., 2021). Genel olarak, enerji izleme ve yönetim sistemleri alanı hızla gelişen ve giderek daha önemli hale gelen bir araştırma alanıdır. Bu alan, çeşitli sektörlerde enerji verimliliğini ve sürdürülebilirliği iyileştirmek için önemli potansiyele sahiptir (Mursid ve diğ., 2018). Enerji izleme sistemleri kurulan bir otomobil fabrikasında enerji verimliliğinde %20'lik bir iyileşme sağladığı gözlemlenmiştir (Rehman ve diğ., 2020).

2. Materyal ve Yöntem

Çalışmanın bir önceki bölümünde genel olarak yonga levha, enerji ve enerji tüketimi, enerji verimliliği, enerji izleme ve yönetme sistemlerinin neler olduğu ve literatürde yapılan diğer çalışmalar incelenmiştir. Çalışmanın bu bölümünde ise 6,5 MW kurulu gücü olan ve yonga levha üretimi yapan bir tesisin enerji tüketimi istatistiksel açıdan incelenecektir.

Operasyon değerleri kullanılacak olan tesisin 2020 yılına ait verileri referans alınarak 2022 ve 2023 yılı verileri kullanılarak enerji analizi karşılaştırması yapılması hedeflenmiştir. Elektrik, biyokütle, mazot tüketimine bağlı değerler için işletmeden alınan faturalar, üretime bağlı değerler içinse işletmede kullanılan SAP, IBA, JANITSA yazılımlarından ve üretim verilerinden alınan gerçek değerlere bağlı veriler kullanılacaktır.

Yonga levha pres, zımpara, melamin 1 ve melamin 2 üretim hatlarında tüketilen elektrik ve üretilen levhalar için regresyon analizi yapılacaktır. Bu regresyon analizi için gerekli değerlerinin hesabı için üretimden toplam m^3 ve adet miktarları, elektrik bölümünden toplam elektrik tüketim miktarları ve araçların toplam yakıt tüketimleri ve toplam tüketilen biyokütle miktarları alınarak bu regresyon analizlerinin yapılması planlanmıştır. Regresyon analizi ile enerji tüketiminin yıllara göre verimli veya verimsiz kullandığı belirlenmek istenilmektedir.

Bu hesap ile tesiste üretilen yonga levha ürün başına tüketilen toplam enerji miktarı hesap edilmektedir. Regresyon analizlerinin yanı sıra tesiste bulunan yonga pres, kazan dairesi, kompresörler ve kurutma fırını, enerji verimliliklerini ölçmek için enerji ve ekserji analizleri yapılacaktır. Bu enerji ve ekserji analizleri için termodinamiğin 1.ve 2.yasalarından yararlanılacaktır.

2020 Yılıının Trafo Bazında Elektrik Tüketimleri

İstatistiksel analiz yapılırken elektrik tüketimi için işletmenin trafo bazında kW/h cinsinden 2020 yılının elektrik tüketim değerleri alınmıştır. Tesis genelinde 6 adet trafodan toplamda 12 aylık tüketim bedelleri çıkartılmıştır.

Tablo 1: 2020 yılının trafo bazında elektrik tüketimi

KULLANIM NOKTASI	TRAFO BAZINDA ELEKTRİK TÜKETİMİ (kW) 2020												
	O	S	M	N	M	H	T	A	E	E	K	A	T
TR1	669.030	645.034	674.400	476.927	493.300	627.011	900.526	405.146	615.741	580.528	594.480	642.450	7.022.573
TR2	142.832	156.240	166.800	127.880	106.630	145.460	128.630	83.480	140.740	127.860	116.440	138.250	1.573.222
TR3	341.080	337.380	357.050	298.277	284.081	368.553	338.074	257.864	353.564	233.807	347.677	378.862	3.876.369
TR4	748.672	727.780	712.911	538.486	520.275	718.853	647.062	467.395	665.831	712.353	858.880	749.684	8.068.192
TR5	405.854	391.474	387.186	285.471	259.543	426.286	414.777	270.520	435.788	432.590	407.100	400.425	4.516.134
TR6	685.142	606.720	642.690	446.963	487.440	564.206	603.740	581.250	569.840	633.030	605.340	656.200	6.882.581
TOPLAM	2.992.230	2.894.628	2.941.037	2.154.004	2.149.269	2.850.289	2.732.409	1.885.735	2.781.504	2.729.168	2.929.927	2.955.871	31.937.011

Bölüm bazındaki elektrik tüketimleri kW/h cinsinden 2020 yılı için toplamda 12 aylık olarak hesaplanarak yukarıdaki tabloda belirtilmiştir.

Çalışmada Kullanılan Üretim Verileri

Üretime bağlı değerler için işletmede kullanılan SAP, IBA, JANITZA, PROMANAGE yazılımlarından alınan veriler kullanılmaktadır. Bu verilerin tamamı regresyon analizlerinde kullanılan gerçek değerlerdir.

Veri Sistemleri

İki eski IBM çalışanı, 1972 yılında standart yazılımlar geliştirmek amacıyla SAP şirketini kurdu. Şirketin adı olan System Applications and Products, sistem uygulamaları ile ürünlerin baş harflerinden oluşmaktadır. 1992'de, SAP'nin ilk büyük başarısı olan R/2 sistemini, esas başarıyı getiren R/3 izledi. Bu başarı, şirketin 1998 yılında New York Borsası'na girmesinin ardından hisse senetlerinin değerinin artmasında önemli bir faktör olmuştur (Özkan ve Çarıkçı, 2021). SAP'nin misyonu, her ölçekteki ve sektördeki işletmelere stratejik iş çözümleri sunarak, yöneticilerin müşterilerinin taleplerini daha verimli ve kârlı bir şekilde karşılamalarına yardımcı olmaktır. Şirket, çalışanlarını ve iş ortaklarını, sürekli büyüyen ve gelişen altyapısını ileriye taşıyan değerli varlıklar olarak görmektedir. Ayrıca, küresel sosyal sorumluluk bilinciyle hareket etmektedir. SAP, pazarın yaklaşık %42'sine sahip olup, bu alanda tartışmasız lider konumundadır (Bozpınar, 2019). Janitza, ölçüm cihazları ve yazılımlarının yanı

sıra, verimli enerji yönetimini garanti eden eksiksiz bir çözüm olan ilgili hizmetleri de sunmaktadır. Buna şunlar dahildir: Enerji ölçüm teknolojisi, EN 50160 standardına uygun A sınıfı şebeke kalite analizörleri, enerji yönetim sistemleri, dijital entegre ölçüm cihazları, mobil güç kalitesi analizörleri, güç faktörü kontrolörleri, harmonik filtreler ve kompanzasyon sistemleri. Janitza, danışmanlık ve teknik çözümlerin geliştirilmesinin yanı sıra, müşterilerle birlikte devreye alma, kurslar ve eğitimler de gerçekleştirmekte ve sistemler için bakım ve destek sağlamaktadır (Janitza, 2024).

Trafolardaki elektrik tüketimlerini izlemek orta gerilim besleme noktalarındaki düşük gerilim dağıtım panolarına güç analizörleri yerleştirildi. Yerleştirilen bu cihaz Alman şirket Janitza tarafından üretilen Janitza Gridvis güç analizörleri UMG508, UMG509, UMG103 ve UMG511 dir. Bu analizörler çeşitli dağıtım ünitelerindeki voltaj, akım, güç ve enerji gibi elektriksel değişkenleri ölçmek ve hesaplamak için tasarlanmıştır.

ProManage, 1998 yılından bu yana, üretim operasyonlarının yönetimine odaklanmış, Endüstriyel Nesnelerin İnterneti (IIoT), Artırılmış Gerçeklik (AR) ve Yapay Zekâ (AI) gibi ileri teknolojiler üzerinde çalışan, çok disiplinli bir teknoloji firmasıdır (Ener, 2022).

2020 Yılıın Referans Verileri

Aşağıdaki tabloda belirtilen üretim verileri SAP sisteminden alınmaktadır. SAP sistemine ise bu veriler PROMANAGE sistemi ile aktarılmaktadır. PROMANAGE sistemi hat sonunda çıkan her bir son ürünü 50’li bloklar halinde sayarak SAP sistemine veri göndermektedir.

Tablo 2: Bölüm bazında üretim verileri

BÖLÜM	BİRİM	YILLIK ÜRETİM VERİLERİ-2020												
		O	Ş	M	N	M	H	T	A	E	E	K	A	T
PREM	M3 Lacina istemi	28.810	28.636	31.551	21.389	23.620	28.789	28.381	20.935	30.811	30.822	29.236	30.319	335.299
ZİNDARLA	Adeit Lacina	219.775	248.390	269.869	200.998	187.118	264.870	254.638	206.052	286.655	280.048	266.991	291.551	3.016.975
MELAMEN 1	Adeit Lacina	112.729	115.634	111.021	91.530	33.155	119.945	101.637	33.669	130.171	120.015	111.403	117.687	1.194.596
MELAMEN 2	Adeit Lacina	121.545	119.785	118.729	91.224	78.050	124.811	130.248	69.309	133.762	125.682	125.652	128.512	1.367.309
TOP.MEL.	Adeit Lacina	234.274	235.419	229.750	182.754	111.205	244.756	231.885	102.978	263.933	245.697	237.055	246.199	2.565.905
HAKER	Tm Oden Tık.	33.920	33.725	36.904	24.752	27.280	34.527	34.108	24.462	35.911	34.361	33.072	34.286	387.208
TOPLAM		791.653	781.589	797.724	632.647	460.428	818.698	781.917	437.485	881.243	836.625	803.409	848.554	8.871.292

Regresyon Analizi

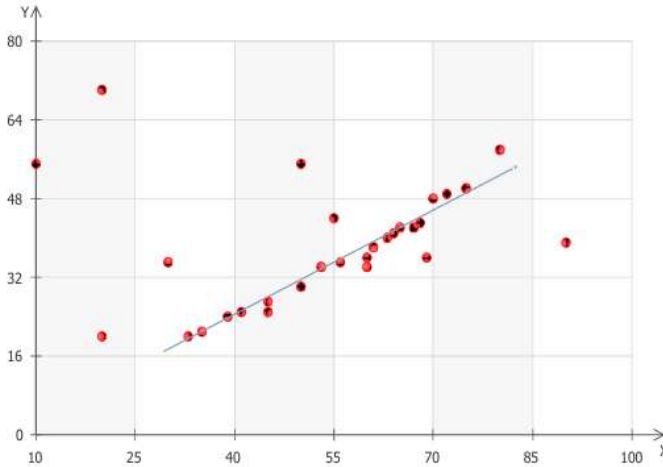
Regresyon kavramı, ilk olarak 19. yüzyılda İngiliz istatistikçi Francis Galton tarafından biyolojik bir araştırma sırasında ortaya atılmıştır. Galton, bu süreçte regresyonu hem bir kavram hem de bir yöntem olarak geliştirmiştir. Daha sonra, Karl Pearson, R.A. Fisher ve Udny Yüle gibi bilim insanları, bu yöntemi daha geniş istatistiksel alanlara uyarlayarak geliştirmişlerdir. 1805 yılında Adrien Marie Legendre tarafından geliştirilen En Küçük Kareler Yöntemi, regresyon yönteminin temelini oluşturmaktadır. Aynı yöntem, 1809'da C.F. Gauss tarafından da açıklanmıştır. Bu iki bilim insanı, güneş etrafındaki uyduların yörüngelerini belirlemek amacıyla astronomik gözlemler yaparken bu yöntemi ortaya koymuşlardır.

Regresyon analizi, bağımlı ve bağımsız değişkenler arasındaki ilişkileri incelemek için kullanılan bir tekniktir. Bağımlı değişken, bağımsız değişkenlerden etkilenen değişken olarak tanımlanır. Bağımsız değişken ise bağımlı değişken üzerinde etkisi olduğu düşünülen değişkendir. Eğer yalnızca bir bağımlı ve bir bağımsız değişken varsa, Basit Regresyon Analizi kullanılır. Birden fazla bağımsız değişken varsa, Çoklu Regresyon Analizi uygulanır. Birden fazla bağımlı değişkenin yer aldığı durumlarda ise Çok Değişkenli Regresyon Analizi devreye girer. Değişkenler arasındaki ilişki doğrusal olduğunda Doğrusal Regresyon Analizi, doğrusal olmadığına ise Eğrisel Regresyon Analizi olarak adlandırılır (Yergök ve Acı 2019; Taş ve diğ., 2021).

Regresyon analizi, mevcut verilere dayanarak gelecekteki bilinmeyen değişkenler hakkında tahmin yapma olanağı sağlar. Bağımlı ve bağımsız değişkenler arasındaki ilişki belirlendikten sonra, bağımsız değişkenin değeri bilindiğinde, buna bağlı olarak bağımlı değişkenin değeri tahmin edilebilir (Günaşdı, 2014).

Regresyon analizinde, bağımsız değişkenler (x_i) ile bağımlı değişkenler (y_i) arasındaki ilişki, matematiksel bir fonksiyon olarak ifade edilir. Bağımlı ve bağımsız değişkenler arasındaki ilişkiyi belirlemek için slope (eğim)-dağılım diyagramı çizilir ve iki değişken arasında bir bağlantı olup olmadığına, varsa nasıl bir fonksiyonun kullanılacağına karar verilir. İlk adım genellikle, örneği Şekil 2 'de gösterilen bir eğim-dağılım diyagramı oluşturmaktır. Bu diyagram, ilişkiyi ve ilişkinin doğasını anlamamıza yardımcı olur.

Eğer Y ve X arasında $Y_i = a + \beta X_i + \epsilon_i$ ($i = 1, 2, 3, \dots$) şeklinde doğrusal bir ilişki öngörülüyorsa, modelin bilinmeyen α ve β parametrelerinin tahmin edilmesi ilk adımdır. Bu parametreler belirlendikten sonra, bağımsız değişkenlerin farklı değerlerine karşılık gelen bağımlı değişken değerlerini tahmin etmek regresyon analizinin diğer bir amacıdır. Eğer bağımsız değişkenlerin her farklı değeri için bağımlı değişken sabit kalıyorsa, bu durumda araştırmaya gerek kalmayacak bir problem var demektir (Şener, 2005).



Şekil 2: Slope (eğim)-dağılım diyagramı (Karaca ve Karacan 2016)

Regresyon analizinde modelin bağımlı değişkenin toplam varyansını ne kadar açıkladığını gösterir. Denklem (1)'deki gibi;

$$R^2 = 1 - \frac{SSR}{SST} \quad (1)$$

Toplam kareler toplamı (SST) bağımlı değişkenin toplam varyansını hesaplamak için kullanılır. Denklem (2)'deki gibi;

$$SST = \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 \quad (2)$$

Artık kareler toplamı (SSR) modelin tahmin ettiği değerler ile gerçek değerler arasındaki farkların karelerinin toplamını hesaplamak için kullanılır. Denklem (3) deki gibi;

$$SSR = \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 \quad (3)$$

Basit doğrusal regresyon denklemini temsil eder. Denklem (4)'deki gibi;

$$\hat{y} = b_0 + b_1x \quad (4)$$

Korelasyon katsayısı iki değişken arasındaki doğrusal ilişkinin yönü ve gücünü ölçer. Denklem (5)'deki gibi;

$$r = \frac{n \sum xy - \sum x - \sum y}{\sqrt{[n \sum x^2 - (\sum x)^2] \times [n \sum y^2 - (\sum y)^2]}} \quad (5)$$

Düzeltilmiş R^2 formülü modeldeki bağımsız değişkenlerin sayısını dikkate alarak R^2 değerini düzeltir. Denklem (6)'daki gibi;

$$R_{adj}^2 = 1 - \left(\frac{(1 - R^2) \times (n - 1)}{n - p - 1} \right) \quad (6)$$

İlk n doğal sayının karelerinin toplamını hesaplar. Denklem (7)'deki gibi;

$$\sum_{i=1}^n i^2 = \frac{n \times (n + 1) \times (2n + 1)}{6} \quad (7)$$

Doğrusal regresyon Denklem (8)'deki gibi; $y = ax + b$ (8)

ifadesi ile bulunmaktadır. Denklem (8) de belirtilen eğim katsayısı olan a ifadesi ise, Denklem (9)'daki gibi;

$$a = \frac{\sum(x_i - \bar{x}) \times (y_i - \bar{y})}{\sum(x_i - \bar{x})^2} \quad (9)$$

Eşitliği ile bulunmaktadır. Bu eşitlikte ise;

x_i : Her bir bağımsız değişkenin değeri

y_i : Her bir bağımlı değişkenin değeri

$\bar{x}$: Bağımsız değişkenlerin ortalaması

$\bar{y}$: Bağımlı değişkenlerin ortalaması

Sabit terim olan b ifadesi ise;

$b = \bar{y} - a\bar{x}$ eşitliği ile bulunmaktadır.

Hesaplanan a ve b değerleri yerine konularak doğrusal regresyon denklemi denklem (8)'e göre yazılır.

$y = ax + b$ (Büyüköztürk, 2019).

Tek Değişkenli Regresyon Analizi

Tek değişkenli regresyon analizi, bir bağımlı değişken ile bir bağımsız değişken arasındaki ilişkiyi inceleyen bir regresyon tekniğidir. Bu analiz, bağımlı ve bağımsız değişkenler arasındaki doğrusal ilişkiyi tanımlar. Denklem (10)'daki gibi;

$$Y_i = (a_0) + (a_1)x_i + e_i \quad (10)$$

Bu denklemde, y_i bağımlı değişkeni, x_i ise bağımsız değişkeni temsil eder. a_0 , regresyon eğrisinin y eksenini kestiği noktayı, a_1 modelin katsayısını ve e_i ise tahmin edilen değer ile gözlenen değer arasındaki farkı, yani hata terimini ifade eder (Yerel ve Ersen 2013).

Çoklu Regresyon Analizi

Tek değişkenli regresyon analizi (RA), bağımlı değişkenin yalnızca bir bağımsız değişken tarafından nasıl etkilendiğini ortaya koyar. Bu yöntem, bağımsız değişken olarak sadece X_1 ve sonuç olarak da Y_1 'yi dikkate alır. Ancak, tek değişkenli RA'da iki temel zorluk vardır: ilki tahmin edicilerin sayısı, ikincisi ise bağımsız değişkenler arasından en anlamlı olan X_1 'nin doğru bir şekilde tahmin edilmesidir. Örneğin, iki veya daha fazla bağımsız değişkenin kullanıldığı bir analizde, her bağımsız değişkenin bağımlı değişkenle olan ilişkisi tek tek gösterilir. Bu da bağımsız değişkenler arasında en etkili olanının istatistiksel olarak belirlenememesi sorununa yol açabilir (Aydın ve diğ., 2020).

Bu nedenle, çok değişkenli veya çoklu regresyon analizi (RA) yöntemi, bu tür analizlerde güçlü bir modelleme tekniği olarak öne çıkar ve karmaşık ilişkilerin bulunduğu durumlarda daha yararlı sonuçlar sunar. Çok değişkenli regresyon analizinde, bağımlı değişken ile n sayıda bağımsız değişken arasındaki ilişkiyi tanımlayan matematiksel model ifade edilir. Denklem (11)'deki gibi;

$$Y_i = (a_0) + (a_1)x_1 + (a_2)x_2 \dots + (a_n)x_n + e_i \quad (11)$$

Burada, y_i bağımlı değişkeni, x_1, x_2 ve x_n bağımsız değişkenleri temsil etmektedir. a_0 , regresyon eğrisinin y eksenini kestiği noktayı, a_1, a_2 ve a_n ise modelin katsayılarını ifade eder. e_i ise tahmin edilen değer ile gözlenen değer arasındaki farkı, yani hata terimini belirtir. (Kanıt ve Baykan 2004; Aydın ve diğ., 2020).

2020 Yılı Regresyon Analizleri

2020 Yılı'nın Sunta Pres Regresyon Analizi

2020 yılında sunta pres hattında üretilen toplam suntanın tüketilen elektrik enerjisine göre regresyon analizi yapılmıştır. Bu analiz sonucunda beklenen enerji tüketimi talebi (kWh/ay), enerji yoğunluğu indeksi (kWh/ay), toplam elektrik enerjisi farkı (kWh) ve toplam elektrik enerjisi (kWh) hesaplanmıştır.

Tablo 3: 2020 yılı sunta pres üretim ve tüketim tablosu

Tarih	Pres Yonga Levha (m ³ /ay)	Elektrik (kW/ay)
Ocak 2020	28.810	2.043.654
Şubat 2020	28.636	1.928.874
Mart 2020	31.551	2.041.416
Nisan 2020	21.389	1.482.526
Mayıs 2020	23.620	1.532.118
Haziran 2020	29.789	1.919.277
Temmuz 2020	29.381	1.874.523
Ağustos 2020	20.935	1.291.377
Eylül 2020	30.811	1.878.472
Ekim 2020	30.822	1.789.388
Kasım 2020	29.236	1.859.724
Aralık 2020	30.319	2.003.784

Denklem (2)'ye göre SST değeri hesaplanır: $\bar{y} = \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{n} / 12 = 1.812.094$ olmaktadır.

$$\begin{aligned} SST = & \sum_{i=1}^{12} (2.043.654 - 1.812.094)^2 \\ & + (1.928.874 - 1.812.094)^2 \\ & + (2.041.416 - 1.812.094)^2 + (1.482.526 - 1.812.094)^2 \\ & + (1.532.118 - 1.812.094)^2 + (1.919.277 - 1.812.094)^2 \\ & + (1.874.523 - 1.812.094)^2 + (1.291.377 - 1.812.094)^2 \\ & + (1.878.472 - 1.812.094)^2 + (1.789.388 - 1.812.094)^2 \\ & + (1.859.724 - 1.812.094)^2 + (2.003.784 - 1.812.094)^2 \end{aligned}$$

SST = 659.800.652.820 değerine ulaşılmıştır.

$$SSR = \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2$$

Denklem (3)'e göre SSR değeri hesaplanır.

Buradaki $\hat{y}_i$ tahmini değerler regresyon denklemi kullanılarak hesaplanır.

Doğrusal denklem aşağıdaki eşitlik ile bulunmaktadır.

$$a = \frac{\sum (x_i - \bar{x}) \times (y_i - \bar{y})}{\sum (x_i - \bar{x})^2}$$

$b = \bar{y} - a\bar{x}$ eşitliğinde bulunan b değeri yerine konularak aşağıdaki denklem elde edilmektedir.

$\hat{y} = 59,63.x + 145.854,35$ denklemi bulunur.

$$\hat{y}_1 = 59,63 \times 28.810 + 145.854,35 = 2.023.191$$

$$(y_1 - \hat{y}_1)^2 = (2.043.654 - 2.023.191)^2 = (20.463)^2$$

$$\hat{y}_2 = 59,63 \times 28.636 + 145.854,35 = 1.935.832$$

$$(y_2 - \hat{y}_2)^2 = (1.928.874 - 1.935.832)^2 = (-6.958)^2$$

$$\hat{y}_3 = 59,63 \times 31.553 + 145.854,35 = 2.038.843$$

$$(y_3 - \hat{y}_3)^2 = (2.041.416 - 2.038.843)^2 = (2573)^2$$

$$\hat{y}_4 = 59,63 \times 21.389 + 145.854,35 = 1.421.344$$

$$(y_4 - \hat{y}_4)^2 = (1.482.526 - 1.421.344)^2 = (61.182)^2$$

$$\hat{y}_5 = 59,63 \times 23.620 + 145.854,35 = 1.554.314$$

$$(y_5 - \hat{y}_5)^2 = (1.532.118 - 1.554.314)^2 = (-22.196)^2$$

$$\hat{y}_6 = 59,63 \times 29.789 + 145.854,35 = 1.923.016$$

$$(y_6 - \hat{y}_6)^2 = (1.919.277 - 1.923.016)^2 = (-3.789)^2$$

$$\hat{y}_7 = 59,63 \times 29.381 + 145.854,35 = 1.910.343$$

$$(y_7 - \hat{y}_7)^2 = (1.919.277 - 1.910.343)^2 = (64.180)^2$$

$$\hat{y}_8 = 59,63 \times 20.935 + 145.854,35 = 1.392.469$$

$$(y_8 - \hat{y}_8)^2 = (1.291.377 - 1.392.469)^2 = (-101.092)^2$$

$$\hat{y}_9 = 59,63 \times 30.811 + 145.854,35 = 2.005.712$$

$$(y_9 - \hat{y}_9)^2 = (1.878.472 - 2.005.712)^2 = (-127.240)^2$$

$$\hat{y}_{10} = 59,63 \times 30.822 + 145.854,35 = 2.007.241$$

$$(y_{10} - \hat{y}_{10})^2 = (1.789.388 - 2.007.241)^2 = (-217.853)^2$$

$$\hat{y}_{11} = 59,63 \times 29.236 + 145.854,35 = 1.888.915$$

$$(y_{11} - \hat{y}_{11})^2 = (1.859.724 - 1.888.915)^2 = (-29.191)^2$$

$$\hat{y}_{12} = 59,63 \times 30.319 + 145.854,35 = 2.011.927$$

$$(y_{12} - \hat{y}_{12})^2 = (2.003.784 - 2.011.927)^2 = (-8.143)^2$$

$$\begin{aligned} SSR = & \sum_{i=1}^{12} (32.318.440.710)^2 + (5.680.552.995)^2 \\ & + (198.282.635)^2 \\ & + (3.743.200.306)^2 + (495.841.313)^2 + (8.906.586)^2 \\ & + (5.866.314.270)^2 \\ & + (10.587.159.771)^2 + (10.969.274.231)^2 + (37.820.240.091)^2 \\ & + (873.814.217)^2 \end{aligned}$$

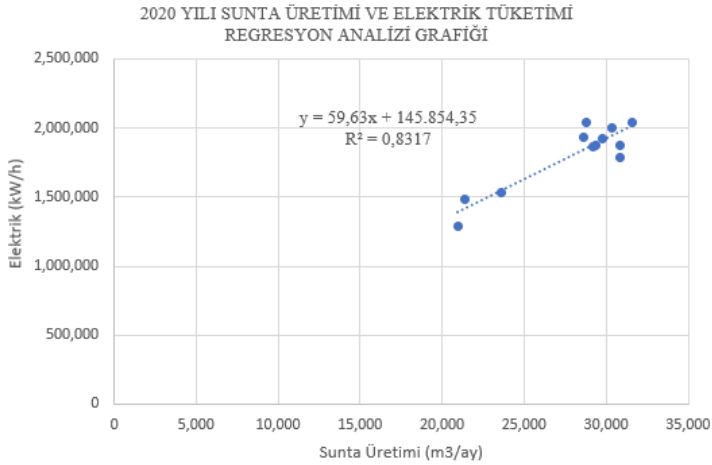
$$+(2.491.719.518)^2$$

$$SSR = 111.053.746.648$$

$$R^2 = 1 - \frac{SSR}{SST}$$

$$R^2 = 1 - \frac{111.053.746.648}{659.800.652.820}$$

$$R^2 = 0,8317 (\%83,17)$$



Şekil 3: 2020 Sunta pres regresyon analizi grafiği

Şekil 3'te belirtilen grafik regresyon analizi sonucu çıkan R^2 değeri literatüre göre 0 ile 1 arasında olmalıdır. 1 değerine olan yakınlığı üretilen ham sunta ve tüketilen elektrik arasında güçlü bir doğrusal ilişki olduğunu göstermektedir. R^2 Değerinin yüksek olması, doğrusal modelin veriyi açıklamak için uygun bir yapı sunduğunu işaret eder. Yüksek bir R^2 , üretim miktarındaki artışın enerji tüketimini büyük ölçüde açıkladığını ve bu ilişkinin istikrarlı olduğunu göstermektedir.

