

**Standart Seramik Yapıştırıcılarının
Önemli Kalite Göstergelerinin Analizinde
Taguchi Yöntemi**

Oya YILMAZ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Şubat 2010

**Taguchi Method for Analyzing
Standard Ceramic Mortar's
Important Quality Responses**

Oya YILMAZ

MASTER OF SCIENCE THESIS

Department Of Industrial Engineering

February 2010

**Standart Seramik Yapıştırıcılarının Önemli Kalite Göstergelerinin Analizinde
Taguchi Yöntemi**

Oya YILMAZ

**Eskişehir Osmangazi Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Lisansüstü Yönetmeliği Uyarınca
Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı
Endüstri Mühendisliği Bilim Dalında
YÜKSEK LİSANS TEZİ
Olarak Hazırlanmıştır**

Danışman: Prof. Dr. A. Sermet Anagün

Şubat 2010

ONAY

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans öğrencisi Oya Yılmaz'ın YÜKSEK LİSANS tezi olarak hazırladığı “Standart Seramik Yapıştırıcılarının Önemli Kalite Göstergelerinin Analizinde Taguchi Yöntemi” başlıklı bu çalışma, jürimizce lisansüstü yönetmeliğin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

Danışman : Prof. Dr. A.Sermet ANAGÜN

İkinci Danışman :-

Yüksek Lisans Tez Savunma Jürisi:

Üye : Prof. Dr. A.Sermet ANAGÜN

Üye : Prof. Dr. Nimetullah BURNAK

Üye : Y. Doç. Dr. Sevil ŞENTÜRK

Üye : Y. Doç. Dr. Ezgi DEMİRTAŞ

Üye : Dr. Tuba SARAÇ

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun tarih ve
sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. Nimetullah BURNAK

Enstitü Müdürü

ÖZET

Bu çalışmada, inşaat sektöründe kullanılan ve her türlü yapının içinde ve dışında uygulanabilen seramik yapıştırıcılarının çoklu performans karakteristiklerini geliştirebilmek için Taguchi Yöntemi kullanılmıştır. Yaklaşım çerçevesinde süreci etkileyen iç ve dış faktörler ve seviyeleri belirlenmiştir. Bu seviyelere göre $L_{32}(2^5)$ ve $L_4(2^2)$ ortogonal tasarımları kullanılarak tam faktöriyel deneyler yapılmıştır. Deneyler; varyans analizi ve faktör etkileri grafikleri yardımıyla analiz edilmiştir. Sonuç olarak hem faktörler için en iyi seviyeler bulunmuş hem de yeni çalışmalarda kullanılmak üzere faktörlerin etki dereceleri elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Deney Tasarımı, Taguchi Yöntemi, İç-Dış Ortogonal Diziler, Sinyal Gürültü Oranı, Seramik Yapıştırıcısı

SUMMARY

In this study, Taguchi Method was used for improving multiple responses of ceramic adhesives which are applied to interior and exterior surfaces of any kind of structure used in building industry. The control and signal/noise factors which affect the process and levels were determined within the framework of the approach. The full factorial experiments were made using orthogonal arrays $L_{32}(2^5)$ and $L_4(2^2)$ according to these levels. Experiments were analyzed by the factor affect graphs and variance analysis. As a result, the best levels for the factors were deduced as well as possible levels of factors to be used for the future studies.

Keywords: Experimental Design, Taguchi Method, Inner-Outer Orthogonal Arrays, Signal-Noise Ratio, Ceramic Mortar

TEŞEKKÜR

Yüksek Lisans Tezi çalışmasında bana danışmanlık ederek yönlendiren ve her türlü olanağı sağlayan danışmanım Sn. Prof. Dr. A. Sermet ANAGÜN'e, yüksek lisans yapmam için beni teşvik eden, tez uygulamaları için tüm olanakları sağlayan ve yardımlarını esirgemeyen amirlerime, iş arkadaşlarıma ve hayatımdaki tüm başarılarımın mimarı annem Gülşen Samime YILMAZ'a en içten dileklerle teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET.....	v
SUMMARY.....	vi
TEŞEKKÜR.....	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	x
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xi
1. GİRİŞ.....	1
2. KALİTE KAVRAMI VE TARİHSEL GELİŞİMİ.....	3
2.1. Kalite Kavramı.....	3
2.2. Kalitenin Gelişimi.....	5
3. DENEY TASARIMI.....	10
3.1. Faktöriyel Tasarımlar.....	14
3.1.1. Tam faktöriyel deney tasarımı.....	14
3.1.2. Kesirli faktöriyel tasarım.....	15
4. TAGUCHİ YÖNTEMİ.....	17
4.1. Taguchi Yöntemi Uygulama Adımları.....	21
4.1.1. Değerlendirilecek faktörlerin seçilmesi.....	21
4.1.2. Faktör düzeylerinin seçilmesi.....	22
4.1.3. Uygun ortogonal dizinin seçilmesi.....	22
4.1.4. Faktör sütünlara atanması.....	22
4.1.5. Testlerin yapılması.....	22
4.1.6. Sonuçların analiz edilmesi.....	22
4.1.7. Doğrulama deneyinin yapılması.....	23
4.2. Taguchi Yöntemi Uygulaması İle İlgili Litaretür İncelemesi.....	23
5. SEÇİLEN KALİTE GÖSTERGELERİNİN TAGUCHI YONTEMİ İLE ANALİZİ.....	27
5.1. Değerlendirilecek Faktörlerin Seçilmesi.....	27
5.2. Faktör Düzeylerinin Seçilmesi.....	32
5.3. Uygun Ortogonal Dizin Seçilmesi.....	33

İÇİNDEKİLER (Devam)

5.4. Faktör Sütünlara Atanması.....	34
5.5. Testlerin Yapılması.....	34
5.6. Sonuçların Analiz Edilmesi.....	36
5.6.1. Kayma kalite göstergesine ilişkin analizler.....	36
5.6.2. Mukavemet kalite göstergesine ilişkin analizler.....	39
5.6.3. Açık kalma mukavemeti kalite göstergesine ilişkin analizler.....	43
5.6.4. Kıvam kalite göstergesine ilişkin analizler.....	46
5.6.5. Çalışma süresi kalite göstergesine ilişkin analizler.....	50
5.6.6. Çoklu eniyilemeye yönelik analizler.....	53
5.7. Doğrulama Deneyinin Yapılması.....	55
6. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	57
KAYNAKLAR DİZİNİ.....	59

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
6.1. Faktörler için Sebep Sonuç Diyagramı.....	30
6.2 Kayma Kalite Göstergesi İçin Ortalama Etkiler Grafiği.....	38
6.3 Kayma Kalite Göstergesi için Etkileşim Grafiği.....	39
6.4. Mukavemet Kalite Göstergesi İçin Ortalama Etkiler Grafiği.....	42
6.5. Mukavemet Kalite Göstergesi İçin Etkileşim Grafiği.....	42
6.6 Açık Kalma Mukavemeti Kalite Göstergesi İçin Ortalama Etkiler Grafiği.....	45
6.7. Açık Kalma Mukavemeti Kalite Göstergesi İçin Etkileşim Grafiği.....	46
6.8. Kıvam Kalite Göstergesi İçin Ortalama Etkiler Grafiği.....	49
6.9. Kıvam Kalite Göstergesi İçin Etkileşim Grafiği.....	49
6.10 Çalışma Süresi Kalite Göstergesi İçin Ortalama Etkiler Grafiği.....	52
6.11. Çalışma Süresi Kalite Göstergesi İçin Etkileşim Grafiği.....	53

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
4.1 Tam Faktöriyel Tasarım Örneği.....	15
4.2 2^{4-1} Kesirli Tasarımı.....	16
6.1 Faktörler Tablosu.....	33
6.2 Çalışma Süresi için Sonuçlar Tablosu.....	36
6.3 Kayma Kalite Göstergesi İçin Varyans Analizi Tablosu.....	37
6.4 Kayma Kalite Göstergesi İçin İndirgenmiş Varyans Analizi Tablosu.....	38
6.5 Mukavemet Kalite Göstergesi İçin Varyans Analizi Tablosu.....	40
6.6 Mukavemet Kalite Göstergesi İçin İndirgenmiş Varyans Analizi Tablosu.....	41
6.7 Açık Kalma Mukavemeti Kalite Göstergesi İçin Varyans Analizi Tablosu.....	44
6.8 Açık Kalma Mukavemeti Kalite Göstergesi İçin İndirgenmiş Varyans Analizi Tablosu.....	45
6.9 Kıvam Kalite Göstergesi İçin Varyans Analizi Tablosu.....	47
6.10 Kıvam Kalite Göstergesi İçin İndirgenmiş Varyans Analizi Tablosu.....	48
6.11 Çalışma Süresi Kalite Göstergesi İçin Varyans Analizi Tablosu.....	51
6.12 Çalışma Süresi Kalite Göstergesi İçin İndirgenmiş Varyans Analizi Tablosu.....	52
6.13 Karşılaştırma Tablosu.....	55
6.14 Tahmin Edilen Kalite Göstergeleri ile Doğrulama Deney Sonuçları.....	55
6.15 Hesaplanan Güven Aralıkları.....	56

1. GİRİŞ

Yapı performansı ve inşaat teknikleri ilerledikçe, artan standartlar, daha yüksek dayanımlı beton ve daha dayanıklı yüzeyler gibi inşaat yapım tekniklerinden de beklentileri arttırmaktadır. Özellikle yapı üretiminin yoğun ve hızlı olduğu, deprem kuşağında olan ülkemizde, yapı kimyasalları sektörü gittikçe önem kazanmakta ve bu malzemelerin yapı kalitesindeki önemi her geçen gün daha iyi anlaşılmaktadır.

