

PANDEMİ DÖNEMİNDE YALIN ÜRETİM UYGULAMALARININ ÖNCELİKLENDİRİLMESİ: OTOMOTİV PARÇASI ÜRETİCİLERİ ÖRNEĞİ

Sinan APAK^{1*}

¹ Maltepe Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, İstanbul
ORCID No: <https://orcid.org/0000-0002-3263-7167>

Anahtar Kelimeler	Öz
<i>Covid -19, Pandemi, Yalın üretim, Yalın üretim uygulamaları, Yorumlayıcı Yapısal Model</i>	<i>Küresel Covid-19 pandemisinin etkisi birçok otomotiv parçası imalatı yapan işletmenin üretimine ara vermesine neden olmuştur. Sürdürülebilir üretimin en iyi araçlarından biri olan yalın üretim bu noktada daha fazla önem kazanmıştır. Hammadde stoğunun azalması yer yer bitmesi üretim sürecinde aksamalara sebebiyet vermiş, müşteri talebinin karşılanamamasına neden olmuştur. Hâlihazırda yalın üretim felsefesini benimsemiş işletmeler yalın uygulamalarına daha çok önem göstermektedir. Bu çalışma da bu süreç içerisinde otomotiv parçası üreten işletmelerin hangi yalın üretim araçlarını öncelikli olarak kullandıklarını tespit etmeye yönelik araştırma yapmıştır. Araştırma yalın üretim araçlarını kullandığını belirten 42 otomotiv parçası üreticisi işletmenin üretim mühendislerini yönelimlerini göstermektedir. Yalın üretim araçlarının bu süreç içerisinde tercih edilmesini yorumlayıcı yapısal model kullanarak açıklayan anket çalışması sonucunda pandemi sürecinde en çok tercih edilen yalın üretim aracının toplam verimli bakım ve hata önleme sistemleri olduğu ortaya çıkmıştır. Bunun nedenleri yorumlandığında boşta duran makinalara bakım yapılacağı ve üretim esnasında olabilecek bir arızada gerekli tamir parçasının tedarikinin geç gelebileceğinden dolayı periyodik bakıma önem verildiğidir. Bir ikinci yalın üretim aracı da hata önleme sistemidir. Süreçlerindeki iyileştirmelerde poke-yoke araçlarını geliştirdikleri ortaya çıkmıştır. Kullanılan modelin işlerliği, pandemi sürecinde otomotiv parçası üretimi yapan işletmelerin üretimi sektöre uğratan durumların önüne geçmesi yönünden hem literatüre hem de sektöre katkı sağlamaktadır.</i>

PRIORITIZATION OF LEAN MANUFACTURING PRACTICES DURING THE PANDEMIC PERIOD: CASE OF AUTOMOTIVE PARTS MANUFACTURERS

Keywords	Abstract		
<i>Covid -19, Pandemic, Lean production, Lean production tools, Interpretive Structural Model</i>	<i>The effect of the global Covid-19 pandemic has caused many automotive parts manufacturing companies to suspend their production. Lean production, which is one of the best tools of sustainable production, has gained more importance at this point. The decrease in the stock of raw materials caused disruptions in the production process and the customer demand was not met. Businesses that have already adopted the lean production philosophy attach more importance to lean applications. This study also conducted research to determine which lean production tools primarily used by the companies producing automotive parts during this process. The research shows the orientation of the production engineers of 42 automotive part manufacturer companies that stated that they use lean production tools. As a result of the survey, which explains the preference of lean production tools in this process by using an interpretative structural model, it has been revealed that the most preferred lean production tool in the pandemic process is total efficient maintenance and error prevention systems. The reasons for this are that the idle machines will be serviced and that periodic maintenance is given importance because the supply of the necessary repair part may come late in case of a malfunction that may occur during production. A second lean manufacturing tool is the defect prevention system. It has been revealed that they have developed poke-yoke tools in the improvements in their processes. The operability of the model used contributes to both the literature and the industry in terms of preventing the situations that interrupt the production of the companies that produce automotive parts during the pandemic process..</i>		
Araştırma Makalesi	Research Article		
Başvuru Tarihi	: 06.08.2021	Submission Date	: 06.08.2021
Kabul Tarihi	: 04.02.2022	Accepted Date	: 04.02.2022

*Sorumlu yazar; e-posta: sinanapak@maltepe.edu.tr

1. Giriş

2019 yılında Çin’de başlayan salgın hastalık birçok ülkeyi etkisi altına almıştır. Ticareti olumsuz etkileyen Covid-19 pandemisi tedarik zincirinde kırılmalara yol açmıştır. Birçok üretim tesisi hammadde bulmakta zorluk yaşamıştır. Bu süre içerisinde yalın üretimden taviz vermeyerek israfi mümkün olduğunca azaltma ilkesini kullanan işletmeler avantajlı çıkmaktadır. Fakat hassas tedarik zincirleri, tam zamanında (JIT) üretim yönetimi ve minimum atık gibi süreçler işletmeler talebi karşılayabildiğinde olması gerektiği gibi çalışırken küresel bir salgın olduğunda bu durum değişmiştir. Yalın üretimde her zaman çalışır, ulaşabilir ve her zaman yanıt veren tedarik zincirinin olduğunu varsaymaktadır (Abualfarra, Salonitis ve Al-Ashaab, 2017; Danese, Manfè, ve Romano, 2018). Ancak gördüğümüz gibi bu varsayım pandemi gibi dönemlerde sekteye uğrayabilmektedir. Otomotiv parçaları gibi seri üretim yapan tesisler müşteri talebini karşılamak için yalnızca ihtiyaç olan minimum ek envanter tutulduğunda “tam zamanında” bir üretim modelini uygulayabilmektedir burada oluşan problem ham madde eksikliğinden kaynaklanan sorunlardır (Ben, Vinodh ve Asokan, 2018; Kurilova, Sundin, ve Poksinska, 2018; Hyder, 2021).

İşletmeler değişen Pazar taleplerine etkin ve verimli üretim stratejileri geliştirmek için sürekli iyileştirme metodolojileri uygulamaktadır. 2020 yıllarının başında etkisini artıran pandemi koşulları işletmelerin üretim sürdürülebilirliklerini artırma noktasında bazı sıkıntılara neden olmuştur. Bu süreçte en çok kullanılan uygulamalar arasında israfın ortadan kaldırılmasından üretim ve idari süreçlerin optimizasyonuna izin veren yalın üretim felsefesi bulunmaktadır (Marodin, Frank, Tortorella ve Netland, 2018; Farias, Santos, Gohr, Oliveira ve Amorim, 2019). Ancak, yalın üretim felsefesini organizasyon yapısına dâhil etmek için uzun vadeli planlama, yönetim ve kontrol için kılavuzlar sağlayan net bir kurumsal operasyon stratejisi olmalıdır. Operasyonların ve kurumsal stratejinin unsurları olarak yalın üretim araçları hemen uygulanmaz ve ortaya çıkması zaman alır. Bu nedenle, yürütülmesi için, ürünlerin kalitesini artırabilecek insan faktörünü ihmal etmeden, bir kuruluşun tüm maddi ve maddi olmayan kaynakları ayrıca paydaşların her birinin özel gereksinimlerinin karşılanması dikkate alınmalıdır.

