Endüstri Mühendisliği / Journal of Industrial Engineering

https://dergipark.org.tr/tr/pub/endustrimuhendisligi

TRIZ-TAGUCHI TABANLI HİBRİT YAKLAŞIM İLE KİMYASAL SÜREÇLERİN İYİLEŞTİRİLMESİ: TEFLON KAPLAMA ÖRNEĞİ

Elif DÜLGER[1*], Zeynep KARAHAN[2]

[1]Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Sakarya. ORCID No : https://orcid.org/0000-0002-8162-8726
[2]ORCID No : https://orcid.org/0000-0002-9815-8548

Anahtar Kelimeler

TRIZ yöntemi, Taguchi yöntemi, Metal yüzey kaplama, Viskozite problemi, Teflon kaplama maddesi

Öz

Bu çalışmada metal yüzey kaplaması gerçekleştiren bir işletmede yüzey kaplama maddesi olan teflonun üretim ve stok alanlarında beklerken viskozitesinin bozulması problemi incelenmiştir. Özellikle siyah dışındaki teflonlarda bu sorun yoğun olarak yaşanmakta, üretim planının ve ürün kalitesinin bozulmasına sebep olmaktadır. Çalışmada TRIZ ve Taguchi yöntemi bütünleştirilerek bir model sunulmuştur. TRIZ (Yaratıcı Problem Çözme Teorisi) yöntemi ile viskozite değişiminin neden olduğu problemlere geliştirilen çözümlerin optimizasyonunda Taguchi yöntemi uygulanmıştır. Teflon kaplama maddesinin ideal viskozitede olmasını sağlamak için operasyonel işlemlerde iyileşme sağlanmış ancak bu durum üretim proseslerinde hassasiyet problemine neden olmuştur. Bu nedenle TRIZ yöntemi uygulamasında teknik çelişki olarak operasyonel kolaylık ve üretim hassasiyeti parametreleri tercih edilmiş, bu parametreler doğrultusunda dört yenilikçi prensipten yararlanılmıştır. Taguchi yöntemi ile, TRIZ yönteminde belirlenen parametrelerin alacağı değerler belirlenmiştir. Yapılan hibrit model uygulaması ile teflon maddesinin beklenen viskozite değeri spesifikasyon aralığına yaklaşmış, mevcut duruma göre %21.1'lik bir iyileşme sağlanmıştır. Bu çalışma, TRIZ ve Taguchi yöntemlerinin birlikte kullanılarak kimyasal proseslerde başarı ile sonuç verdiğini göstermektedir.

*Sorumlu yazar; e-posta : ekahraman@sakarya.edu.tr

doi : https://doi.org/10.46465/endustrimuhendisligi.1727310

IMPROVEMENT OF CHEMICAL PROCESSES USING A TRIZ-TAGUCHI-BASED HYBRID APPROACH: THE CASE OF TEFLON COATING

Keywords

TRIZ method, Taguchi method,
Metal surface coating,
Viscosity problem,
Teflon coating material

Abstract

In this study, the problem of deterioration of viscosity of Teflon, a surface coating material, while waiting in production and stock areas in a company performing metal surface coating was investigated. This problem is experienced intensively especially in Teflons other than black, causing deterioration of production plan and product quality. In the study, a model was presented by integrating TRIZ and Taguchi methods. Taguchi method was applied in the optimization of the solutions developed for the problems caused by viscosity change with TRIZ (Theory of Inventive Problem Solving) method. Improvement was achieved in operational processes to ensure that Teflon coating material has ideal viscosity, but this situation caused sensitivity problem in production processes. For this reason, ease of operation and manufacturing precision parameters were preferred as technical contradictions in TRIZ method application, and four innovative principles were implemented in line with these parameters. The values of the parameters determined in TRIZ method were determined with Taguchi method. With the hybrid model application, the expected viscosity value of Teflon material approached the specification range, and an improvement of 21.1% was achieved compared to the current situation. This study shows that TRIZ and Taguchi methods used together yield successful results in chemical processes.

Araştırma Makalesi		Research Article	
Başvuru Tarihi	: 25.06.2025	Submission Date	: 25.06.2025
Kabul Tarihi	: 13.08.2025	Accepted Date	: 13.08.2025

1. Giriş

Günümüz işletmeleri için mühendislik problemlerini çözme noktasında mevcut problem çözme teknikleri yetersiz kalabilmektedir. Gelişen teknolojiler, yeni problem alanları gibi konular için inovatif yaklaşımlar kaçınılmaz bir zorunluluk haline gelmektedir. Bu bağlamda diğer alanlarda olduğu gibi kimya ve proses mühendislerinden de yenilikçi ve sistematik yaklaşımlar beklenmekte, problem tanımlama ve yenilikçi çözüm üretme konusunda yeni beceriler geliştirmeleri istenmektedir. Bu beklentiyi karşılayacak yöntemlerden birisi de TRIZ yöntemidir.

TRIZ Sovyet bilim insanı Genrich Altshuller tarafından önerilen bir inovasyon teorisidir (Cavallucci., 2002). Yöntem, spesifik problemi 39 Mühendislik Parametresi kullanarak TRIZ problemine dönüştürmeyi, sonrasında Çelişkiler

Matrisi yardımıyla 40 yenilikçi prensipten uygun olan(lar)ın hayata geçirilmesi yoluyla spesifik çözüm üretmeyi mümkün kılmaktadır.

Çalışma, kimyasal süreçlerin optimizasyonunda karşılaşılan ve teknik çelişki barındıran bir problemin nasıl çözülebileceğini gösteren bir uygulamayı içermektedir. Söz konusu problem, metal yüzey kaplaması yapan bir işletmede, özellikle siyah dışındaki teflon kaplama maddesinin, üretim süreçleri esnasında ve stok alanlarında beklerken viskozitesinin değişmesine ilişkin bir üretim sorunudur.

Teflon kaplama maddesinin viskozitesinin bozulması, işlem zorluklarına, kaplama kalitesinin düşmesine, üretimin aksamasına, fire oranlarının artmasına ve işletme için maliyete yol açmaktadır. Bu problemin giderilmesi amacıyla yenilikçi, uygulanabilir ve sürdürülebilir bir çözüm geliştirmek amacıyla TRIZ ve Taguchi yöntemlerinden faydalanılmıştır.