İnşaatlarda kullanılan çimento, kum, kireç ve benzeri malzemeler ile klasik çözümler, kaliteyi işçinin inisiyatifine bırakması sebebiyle yavaş yavaş terk edilmeye başlanmıştır. Yasalarla da desteklenen, kalitesi ve dayanımı üretim aşamasında kontrol edilebilen, şantiyeye hazır halde gelen malzemeler ön plana çıkmaktadır. Eski ve yeni dökülen betonun sertliğini sağlayan özel kimyasallardan, betonu koruyan sıva ve kaplamalara, yüksek dayanımlı onarım malzemelerine, ısı değişimlerine dayanımlı seramik yapıştırıcılarından, yalıtım malzemelerine kadar yapının ömrünü uzatan, yapıldığı günkü kadar sağlamlığını koruyarak içerisinde yaşayanların konforunu arttıran malzemeler ile yapılar oluşturulmaya başlanmıştır.

Seramik yapıştırıcıları, inşaat sektöründe kullanıldığı yerler itibariyle en çok sarf edilen ürünlerden biridir. Genel itibariyle literatürde, seramik yapıştırıcısı olarak geçmelerine rağmen, performanslarına göre seramik, gazbeton tuğla, cam, granit ve doğal taşlar gibi malzemelerin yüzeylere yapıştırılmalarında kullanılmaktadırlar. Bu kadar çok kullanım alanı olan bir malzemenin, bir de farklı coğrafya ve iklim koşullarında kullanıldıkları düşünüldüğünde, kalite göstergelerini etkileyen faktörlerin ve bu faktörlerin etkilerinin bulunması önem kazanmaktadır.

Faktör ve etkileri bulunurken, sadece malzemenin içerisine giren hammaddelerin değil, hava koşullarının da etkisinin yüksek olacağı düşünülmüştür. Aynı zamanda, her bir kalite göstergesinin tek başına iyileştirilmesinin yeterli olmayacağı ve tümünün bir arada değerlendirilmesi gerektiği de açıktır.

Bu çalışmadaki kalite göstergelerini eniyileyebilmek, i ve dış etkileri yaratan faktörleri ve etki düzeylerini belirleyebilmek ve çalışma sonuçlarının daha sonraki araştırma geliştirme çalışmalarına rehberlik edebilecek sonuçlar elde etmek için Taguchi Yöntemi kullanılmıştır.

Yapılan çalışmada, ikinci bölümde kalite algısı ve gelişimi konusunda bilgiler verilmiştir. Müşteri odaklı bir kavram olan kalitenin boyutları ve kalite ölçümünün geçmişten günümüze geçirdiği aşamalardan bahsedilmiştir.

Deney tasarımından bahsedilen üçüncü bölümde, yöntemin ilkeleri anlatılarak, kullanılan kavramlar açıklanmıştır.

Dördüncü bölümde, çalışmada kullanılan yöntem olan Taguchi Yöntemi'nin temelleri anlatılmıştır. Yöntemin uygulanması için yapılması gereken adımlar sıralanmış ve açıklanmıştır.

Seçilen kalite göstergelerinin Taguchi Yöntemi ile analiz edildiği beşinci bölümde, yöntemin aşamaları göz önüne alınarak yapılan çalışma açıklanmıştır. Kalite göstergelerinin her biri için; kritik etki yaratan i ve dış faktörlerin belirlenmesi, faktör düzeylerinin seçilerek deneylerin gerçekleştirilmesi ve sonuçların analizi bu bölümde anlatılmıştır.

Son bölümde tez hakkındaki genel sonuçlardan, bundan sonra yapılabilcek çalışmalardan ve önerilerden söz edilmiştir.

2. KALİTE KAVRAMI VE TARİHSEL GELİŞİMİ

2.1. Kalite Kavramı

Kalite, o tarihlerde adı konmasa da geçmişi Hammurabi Kanunlarına dayanan köklü bir kavramdır. Tanımı geçmişten günümüze değişim gösterse de, yakın geçmişte “spesifikasyonlara uygunluk” olarak tanımlanırken günümüzde kalite kavramının temeli müşteridir.

Kalite müşteri memnuniyeti ile eşdeğerdir. Kalite, “bir ürün veya hizmetin müşteri beklenti ve gereksinimlerini karşılayabilme yeteneğidir” olarak da tarif edilebilir. Tüketicilerin beklentilerine bağlı olarak, kalite kavramı topluma, toplumun kültürel gelişimine, beğeni ve alışkanlıklarına göre değişen bir kavramdır. Amaç, müşteri beğeni ve gereksinimlerini daha iyi yakalamak ve rakiplerden daha iyi ürün/hizmet üretmektir (Kolarik,1995).

Müşteri odaklı bir kavram olarak ele alındığında, müşterilerin kaliteyi seviyelendirirken, üzerinde durdukları sekiz boyutunun değerlendirilmesi ile kalite daha iyi açıklanabilir (Kağnıcıoğlu,1998).

1. **Performans** : Ürünün spesifik işlevi ve bu işlevi yerine getirebilmesidir.
2. **Güvenilirlik** : Ürünün belirli zaman içinde bozulmadan kalması veya ne sıklıkla bakım ve tamir istediğidir.
3. **Dayanıklılık** : Ürün yaşam boyu etkili hizmet süresidir.
4. **Hizmet Verebilmesi** : Ürünün tamir edilebilirliği, servis hızı ve bunların maliyetidir.
5. **Estetik** : Ürünün rengi ve şekli gibi görünen özellikleridir.
6. **Özelik** : Ürünün ikincil işlevleridir.
7. **Algılanan Kalite**: ürünün ve ait olduğu işletmenin tanınmışlığı ve geçmişten gelen ünüdür.
8. **Standartlara Uygunluk**: Ürünün istenilen ve önceden belirlenmiş standartları sağlamasıdır.

Tüm bu tanımlamalara bakıldığında, kalitenin birçok boyutunun olduğu görülmektedir. Boyutların tümü ele alındığında, işletmelerde kalitenin tek bir sahibinin olmadığı ve tüm bölümlerin sorumluluklarının bulunduğu açıktır.

Standart bir üretim işletmesinde, hammadde satın almasından, ürün tasarım ve araştırma geliştirme çalışmalarına, süreç tasarımı ve üretim planlama ve üretim süreçlerine, kalite kontrolden montaj ve paketlemesine, pazarlama satış ve satış sonrası hizmetlerine kadar tüm bölümler kalite kavramı içinde müşterinin kalite algılamasına katkıda bulunmaktadır.

Ürünün tasarım ve araştırma geliştirme aşamasında, üründen beklenen ve istenilen özellikler tam anlamıyla belirlenmeli ve üretilecek ürünlerin bu özellikleri sağlama için çalışmalar yapılmalıdır. Ayrıca son ürünün yanı sıra üretimde kullanılacak hammadde veya parçaların özellikleri de tam anlamıyla tanımlanmalıdır. Satın alma, tüm hammadde veya parçaların belirlenen spesifikasyonlarda satın alınması ve işletmeye getirilmesinden sorumludur. Ürünün istenilen özelliklerde olması için kullanılan hammadde veya parçaların da önceden belirlenen standartlar içinde olması gerekir.