Pandeminin en büyük etkisi tedarik zincirinde meydana gelen aksamaların küresel boyutta üretim yapan firmaları etkilemesidir. Üretim süreçlerinde yaşanan hammadde ve yarı mamül eksikliği üretim planlama departmanlarının süreçlerini verimli yönetememesine neden olmuştur. Bu nedenle her zaman ihtiyaç duyulan yalın üretim araçları daha çok önem kazanmaktadır. Pandemi döneminde yalın üretim araçlarının kullanımında önceliklerin nasıl olduğu bu çalışmanın ana konusunu oluşturmaktadır. Tedarik zincirinde meydana gelen kırılma, insan kaynaklarında azalma, çalışma saatlerinin değişmesi ve ekonomik gelişmelerin bu süreçte yalın üretim araçlarının kullanımı nasıl önceliklendiği araştırılmıştır. Fiziksel, insani ve teknolojik kaynakların kapasitesi, envanterdeki belirsizlik seviyeleri, teslimat süreleri ve kısa üretim döngülerine yanıt vermek için sahip olmaları gereken esneklik yalın üretimin belirleyici unsurlarını oluşturmaktadır.

Yalın üretim araçlarının tercih nedenleri işletmenin özgün organizasyon yapısı göz önüne alındığında belirlenmesi gerekmektedir. Bu araçlar özellikle pandemi şartlarında en uygun çözümün belirlenmesinde karar desteği için bir referans noktası olarak kullanılabilir. Bu araştırma pandemi döneminde yalın araçları belirlemek ve analiz etmek için Yorumlayıcı Yapısal Modelleme (YYM) kullanarak yapısal bir yorum modeli geliştirmiştir. YYM, bilgisayar destekli bir modelleme yaklaşımı olup tanımlanan değişkenler arasındaki ilişkiyi ve belirleyen ve yapılandırılan bir yaklaşımdır. Her bir değişken YYM’de probleme göre tanımlanır. YYM, karar vericilerin kararlarını etkileyebilecek bir dizi iş süreci arasındaki ilişkiyi düzenlemeye yardımcı olarak kuramsal karar problemlerine uygulanabilir. Aynı zamanda YYM belirsiz bir şekilde ifade edilmiş zihinsel modelleri birçok amaç için yararlı ve iyi tanımlanmış modellere dönüştürmesinden dolayı bu çalışmada kullanılmıştır.

Araştırma literatür çalışmasıyla devam edip yalın üretim araçlarının literatür destekli çıkarımları derlenmiştir. Üçüncü bölümde araştırma metodolojisi olan YYM modeli adımlarıyla anlatılmıştır. Dördüncü bölümde de İstanbul ve Kocaeli bölgelerinde bulunan 42 yan sanayi kuruluşuna anket çalışması yapılmıştır. Son bölümde çalışmadan elde edilen sonuçlar irdelenmiştir.

2. Literatür Araştırması

Yalın üretim 1950'li yılların başından beri kademeli olarak üretim yapan işletmelerde kullanılmaya başlamıştır. Bu üretim şekli israfın ortadan kaldırılması ve sürekli iyileştirmeden operasyonel mükemmellik elde edilmesini sağlayan bir dizi uygulama olarak tanımlanabilir (Oleghe ve Salonitis, 2016). Ayrıca yalın üretim, teknik araçların iyi insan kaynakları yönetimi uygulamaları ile koordinasyonunu içerir (Cirjaliu ve Draghici, 2016; Abualfaraa ve diğ., 2017). Bu nedenle, zaman içinde farklı paydaşların gereksinimlerini karşılamak için kurumsal kaynakların kullanımını optimize eden karma özelliklere sahip araçlar geliştirilmiştir. Bu araçların tek ürün üretim süreçlerinde uygulanması kolaydır. Ancak, kitlesel özelleştirmeyi hedefleyen mevcut pazarın taleplerini karşılamak için stratejiler oluşturulmalıdır. Finansal gerilemenin, olumsuz toplumsal tüketimi azaltırken kurumsal ve çevresel etkileri azaltmaya yönelik acil ihtiyaç olunan sürdürülebilir üretim ve döngüsel ekonomi kavramları gibi çeşitli kalite iyileştirme sistemlerini uygulamaya çekmektedir (Zhou, 2016; Yadav ve diğ., 2020). Bu çözümler, işletmenin pandemi döneminde farklı tedbirler almasını gerektirmektedir. Yalın üretim araçları son derece standart hale getirilmiş olsa da kendi içerisinde yer alan sürekli iyileştirme yaklaşımıyla olağan dışı koşullara adaptasyonun ve gerekirse yeni araçların ortaya çıkması üretim tesisleri için kaçınılmazdır (Farias ve diğ., 2019).

Yalın üretim, üretim sisteminden kaynaklanan her türlü israfı azaltarak ürünün teslim süresi ve kalitesinde iyileştirmeye giden yolu gösterirken hammaddenin tam zamanında hatta olduğu kabul edilmektedir. Tedarikin aksadığı ve üretimin başlamasının geciktiği durumlarda yalın üretim araçlarının uygulamasında değişiklik olmamaktadır. Yalın üretimin amacı pazarda yaşanan belirsizliklere karşı üretim sisteminin sürdürülebilirliğini sağlamaktır. Pandemi dönemi de buna en uygun örnek olarak gösterilebilir. Yalın üretim ilkelerini takip etmek, şirketlerin kaynakların korunmasına odaklanırken minimum envanter, mevcut beceri setlerinin maksimum kullanımı ile talep üzerine ürünleri verimli bir şekilde sunmalarına yardımcı olur (Netland ve Ferdows 2016; Zhou, 2016; Varela, Araújo, Ávila, Castro ve Putnik, 2019). Yalın üretim, yalnızca üretim süresini ve maliyetini azaltarak organizasyonun mükemmel iş performansı elde etmesini kolaylaştırmakla kalmaz, aynı zamanda ürün kalitesini ve teslimat süresini iyileştirir. Bu da nihayetinde müşteri memnuniyetini artırır ve rekabet avantajı sağlar (Yadav, Seth, ve Desai 2018). Pandemi döneminde işletmeler hala yalın üretimi uygulamak için çok geç kalmıştır. Daha az işletme sermayesi gibi bazı engeller, zayıf teknoloji, zayıf yönetim becerileri ve eğitim eksikliği yalın uygulama hızını azaltmaktadır (Marodin, ve diğ. 2018; Rafael, William ve Gómez; 2019).