Dülger ve Karahan (2023), yaptıkları çalışmada bu sorunu araştırmışlar, TRIZ yöntemi ile çözüm önerileri geliştirmişlerdir. Bu çalışmada ise geliştirilen hibrit model ile, TRIZ yöntemi uygulaması sonucunda elde edilen çözüm önerilerine ilişkin süreç parametrelerinin optimizasyonunda Taguchi deney tasarımından faydalanılmıştır.

Teflon kaplama maddesinin koyulaşmaması, yüzey kaplama işlemleri sırasında operasyonel kolaylık sağlamakla beraber, viskozitenin değişmemesi için yapılacak müdahaleler üretim hassasiyetine sebep olmaktadır. Burada teknik bir çelişki söz konusudur. Diğer bir ifadeyle, ideal viskozitedeki yüzey kaplama maddesi olan teflon ile çalışılırken, operasyonel kolaylık mümkün olmakta ancak viskozitenin sürekli ideal düzeyde tutulması üretim hassasiyeti gerektirmektedir. Bu nedenle TRIZ Çelişkiler Matrisindeki mühendislik parametrelerinden 33 numaralı "İmalat Kolaylığı" ve 29 numaralı "Üretim Hassasiyeti" parametreleri seçilmiştir.

Çelişkiler Matrisinde bu parametrelerin kesiştiği hücrede yer alan yenilikçi çözüm önerilerinde kullanılacak prensipler; Prensip 1. Dilimlemek, bölmek, parçalamak, Prensip 32. Renk değiştirme, Prensip 35. Parametre değişikliği ve Prensip 23. Geri besleme' dir. Bu dört prensipten yararlanılarak çözüm önerileri geliştirilmiş, viskozite problemi büyük ölçüde giderilmiştir. TRIZ yönteminden elde edilen bulgulara göre, üretim kalitesine etki eden faktörlerin en uygun kombinasyonu sağlamak için Taguchi yönteminden yararlanılmıştır.

2. Bilimsel Yazın Taraması

TRIZ yöntemi günümüzde pek çok mühendislik alanında başarılı sonuçlar vermekte ancak literatür incelendiğinde, TRIZ yönteminin kimyasal süreçlerdeki problemlere doğrudan uygulandığı sınırlı sayıda çalışmanın olduğu görülmektedir.

Kim, Kim, Lee, Lim ve Moon (2009), TRIZ mühendislik parametrelerinin kimyasal süreçler bağlamında yetersiz kaldığını ve uygulamada belirsizliklere yol açtığını ifade etmiştir. Çalışmada bu amaçla mühendislik parametreleri, daha güvenilir olan altı kategoride yeniden düzenlenmiştir. Robles, Negny ve Lann (2009), TRIZ yöntemini güçlü bir araç olarak tanımlamıştır. Ayrıca çalışmada TRIZ yönteminin, kimya mühendisliğindeki yenilikçi tasarım uygulamalarında önemli avantajlar sağladığı ifade edilmiştir. Potier, Brun, Masson ve Weil (2015), TRIZ yöntemini ilginç bir örnek olarak tanımlamıştır. Yazarlar, çalışmada yöntemi Vaka Tabanlı Akıl Yürütme ile birleştirilerek Kimya Mühendisliğine uyarlamıştır. Abramov, Kogan, Mitenik-Gankin, Sigalovsky ve Smirnov (2015), TRIZ yönteminin kimya mühendisliğinde uygulanabilirliği ile ilgili olumlu sonuçlar almıştır. Yazarlar, özellikle kimyasal ve biyokimyasal iyileşme içeren projelerin yaklaşık %60'ında TRIZ ile başarılı elde ettiklerini ifade etmiştir. Çalışmada elde edilen sonuçlar TRIZ yönteminin kimya endüstrisinde etkili ve yenilikçi çözümler ortaya koyma kapasitesine sahip olduğunu göstermiştir. Dülger ve Karahan (2023), metal yüzey kaplaması yapan bir işletmede, teflonun üretim ve stok alanlarında beklerken değişen viskozite problemini ele almıştır. Yazarlar, TRIZ yöntemini kullanarak çözüm önerileri geliştirmiştir.

Literatürde TRIZ ve Taguchi yönteminin birlikte kullanıldığı çalışmalar da yer almaktadır. Shen ve Smith (2009), TRIZ ve Taguchi yöntemini kullanarak yeniden tasarım metodolojisi sunmuştur. Çalışmada, erken tasarım aşamasında çelişkileri bulmak için Taguchi yöntemi kullanılmıştır. Etkileşimli bileşenleri bulduktan sonra, çelişkileri ortadan kaldırmak için TRIZ Yönteminden faydalanılmıştır. Chang ve Yeh (2012), bambunun esnek bir yapıya sahip olma ve doğa dostu olma gibi olumlu özelliklere sahipken, diğer taraftan deformasyonlarının çok yüksek olması problemini ele almıştır. Bu çelişkinin giderilmesinde TRIZ yöntemi uygulanmıştır. Taguchi yöntemi ise, bambu enjeksiyon kalıplamada dayanıklılığa neden olan en uygun faktörleri bulmak için kullanılmıştır. YunSeok, ChiWeon, MinSup ve JaeGon (2012), aynı anda gürültü ve maliyette azalmayı sağlama noktasında düşük gürültülü deflektör geliştirme süreci için Triz ve Taguchi yöntemlerinden yararlanmıştır. Çalışmada yenilikçi süreç kullanılarak, gürültü ve maliyet azaltıcı deflektör geliştirilmiştir. Jou, Lin, Lee ve Yeh (2013), yüzey montaj teknolojisine ilişkin bir üretim sürecini incelemiştir. Çalışmada 13 parametre arasındaki ilişkiyi araştırmak için TRIZ yönteminden, lehim macununun kalınlığını etkileyen optimum parametre setini belirlemek için Taguchi yönteminden faydalanılmıştır. Sonuçlar, TRIZ ve Taguchi yönteminin ürün iyileştirme amacıyla uygulanmasının mümkün olduğunu göstermiştir. Lin, Hsueh, Chang, Lu (2017), raf geliştirmede en iyi parametre ayarını bulmak için TRIZ ve Taguchi yöntemini kullanmıştır. Çalışmada, her katmanın her yükleme noktasının optimum parametre kombinasyonunu elde etmek için TRIZ ve Taguchi Yöntemleri entegre edilmiştir. Su ve Su (2018), ince film transistörlü sıvı kristal ekranların renk filtresi arızalarını azaltmak amacıyla optimum parametre kombinasyonunu bulmak için Taguchi yöntemini uygulamıştır. Çalışmada TRIZ yönteminden yararlanarak da optimum iyileşme