Üretim planlama ve üretim süreçleri, üretilecek ürünlerin zamanında, en az sürede ve istenilen spesifikasyonlara uygun şekilde üretilmesinden sorumludur. Üretim sonrası son ürünün ve ambalajının uygunluğu kontrol edilmeli, uygun olmayan ürünlerin müşteriye gönderilmesi kalite kontrol tarafından engellenmelidir. Tüm bu işletme için çalışmalardan sonra ürünün pazarlanması, müşterinin ürün ile ilgili düşüncelerinin toplanarak ürünün geliştirilmesi için tasarım bölümüne iletilmesi pazarlama ve satış bölümünün sorumluluğundadır. Son kullanıcının ürün ile ilgili şikâyet, öneri ve gerektiğinde bakım ve tamirini yapabilecek satış sonrası hizmetlerinin de müşteri isteklerine cevap verebilecek nitelikte olması gerekir. Bu fonksiyonlar değerlendirildiğinde, bir işletme tam anlamı ile kaliteli ürün/hizmet vermiş sayılmaktadır.

2.2. Kalitenin Gelişimi

Kalitenin en gerekli önceliği olan ölçme işleminin ne zaman başladığı bilinmemektedir. Ancak yapılan bazı arkeolojik çalışmalar Taş Devri sonlarında insanların karşılaştırmaya dayalı olarak ölçme yaptıklarını ve bu amaçla standart olarak kabul edilen bir birimle karşılaştırarak, ölçüsü bilinmeyen bir nesneyi ölçümlendirdiklerini göstermektedir.

Bununla ilgili ilk kayıtlar MÖ. 2150 yılına kadar uzanır. Ünlü Hammurabi kanunlarının 229. maddesinde şu hükme yer verilmiştir:

“Eğer bir inşaat ustası bir adama ev yapar ve yapılan ev yeterince sağlam olmayıp ev sahibinin üstüne çökerek ölümüne neden olursa inşaat ustasının başı uçurulur”(İnternet-1)

13. yüzyıl boyunca çıraklık ve esnaf loncaları gelişmiştir. Ustalar hem eğitici hem de muayene görevlisi idiler. Onlar ticareti ürünlerini ve müşterilerini çok iyi tanıyorlardı ve yaptıkları iş ile birlikte kaliteyi inşa ediyorlardı. Yönetim, ağırlık ve ölçü standartları oluşturulmuştu.

Endüstri Devrimi öncesinde, üretim faaliyetleri yetenekli zanaatkarlar tarafından, yerine getirilirken, belli bir ürünün, başından sonuna kadar tek bir kişi tarafından imal edilmesi söz konusuydu. Bu zanaatkarlar küçük miktarlarda üretmekte, ürettikleri ürünlerin kalitesini kendi kendilerine denetlemekte ve ürettikleri ürünlerle gurur duymaktaydılar. Endüstri Devrimi sırasında üretimin entegrasyonu ile işletmelerin büyümesi ve bir işletmenin çok sayıda usta istihdam etmesi, ürün kalitesinden üretime nezaret eden kişinin sorumlu olması gereğini doğurdu.

Bu gelişmeyle birlikte, son ürünün kalitesinin sorumluluğu ustabaşılara devredilmiştir. Üretilen ürünlerin muayenesi konusu gündeme gelmiş, ancak, muayene elemanları üretim yöneticisine bağlı olarak çalışmış ve dolayısıyla kalite, büyük ölçüde üretim bölümünün sorumluluğunda kalmıştır.

Çağdaş anlamda kalite denetimi, içinde bulunduğumuz yüzyıl içinde evrim geçirerek bugünkü durumuna ulaşmıştır. 19. yüzyıl sonlarıyla 20. yüzyıl başlarındaki önemli bir gelişme, Taylor'un planlama ile uygulamayı birbirinden ayırması şeklinde gerçekleşmiştir. Taylor, işin küçük parçalara bölünmesiyle verimliliğin arttırılabileceğini savunmuş, kalite, son ürünün denetimi olarak görülmüştür. Bu dönemde verimlilik artmış, ancak insan ilişkileri ve kalite konularında birtakım olumsuzluklar ortaya çıkmıştır.

Birinci Dünya Savaşını izleyen yıllarda, işletmelerin büyümesiyle birlikte, imalat sistemleri eskiye göre daha karmaşık hale gelmiş, muayene işlevi teknik bir boyut kazanmış ve kalite denetiminin bu alanda uzmanlaşmış kişiler tarafından yerine getirilmesi zorunluluğu ortaya çıkmıştır. Bu amaçla örgüt yapısı içinde, alanlarında uzmanlaşmış kişiler bir araya getirilerek ayrı ve bağımsız bir grup oluşturulmuştur.

Başka bir deyişle, kalite denetim işlemleri, üretim bölümünden ayrılarak bağımsız bir birim halinde, işletme örgütü içinde yerini almıştır. İşletmelerde oluşturulan ve kaliteden sorumlu tutulan bu yeni bölümün üretim yöneticisine ya da tesis yöneticisine bağlı olarak çalıştığı görülmüştür. Muayene işlemini gerçekleştiren bu birim, çeşitli muayene yöntemlerinden yararlanarak hatalı partilerin müşteriye ulaşmasını engelleme görevini üstlenmiştir.

Tarihi gelişim içinde, ilk istatistiksel kalite denetim hareketinin 1920'lerde ortaya çıktığı görülmüştür. 1920'li yılların ortalarında, Bell tesislerinde önemli istatistiksel kalite denetim teknikleri geliştirilmiştir.

Günümüzde kullanılan istatistik kalite denetim tekniklerinin temel ilkeleri, bu yıllarda Bell Laboratuvarlarında çalışan Walter Shewhart tarafından 1924'de geliştirilmiş ve istatistiksel kalite kontrolün temeli atılmıştır. Bu sayede seri üretimde kalitenin ekonomik bir şekilde kontrol edilmesine imkan sağlanmıştır. Toplam kalite hareketi açısından önem taşıyan bazı isimler, Deming ve Juran da o dönemde Bell tesislerinde çalışmışlardır.

1946'da işletmeler belgelendirme programları başlattılar. Kalite güvence uzmanları sorunları çözmek amacı ile kusur analiz teknikleri geliştirdiler ve tasarım aşamasına katılmaya başladılar. Bu arada ürünlerin çevresel performansı test edilmeye başlandı.

Dış rekabet 1970'li yıllarda Amerikan şirketlerini tehdit etmeye başladı. Tüketiciler satın alma kararını verirken ürünün uzun verimli yaşamı ile fiyat ve kaliteyi de göz önüne almaya başladılar. Tüketicilerin kalite ile giderek artan bir şekilde ilgilenmeleri ve dış rekabet ülkelerin kaliteye daha fazla önem vermelerine yol açtı. 1980'li yılların başlarında kalite, kuruluşların tüm fonksiyonlarına girmeye başladı. İşletmeler yalnızca imalata değil sistemin bütününe odaklanmaya başladı. Kuruluşların gelecekte var olabilmenin sürekli iyileştirme çabalarına bağlı olduğu anlaşıldı.

Savaşta yenilgi, Japonya'yı yeni bir yön seçmeye zorlamıştı. Bu dönemde milli amaçlara barışçı yollardan ve dış ticarete ağırlık verilerek ulaşılması gerektiği sonucuna varılmıştı. Ülkenin en büyük işletmeleri silahlı kuvvetler için üretim yapmaktaydı. Yaşayabilmek için sivil ürünlere ve ihracata yönelmeleri gerekmekteydi. Bu yönde çalışmaya başladıklarında, Japon ürünlerinin Batıya satılması önündeki en büyük engelin, düşük kaliteli ürün imajı olduğu ortaya çıkmıştı. Bu imajın değiştirilmesi için kalite alanında bir devrim yapılmalıydı.

Japon kalite devriminin Birleşik Devletler ekonomisi üzerinde önemli bir etkisi olmuştur. A.B.D.'de birçok sektör, sadece kalite nedeniyle, Japon rakipler karşısında önemli pazar payı kaybetmişlerdir. Günümüzde, Japon üreticiler dünya pazarlarında güçlü konumlarını korumaktadırlar.

Bu dönemde, birçokları, Japon kalite başarısını Deming'in öğrettiği istatistiksel kalite denetim yöntemlerinin kullanımına bağlamıştır. Gerçekten, İkinci Dünya Savaşı sonrası dönemde istatistiksel kalite denetim programlarına büyük önem verilmiş, bu gelişimin doğal bir sonucu olarak, işletmelerde personelin istatistiksel yöntemler konusunda eğitilmesi gereği ortaya çıkmıştır. Japonya'da istatistiksel kalite denetiminin önem kazanmasını izleyen süreç içinde toplam kalite denetimi ve işletme genelinde

kalite denetimi aşamalarına geçilmiştir. İşletme genelinde kalite denetimi çerçevesinde, tüm çalışanlar, tüketicinin kalite, fiyat ve hizmet beklentilerini karşılamaya yönlendirilmiştir.