Tablo 1
Yalın Üretim Araçları

No	Yalın üretim araçları	Açıklama	Referans
1	Küçük parti büyüklükleri	Üretim sürecinde küçük parti büyüklükleriyle çalışmayı ifade eder.	Letens, Farris, ve Van Aken, 2011; Netland ve Ferdows (2016)
2	Stok seviyesi	Talep değişimine karşı üretim sürecinde oluşabilecek risklere karşı tutulan stok miktarıdır.	Danese, Manfè, ve Romano, 2018.
3	Kurulum zamanı	Üretim değişiminde tezgâhların hazırlanma süresidir.	Letens, Farris, ve Van Aken, 2011; Vamsi ve Kodali, 2014.
4	Çekme tipi üretim	Müşteriden gelen talep doğrultusunda üretimin ne ölçüde yapılacağı	Panizzolo, Garengo, Sharma ve Gore, 2012; Negrão, Godinho ve Marodin, 2017.
5	Sürekli akış	Hammadde, malzeme ve parçaların ardışık yapılan operasyonlarla hiç bekletilmeksizin ürüne dönüştürülebilme.	Thomas, Francis, Fisher ve Byard, 2016; Zhou, 2016; Abualfaraa, Salonitis ve Al-Ashaab, 2017
6	Değer akış haritası	Ürünü oluşturmak için ortaya konan değer yaratan ve yaratmayan faaliyetlerin akışı.	Jasti, ve Sharma 2014; Rahman ve Karim, 2014; Zhou, 2016;
7	Toplam verimli bakım	Üretim sürecinin düzenli olarak yürütülmesine yönelik araçları bütünleşik bir platform üzerinden yöneten sistem.	Letens, Farris, ve Van Aken, 2011; Zhou, 2016
8	İsraf önleme	Ürüne doğrudan değer katmayan veya ürünün dönüşümüne katkıda bulunmayan süreçlerin elimine etme.	Rahman ve Karim, 2014; Kurilova, Sundin, ve Poksinska, 2018; Yadav, Seth, ve Desai 2018.
9	Kök neden analizi	Sorunun neden ortaya çıktığını belirlemek şeklinde tanımlama.	Kurilova, Sundin, ve Poksinska, 2018; Ben, Vinodh ve Asokan, 2018.
10	Çalışanların yetkilendirilmesi	Çalışanların önemli karar alma yetkisinin verilmesi ve bu kararların sonuçlarının sorumluluğunu taşıyabilmesi.	Abualfaraa ve diğ., 2017; Vinodh ve Joy, 2014
11	Sürekli iyileştirme	Üretimdeki süreci küçük ama sürekli değişiklikler ile daha iyi hale getirme.	Matt ve Rauch, 2013, Zhou, 2016
12	Hata önleme sistemleri	Operatörlerin (yokeru) manuel iş yapma sırasında hata (poka) yapmalarını engelleyen sistem	Helleno, Moraes, ve Simon, 2017; Farias ve diğ., 2019

Yalın üretim uygulamalarıyla ilgili yapılan literatür araştırması Tablo 1’de bir araya getirilmiştir. Yalın üretim uygulamalarının çok daha fazla olmasına rağmen çalışmanın yapılacağı yerlerde kullanılan yalın üretim uygulamaları literatürle desteklenmiştir. Temel alınan bu on iki yalın üretim uygulama aracının imalat endüstrisinde ortak olarak kullanıldığı ve kabul gördüğü tespit edilmiştir.

3. Metodoloji

Bu araştırma pandemi döneminde işleyen sistemin yapısını analiz etmek ve açıklamak için modelleme tekniklerinden biri olan Yorumlayıcı Yapısal Modelleme (YYM) tekniğini kullanmıştır. Bu teknik mevcut yapının belirlenmesine, sistemin etkin bir şekilde ele alınmasına ve karar verme sürecine anlamlı katkılar sağlamasına destek sağlar. Yalın araçların yapısal olarak birbirlerini nasıl etkilediğini ortaya koyarak önceliklerin belirlenmesinin tespit edilmesi istenmektedir. Öncelikler arasındaki

yapısal ilişkiyi ortaya koymak amacıyla YYM analizi uygulanmıştır. YYM, teori ve model oluşturma noktalarında farklı analiz modlarını kullanarak karar verme modellerin ve varsayımsal ilişkilerin oluşturulmasında hiyerarşik yapılandırılmış modellere yardımcı oldukları (Sushil, 2018) için uygun bir metot olarak seçilmiştir. Karmaşık karar alma süreçleriyle başa çıkmak için yapılandırılmış bir analiz yöntemi olan YYM yalın araçların yapısal olarak birbirlerini nasıl etkilediğini ortaya koyarak önceliklerin belirlenmesinin tespit edilmesini sağlamaktadır.

Literatür araştırmasında gösterildiği gibi YYM'nin benzer çalışmalarda kabul edilebilir sonuçlar verdiği ortaya konmuştur. YYM uygulamasının diğer uygulamalardan avantajı karar verme ve çözüm süreçlerinde modelin kolay uygulanabilirliğidir (Ali, Arafın ve Moktadir, 2018, Agrawal ve Vinodh; 2019; Rahimi, Raad, Alem, Tabriz ve Motameni, 2020; Obi, Awuzie, Omotayo, Oke ve Osobajo, 2021) ve bir çok problemin çözümünde tercih edilmektedir. YYM tekniği sistemin karmaşıklığını, tasarımını ve oluşturduğu ilişkilerin yapısal modellerini oluşturduğu grup analiz yöntemidir. Ayrıca farklı alt öğeler için kısmi katsayıların analizine ve birden çok alt öğe arasında bir ilişki bulmaya, alakasız alt öğelerin etkisinden kaçınmaya ve öznel faktörlerin etkisini ortadan kaldırmaya dayanır. YYM yerleşik süreci kullanarak tutarlı matris elde etmek için veri işleme ve uzmanlardan gelen bilgileri düzenler. YYM kullanarak alternatiflerin birbiriyle etkileşim matrisi alt kriterleri analiz ederek çok katmanlı hiyerarşik bir yapı modeliyle geliştirilir.