planı oluşturulmuştur. Lazic (2018), TRIZ ve Altı Sigma araçları aracılığıyla yazılım kalitesi oluşturmak üzerine çalışmıştır. Yazar, vaka çalışmalarının bir incelemesi ile, çelişkileri analiz etmek, ortadan kaldırmak ve daha iyi, daha hızlı, daha ucuz yazılım geliştirme süreci oluşturmayı amaçlamıştır. Türkan (2024), TRIZ algoritması ile optimum soğutucu tasarımı elde etmek ve performansını analiz etmek için paramatrelerin en etkin değerlerini ortaya koymuştur. Taguchi analizi ile de, seçilen parametrelerin soğutma ve basınç üzerindeki etkisini incelenmiştir.

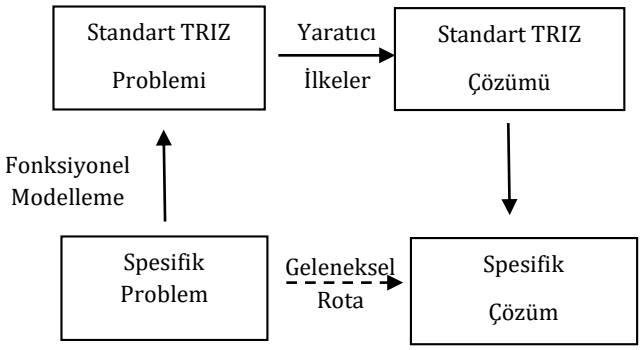
3. Yöntem

3.1TRIZ Yöntemi

Yaratıcı problem çözme teorisi olarak bilinen TRIZ yöntemi, karmaşık problemlerin yenilikçi bir yaklaşımla çözülmesini sağlayan mühendislik temelli sistematik bir düşünme aracıdır. TRIZ yöntemi, çözümü bilinmeyen ve problem çözücülerin çözümün mümkün olmadığına inandığı problemlere uygulanır. Bu problemlerin çözümü çelişki olarak adlandırılan başka bir probleme yol açabilir. Bu çelişkiler ise, ancak yenilikçi ve sistematik bir yaklaşımla çözülebilir ve yöntem bunun için metodolojik bir yapılandırma sunar.

TRIZ yöntemi, spesifik problemlere doğrudan bir çözüm sunmaz ancak spesifik çözüme giden yolda sistematik bir yol haritası sunar. Yöntem, geçmiş ve başarılı sonuçlar elde edilmiş deneyimlerden yola çıkarak elde edilen teknik çözümlerin analizi ile, benzer problemlere yaratıcı çözüm kombinasyonlarının elde edilmesi noktasında rehberlik eder. Bu sayede, geçmiş deneyimlerden elde edilmiş bilgi birikimlerini yapılandırarak, çözüm üretme noktasında karar vericileri yönlendirir (Zurnalı, 2019).

TRIZ yönteminin işleyişi Şekil 1.'deki gibi gösterilebilir.



Şekil 1. Genel TRIZ Yönteminin İşleyişi (Hirst, 2007)

Genel TRIZ yönteminin işleyişine göre, spesifik problemi çözebilmek için öncelikle karşılaşılan problemi TRIZ problemine dönüştürmek gerekir. Bunun için problem, tanımlı olan 39 mühendislik parametresi içerisinden uygun olan ikili parametre çifti haline dönüştürülmelidir. Bu aşamada kullanıcı, ikili parametreden birisini iyileşmesi hedeflenen parametre olarak seçerken, yapılacak uygulama ile olumsuz etkilenecek olan parametreyi de kötüleşen parametre olarak seçer. TRIZ literatüründe bu durum, teknik çelişki olarak ifade edilir. Böylece, parametrelerin seçilmesi ile birlikte problem standart TRIZ problemine dönüştürülmüş olur.

Bu aşamadan sonra Çelişkiler Matrisi kullanılır. Matriste satır ve sütunlarda seçilen parametreler yer alırken, satır ve sütunların kesişim noktalarında 40 yenilikçi prensip yer alır. Bu prensipler geçmişte benzer problemlerde başarı ile sonuç vermiş ilkelerdir ve problemi çözmeye yönelik yaratıcı çözümler sunar. Böylece, spesifik problem TRIZ yöntemine göre analiz ve standardize edilir. İlgili yenilikçi prensiplerin uygulanması ile de spesifik çözüm önerileri elde edilir.

3.2. Taguchi Deney Tasarımı Yöntemi

Taguchi yöntemi, en yaygın kullanılan deney tasarımı yöntemidir. Taguchi yöntemi ürün üzerinde etkili faktörler ve bunların seviyelerini belirlemek için kullanılır. Yöntemin amacı, ürün performansındaki sapmayı azaltacak bir faktör kombinasyonu sağlamaktır.

Taguchi yöntemi, ortogonal dizi (OD) ve sinyal-gürültü (SN) oranı gibi iki güçlü araç içerir. OD, faktörlerin farklı seviyelerine göre kombinasyonların seçilmişlerinden oluşturulmuş alt kümedir. Uygun OD, faktörlerin toplam serbestlik derecesine göre seçilir. Seçilen OD' nin serbestlik derecesi, faktörlerin toplam serbestlik derecesinden büyük veya en azından ona eşit olmalıdır. Deneyler OD' deki kombinasyonlara uygun olarak yapılır. SN oranı, performans özelliklerinin istenen değerlerden sapmasını ölçmek için kullanılan değişkenlik ölçüsüdür. Deney sonuçları için daha küçük-daha iyi, daha büyük-daha iyi ve nominal-en iyi olmak üzere üç SN oranı vardır. Varyans analizi (ANOVA) ile etkili faktörler belirlenir ve bu faktörlerin seviyeleri ortalamaya veya SN oranına göre yorumlanır.