Japonların kalite boyutundaki atılımını gören endüstrileşmiş ülkelerin üreticileri, ürünlerinin kalitesini iyileştirmeye yönelik çabalarını yoğunlaştırmışlardır. Bu çabalar, tasarımdan başlayan, satın alma, üretim, teslim ve satış sonrası hizmet aşamalarını da içeren toplam bir yöntemin benimsenmesine yönelmiştir.

Kalitenin gelişme aşamaları tarihsel sıralamanın dışında, yapılan çalışmaların içeriğine göre dörde ayrılmaktadır (İnternet-1)

1. Muayene: Endüstri devriminin başlangıcından 1920'lere kadar olan dönemde, işletmelerde üretilen ürünlerin kontrolü ve bunların hatalarını tespit etme görevi işçilere verilmiş ve bir "muayeneci" grubu ortaya çıkmıştır. Burada amaç tüketiciye hatalı ürün gitmesini önlemektir. Bu yöntem tüketiciyi korumuş ancak üreticilerde sıkıntı yaratmıştır. Çünkü bu çalışmalar işletmenin kalitesini arttırmamış, muayene edilerek hatalı ürünlerin ortaya çıkması işletmelerin maliyetlerini arttırmıştır.

2. İstatistiksel Kalite Kontrol: Teknolojik gelişmeler ve ölçek büyümesi, muayenecilerin yetersiz kalması işletmeleri yeni arayışlara yönlendirmiştir. 1920'li yıllara rastlayan bu dönemde, muayene işlemi son kontrolden ara kontrollere ve giriş kontrolüne doğru genişletilmiştir. Bu yapı kalite kontrol çalışmalarını işletmede bağımsız bir bölüm tarafından üstlenilmesini zorunlu kılmıştır. İstatistik biliminin kalite kontrolünde geniş olarak kullanılmaya başlandığı bu dönem istatistiksel kalite kontrol olarak adlandırılmaktadır. Kabul örnekleme için yapılan çalışmalar bu döneme rastlamaktadır. Bu dönemde standartlar geliştirilmeye başlanmış ve tüketiciyi koruma yolunda ilk adımlar atılmıştır.

3. Kalite Güvence Sistemi: II. Dünya Savaşı yıllarında geliştirilen istatistiksel teknikler yardımıyla gelen partileri kabul veya reddetmenin en iyi sistem olmadığı inancı gelişmeye başlamıştır. Çünkü savaşta olan bir ordunun, dışarıdan sağlanan hayati

bir takım ihtiyaçları için gelen bir malzeme partisinin reddedilmesinin yaratacağı sıkıntı açıktır. Bu nedenle asıl önemli olanın, gelen partilerin hepsinin kabul edilebilir nitelikte olmasını sağlamak olduğu anlaşılmıştır. 1960-1980 yılları arasında imalat ile kalite bütünleşmiş, istatistiksel kontrol başlamış, üretim esnasında kontrol benimsenmiştir.

4. Toplam Kalite Yönetimi: II. Dünya Savaşı sonrası üretim süreçlerinin karmaşık yapı kazanması, keskin rekabet koşulları ve tüketicilerin baskısı gibi nedenler, kalite kontrol uygulamalarına yeni bir bakış açısı kazandırmıştır. Bunun sonucu olarak "Toplam Kalite Kontrolü" anlayışı hayata geçmeye başlamıştır. Bu aşamadan, günümüzün kalite anlayışı olan "Toplam Kalite Yönetimi" ortaya çıkmıştır. Bu anlayış kalitenin yaratılması, yaşatılması ve geliştirilmesinden tüm işletme birimlerinin derece derece sorumlu olmalarını gerektirmektedir.

3. DENEY TASARIMI

Deney tasarımı, 1920'lerde İngiliz istatistikçi Sir Ronald A. Fisher tarafından, tarım alanlarında araştırmalar yaparken bulunmuş ve geliştirilmiştir. Fisher ayrıca, deney verilerinin analizi için bugün klasik sayılan 'Varyans Analizi' yöntemini de geliştirmiştir. Yöntem, kısa süre içinde, Amerika'da tarım sektöründe üretimin geliştirilmesi için yoğun olarak uygulanmış ve Amerika'nın bu alanda dünyada lider konumuna gelmesine büyük katkıda bulunmuştur. Tarım alanında, çeşitli gübre ve dozları ile iklim koşullarının ve sulama düzeylerinin çeşitli ürünlere olan etkilerini belirlemek üzere uygulanmıştır. Daha sonra kimya ve ilaç sektöründe de uygulanmış olmasına rağmen, imalat sektöründeki uygulamaları, 1970'lere kadar son derece kısıtlı kalmıştır.

Amerika'da imalat sektörü, 1980'lerin başında, deney tasarımı Japon kalitesinin nedenlerini araştırırken yeniden keşfedilmiştir. Deney tasarımı, o tarihlerde Japonya'da Genichi Taguchi'nin önderliğinde yoğun ve etkili olarak uygulanmıştır. Taguchi, üretimdeki uygulamalarla yöntemin imalat sektöründe kabul görmesini sağlamıştır (Şirvancı, 1997).

Günümüzde deney tasarımı, mevcut süreçlerin performansını geliştirmek için kullanılan bir yöntemdir. Yeni süreçlerin yapılandırılmasında da yaygın bir kullanımı bulunmaktadır. Deney tasarımı tekniğini süreçlerde uygulayarak aşağıdaki sonuçlar alınabilmektedir (Montgomery, 1991):

1. Süreç çıktılarını geliştirmek
2. Değışkenliği azaltarak hedeflere yaklaşmak
3. Ürün geliştirme süresinin kısaltmak
4. Toplam maliyeti azaltmak

Mevcut süreçleri geliştirirken ve yeni süreçler tasarlanırken, deney tasarımı dahilinde yapılabilecek uygulamalar,

- Temel tasarım şekillerinin karşılaştırılması ve değerlendirilmesi,
 - Alternatif malzemelerin değerlendirilmesi,
 - Farklı şartlarda çalışacak ürünler için tasarım parametrelerinin belirlenmesi,
 - Ürün performansına etki edecek tasarım parametrelerinin belirlenmesi
- şeklindedir (Montgomery, 1991).

Deney tasarımı ayrıca, sistemlerdeki değişimlerin nedenlerini araştırmaya ve bu değişimleri ortadan kaldırmaya veya değişimlere karşı sistemi güçlendirmeye yönelik çalışmalar yapmaktır. Bu yöntemde, sistemi etkileyen tüm faktörler ele alındığı için normalde sistemdeki bir faktörü düzeltmekle elde edilebilecek fayda yerine, bir kaç faktörde küçük değişiklikler yaparak toplamda daha çok fayda sağlanabilir.

Deney tasarımı sırasında kullanılan 3 önemli ilke vardır (Kasap, 2006):

1. Rassallaştırma: Rassallık; çevresel gelişmelerin belli bir kurala ve düzene bağlı olmadan tesadüfi olarak oluşmasıdır. Deney tasarımına rassallık kavramını getiren ve rassallaştırmanın deney tasarımı için ne kadar önemli olduğunu anlatan kişi aynı zamanda deney tasarımının kurucusu olarak da kabul edebilen Ronald A. Fischer olmuştur. Deney tasarımı için rassallaştırmanın en önemli yolu bağımsız faktörlerin seviyelerinin her bir deney için rassal olarak atanmasıdır.

Rassallaştırma aynı zamanda deney verilerinin toplanması sırasında da uygulanmalıdır. Rassallaştırma, deney sonuçlarını analiz etmede kullanılacak istatistiksel metotlar için gereklidir ve önyargının giderilmesine yardımcı olur.

2. Tekrarlama: Deneylerin birden fazla yapılması demektir. Tekrarlama deney hatasının ölçümünü sağlamak için gereklidir. Hata, tesadüfler ve değişkenliğe katkıda bulunan diğer faktörler nedeniyle ortaya çıkmaktadır. Bu faktörler denemeye dahil edilmeyen kontrol edilemeyen faktörlerdir. Bu sebeple, tekrarlama hata sonuçlarında olası dış etmenlerin etkisinin fark edilmesi için gereklidir.

Tekrarlamanın iki önemli özelliğinden birincisi, araştırmacıya deneysel hataların irdelenmesi fırsatını vermesidir. İkincisi ise, eğer örnek kümenin ortalaması, deneydeki herhangi bir faktörün etkisini tahmin için kullanılıyorsa, gözlemciye daha kesin sonuçlar sunmasıdır (Çömlekçi, 2003).