YYM'in çıktıları, yönlendirici ve bağımlı değişkenleri belirlemek ve değişkenleri sistem için kritikliklerine göre sıralamaktır. Bir bakıma yorumlayıcılar yani karar vericiler ilgili değişkenlerden karar nesnesi üzerindeki etkilerini değerlendirir. Elde edilen bulgulara dayanarak karar vericilere yardımcı olması açısından sonucun yönetsel etkileri tartışılır. Rahimi ve diğ., (2020) bu çalışmada izlenen YYM yaklaşımı aşağıdaki adımlarla açıklamıştır. YYM çalışmanın amacına bağlı olarak tüm kavramlar üzerinde uzman görüşüne bağlı alt öğelere dönüştürülen yapıdır. Bu çalışma uzmanların görüşüne dayalı olarak daha sonra alt unsurlara

dönüştürülen engel olarak adlandırılan tek bir unsuru analiz etmeye ayrılmıştır. Belirlenen kavramlar arasındaki bağlamsal ilişkiler karşılaştırmalı ve etkili olmak üzere ayrıştırılır. Bu ilişkiler VAXO sembolü olarak adlandırılan ve uzmanların doldurduğu anketlerle formüle edilmiştir. Konusunda uzman olanlar araştırma kapsamında bu değerlendirmeleri yapmaktadır. Her bir uzmanın anket sonucu Yapısal Kendi Kendine Etkileşim Matrisini (YKKEM) oluşturur. Anket sonuçlarının baskınlığını sağlamak için tek sayıda seçilmiş uzman seçilir. YKKEM matrisi daha sonra VAXO sembolleri $V(1, 0)$, $A(0, 1)$, $X(1, 1)$ ve $O(0, 0)$ olmak üzere ikili sayıya değiştirilerek iç Etkileşim Matrisine (EM) dönüştürülür. Bu adımdan sonra erişilebilirlik matrisinin oluşturulur. Bu sistemde tanımlama i 'den j 'ye doğru tek yönlü olarak yapıldığından tüm matris alanının doldurulması gerekmektedir. Her değişkenin kendisine erişimi olduğundan dolayı matrisin köşegen elemanları 1 değerini alacaktır.

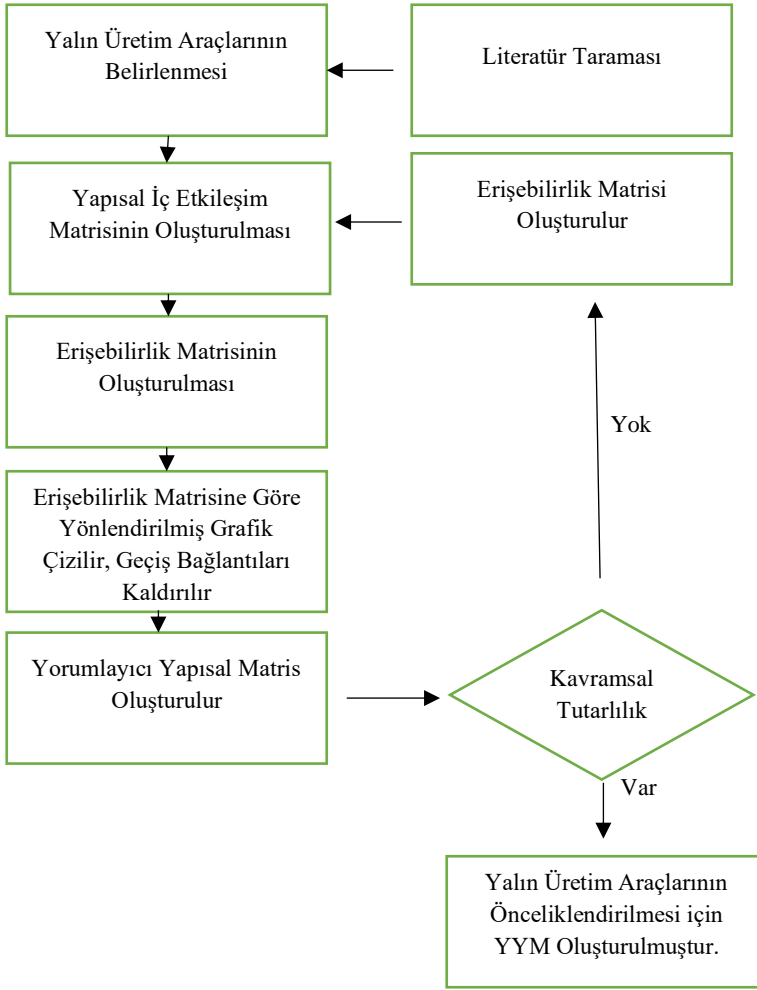
V: i değişkeni j değişkenini etkilemektedir.

A: j değişkeni i değişkenini etkilemektedir.

X: i ve j değişkenleri birbirini etkilemektedir.

O: i ve j değişkenleri birbirini etkilememektedir.

Erişebilirlik matrisinden, her değişken için erişebilirlik ve öncül küme türetilir ve bu kümelerin kesişim değerleri belirlenir. İlk yinelemede erişebilirlik ve kesişim kümeleri aynı olan değişkenler YYM hiyerarşisinde en üst düzey eleman olarak atanır. Benzer şekilde bu işlemin tekrarı ile diğer düğümler için tanımlanan seviyeler belirlenir. Bir değişkenin düzeyini belirlediğinde, değişken kalan değişkenler listesinden çıkar. Değişkenlerin düzeyi, erişebilirlik kümesi ile kesişim kümesinin birleşmesinden elde edilir. Üst seviye değişkenlerin, diğer seviyeler üzerindeki değişkenlerle hiçbir ilişkisi yoktur. Üst düzey değişkenler tanımlandıktan sonra diğer değişkenlerden ayrılırlar. Daha sonra aynı süreç tüm değişkenlerin seviyelerine ulaşana kadar tekrarlanır.



Şekil 1. Çalışmada kullanılan Yorumlayıcı Yapısal Model

YYM analizinin çıktısı, yalın üretim araçlarının tercih edilebilirliğini temsil eden düğüm noktalarından ve tercihlerin yönlerini temsil eden bağlantılardan oluşmaktadır. Kullanılan modelle değişkenler arasındaki bağlamsal ilişkileri ortaya koyan bir yapı sunulmuştur. Bu sayede zayıf şekilde tanımlanmış ya da sistemsel olarak yapılandırılmamış modellerden yorumlanabilir görsel yapılar oluşturulmuştur. Çalışmada kullanılan YYM'in adımlarının akış diyagramı Ravi ve Shankar'dan (2005) uyarlanmıştır.