Tablo 4: 2020 sunta üretim ve tüketim arz talep tablosu

Tarih	Pres Yonga Levha (m ³ /ay)	Elektrik (kW/ay)	Beklenen Talep	Enerji Yoğunlu Endeksi (kWh)	Toplam Elektrik Enerji FARKI (KWh)
Ocak 2020	28.810	2.043.654	1.863.795	1,10	179.859,35
Şubat 2020	28.636	1.928.874	1.853.419	1,04	75.454,97
Mart 2020	31.551	2.041.416	2.027.240	1,01	14.175,52
Nisan 2020	21.389	1.482.526	1.421.280	1,04	61.245,58
Mayıs 2020	23.620	1.532.118	1.554.315	0,99	-22.196,95
Haziran 2020	29.789	1.919.277	1.922.172	1,00	-2.895,42
Temmuz 2020	29.381	1.874.523	1.897.843	0,99	-23.320,38
Ağustos 2020	20.935	1.291.377	1.394.208	0,93	-102.831,40
Eylül 2020	30.811	1.878.472	1.983.114	0,95	-104.642,28
Ekim 2020	30.822	1.789.388	1.983.770	0,90	-194.382,21
Kasım 2020	29.236	1.859.724	1.889.197	0,98	-29.473,03
Aralık 2020	30.319	2.003.784	1.953.776	1,03	50.007,68

Mayıs, Haziran, Temmuz, Ağustos, Eylül, Ekim, Kasım aylarında toplam elektrik enerjisi farkı negatif çıkmıştır. Bu durum elektrik tüketiminin beklenen elektrik tüketiminden az olduğunu göstermektedir. Enerji tüketiminin verimli kullanıldığı ifade edilmektedir.

Tablo 4 bize aynı zamanda 1 yılın toplam enerji yoğunluğu endeksini kWh cinsinden tespit etmemize olanak sağlamıştır. Sonuç olarak sunta pres hattındaki 1 yıllık elektrik tüketimine bağlı olarak yonga levha üretiminin regresyon analizi yapılarak verimlilik hesapları yapılmıştır. Enerji tüketimini etkileyen bağımsız değişkenlerin tespitleri yapılmıştır.

Beklenen talep = üretim miktarı x bağımsız değişken + sabit terim olarak ifade edilmektedir. (Nebati, Taş ve diğ., 2021)

Beklenen talep = (üretim x a) + b ifadesi ile bulunmaktadır. (12)

Beklenen talep ve enerji yoğunluğu endeksi eğilim katsayısı ile çarpılarak bulunmaktadır. Burada eğilim katsayısı bağımsız

değişken ve bağımlı değişken arasındaki doğrusal ilişkinin eğimini ifade etmektedir.

Enerji yoğunluğu endeksleri ise beklenen talebin (talep tahmini) elektrik tüketim miktarına bölünmesiyle bulunur (Taş ve diğ., 2021)

Enerji yoğunluğu endeksi = beklenen talep / elektrik tüketimi (13)

Tablo 4’de beklenen talep ve enerji yoğunluğu endeksleri verilen eşitlikler ile bulunmuştur.

2020 Yılıının Zımpara Regresyon Analizi

2020 yılında zımpara hattında zımparalanan zımparalı levhaların tüketilen elektrik enerjisine göre regresyon analizi yapılmıştır.

Bu analiz sonucunda beklenen enerji tüketimi talebi (kWh/ay), enerji yoğunluğu indeksi (kWh/ay), toplam elektrik enerjisi farkı (kWh) ve toplam elektrik enerjisi (kWh) hesaplanmıştır

Tablo 5: 2020 yılı zımpara üretim ve tüketim tablosu

Tarih	Zımparalı Yonga Levha (adet/ay)	Elektrik (kW/ay)
Ocak 2020	259.775	259.201
Şubat 2020	248.390	261.547
Mart 2020	269.869	263.660
Nisan 2020	200.998	190.190
Mayıs 2020	187.118	196.320
Haziran 2020	264.870	264.383
Temmuz 2020	254.658	241.441
Ağustos 2020	206.052	169.660
Eylül 2020	286.655	253.780
Ekim 2020	280.048	264.611
Kasım 2020	266.991	305.980
Aralık 2020	291.551	274.495

$$SST = \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2$$

Denklem (2)'ye göre SST değeri hesaplanır.

$$\bar{y} = \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{n}$$

$$= (259.201 + 261.547 + 263.660 + 190.190 + 196.320 \\ + 264.383 + 241.441 \\ + 169.660 + 253.780 + 264.611 + 305.980 + 274.495)/12 \\ = 245.439 \text{ olmaktadır.}$$

$$SST = \sum_{i=1}^{12} (259.201 - 245.439)^2 + (261.547 - 245.439)^2 \\ + (263.660 - 245.439)^2 \\ + (190.190 - 245.439)^2 + (196.320 - 245.439)^2 \\ + (264.383 - 245.439)^2 \\ + (241.441 - 245.439)^2 + (169.660 - 245.439)^2 \\ + (253.780 - 245.439)^2 \\ + (264.611 - 245.439)^2 + (305.980 - 245.439)^2 \\ + (274.495 - 245.439)^2$$

$SST = 17.309.911$ değerine ulaşılmıştır.

$$SSR = \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2$$

Denklem (3)'e göre SSR değeri hesaplanır.

Buradaki $\hat{y}_i$ tahmini değerler regresyon denklemi kullanılarak hesaplanır.

Doğrusal denklem aşağıdaki eşitlik ile bulunmaktadır.

$$a = \frac{\sum(x_i - \bar{x}) \times (y_i - \bar{y})}{\sum(x_i - \bar{x})^2}$$

$b = \bar{y} - a\bar{x}$ eşitliğinde bulunan b değeri yerine konularak aşağıdaki denklem elde edilmektedir.

$\hat{y} = 0,9787 \cdot x - 0,6228$ denklemi ile bulunmaktadır.

$$\hat{y}_1 = 0,9787 \times 259.775 - 0,6228 = 253.960$$

$$(y_1 - \hat{y}_1)^2 = (259.201 - 253.960)^2 = (5.241)^2$$

$$\hat{y}_2 = 0,9787 \times 248.390 - 0,6228 = 243.166$$

$$(y_2 - \hat{y}_2)^2 = (261.547 - 243.166)^2 = (18.381)^2$$

$$\hat{y}_3 = 0,9787 \times 269.869 - 0,6228 = 263.805$$

$$(y_3 - \hat{y}_3)^2 = (263.660 - 263.805)^2 = (-0,145)^2$$

$$\hat{y}_4 = 0,9787 \times 200.998 - 0,6228 = 196.674$$

$$(y_4 - \hat{y}_4)^2 = (190.190 - 196.674)^2 = (-6.484)^2$$

$$\hat{y}_5 = 0,9787 \times 187.118 - 0,6228 = 182.804$$

$$(y_5 - \hat{y}_5)^2 = (196.320 - 182.804)^2 = (13.516)^2$$

$$\hat{y}_6 = 0,9787 \times 264.870 - 0,6228 = 259.101$$

$$(y_6 - \hat{y}_6)^2 = (264.383 - 259.101)^2 = (5.282)^2$$

$$\hat{y}_7 = 0,9787 \times 254.658 - 0,6228 = 248.613,36$$

$$(y_7 - \hat{y}_7)^2 = (241.441 - 248.985)^2 = (-7.544)^2$$

$$\hat{y}_8 = 0,9787 \times 206.052 - 0,6228 = 201.490$$

$$(y_8 - \hat{y}_8)^2 = (169.660 - 201.490)^2 = (-31.830)^2$$

$$\hat{y}_9 = 0,9787 \times 286.655 - 0,6228 = 280.306$$

$$(y_9 - \hat{y}_9)^2 = (253.780 - 280.306)^2 = (-26.526)^2$$

$$\hat{y}_{10} = 0,9787 \times 280.048 - 0,6228 = 273.836$$

$$(y_{10} - \hat{y}_{10})^2 = (264.611 - 273.836)^2 = (-9.225)^2$$

$$\hat{y}_{11} = 0,9787 \times 266.991 - 0,6228 = 261.051$$

$$(y_{11} - \hat{y}_{11})^2 = (305.980 - 261.051)^2 = (44.929)^2$$

$$\hat{y}_{12} = 0,9787 \times 291.551 - 0,6228 = 284.898$$

$$(y_{12} - \hat{y}_{12})^2 = (274.495 - 284.898)^2 = (-10.403)^2$$

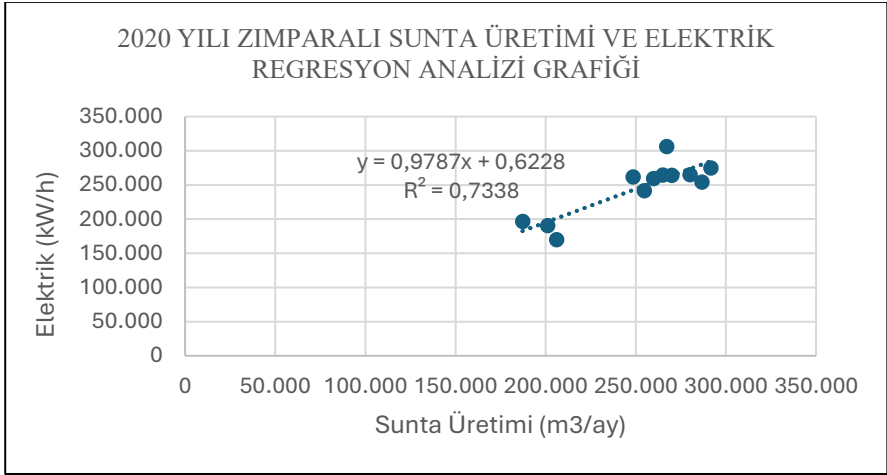
$$\begin{aligned} SSR = \sum_{i=1}^{12} & (5.241)^2 + (18.381)^2 + (-0,145)^2 + (-6.484)^2 \\ & + (13.516)^2 + (5.282)^2 \\ & + (-7.544)^2 + (-31.830)^2 + (-26.526)^2 + (-9.225)^2 \\ & + (44.929)^2 + (-10.403)^2 \end{aligned}$$

$$SSR = 4.608.926$$

$$R^2 = 1 - \frac{SSR}{SST}$$

$$R^2 = 1 - \frac{4.608.926}{17.309.911}$$

$$R^2 = 0,7338 \text{ (%73,38)}$$



Şekil 4: 2020 zımpara regresyon analizi grafiği

Şekil 4’de belirtilen grafik regresyon analizi sonucu çıkan R^2 değeri literatüre göre 0 ile 1 arasında olmalıdır. Bu analizden elde edilen sonuçlar, bağımsız değişken (Zımparalı Levha) ile bağımlı değişken (Elektrik tüketimi) arasında anlamlı bir ilişki olduğunu göstermektedir. R^2 değerinin 0,7337 olması, modelin bağımlı değişkeni açıklama gücünün orta-yüksek seviyede olduğunu göstermektedir. Zımparalı Levha ve Elektrik tüketimi arasında pozitif ve güçlü bir doğrusal ilişki olduğu anlaşılmaktadır. Bu, Zımparalı Levha değeri arttıkça Elektrik tüketiminin de arttığını göstermektedir.

Tablo 6: 2020 zımparalı levha üretim ve tüketim arz talep tablosu

Tarih	Zımparalı Levha (adet/ay)	Elektrik (kW/ay)	Beklenen Talep	Enerji Yoğunlu Endeksi (kWh)	Toplam Elektrik Enerji Farkı (kWh)
Ocak 2020	259.775	259.201	254.244	1,02	4.957,02
Şubat 2020	248.390	261.547	243.101	1,08	18.445,96
Mart 2020	269.869	263.660	264.123	1,00	-462,41
Nisan 2020	200.998	190.190	196.718	0,97	-6.527,70

Mayıs 2020	187.118	196.320	183.134	1,07	13.186,12
Haziran 2020	264.870	264.383	259.230	1,02	5.152,83
Temmuz 2020	254.658	241.441	249.236	0,97	-7.794,93
Ağustos 2020	206.052	169.660	201.664	0,84	-32.004,10
Eylül 2020	286.655	253.780	280.551	0,90	-26.771,03
Ekim 2020	280.048	264.611	274.085	0,97	-9.474,03
Kasım 2020	266.991	305.980	261.306	1,17	44.673,98
Aralık 2020	291.551	274.495	285.343	0,96	-10.848,12

Mart, Nisan, Temmuz, Ağustos, Eylül, Ekim, Aralık aylarında toplam elektrik enerjisi farkı negatif çıkmıştır. Bu durum elektrik tüketiminin beklenen elektrik tüketiminden az olduğunu göstermektedir. Bu aylarda enerji tüketiminin verimli kullanıldığı ifade edilmektedir. Tablo 6 bize aynı zamanda 1 yılın toplam enerji yoğunluğu endeksini kWh cinsinden tespit etmemize olanak sağlamıştır. Zımpara hattındaki 1 yıllık elektrik tüketimine bağlı olarak zımpara hattında zımparalanan yonga levhaların regresyon analizi yapılarak verimlilik hesapları yapılmıştır. Enerji tüketimini etkileyen bağımsız değişkenlerin tespitleri yapılmıştır. Değişkenin enerji tüketimi üzerindeki etkisi incelenmiştir. Tablo 6’da beklenen talep ve enerji yoğunluğu endeksleri verilen eşitlikler ile bulunmuştur.

2020 Yılıın Melamin 1 Regresyon Analizi

2020 yılında Melamin 1 hattında üretilen toplam melaminli levhanın tüketilen elektrik enerjisine göre regresyon analizi yapılmıştır. Bu analiz sonucunda beklenen enerji tüketimi talebi (kWh/ay), enerji yoğunluğu indeksi (kWh/ay), toplam elektrik enerjisi farkı (kWh) ve toplam elektrik enerjisi (kWh) hesaplanmıştır.

Tablo 7: 2020 melamin 1 üretim ve tüketim tablosu

Tarih	Melaminli (adet/ay)	Levha Elektrik (kW/ay)
Ocak 2020	112.729	124.491
Şubat 2020	115.634	131.447
Mart 2020	11.021	118.502
Nisan 2020	91.530	89.642
Mayıs 2020	33.155	56.386
Haziran 2020	119.945	145.232
Temmuz 2020	101.637	128.889
Ağustos 2020	33.669	70.827
Eylül 2020	130.171	140.212
Ekim 2020	120.015	138.814
Kasım 2020	111.403	179.677
Aralık 2020	117.687	122.212

$$SST = \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2$$

Denklem (2)'ye göre SST değeri hesaplanır.

$$\bar{y} = \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{n}$$

$$= (124.491 + 131.447 + 118.502 + 89.642 + 56.386 \\ + 145.232 + 128.889 + 70.827 + 140.212 \\ + 138.814 + 179.677 + 122.212)/12$$

= 113.110,92 olmaktadır.

$$SST = \sum_{i=1}^{12} (124.491 - 113.110,92)^2 + (131.447 - 113.110,92)^2 \\ + (118.502 - 113.110,92)^2 + (89.642 - 113.110,92)^2 \\ + (56.386 - 113.110,92)^2$$

$$+(145.232 - 113.110,92)^2 + (128.889 - 113.110,92)^2 \\ + (70.827 - 113.110,92)^2$$

$$+(140.212 - 113.110,92)^2 + (138.814 - 113.110,92)^2$$

$$+(179.677 - 113.110,92)^2 + (122.212 - 113.110,92)^2$$

SST = 13.242.621,82 değerine ulaşmıştır.

$$SSR = \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2$$

Denklem (3)'e göre SSR değeri hesaplanır.

Buradaki $\hat{y}_i$ tahmini değerler regresyon denklemi kullanılarak hesaplanır.

Doğrusal denklem aşağıdaki eşitlik ile bulunmaktadır.

$$a = \frac{\sum(x_i - \bar{x}) \times (y_i - \bar{y})}{\sum(x_i - \bar{x})^2}$$

$b = \bar{y} - a\bar{x}$ eşitliğinde bulunan b değeri yerine konularak aşağıdaki denklem elde edilmektedir.

$\hat{y} = 0,5613.x + 69.1426$ denklemi ile bulunmaktadır.

$$\hat{y}_1 = 0,5613 \times 112.729 + 69.142$$

$$(y_1 - \hat{y}_1)^2 = (124.491 - 132.415)^2 = (-7.924)^2$$

$$\hat{y}_2 = 0,5613 \times 115.634 + 69.142$$

$$(y_2 - \hat{y}_2)^2 = (131.447 - 134.046)^2 = (-2.599)^2$$

$$\hat{y}_3 = 0,5613 \times 11.021 + 69.142$$

$$(y_3 - \hat{y}_3)^2 = (118.502 - 75.328)^2 = (43.174)^2$$

$$\hat{y}_4 = 0,5613 \cdot 91.530 + 69.142$$

$$(y_4 - \hat{y}_4)^2 = (89.642 - 120.517)^2 = (-30.875)^2$$

$$\hat{y}_5 = 0,5613 \cdot 33.155 + 69.142$$

$$(y_5 - \hat{y}_5)^2 = (56.386 - 87.752)^2 = (-31.366)^2$$

$$\hat{y}_6 = 0,5613 \cdot 119.945 + 69.142$$

$$(y_6 - \hat{y}_6)^2 = (145.232 - 136.465)^2 = (8.767)^2$$

$$\hat{y}_7 = 0,5613 \cdot 101.637 + 69.142$$

$$(y_7 - \hat{y}_7)^2 = (128.889 - 126.189)^2 = (2.700)^2$$

$$\hat{y}_8 = 0,5613 \cdot 33.669 + 69.142$$

$$(y_8 - \hat{y}_8)^2 = (70.827 - 88.040)^2 = (-17.213)^2$$

$$\hat{y}_9 = 0,5613 \cdot 130.171 + 69.142$$

$$(y_9 - \hat{y}_9)^2 = (140.212 - 142.205)^2 = (-1.993)^2$$

$$\hat{y}_{10} = 0,5613 \cdot 120.015 + 69.142$$

$$(y_{10} - \hat{y}_{10})^2 = (138.814 - 136.505)^2 = (2.309)^2$$

$$\hat{y}_{11} = 0,5613 \cdot 111.403 + 69.142$$

$$(y_{11} - \hat{y}_{11})^2 = (179.677 - 131.671)^2 = (47.006)^2$$

$$\hat{y}_{12} = 0,5613 \cdot 117.687 + 69.142$$

$$(y_{12} - \hat{y}_{12})^2 = (122.212 - 135.198)^2 = (-12.986)^2$$

$$\begin{aligned} SSR = \sum_{i=1}^{12} & (-7,924)^2 + (-2.599)^2 + (43.174)^2 + (-30.875)^2 \\ & + (-31.366)^2 \end{aligned}$$

$$+(8.767)^2 + (2.700)^2 + (-17.213)^2 + (-1.993)^2 + (2.309)^2 + (47.006)^2$$

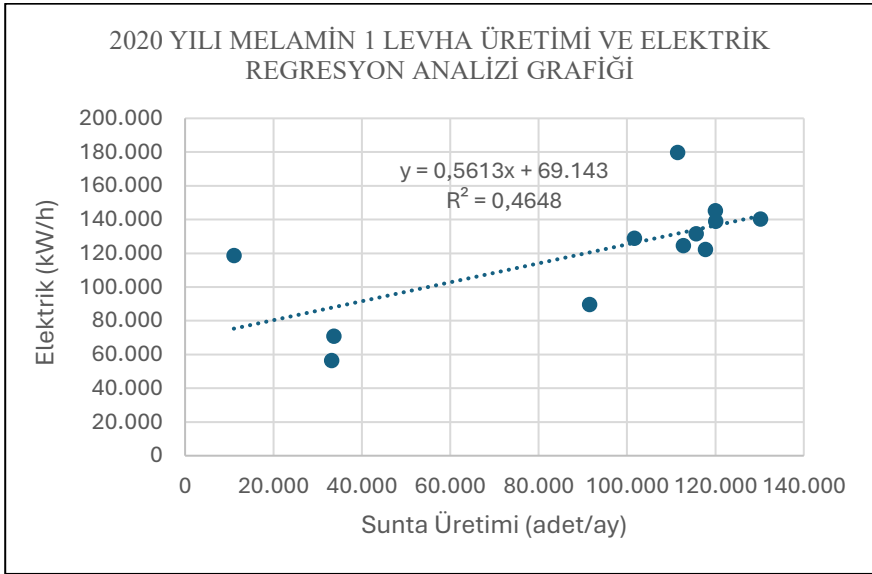
$$+(-12.986)^2$$

$$SSR = 6.638.623,16$$

$$R^2 = 1 - \frac{SSR}{SST}$$

$$R^2 = 1 - \frac{6.638.623,16}{13.242.621,82}$$

$$R^2 = 0,4648 \text{ (\%46,48)}$$



Şekil 5: 2020 melamin 1 regresyon analizi grafiği

Şekil 5'te belirtilen grafik regresyon analizi sonucu çıkan R^2 değeri literatüre göre 0 ile 1 arasında olmalıdır. $R^2 = 0,4648$ değeri, bağımlı değişken olan elektrik tüketiminin yaklaşık %46,48'i bağımsız değişken olan melaminli levha üretimi tarafından açıklandığını göstermektedir. R^2 değerinin 0,5'e yakın olması,

bağımlı ve bağımsız değişkenler arasında orta düzeyde bir ilişki olduğunu göstermektedir. Bu sonuç, elektrik tüketiminin bir kısmının melaminli levha üretiminden kaynaklandığını gösterdiği için, üretim miktarının enerji planlaması üzerindeki etkisini analiz etmekte kullanılabilir.