3. Bloklama: Bloklama bir deneyin hassasiyetini arttırmak için kullanılan bir teknik olup, deney alanının bölümlere ayrılması demektir. Her bir bölüm homojen olarak veya farklı etkileri test edebilmek için belirli farklı özelliklerine göre bölünmüş olabilir.

Bloklamada temel düşünce, benzer deneysel birimlerin gruplara bölünmesidir. Bu şekilde yapılmış olan deneylerin sonuçlarındaki değişkenlik, her bir blok içindeki faktör ve seviyelerinin etkilerinin farklılığını ortaya koymaktadır. Bu sayede kontrol edilemeyen diğer faktörlerin etkisi enküçüklenebilmektedir. Faktör ve seviyeleri her bloktaki birimlere rassal olarak atanır. Bloklar arasındaki değişkenlik deney hatasından arındırılarak deneyin hassasiyeti artırılır. Bloklar aynı birimleri içerdiğinden, aynı koşullar altındaki faktör ve seviyelerinin karşılaştırılması sağlanır.

Deney tasarımı amaç, herhangi bir konu üzerinde düşünülen problem ile ilgili en fazla sayıda bilgiyi mümkün olduğunca zaman, para ve deney malzemelerini en ekonomik şekilde kullanarak sağlamak ve kalite göstergesini etkileyen en önemli değişkenleri bulmaktır. Belirlenen hedeften olabilecek sapma, kalite kaybına neden olmaktadır. Bu nedenle ürün; ürün ve süreç tasarımı sırasında en uygun şekilde tasarlanmalıdır.

Deney yapılmasının bir başka amacı da, ileriye dönük yanıtları tahmin edebilmek için ortaya matematiksel bir model koymaktır. Bir deneyi düzenlerken araştırmacının karşılaşacağı sorunlardan biri, bu modelin en doğru sonuçlara ulaşabilirliğini temin etmek üzere, mümkün olduğunca çok bilgiyi elde etmek için ihtiyaç duyulan en az gözlem sayısının belirlenmesidir.

Deney tasarımıında kullanılan bazı kavramlar aşağıda sıralanmıştır (Kolarik, 1995; Gencer, 2007):

Kalite Göstergesi: Deney tasarımı yapılarak tanınmak istenen ve üzerindeki farklı etkilerin araştırıldığı ve süreçte iyileştirmeye tabi tutulacak değişkendir.

Faktör: Tasarlanan deneyde kalite değişkeni üzerinde etkisi bulunan, kontrol edilebilir ya da kontrol dışı değişkenler faktör olarak adlandırılır. Faktör, sıcaklık gibi ölçülebilir değişkenler olabileceği gibi, farklı kullanıcılar gibi ölçülemeyen değerler de olabilir.

Seviye: Kalite değişkeni üzerinde etkili olan faktörlerin deneyde alacakları farklı değerler faktör seviyeleri olarak adlandırılır.

Gürültü Faktörü : Bu değişkenler; deneylerde sonuç değişkeni etkilerler ancak faktör olarak ele alınmazlar.

Deney Birimi: Deneyde kullanılan malzemelerin en küçük miktarıdır..

Deneysel Hata: Her bir deney için gözlemden kaynaklanan sapmaların ölçülmesi anlamına gelmektedir. Yapılan deneylerin tekrarlanması deneysel hatayı düşürmektedir.

Etki: Faktörün bir seviyeden diğerine değişmesi durumunda kalite değişkeni üzerinde görülen farklılaşmadır.

Bloklar: Deney tasarımıında benzer olarak islenen deneysel birimlerin gruplarıdır. Bir defada test edilen ve üretilen deneysel birimlerin diğer defadaki periyotlarda üretilen deneysel birimlerden daha az değişmesi beklenebilir.

P-Değeri: P değeri bilgisayar destekli istatistik programlarında kullanılan ve anlam derecesini gösteren değerdir. Eğer p değeri 0,01'den küçükse çok kuvvetli, 0,01 ile 0,05 arasında ise kuvvetli, 0,05 ile 0,1 arasında ise az ve 0,1'den büyükse çok az veya hiç etki olduğunu göstermektedir.

3.1. Faktöriyel Tasarımlar

Faktöriyel deney tasarımları, birden fazla seviye ve sayıdaki faktörlerin, deney materyali üzerindeki etkilerinin ele alındığı deney tasarımı yöntemleridir.

Tek faktörlü deney tasarımı, bir kerede bir faktör değiştirilerek yapılan deneysel tasarımıdır ve diğer tasarım yöntemlerinin en basit olanıdır. Bilimsel çalışmalarda adım adım her faktörün süreç üzerine etkisini belirlemek için kullanılır. Birden fazla faktörün söz konusu olduğu durumlarda diğer faktörler sabit tutularak gerçekleştirilebilir. Fakat çalışılan faktörün, diğer faktörler ile etkileşimini tespit etmek mümkün olmamaktadır.

Birden fazla faktörün, kalite göstergesi üzerindeki etkisinin, faktör seviyelerinin olası kombinasyonları deneyerek incelendiği deneyler, çok faktörlü deneylerdir. Çok faktörlü deney tasarımı, hem her faktörün seviyeleri kendi aralarında karşılaştırılmakta, hem de her bir faktörün seviyelerinin diğer faktör seviyeleri karşısında kalite göstergesine olan etkisi incelenmektedir.

3.1.1. Tam faktöriyel deney tasarımı

Tam faktöriyel tasarım, deneydeki her bir faktörün tüm seviyelerinin diğer faktörlerin her bir seviyesini içeren, mümkün olan bütün kombinasyonlarının deneylerinin yapılması ile oluşur.

Deneyde kullanılan faktörlerin sayısı 'k', yapılan gözlem sayısı 'n', tekrar sayısı 'r' ve düzey sayısı 'a' harfleri ile simgelenmektedir. Faktörler alfabenin büyük harfleriyle gösterilmektedir ve 'a^k' yapılacak deney sayısını ifade etmektedir. Böyle bir tasarımda, faktörlerin düşük değerleri 0, yüksek değerleri 1 ile gösterilir.

Örnek olarak 2 seviyeli 7 faktörü olan bir deneyde gerçekleştirilmesi gereken deney sayısı bütün faktör seviyelerinin çarpımına eşittir. Çizelge 4.1'de görüldüğü gibi $2^7 = 128$ deney yapılması gerekir. Çizelge 4.1.'de her biri 2 seviyeli A,B,C,D,E,F ve G

gibi 7 faktörün etkisinin araştırılacağı bir faktöriyel deney tasarımı örneği gösterilmiştir. Burada, tablo içerisinde yer alan her bir kare bu 7 faktörün her birinin bir seviyesini içeren bir deney kombinasyonudur.

Çizelge 4.1’de, örnek olarak seçilen alandaki deney kombinasyonu, A’nın 2., B’nin 1., C’nin 1., D’nin 1., E’nin 2., F’nin 2. ve G’nin 1. seviyelerinin kombinasyonunun etkisini gösteren deneyi ifade etmektedir.

Tam faktöriyel deney tasarımların en önemli avantajı, tüm faktörlerin kalite göstergesi üzerindeki etkileri ve faktörlerin birbirleriyle olan etkileşimlerinin ölçülebilmesidir. Ancak deneyde mümkün olan bütün kombinasyonlar denendiği için zaman ve maliyet kaybına neden olan bir yöntemdir.

Çizelge 4.1 Tam Faktöriyel Tasarım Örneği

				A ₁				A ₂				
				B ₁		B ₂		B ₁		B ₂		
				C ₁	C ₂	C ₁	C ₂	C ₁	C ₂	C ₁	C ₂	
D ₁	E ₁	F ₁	G ₁									
			G ₂									
		F ₂	G ₁									
			G ₂									
	E ₂	F ₁	G ₁									
			G ₂									
		F ₂	G ₁					...				
			G ₂									
D ₂	E ₁	F ₁	G ₁									
			G ₂									
		F ₂	G ₁									
			G ₂									
	E ₂	F ₁	G ₁									
			G ₂									
		F ₂	G ₁									
			G ₂									

3.1.2. Kesirli faktöriyel tasarım

Kesirli faktöriyel tasarım, tam faktöriyel tasarımdaki zaman ve maliyet kaybını azaltmaya yönelik olan bir deney tasarımı yöntemidir. Her bir deneyde birden fazla

sayıda faktörün seviyesi değiştirilerek, az sayıda deney ile bütün faktörlerin seviyelerinin denenmesi mümkün olmaktadır.

Kesirli faktöriyel deneylerde amaç deney sayısını azaltmaktır. Ancak bunu yaparken incelenen faktörlerde değil, faktörler arasındaki etkileşimlerin sayısında bir azaltma yapmak daha uygun olacaktır. Kalite göstergesi üzerindeki etkisinin az olacağı kabul edilen ve serbestlik derecesi yüksek olan etkileşimlerin sayısında bir azaltma yapılabilir.