Kullanılan Yorumlayıcı Yapısal Modeli uygulamak için ilk adım olarak yalın üretim araçlarının belirlenmesi gerekmektedir. Tablo 1'de literatür taramasının özeti sunulmaktadır. Değişkenlerin belirlenmesinin ardından karar vericiler ikili ilişkileri değerlendirmiştir. Bu

değerlendirmeler sonrasında değişkenler arasında tek taraflı ya da çift taraflı etkileşim olabileceği gibi değişkenler birbirinden bağımsız da olabilir. Bu çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

4. Sektör Uygulaması

Bu çalışma için uzman seçimi, endüstri mühendisliği veya ilgili alanlarda lisans derecesine sahip yalın üretim tecrübesine 3 yıldan fazla pratik/akademik katkıda bulunmuş, orta ölçekli işletmelerde üretim mühendisi veya benzer konumda çalışan, çalıştıkları endüstride sürekli iyileştirme için yalın araç ve teknikleri kullanıyor olması şartıyla seçilmiştir. İstanbul ve Kocaeli bölgelerinde bulunan 42 otomobil parçası üreten işletme ziyaret edilmiştir. Çalışma için değerlendirilen 65 yanıtta 57'si ankete tam katılım sağlamıştır. İşletmelerde yalın üretim

uygulamaları konusunda kaliteli deneyime sahip uzmanlardan alınan seçilmiş yanıtlar değerlendirilmiştir. Pandemi döneminde otomotiv parçası üretimiyle ilgili çalışma için seçilen 12 yalın üretim aracı da bu şekilde değerlendirilmiştir.

Otomotiv sektörü için ara mamul üretimi yapan bir işletmede pandemi döneminde en çok tercih edilen yalın uygulamanın araştırılması için konusunda uzman kişilerden oluşan gruba anket sunulmuştur.

Konusunda uzman olan bu mühendisler farklı üretim bölümlerinde çalışmaktadır ve hepsi yalın üretim araçlarını kendi bölümlerinde kullanmaktadır. Bu uzmanlardan anket doldurmaları istenmiş ve sonuçlar birleştirilmiştir. Bu değerlendirmeler Tablo 2'de Yapısal Kendi Kendine Etkileşim Matrisini (YKKEM) formüle edilmiştir. YYM tekniği ile bağlamsal ilişkinin türünü sunmak için kullanılan VAXO sembolleri, aşağıdaki gibi yorumlanmıştır:

Tablo 2
Yapısal Kendi Kendine Etkileşim Matrisi

Yalın Araçlar	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
1	A	V	V	A	V	V	O	V	A	V	V	X
2	A	X	V	A	V	O	A	O	A	V	X	
3	A	A	V	A	V	O	A	O	A	X		
4	V	V	V	V	V	V	V	V	X			
5	A	A	A	A	A	A	A	X				
6	A	V	V	A	O	V	X					
7	A	A	V	O	V	X						
8	A	A	X	A	X							
9	A	A	V	X								
10	A	A	X									
11	A	X										
12	X											

Bu değerlendirmeler daha sonra V, A, X ve O ikili formasyonla değiştirilerek Erişebilirlik Matrisine (EM) tablo biçiminde düzenlenmiştir. Burada V (1,0), A (0,1), X (1,1) ve O (0,0) Tablo 3'te gösterildiği gibi döngüsel nedenselliğe dönüştürülmüştür. Burada A'nın B'yi ve B'nin C'yi etkilemesi durumunda A'nın C'yi etkilemesi gerekir. Değeri 0 olan hücrelerin geçişlilik kurallarına uygun olup olmadığı kontrol

edilerek inceleme yapılmıştır. Uygunluk olmadığı takdirde, geçişlilik kurallarına uymak için iyileştirme yapılmalıdır. Tablo incelendiğinde, aşağıdaki hücrelerin iyileştirilmesi gerekir hücre (2, 11), (11, 7), (2, 7), (3, 8), (8, 5), (3, 5), (6, 10), (10, 8), (6, 8), (9, 11), (2, 11), (9, 11), (9, 7) 1'dir ve hücre (11, 7) ve (9, 7) 1 olmalıdır.

Tabo 3
Erişebilirlik matrisi

YÜA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	1	1	1	0	1	0	1	1	0	1	1	0
2	0	1	1	0	1	0	1	1	0	1	1	0
3	0	0	1	0	1	0	0	1	0	1	0	0
4	0	0	0	0	1	0	1	1	0	1	0	0
5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
6	0	1	1	0	1	1	1	1	0	1	1	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0
9	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0
10	0	0	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0
11	0	1	1	0	1	0	1	1	0	1	1	0
12	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1

Tablo 3'de yapılan değişiklikler geçişlilik kuralına ulaşmak için önceki EM'den yenisine yapılan değişikliklerdir. Son YKKM'deki alt öğeler daha sonra Tablo 4'de gösterildiği gibi hiyerarşik düzeyine göre sınıflandırılır. Sürecin başlangıcından beri beklendiği gibi, alt öğe 5, tüm alt öğelerden dolayı en üst düzeyde (düzey I) bulunmuştur. Öte yandan, alt eleman 4 alt seviyede bulunur çünkü

hiçbir alt eleman (kendisi dışında) alt elemanı etkilememiştir. Tam hiyerarşik seviye K tedariki için bariyerin alt unsurlarının sayısı Tablo 4'de gösterilmektedir. Alt seviyede bulunan yalnız üretim araçlarından 8 ve 10 seviyede II'de ve diğer alt seviyelerde 2 ve 11 aynı ve bunlardan farklı başka bir seviyede olmak üzere 9 kademeli seviye oluşmuştur.

Tablo 4
Erişilebilirlik matrisinin farklı seviyelere ayrılması

YÜA	Erişilebilirlik Kümesi	Öncül Küme Kesişim	Seviye
7	7	1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12	1
8	8, 10	1,2,3,4,5,6,8,9,10,11,12	2
10	8, 10	1,2,3,4,5,6,8,9,10,11,12	2
3	3	1,2,3,4,5,6,9,11,12	3
4	4	1,2,4,5,6,9,11,12	3
2	2, 11	1,2,5,6,9,11,12	4
11	2, 11	1,2,5,6,9,11,12	4
12	12	1,5,6,9,11,12	5
9	9	1,5,6,9	6
6	6	1,5,6	7
1	1	1,5	8
5	5	5	9

Tablo 5'teki Ulaşılabilirlik Matrisi (UM), Tablo 8'de gösterildiği gibi Diyagraf Matrisini (DM) oluşturmak için kullanılmıştır. Daha sonra bu tablo, itici güç (DP) değerini ve bağımlılık değerini (D) üretmek için kullanıldı. Seviye limitlerinin yerlerinin sınıflandırılmasını belirlemek için gereklidir. Tablo 5 ayrıca alt elemanların sıra (R), itici güç (DP) ve bağımlılık (D) hesaplama sonuçlarını da göstermektedir. Alt eleman 4, en yüksek sürüş