3.3. Amaçlanan Hibrit TRIZ-Taguchi Yöntemi ve Uygulaması

3.3.1 Problem Tanımı

Teflon kaplama maddesinin, ideal olarak saniyede 15 ± 5 mm^2/s (Centistoke, cSt) aralığında bir viskozite değerine sahip olması, metal yüzeylerin kaplanması sürecinde operasyonel kolaylık sağlamaktadır. Belirtilen viskozite aralığı,

kaplama işleminin daha kontrollü ve etkin bir şekilde yürütülmesine olanak tanımakta, bu da uygulama esnasında süreç verimliliğini artırmaktadır.

Teflon malzemesinin istenen viskozite aralığında kalabilmesi için yapılması gereken işlemler operasyonel kolaylık sağlarken, üretim süreçlerinde ileri düzeyde üretim hassasiyeti gerektirmektedir. Diğer bir ifade ile, ideal viskozite değerine sahip teflon kaplama malzemesi ile yapılan işlemler operasyonel anlamda avantaj sağlamakla birlikte, bu durum üretim sürecinde daha sıkı kontrol gereksinimlerine ve hassas üretim koşullarına yol açmaktadır. Burada teknik bir çelişki söz konusudur. Bu durum, üretim planlaması ve süreç optimizasyonu açısından çelişki barındıran bir mühendislik problemi olarak karşımıza çıkmaktadır.

Şekil 2. Viskozitesini Kaybetmiş Uygunsuz Stok Alanında Bekleyen Teflon Görseli (Dülger ve Karahan, 2023)

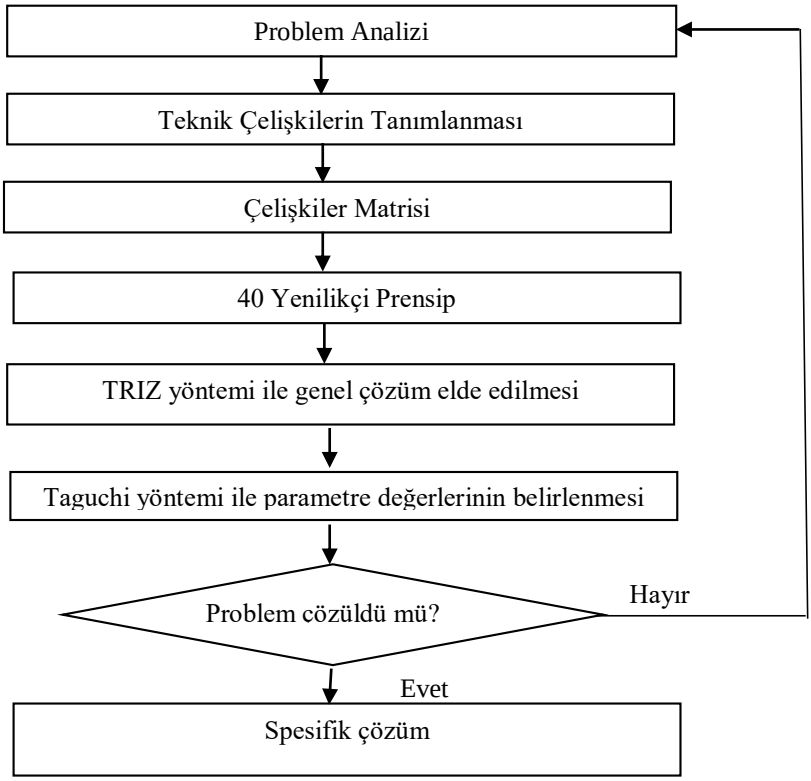
Teflon kaplama malzemesinde viskozite değerinin istenen aralıkta olması, kaplamanın yüzey kalitesi açısından önemli bir rol oynamaktadır. Diğer bir ifadeyle, viskozite değerlerinin kontrol altında olmaması, akışkanlığın bozulmasına yol açmakta, bu durum ise Şekil 2'de görüldüğü gibi yüzey üzerinde gözeneklerin (porozitelerin) oluşmasına yol açmaktadır. Yüzey kusurlarının oluşmaması, viskozitenin ideal değer aralığında tutulması ile mümkündür. Diğer bir deyişle, kaplamanın homojenliğinin ve yapısal bütünlüğünün sağlanabilmesi için, viskoziteye bağlı yüzey kalitesi probleminin giderilmesi gerekir.

3.3.2 TRIZ Yöntemi Uygulaması

Çalışmada önerilen çözüm süreci Şekil 3'te sunulmuş olup, süreç uygulaması ile viskoziteye bağlı yüzey kalitesi problemlerinin önüne geçilmesi hedeflenmiştir. Problem analizi aşamasında, teflon malzemesinin ideal değerde kalabilmesi için yapılması gereken işlemlerin üretim süreçlerinde ileri düzeyde hassasiyeti

gerektirmesi konusu irdelenmiştir. Teflonun ideal viskozite aralığında kalabilmesi operasyonel kolaylık sağlarken, üretim süreçlerinde ileri düzeyde hassasiyet gerektirmesi teknik çelişki olarak tanımlanmıştır. Sonraki adımda Çelişkiler Matrisinden faydalanılarak 39 mühendislik parametresinden uygun olanların seçimi yapılır. Çalışmada 29. parametre üretim hassaslığı ve 33.madde operasyon kolaylığı seçilmiştir. Çelişkiler matrisi, bu parametrelerin kesiştiği hücrede teknik çelişkinin giderilmesi için 40 yenilikçi prensipten uygun olanları sunar. Ele alınan problem için 1., 23., 32. ve 35. prensipleri önerilmektedir. Bu prensiplerden uygun olan(lar)ın hayata geçirilmesi sonucunda TRIZ yöntemi ile genel çözüm elde edilmiş olur. Sonraki adımda, en uygun parametre değerlerinin belirlenmesi için Taguchi yönteminden faydalanılır. Son aşamada problem çözümü kontrol edilir, parametrelerin optimizasyonu sağlandı ise, spesifik çözüm elde edilmiş olur.

Bu çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur. Bir metal üretim işletmesinde deneylerin gerçekleştirilmesi için gerekli izin alınmıştır.