Kesirli faktöriyel tasarımda deney sayılarının azaltılmasının diğer önemli bir yolu da faktör seviyelerinin mümkün olduğunca 2 seviyeli seçilmesidir. Bu şekilde deneylerin tüm kombinasyonlarının yapılması yerine sadece sonucu etkileyeceği düşünülen faktör ve seviyelerin kalite göstergesi üzerine olan etkisi araştırılabilir.

Deneyde kullanılan faktörlerin sayısı 'k', yapılan gözlem sayısı 'n', tekrar sayısı 'r' ve düzey sayısı 'a' harfleri ile simgelenmektedir. 'a^{k-p}' yapılacak deney sayısını ifade etmektedir. 2⁴⁻¹ kesirli faktöriyel tasarımı örneği Çizelge 4.2'de verilmiştir.

Çizelge 4.2 2⁴⁻¹ Kesirli Faktöriyel Tasarımı

Deney No	A	B	C	D
1	-	-	-	-
2	+	-	-	+
3	-	+	-	+
4	+	+	-	-
5	-	-	+	+
6	+	-	+	-
7	-	+	+	-
8	+	+	+	+

Kesirli faktöriyel deney tasarımlarının en büyük dezavantajı tüm deneylerin yapılmamasından dolayı bazı etkileşimlerin etkilerinin tam olarak anlaşılabilmesidir.

4. TAGUCHI YÖNTEMİ

Taguchi Yöntemi, gerçek üretim şartları süresince kontrol edilemeyen ve istenmeyen dış etkiler sebebiyle farklılıkların azaltılması ile ürün ve süreç sağlamlığını enbüyüklemek etmek için kullanılır. Amaç hem düşük maliyette ürün kalitesini ve süreç performansını geliştirmek hem de dış faktörlerin istenmeyen etkilerini bastırarak ürün ve süreç sağlamlığını sağlamaktır.

Hem ürün hem de süreç için üç temel kalite aşaması vardır. Bunlar (Ross, 1988):

1. Sistem tasarımı
2. Parametre tasarımı
3. Tolerans tasarımı aşamalarıdır.

Sistem tasarımı bilimsel ve mühendislik bilgileri kullanarak müşteri beklentilerine cevap veren prototip geliştirilmesi aşamasıdır. Malzeme, parça ve imalat teknolojisinin seçimi bu aşamada gerçekleştirilir. Sistem tasarımı yeni ürün veya süreç gelişiminin kavramsal safhasıdır. Sistem tasarımı arkasındaki strateji yeni fikirler almak ve çalışır hale getirmektir.

Taguchi'ye göre ürünün kalitesini iyileştirmede en belirleyici aşamaların yapılabileceği aşama, hem ürün hem de süreç tasarımı için, 'parametre tasarımı' aşamasıdır. Ürün parametre tasarımı, ürün parametrelerinin malzeme, karışım değerleri, çeşitli boyutlar, yüzey özellikleri gibi eniyi değerlerinin belirlenmesi anlamına gelmektedir. Parametre tasarımında amaç, üründe ortaya çıkabilecek farklılığı enküçükleyerek, ürünün hem imalat hem de hayat boyu maliyetini azaltmaktır.

Süreç parametre tasarımı, kontrol edilebilen imalat süreç parametreleri için eniyi düzey ve ayarların belirlenmesi anlamında kullanılmaktadır. Her iki parametre tasarımında da amaç, üründe ve süreçte değişkenlik yaratan ve kontrol edilemeyen "gürültü faktörleri"ne karşı kontrol edilebilen "kontrol faktörleri"nin değerlerini eniyileyerek, ürün ve süreçteki değişkenliği en aza indirmektir. Taguchi bu amaçla

yapılan ürün ve süreç tasarımına ‘Robust Tasarım’ demektir. Burada robust, kontrol edilemeyen faktörlerden, örneğin nem, toz, ısı gibi çevre koşullarından, müşteri kullanımındaki farklı uygulamalardan ve malzemedeki farklılıklardan etkilenmeyen ürün ve süreç anlamında kullanılmaktadır.

Robust Tasarım’da, tüm gürültü faktörleri tanımlanarak etkisi önemli olanlar seçilmelidir. Çünkü hem deneyi yapacak olan kişinin tüm gürültü kaynaklarını bilmesine imkân yoktur hem de toplamda çok fazla test koşulu olacağından deneyler maliyetli olacaktır. Bu sebeple, mühendislik yaklaşımları ile hangi gürültü faktörlerinin daha önemli olduğu belirlenerek, onların etkileri araştırılmalıdır (Phadke, 1989).

Son kalite aşaması olan tolerans tasarımının amacı ise parametre tasarımında belirlenen hedef değerler civarında değişkenlerin kabul edilebilir değerlerinin belirlenmesidir. Tolerans tasarımı, parametre tasarımı aşamasında gürültüye karşı duyarlılık enküçüklendikten sonra yapılmalıdır (Phadke, 1989).

Taguchi yönteminin esas amacı; hedef değer etrafındaki değişkenliğin azaltılmasıdır. Temeli deney tasarımına dayanmaktadır. Bu yöntem, kesirli faktöriyel deney tasarımı yöntemine, “robust tasarım” ve “ortogonal diziler” gibi kavramları eklemektedir.

Ortogonal dizilerde her sütun $L_A(B)^C$ şeklinde gösterilmektedir. Ortogonal dizinin Latin kareden türetildiği için “L” Latin kareyi, “A”, deneylerin sayısını veya deneyde kullanılan faktörlerin kombinasyonlarını, “B” her sütundaki seviyelerin sayısını göstermektedir. C ise ortogonal dizindeki sütunların sayısını simgelemektedir.

Ortogonal dizinin seçiminde faktör gurubunun toplam serbestlik derecesine bakılır. Faktör gurubunun serbestlik derecesi, tüm faktör ve etkileşimlerin serbestlik dereceleri toplamına eşittir. Toplam serbestlik derecesi dizilerden hangisine uygunsu o tercih edilir. Toplam serbestlik derecesine bir eklendiğinde deneme sayısına eşitse uygunluk sağlanır. Toplam serbestlik derecesi deneme sayısından büyük veya eşitse bir üst dizi uygundur.

Taguchi, parametrelerdeki değişkenliği azaltmak amacıyla Robust Tasarım ile performans kriteri olarak kullanılmak üzere, sinyal/gürültü oranı olarak adlandırılan bir dizi istatistik geliştirilmiştir. Uygulamadaki problemleri hedefin türüne göre üçe ayırmış ve her biri için farklı bir Sinyal/Gürültü Oranı (S/G) tanımlanmıştır. Performans istatistikleri, gürültü faktörlerinin kalite göstergesi üzerindeki etkisinin belirlenmesinde kullanılmaktadır. Böylece kontrol faktörlerinin en uygun bileşimleri bulunmuş olacaktır.

Taguchi yönteminde elde edilen deney sonuçları S/G oranına çevrilerek değerlendirilmektedir. S/G oranı değeri küçük olan değer iyi, büyük olan değer iyi, hedef değeri en iyi olarak kalite değerlerinin hedeflendiği değere göre farklı şekillerde hesaplanır ve analiz edilir.

En küçük en iyi problemlerinde, kalite değişkeni sıfır ile sonsuz arasında herhangi bir değeri alabilmektedir. Negatif olamamaktadır. Kalite değişkeni y için istenilen değeri sıfırdır. Bu durumda S/G oranı aşağıdaki gibi tanımlanabilmektedir (Phadke, 1989) :

$$S/N = -10 \log \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right]$$

En büyük en iyi problemlerinde, y'nin değeri pozitif ve sonsuzdur. Hedef değerinin olabildiğince büyük olması istenmektedir. Bu durumda S/G oranı aşağıdaki gibi tanımlanabilmektedir:

$$S/N = -10 \log \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \right]$$

Hedef değeri en iyi problemlerinde, y 'nin belli bir hedef değeri mevcuttur (Durmaz,2008). Bu tip problemler iki aşamada çözülebilmektedir. Birinci aşamada, S/G oranı enbüyüklenmekte ya da gürültüye karşı olan duyarlılık enküçüklenmektedir. Bunun için kontrol faktörlerinin tüm değerleri denenerek S/G oranı en büyük olanı seçilmektedir. İkinci aşamada ise, S/G oranı değişmeyecek şekilde ortalama hedef değere çekilmeye çalışılmaktadır (Phadke, 1989).