Tablo 8: 2020 melaminli levha üretim ve tüketim arz talep tablosu

Tarih	Melaminli Levha (adet/ay)	Elektrik (kW/ay)	Beklenen Talep	Enerji Yoğunlu Endeksi (kWh)	Toplam Elektrik Enerji FARKI (kWh)
Ocak 2020	112.729	124.491	132.415	0,94	-7.924,42
Şubat 2020	115.634	131.447	134.046	0,98	-2.598,61
Mart 2020	11.021	118.502	75.328	1,57	43.173,23
Nisan 2020	91.530	89.642	120.517	0,74	-30.874,52
Mayıs 2020	33.155	56.386	87.752	0,64	-31.365,47
Haziran 2020	119.945	145.232	136.465	1,06	8.766,72
Temmuz 2020	101.637	128.889	126.189	1,02	2.699,63
Ağustos 2020	33.669	70.827	88.040	0,80	-17.213,30
Eylül 2020	130.171	140.212	142.205	0,99	-1.992,93
Ekim 2020	120.015	138.814	136.505	1,02	2.309,76
Kasım 2020	111.403	179.677	131.671	1,36	48.006,17
Aralık 2020	117.687	122.212	135.198	0,90	-12.986,25

Ocak, Şubat, Nisan, Mayıs, Ağustos, Eylül ve Aralık aylarında toplam elektrik enerjisi farkı negatif çıkmıştır. Bu durum elektrik tüketiminin beklenen elektrik tüketiminden az olduğunu göstermektedir. Bu aylarda enerji tüketiminin verimli kullanıldığı ifade edilmektedir. Tablo 8 bize aynı zamanda 1 yılın toplam enerji yoğunluğu endeksini kWh cinsinden tespit etmemize olanak sağlamıştır. Melaminli yonga levha üretim hattındaki 1 yıllık elektrik tüketimine bağlı olarak melaminli yonga levhaların regresyon analizi yapılarak verimlilik hesapları yapılmıştır. Enerji tüketimini etkileyen bağımsız değişkenlerin tespitleri yapılmıştır. Değişkenin enerji tüketimi üzerindeki etkisi incelenmiş ve tablo olarak gösterilmiştir.

Tablo 8’de beklenen talep ve enerji yoğunluğu endeksleri verilen eşitlikler ile bulunmuştur.

2020 Yılıın Melamin 2 Regresyon Analizi

2020 yılında Melamin 2 hattında üretilen toplam melaminli levhanın tüketilen elektrik enerjisine göre regresyon analizi yapılmıştır. Bu analiz sonucunda beklenen enerji tüketimi talebi (kWh/ay), enerji yoğunluğu indeksi (kWh/ay), toplam elektrik enerjisi farkı (kWh) ve toplam elektrik enerjisi (kWh) hesaplanmıştır.

Tablo 9: 2020 melamin 2 üretim ve tüketim tablosu

Tarih	Melaminli Levha (Adet/Ay)	Elektrik (Kw/Ay)
Ocak 2020	121.545	126.991
Şubat 2020	119.785	133.997
Mart 2020	118.729	121.402
Nisan 2020	91.224	90.982
Mayıs 2020	78.050	92.296
Haziran 2020	124.811	147.472
Temmuz 2020	130.248	139.089
Ağustos 2020	69.309	95.237
Eylül 2020	133.762	141.472
Ekim 2020	125.682	139.994
Kasım 2020	125.652	181.707
Aralık 2020	128.512	123.782

$$SST = \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2$$

Denklem (2)’ye göre SST değeri hesaplanır.

$$\bar{y} = \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{n}$$

$$= (126.991 + 133.997 + 121.402 + 90.982 + 92.296 \\ + 147.472 + 139.089 \\ + 95.237 + 141.472 + 139.994 + 181.707 + 123.782)/12 \\ = 127.868,42 \text{ olmaktadır.}$$

$$SST = \sum_{i=1}^{12} (126.991 - 127.868,42)^2 + (133.997 - 127.868,42)^2 \\ + (121.402 - 127.868,42)^2 + (90.982 - 127.868,42)^2 \\ + (92.296 - 127.868,42)^2 \\ + (147.472 - 127.868,42)^2 + (139.089 - 127.868,42)^2 \\ + (95.237 - 127.868,42)^2 \\ + (141.472 - 127.868,42)^2 + (139.994 - 127.868,42)^2 \\ + (181.707 - 127.868,42)^2 + (123.782 - 127.868,42)^2 \\ SST = 7.528.534,06 \text{ değerine ulaşılmıştır.}$$

$$SSR = \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2$$

Denklem (3)'e göre SSR değeri hesaplanır.

Buradaki $\hat{y}_i$ tahmini değerler regresyon denklemi kullanılarak hesaplanır.

Doğrusal denklem aşağıdaki eşitlik ile bulunmaktadır.

$$a = \frac{\sum(x_i - \bar{x}) \times (y_i - \bar{y})}{\sum(x_i - \bar{x})^2}$$

$b = \bar{y} - a\bar{x}$ eşitliğinde bulunan b değeri yerine konularak aşağıdaki denklem elde edilmektedir.

$\hat{y} = 0,9561.x + 18,9260$ denklemi ile bulunmaktadır.

$$\hat{y}_1 = 0,9561 \times 121.545 + 18,9260$$

$$(y_1 - \hat{y}_1)^2 = (126.991 - 135.137,37)^2 = (-8.146,37)^2$$

$$\hat{y}_2 = 0,9561 \times 119.785 + 18,9260$$

$$(y_2 - \hat{y}_2)^2 = (133.997 - 133.454,61)^2 = (0,542,39)^2$$

$$\hat{y}_3 = 0,9561 \times 118.729 + 18,9260$$

$$(y_3 - \hat{y}_3)^2 = (121.402 - 132.444,38)^2 = (-11.042,38)^2$$

$$\hat{y}_4 = 0,9561 \times 91.224 + 18,9260$$

$$(y_4 - \hat{y}_4)^2 = (90.982 - 106.145,93)^2 = (-15.163,93)^2$$

$$\hat{y}_5 = 0,9561 \times 78.050 + 18,9260$$

$$(y_5 - \hat{y}_5)^2 = (92.296 - 93.550,91)^2 = (-1.254,91)^2$$

$$\hat{y}_6 = 0,9561 \times 124.811 + 18,9260$$

$$(y_6 - \hat{y}_6)^2 = (147.472 - 138.259,61)^2 = (9.212,39)^2$$

$$\hat{y}_7 = 0,9561 \times 130.248 + 18,9260$$

$$(y_7 - \hat{y}_7)^2 = (139.089 - 143.458,16)^2 = (-4.369,16)^2$$

$$\hat{y}_8 = 0,9561 \times 69.309 + 18,9260$$

$$(y_8 - \hat{y}_8)^2 = (95.237 - 85.192,79)^2 = (10.044,21)^2$$

$$\hat{y}_9 = 0,9561 \times 133.762 + 18,9260$$

$$(y_9 - \hat{y}_9)^2 = (141.472 - 146.818,45)^2 = (-5.346,45)^2$$

$$\hat{y}_{10} = 0,9561 \cdot 125.682 + 18,9260$$

$$(y_{10} - \hat{y}_{10})^2 = (139.994 - 139.092,39)^2 = (0.901,61)^2$$

$$\hat{y}_{11} = 0,9561 \cdot 125.652 + 18,9260$$

$$(y_{11} - \hat{y}_{11})^2 = (181.707 - 139.063,71)^2 = (42.643,29)^2$$

$$\hat{y}_{12} = 0,9561 \cdot 128.512 + 18,9260$$

$$(y_{12} - \hat{y}_{12})^2 = (123.782 - 141.798,39)^2 = (-18.016,39)^2$$

$$\begin{aligned} SSR = \sum_{i=1}^{12} & (-8.146,37)^2 + (0,542,39)^2 + (-11.042,38)^2 \\ & + (-15.163,93)^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & + (-1.254,91)^2 + (9.212,39)^2 + (-4.369,16)^2 + (10.044,21)^2 \\ & + (-5.346,45)^2 \end{aligned}$$

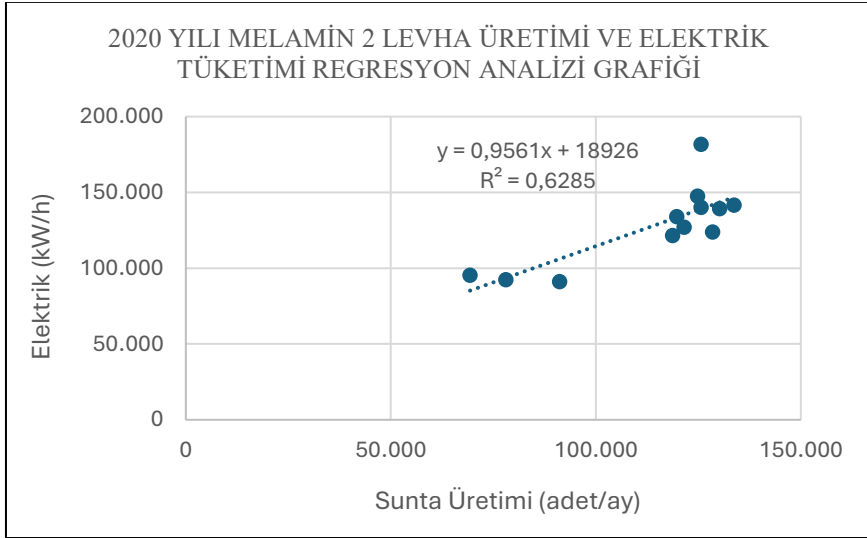
$$+ (0.901,61)^2 + (42.643,29)^2 + (-18.016,39)^2$$

$$SSR = 2.797.383,16$$

$$R^2 = 1 - \frac{SSR}{SST}$$

$$R^2 = 1 - \frac{2.797.383,16}{7.528.534,06}$$

$$R^2 = 0,6285 \text{ (%62,85)}$$



Şekil 6: 2020 melamin 2 regresyon analizi grafiği

Şekil 6’da belirtilen grafik regresyon analizi sonucu çıkan R^2 değeri literatüre göre 0 ile 1 arasında olmalıdır. Burada Bağımsız değişken olan melaminli levha üretimindeki her bir birimlik artışın, bağımlı değişken olan elektrik tüketimine 0,9561 birimlik bir artış sağladığını gösterir. Bu durum, elektrik tüketiminin üretim miktarına duyarlı olduğunu ve üretim arttıkça enerji tüketiminde anlamlı bir artış olduğunu ifade eder. Sabit olan değer 18,9260 ise üretim yapılmasa dahi, minimum elektrik tüketimini ifade eder. Tesisin sabit enerji ihtiyaçları (örneğin, makinelerin çalışma öncesi enerji kullanımı, tesisin temel enerji tüketimi) bu katsayı ile temsil edilmektedir. R^2 değerinin 0,50 ile 0,75 arasında olması, bağımsız değişken ile bağımlı değişken arasında orta derecede güçlü bir ilişkinin olduğunu gösterir. Bu, melaminli levha üretiminin elektrik tüketimini anlamlı şekilde etkilediğini göstermektedir.

Tablo 10: 2020 melaminli levha üretim ve tüketim arz talep tablosu

2

Tarih	Melaminli Levha (adet/ay)	Elektrik (kW/ay)	Beklenen Talep	Enerji Yoğunlu Endeksi (kWh)	Toplam Elektrik Enerji Farkı (kWh)
Ocak 2020	121.545	126.991	135.137	0,94	-8.146,67
Şubat 2020	119.785	133.997	133.455	1,00	542,43
Mart 2020	118.729	121.402	132.445	0,92	-11.043,25
Nisan 2020	91.224	90.982	106.147	0,86	-15.164,97
Mayıs 2020	78.050	92.296	93.551	0,99	-1.254,77
Haziran 2020	124.811	147.472	138.260	1,07	9.211,99
Temmuz 2020	130.248	139.089	143.458	0,97	-4.369,40
Ağustos 2020	69.309	95.237	85.194	1,12	10.043,30
Eylül 2020	133.762	141.472	146.818	0,96	-5.346,19
Ekim 2020	125.682	139.994	139.093	1,01	901,55
Kasım 2020	125.652	181.707	139.064	1,31	42.642,90
Aralık 2020	128.512	123.782	141.799	0,87	-18.016,92

Ocak, Şubat, Mart, Nisan, Mayıs, Temmuz, Eylül ve Aralık aylarında toplam elektrik enerjisi farkı negatif çıkmıştır. Bu durum elektrik tüketiminin beklenen elektrik tüketiminden az olduğunu göstermektedir. Bu aylarda enerji tüketiminin verimli kullanıldığı ifade edilmektedir. Tablo 10 bize aynı zamanda 1 yılın toplam enerji yoğunluğu endeksini kWh cinsinden tespit etmemize olanak sağlamıştır. Melaminli yonga levha üretim hattındaki 1 yıllık elektrik tüketimine bağlı olarak melaminli yonga levhaların regresyon analizi yapılarak verimlilik hesapları yapılmıştır. Enerji tüketimini etkileyen bağımsız değişkenlerin tespitleri yapılmıştır. Değişkenin enerji tüketimi üzerindeki etkisi incelenmiş ve tablo olarak gösterilmiştir.

Tablo 10' da beklenen talep ve enerji yoğunluğu endeksleri verilen eşitlikler ile bulunmuştur.

2022 Yılı Regresyon Analizleri

2022 Yılında Sunta Pres Regresyon Analizi

2022 yılında sunta pres hattında üretilen toplam suntanın tüketilen elektrik enerjisine göre regresyon analizi yapılmıştır. Bu analiz sonucunda beklenen enerji tüketimi talebi (kWh/ay), enerji yoğunluğu indeksi (kWh/ay), toplam elektrik enerjisi farkı (kWh) ve toplam elektrik enerjisi (kWh) hesaplanmıştır.

Tablo 11: 2022 yılının sunta pres üretim ve tüketim tablosu

Tarih	Pres Yonga Levha (m ³ /Ay)	Elektrik (Kw/Ay)
Ocak 2022	24.849	1.602.778
Şubat 2022	1.715	110.634
Mart 2022	25.012	1.625.056
Nisan 2022	854	55.110
Mayıs 2022	20.038	1.351.346
Haziran 2022	29.077	1.758.616
Temmuz 2022	25.001	1.581.163
Ağustos 2022	26.441	1.674.284
Eylül 2022	26.150	1.743.195
Ekim 2022	29.543	1.892.373
Kasım 2022	27.045	1.777.583
Aralık 2022	27.103	1.840.817

$$SST = \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2$$

Denklem (2)'ye göre SST değeri hesaplanır.

$$\begin{aligned}\bar{y} &= \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{n} \\ &= (1.602.778 + 110.634 + 1.625.056 + 55.110 + 1.351.346 \\ &\quad + 1.758.166 \\ &\quad + 1.581.163 + 1.674.284 + 1.743.195 + 1.892.373 + 1.777.583 \\ &\quad + 1.840.817)/12 \\ \bar{y} &= 1.509.375,42 \text{ olmaktadır.}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}SST &= \sum_{i=1}^{12} (93.402,58)^2 + (-1.398.741,42)^2 + (115.680,58)^2 \\ &\quad + (-1.454.265,42)^2 \\ &\quad + (-158.029,42)^2 + (248.790,58)^2 + (71.787,58)^2 \\ &\quad + (164.908,58)^2 \\ &\quad + (233.819,58)^2 + (382.997,58)^2 + (268.207,58)^2 \\ &\quad + (331.441,58)^2\end{aligned}$$

SST = 4.495.004.085.586,25 değerine ulaşmıştır.

$$SSR = \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2$$

Denklem (3)'e göre SSR değeri hesaplanır.

Buradaki $\hat{y}_i$ tahmini değerler regresyon denklemi kullanılarak hesaplanır.

Doğrusal denklem aşağıdaki eşitlik ile bulunmaktadır.

$$a = \frac{\sum(x_i - \bar{x}) \times (y_i - \bar{y})}{\sum(x_i - \bar{x})^2}$$

$b = \bar{y} - a\bar{x}$ eşitliğinde bulunan b değeri yerine konularak aşağıdaki denklem elde edilmektedir.

$\hat{y} = 64,1659 \cdot x + 12.325,31$ denklemi ile bulunmaktadır.

$$\hat{y}_1 = 64,1659 \times 24.849 + 12.325,31$$

$$(y_1 - \hat{y}_1)^2 = (1.602.778 - 1.604.783,34)^2 = (-2.005,34)^2$$

$$\hat{y}_2 = 64,1659 \times 1.715 + 12.325,31$$

$$(y_2 - \hat{y}_2)^2 = (110.634 - 122.369,57)^2 = (-11.735,57)^2$$

$$\hat{y}_3 = 64,1659 \times 25.012 + 12.325,31$$

$$(y_3 - \hat{y}_3)^2 = (1.625.056 - 1.617.243,38)^2 = (7.812,62)^2$$

$$\hat{y}_4 = 64,1659 \cdot 854 + 12.325,31$$

$$(y_4 - \hat{y}_4)^2 = (55.110 - 67.122,41)^2 = (-12.012,41)^2$$

$$\hat{y}_5 = 64,1659 \cdot 20.038 + 12.325,31$$

$$(y_5 - \hat{y}_5)^2 = (1.351.346 - 1.299.081,38)^2 = (52.264,62)^2$$

$$\hat{y}_6 = 64,1659 \cdot 29.077 + 12.325,31$$

$$(y_6 - \hat{y}_6)^2 = (1.758.166 - 1.878.076,54)^2 = (-119.910,54)^2$$

$$\hat{y}_7 = 64,1659 \cdot 25.001 + 12.325,31$$

$$(y_7 - \hat{y}_7)^2 = (1.581.163 - 1.617.181,98)^2 = (-36.018,98)^2$$

$$\hat{y}_8 = 64,1659 \cdot 26.441 + 12.325,31$$

$$(y_8 - \hat{y}_8)^2 = (1.674.284 - 1.708.461,79)^2 = (-34.177,79)^2$$

$$\hat{y}_9 = 64,1659 \cdot 26.150 + 12.325,31$$

$$(y_9 - \hat{y}_9)^2 = (1.743.195 - 1.690.421,11)^2 = (52.773,89)^2$$

$$\hat{y}_{10} = 64,1659 \cdot 29.543 + 12.325,31$$

$$(y_{10} - \hat{y}_{10})^2 = (1.892.373 - 1.908.754,00)^2 = (-16.381,00)^2$$

$$\hat{y}_{11} = 64,1659 \cdot 27.045 + 12.325,31$$

$$(y_{11} - \hat{y}_{11})^2 = (1.777.583 - 1.745.861,48)^2 = (31.721,52)^2$$

$$\hat{y}_{12} = 64,1659 \cdot 27.103 + 12.325,31$$

$$(y_{12} - \hat{y}_{12})^2 = (1.840.817 - 1.749.649,99)^2 = (91.167,01)^2$$

$$SSR = \sum_{i=1}^{12} (-2.005,34)^2 + (-11.735,57)^2 + (7.812,62)^2$$

$$+ (-12.012,41)^2$$

$$+ (52.264,62)^2 + (-119.910,54)^2 + (-36.018,98)^2$$

$$+ (-34.177,79)^2$$

$$+ (52.773,89)^2 + (-16.381,00)^2 + (31.721,52)^2$$

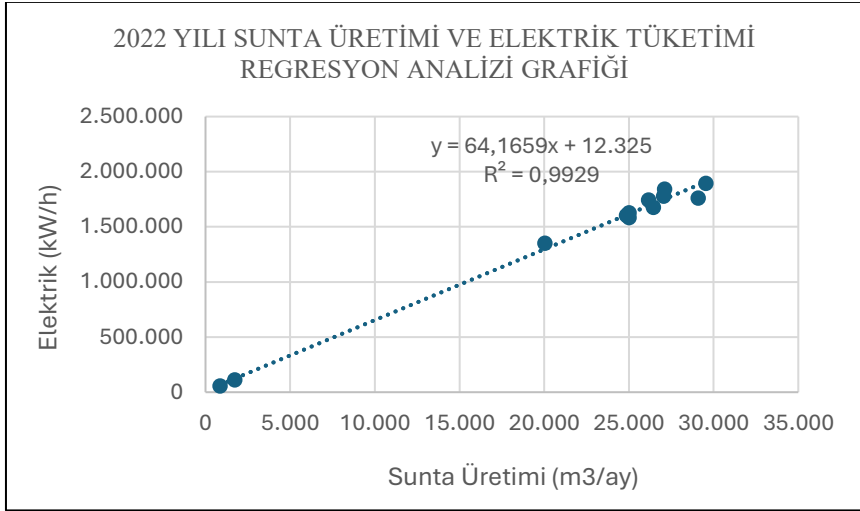
$$+ (91.167,01)^2$$

$$SSR = 31.958.673.960,24$$

$$R^2 = 1 - \frac{SSR}{SST}$$

$$R^2 = 1 - \frac{31.958.673.960,24}{4.495.004.085.586,25}$$

$$R^2 = 0,9929(\%99,29) \text{ olmaktadır.}$$



Şekil 7: 2022 Sunta pres regresyon analizi grafiği

Şekil 7’de belirtilen grafik regresyon analizi sonucu çıkan R^2 değeri literatüre göre 0 ile 1 arasında olmalıdır. Eğim katsayısı, bağımsız değişkenin bağımlı değişken üzerindeki etkisini göstermektedir. Bu durumda, Pres Yonga Levha üretim miktarındaki her bir birimlik artışın elektrik tüketiminde ortalama 64,1659 kWh’lik bir artışa neden olduğunu ifade eder. Bu katsayı, üretim miktarının elektrik tüketimi üzerinde önemli bir etkisi olduğunu ve artan üretimin enerji talebini doğrudan artırdığını göstermektedir. Sabit terim, üretim yapılmaya bile minimum elektrik tüketimini ifade etmektedir. Bu değer, tesisin sabit enerji ihtiyaçlarını temsil etmektedir. R^2 , modelin bağımlı değişkenin toplam varyansını ne kadar iyi açıkladığını gösteren bir istatistiktir. Bu değer, elektrik tüketimindeki toplam değişimin %99,29’unun Pres Yonga Levha üretim miktarı tarafından açıklandığını ifade etmektedir. Kalan %0,71’lik varyans ise modele dahil edilmeyen diğer faktörlerden (örneğin, dış çevre koşulları, makinelerin verimliliği, üretim hattında kullanılan teknolojik farklılıklar vb.) kaynaklanmaktadır. Bu sonuç, bağımsız değişken (x) ile bağımlı değişken (y) arasında oldukça güçlü bir doğrusal ilişki olduğunu göstermektedir. Bu regresyon modeli, elektrik tüketimini tahmin etmek ve analiz etmek için

oldukça uygun bir araç olarak değerlendirilmeli ve bu durumu göstermektedir.

Tablo 12: 2022 sunta üretim ve tüketim arz talep tablosu

Tarih	Pres Yonga Levha (m ³ /ay)	Elektrik (KW/Ay)	Beklenen Talep	Enerji Yoğunlu Endeksi (KWh)	Toplam Elektrik Enerji Farkı (KWh)
Ocak 2022	24.849	1.602.778	1.606.831	1,00	-4.052,59
Şubat 2022	1.715	110.634	122.347	0,90	-11.713,17
Mart 2022	25.012	1.625.056	1.617.290	1,00	7.766,21
Nisan 2022	854	55.110	67.098	0,82	-11.987,88
Mayıs 2022	20.038	1.351.346	1.298.114	1,04	53.232,06
Haziran 2022	29.077	1.758.616	1.878.137	0,94	-119.520,36
Temmuz 2022	25.001	1.581.163	1.616.584	0,98	-35.421,45
Ağustos 2022	26.441	1.674.284	1.708.987	0,98	-34.703,82
Eylül 2022	26.150	1.743.195	1.690.314	1,03	52.880,40
Ekim 2022	29.543	1.892.373	1.908.039	0,99	-15.666,30
Kasım 2022	27.045	1.777.583	1.747.746	1,02	29.837,13
Aralık 2022	27.103	1.840.817	1.751.467	1,05	89.349,77

Ocak, Şubat, Nisan, Haziran, Temmuz, Ağustos ve Ekim aylarında toplam elektrik enerjisi farkı negatif çıkmıştır. Bu durum elektrik tüketiminin beklenen elektrik tüketiminden az olduğunu göstermektedir. Bu aylarda enerji tüketiminin verimli kullanıldığı ifade edilmektedir. Tablo 12 bize aynı zamanda 1 yılın toplam enerji

yoğunluğu endeksini kWh cinsinden tespit etmemize olanak sağlamıştır. Sunta pres yonga levha üretim hattındaki 1 yıllık elektrik tüketimine bağlı olarak yonga levhaların regresyon analizi yapılarak verimlilik hesapları yapılmıştır. Enerji tüketimini etkileyen bağımsız değişkenlerin tespitleri yapılmıştır. Değişkenin enerji tüketimi üzerindeki etkisi incelenmiş ve tablo olarak gösterilmiştir.

Tablo 12’de beklenen talep ve enerji yoğunluğu endeksleri verilen eşitlikler ile bulunmuştur.

2022 Yılıın Zımpara Regresyon Analizi

2022 yılında zımpara hattında zımparalanan zımparalı levhaların tüketilen elektrik enerjisine göre regresyon analizi yapılmıştır. Bu analiz sonucunda beklenen enerji tüketimi talebi (kWh/ay), enerji yoğunluğu indeksi (kWh/ay), toplam elektrik enerjisi farkı (kWh) ve toplam elektrik enerjisi (kWh) hesaplanmıştır.