Şekil 3. TRIZ ve Taguchi Yöntemlerinin Hibrit Akış Şeması (Han ve Su (2019) 'dan Uyarlanmıştır)

Tanımlanan teknik çelişki, teflon kaplama maddesinin viskozite değerinin ideal değerde olması ile operasyonel kolaylık sağlaması durumunun, bu viskozite değerinin yüksek düzeyde hassasiyet gerektirmesine ilişkindir. Diğer bir ifadeyle, bu iki durum birbiri üzerinde olumsuz etki yaratmakta, denge kurulamamaktadır. Sözü edilen teknik çelişkinin giderilmesi için, TRIZ yönteminin güçlü araçlarından birisi olan Çelişkiler Matrisi kullanılırken, parametre seçiminde "operasyon kolaylığı" ve "üretim hassasiyeti" tercih edilmiştir. İlgili satır ve sütun kesişiminde önerilen yenilikçi çözüm prensipleri, Şekil 4' te görüldüğü gibi; 1, 32, 35 ve 23 numaralı prensiplerdir.

		Bilgi kaybı	Zaman kaybı	Madde miktarı	Güvenilir olma	Ölçüm doğruluğu	Üretim hassasslığı	Nesnenin etkilendiği zararlı faktörler	Nesnenin ürettiği zararlı faktörler	Üretim kolaylığı	Operasyon kolaylığı	Tamir kolaylığı
		24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34
24	Bilgi kaybı		24,26, 28,32	24,28, 35	10,28, 23			22,10,1	10,21, 22	32	27,22	
25	Zaman kaybı	24,26, 28,32		35,38, 18,16	10,30, 4	24,34, 28,32	24,26, 28,18	35,18,34	35,22, 18,39	35,28, 34,4	4,28,1 0,34	32,10,1
26	Madde miktarı	24,28, 35	35,38, 18,16		18,3,2 8,40	13,28, 2	30,33	35,33,29 ,31	35,39, 40,3	27,29, 35,1	10,25, 29,35	10,25, 32,2
27	Güvenilir olma	10,28	10,30, 4	21,28, 40,3		32,11, 3,23	11,32, 1	27,35,40 ,2	26,35, 40,2		27,17, 40	11,1
28	Ölçüm doğruluğu		34,24, 28,32	2,6,32	5,11,1, 23			28,24,22 ,26	10,33, 39,3	18,25, 35,6	13,17, 34,1	11,13, 32,1
29	Üretim hassasslığı		32,26, 28,18	30,32	11,32, 1			26,28,10 ,36	17,26, 34,4		23,32, 35,1	10,25
30	Nesnenin	10,22,	35,18,	35,33,	27,24,	28,33,	26,28,			24,35,	25,2,	35,10,

Şekil 4. Teknik Çelişkilerin TRIZ Çelişki Matrisinde Değerlendirilmesi

Bu prensipler TRIZ literatüründe şu şekildedir: Prensip 1. Dilimleme, Bölme, Parçalama, Prensip 32. Renk Değiştirme, Prensip 35. Parametre Değişikliği, Prensip 23. Geri Bildirim. Bu yenilikçi prensipler esas alınarak geliştirilen çözüm önerileri ile operasyonel kolaylık sağlanırken, yapılan işlemlerin yüksek düzeyde üretim hassasiyeti gerektirmemesi hedeflenmiştir.

3.3.2.1 Prensip 1. "Dilimleme, Bölme, Parçalama" Yenilikçi Prensibinin Uygulanması

Bu prensip üretim sürecinde kullanılan yardımcı malzemelerin bölünmesi, parçalanması ya da ayrıştırılması yoluyla yeniden tasarlanmasını önermektedir. Bu kapsamda, teflonun sisteme beslemesini sağlayan 20 litrelik kapların, Şekil 5' te görüldüğü gibi daha küçük dilimlere ayrılarak, 3 ila 5 litrelik kaplar kullanılmasına karar verilmiştir.

Şekil 5. Besleme Kaplarının Küçük Kaplara Bölünerek İşleme Alınması (Dülger ve Karahan, 2023)

Bir diğer konu, makine içerisinde sürekli olarak dönen merdaneler arasında teflon malzemesinin ısınmasıdır. Bu da teflonun katılaşmasına sebep olmaktadır. Önerilen uygulama ile, sisteme beslemesi yapılan teflonun daha sık ve küçük miktarlarda eklenmesi sebebiyle katılaşma olmayacak ve ideal viskozite aralığında olması mümkün olacaktır.

3.3.2.2 Prensip 23. "Geri Bildirim" Yenilikçi Prensibinin Uygulanması

Bu prensip doğrultusunda yüzey kaplamada kullanılan teflonların bulunduğu depolara çevresel koşulların takibi için bir iklimlendirme sistemi kurulmuştur. Uygulama kapsamında Şekil 6' da görüldüğü gibi depo alanlarına klima sistemi kurularak termometreler ile sıcaklık takibi yapılmıştır. Bu sayede, ortam sıcaklığı saat başı kontroller ile izlenerek, elde edilen veriler doğrultusunda, ortam sıcaklığı ideal sıcaklık olan 19^0C-22^0C aralığında tutulmuştur. Uygulamanın temel amacı, özellikle mevsim geçişlerinde ortaya çıkan sıcaklık dalgalanmalarının olumsuz etkisini önlemek ve teflon maddesi viskozitesinin ideal aralıkta kalmasını sağlamaktır. Bu bağlamda, geri bildirim mekanizması ile desteklenen sıcak kontrolü ile teflonun fiziksel özelliklerinde değişim olmamış, kaplama işlemlerinin kalitesi güvence altına alınmıştır.

Şekil 6. Depolara Klima Koyulması ve Geri Bildirim İle Ortam Sıcaklığının Kontrol Altında Tutulması (Dülger ve Karahan, 2023)

3.3.2.3 Prensip 32. "Renk Değiştirme" Yenilikçi Prensibinin Uygulanması

Bu prensip doğrultusunda, yüzey kaplama süreçlerinde farklı renkteki teflon malzemelerin pigment etkileri düşünülerek çeşitli iyileştirme önerileri geliştirilmiştir. Örneğin siyah renk haricindeki teflon kaplama maddelerinde pigment oranı daha yüksektir. Yapılan incelemeler neticesinde, bu durumun koyulaşmaya daha çok neden olduğu ve viskoziteyi olumsuz yönde etkilediği görülmüştür. Bu noktada, özellikle pigment oranı yüksek olan renkteki teflon malzemelerinin depolarda bekletilmesinin önüne geçilmiş, üretim planlaması yapılırken bu teflonların ihtiyaç anında tedariğine geçiş yapılmıştır. Mevcut sistemde bulunan pigment oranı yüksek olan renkteki teflonlar için ise, depolarda uygun saklama koşulları oluşturulmuştur. Bu sayede, bu grup teflonlar için viskozite değişimlerinin önüne geçilmiştir.