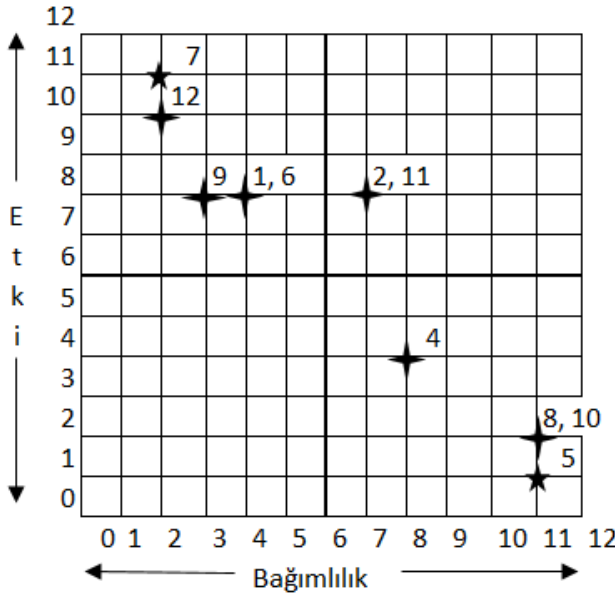
gücünde veya DP için 1. sırada, ancak en düşük bağımlılıkta veya D için 8. sırada konumlandırılır. Öte yandan, alt eleman 5 en düşük itici gücünde veya sırada konumlandırılmıştır. DP için ise 8 en yüksek bağımlılıkta ve D için 1. Sıradadır. Sırasına göre YYM'in yorumlanmasında, alt seviyelerin her birinin daha yüksek sırada olabilmesi gibi daha düşük hiyerarşide olma olasılığı olabilir.

Tablo 5
Yalın Üretim Uygulamalarının Diyagram Matrisi

YÜ U	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	E	R
1	1	1	1	0	0	0	1	1	0	1	1	0	8	2
2	0	1	1	1	0	0	1	1	0	1	1	0	7	3
3	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	0	4	4
4	0	0	0	1	0	0	1	1	0	1	0	0	4	4
5	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	6
6	0	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	0	8	2
7	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1	11	1
8	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	3	5
9	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	0	8	2
10	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	3	5
11	0	1	1	0	0	1	1	1	0	1	1	0	8	2
12	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	10	2
B	4	7	8	8	1	4	2	11	3	11	7	2		
R	4	3	2	2	7	4	6	1	5	1	3	6		

Tablo 5'den elde edilen sonuçlara göre hiyerarşik yapılanma Şekil 1'de yapılandırılmıştır. Buna göre bağımsız ve etkisi büyük uygulamaların (7) toplam verimli bakım, (12) hata önleme sistemleri, (9) kök neden analizi, (1) küçük parti büyüklüğü ve (6) değer akış haritası olduğu görülmektedir. Bağımlılığı ve

etkisi büyük olan uygulamalar ise (2) stok seviyesi ve (11) sürekli iyileştirme. Bağımlılığı yüksek fakat etkisi az olan uygulamalar ise (4) çekme tipi üretim, (8) israf önleme, (10) çalışanların yetkilendirilmesi ve (5) sürekli akıştır.



Şekil 2. Etki ve Bağımlılık grafiği

Şekil 2'deki diyagrama göre model pandemi döneminde en çok tercih edilen yalın üretim

uygulamaları Şekil 3'de sıralamıştır. Hiyerarşik sıralamaya göre (7) toplam verimli bakım en çok

tercih edilen yalın uygulaması olurken (12) hata önleme sistemleri uygulaması ikinci sırada yer almaktadır. En az tercih edilen uygulama da sürekli akış yalın üretim uygulamasıdır.

YYM sonucu ortaya çıkan bulgulara bakıldığında zaman birinci seviye olarak toplam verimli bakımın en etkili yalın üretim uygulama aracı olduğu hata önleme sistemlerinin de ikinci sırada yer aldığı görülmektedir. Son seviyede ise sürekli akış yalın üretim uygulaması yer almaktadır. Bulunan sonuçlar yine işletmelerin kıdemli mühendisleri ile paylaşıldığında sonuçların bu şekilde sıralanmasını tedarik zincirinde yaşanan gecikmelerin hatta tedarikin gerçekleşmemesi nedeniyle oluştuğu olarak belirtilmiştir. Üretimin sürekliliği için sistem bakımlarının düzenli yapılması oluşabilecek yedek parça tedarikinin önüne geçmek amaçlıdır. Pandemi döneminde üretime ara veren işletmeler bu süre zarfında toplam verimli bakıma yoğunlaşmış sistemin boştaki kalmasını avantaja çevirmişlerdir.



Şekil 3. Öncelik Diyagramı

Kısıtlı kaynağın olduğu bu süreçte yine hata önleme sistemleri yoğun olarak kullanılmaktadır. Talebin dar alanda kalması yani uluslararası ticaret bir noktada durma noktasına gelmesi sürekli akışın

sürekliliğini etkilemiş üretim kapasiteleri düşürülmüştür. Otomotiv sektörüne bağlı bu kuruluşlar zaman zaman ana üreticilerin hatları durdurduğunu bunun da kendi sürekli üretimlerini etkiledikleri sonucunu doğurmuştur. Otomotiv parça üreticilerinden elde edilen sonuçlar analiz edildiğinde Şekil 3'de gösterilen sırada yalın üretim araçlarının tercih edildiği görülmektedir. İşletmeler aynı çalışma alanından örneklendiği için pandemi sürecinde benzer problemleri yaşamıştır fakat kendi içlerinde yaptıkları iyileştirmeler farklılık göstermektedir. Bu noktada genelleme yapıldığında işletmelerin bakım çalışmalarına ağırlık verdiği bu zamanı bakıma ayırdıkları sonucu çıkmaktadır.

4.1 Modelin Geçerlilik ve Güvenirliliği

Uygulanan modelin doğruluk testi Poduval ve Karthikeyan'ın (2018) kullandığı istatistiksel Yapısal Eşitlik Modellemesinin Yol Analizi yöntemiyle yapılmıştır. Bu analizde güvenilirlik ve geçerlilik testleri yapılmıştır. Anket sonuçları istatistiksel analiz yazılımı (SPSS ve AMOS) kullanılarak test edilmiştir. Her sorunun geçerliliği ise SPSS yazılımında Pearson korelasyonu ve 2-kuyruklu anlamlılık değeri hesaplanarak test edilmiştir. Cronbach Alpha değeri 0,803 olarak hesaplanmıştır. Bu da anketin güvenilirlik testini geçtiğini göstermektedir. Bu aşamadan sonra yol analizi model uygunluğunun değerlendirilmesi için CMIN/DF, RMSEA, NFI, CFI vb. gibi çeşitli model uyum indekslerinin geçerliliğini kontrol edilmesi gerekmektedir.