Tablo 13: 2022 yılı zımpara üretim ve tüketim tablosu

Tarih	Zımparalı Yonga Levha (Adet/Ay)	Elektrik (KW/Ay)
Ocak 2022	221.984	216.319
Şubat 2022	3.004	4.366
Mart 2022	7.123	6.376
Nisan 2022	112.602	125.580
Mayıs 2022	149.859	179.810
Haziran 2022	260.380	153.070
Temmuz 2022	217.805	167.750
Ağustos 2022	236.422	167.030
Eylül 2022	240.615	179.320
Ekim 2022	257.649	185.510
Kasım 2022	257.562	191.950
Aralık 2022	222.971	172.430

$$SST = \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2$$

Denklem (2)’ye göre SST değeri hesaplanır.

$$\begin{aligned}\bar{y} &= \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{n} \\ &= (216.319 + 4.366 + 6.376 + 125.580 + 179.810 + 153.070 \\ &\quad + 167.750 \\ &\quad + 167.030 + 179.320 + 185.510 + 191.950 + 172.430)/12 \\ &= 145.792,58 \text{ olmaktadır.}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}SST &= \sum_{i=1}^{12} (78.859,75)^2 + (-133.093,25)^2 + (-131.083,25)^2 \\ &\quad + (-11.879,25)^2 \\ &\quad + (42.350,75)^2 + (15.610,75)^2 + (30.290,75)^2 + (29.570,75)^2 \\ &\quad + (41.860,75)^2 \\ &\quad + (48.050,75)^2 + (54.490,75)^2 + (34.970,75)^2 \\ SST &= 52.505.907.532,92 \text{ değerine ulaşılmıştır.}\end{aligned}$$

$$SSR = \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2$$

Denklem (3)'e göre SSR değeri hesaplanır.

Buradaki $\hat{y}_i$ tahmini değerler regresyon denklemi kullanılarak hesaplanır.

Doğrusal denklem aşağıdaki eşitlik ile bulunmaktadır.

$$a = \frac{\sum (x_i - \bar{x}) \times (y_i - \bar{y})}{\sum (x_i - \bar{x})^2}$$

$b = \bar{y} - a\bar{x}$ eşitliğinde bulunan b değeri yerine konularak aşağıdaki denklem elde edilmektedir.

$\hat{y} = 0,6689 \cdot x + 23.828,3523$ denklemi ile bulunmaktadır.

$$\hat{y}_1 = 0,6689 \times 221.984 + 23.828,3523$$

$$(y_1 - \hat{y}_1)^2 = (216.319 - 172.316,8619)^2 = (44.002,1381)^2$$

$$\hat{y}_2 = 0,6689 \times 3.004 + 23.828,3523$$

$$(y_2 - \hat{y}_2)^2 = (4.366 - 25.837,7740)^2 = (-21.471,7740)^2$$

$$\hat{y}_3 = 0,6689 \times 7.123 + 23.828,3523$$

$$(y_3 - \hat{y}_3)^2 = (6.376 - 28.593,0370)^2 = (-22.217,0370)^2$$

$$\hat{y}_4 = 0,6689 \times 112.602 + 23.828,3523$$

$$(y_4 - \hat{y}_4)^2 = (125.580 - 99.149,5591)^2 = (26.430,4409)^2$$

$$\hat{y}_5 = 0,6689 \times 149.859 + 23.828,3523$$

$$(y_5 - \hat{y}_5)^2 = (179.810 - 124.071,3384)^2 = (55.738,6616)^2$$

$$\hat{y}_6 = 0,6689 \times 260.380 + 23.828,3523$$

$$(y_6 - \hat{y}_6)^2 = (153.070 - 198.000,5339)^2 = (-44.930,5339)^2$$

$$\hat{y}_7 = 0,6689 \times 217.805 + 23.828,3523$$

$$(y_7 - \hat{y}_7)^2 = (167.750 - 169.521,4618)^2 = (-1.771,4618)^2$$

$$\hat{y}_8 = 0,6689 \times 236.422 + 23.828,3523$$

$$(y_8 - \hat{y}_8)^2 = (167.030 - 181.974,6592)^2 = (-14.944,6592)^2$$

$$\hat{y}_9 = 0,6689 \times 236.422 + 23.828,3523$$

$$(y_9 - \hat{y}_9)^2 = (179.320 - 184.779,4232)^2 = (-5.459,4232)^2$$

$$\hat{y}_{10} = 0,6689 \times 257.649 + 23.828,3523$$

$$(y_{10} - \hat{y}_{10})^2 = (185.510 - 196.173,7268)^2 = (-10.663,7268)^2$$

$$\hat{y}_{11} = 0,6689 \times 257.562 + 23.828,3523$$

$$(y_{11} - \hat{y}_{11})^2 = (191.950 - 196.115,5321)^2 = (-4.165,5321)^2$$

$$\hat{y}_{12} = 0,6689 \times 222.971 + 23.828,3523$$

$$(y_{12} - \hat{y}_{12})^2 = (172.430 - 172.977,0785)^2 = (-0.547,0785)^2$$

$$\begin{aligned} SSR = \sum_{i=1}^{12} & (44.002,1381)^2 + (-21.471,7740)^2 \\ & + (-22.217,0370)^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & + (26.430,4409)^2 + (55.738,6616)^2 + (-44.930,5339)^2 \\ & + (-1.771,4618)^2 \end{aligned}$$

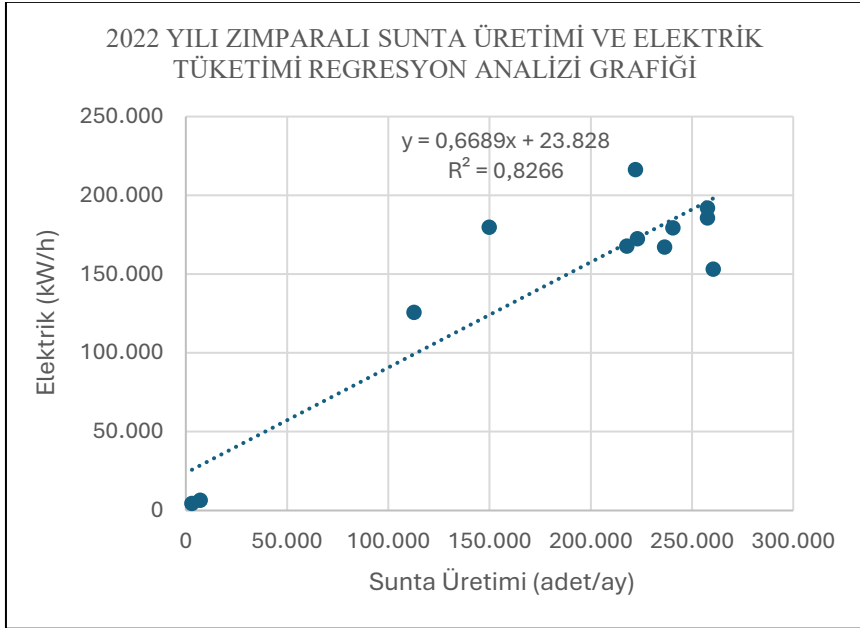
$$\begin{aligned} & + (-14.944,6592)^2 + (-5.459,4232)^2 + (-10.663,7268)^2 \\ & + (-4.165,5321)^2 \end{aligned}$$

$$+ (-0.547,0785)^2$$

$$SSR = 9.102.593.691,14$$

$$R^2 = 1 - \frac{9.102.593.691,14}{52.505.907.532,92}$$

$$R^2 = 0,8266 \text{ (%82,66)}$$



Şekil 8: 2022 Zımpara regresyon analizi grafiği

Şekil 8’de belirtilen grafik regresyon analizi sonucu çıkan R^2 değeri literatüre göre 0 ile 1 arasında olmalıdır. Pres Zımparalı levha üretim miktarı, elektrik tüketimindeki değişimin %82,66’lık kısmını açıklamaktadır. Eğim katsayısı, bağımsız değişken olan üretim miktarındaki her bir birimlik artışın bağımlı değişken üzerindeki etkisini göstermektedir. Bu durumda, Pres Zımparalı Levha üretim miktarında her bir birimlik artışın elektrik tüketiminde ortalama 0,6689 kWh artışa neden olduğu görülmektedir. Bu katsayı, üretim ile enerji tüketimi arasındaki doğrusal ilişkinin bir göstergesidir ve üretim miktarının enerji talebi üzerinde doğrudan bir etkisi olduğunu göstermektedir.

Tablo 14: 2022 Zımparalı levha üretim ve tüketim arz talep tablosu

Tarih	Zımparalı Levha (Adet/Ay)	Elektrik (kW/Ay)	Beklenen Talep	Enerji Yoğunlu Endeksi (kWh)	Toplam Elektrik Enerji Farkı (KWh)
Ocak 2022	221.984	216.319	172.317	1,26	44.002,14
Şubat 2022	3.004	4.366	25.838	0,17	- 21.471,74
Mart 2022	7.123	6.376	28.593	0,22	- 22.217,08
Nisan 2022	112.602	125.580	99.150	1,27	26.430,46
Mayıs 2022	149.859	179.810	124.071	1,45	55.738,67
Haziran 2022	260.380	153.070	198.001	0,77	- 44.930,54
Temmuz 2022	217.805	167.750	169.521	0,99	-1.771,46
Ağustos 2022	236.422	167.030	181.975	0,92	- 14.944,66
Eylül 2022	240.615	179.320	184.779	0,97	-5.459,43
Ekim 2022	257.649	185.510	196.174	0,95	- 10.663,73
Kasım 2022	257.562	191.950	196.116	0,98	-4.165,54
Aralık 2022	222.971	172.430	172.977	1,00	-547,08

Şubat, Mart, Haziran, Temmuz, Ağustos, Eylül, Ekim, Kasım ve Aralık aylarında toplam elektrik enerjisi farkı negatif çıkmıştır. Bu durum elektrik tüketiminin beklenen elektrik tüketiminden az olduğunu göstermektedir. Bu aylarda enerji tüketiminin verimli kullanıldığı ifade edilmektedir. Tablo 14 bize aynı zamanda 1 yılın toplam enerji yoğunluğu endeksini kWh cinsinden tespit etmemize olanak sağlamıştır. Zımpara hattındaki 1 yıllık elektrik tüketimine bağlı olarak zımpara hattında zımparalanan yonga levhaların regresyon analizi yapılarak verimlilik hesapları yapılmıştır. Enerji tüketimini etkileyen bağımsız değişkenlerin tespitleri yapılmıştır. Değişkenin enerji tüketimi üzerindeki etkisi incelenmiştir.

Tablo 14’ de beklenen talep ve enerji yoğunluğu endeksleri verilen eşitlikler ile bulunmuştur.

2022 Yılıının Melamin 1 Regresyon Analizi

2022 yılında Melamin 1 hattında üretilen toplam melaminli levhanın tüketilen elektrik enerjisine göre regresyon analizi yapılmıştır. Bu analiz sonucunda beklenen enerji tüketimi talebi (kWh/ay), enerji yoğunluğu indeksi (kWh/ay), toplam elektrik enerjisi farkı (kWh) ve toplam elektrik enerjisi (kWh) hesaplanmıştır.

Tablo 15: 2022 melamin 1 üretim ve tüketim tablosu

Tarih	Melaminli Levha (adet/ay)	Elektrik (kW/ay)
Ocak 2022	85.328	113.651
Şubat 2022	21.814	29.078
Mart 2022	117.740	98.520
Nisan 2022	36.058	49.714
Mayıs 2022	49.515	71.330
Haziran 2022	111.206	128.877
Temmuz 2022	105.400	115.213
Ağustos 2022	82.433	125.607
Eylül 2022	51.067	128.790
Ekim 2022	104.668	121.578
Kasım 2022	104.977	110.155
Aralık 2022	103.778	111.010

$$SST = \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2$$

Denklem (2)'ye göre SST değeri hesaplanır.

$$\bar{y} = \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{n}$$

$$= (113.651 + 29.078 + 98.520 + 49.714 + 71.330 + 128.877 \\ + 115.213 + 125.607 + 128.790 + 121.578 \\ + 110.155 + 111.010)/12$$

$\bar{y} = 100.293,58$ olmaktadır.

$$SST = \sum_{i=1}^{12} (13.357,42)^2 + (-71.215,58)^2 + (-1.773,58)^2 \\ + (-50.579,58)^2$$

$$+ (-28.963,58)^2 + (28.583,42)^2 + (14.919,42)^2 \\ + (25.313,42)^2 + (28.496,42)^2$$

$$+ (21.284,42)^2 + (9.861,42)^2 + (10.716,42)^2$$

$SST = 11.807.939.942,92$ olmaktadır.

$$SSR = \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2$$

Denklem (3)'e göre SSR değeri hesaplanır.

Buradaki $\hat{y}_i$ tahmini değerler regresyon denklemi kullanılarak hesaplanır.

Doğrusal denklem aşağıdaki eşitlik ile bulunmaktadır.

$$a = \frac{\sum (x_i - \bar{x}) \times (y_i - \bar{y})}{\sum (x_i - \bar{x})^2}$$

$b = \bar{y} - a\bar{x}$ eşitliğinde bulunan b değeri yerine konularak aşağıdaki denklem elde edilmektedir.

$\hat{y} = 0,7359 \cdot x + 40.566,8969$ denklemi ile bulunmaktadır.

$$\hat{y}_1 = 0,7359 \times 85.328 + 40.566,8969$$

$$(y_1 - \hat{y}_1)^2 = (113.651 - 103.356,7419)^2 = (10.294,2581)^2$$

$$\hat{y}_2 = 0,7359 \times 21.814 + 40.566,8969$$

$$(y_2 - \hat{y}_2)^2 = (29.078 - 56.619,0449)^2 = (-27.541,0449)^2$$

$$\hat{y}_3 = 0,7359 \times 117.740 + 40.566,8969$$

$$(y_3 - \hat{y}_3)^2 = (98.520 - 127.207,5817)^2 = (-28.687,5817)^2$$

$$\hat{y}_4 = 0,7359 \times 36.058 + 40.566,8969$$

$$(y_4 - \hat{y}_4)^2 = (49.714 - 67.100,6986)^2 = (-17.386,6986)^2$$

$$\hat{y}_5 = 0,7359 \times 49.515 + 40.566,8969$$

$$(y_5 - \hat{y}_5)^2 = (71.330 - 77.003,2270)^2 = (-5.673,2270)^2$$

$$\hat{y}_6 = 0,7359 \times 111.206 + 40.566,8969$$

$$(y_6 - \hat{y}_6)^2 = (128.877 - 122.399,4431)^2 = (6.477,5569)^2$$

$$\hat{y}_7 = 0,7359 \times 105.400 + 40.566,8969$$

$$(y_7 - \hat{y}_7)^2 = (115.213 - 118.127,0139)^2 = (-2.914,0139)^2$$

$$\hat{y}_8 = 0,7359 \times 82.433 + 40.566,8969$$

$$(y_8 - \hat{y}_8)^2 = (125.607 - 101.226,4142)^2 = (24.380,5858)^2$$

$$\hat{y}_9 = 0,7359 \times 51.067 + 40.566,8969$$

$$(y_9 - \hat{y}_9)^2 = (128.790 - 78.145,2887)^2 = (50.644,7113)^2$$

$$\hat{y}_{10} = 0,7359 \times 104.668 + 40.566,8969$$

$$(y_{10} - \hat{y}_{10})^2 = (121.578 - 117.588,3611)^2 = (989,6389)^2$$

$$\hat{y}_{11} = 0,7359 \times 104.977 + 40.566,8969$$

$$(y_{11} - \hat{y}_{11})^2 = (110.155 - 117.815,7432)^2 = (-7.660,7432)^2$$

$$\hat{y}_{12} = 0,7359 \times 103.778 + 40.566,8969$$

$$(y_{12} - \hat{y}_{12})^2 = (111.010 - 116.933,4417)^2 = (-5.923,4417)^2$$

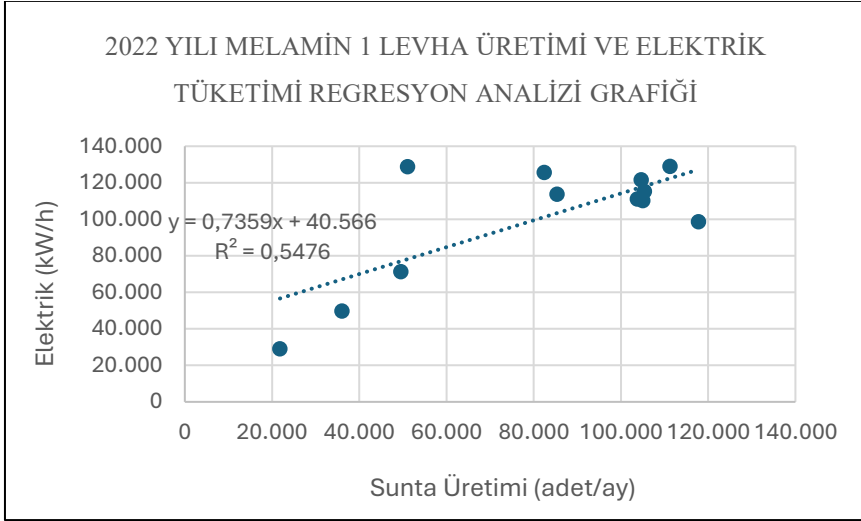
$$\begin{aligned} SSR = \sum_{i=1}^{12} & (10.294,2581)^2 + (-27.541,0449)^2 \\ & + (-28.687,5817)^2 \\ & + (-17.386,6986)^2 + (-5.673,2270)^2 + (6.477,5569)^2 \\ & + (-2.914,0139)^2 \\ & + (24.380,5858)^2 + (50.644,7113)^2 + (3.989,6389)^2 \\ & + (-7.660,7432)^2 \\ & + (-5.923,4417)^2 \end{aligned}$$

$$SSR = 5.341.382.369,54$$

$$R^2 = 1 - \frac{SSR}{SST}$$

$$R^2 = 1 - \frac{5.341.382.369,54}{11.807.939.942,92}$$

$$R^2 = 0,5476(54,76\%)$$



Şekil 9: 2022 melamin 1 regresyon analizi grafiği

Şekil 9’da belirtilen grafik regresyon analizi sonucu çıkan R^2 değeri literatüre göre 0 ile 1 arasında olmalıdır. Eğim katsayısı, bağımsız değişken olan üretim miktarındaki her bir birimlik artışın bağımlı değişken üzerindeki etkisini göstermektedir. Bu durumda, melaminli levha üretim miktarındaki her bir birimlik artışın elektrik tüketiminde ortalama 0,7359 kWh artışa neden olduğu ifade edilmektedir. Bu katsayı, üretim miktarı ile enerji tüketimi arasında pozitif bir ilişki olduğunu göstermektedir. Üretim arttıkça enerji tüketimi de doğrudan artış göstermektedir.

Sabit terim, üretim yapılmasa bile elektrik tüketiminin minimum seviyesini ifade eder. Bu durumda, üretim yapılmasa bile tesisin elektrik tüketimi 40.566,90 kWh olacaktır. Bu değer, üretim dışındaki faaliyetlerin enerji tüketiminde nasıl bir payı olduğunu ortaya koymaktadır. Bu sonuç, bağımsız değişken ile bağımlı değişken arasında orta düzeyde bir doğrusal ilişki olduğunu göstermektedir.

Tablo 16: 2022 melamin 1 üretim ve tüketim tablosu

Tarih	Melaminli Levha (Adet/Ay)	Elektrik (KW/Ay)	Beklenen Talep	Enerji Yoğunlu Endeksi (KWh)	Toplam Elektrik Enerji Farkı (KWh)
Ocak 2022	85.328	113.651	103.357	1,10	10.294,26
Şubat 2022	21.814	29.078	56.619	0,51	-27.541,02
Mart 2022	117.740	98.520	127.208	0,77	-28.687,60
Nisan 2022	36.058	49.714	67.101	0,74	-17.386,68
Mayıs 2022	49.515	71.330	77.003	0,93	-5.673,21
Haziran 2022	111.206	128.877	122.399	1,05	6.477,21
Temmuz 2022	105.400	115.213	118.127	0,98	-2.913,69
Ağustos 2022	82.433	125.607	101.226	1,24	24.380,25
Eylül 2022	51.067	128.790	78.145	1,65	50.644,73
Ekim 2020	104.668	121.578	117.588	1,03	3.989,96
Kasım 2022	104.977	110.155	117.816	0,93	-7.660,75
Aralık 2022	103.778	111.010	116.933	0,95	-5.923,45

Şubat, Mart, Nisan, Mayıs, Temmuz, Kasım ve Aralık aylarında toplam elektrik enerjisi farkı negatif çıkmıştır. Bu durum elektrik tüketiminin beklenen elektrik tüketiminden az olduğunu göstermektedir. Bu aylarda enerji tüketiminin verimli kullanıldığı ifade edilmektedir. Tablo 16 bize aynı zamanda 1 yılın toplam enerji yoğunluğu endeksini kWh cinsinden tespit etmemize olanak sağlamıştır. Melaminli yonga levha üretim hattındaki 1 yıllık elektrik tüketimine bağlı olarak melaminli yonga levhaların regresyon analizi yapılarak verimlilik hesapları yapılmıştır. Enerji tüketimini etkileyen bağımsız değişkenlerin tespitleri yapılmıştır. Değişkenin enerji tüketimi üzerindeki etkisi incelenmiş ve tablo olarak gösterilmiştir.

Tablo 16’da beklenen talep ve enerji yoğunluğu endeksleri verilen eşitlikler ile bulunmuştur.

2022 Yılıının Melamin 2 Regresyon Analizi

2022 yılında Melamin 2 hattında üretilen toplam melaminli levhanın tüketilen elektrik enerjisine göre regresyon analizi yapılmıştır. Bu analiz sonucunda beklenen enerji tüketimi talebi (kWh/ay), enerji yoğunluğu indeksi (kWh/ay), toplam elektrik enerjisi farkı (kWh) ve toplam elektrik enerjisi (kWh) hesaplanmıştır.

Tablo 17: 2022 melamin 2 üretim ve tüketim tablosu

Tarih	Melaminli Levha (Adet/Ay)	Elektrik (Kw/Ay)
Ocak 2022	117.819	127.091
Şubat 2022	34.821	32.938
Mart 2022	45.427	57.660
Nisan 2022	21.869	25.437
Mayıs 2022	65.205	59.090
Haziran 2022	125.933	121.267
Temmuz 2022	117.233	109.403
Ağustos 2022	125.049	100.357
Eylül 2022	139.304	74.070
Ekim 2022	120.845	112.358
Kasım 2022	107.736	105.855
Aralık 2022	108.848	106.750

$$SST = \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2$$

Denklem (2)'ye göre SST değeri hesaplanır.

$$\bar{y} = \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{n}$$

$$= (127.091 + 32.938 + 57.660 + 25.437 + 59.090 + 121.267 \\ + 109.403 + 120.443 + 74.070 + 112.358 \\ + 105.855 + 106.750)/12$$

$\bar{y} = 87.696,83$ olmaktadır.

$$SST = \sum_{i=1}^{12} (39.394,17)^2 + (-54.758,83)^2 + (-30.036,83)^2 \\ + (-62.259,83)^2 \\ + (-28.606,83)^2 + (33.570,17)^2 + (21.706,17)^2 \\ + (32.746,17)^2 + (-13.626,83)^2 \\ + (24.661,17)^2 + (18.158,17)^2 + (19.053,17)^2$$

$SST = 14.304.310.409,67$ olmaktadır.

$$SSR = \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2$$

Denklem (3)'e göre SSR değeri hesaplanır.

Buradaki $\hat{y}_i$ tahmini değerler regresyon denklemi kullanılarak hesaplanır.

Doğrusal denklem aşağıdaki eşitlik ile bulunmaktadır.

$$a = \frac{\sum (x_i - \bar{x}) \times (y_i - \bar{y})}{\sum (x_i - \bar{x})^2}$$

$b = \bar{y} - a\bar{x}$ eşitliğinde bulunan b değeri yerine konularak aşağıdaki denklem elde edilmektedir.