Alınan bir diğer aksiyon ise, bu grup teflonlarda viskozite değişimleri yaşandığının anlaşılması durumunda üretim planı değiştirilmesi ve pigment oranı daha düşük olan renklerde kaplama yapılmasıdır. Örnek olarak, beyaz renkli teflon üretiminde söz konusu nedenden dolayı problem yaşanması halinde pigment oranı daha düşük olan siyah teflon üretimine geçiş yapılmıştır. Bu uygulama ile pigment kaynaklı viskozite problemlerinin yaşanması büyük oranda engellenmiş, yüzey kaplama kalitesinin sürekliliği sağlanmıştır.

3.3.2.4 Prensip 35. "Parametre Değişikliği" Yenilikçi Prensibinin Uygulanması

Bu prensip doğrultusunda, parametrelerin fiziksel veya kimyasal özelliklerinin değiştirilmesi yoluyla viskozite değerinin değişmesi engellenmeye çalışılmıştır. Birinci önlem, teflonun besleme hatlarına aktarıldığı kaplar içerisine buz kütleleri koyulması, kaplama malzemesinin ideal sıcaklık olan 25^0C-28^0C

aralığında tutulmasıdır. Özellikle yüksek sıcaklıkların olduğu günlerde, bu yöntem, sıcaklık kaynaklı viskozite artışının önlenmesinde çözüm üretmiştir. İkinci önlem, teflon malzemesinin üretim hatlarına aktarılmadan önce kıvamı kontrol edilerek viskozite problemi gözlemlendiği anda kontrollü miktarda su eklenerek hazır bulundurulmasıdır. Üçüncü önlem, üretim alanında bekletilen teflon kaplama malzemesi, dakikada 100–200 devir arasında titreşim uygulayan bir makine merdanesi yardımıyla sürekli olarak karıştırılması ve böylece malzemenin homojen tutulmasıdır. Sözü edilen uygulamalar ile, teflon malzemesinin sıcaklık ve yoğunluk parametreleri kontrol altında tutulmuş, böylece malzemenin işlenebilirliği optimum seviyeye getirilmiştir.

3.3.3 Taguchi Yöntemi Uygulaması

İyileştirilmek istenen Teflon kaplama maddesinin viskozitesi için olması istenen nominal değer 15±5 mm^2/s'dir. Bu nedenle deney sonuçları nominal en iyi' ye göre analiz edilir. TRIZ uygulaması neticesinde viskoziteyi etkilediği varsayılan faktörler ve seviyeleri Tablo 1'de yer almaktadır.

Tablo 1.

Faktör ve Seviyeleri

Faktör	Sembol	Seviye 1	Seviye 2
Kap hacmi (litre)	A	3	5
Ortam sıcaklığı (^{0}C)	B	19	22
Makine titreşim (devir/dak)	C	100	200
Teflon sıcaklığı (^{0}C)	D	25	28

Kap hacmi faktörü, A sembolü ile gösterilmiş olup, 3lt ve 5lt olmak üzere iki seviyede incelenmiştir. Ortam sıcaklığı faktörü, B sembolü ile gösterilmiş olup, 19˚C ve 22°C olmak üzere iki seviyede incelenmiştir. Makine titreşimi faktörü, C sembolü ile gösterilmiş olup 100 devir/dak ve 200 devir/dak olmak üzere iki seviyede incelenmiştir. Teflon sıcaklığı faktörü, D sembolü ile gösterilmiş olup, 25˚C ve 28°C olmak üzere iki seviyede incelenmiştir.

Toplam serbestlik derecesi 4 olduğu için buna uygun ortogonal dizi L8 olarak belirlenmiştir. Deneyler 2 tekrarlı olarak yapılmış olup, ölçülen viskozite değerleri Tablo 2'de yer almaktadır.

Tablo 2.

Deney Sonuçları

Deneme no	A	B	C	D	Y1	Y2	Ortalama
1	1	1	1	1	26	22	24
2	1	1	2	2	28	22	25
3	1	2	1	2	30	36	33
4	1	2	2	1	15	19	17
5	2	1	1	2	35	25	30
6	2	1	2	1	24	28	26
7	2	2	1	1	30	40	35
8	2	2	2	2	24	32	28

Farklı kombinasyonla yapılan deney sonuçlarına göre ortalama viskozite değerleri sırasıyla 24 mm^2/s, 25 mm^2/s, 33 mm^2/s, 17 mm^2/s, 30 mm^2/s, 26 mm^2/s, 35 mm^2/s, 28 mm^2/s' dir.

ANOVA yöntemi ile kaplama malzemesinin viskozitesi üzerinde etkili olan faktörler Tablo 3' te sunulmuştur. α=0.10 için kap hacmi (A) ve makine titreşimi (C) faktörleri etkilidir. Viskozite değişiminde en büyük pay %26.45 ile C faktörüne aittir. A faktörü %15.65, B faktörü %2.5 ve D faktörü %7.67 etkilidir. B ve D faktörleri etkili değildir.

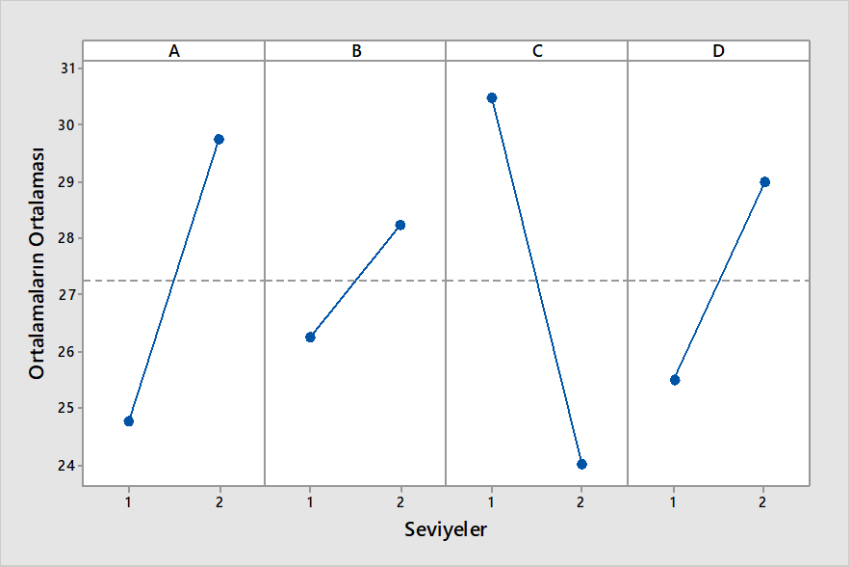
Tablo 3.