Göreceli ki-kare testi, CMIN/DF olarak gösterilir. Burada DF kısaltması serbestlik derecesini göstermektedir. CMIN/DF değeri 1'e yaklaştıkça modelin uyumu daha iyidir diyebiliriz. Karşılaştırmalı Uyum İndeksi ve Normlu Uyum İndeksi (NFI) değer aralığı 0 ile 1 arasındadır. NFI'nin 0,90'dan büyük olması modelin iyi uyumunu gösterir. NFI değeri örneklem büyüklüğüne bağlıdır daha küçük örneklem büyüklüğünde daha düşük olur. CFI, NFI'nin değiştirilmiş bir şeklidir. Örneklem büyüklüğünden bağımsızdır. Değer 1'e yaklaştıkça uyum daha iyidir. RMR değeri ne kadar küçük olursa model uyumu o kadar iyidir. GFI ne kadar yüksek olursa model uyumu o kadar iyi olur. RMSEA değerinin 0,05'ten küçük olması iyi uyumu, 0,10'un üzerinde olması ise zayıf uyumu gösterir. Buna göre elde edilen değerler ve yorumlar şu şekildedir.

Tablo 6
CMIN

Model	NPAR	CMIN	DF	P	CMIN/DF
Mevcut Model	42	10,995	12	0,398	0,916
Doymuş Model	50	0,000	0		
Bağımsız Model	10	312,245	30	0,000	10,408

CMIN/DF (0.916) değerinin 1'e yakın çıkması uygunluğun olduğunu göstermektedir.

Tablo 7
RMR, GFI

Model	RMR	GFI	AGFI	PGFI
Mevcut Model	0,009	0,898	0,976	0,421
Doymuş Model	0,000	1,000		
Bağımsız Model	0,046	0,886	0,796	0,588

RMR değerinin 0'a yakın olması, GFI ve AGFI değerlerinin 1'e yakın çıkması modelin uygun olduğunu göstermektedir.

Tablo 8
Temel Karşılaştırma

Model	NFI Delta 1	RFI Rho1	IFI Delta2	TLI Rho2	CFI
Mevcut Model	0,920	0,888	1,000	1,000	1,000
Doymuş Model	1,000		1,000		1,000
Bağımsız Model	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

NFI ve CFI değerlerinin 0,9'dan büyük çıkması modelin uygun olduğunu göstermektedir.

Tablo 9
RMSEA

Model	RMSEA	LO 90	HI 90	PCLOSE
Mevcut Model	0,000	0,000	0,058	0,902
Bağımsız Model	0,188	0,0106	0,122	0,000

RMSEA (0.000) < 0.10 ve PCLOSE (0.902) > 0.05 değerlerinin çıkması modelin iyi bir uygunluğa sahip olduğunu göstermektedir.

Ki-kare değeri ve Model uyum indeksleri modelin geçerlilik ve güvenilirlik anlamında kabul edilebileceğini göstermektedir.

5. Sonuç

Bu makale pandemi döneminde farklı yalın üretim araçlarının üretim sürecindeki kullanımını önceliklendirmek amacıyla Yorumlayıcı Yapısal Modelleme yaklaşımını uygulamıştır. Yalın üretim araçları ve birbirleri arasındaki etkileşim uzmanlarla yapılan analiz ile belirlenmiştir. Çıkan sonuçlar yine alanında uzman mühendisler tarafından değerlendirilmiştir. Yapılan araştırmada kullanılan modelin sunduğu sonuçlar modelin çalıştığını göstermesi yönünden bu tür araştırmalarda kullanılabilir. Bu yöntemle benzer üretim alanında çalışan fabrikalar yalın üretim araçlarının pandemi sürecinde nasıl farklılık gösterdiğini ve bunun üretime nasıl etkili olduğunu görmüştür.

Pandemi döneminde otomotiv yedek parça üretimi yapan 42 fabrikanın yalın üretim araçlarının ne öncelikte olduğunu analiz etmek için kullanılan Yorumlayıcı Yapısal Modelleme yaklaşımından elde edilen sonuçlar işletmelerin süreçlerini görme konusunda etkili olmuştur. Otomotiv parçası üreten işletmeler örneklem alındığında toplam verimli bakım, hata önleme sistemleri ve kök neden analizi araçları pandemi döneminde en çok tercih edilen ve diğer araçlara göre nispeten etkin araçlar olmuştur. Pandemi döneminde Abdallah Ali (2021) yaptığı çalışmasında üretim yapan işletmelerin yalın araçlarında bu tür değişikliklerin olduğunu da göstermiştir. Birçok işletme bu süreçte ola gelen üretim stratejilerini yenileme ve oluşturabilecek yeni problemlere çözüm arama yoluna gitmiştir. Elde edilen sonuçlar da örnekleme sınırlı olup otomotiv parçası üreten ve ortak süreçleri yaşayan işletmelerin görüşlerini yansıtmaktadır.

Bu çalışmanın literatüre diğer bir katkısı da diğer tüm yalın üretim uygulamalarını yönlendiren en baskın araçları gösterecek şekilde faktörler arasındaki hiyerarşi düzeyinin geliştirilmesidir. Her bir uygulama diğer tüm uygulamalarla karşılaştırılmış ve etkileşimleri uygun bir şekilde tanımlanmıştır. Daha sonra yapılabilecek çalışmalarda yalın üretim uygulamalarını farklı konularda ve bakış açılarında daha fazla faktör göz önünde bulundurularak gelecekte farklı bulgular elde edilebilir. Ayrıca, YYM'den elde edilen tüm ilişkiler yapısal eşitlik modeli gibi istatistiksel yöntemler kullanılarak gelecek çalışma olarak araştırılabilir. Çalışmanın bulguları pandemi dönemiyle sınırlı olup Pandeminin küresel ve bölgesel azalması durumunda sonuçlarda değişiklikler beklenmektedir.

Çıkar Çatışması

Çalışmada herhangi bir çıkar çatışması yoktur.

Yazarların Katkıları

Çalışmanın tüm katkıları Sinan APAK tarafından yapılmıştır.

Kaynakça

Abdallah Ali, A. (2021). How Can Lean Manufacturing Lead the Manufacturing Sector during Health Pandemics Such as COVID 19: A Multi Response Optimization Framework. *Computers, Materials, & Continua*, 66 (2), 1397-1410, ISSN: 1546-2226.

Abualfarraa, W.A., Salontis, K., Al-Ashaab, A. (2017). Improving sustainability of manufacturing systems through integrated sustainable value stream mapping tool – conceptual framework. *15th Int. Conf. Manuf. Res. Inc. 32nd Natl. Conf. Manuf. Res, IOS Press, Greenwich* 371-376. Doi: <https://doi.org/10.3233/978-1-61499-792-4-371>

Agrawal, R. ve Vinodh, S. (2019). Application of total interpretive structural modelling (TISM) for analysis of factors influencing sustainable additive manufacturing: a case study. *Rapid Prototyping Journal*, 25 (7) 1198-1223. Doi: <https://doi.org/10.1108/RPJ-06-2018-0152>

Ali, S.M., Arafin, A., ve Moktadir, M.A. (2018). Barriers to Reverse Logistics in the Computer Supply Chain Using Interpretive Structural Model. *Global Journal Flexible System Management*, 19, 53–68 Doi: <https://doi.org/10.1007/s40171-017-0176-2>

Ben, R., Vinodh, S. ve Asokan, P. (2018). Lean Six Sigma with environmental focus: review and framework *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 94, 4023-4037. Doi: <https://doi.org/10.1007/s00170-017-1148-6>.