$\hat{y} = 0,7772 \cdot x + 14.512,7732$ denklemi ile bulunmaktadır.

$$\hat{y}_1 = 0,7772 \times 117.819 + 14.512,7732$$

$$(y_1 - \hat{y}_1)^2 = (127.091 - 106.066,7920)^2 = (21.024,2080)^2$$

$$\hat{y}_2 = 0,7772 \times 34.821 + 14.512,7732$$

$$(y_2 - \hat{y}_2)^2 = (32.938 - 41.572,0694)^2 = (-8.634,0694)^2$$

$$\hat{y}_3 = 0,7772 \times 45.427 + 14.512,7732$$

$$(y_3 - \hat{y}_3)^2 = (57.660 - 49.819,8876)^2 = (7.840,1124)^2$$

$$\hat{y}_4 = 0,7772 \times 21.869 + 14.512,7732$$

$$(y_4 - \hat{y}_4)^2 = (25.437 - 31.507,8000)^2 = (-6.070,8000)^2$$

$$\hat{y}_5 = 0,7772 \times 65.025 + 14.512,7732$$

$$(y_5 - \hat{y}_5)^2 = (59.090 - 65.023,3262)^2 = (-5.933,3262)^2$$

$$\hat{y}_6 = 0,7772 \times 125.933 + 14.512,7732$$

$$(y_6 - \hat{y}_6)^2 = (121.267 - 112.358,5608)^2 = (8.908,4392)^2$$

$$\hat{y}_7 = 0,7772 \times 117.233 + 14.512,7732$$

$$(y_7 - \hat{y}_7)^2 = (109.403 - 105.511,8408)^2 = (891,1592)^2$$

$$\hat{y}_8 = 0,7772 \times 125.049 + 14.512,7732$$

$$(y_8 - \hat{y}_8)^2 = (120.443 - 111.723,7160)^2 = (8.719,2840)^2$$

$$\hat{y}_9 = 0,7772 \times 139.304 + 14.512,7732$$

$$(y_9 - \hat{y}_9)^2 = (74.070 - 122.741,9420)^2 = (-48.671,9420)^2$$

$$\hat{y}_{10} = 0,7772 \times 120.845 + 14.512,7732$$

$$(y_{10} - \hat{y}_{10})^2 = (112.358 - 108.419,6266)^2 = (938,3734)^2$$

$$\hat{y}_{11} = 0,7772 \times 107.736 + 14.512,7732$$

$$(y_{11} - \hat{y}_{11})^2 = (105.855 - 98.217,5124)^2 = (7.637,4876)^2$$

$$\hat{y}_{12} = 0,7772 \times 108.848 + 14.512,7732$$

$$(y_{12} - \hat{y}_{12})^2 = (106.750 - 99.078,1588)^2 = (7.671,8412)^2$$

$$\text{SSR} = \sum_{i=1}^{12} (21.024,2080)^2 + (-8.634,0694)^2 + (7.840,1124)^2 \\ + (-6.070,8000)^2$$

$$+ (-5.933,3262)^2 + (8.908,4392)^2 + (3.891,1592)^2 \\ + (-48.671,9420)^2$$

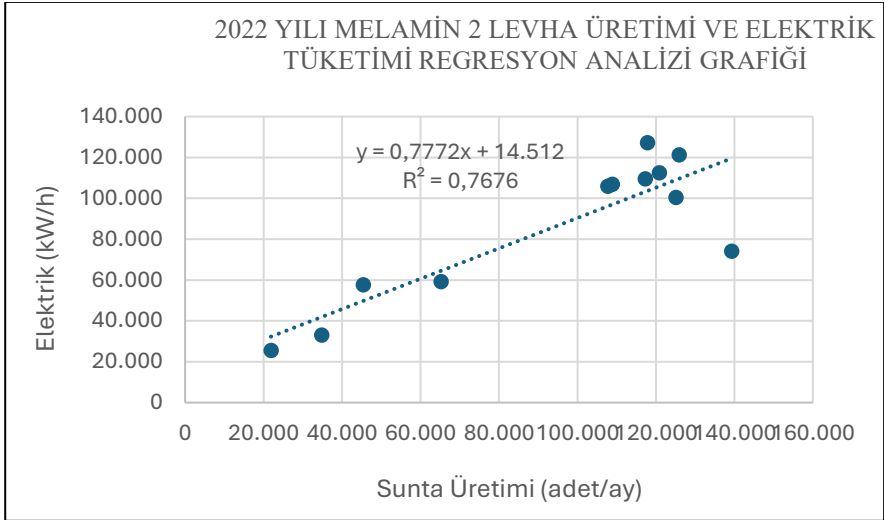
$$+ (-48.671,9420)^2 + (3.938,3734)^2 + (7.637,4876)^2 \\ + (7.671,8412)^2$$

$$\text{SSR} = 3.323.749.060,16 \text{ olmaktadır.}$$

$$R^2 = 1 - \frac{\text{SSR}}{\text{SST}}$$

$$R^2 = 1 - \frac{3.323.749.060,16}{14.304.310.409,67}$$

$$R^2 = 0,7676 \text{ (%76,76)}$$



Şekil 10: 2022 melamin 2 regresyon analizi grafiği

Şekil 10'da belirtilen grafik regresyon analizi sonucu çıkan R^2 değeri literatüre göre 0 ile 1 arasında olmalıdır. Eğim katsayısı, bağımsız değişken olan üretim miktarındaki her bir birimlik artışın bağımlı değişken üzerindeki etkisini göstermektedir. Bu durumda, melaminli Levha üretim miktarındaki her bir birimlik artışın elektrik tüketiminde ortalama 0,7772 kWh artışa neden olduğu ifade edilmektedir. Bu katsayı, üretim ile elektrik tüketimi arasındaki güçlü pozitif bir doğrusal ilişkiyi ifade eder. Sabit terim, üretim yapılmasa bile tesisin elektrik tüketimini temsil eder. Bu durumda, üretim yapılmasa bile tesisin elektrik tüketimi 14.512,77 kWh olacaktır. Melaminli Levha üretim miktarındaki artış, elektrik tüketiminde önemli bir artışa neden olmaktadır. Bu ilişki, üretim seviyesine bağlı olarak enerji tüketimi tahminlerinin yapılabilmesini sağlar. Bu analiz, enerji maliyetlerinin üretim planlamasına entegre edilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır. Sonuç olarak bu çalışmada, melaminli levha üretimi ile elektrik tüketimi arasındaki ilişki doğrusal regresyon yöntemi ile analiz edilmiştir. Modelin güçlü bir açıklama gücü $R^2 = 0,7676$ olduğu ve iki değişken arasında güçlü bir doğrusal ilişki bulunduğu görülmüştür. Bu sonuçlar, tesisin enerji

tüketimini tahmin etmek, optimize etmek ve yönetmek için faydalı bilgiler sunmaktadır.

Tablo 18: Melaminli levha üretim ve tüketim arz talep tablosu 2

Tarih	Melaminli Levha (Adet/Ay)	Elektrik (Kw/Ay)	Beklenen Talep	Enerji Yoğunlu Endeksi (Kwh)	Toplam Elektrik Enerji Farkı (Kwh)
Ocak 2022	117.819	127.091	106.081	1,20	21.010,07
Şubat 2022	34.821	32.938	41.575	0,79	-8.636,88
Mart 2022	45.427	57.660	49.818	1,16	7.842,14
Nisan 2022	21.869	25.437	31.509	0,81	-6.071,92
Mayıs 2022	65.205	59.090	65.189	0,91	-6.099,33
Haziran 2022	125.933	121.267	112.387	1,08	8.879,54
Temmuz 2022	117.233	109.403	105.625	1,04	3.777,85
Ağustos 2022	125.049	100.357	111.700	0,90	-11.343,42
Eylül 2022	139.304	74.070	122.779	0,60	-48.709,07
Ekim 2022	120.845	112.358	108.433	1,04	3.925,60
Kasım 2022	107.736	105.855	98.244	1,08	7.610,58
Aralık 2022	108.848	106.750	99.109	1,08	7.641,33

Şubat, Nisan, Mayıs, Ağustos ve Eylül aylarında toplam elektrik enerjisi farkı negatif çıkmıştır. Bu durum elektrik tüketiminin beklenen elektrik tüketiminden az olduğunu göstermektedir. Bu aylarda enerji tüketiminin verimli kullanıldığı ifade edilmektedir.

Tablo 18 bize aynı zamanda 1 yılın toplam enerji yoğunluğu endeksini *kWh* cinsinden tespit etmemize olanak sağlamıştır.

Melaminli yonga levha üretim hattındaki 1 yıllık elektrik tüketimine bağlı olarak melaminli yonga levhaların regresyon analizi yapılarak verimlilik hesapları yapılmıştır. Enerji tüketimini etkileyen bağımsız değişkenlerin tespitleri yapılmıştır. Değişkenin enerji tüketimi üzerindeki etkisi incelenmiş ve tablo olarak gösterilmiştir.

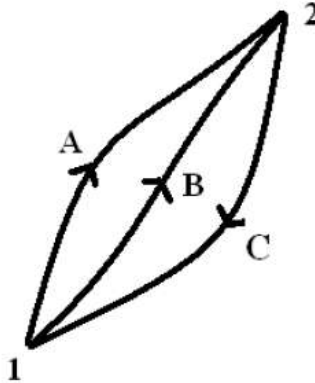
Tablo 18’de beklenen talep ve enerji yoğunluğu endeksleri verilen eşitlikler ile bulunmuştur.

Termodinamik Kanunlar ve Ekserji Analizi

Latince kökenli "therme" (ısı) ve "dynamis" (güç) kelimelerinden türeyen termodinamik, enerjiyi, ısıya ve ısının işe dönüşümünü inceleyen bir fizik dalı olarak tanımlanabilir. Tetik (2011)

Termodinamiğin 1. Kanunu

Enerji ne yoktan var edilebilir ne de tamamen yok edilebilir; yalnızca farklı formlara dönüşür. Termodinamiğin Birinci Kanunu olarak bilinen enerjinin korunumu yasası, toplam enerjinin termodinamik bir özellik olduğunu ifade eder. Bir sistemin durum değişimi sırasında, eğer kayıp yoksa, sistemin toplam ısı alışverişi toplam iş alışverişine eşit olur. (Tetik 2011)



Şekil 11: Hal değişimin 1. durumdan 2. durumuna geçişinin gösterimi

$$\dot{Q} - \dot{W} = \sum m_{\dot{c}} - Q_{\dot{c}} \sum m_g - Q_g \quad (14)$$

Bu durumda Q, akış işi de dahil olmak üzere akışkanın birim kütle başına toplam enerjisini temsil eder.

$$Q = k_e + p_e + h \quad (15)$$

Olduğunu göz önüne alırsak buradan, enerjinin korunumu ilkesi denklem (16)'daki gibi;

$$\dot{Q} - \dot{W} = \sum \dot{m}_\zeta \left(h_\zeta + \frac{(v_\zeta)^2}{2} + gz_\zeta \right) - \sum \dot{m}_g \left(h_g + \frac{(v_g)^2}{2} + gz_g \right) \quad (16)$$

Potansiyel enerjiler ve kinetik enerjiler ihmal edildiğinde denklem (17)'deki gibi gösterilir;

$$\dot{Q} - \dot{W} = \sum \dot{m}_\zeta h_\zeta - \sum \dot{m}_g h_g \quad (17)$$

şeklinde olacaktır (Çengel ve Boles, 1996).

Açık ve kararlı akışlı sistemler incelendiğinde, kontrol hacmindeki enerji alışverişi, iş ve enerji transferlerinin yanı sıra, kütle akışı ile de gerçekleşir. Sistemin enerji içeriği, sıcaklık değişiklikleri ve sisteme giren kütledeki artış veya eksilmeye göre farklılık gösterebilir. Buna rağmen, toplam enerji miktarı sabittir.

Kütlenin korunumu ilkesi, sürekli akışlı bir kontrol hacmi için kullanılır. Denklem (18)'deki gibi;

$$\frac{d}{dt} m_{\text{sis}} = \sum_i \dot{m}_{g,i} - \sum_j \dot{m}_{\zeta,j} \quad (18)$$

Sürekli akışlı sistemlerin karakteristik özelliği olan kütle birikiminin yokluğu, Denklem (18)'in düzenlenerek denklem (19)'a dönüştürülmesine yol açmıştır;

$$\sum_i \dot{m}_{g,i} - \sum_j \dot{m}_{\zeta,j} = 0 \quad (19)$$

Sürekli akışlı açık sistemler için enerji dengesini bulunur. Denklem (20)'deki gibi;

$$\frac{d}{dt} E_{\text{sis}} = \sum_i \dot{E}_{g,i} - \sum_j \dot{E}_{\text{ç},j} \quad (20)$$

Burada $\frac{d}{dt} E_{\text{sis}}$ şeklinde belirtilen ifade sistemin kinetik, potansiyel ve iç enerji değişimlerini, $\sum_i \dot{E}_{g,i} - \sum_j \dot{E}_{\text{ç},j}$ ise birim zamandaki iş, ısı ve kütle ile gerçekleşen enerji geçişlerini göstermektedir. Net bir şekilde ifade etmek gerekirse Denklem (21)'deki gibi;

$$\frac{d}{dt} E_{\text{sis}} = \sum \dot{Q}_g - \sum \dot{Q}_\text{ç} + \sum \dot{W}_{\text{sis},g} - \sum \dot{W}_{\text{sis},\text{ç}} + \sum_i m_{g,i} \left(h + \frac{v_i^2}{2} + gz \right) - \left(h + \frac{v_j^2}{2} + gz \right) \quad (21)$$

Sadeleştirme yapıldığında, aşağıdaki Denklem (22)'deki gibi;

$$\dot{Q}_g - \dot{W}_\text{ç} + \dot{m} \left(\Delta h + \frac{\Delta v^2}{2} + g \Delta z \right) = 0 \quad (22)$$

Sistemde iş çıkışı bulunmadığı ve kinetik ile potansiyel enerji etkilerinin önemsiz olduğu varsayıldığında, Denklem (22) aşağıdaki gibi sadeleştirilir. Burada 'h' birim kütle entalpisini, 'v' akış hızını (m/s) ve 'z' belirli bir referansa göre yüksekliği (m) temsil etmektedir. Isı ve iş etkileşimleri dışında kalan enerji türleri (yüzey gerilimi, elektriksel etkiler vb.) bu değerlendirmede dikkate alınmamıştır." Yani enerjinin korunumu ilkesine göre bir sistemdeki toplam enerji değişiminin sıfıra eşit olduğunu ifade etmektedir. Sisteme giren ve çıkan enerji birbirine eşittir. Burada kinetik ve potansiyel enerji değişimleri ihmal edilirse denklem (23)'deki gibi olmaktadır.

$$\dot{W} = \dot{m} \times \Delta h \quad (23)$$

C_p 'nin sıcaklıktan bağımsız olduğu durumlarda, entalpi hesabı için Denklem (24) kullanılabilir;

$$h = C_p(T - T_0) \quad (24)$$

Termodinamiğin 2. Kanunu

Ekserji analizi, birinci yasa analizine ek olarak, döngü performansına farklı bir perspektif kazandırır. Mühendislik açısından, sistemdeki tüm ısı değişim elemanlarının en yüksek verimlilikle çalışabilmesi için tasarlanması gerekir. Bu analizin amacı, farklı bileşenlerdeki kayıpların birbiriyle olan ilişkisini ortaya koymak ve bir tasarımın en iyi performansı sağlaması için hangi bileşenlerin iyileştirilmesi gerektiğine dair bilgi sunmaktır.(Aprhornratana and Eames 1995)

Ekserji, enerjinin kullanılabilirliği açısından, bir termodinamik sistemde işe dönüştürülebilen kısmını ifade eder. Buna karşılık, dönüştürülemeyen veya kullanılamayan enerji miktarı "Anerji" olarak adlandırılır. Bu bağlamda, enerjinin en genel tanımı şu şekilde yapılabilir.(Morris and Szargut 1986)

$$\text{Enerji} = \text{Ekserji} + \text{Enerji} \quad (25)$$

Termodinamik süreçlerde ekserji, bir sistemin referans çevresiyle dengeye ulaşırken madde veya enerji akışıyla ortaya çıkarabileceği maksimum iş miktarı olarak tanımlanır. Ekserji, referans çevresine göre tamamen dengede olmayan bir sistemin değişim potansiyelinin bir ölçüsüdür. Her zaman mevcut olan ekserji, negatif değer alamaz, muhafaza edilemez ancak dönüşüm sırasında kaybolabilir. Enerjiden farklı olarak, ekserji yalnızca ideal ve tersinir prosesler hariç korunamaz; gerçek süreçlerde tersinmezlikler nedeniyle tüketilir veya yok edilir. Bir süreç sırasında ekserji tüketimi, o süreçteki tersinmezliklerle bağlantılı olarak üretilen entropiyle doğru orantılıdır. Ekserji analizinde çevrenin tanımı büyük önem taşır, bu nedenle öncelikle ölü hal kavramı açıklanmalıdır. (Mehrpooya, Jarrahan ve diğ., 2006)

Ölü hal, bir sistemin çevresiyle tamamen dengede olduğu durumu ifade eder. Bu durumda, sistemin sıcaklık ve basıncı çevresinin sıcaklık ve basıncıyla aynıdır. Ayrıca sistemin çevresine göre ne kinetik ne de potansiyel enerjisi bulunur ve çevresiyle herhangi bir kimyasal reaksiyona girmez. Aynı şekilde, sistem ile çevresi arasında manyetik, elektriksel veya yüzey gerilmesi gibi

dengelenmemiş etkiler de mevcut değildir. Ölü haldeki bir sistemin özellikleri, genellikle sıfır alt indisle gösterilir (örneğin, P_0 , T_0 , h_0 , u_0 ve S_0 gibi) (Rosen and Dincer 2004)

$$T_0 = 298 \text{ K} \quad (26)$$

$$P_0 = 101.325 \text{ Kpa}$$

Ekserji analizi, termal sistemler için kritik bir öneme sahiptir. Günümüzde, termodinamik sistemlerin tasarım ve optimizasyon süreçlerinde termodinamiğin ikinci yasası ve ekserji analizi etkin bir şekilde kullanılmaktadır. Özellikle son yıllarda, mevcut sistemlerin en verimli şekilde kullanılmasını sağlamak amacıyla ekserji analizi giderek daha fazla önem kazanmıştır.

Tamamen tersinir bir hal değişimi teorik bir yaklaşım olduğundan, gerçek durumlarda tersinir iş ile faydalı iş arasındaki fark "tersinmezlik" olarak tanımlanabilir. Başka bir deyişle, kaybedilen ya da kullanılmayan iş tersinmezlik olarak adlandırılır.

Ekserji; fiziksel, kimyasal, kinetik ve potansiyel olmak üzere dört ana bileşene ayrılır. Ancak hesaplamalarda genellikle kinetik ve potansiyel ekserjiler ihmal edilmektedir. Bu çalışmada da bu yaklaşım benimsenmiştir.

Bir maddenin sürekli akış halindeki toplam ekserjisi, nükleer, manyetik, elektrik ve yüzey gerilme ekserjileri göz ardı edildiğinde, fiziksel ekserji, kimyasal ekserji, kinetik ekserji ve potansiyel ekserjinin toplamıyla ifade edilir. Denklem (27)'deki gibi; (Bilginsoy 2012)

$$Ex = Ex_{kin} + Ex_{pot} + Ex_{fiz} + Ex_{kim} \quad (27)$$

Burada;

$$Ex_{kin} = \text{Kinetik Ekserji}$$

$$Ex_{pot} = \text{Potansiyel Ekserji} \quad (28)$$

$$Ex_{fiz} = \text{Fiziksel Ekserji}$$

Ex_{kim} = Kimsayal Ekserji'yi ifade eder.

Bir sistem, belirli bir sıcaklık ve basınçta ölü hal olarak tanımlanan T_0 ve P_0 koşullarına ulaştığında, bu durumda sistemden elde edilebilecek en yüksek iş fiziksel ekserji olarak ifade edilir.(Şahin 2012) İncelenen bir noktanın ya da ele alınan sistemin özgül fiziksel ekserjisi, denklem (29)'daki gibi tanımlanır. (Ahmadi and Toghraie 2016)

$$Ex_{fiz} = (h - h_0) - T_0(S - S_0) \quad (29)$$

Akışkanın ideal gaz olarak kabul edildiği durumlarda, fiziksel ekserji Denklem (30)'daki gibi olmaktadır; (Han, Liu ve diğ., 2016)

$$Ex_{fiz} = C_p \left[(T - T_0) - T_0 \ln \frac{T}{T_0} \right] + R_g T_0 \ln \frac{P}{P_0} \quad (30)$$

Bu eşitlikte C_p özgül ısıyı, R evrensel gaz sabitini, P mevcut basıncı, P_0 ise çevre koşulunun basıncını ifade etmektedir.

Kimyasal ekserji, bir sistemin giriş ve çıkışındaki ekserji değerlerine önemli ölçüde etki eder. Yakıt ve baca gazı, özellikle bu sistemin ekserji bileşenlerinin ana unsurları arasında yer alır. (Callak, Balkan ve diğ., 2015)

Kimyasal ekserji hesaplanırken, çevrenin ölü hal koşulları başlangıç noktası olarak kabul edilir. Bu sayede, çevreyle etkileşim halinde olup madde ve ısı transferi yapan bir operasyon sırasında, sistemin çevreyle uyumlu hale geldiği ölü duruma ulaştığında elde edilebilecek maksimum iş miktarı, kimyasal ekserji olarak tanımlanır (Afşar, 2011).

İdeal gazların molar kimyasal ekserji değeri, Denklem (31)'deki gibi hesaplanır;

$$Ex_{kim} = \sum_j y_j ex_j + RT_0 \sum_j y_j \ln y_j \quad (31)$$

Ekserji verimliliği termodinamik sistemlerde basit verimlilik, tüm birimlerde kullanılabilen bir ölçüttür. Giren ekserji akışının bir birimden diğerine aktarıldığı ısı sistemlerinde, basit verimlilik, sistemin termodinamik performansı hakkında genel bir

fikir sunar. Ancak, güç santralleri gibi ekserji transferinin gerçekleşmediği bölümlerde veya fabrikaların proses ve birimlerinin analizinde yanıltıcı sonuçlar doğurabilir. Basit verimliliğin hassasiyeti, fabrika süreçlerinde veya birimlerde transfer edilmeyen ekserji miktarının azalmasıyla birlikte değişiklik gösterebilir (Cornelissen 1997).

$$\eta = \frac{Ex_{\text{çıkış}}}{Ex_{\text{giriş}}} \quad (32)$$

Ekserji verimliği Denklem (33)'deki gibi de ifade edilmektedir;

$$\eta = \frac{Ex_{\text{çıkış}}}{Ex_{\text{giriş}}} \times 100 \quad (33)$$

Enerji verimliliği mühendislik sistemlerinde Denklem (34) deki şekliyle ifade edilmektedir;

$$\eta = \frac{\text{Çıkış Enerjisi}}{\text{Giriş Enerjisi}} \times 100 \quad (34)$$

Birinci ve İkinci Yasa Analizleri

Sunta Pres Birinci ve İkinci Yasa Analizi

Yonga Levha pres hattı kızgın yağ ile ısıtılarak preslenmektedir. Sistemde kullanılan Therminol 66 ısı transfer yağının giriş termik yağ giriş sıcaklığı 264°C, çıkış sıcaklığı 247°C'dir. Toplam kapasitesi 1.000 m³ olan bu presin yağ giriş basıncı 4.8 bar, yağ çıkış basıncı ise 2.4 bardır. Yağın hacimsel debisi 240 m³/h 'dir. Presleme sonucu oluşan yağ buharı bacasından çıkan gazın debisi 69,001 m³/h 'dir. Çıkış gaz sıcaklığı ortalama 80,3 °C ve çıkış basıncı 92,08 kPa olmaktadır. Baca gazı hızı 7,54 m/s ve çıkan gazların konsantrasyonu toz ve formaldehitten oluşmaktadır. Toz miktarı 1,31 mg/Nm³ ve formaldehit miktarı ise 0,005 mg'dır.



Şekil 12: Sunta pres hattı



Şekil 13: Pres baca gazı ölçüm noktası

Tablo 19: Pres baca gazı ölçüm raporu

Kaynak Kodu					B7	
Kaynak Adı					Yonga Levha Hatlı Yağ Buharı Filtrasyon Sistemi Bacası	
Baca Çapı (m)					1,8	
Baca Yüksekliği (m)		Yerden	16	Çatıdan	Bağımsız	
Parametreler	1. Ölçüm	2. Ölçüm	3. Ölçüm	Ortalama	SKHKKY Sınır Değerleri	
Baca Kesit Alanı (m ²)	2,54				-	
Gaz Sıcaklığı (°C)	80,0	79,0	82,0	80,3	-	
Basınç (kPa)	92,04	92,05	92,15	92,08	-	
Nem %	3,6				-	
Baca Gazı Hızı (m/sn)	7,54				4 (Ek-4.a.2)	
Baca Gazı Debisi (m ³ /saat)	69.001				-	
NŞA'da Baca Gazı Debisi (Nm ³ /saat)	48.457				-	
NŞA'da Kuru Bazda Baca Gazı Debisi (Nm ³ /saat)	46.712				-	
Konsantrasyonlar (mg/Nm3)						
Toz	mg/Nm ³	1,31	1,38	1,24	1,31	100 (Ek-5.K.3)
Formaldehit	mg	<0,005	<0,005	<0,005	-	(Ek-1, Tablo 1.2.2) ²
	mg/m ³	-	-	-	-	
	mg/Nm ³	-	-	-	-	
VOC						
II. Sınıf Organik Buhar Emisyonları						
Trichloroethene	mg/Nm ³	0,0236	0,0228	0,0224	0,0229	(Ek-1, Tablo 1.2.2) ¹
Hexachlorobutadiene	mg/Nm ³	0,0560	0,1993	0,1205	0,1253	
II. Sınıf Organik Buhar Emisyonları Toplamı					0,1482	-
Kütleli Debi Değerleri (kg/saat)						
Toz		0,0610	0,0646	0,0579	0,0612	10 (Ek-3.d.2)
II. Sınıf Organik Buhar Emisyonları		0,003721	0,010376	0,006673	0,006923	(Ek-1, Tablo 1.2.2)
Toplam Organik Buhar Emisyonları		0,003721	0,010376	0,006673	0,006923	10 (Ek-3.d.3)

Kabuller:

Therminol 66 ısı transfer yağı yoğunluğu 889 kg/m³ olarak alınmıştır.

Özgül ısı kapasitesi Therminol 66 için (C_p): 2,21 kJ/kg. K olarak alınmıştır.