ANOVA Yöntemi Uygulama Sonucu

Değişimin Kaynağı	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Katkı Yüzdesi	Kareler Ortalaması	F Değeri	P Değeri
A	1	100,00	15,65%	100,00	3,61	0,084
B	1	16,00	2,50%	16,00	0,58	0,463
C	1	169,00	26,45%	169,00	6,10	0,031
D	1	49,00	7,67%	49,00	1,77	0,211
Hata	11	305,00	47,73%	27,73		
Total	15	639,00	100,00%			

4. Bulgular

Yapılan deneyler sonucunda, faktörlerin seviyelerine göre ortalama viskozite değerleri Şekil 7' de gösterilmiştir.



Şekil 7. Faktörlerin seviyelerine göre ortalama viskozite değerleri

Şekil 7' ye göre seviyeler, A faktörü için 1. seviye (3 litre) ve C faktörü için 2. seviye (200 devir/dak) olmalıdır. Diğer etkili olmayan faktörlerin 1. veya 2. Seviyede olmaları viskozite değerinde değişime yol açmayacaktır. Etkili faktör seviyelerine göre beklenen ortalama viskozite değeri aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

$$\text{Tahmini ortalama değer} = \overline{A_1} + \overline{C_2} - \overline{T} \quad (1)$$

$$= (24.75+24)-27.25$$

$$= 21.5$$

Burada, $\overline{A_1}$; A faktörünün 1. Seviye olması durumunda ortalama viskozite değeridir. $\overline{C_2}$; C faktörünün 2. seviye olması durumunda ortalama viskozite değeridir. $\overline{T}$; deney sonuçlarının genel ortalamasıdır.

Yapılan çalışma ile viskozite değerinde tahmini ortalama değer 21.5 mm^2/s olması ile %21.1 'lik bir iyileşme sağlanmıştır.

5. Tartışma

Çalışmamızda, metal yüzey kaplaması yapan bir işletmede yüzey kaplama malzemesi olan teflonun zamanla değişen viskozite problemi ele alınmıştır. Özellikle siyah renk dışındaki teflonlarda bu sorun yoğun bir şekilde yaşanmaktadır. Bu durum, üretim planlama ve üretim proseslerini olumsuz yönde etkilemektedir. Probleme yönelik çözüm üretme noktasında, TRIZ ve Taguchi deney tasarımı yöntemleri entegre edilerek hibrit bir model geliştirilmiştir. TRIZ yöntemi ile, problemin temeli olan teknik çelişki, operasyonel kolaylık ve üretim hassasiyeti parametreleri ile tanımlanmıştır ve Çelişkiler Matrisindeki 40 yenilikçi prensipten dört tanesi uygulanmıştır. Elde edilen çözüm önerilerinden en uygun kombinasyonu ortaya koymak için Taguchi deney tasarımı yönteminden faydalanılmıştır. Taguchi deney tasarımı yönteminin uygulanmasıyla bunulan tahmini viskozite değeri mevcut duruma göre başarılı bir sonuç vermiş, %21.1'lik iyileşme sağlanmıştır.

Literatür incelendiğinde, TRIZ'in kimya mühendisliği alanında başarılı sonuçlar verdiği ve diğer yöntemler ile birlikte çalışabildiği görülmektedir. Bu bağlamda çalışmamız, TRIZ ve Taguchi yöntemlerinin birlikte kullanılarak kimyasal dönüşüm süreçlerinde başarılı olduğunu göstermesi açısından literatürü destekler niteliktedir.

6. Sonuçlar

Sistematik inovasyon yaklaşımı olarak da bilinen TRIZ yöntemi, son yıllarda çeşitli endüstri alanlarında giderek artan bir şekilde kullanılmaya başlanmış, literatürde üretim süreçlerinin iyileştirilmesinde başarılı sonuçlar elde edildiği sıkça vurgulanmıştır. Bu çalışmada, metal yüzey kaplaması gerçekleştiren bir üretim işletmesinde, TRIZ yöntemi ve deneysel tasarım yaklaşımı olan Taguchi yöntemi birlikte uygulanmıştır. Öncelikle TRIZ yöntemi ile elde edilen dört yenilikçi prensip doğrultusunda teflon malzemesinin viskozite değişimi problemine çözümler geliştirilmiş, sonrasında Taguchi yöntemi ile süreç parametre değerlerinin en uygun kombinasyonu belirlenmiştir. Uygulama detayında; dilimlemek, bölmek, parçalamak prensibi ile kullanılan 20 litrelik kaplar yerine 3-5 litrelik kaplar kullanılarak, Taguchi yöntemi ile 3 litrelik kapların daha iyi sonuç verdiği gözlemlenmiştir. Benzer şekilde geri besleme prensibi ile ortam sıcaklığı termometre ile saat başı kontroller ile geri bildirim alınarak, ortam ideal sıcaklık olan 19^0-22^0 arasında olması için sürekli gözlem altında tutulmuştur. 32.Prensip; renk değiştirme prensibi, özellikle siyah harici teflonda viskozite değişimi yaşandığı anlaşıldığı takdirde hayata geçirilmiş, pigmentin daha düşük olduğu renklerdeki üretime geçiş yapılarak çözüme ulaşılmıştır. 35.Prensip; parametre değişikliği ile ilgili teflon kaplama maddesinin sıcaklık parametresinde değişime gidilmiş, ideal sıcaklık olan 25^0-28^0 derecelerde kalabilmesi için kaplar içerisine buz kütleleri konulmuştur. Son

olarak bekleyen teflonların viskozite değişimine uğramaması için 100-200 (devir/dak) arasında titreşim yapan bir makine merdanesi yardımıyla homojen tutulması sağlanmıştır. Taguchi yöntemi ile makine titreşimi faktörü incelenmiş, makinenin 200 (devir/dak) çalışması durumunda en iyi viskozitenin elde edilmesi sağlanmıştır. 16 deney sonucundan bulunan ortalama viskozite değeri 27.25 mm^2/s iken, amaçlanan hibrit model ile beklenen ortalama değer 21.5 mm^2/s olarak hesaplanmıştır. Böylece %21.1 'lik bir iyileşme sağlanmıştır. Bu sonuç, teflon malzemesinin viskozite değerinin çoğunlukla spesifikasyon sınırları içinde veya çok yakın değerler alacağını göstermektedir.