Cirjaliu, B. ve Draghici, A. (2016). Ergonomic issues in lean manufacturing. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 221, 105–110. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2016.05.095>

Danese, P., Manfè, V., ve Romano. P. (2018). A systematic literature review on recent lean research: state-of-the-art and future directions. *International Journal Management Review*, 20,

579-605.

Doi:

<https://doi.org/10.1111/ijmr.12156>

Farias, L. M. S., Santos, L. C. Gohr, C. F. Oliveira, L. C. ve Amorim M. H. da S. (2019). Criteria and practices for lean and green performance assessment: systematic review and conceptual framework. *Journal Cleaner Production*, 218, 746-762. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.02.042>.

Helleno, A. L., Moraes, A. J. I., ve Simon, A. T. (2017). Integrating sustainability indicators and Lean Manufacturing to assess manufacturing processes: application case studies in Brazilian industry. *Journal Cleaner Production*, 405-416. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.12.072>.

Hyder, S. (2021). How Covid-19 Has Changed Lean Manufacturing Practices: A Case Study With iBASEt. Erişim adresi : <https://www.forbes.com/sites/shamahyder/2021/02/22/how-covid-19-has-changed-lean-manufacturing-practices-a-case-study-with-ibaset/?sh=19cc040c7e80>

Jasti, N. V. K., ve Sharma, A., (2014). Lean manufacturing implementation using value stream mapping as a tool: A case study from auto components industry. *International Journal Lean Six Sigma*, 5, 89–116. Doi: <https://doi.org/10.1108/IJLSS-04-2012-0002>.

Kurilova, P. J., Sundin, E., ve Poksinska, B. (2018). Remanufacturing challenges and possible lean improvements. *Journal Cleaner Production*, 172, 3225–3236. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.11.023>

Letens, G., Farris, J.A. ve Van Aken, E.M. (2011). A multilevel framework for lean product development system design. *Engineering Management Journal*, 23(1) 69-85.

Marodin, G., Frank, A. G., Tortorella, G. L., Netland, T. (2018). Lean product development and lean manufacturing: Testing moderation effects. *International Journal of Production Economics*, 203, 301-310. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2018.07.009>

Matt, D.T. ve Rauch. E. (2013). Implementation of lean production in small sized enterprises *Procedia CIRP*, 12, 420-425. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.procir.2013.09.072>

- Negrão L.L., Godinho Filho M. ve Marodin G.A. (2017). Lean practices and their effect on performance: a literature review. *Production Planning & Control*, 28(1), 33-56.
- Netland, T. H. ve Ferdows, K. (2016). The S-curve effect of lean implementation. *Production and Operations Management*, 25(6), 1106-1120
- Obi, L., Awuzie, B., Obi, C., Omotayo, T.S., Oke, A., Osobajo, O. (2021). BIM for deconstruction: an interpretive structural model of factors influencing implementation. *Buildings*, 11, 227. Doi: <https://doi.org/10.3390/buildings11060227>
- Oleghe, O. ve Salonitis, K. (2016). Manufacturing system lean improvement design using discrete event simulation. *Procedia CIRP*, 57, 195-200. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.11.034>
- Panizzolo, R., Garengo, P., ve Sharma, M. K, ve Gore, A. (2012). Lean manufacturing in developing countries: evidence from Indian SMEs. *Production. Planning and Control*, 23, 769-788, Doi: <https://doi.org/10.1080/09537287.2011.642155>
- Rafael, H., William S., ve Gómez, I. (2019). Lean manufacturing and sustainable performance: Trends and future challenges. *Journal of Cleaner Production*, 208, 99-116. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.10.116>.
- Rahimi, A., Raad, A., Alem Tabriz, A., ve Motameni, A. (2020). Providing an interpretive structural model of agile supply chain practices, *Journal of Modelling in Management*, 15 (2) 661-684. Doi: <https://doi.org/10.1108/JM2-09-2018-0142>.
- Rahman, A. ve Karim. A. (2014). Application of lean production to reducing operational waste in a tile manufacturing process. *International Journal Management Science and Engineering Management* 8, 126-134, Doi: <https://doi.org/10.1080/17509653.2013.798948>.
- Ravi, V. ve Shankar, R. (2005). Analysis of interactions among the barriers of reverse logistics, *Technological Forecasting and Social Change*, 72(8), 1011-1029, Doi: <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2004.07.002>.
- Sushil A. (2018). Incorporating polarity of relationships in ISM and TISM for theory building in information and organization management. *International Journal of Information Management*, 43:38-51.
- Thomas, A. J., Francis, M., Fisher, R., ve Byard, P. (2016). Implementing Lean Six Sigma to overcome the production challenges in an aerospace company. *Production Planning and Control*, 28(7), 591-603. Doi: <https://doi.org/10.1080/09537287.2016.1165300>
- Vamsi N. K. J. ve Kodali, R. (2014). Validity and reliability of lean manufacturing frameworks. *International Journal Lean Six Sigma* 4, 323-342. Doi: <https://doi.org/10.1108/IJLSS-12-2013-0057>
- Varela, L., Araújo, A., Ávila, P., Castro, H. ve Putnik, G. (2019). Evaluation of the relation between lean manufacturing, industry 4.0, and sustainability. *Sustainability*, 11, 1439. Doi: <https://doi.org/10.3390/su11051439>
- Vinodh, S., ve Joy. D. (2014). Structural Equation Modelling of lean manufacturing practices. *International Journal Production Research*, 50, 1598-1607, Doi: <https://doi.org/10.1080/00207543.2011.560203>.
- Yadav, G., Seth, D., Desai, T. N. (2018). Prioritising solutions for Lean Six Sigma adoption barriers through fuzzy AHP-modified TOPSIS framework. *International Journal of Lean Six Sigma*, 9, 270-300. Doi: <https://doi.org/10.1108/IJLSS-06-2016-0023>
- Yadav, G., Luthra, S., Huisingh, D., Mangla, S. K., Narkhede, B. E., ve Liu, Y. (2020). Development of a lean manufacturing framework to enhance its adoption within manufacturing companies in developing economies. *Journal of Cleaner Production*, 25, 118726. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118726>
- Zhou, B. (2016). Lean principles, practices, and impacts: a study on small and medium-sized enterprises (SMEs). *Annual Operations Research*, 241, 457-474, Doi: <https://doi.org/10.1007/s10479-012-1177-3>