Çevre koşulları T₀ = 298,15 K ve P₀ = 101.325 kPa alınmıştır.

Hava ideal gaz olarak kabul edilmiştir.

Kimyasal ekserji ihmal edilmiştir. Toz ve formaldehitin kimyasal ekserjisi toplam enerjiyle kıyaslandığında ihmal edilebilir düzeydedir.

Toz ve Formaldehitin konstrasyonları çok düşük seviyelerde olduğu için kimyasal ekserjileri ihmal edilmiştir.

Sunta Pres Birinci Yasa Analizi

Termodinamiğin 1. Yasasına göre; Burada Therminol66 yağ sisteme girip çıkmaktadır ve sistemde oluşan gazlar dışarıya atılmaktadır. Bu sebepten dolayı sistem sürekli akışlı açık sistem olarak düşünülmüştür. Denklem (19) kullanılarak;

$$\sum_i \dot{m}_{g,i} = \sum_j \dot{m}_{\zeta,j}$$

Kütle korunumuna göre, sistemdeki kütle dengesi korunmuştur. Yani giriş ve çıkış akışları eşittir.

Enerji Girişi (Therminol 66): Therminol 66 yağın ısı transfer enerjisi eşitlik (35)'e göre hesaplanmıştır. Bu değerler eşitlik (35)'de yerine yazılırsa;

$$Q_{giriş,yağ} = \dot{m}_{yağ} \times C_p \times (T_{giriş} - T_0) \quad (35)$$

Kütlesel Debi: ($\dot{m}$)

Yağın kütlesel debisi eşitlik (36)'ya göre hesaplanmıştır. Bu değerler eşitlik (36)'da yerine yazılırsa;

$$\dot{m}_{yağ} = \rho \times \dot{V}$$

$$\dot{m} = 889 \text{ kg/m}^3 \times 240 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$\dot{m} = 213.360 \text{ kg/h} \approx 59.270 \text{ kg/s}$$

$T_{giriş}$: 537,15 K'e göre hesaplanmıştır.

$$Q_{giriş,yağ} = 59.270 \text{ kg/s} \times 2,21 \text{ kJ/kg.K} \times (537,15 - 298,15 \text{ K})$$

$$Q_{\text{giriş,yağ}} = 31.457 \text{ kW olmaktadır.}$$

Enerji Çıkışı (Therminol 66):

Yağın çıkış enerjisi eşitlik (35)'e göre hesaplanmıştır. Bu değerler eşitlik (35)'de yerine yazılırsa;

$$Q_{\text{çıkış,yağ}} = \dot{m}_{\text{yağ}} \times C_p \times (T_{\text{çıkış}} - T_0)$$

$T_{\text{çıkış}}$: 520,15 K değerine göre hesaplama yapılmıştır.

$$Q_{\text{çıkış,yağ}} = 59.270 \text{ kg/s} \times 2,21 \text{ kJ/kg. K} \times (520,15 - 298,15 \text{ K})$$

$$Q_{\text{çıkış,yağ}} = 29.116 \text{ kW olmaktadır.}$$

Enerji Çıkışı (Baca Gazı)

Gaz yoğunluğu (ρ) ideal gaz yasası kullanılarak hesaplanmıştır. İdeal gaz yasası eşitlik (37)'e göre hesaplanmıştır.

$$\rho = \frac{P}{R \times T} \quad (37)$$

$$P = 92.08 \text{ kPa} = 92.080 \text{ N/m}^2$$

$$R = 0.287 \text{ kJ/kg. K} = 287 \text{ J/kg. K}$$

$$\rho = \frac{92.080 \text{ N/m}^2}{287 \text{ J/kg. K} \times 353.45 \text{ K}}$$

$$\rho = 0.911 \text{ kg/m}^3 \text{ Olmaktadır.}$$

Gaz için kütleli debi eşitlik (36)'ya göre hesaplanmıştır. Bu değerler eşitlik (36)'da yerine yazılırsa;

$$\dot{m}_{\text{gaz}} = \rho \times \dot{V}$$

$$\dot{m}_{\text{gaz}} = 0.911 \text{ kg/m}^3 \times 69.001 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$\dot{m}_{\text{gaz}} = 62.883 \text{ kg/h} \approx 17,45 \text{ kg/s}$$

Baca gazının çıkış enerjisi eşitlik (35)'e göre hesaplanmıştır. Bu değerler (35)'de yerine yazılırsa;

$$Q_{\text{çıkış,baca}} = \dot{m}_{\text{gaz}} \times C_p \times (T_{\text{çıkış}} - T_0)$$

$$Q_{\text{çıkış,baca}} = 17,45 \text{ kg/s} \times 1,005 \text{ kJ/kg. K} \times (353,45 \text{ K} - 298,15 \text{ K})$$

$$Q_{\text{çıkış,baca}} = 969,23 \text{ kW}$$

Toplam Enerji Çıkışı

Toplam enerji çıkışı eşitlik (38)'e göre hesaplanmaktadır.

Değerler eşitlik (38)'de yerine yazılırsa;

$$Q_{\text{çıkış,toplam}} = Q_{\text{çıkış,yağ}} + Q_{\text{çıkış,baca}} \quad (38)$$

$$Q_{\text{çıkış,toplam}} = 29.116 + 969,23$$

$$Q_{\text{çıkış,toplam}} = 30.085 \text{ kW} \text{ olmaktadır.}$$

Enerji Verimliliği:

Enerji verimliliği eşitlik (34)'e göre hesaplanmaktadır. Değerler eşitlik (34)'de yerine yazılırsa;

$$\eta_{\text{enerji}} = \frac{30.085 \text{ kW}}{31.457 \text{ kW}} \times 100$$

$$\eta_{\text{enerji}} = \%95,65 \text{ olmaktadır.}$$

Sunta Pres İkinci Yasa Analizi:

Therminol 66 Yağ Ekserji Analizi

Gaz için kütleli debi eşitlik (36)'ya göre hesaplanmıştır. Bu değerler eşitlik (36)'da yerine yazılırsa;

Kütleli Debi: ($\dot{m}$)

$$\dot{m}_{\text{yağ}} = \rho \times \dot{V}$$

$$\dot{m} = 889 \text{ kg/m}^3 \times 240 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$\dot{m} = 213.360 \text{ kg/h} \approx 59.27 \text{ kg/s} \text{ olmaktadır.}$$

Therminol 66 İçin Fiziksel Ekserji (Giriş)

Fiziksel ekserji eşitlik (30)'a göre hesaplanmıştır. Bu değerler eşitlik (30)'da yerine yazılırsa;

$$Ex_{\text{fiz,giriş}} = \dot{m}_{\text{yağ}} \times \left[C_p \times (T - T_0) - T_0 \times C_p \times \ln \left(\frac{T_{\text{giriş}}}{T_0} \right) \right]$$

$$\begin{aligned} Ex_{\text{fiz,giriş}} \\ = 59.270 \text{ kg/s} \left[\begin{array}{l} 2,21 \text{ kJ/kg. K} \times (537,15 \text{ K} - 298,15 \text{ K}) \\ -298,15 \text{ K} \times 2,21 \text{ kJ/kg. K} \times \ln \frac{537,15 \text{ K}}{298,15 \text{ K}} \end{array} \right] \end{aligned}$$

$$Ex_{\text{fiz,giriş}} = 7.405,93 \text{ kW} \text{ olmaktadır.}$$

Therminol 66 İçin Fiziksel Ekserji (Çıkış)

Therminol 66 yağın çıkış fiziksel ekserjisi eşitlik (30)'a göre hesaplanmıştır. Bu değerler eşitlik (30)'da yerine yazılırsa;

$$Ex_{\text{fiz,çıkış}} = \dot{m}_{\text{yağ}} \times \left[C_p \times (T - T_0) - T_0 \times C_p \times \ln \left(\frac{T_{\text{çıkış}}}{T_0} \right) \right]$$

$$Ex_{fiz,çıkış}$$

$$= 59.270 \text{ kg/s} \left[2,21 \text{ kJ/kg. K} \times (537,15 \text{ K} - 298,15 \text{ K}) - 298,15 \text{ K} \times 2,21 \text{ kJ/kg. K} \times \ln \frac{520,15 \text{ K}}{298,15 \text{ K}} \right]$$

$$Ex_{fiz,çıkış} = 6.933,96 \text{ kW} \text{ olmaktadır.}$$

Baca Gazı İçin Ekserji:

Gaz yoğunluğu (ρ) ideal gaz yasası kullanılarak hesaplanmıştır. İdeal gaz yasası eşitlik (37)'e göre hesaplanmıştır. Bu değerler eşitlik (37)'de yerine yazılırsa;

$$\rho = \frac{P}{R \times T}$$

$$P = 92.08 \text{ kPa} = 92.080 \text{ N/m}^2$$

$$R = 0.287 \text{ kJ/kg. K} = 287 \text{ J/kg. K}$$

$$\rho = \frac{92.080 \text{ N/m}^2}{287 \text{ J/kg. K} \times 353.45 \text{ K}}$$

$$\rho = 0.911 \text{ kg/m}^3 \text{ olmaktadır.}$$

Gaz için kütleli debi

Gaz için kütleli debi eşitlik (36)'ya göre hesaplanmıştır. Bu değerler eşitlik (36)'da yerine yazılırsa;

$$\dot{m}_{gaz} = \rho \times \dot{V}$$

$$\dot{m}_{gaz} = 0.911 \text{ kg/m}^3 \times 69.001 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$\dot{m}_{gaz} = 62.883 \text{ kg/h} \approx 17,45 \text{ kg/s}$$

Fiziksel Ekserji

Baca gazının fiziksel ekserjisi eşitlik (30)'a göre hesaplanmıştır. Bu değerler eşitlik (30)'da yerine yazılırsa;

$$Ex_{fiz,bacagazı} = \dot{m}_{gaz} \times \left[C_p \times (T_{çıkış} - T_0) - T_0 \times C_p \times \ln \left(\frac{T_{çıkış}}{T_0} \right) \right]$$

$$Ex_{fiz,bacagazı}$$

$$= 17,46 \text{ kg/s} \left[1,005 \text{ kJ/kg. K} \times (353,45 \text{ K} - 298,15 \text{ K}) - 298,15 \text{ K} \times 1,005 \text{ kJ/kg. K} \times \ln \frac{353,45 \text{ K}}{298,15 \text{ K}} \right]$$

$$Ex_{fiz,bacagazı} = 101,49 \text{ kW} \text{ olmaktadır.}$$

Toplam ekserji çıkışı

$$Ex_{çıkış} = Ex_{fiz,çıkış} + Ex_{fiz,bacagazı}$$

$$Ex_{çıkış} = 6.933,96 \text{ kW} + 101,49 \text{ kW}$$

$$Ex_{çıkış} = 7.035,45 \text{ kW} \text{ olmaktadır.}$$

Toplam ekserji girişi:

$$Ex_{giriş} = Ex_{fiz,giriş}$$

$$Ex_{giriş} = 31.458 \text{ kW} \text{ olmaktadır.}$$

Ekserji Verimliliği

Ekserji verimliliği eşitlik (33)'e göre hesaplanmaktadır. Bu değerler eşitlik (33)'de yerine yazılırsa;

$$\eta_{ekserji} = \frac{Ex_{çıkış}}{Ex_{giriş}} \times 100$$

$$\eta = \frac{7.035,45 \text{ kW}}{7.405,93 \text{ kW}} \times 100$$

$\eta = 94,99 \%$ olmaktadır.

Tablo 20: Sunta pres hattı analiz sonuçları

Yasa	Kategori	Giriş-Çıkış	Değer	Birim
1.Yasa	Therminol 66 Kızgın Yağ	Giriş	kW	31,457
1.Yasa	Therminol 66 Kızgın Yağ	Çıkış	kW	29,116
1.Yasa	Baca Gazı	Çıkış	kW	969,23
1.Yasa	Toplam Enerji	Çıkış	kW	30,085
1.Yasa	Enerji Verimliliği	-	Yüzdelik	95,65
2.Yasa	Therminol 66 Kızgın Yağ	Giriş	kW	7.405,93
2.Yasa	Therminol 66 Kızgın Yağ	Çıkış	kW	6.933,96
2.Yasa	Baca Gazı	Çıkış	kW	101,49
2.Yasa	Toplam Ekserji	Giriş	kW	31.458
2.Yasa	Toplam Ekserji	Çıkış	kW	7.035,45
2.Yasa	Ekserji Verimliliği	-	Yüzdelik	94,99

Kazan Dairesi Birinci ve İkinci Yasa Analizi

8.000.000 kcal/h kapasiteye sahip kazanın termik yağ giriş sıcaklığı 250°C ve çıkış sıcaklığı 270°C'dir. Kullanılan kızgın yağ Therminol 66 ısı transfer yağıdır.

Yağın hacimsel debisi 240 m³/h, yanma odasındaki sıcaklık 550 °C olup Kazanda ısıtılan yağ sıcaklığı maksimum 280 °C'dir. Yanma odasından gelen baca gazı bacadan yaklaşık 200 °C sıcaklık, 92 kPa basınç ve 7,10 m/s hızla çıkmaktadır.

Çıkan gazın debisi 39.327 m³/saat , nem oranı ise %2,8 olmaktadır. Yakıt alt ısı değeri 2000 kcal/kg ısı gücü 9,29 MW'dır. Yakıt türü biyokütle olup yakıt miktarı 4000,27 kg/saat' dir. Çıkan

gazdaki konsantrasyonlardan Toz 2,24 mg/Nm³, Karbonmonoksit (CO) 21,25 mg/Nm³, Kükürtdioksit (SO₂) 5,71 mg/Nm³, Azotmonoksit (NO) 13,39 mg/Nm³, Azotdioksit (NO₂) 22,59 mg/Nm³ olarak bulunmaktadır. Sistemde bir ekonomizer bulunmaktadır.

Ekonomizere 225 °C olarak gelen hava 160 °C olarak ekonomizerden çıkmaktadır.



Şekil 14: Kazan dairesi baca gazı ölçüm noktası

Tablo 21: Kazan baca gazı ölçüm raporu

Kaynak Kodu					B6
Kaynak Adı					Kazan Bacası
Isıl Gücü (MW)					9,29
Yakıt Türü					Biyokütle
Yakıt Miktarı (kg/saat)					4000,47
Yakıt Alt Isıl Değeri (kcal/kg)					2000
Baca Çapı (m)					1,4
Baca Yüksekliği (m)			Yerden	20	Çandan
Parametreler			1. Ölçüm	2. Ölçüm	3. Ölçüm
			Ortalama	Bağımsız	
Baca Kesit Alanı (m ²)			1,54	SKHKKY Sınır Değerleri	
Gaz Sıcaklığı (°C)			202,5	195,5	201,2
Ölçülen (% O ₂)			17,81	16,24	16,35
Referans (% O ₂)			6		
Basınç (kPa)			92,79	92,78	92,80
Nem %			2,8		
Baca Gazı Hızı (m/sn)			7,10	4 (Ek-4.a.1)	
Baca Gazı Debisi (m ³ /saat)			39.327		
NŞA'da Baca Gazı Debisi (Nm ³ /saat)			20.803		
NŞA'da Kuru Bazda Baca Gazı Debisi (Nm ³ /saat)			20.224		
Yanma Verimi			57	72	71
İşlilik			1	1	2
			1	1	3 (Ek-1.a.1.1)
Konsantrasyonlar (mg/Nm ³)					
Toz	mg/Nm ³	2,18	2,34	2,20	2,24
	ref O ₂ %	10,25	7,36	7,10	8,24
Karbonmonoksit (CO)	ppm	20,00	15,00	16,00	17,00
	mg/Nm ³	25,00	18,75	20,00	21,25
ref O ₂ %	117,55	59,09	64,52	80,39	460 (Ek-5.A.2.3, Tablo 5.1)
	ppm	2,00	2,00	2,00	2,00
Kükürtdioksit (SO ₂)	mg/Nm ³	5,71	5,71	5,71	5,71
	ref O ₂ %	26,87	18,01	18,43	21,10
Azotmonoksit (NO)	ppm	10,00	10,00	10,00	10,00
	mg/Nm ³	13,39	13,39	13,39	13,39
ref O ₂ %	62,98	42,20	43,20	49,46	- (Ek-5.A.2.3, Tablo 5.1)
	ppm	11,00	11,00	11,00	11,00
Azotdioksit (NO ₂)	mg/Nm ³	22,59	22,59	22,59	22,59
	ref O ₂ %	106,22	71,18	72,87	83,42
TOC	ppm	2,17	4,56	3,57	3,43
	mg/Nm ³	3,4875	7,3286	5,7375	5,5179
Flor*	mg	<0,05	<0,05	<0,05	-
	mg/m ³	-	-	-	-
	mg/Nm ³	-	-	-	-
Klor*	mg	<0,05	<0,05	<0,05	-
	mg/m ³	-	-	-	-
	mg/Nm ³	-	-	-	-
Kütleli Debi Değerleri (kg/saat)					
Toz		0,0441	0,0473	0,0445	0,0453
Karbonmonoksit		0,5056	0,3792	0,4045	0,4298
Kükürtdioksit		0,1156	0,1156	0,1156	0,1156
Azot Oksitler	NO Cinsinden	0,2709	0,2709	0,2709	0,2709
	NO ₂ Cinsinden	0,4569	0,4569	0,4569	0,4569
TOC		0,0705	0,1482	0,1160	0,1116
Flor		-	-	-	-
Klor		-	-	-	-

Kabuller:

Çevre koşulları T₀ = 298,15 K ve P₀ = 101.325 kPa alınmıştır.

Özgöl ısı kapasitesi (C_p): 2,21 kJ/kg. K olarak alınmıştır.

Therminol 66 ısı transfer yağın yoğunluğu 889 kg/m³ olarak alınmıştır.

R: 8,314 kJ/kmol. K Tüm gazlar için evrensel gaz sabiti.

Kazan Dairesi Birinci Yasa Analizi

GİRİŞ ENERJİSİ ($Q_{\text{Giriş}}$):

1 kcal = 4,184 kJ olduğuna göre; Burada $\dot{Q}_{\text{giriş}} = 8.000.000 \text{ kcal/h} \times 4,184 \text{ kJ/kcal} = 33.472.000 \text{ kJ/h}$

ÇIKIŞ ENERJİSİ ($Q_{\text{Çıkış}}$):

Çıkış enerjisi, yağın kütleli debisi ve entalpi değişiminden hesaplanır. Ayrıca, ekonomizerde baca gazından geri kazanılan enerji de buna eklenir.

Çıkış enerjisi eşitlik (35)'e göre hesaplanmıştır.

$Q_{\text{Çıkış,yag}} = \dot{m}_{\text{yag}} \times C_p \times \Delta T$ eşitliği ile bulunmaktadır.

Kütleli Debi: ($\dot{m}$)

Kütleli debi eşitlik (36)'ya göre hesaplanmıştır. Bu değerler eşitlik (36)'da yerine yazılırsa;

$$\dot{m}_{\text{yag}} = \rho \times \dot{V}$$

$$\dot{m}_{\text{yag}} = 889 \text{ kg/m}^3 \times 240 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$\dot{m} = 213.360 \text{ kg/h}$$

$$Q_{\text{Çıkış,yag}} = 213.360 \text{ kg/h} \times 2,21 \text{ kJ/kg. K} (543,15 \text{ K} - 523,15 \text{ K})$$

$$Q_{\text{çıkış,yağ}} = 9.430.512 \text{ kJ/h}$$

Ekonomizerden Geri Kazanılan Enerji ($Q_{\text{Geri Kazanım}}$):

Ekonomizerden kazanılan enerji eşitlik (35)'e göre hesaplanmıştır.

$$Q_{\text{geri kazanım}} = \dot{m}_{\text{Baca}} \times C_p \times \Delta T$$

Baca Gazının Kütlesel Debisi: ($\dot{m}_{\text{Baca}}$)

Baca gazının kütlesel debisi eşitlik (36)'ya göre hesaplanmıştır. Bu değerler eşitlik (36)'da yerine yazılırsa;

$$\dot{m}_{\text{Baca}} = \rho \times \dot{V}_{\text{Baca}}$$

$$\dot{m}_{\text{Baca}} = 1,24 \text{ kg/m}^3 \times 39.327 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$\dot{m}_{\text{Baca}} = 48.770,48 \text{ kg/h} \text{ olmaktadır.}$$

Kazanılan enerjiyi bulmak için değerler eşitlik (35)'de yerine yazılırsa;

$$Q_{\text{geri kazanım}} = 48.770,38 \text{ kg/h} \times 1,005 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K} \times (498,15 \text{ K} - 433,15 \text{ K})$$

$$Q_{\text{geri kazanım}} = 3.188.582,4 \text{ kJ/h} \text{ olmaktadır.}$$

Toplam Çıkış Enerjisi

Toplam enerji çıkışı eşitlik (38)'e göre hesaplanmaktadır. Değerler eşitlik (38)'de yerine yazılırsa;

$$Q_{\text{çıkış}} = Q_{\text{çıkış,yağ}} + Q_{\text{geri kazanım}}$$

$$Q_{\text{çıkış}} = 9.430.512 \text{ kJ/h} + 3.188.582,4 \text{ kJ/h}$$

$$Q_{\text{çıkış}} = 12.619.094,4 \text{ kJ/h} \text{ olmaktadır.}$$

Enerji Verimliliği: (η)

Enerji verimliliği eşitlik (34)'e göre hesaplanmaktadır. Değerler eşitlik (34)'de yerine yazılırsa;

$$\eta_{\text{enerji}} = \frac{Q_{\text{çıkış}}}{Q_{\text{giriş}}} \times 100$$

$$\eta_{\text{enerji}} = \frac{12.619.094,4}{33.472.000}$$

η_{enerji} = %37,7 olarak bulunmaktadır.

Kazan Dairesi İkinci Yasa Analizi

Therminol 66 Fiziksel Çıkış Ekserji

Therminol 66 yağın çıkış fiziksel ekserjisi eşitlik (30)'a göre hesaplanmıştır. Bu değerler eşitlik (30)'da yerine yazılırsa;

$$Ex_{\text{fiz,yag}} = C_p \left[(T - T_0) - T_0 \ln \frac{T}{T_0} \right] +$$

$R_g T_0 \ln \frac{P}{P_0}$ eşitliği ile bulunmaktadır.

$$= 2,21 \text{ kJ/kg.K} \left[(543,15 \text{ K} - 523,15 \text{ K}) - 523,15 \text{ K} \times \ln \frac{543,15 \text{ K}}{523,15 \text{ K}} \right]$$

$$+ 0,287 \times 523,15 \text{ K} \times \ln \frac{92}{101}$$

$Ex_{\text{fiz}} = -13,70 \text{ kJ/kg}$ bulunmaktadır.

Baca Gazı Fiziksel Çıkış Ekserji

Baca gazının çıkış fiziksel ekserjisi eşitlik (30)'a göre hesaplanmıştır. Bu değerler eşitlik (30)'da yerine yazılırsa;

$$Ex_{fiz,baca} = C_p \left[(T - T_0) - T_0 \ln \frac{T}{T_0} \right] +$$

$R_g T_0 \ln \frac{P}{P_0}$ eşitliği ile bulunmaktadır.

$$= 1,005 \text{ kJ/kg} \cdot K \left[(433,15 \text{ K} - 298,15 \text{ K}) - 298,15 \text{ K} \times \ln \frac{433,15 \text{ K}}{298,15 \text{ K}} \right]$$

$$+ 0,287 \times 298,15 \text{ K} \times \ln \frac{92}{101}$$

$$Ex_{fiz,baca} = 16,053 \text{ kJ/kg} \text{ olmaktadır.}$$

Buradan çıkış ekserjisi hesaplanır.

$$Ex_{\text{çıkış}} = \dot{m}_{\text{yağ}} \times Ex_{fiz,yağ} + \dot{m}_{\text{baca}} \times Ex_{fiz,baca}$$

$$Ex_{\text{çıkış}} = 213.360 \text{ kg/h} \times (-13,70 \text{ kJ/kg}) + 48.770,48 \times 16,03$$

$$Ex_{\text{çıkış}} = -2.139.920,09 \text{ kJ/h} \text{ olmaktadır.}$$

Kimyasal Giriş Ekserji

Kimyasal ekserji eşitlik (31)'deki gibi hesaplanır;

$$Ex_{kim} = \sum_j y_j ex_j + RT_0 \sum_j y_j \ln y_j \text{ formülü ile hesaplanmıştır.}$$

Yakıt olarak biyokütle (odun kabuğu) kullanıldığı için kimyasal bileşenler Karbon (C), Hidrojen (H) ve Oksijen (O₂) den oluşmaktadır.

Biyokütlenin bileşenleri (Odun kabuğu için):

Karbon (C): $y_C = 0,50$ (Odun kabuğu kütlesinin 0,50'si Karbon)

Hidrojen (H): $y_H = 0,06$ (Odun kabuğu kütlesinin 0,06'sı Hidrojen)

Oksijen (O): $y_O = 0,44$ (Odun kabuğu kütlesinin 0,44'ü Oksijen)

Bu değerlerin birimleri $\text{kg}_{\text{bileşen}}/\text{kg}_{\text{biyokütle}}$ olmaktadır.