Bu durumda S/G oranı aşağıdaki gibi tanımlanabilmektedir:

$$S/N = -10 \log \left[\frac{y^2}{s^2} \right]$$

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

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

Tüm eşitliklerde;

y_i = Performans göstergesinin i . gözlem değeri

n = Bir denemedeki test sayısı

y = Gözlem değerlerinin ortalaması

s^2 = Gözlem değerlerinin varyansı

olarak tanımlanmaktadır.

S/G oranı büyüdükçe hedef etrafında ürün varyansı küçülmektedir. Analizlerde S/G'nin en büyük değeri daha tercih edilir durumu belirtmektedir. S/G oranı, çok sayıda tekrarı mevcut değişkenliği yansıtan tek bir değerle birleştirir. Her üç tip problemde de, amaç S/G oranını enbüyüklemektir.

4.1. Taguchi Yöntemi Uygulama Adımları

Taguchi Yöntemi'nde yapılan tüm uygulamaların belirli bir sırası ve metodolojisi bulunmakta olup, uygulamalar sırasında bu sıra takip edilmektedir.

Taguchi Yöntemi'nin uygulama adımları aşağıda verilmiştir (Ross, 1988):

1. Değerlendirilecek faktör ve/veya etkileşimlerin seçilmesi,
2. Faktör düzeylerinin seçilmesi,
3. Uygun ortogonal dizinin seçilmesi,
4. Faktör ve/veya etkileşimlerin sütunlara atanması,
5. Testlerin yapılması,
6. Sonuçların analiz edilmesi,
7. Doğrulama deneyinin yapılması.

4.1.1. Değerlendirilecek faktör ve/veya etkileşimlerin seçilmesi

Deneye başlamadan önce neyin araştırılacağını belirlemek gerekmektedir. Daha sonra kontrol edilebilir ve kritik süreç değişkenleri belirlenerek, yapılan işlemin, kullanılan yöntemin ürün veya sürece etkisi mevcut durum dikkate alınarak net ve anlaşılır bir biçimde belirlenmelidir.

Kalite göstergesi, ürünün temel fonksiyonlarını yerine getirmesi için gerekli performansı sağlayacak özelliklerde olmalıdır. Buna göre, problemin amacına yönelik olarak bir ya da birden fazla ölçülebilir kalite göstergesi seçilebilir.

Ürün veya süreç kalite göstergesini etkileyen faktörlerin seçilmesinde, beyin fırtınası, süreç akış şeması, sebep-sonuç diyagramı gibi yöntem ve teknikler kullanılmaktadır. Bu teknikler yardımıyla kalite göstergesine etki eden ölçülebilen ve kontrol altında tutulabilen tüm faktörler belirlenmektedir.

4.1.2. Faktör düzeylerinin seçilmesi

Faktörlerin düzeyleri, en az iki ve daha fazla olabilmektedir. İki düzey belirlendiğinde, bunlar bir düşük bir yüksek seviye olurken, ikiden fazla olduğunda farklı kademelerde değerler de verilebilmektedir. Düzey sayısı arttıkça, deney tasarımındaki gözlem sayısının arttığı ve gözlemler yapılırken rassal etkilerin oluşabileceği unutulmamalıdır.

4.1.3. Uygun ortogonal dizinin seçilmesi

Bu aşamada, dikkat edilmesi gereken konu örnek büyüklüğünün, deneylerin yapılış sırasının ve tekrarlama sayısının deneylerin maliyetinin de göz önüne alınarak belirlenmesidir.

4.1.4. Faktör ve/veya etkileşimlerin sütunlara atanması

Bu aşamada, kalite göstergesi için belirlenen faktörlerin, seçilen tasarım yardımıyla, düzeylerine göre atamaları yapılmaktadır.

4.1.5. Testlerin yapılması

Sütunlara atanan faktör ve değerlerine göre gereken koşulları sağlayarak deneylerin gerçekleştirilmesi aşamasıdır.

4.1.6. Sonuçların analiz edilmesi

Verilerin analizinde, ilgilenilen kalite göstergesine etkisi olan faktör veya etkileşimler belirlenerek, kritik olanlar seçilmektedir.

İlgilenilen ürün performansına etkisi olan faktörler ve uygun düzeyler belirlendikten sonra, sadece kritik olan faktör veya etkileşimler yer alacak şekilde bir model oluşturulur ve istatistiksel olarak analizi yapılır. Analiz, yapılan çalışmanın

duyarlılığı için gereklidir. Analizde, kurulan model temelinde deney faktörleri için elde edilmiş verilere ilişkin grafikler de oluşturulmaktadır.

4.1.7. Doğrulama deneyinin yapılması

Deney tasarımı sonucunda belirlenen kritik faktör veya etkileşimlerin ürün performansını etkileyip etkilemediğine bakılarak, faktörler için uygun düzeyler belirlenmekte ve deneyler yapılmaktadır.

4.2. Taguchi Yöntemi Uygulaması İle İlgili Literatür İncelemesi

Literatüre bakıldığında, Taguchi Yöntemi'nin uygulanması konusunda çeşitli çalışmalar bulunmaktadır. Bunların yanı sıra, tez çalışmasının konusu olan yapı kimyasalları ile ilgili yapılmış çalışmalardan da örnekler verilmiştir.

Berube ve Wu 2000 yılında yayınladıkları çalışmalarında, ürün ve süreçlerdeki değişimleri enküçülemek için Robust Tasarımı'nı kullanmışlar ve S/G oranı ve ilgili hesaplamaların geçerliliklerini araştırmışlardır. Araştırmada ANOVA tablosu kullanarak iki sonucun geçerlilikleri tartışılmıştır. Sonuçta, S/G oranının çok fazla model tabanlı, ona nazaran $\log s^2$ istatistiğinin daha az model tabanlı olduğunu belirterek, daha basit modellerde bu istatistiğin kullanılmasını önermişlerdir.

Zhong ve Chen, 2002 yılında yaptıkları çalışmalarında, üç latex karışımının özellikleri ve bu karışımlarla güçlendirilmiş yapıştırıcıların özelliklerini incelenmişlerdir. Karışımların eklendiği yapıştırıcıların özellikleri deneyler yardımıyla bulunarak karşılaştırılmıştır.

Savaşkan ve diğerlerinin, 2004 yılında yaptıkları çalışmada, metal işleme sanayinde delme işleminin öneminden yola çıkılarak, süreç parametrelerinin eniyilemesinin ve matkap uçlarının ömrünün arttırılmasının maliyetlere ve kaliteye olan katkılarının bulunmasını amaçlamışlardır. Bu hedefe ulaşmak için başlıca çıkış noktaları, aşınma ve korozyon etkilerini azaltmak, malzemenin yüzey özelliklerini

iyileştirmek ve performansı arttırmak olmuştur. Çalışma Taguchi L9 deney tasarımına göre tasarlanmış ve S/G oranlarından yola çıkılarak varyans analizi gerçekleştirilmiştir. Analize göre Taguchi yöntemiyle yapılan eniyileme ve kontrol deneyleri sonucunda elde edilen değerler yorumlanmıştır.

Tong ve diğerleri, 2004 yılında gerçekleştirdikleri araştırmada, Taguchi'nin parametre tasarımına dayanan dinamik çoklu kalite karakteristikleri için yeni bir eniyileme süreci tanımlamışlardır. Her bir kalite göstergesinin performansına erişmek için S/G oranı ve sistem duyarlılığı kullanılmıştır. Asıl bileşik analizler, bu oranlara dayandırılarak doğru olmayan elemanların grupları tespit edilmeye çalışılmıştır. Eniyilemenin yönü, her bir eleman için sapmaların grafiğine dayanarak belirlenmiştir. Eniyileme yönteminin etkinliğini kanıtlamak için, bir kimyasal arıtma süreci örnek verilmiştir. Uygulamanın bir kısım değişikliklerle statik çoklu kalite karakteristiklerine de uygulanabileceği belirtilmiştir.

Muniglia ve diğerleri, 2004 yılında yayınlanan makalelerinde, bir biyolojik reduksiyon sürecinde, çok kriterli eniyileme çalışmasını yaparken Çok Kriterli Deney Tasarımını kullanmışlardır. Çalışmada, hem yöntem ile deney tasarımı çalışması yapılmış hem de deney tasarımının bu tür karar verme problemlerinde kullanılmasından elde edilebilecek faydalar irdelenmiştir.