Elde edilen bulgular, TRIZ ve Taguchi yöntemlerinin birlikte uygulanmasıyla, kimyasal dönüşüm problemlerinde başarılı sonuçlar ortaya koyulabileceğini göstermiştir.

Araştırmacıların Katkısı

Bu araştırmada; Elif DÜLGER, Taguchi deney tasarımı yönteminin tasarlanması ve uygulanması, bilimsel yayın araştırması, makalenin oluşturulması; Zeynep KARAHAN, TRIZ yönteminin uygulanması, bilimsel yayın araştırması, makalenin oluşturulması konularında katkı sağlamışlardır.

Teşekkür

Çalışmanın gerçekleşmesinde desteklerini esirgemeyen Prof. Dr. Semra BORAN' a teşekkür ederiz.

Çıkar Çatışması

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

Kaynaklar

Abramov O., Kogan S., Mitenik-Gankin L., Sigalovsky I, ve Smirnov A. (2015). TRIZ-based approach for accelerating innovation in chemical engineering. *Chemical Engineering Research and Design,* 103, 25-31. Doi: https://doi.org/10.1016/j.cherd.2015.06.012

Cavallucci D. (2002). *TRlZ, the Altshullerian approach to solving innovation problems,* A. Chakrabarti (ed.). In: Engineering Design Synthesis, London, Springer

Chang M-T. ve Yeh C-H. (2012). An innovative manufacturing process for bamboo injection molding by using TRIZ and Taguchi method. *Journal of the Chinese*

Institute of Industrial Engineers 29(7), 454-465. Doi: https://doi.org/10.1080/10170669.2012.727477

Dülger E., ve Karahan Z., *Metal Yüzey Kaplama Prosesindeki Viskozite Probleminin TRIZ İle Çözümü*, 2nd International Innovation Management and TRIZ Conference Proceeding, 103-109, Baku, Azerbaycan, Doi: https://doi.org/10.13140/RG.2.2.28665.44641

Han X. ve Su L. (2019). *TRIZ-Based Design and Simulation of High Speed End Sealing Device of Packaging Machine.* 2nd World Conference on Mechanical Engineering and Intelligent Manufacturing (WCMEIM), Shanghai, China

Hirst E., Introduction to TRIZ - Theory of Inventive Problem Solving IBM Global Business Services, Erişim Adresi: https://studylib.net/doc/13322922/introduction-to-triz---theory-of-inventive-problem-solvin

Jou Y-T., Lin W-T., Lee W-C., ve Yeh T-M. (2013), Integrating the TRIZ and Taguchi's Method in the Optimization of Processes Parameters for SMT. *Advances in Materials Science and Engineering.* Doi: http://dx.doi.org/10.1155/2013/830891

Kim J., Kim J., Lee Y., Lim W. ve Moon I. (2009). Application of TRIZ creativity intensification approach to chemical process safety. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries* 22, 1039-1043. Doi: https://doi.org/10.1016/j.jlp.2009.06.015

Potier O., Brun J., Masson P.L., ve Weil B. (2015). How innovative design can contribute to Chemical and Process Engineering development? Opening new innovation paths by applying the C–K method. *Chemical Engineering Research and Design* 103, 108-122. Doi: https://doi.org/10.1016/j.cherd.2015.05.040

Robles G. C., Negny S., ve Lann J.M.L. (2009). Case-based reasoning and TRIZ: A coupling for innovative conception in Chemical Engineering. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification* 48(1), 239-249. Doi: https://doi.org/10.1016/j.cep.2008.03.016

Shen Y.T ve Smith S. (2009). *Product Redesign Using TRIZ and Contradictive Information from the Taguchi Method.* 16th ISPE International Conference on Concurrent Engineering, Taipei, Taiwan.

Lazic L. (2018). Synergy Between QFD, DOE Taguchi and TRIZ Six Sigma Utilization In Software Engineerıng. Research Gate. Erişim Adresi: https://www.researchgate.net/publication/319123078_SYNERGY_BETWEEN_QFD_DOE_TAGUCHI_AND_TRIZ_SIX_SIGMA_UTILIZATION_IN_SOFTWARE_ENGINEERING

Lin Y-H., Hsueh K-Y., Chang C-P., ve Lu C-Y. (2017), *Integrating TRIZ and Taguchi's Method in the Optimization of Processes Parameters for a Bin shelving*. 7th International Conference on Education, Management, Information and Mechanical Engineering (EMIM 2017), Shenyang, China.

Su C.T. ve Su F.M. (2018). Yield Improvement in Color Filter Manufacturing Using Taguchi Methods and TRIZ's Substance–Field Analysis. *IEEE Transactions on Components. Packaging and Manufacturing Technology 8 (12)*, Doi: https://doi.org/10.1109/TCPMT.2018.2846692

Türkan B. (2024). Elektrikli araçlarda optimum soğutucu tasarımı için TRIZ algoritmasının uygulanması ve Taguchi analizi. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University* 39(1), 521-534. Doi: https://doi.org/10.17341/gazimmfd.1072512.

YunSeok K., ChiWeon J., MinSup L. ve JaeGon Y. (2012). *Development of Cost Saing and Sloshing Noise Reductive Baffles of Fuel Tant Using Triz and Taguchi Engineering Method.* Proceedings of the FISITA 2012 World Automotive Congress. Beijing, China.

Zurnalı Ö. (2019). *Otobüs Kapak Üretim Prosesinin Robotik Otomasyonla Optimizasyonu ve Triz Metodolojisine Uygulanması* (Yüksek lisans Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.