Termik katsayı (ex_j) değerleri:

Karbon (C): $ex_C = 410 \text{ kJ/kg}$

Hidrojen (H): $ex_H = 120 \text{ kJ/kg}$

Oksijen (O): $ex_O = 16 \text{ kJ/kg}$

Bu değerler eşitlik (31)'de yerine yazılırsa;

$$Ex_{\text{kim}} = (0,50 \times 410 \text{ kJ/kg}) + (0,06 \times 120 \text{ kJ/kg}) \\ + (0,44 \times 16 \text{ kJ/kg})$$

$$+ 8,314 \text{ kJ/kmol} \cdot K \times 298,5 \text{ K} + (0,50 \times \ln 0,50 + 0,06 \times \ln 0,06 \\ + 0,44 \times \ln 0,44)$$

$Ex_{\text{kim}} = -1.958,3 \text{ kJ/kg}$ Olmaktadır (Yakıtın 1kg'ı için mevcut olan kimyasal ekserjiyi ifade etmektedir.)

Buradan yakıtın kütsel debisini hesaba katarak sistemdeki toplam kimyasal ekserji hesaplanır.

$$Ex_{\text{kimyasal toplam}} = \dot{m}_{\text{yakıt}} \times Ex_{\text{kim}}$$

$$Ex_{\text{kimyasal toplam}} = 4.000,27 \text{ kg/h} \times (-1958,3 \text{ kJ/kg})$$

$$Ex_{\text{kimyasal toplam}} = -7.833.728,74 \text{ kJ/h} \text{ olmaktadır.}$$

Ekserji Verimliliği

Ekserji verimliliği eşitlik (33)'e göre hesaplanmaktadır. Bu değerler eşitlik (33)'de yerine yazılırsa;

$$\eta_{\text{ekserji}} = \frac{Ex_{\text{çıkış}}}{Ex_{\text{giriş}}} \times 100$$

$$\eta_{\text{ekserji}} = \frac{-2.139.920,09}{-7.833.728,74}$$

$\eta_{\text{ekserji}} = \%27,3$ olmaktadır.

Tablo 22: Kazan dairesi analiz sonuçları

Yasa	Kategori	Giriş-Çıkış	Değer	Birim
1.Yasa	Biyokütle	Giriş	kJ/h	33.472.000
1.Yasa	Therminol 66 Kızgın Yağ	Çıkış	kJ/h	9.430.512
1.Yasa	Ekonomizer	Çıkış	kJ/h	3.188.582,4
1.Yasa	Toplam Enerji	Çıkış	kJ/h	12.619.094,4
1.Yasa	Enerji Verimliliği	-	Yüzdelik	37,7
2.Yasa	Therminol 66 Kızgın Yağ	Çıkış	kJ/h	-2.923.032
2.Yasa	Baca Gazı	Çıkış	kJ/h	781.783
2.Yasa	Toplam Ekserji	Çıkış	kJ/h	-2.139.920
2.Yasa	Toplam Ekserji	Giriş	kJ/h	-7.833.728,74
2.Yasa	Ekserji Verimliliği	-	Yüzdelik	27,3

Kompresörlerin Birinci ve İkinci Yasa Analizleri

Tesisin basınçlı hava ihtiyacını karşılayan toplamda 5 adet kompresör bulunmaktadır. Bu kompresörler sonucu üretilen basınçlı hava debi miktarı ortalama 700 l/s'dir. Üretilen maksimum debi ise 769 l/s olarak ölçülmüştür. Kompresörler yükte çalışma durumlarında 34.584 kWh, boşta 924 kWh ve toplamda ise 35.508

kWh enerji tüketmektedirler. Bu kompresörlerin tamamı ise yılda toplamda 1.775 mWh enerji tüketmektedir. Kompresör dış ortamdan hava emdiği için giriş basıncı 1 atm olmaktadır. Çıkış basıncı ise 6 atm olmaktadır.

Kabuller:

Kompresörün giriş basıncı (P_{in}) 1 atm'dir.

Kompresörün çıkış basıncı (P_{out}) 6 atm'dir.

Kütleli debi ($\dot{m}$) 0,84 kg/s

Giriş sıcaklığı (T_0) 298,15 K'dir.

Çıkış sıcaklığı (T) 603,15 K'dir.

Termodinamik tablolarından (T_0) değerine göre (h_0) 298,2 kJ/kg

Termodinamik tablolarından (T) değerine göre (h) 603,15 kJ/kg

Hava ideal gaz kabul edilmiştir.

Termodinamik tablolarından (T_{in}) ve (p_{in}) değerine göre (S_{in}) 6,867 kJ/kg. K

Termodinamik tablolarından (T_{out}) ve (p_{out}) değerine göre (S_{out}) 7,200 kJ/kg. K

Havanın gaz bileşimi; $O_2 = \%23$ ve $N_2 = \%77$

Toplam giriş gücü: 319 kW

$$\rho: 1,2 \text{ kg/m}^3$$

Hacimsel basınç hava debisi kütleli debiye çevrilir.

$$\dot{V}=700 \text{ l/s} = 700 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s} = 0.7 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\dot{m} = 0.7 \times 1.2 = 0.84 \text{ kg/s 'dir.}$$

Kompresörlerin Birinci Yasa Analizi

Eşitlik (16)'da sistem kararlı durumda olduğu varsayılarak kinetik ve potansiyel enerjiler ihmal edilirse açık sistem enerji denklemi (39)'deki gibi olmaktadır. Bu denklem kompresör sistemlerinde kullanılmaktadır.

$$\dot{Q} - \dot{W} = \dot{m} \times \Delta h$$

(39)

Burada;

$\dot{Q}$: Sisteme giren veya çıkan ısı transferi (kW) ihmal edildi ($\dot{Q} = 0$)

$\dot{W}$: Sisteme sağlanan mekanik iş (kW)

Δh : $h_{out} - h_{in}$ Giriş ve çıkış entalpileri arasındaki fark (kJ/kg)

Entalpi Farkının Hesaplanması (Δh):

Entalpi farkı çıkış entalpisi ile giriş entalpisi arasındaki fark ile bulunmaktadır.

$$\Delta h: h_{out} - h_{in}$$

$$\Delta h: 603,15 - 298,2$$

$$\Delta h: 304,95 \text{ kJ/kg}$$

Mekanik Gücün Hesaplanması ($\dot{W}$):

Mekanik güç eşitlik (23)'e göre hesaplanmaktadır. Değerler eşitlik (23)'de yerine yazılırsa;

$$\dot{W} = \dot{m} \times \Delta h$$

$$\dot{W} = 0,84 \text{ kg/s} \times 304,95 \text{ kJ/kg}$$

$\dot{W} = 256,158 \text{ kW}$ olmaktadır.

Enerji Verimliliği (H)

Enerji verimliliği eşitlik (34)'e göre hesaplanmaktadır. Değerler eşitlik (34)'de yerine yazılırsa;

$$\eta = \frac{\dot{W}}{\dot{E}_{\text{giriş}}} \times 100$$

$$\eta = \frac{256,16 \text{ kW}}{319 \text{ kW}} \times 100$$

$\eta = \%80,3$ olmaktadır.

Kompresörlerin İkinci Yasa Analizi:

Fiziksel Ekserji:

Fiziksel ekserji analizi eşitlik (29)'a göre hesaplanmaktadır. Değerler eşitlik (29)'da yerine yazılırsa;

$$\begin{aligned} Ex_{\text{fiz}} &= (h - h_0) - T_0(S - S_0) \\ &= (603,15 \text{ kJ/kg} - 298,2 \text{ kJ/kg}) - 298,15 \text{ K} \times (7,2 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K} \\ &\quad - 6,867 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K}) \end{aligned}$$

$$Ex_{\text{fiz}} = 205,61 \text{ kJ/kg}$$

Kimyasal Ekserji:

Gazın kimyasal ekserjisi eşitlik (40) ile hesaplanmaktadır. Değerler eşitlik (40)'da yerine yazılırsa;

$$Ex_{\text{kim}} = \sum y_i \times Ex_{i,\text{kim}} + R \times T_0 \times \ln \frac{P}{P_0} \quad (40)$$

Burada;

Havanın bileşimi: $O_2 = \%23$, $N_2 = \%77$

Kimyasal potansiyeller:

$$Ex_{O_2, kim} = 3,97 \text{ kJ/mol}$$

$$Ex_{N_2, kim} = 0,72 \text{ kJ/mol}$$

Gaz sabiti: $R = 8,314 \text{ kJ/kmol.K}$

$$Ex_{kim} = 0,2018 \text{ kJ/kg}$$

Toplam Ekserji:

$$Ex_{toplam} = Ex_{fiz} + Ex_{kim}$$

$$Ex_{toplam} = 205,61 \text{ kJ/kg} + 0,2018 \text{ kJ/kg}$$

$$Ex_{toplam} = 205,81 \text{ kJ/kg}$$

Ekserji verimliliği eşitlik (33)'e göre hesaplanmaktadır. Bu değerler eşitlik (33)'de yerine yazılırsa;

$$\eta_{ekserji} = \frac{Ex_{çıkış}}{Ex_{giriş}} \times 100$$

Burada $\dot{E}_{çıkış} = \dot{m} \times Ex_{toplam}$ olmaktadır.

$$\dot{E}_{çıkış} = 0,84 \text{ kg/s} \times 205,81 \text{ kJ/kg}$$

$$\dot{E}_{çıkış} = 172,88 \text{ kW}$$

$$\eta_{ekserji} = \frac{172,88 \text{ kW}}{319 \text{ kW}} \times 100$$

$\eta_{ekserji} = \%54,19$ olmaktadır.

Tablo 23: Kompresörlerin analiz sonuçları

Yasa	Kategori	Giriş-Çıkış	Değer	Birim
1.Yasa	Giriş Gücü Toplamı	Çıkış	319	kW
1.Yasa	Mekanik Güç	Giriş	256,158	kW
1.Yasa	Enerji Verimliliği	-	80,3	Yüzdelik
2.Yasa	Basınçlı Hava	Çıkış	172,88	kW
2.Yasa	Giriş Gücü Toplamı	Giriş	319	kW
2.Yasa	Enerji Verimliliği	-	54,19	Yüzdelik

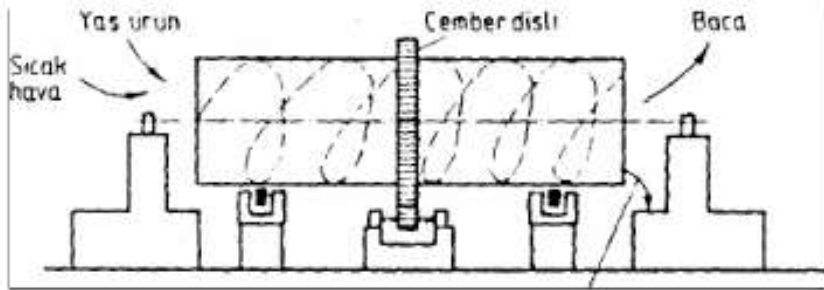
Kurutma Döner Fırın Birinci ve İkinci Yasa Analizi

Silindirik döner kurutucular, genellikle aynı yönlü ya da ters yönlü akış prensibine göre tasarlanmaktadır. Bu sistemlerde Çalışma kapasitesi 25 ton/saat' dir. Tambur giriş sıcaklığı 340°C olup, çıkış sıcaklığı ise 130°C olmaktadır. Bu sıcaklık değerlerinde hava akımı kullanılarak kurutma işlemi gerçekleştirilir. Kurutma verimliliğini artırmak amacıyla, silindirin iç yüzeyi kanatçıklarla donatılmıştır.

Kurutulacak olan yonga, silindirin dönme hareketiyle kanatlar yardımıyla kaldırılır ve ardından sıcak hava akımına yukarıdan aşağı doğru bırakılır. Bu esnada, sıcak hava akımı yonganın dış yüzeyinin tamamına temas ederek yoğun bir ısı ve kütle transferine olanak tanır. Böylece, kurutma işlemi hızlanır ve etkili bir şekilde tamamlanır.



Şeki 15. Kurutma döner fırın baca gazı ölçüm noktası



Şekil 15: Döner tipte silindir kurutucu

Tablo 24: Kurutma döner fırın baca gazı ölçüm raporu

Kaynak Kodu					B1	
Kaynak Adı					Yonga Levha Hattı Kurutma-1 Bacası	
Isıl Gücü (MW)					9,50	
Yakıt Türü					Biyokütle	
Yakıt Miktarı (kg/saat)					4090,90	
Yakıt Alt Isıl Değeri (kcal/kg)					2000	
Baca Çapı (m)					1,6	
Baca Yüksekliği (m)		Yerden	35	Çatıdan	Bağımsız	
Parametreler	1. Ölçüm	2. Ölçüm	3. Ölçüm	Ortalama	SKHKKY Sınır Değerleri	
Baca Kesit Alanı (m ²)				2,01	-	
Gaz Sıcaklığı (°C)	131,3	131,9	135,2	132,8	-	
Ölçülen (% O ₂)	14,23	14,99	14,62	14,6	-	
Basınç (kPa)	92,43	92,37	92,38	92,39	-	
Nem %				19,9	-	
Baca Gazı Hızı (m/sn)				11,05	4 (Ek-4.a.1)	
Baca Gazı Debisi (m ³ /saat)				79.942	-	
NŞA'da Baca Gazı Debisi (Nm ³ /saat)				49.047	-	
NŞA'da Kuru Bazda Baca Gazı Debisi (Nm ³ /saat)				39.301	-	
Yanma Verimi	88	87	87	87	-	
İslilik	2	2	2	2	3 (Ek-5.K.2)	
Konsantrasyonlar (mg/Nm ³)						
Toz	mg/Nm ³	1,16	1,11	1,19	1,15	150 (Ek-5.K.2)
Karbonmonoksit (CO)	ppm	40,00	40,00	40,00	40,00	-
	mg/Nm ³	50,00	50,00	50,00	50,00	.*
Kükürtdioksit (SO ₂)	ppm	2,00	3,00	3,00	2,67	-
	mg/Nm ³	5,71	8,57	8,57	7,62	.*
Azotmonoksit (NO)	ppm	5,00	5,00	5,00	5,00	-
	mg/Nm ³	6,70	6,70	6,70	6,70	.*
Azotdioksit (NO ₂)	ppm	5,00	5,00	5,00	5,00	-
	mg/Nm ³	10,27	10,27	10,27	10,27	.*
TOC	ppm	3,57	4,15	6,15	4,62	-
	mg/Nm ³	5,7375	6,6696	9,8839	7,4304	(Ek-1, Tablo 1.2.2) ²
VOC						
I. Sınıf Organik Buhar Emisyonları						
Chloroform (Trichloromethane)	mg/Nm ³	0,0793	0,0776	0,0195	0,0588	(Ek-1, Tablo 1.2.2) ²
1,1,2-Trichloroethane	mg/Nm ³	0,0508	0,0579	<LOQ ¹	0,0362	
I. Sınıf Organik Buhar Emisyonları Toplamları				0,0950	-	
II. Sınıf Organik Buhar Emisyonları						
Trichloroethene	mg/Nm ³	0,0290	0,0297	0,0248	0,0278	(Ek-1, Tablo 1.2.2) ³
1,4-Dichlorobenzene	mg/Nm ³	0,2446	0,2417	<LOQ ¹	0,1621	
Hexachlorobutadiene	mg/Nm ³	0,1540	0,1816	0,3665	0,2340	
II. Sınıf Organik Buhar Emisyonları Toplamları				0,4239	-	
III. Sınıf Organik Buhar Emisyonları						
Methylenechloride	mg/Nm ³	1,6662	1,6585	0,0229	1,1159	(Ek-1, Tablo 1.2.2) ⁴
III. Sınıf Organik Buhar Emisyonları Toplamları				1,1159	-	

Kabuller:

Tambur giriş sıcaklığı ($T_{\text{giriş}}$) 658,15 K ve tambur çıkış sıcaklığı ($T_{\text{çıkış}}$) 400,15 K 'dir.

Kurutma tambur fırın kapasitesi 25 ton/saat'dir.

Nem içeriği %75

Çevre koşulları (T_0) 298,15 K ve (P_0) 1 atm'dir.

Tambur çıkış rutubeti: %2.5

Isıl Güç: 9,50 (MW)

Yakıt miktarı: 4090,90 kg/saat

Kurutma döner fırınında ısı enerjisini sağlamak için yonga levhanın zımpara tozu yakılmaktadır. Bu yakıtın biyokütle özellikleri; ($C = 0,50, H_2 = 0,06, O_2 = 0,43, N_2 = 0,002, Kül = 0,008$)

Kurutma Döner Fırın Birinci Yasa Analizi

Giren Isı ($\dot{Q}_{\text{yakıt}}$)

Kurutma döner fırınında yakıtın enerjisi eşitlik (41) ile bulunmaktadır. Değerler eşitlik (41)'de yerine yazılırsa;

$$\dot{Q}_{\text{yakıt}} = \dot{m} \times \text{LHV} \quad (41)$$

Burada;

$$\dot{m} = 4090,90 \text{ kg/saat} = 1,1364 \text{ kg/s (Yakıt kütle debisi)}$$

$$\text{LHV} = 2.000 \text{ kcal/kg} = 8.370 \text{ kJ/kg (Yakıtın alt ısı değeri)}$$

$$\dot{Q}_{\text{yakıt}} = 1,1364 \text{ kg/s} \times 8.370 \text{ kJ/kg}$$

$$\dot{Q}_{\text{yakıt}} = 9.509,87 \text{ kW}$$

Havanın Kütlesel Debi Hesabı:

Havanın volümetrik debisi:

$$V_{\text{hava}} = \frac{79.942 \text{ m}^3/\text{h}}{3.600 \text{ s/h}}$$

$$V_{\text{hava}} = 22,206 \text{ m}^3/\text{s} \text{ olmaktadır.}$$

Havanın yoğunluğu:

Gaz yoğunluğu (ρ) ideal gaz yasası kullanılarak hesaplanmıştır. İdeal gaz yasası eşitlik (37)'e göre hesaplanmıştır. Değerler (37)'de yerine yazılırsa;

$$\rho_{\text{hava}} = \frac{P}{R \times T}$$

$$\rho_{\text{hava}} = \frac{101.325 \times 1000}{287 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K} \times 298,15 \text{ K}}$$

$$\rho_{\text{hava}} = 1,184 \text{ kg/m}^3 \text{ olur.}$$

Havanın kütlesel debisi:

Havanın kütlesel debisi eşitlik (36)'ya göre hesaplanmıştır. Bu değerler eşitlik (36)'da yerine yazılırsa;

$$\dot{m}_{\text{hava}} = \dot{V}_{\text{hava}} \times \rho_{\text{hava}}$$

$$\dot{m}_{\text{hava}} = 22,206 \text{ m}^3/\text{s} \times 1,184 \text{ kg/m}^3$$

$$\dot{m}_{\text{hava}} = 26,29 \text{ kg/s}$$

Giriş Ve Çıkış Enerji Hesabı:

Havanın giriş enerjisi eşitlik (35)'e göre hesaplanmıştır. Değerler eşitlik (35)'de yerine yazılırsa;

$$Q_{\text{giriş}} = \dot{m}_{\text{hava}} \times C_p \times (T_{\text{giriş}} - T_0)$$

$$C_p = 1,013 \text{ kJ/kg. K}$$

$$Q_{\text{giriş}} = 26,29 \text{ kg/s} \times 1,013 \text{ kJ/kg. K} \times (613,15 \text{ K} - 298,15 \text{ K})$$

$$Q_{\text{giriş}} = 8.363,17 \text{ kW}$$

Havanın çıkış enerjisi:

Havanın çıkış enerjisi eşitlik (35)'e göre hesaplanmıştır. Değerler eşitlik (35)'de yerine yazılırsa;

$$Q_{\text{çıkış}} = \dot{m}_{\text{hava}} \times C_p \times (T_{\text{giriş}} - T_0)$$

$$C_p = 1,051 \text{ kJ/kg. K}$$

$$Q_{\text{çıkış}} = 26,29 \text{ kg/s} \times 1,051 \text{ kJ/kg. K} \times (403,15 \text{ K} - 298,15 \text{ K})$$

$$Q_{\text{çıkış}} = 2.897,13 \text{ kW}$$

Enerji verimliliği eşitlik (34)'e göre hesaplanmaktadır. Değerler eşitlik (34)'de yerine yazılırsa;

$$\eta = \frac{Q_{\text{çıkış}}}{Q_{\text{giriş}}} \times 100$$

$$\eta = \frac{2.897,13 \text{ kW}}{8.363,17 \text{ kW}} \times 100$$

$$\eta = \% 34,64 \text{ olmaktadır.}$$

Kurutma Döner Fırın İkinci Yasa Analizi

Fiziksel Ekserji:

Döner fırın fiziksel ekserji analizi eşitlik (29)'a göre hesaplanmaktadır. Değerler eşitlik (29)'da yerine yazılırsa;

$$Ex_{fiz} = (h - h_0) - T_0(S - S_0)$$

Giriş Fiziksel Ekserji:

$$h_{giriş} = \frac{Q_{giriş}}{\dot{m}_{hava}}$$

$$h_{giriş} = \frac{8.363,17 \text{ kW}}{26,29 \text{ kg/s}}$$

$$h_{giriş} = 318,2 \text{ kJ/kg}$$

$$S_{giriş} = 3,2077 \text{ kJ/kg. K}$$

Eşitlik (30)'a göre değerler yerine yazılarak bulunur.

$$Ex_{fiz,giriş} = (318,2 \text{ kJ/kg} - 0) \\ - 298,15 \text{ K} \times (3,2077 \text{ kJ/kg. K} - 0)$$

$$Ex_{fiz,giriş} = -637,72 \text{ kJ/kg}$$

Çıkış Fiziksel Ekserji:

Eşitlik (39)'a göre sistemde iş yok ve sadece ısı transferi varsa değerler eşitlikte yerine yazılarak bulunur.

$$h_{çıkış} = \frac{Q_{çıkış}}{\dot{m}_{hava}}$$

$$h_{çıkış} = \frac{2.897,13 \text{ kW}}{26,29 \text{ kg/s}}$$

$$h_{çıkış} = 110,2 \text{ kJ/kg}$$

$$S_{giriş} = 2,5374 \text{ kJ/kg. K}$$

$$Ex_{fiz,çıkış} = (110,2 \text{ kJ/kg} - 0) \\ - 298,15 \text{ K} \times (2,5374 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K} - 0)$$

$$Ex_{fiz,çıkış} = -646,28 \text{ kJ/kg}$$

Kimyasal Ekserji: (Zımpara Tozu)

İdeal gazların molar kimyasal ekserji değeri, eşitlik (31)'deki gibi hesaplanır;

$$Ex_{kim} = \sum_j y_j ex_j + RT_0 \sum_j y_j \ln y_j$$

Burada; y_j yanma ürünlerinin molar oranları ve ex_j her bir bileşenin standart kimyasal ekserji değeridir.

Tam yanma olduğu varsayılarak oksijenin tükenmiş olduğu varsayılmaktadır. Yanma olayı ideal yanma olarak ele alındığı için diğer gaz bileşenleri dikkate alınmamıştır.

Yanma ürünlerinin kimyasal ekserji değerleri;

$$(C): ex_C = 410,6 \text{ kJ/mol}$$

$$(H): ex_H = 120 \text{ kJ/mol}$$

$$(N): ex_N = 0 \text{ kJ/mol}$$

$$(O): ex_O = 0 \text{ kJ/mol}$$

Yanma ürünlerinin molar oranları;

$$(C): y_C = 0,50$$

$$(H): y_H = 0,06$$

$$(N): y_N = 0,43$$

$$(O): y_O = 0,002$$

$$Ex_{kim} = [(0,50 \times 410,6 \text{ kJ/mol}) + (0,06 \times 120 \text{ kJ/mol}) + (0,43 \times 0 \text{ kJ/mol}) + (0,002 \times 0 \text{ kJ/mol})] + 8,314 \text{ kJ/kmol} \cdot K \times 298,15 \text{ K} \times (-0,3466 - 0,1649 - 0,3577 - 0,0138)$$

$$Ex_{kim} = -1.971,14 \text{ kJ/mol} \text{ olmaktadır.}$$

Toplam Enerji Giriş Ve Çıkış:

Toplam enerji eşitlik (27)'ye göre hesaplanmaktadır. Değerler eşitlik (27)'de yerine yazılırsa;

$$Ex_{giriş} = Ex_{fiz,giriş} + Ex_{kimyasal} = -637,72 + (-1.971,14)$$

$$Ex_{giriş} = -2.608,86 \text{ kJ/kg}$$

$$Ex_{çıkış} = Ex_{fiz,çıkış} = -646,28 \text{ kJ/kg}$$

Ekserji Verimliliği:

Ekserji verimliliği eşitlik (33)'e göre hesaplanmaktadır. Bu değerler eşitlik (33)'de yerine yazılırsa;

$$\eta_{ekserji} = \frac{Ex_{çıkış}}{Ex_{giriş}} \times 100$$

$$\eta_{ekserji} = \frac{-646,28 \text{ kJ/kg}}{-2.608,86 \text{ kJ/kg}} \times 100$$

$$\eta_{ekserji} = \%24,78 \text{ olmaktadır.}$$

Tablo 25: Kurutma döner fırın analiz sonuçları

Yasa	Kategori	Giriş-Çıkış	Değer	Birim
1.Yasa	Kurutma Havaasının Enerjisi	Çıkış	kW	2.897,13
1.Yasa	Kurutma Havaasının Enerjisi	Giriş	kW	8.363,17
1.Yasa	Yakıt Isısı	Giriş	kW	9.509,87
1.Yasa	Enerji Verimliliği	-	Yüzdelik	34,64
2.Yasa	Kurutma Havaasının Ekserjisi	Giriş	kJ/kg	-637,72
2.Yasa	Kurutma Havaası Ekserjisi	Çıkış	kJ/kg	-646,28
2.Yasa	Zımpara Tozu Kimyasal Ekserjisi	Giriş		- 1.971,14
2.Yasa	Toplam Ekserji	Giriş	kJ/kg	- 2.608,86
2.Yasa	Toplam Ekserji	Çıkış	kJ/kg	-646,28
2.Yasa	Ekserji Verimliliği	-	Yüzdelik	24,78

3. Sonuçlar ve Öneriler

Bu çalışma kapsamında, yonga levha üretimi yapan bir tesisin enerji tüketimi üzerine detaylı bir istatistiksel analiz gerçekleştirilmiş ve enerji verimliliği üzerine kapsamlı değerlendirmeler yapılmıştır. Çalışmanın temel amacı, üretim süreçlerinde tüketilen enerjinin miktarını belirlemek, enerji tüketiminin zaman içerisindeki değişimlerini analiz etmek ve enerji verimliliğini artıracak potansiyel iyileştirme stratejilerini belirlemektir.

Çalışmada elde edilen bulgular doğrultusunda, enerji tüketimi açısından en belirgin faktörlerin üretim süreçlerindeki operasyonel değişkenler, kullanılan ekipmanların enerji verimliliği, dış çevresel etkenler ve kullanılan enerji kaynaklarının niteliği olduğu belirlenmiştir. Özellikle, yonga levha üretim sürecinde gerçekleşen presleme, zımparalama ve melamin kaplama gibi süreçlerde tüketilen enerjinin yoğunluğu dikkat çekmektedir. Tesis, yıllık toplamda 31.937.051 kWh elektrik tüketimi yapmış olup, en yüksek enerji tüketimi TR4 trafosunda 8.068.192 kWh, en düşük tüketim ise TR2 trafosunda 1.571.222 kWh olarak kaydedilmiştir.

Regresyon analizleri sonucunda, enerji tüketimi ile üretim miktarı arasındaki doğrusal ilişki ortaya konmuş ve bazı üretim hatlarında enerji tüketiminin beklenen seviyelerden düşük veya yüksek olduğu görülmüştür. Sunta pres üretim hattında yapılan analizler, 2020 yılı boyunca toplam 335.299 m³ yonga levha üretildiğini göstermektedir. Sunta pres hattında en fazla üretim Mart 2020'de 31.551 m³, en az üretim ise Ağustos 2020'de 20.935 m³ olarak kaydedilmiştir. Bu üretime bağlı olarak, Ocak 2020'de 2.043.654 kWh, Temmuz 2020'de 1.874.523 kWh ve Aralık 2020'de 2.003.784 kWh elektrik tüketildiği tespit edilmiştir.

2022 yılı için yapılan regresyon analizleri ise enerji tüketimi açısından belirli değişimler olduğunu ortaya koymuştur. 2022 yılı boyunca toplam 342.150 m³ yonga levha üretildiği belirlenmiş, en yüksek üretimin Haziran 2022'de 32.500 m³, en düşük üretimin ise Ekim 2022'de 21.400 m³ olduğu görülmüştür. Elektrik tüketimi açısından 2022 yılında toplam 32.548.210 kWh enerji harcanmış, bu da 2020 yılına kıyasla enerji tüketiminde yaklaşık %1,9'luk bir artış olduğunu göstermektedir. 2022 yılında enerji yoğunluğu endeksi 0,98 olarak hesaplanmış olup, bu değer 2020 yılına göre %4'lük bir iyileşme olduğunu göstermektedir.

Ekserji analizi kapsamında yapılan değerlendirmeler sonucunda, sistem içerisinde gerçekleşen enerji kayıplarının büyük ölçüde termodinamik yasalar çerçevesinde ele alınması gerektiği belirlenmiştir. Özellikle kazan dairesi, pres hattı ve kurutma döner fırın gibi yüksek enerji tüketen birimlerde gerçekleşen ekserji kayıpları, süreç verimliliğini düşüren en önemli faktörlerden biridir. Sunta pres hattında birinci yasa verimi %95,65, ikinci yasa verimi %94,99 olarak belirlenmiştir. Kazan dairesinde ise birinci yasa verimi %37,7, ikinci yasa verimi %27,3 olarak hesaplanmıştır. Kurutma fırını özelinde yapılan analizlerde, atık ısı geri kazanımı potansiyelinin oldukça yüksek olduğu görülmüştür. Kurutma döner fırınında birinci yasa enerji verimliliği %34,64, ikinci yasa ekserji verimliliği %24,78 olarak belirlenmiştir. Kazan dairesinde, baca gazı analizlerine göre ortalama 200°C sıcaklığında egzoz gazı çıkışı gözlemlenmiş ve bu enerjinin %30'unun geri kazanılarak tesis içerisindeki diğer süreçlerde kullanılabileceği hesaplanmıştır.

Genel olarak, enerji ve ekserji analizleri, tesisin enerji tüketim verimliliğini artırmak için çeşitli optimizasyon çalışmalarına ihtiyaç duyduğunu göstermektedir. Enerji tüketiminin %10 oranında azaltılması, üretimde ciddi maliyet avantajları sağlayabilir ve karbon salınımını düşürebilir. Ayrıca, süreçlerin daha düşük enerjiyle çalışmasını sağlamak için atık ısı geri kazanım sistemleri ve yüksek verimli ısı değiştiriciler gibi teknolojilerin kullanımı teşvik edilmelidir.

Bu çalışmanın bulguları doğrultusunda, tesisin enerji tüketimini azaltmak, verimliliği artırmak ve çevresel etkilerini en aza indirmek için aşağıdaki öneriler geliştirilmiştir:

ISO 50001 Enerji Yönetim Sistemi uygulanmalı ve enerji tüketimi gerçek zamanlı izleme sistemleri ile takip edilmelidir. Üretim süreçlerinde otomasyon oranı artırılmalı ve verimliliği düşük ekipmanların yenilenmesi sağlanmalıdır. Atık Isı Geri Kazanım Sistemlerinin Geliştirilmesi Kurutma fırını ve kazan dairesinde atık ısı geri kazanım sistemleri kullanılmalıdır. Baca gazı sıcaklığı 200°C seviyesinde olup, en az %30'luk enerji geri kazanımı sağlanmalıdır. Eski ve düşük verimli motorlar, enerji verimli motorlarla değiştirilmelidir. VSD (Değişken Hızlı Sürücüler) kullanımı yaygınlaştırılmalı ve proses optimizasyonu yapılmalıdır. Güneş enerjisi sistemleri ile tesisin elektrik tüketimi desteklenmeli, biyokütle kazanlarının verimliliği artırılmalıdır. Enerji bağımlılığını azaltmak için hibrit sistemler geliştirilmeli ve yenilenebilir enerji yatırımları yapılmalıdır. Enerji verimliliği konusunda düzenli eğitimler verilerek, farkındalık artırılmalıdır. Çalışanların enerji tasarrufu konusunda bilinçlenmesi, genel verimliliği artıracaktır. Enerji tüketiminin %10 oranında azaltılması, karbon emisyonlarında ciddi bir düşüş sağlayacaktır. Yakıt türü optimizasyonları yapılarak karbon salınımı minimize edilmelidir. Sanayi 4.0 uygulamaları ile akıllı üretim sistemlerine geçiş sağlanmalı ve süreç optimizasyonları yapılmalıdır. Yapay zekâ destekli enerji yönetim sistemleri kullanılarak üretim planlamaları daha verimli hale getirilmelidir.

Bu çalışmanın bulguları, yonga levha üretim tesislerinde enerji tüketiminin optimize edilmesi, enerji verimliliğinin artırılması ve sürdürülebilirlik stratejilerinin uygulanması açısından önemli

veriler sunmaktadır. Sunta pres hattı, kurutma fırını ve kazan dairesi gibi kritik bölgelerde yapılan enerji ve ekserji analizleri, enerji kayıplarını ve geri kazanım potansiyellerini ortaya koymuştur. Bu önerilerin uygulanması ile enerji tüketimi %10 oranında azaltılabilir, karbon salınımı minimize edilebilir ve işletme maliyetleri önemli ölçüde düşürülebilir.

Sonuç olarak, tesis genelinde entegre bir enerji yönetim sistemi kurulmalı, yüksek verimli ekipman kullanımı artırılmalı, atık ısı geri kazanım stratejileri uygulanmalı ve çalışanlar bilinçlendirilerek süreçlerde maksimum verimlilik sağlanmalıdır. Bu yaklaşımlar, tesisin uzun vadeli sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmasına yardımcı olacaktır.

Kaynaklar

Aboulnaga, M., Wanas, A., Hammad, M., Hussein, M. (2017). Sustainability Of Higher Educational Buildings: Retrofitting Measures To Enhance Energy Performance—The Case Of AASTMT Business Management School Building, Egypt. In Mediterranean Green Buildings Renewable Energy: Selected Papers From The World Renewable Energy Network's Med Green Forum (pp. 117-150). Springer International Publishing.

Afşar, H. (2011). Seramik Fabrikası Enerji ve Ekserji Analizi. Yozgat Bozok Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 290960.

Ahmadi, G. R., Toghraie, D. (2016). Energy And Exergy Analysis Of Montazeri Steam Power Plant In Iran. Renewable And Sustainable Energy Reviews, 56, 454-463.

Akbulut, T. (2000). Yonga Levha Endüstrisi. Laminart Mobilya Dekorasyon Sanat Tasarım Dergisi, Nisan-Mayıs, 7, 119-122.

Akbulut, T., Koc, E. (2004). Effects Of Panel Density, Panel Temperature, And Cutter Sharpness During Edge Machining On The Roughness Of The Surface And Profiled Areas Of Medium Density Fiberboard. Forest Products Journal And Index, 54(12), 67-70.

Akhan, H. (2022). Sanayide Enerji Yönetimi: Pompa Ve Fan Sistemlerinde Verimlilik Artırıcı Uygulamalar. Trakya Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 23(1), 11-23.

Akhtar, T., Rehman, A. U., Jamil, M., Gilani, S. O. (2020). Impact of an Energy Monitoring System On The Energy Efficiency Of An Automobile Factory: A Case Study. Energies, 13(10), 2577.

Aprhornratana, S., Eames, I. W. (1995). Thermodynamic Analysis Of Absorption Refrigeration Cycles Using The Second Law Of Thermodynamics Method. International Journal Of Refrigeration, 18(4), 244-252.

Aydın, U. (2016). Yonga Geometrisi Ve Taslak Rutubet Değişimlerinin Yonga Levha Özelliklerine Etkisi. Bartın Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

Bekar, N. (2020). Yenilenebilir Enerji Kaynakları Açısından Türkiye'nin Enerji Jeopolitiği. Türkiye Siyaset Bilimi Dergisi, 3(1), 37-54.

Bekhta, P., Hiziroglu, S. (2002). Theoretical Approach On Specific Surface Area Of Wood Particles. Forest Products Journal, 52(4), 72-77.

Bilginsoy, A. K. (2012). Bir Termik Santralde Termodinamik Analiz ve Isıl Süreçlerdeki Tersinmezliklerin Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 323025

Bozpınar, B. (2019). İşletmelerde Kurumsal Kaynak Planlaması (ERP) Uygulamalarına Geçişin İş Süreçleri Üzerindeki Etkisi: Türk İlaç ve Serum Sanayi AŞ Örneği, Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Kültür Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü , İstanbul, 546483

Büyüköztürk, Ş. (2019). İstatistik, Araştırma Deseni SPSS Uygulamaları ve Yorum. Ankara: Pegem

Callak, M., Balkan, F., Hepbasli, A. (2015). Avoidable And Unavoidable Exergy Destructions Of A Fluidized Bed Coal Combustor And A Heat Recovery Steam Generator. Energy Conversion and Management, 98, 54-58.

Ceccotti, A. (1993). Structural Timber: Characteristics And Testing. Structural Engineering International, 3(2), 95-98.

Cornelissen, R. (1997). Thermodynamics And Sustainable Development. PhD Thesis - Research UT, Graduation UT, 9036510538.

Cuce, E., Riffat, S. B. (2015). A State-Of-The-Art Review On Innovative Glazing Technologies. Renewable And Sustainable Energy Reviews, 41, 695-714.

Çengel, Y., Boles, M. (1996). Termodinamiğin Temel Kavramları. Mühendislik Yaklaşımıyla Termodinamik, (2-31). (Çev). Derbentli, T., İstanbul: Literatür Yayıncılık.

Doğan, H., Yılankırkan, N. (2015). Türkiye'nin Enerji Verimliliği Potansiyeli Ve Projeksiyonu. Gazi University Journal Of Science Part C: Design And Technology, 3(1), 375-384.

Efremov, V., Markman, G. (2007). Energy Conservation And Energy Efficiency: Defining The Concepts And The System Of

Balanced Scorecard Of Energy Efficiency. Izvestiya Tomskogo Politekhnikheskogo Universiteta [Bulletin Of The Tomsk Polytechnic University], 311(4), 146-148.

Ener, C., (2022). Avrupa'ya İhracat Zamanı. Dünyanın En Büyük Şirketlerine Tedarikçi Olmanın Tüyoları, Ekonomist Dergisi Girişim Eki (Eylül),40-41

Günaşdı, N. E. (2014). Çok Değişkenli Çoklu Doğrusal Regresyon Analizinin İncelenmesi .Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi / Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum, 376244.

Han, X., Liu, M., Wu, K., Chen, W., Xiao, F., Yan, J. (2016). Exergy Analysis Of The Flue Gas Pre-Dried Lignite-Fired Power System Based On The Boiler With Open Pulverizing System. Energy, 106, 285-300.

Hartono, B. S., Mursid, S. P., Prajogo, S. (2018). Home Energy Management System In A Smart Grid Scheme To Improve Reliability Of Power Systems. IOP Conference Series: Earth And Environmental Science, IOP Publishing.

Hecht, E. (2008). Energy Conservation Simplified. The Physics Teacher, 46(2), 77-80.

Hiziroglu, S. (1996). Surface Roughness Analysis Of Wood Composites: A Stylus Method. Forest Products Journal, 46(7-8), 67.

Hiziroglu, S., Graham, M. (1998). Effect Of Press Closing Time And Target Thickness On Surface Roughness Of Particleboard. Forest Products Journal, 48(3), 50.

Hiziroglu, S., Suchsland, O. (1993). Linear Expansion And Surface Stability Of Particleboard. Forest Products Journal, 43(4), 31.

İsa, K., Onat, A. (2012). İklimlendirme ve Soğutma Sistemlerinde Enerji Verimliliği. İstanbul: Doğa Yayıncılık,

İstek, A., Gözalan, M., Özlüsoylu, İ. (2017b). Yonga Levha Özelliklerine Yüzey Kaplama Veya Boyama İşlemlerinin Etkisi. Kastamonu University Journal Of Forestry Faculty, 17(4), 619-629. <https://doi.org/10.17475/kastorman.180279>

İstek, A., Kurşun, C., Aydemir, D., Köksal, S. E., diğerleri. (2017a). Yüzey Tabaka Yonga Oranının Yonga Levha Özelliklerine

Etkisi. Bartın Orman Fakültesi Dergisi, 19(1), 182-186.
<https://doi.org/10.24011/barofd.307497>

Janitza. (2024). About Janitza.
<https://www.janitza.com/company/about-janitza.html>

Kanit, R., Baykan, U. N. (2004). Bina Yaklaşık Maliyetinin Çoklu Doğrusal Regresyon İle Belirlenmesi. Politeknik Dergisi, 7(4), 359-369.

Kanoğlu, M. (2010). Enerji Verimliliği Örnek Projeleri. Gaziantep: Gaziantep Üniversitesi.

Kara, O., Şahin, Ö., Bekar, İ., Kayacan, B. (2019). Endüstriyel Ağaç ve Ahşap Ürünleri Sektörünün Uluslararası Rekabet Gücü Analizi: Türkiye Örneği. Ekonomik ve Sosyal Araştırmalar Dergisi, 15(1), 15-32.

Karaca, C., Karacan, H. (2016). Çoklu Regresyon Metoduyla Elektrik Tüketim Talebini Etkileyen Faktörlerin İncelenmesi. Selçuk Üniversitesi Mühendislik, Bilim Ve Teknoloji Dergisi, 4(3), 182-195.

Karakurt, I., Aydın, G., Kaya, S. (2015). Modeling of Turkey's CO2 emissions using economic and demographic variables. 24th. In International Mining Congress and Exhibition of Turkey, Antalya-Türkiye

Karakurt, İ., Aydın, G., Amırı, M. R. (2020). BRICS-T Ülkelerinin Kömür Tüketimlerinin Çoklu Regresyon Analizi İle Tahmini. Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi, 5(1), 32-45.

Karakuş, B. (2007). Çeşitli Bitkisel Sera Atıklarının Yonga Levha Üretiminde Değerlendirilmesi. Fen Bilimleri Enstitüsü.

Kavitha, B., Molykutty, M. V. (2021). Life Cycle Energy Analysis Of A Glazed Commercial Building Using Building Information Modelling (BIM) Tools. Materials Today: Proceedings, 37, 940-946.

Kaya, M. (2012). Sanayide Enerji Verimliliği Potansiyeli ve Basınçlı Hava Sistemlerinde Verimlilik. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Enerji Enstitüsü, 333052.

Koç, E., Kaya, K. (2015). Enerji Kaynakları–Yenilenebilir Enerji Durumu. Mühendis ve Makina, 56(668), 36-47.

Maloney, T. M. (1977). Modern Particleboard and Dry-Process Fiberboard Manufacturing. San Francisco: Miller Freeman Publications, Inc.

Mani, M., Lyons, K. W., Rachuri, S., Subrahmanian, E., Ameta, G., Sriram, R. D., Feng, S. C. (2008). Introducing Sustainability Early Into Manufacturing Process Planning. In International Manufacturing Science And Engineering Conference, October 7–10, 2008, Evanston, Illinois, USA

Markwood, P. (2006). Paperless Workflows In Journal Production: A Management Perspective. Learned Publishing, 19(2), 115-124.

McKane, A., Price, L. (2007). Policies For Promoting Industrial Energy Efficiency In Developing Countries And Transition Economies. Vienna: UNIDO.

Mehrpooya, M., Jarrahan, A., Pishvaie, M. R. (2006). Simulation And Exergy-Method Analysis Of An Industrial Refrigeration Cycle Used In NGL Recovery Units. International Journal Of Energy Research, 30(15), 1336-1351.

Meral, M. E., Teke, A., Tümay, M. (2009). Elektrik Tesislerinde Enerji Verimliliği. Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi, 14(1), 31-37,

Mir, U., Abbasi, U., Mir, T., Kanwal, S., Alamri, S. (2021). Energy Management In Smart Buildings And Homes: Current Approaches, A Hypothetical Solution, And Open Issues And Challenges. IEEE Access, 9, 94132-94148.

Mirza, U. K., Ahmad, N., Majeed, T. (2008). An Overview Of Biomass Energy Utilization In Pakistan. Renewable And Sustainable Energy Reviews, 12(7), 1988-1996.

Morris, D. R., Szargut, J. (1986). Standard Chemical Exergy Of Some Elements And Compounds On The Planet Earth. Energy, 11(8), 733-755.

Nebati, E. E., Taş, M., Ertaş, G. (2021). Türkiye’de Elektrik Tüketiminde Talep Tahmini: Zaman Serisi Ve Regresyon Analizi İle Karşılaştırma. Avrupa Bilim Ve Teknoloji Dergisi, (31), 348-357.

Nemli, G., diğerleri. (2007). Evaluation Of Some Of The Properties Of Particleboard As Function Of Manufacturing Parameters. *Materials Design*, 28(4), 1169-1176.

Nemli, G., Örs, Y., Kalaycıoğlu, H. (2005). The Choosing Of Suitable Decorative Surface Coating Material Types For Interior End Use Applications Of Particleboard. *Construction And Building Materials*, 19(4), 307-312.

Özdamar, İ. (2007). Orman Ürünleri Endüstrisinde İstatistiksel Kalite Kontrol: Yonga Levha Üretiminde Bir Çalışma. *Turkish Journal Of Forestry*, 8(1), 79-91.

Özkan, G., Çarıkçı, O. (2021). An Application Under Internal Audit And Control In SAP Systems. *Journal Of Current Researches On Business And Economics*, 11(1), 1-14.

Pamir, N. (2005). Enerji Politikalar Ve Küresel Gelişmeler. *Stratejik Analiz*, 6(68), 57-73.

Petrecca, G. (2012). *Industrial Energy Management: Principles and Applications*. Springer Science Business Media.

Reddy, D. S., Jeyaprabha, S. B. (2020). Modernized Energy Management System: A Review. *Journal Of Physics: Conference Series*, IOP Publishing.

Rosen, M. A., Dincer, I. (2004). A Study Of Industrial Steam Process Heating Through Exergy Analysis. *International Journal Of Energy Research*, 28(10), 917-930.

Saravia-Cortez, A. M., Herva, M., García-Diéguez, C., Roca, E. (2013). Assessing Environmental Sustainability Of Particleboard Production Process By Ecological Footprint. *Journal Of Cleaner Production*, 52, 301-308.

Schmid, S. R. (2012). Energy Consumption In Manufacturing. *AIP Conference Proceedings*, 1431(1), 417-424.

Shakeri, M., Pasupuleti, J., Amin, N., Rokonzaman, M., Low, F. W., Yaw, C. T., Lai, C. W. (2020). An Overview Of The Building Energy Management System Considering The Demand Response Programs, Smart Strategies And Smart Grid. *Energies*, 13(13), 3299.

Söğüt, Z., Oktay, Z. (2006). Sanayi Sektöründe Enerji Taramasının Enerji Verimliliğine Etkisi ve Bir Uygulama. *Journal Of Science And Technology Of Dumlupınar University*, (010), 151-162.

Şahin, H. E. (2012). Kritik-Üstü Tip Bir Buharlı Güç Santralinin Enerji ve Ekserji Analizi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Enerji Enstitüsü, İstanbul, 333084.

Şener, F. (2005). Yük Tahmin Yöntemleri ve Ankara Merkez Metropol Alan İçin Regresyon Analizi Yöntemi Kullanılarak Uygulanması. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 196526.

Taylor, P. G., d'Ortigue, O. L., Francoeur, M., Trudeau, N. (2010). Final Energy Use In IEA Countries: The Role Of Energy Efficiency. *Energy Policy*, 38(11), 6463-6474.

Tetik, T. (2011). Doğalgaz Yakıtlı Bireysel Isıtma Sisteminin Enerji ve Ekserji Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Hitit Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 301100

Uylukçuoğlu, Ö. E. (2009). Otomotiv Sanayinde Enerji Verimliliği ve Enerji Tasarruf Olanaklarının Belirlenmesi Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Enerji Enstitüsü, İstanbul, 238-755

Uzun, A., Değirmen, M. (2018). Endüstriyel İşletmelerde Enerji Verimliliği ve Enerji Yönetimi. *Uluslararası Ekonomik Araştırmalar Dergisi*, 4(2), 83-97.

Vansteenkiste, R. (1981). Surface Treatment Of Wood Based Panels. *Seminar On Wood Based Panels And Furniture Industries*, Beijing, China.

Yerel, S., Ersen, T. (2013). Prediction Of The Calorific Value Of Coal Deposit Using Linear Regression Analysis. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, And Environmental Effects*, 35(10), 976-980.

Yergök, D., Acı, M. (2019). Toplu Yemek Üretiminde Günlük Talep Tahmini İçin Alternatif Bir Yaklaşım: Öğrenci Regresyon. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (Özel Sayı), 64-73.

Yossifov, N. (1988). Mathematical Modeling Of Parameters Characterizing The Gluing Links Between Particles In

Particleboards. Mechanical Wood Technology, No.34 in Res. Pap. Series. Higher Inst. of Forestry and Wood Tech., Sofia, Bulgaria

Yumurtacı, Z., Dönmez, A. H. (2013). Konutlarda Enerji Verimliliği. Mühendis ve Makina, (637), 38-43.

Zecevic, N., Dzaferovic, E., Husika, A. (2020). Defining Criteria For The Selection Of Measures To Increase Energy Efficiency In Public Buildings. IOP Conference Series: Materials Science And Engineering, 960(3), 032052.

YONGA LEVHA ÜRETİMİ YAPAN BİR TESİSİN ENERJİ TÜKETİMİNİN İSTATİSTİKSEL ANALİZİ VE ENERJİ VERİMLİLİĞİNİN İNCELENMESİ