Hsieh ve diğerleri, 2005 yılında yayınlanan çalışmalarında, çoklu kalite göstergesi problemini eniyilemek için istatistiksel regresyon analizini ve çekicilik fonksiyonlarını Taguchi'nin dinamik sistem düşüncesiyle birlikte bir biyokimyasal süreçte kullanmışlardır. Çalışmada 3 düzeyli 8 faktör için L₁₈ ortogonal dizisi ile S/G oranlarından yararlanılmıştır. Sonuçlar hem Taguchi yöntemiyle hem de çalışmada önerilen ve kalite göstergesi ile sinyal faktörünün arasında bir ilişkinin varlığı ile açıklanan metot kullanılarak elde edilmiştir. Sonuçlardan yola çıkılarak önerilen yöntemin dinamik değil sadece statik sistemler için kullanılabilir olduğu belirtilmiştir.

Baynal, 2005 yılında yaptığı çalışmasında, ürünlerin baş kısmında meydana gelen bombelik ve parlaklığın giderilmesi, ağırlık ve boyutların hedef değerlere yakın

oluşmasını sağlamak amacı ile S/G oranı kullanmıştır. Çalışmada 3 seviyeli 13 faktör(L₂₇) ile deneyler yapılarak, sonuçta hem ekipman, enerji ve işçilikten kazanç hem de üretilen parça ağırlığında 4,35 dB, görünümde 69,77 dB ve boyutta 34 dB'lik iyileşme sağlanmıştır.

Dobrzański, Domaga ve Silva, 2007 yılında yayınlanan makalelerinde, termoplastik kompozitlerin ipliksi sarmallarının eniyilenmesi için Taguchi yöntemini uygulamışlardır. Yöntemin uygulamasında, üç seviyeli dört faktör için L₉(3⁴) ortogonal dizi kullanılmış, faktörlerin etki grafikleri ve S/G oranlarından faydalanılarak faktörler için en iyi seviyeler belirlenmiştir.

Gündüz ve diğerleri, 2007 yılında yayınlanan araştırmalarında, su izolasyon özelliği olan yeni bir tip toz polimer katkının, polimeri düşük bir seramik yapıştırıcısına eklendiğinde onun çalışılabilirliğinde ve mekanik özelliklerinde (vizikozitesi, mukavemeti, öz kütlesi, vb.) yaptığı etkileri araştırmışlardır. Araştırma sırasında, farklı oranlar ve farklı zamanlardaki sonuçlar izlenerek etkiler belirlenmiştir.

Wang ve Huang tarafından 2007 yılında gerçekleştirilen araştırmada, tahminleme modelini etkileyen kontrol edilebilir faktörleri eniyilemek için Taguchi yöntemi kullanılmıştır. Kontrol faktörleri için L₉ ve gürültü faktörleri için de L₄ ortogonal diziler seçilmiş ve bir enerji şirketinde uygulama yapılmıştır. Sonuçta, gürültü faktörlerinin de göz önüne alındığı bir modelin karar vericilere daha objektif sonuçlar verdiği görülmüştür.

Zhu ve diğerleri 2007 yılında yayınlanan çalışmalarında, SUS440 adı verilen paslanmaz çelik materyalinin, süreç sonunda en iyi duruma gelmesini sağlamak amacıyla, son işlem olan cilalama sürecindeki parametreleri eniyilemek için Taguchi yöntemini kullanmışlardır. Üç parametre için Taguchi yöntemi uygulanmış ve elde edilen sonuçlar, tek faktörlü deney tasarımı sonuçları ile de karşılaştırılarak parametreler için en iyi değerler bulunmuştur.

Liao ve diğerklerinin, 2008 yılında gerçekleştirdikleri çalışmada, kimyasal mekanik cilalama sürecinin parametrelerini eniyilemek için deney tasarımı ve Taguchi yöntemini kullanmışlardır. Deney planlamasını, ortogonal dizilerinden $L_{18}(2^1 \times 3^7)$ 'i kullanarak 54 deney gerçekleştirmişler ve faktör etkilerini ANOVA ile yorumlamışlardır. Çalışma sonucunda modelin güvenilirlik seviyeleri ile faktörler için eniyi seviyeler bulunmuştur.

Gopalması ve diğerkleri 2009 yılında yaptıkları uygulamada, çeliğin talaşlı üretim sürecindeki en iyi parametre değerlerinin bulunması için Taguchi yöntemini kullanmışlardır. L_{18} ortogonal dizisi, S/G oranı ve ANOVA kullanılarak yapılan uygulama ile tüm parametre değerleri incelenmiş ve üç kalite göstergesi aynı anda eniyilenmeye çalışılmıştır. Uygulama sonucunda talaşlı imalat için parametrelerin kalite göstergeleri üzerindeki etkilerinin grafikleri ve en iyi parametre değeri bulunmuştur.

Silva ve diğerkleri, 2009 yılında yaptıkları çalışmalarında, seramik yapıştırıcısının içine eklenen toz halindeki ezilmiş kiremitin, yapıştırıcının mukavemet, su emme, su geçirgenliği, dayanıklılık gibi özelliklerini geliştirme imkânlarını araştırmışlardır. Üç farklı karışım yapılarak, deneyler ile sonuçları incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar daha sonra farklı hammaddelerin sonuçları ile karşılaştırılarak, kırmızı kiremitin %10 eklenmesinin standart seramik yapıştırıcılarının performansında genel bir iyileşme sağladığı belirlenmiştir.

Yapılan çalışmanın, literatürdeki diğerk çalışmalardan farkı Taguchi yönteminde adı geçen S/G oranı, kontrol ve gürültü faktörleri ile tam faktöriyel deney tasarımının bir arada kullanılmış olmasıdır. Ayrıca yapı kimyasallarının geliştirilmesi ile ilgili yapılan çalışmalar genellikle karışım içerisindeki tek bir faktörün değişiminin gözlenmesi yolu ile yapılırken, bu çalışmada hem karışımındaki tüm faktörler hem de ısı ve nem gibi gürültü faktörleri göz önüne alınmış, birden fazla kalite göstergesinin eniyilenmesi üzerinde durulmuştur..

5. SEÇİLEN KALİTE GÖSTERGELERİNİN TAGUCHI YÖNTEMİ İLE ANALİZİ

Seçilen kalite göstergelerinin analizinde, Taguchi yönteminin adımları kullanılmış ve yapılan çalışma sırasıyla, bu adımların başlıkları altında anlatılmıştır.

5.1. Değerlendirilecek Faktör ve/veya Etkileşimlerin Seçilmesi

Yapı kimyasallarında, her bir ürün için yapılan deneyler sonucu oluşturulan reçeteler kullanılmaktadır. Genel olarak ürün reçeteleri oluşturulurken, istenilen sonuçlara göre önce hammaddelerin daha fazla kullanıldığı başlangıç reçeteleri belirlenmektedir. Bu reçetelerden, her defasında bir ya da birkaç hammaddenin miktarı değiştirilerek laboratuvar ortamında deneyleri yapılmaktadır. Bununla birlikte yeni denenecek bir hammadde de varsa reçetede muadili yerine denenerek sonuçlara ulaşılmaktadır.

Kesinleşen reçeteler, üretim sürecinde her bir hammaddenin reçeteye göre tartılarak karıştırılması ve paketlenmesi ile ürüne dönüştürülür. Her karışımdan alınan örnekler de yine laboratuvar ortamında denenerek, çıkan sonuçlar istenilen sonuçlar ile karşılaştırılır. Tüm bu aşamalarda teste tabii tutulan ürünler, Türkiye veya yurtdışındaki farklı iklim koşullarındaki şehirlerde kullanılmak üzere gönderilmektedirler.

Bu problemin belirlenmesinin nedeni, ürünün araştırma geliştirme, üretim ve son kullanıcı döngüsü içinde, iç ve dış şartlardan kaynaklanan ve ürünün performansını etkileyen faktörlerin etkilerini net olarak belirlemek, yeni üretilecek ürünlerden istenilen deney sonuçlarına göre sistematik başlangıç reçeteleri üretebilmek ve son kullanıcıdan gelen geri bildirimlere sayısal ve sistematik yanıtlar verebilir düzeye gelmektir.

Ürünün performansını etkileyen iç şartlar, ürünün reçetesinde kullanılan hammaddeler ve bunların reçete içerisindeki yüzdeleridir. Bu sebeple hangi hammaddenin hangi deney sonucuna ne kadar etki ettiği ve hangi hammaddelerin birbiriyle ne kadar etkileşimde bulunduğunun belirlenmesi önemlidir. Tüm bu iç etkiler

belirlendikten sonra diğerk bir önemli konu ise dış şartlar olarak ürünlerin farklı coğrafyalarda kullanılmasından kaynaklanan iklim koşullarının etkisidir. Kuzey bölgelerde soğuk ve nemli, güney bölgelerde sıcak ve nemli, iç bölgelerde yazın sıcak ve kuru iken, kışında soğuk ve kuru olan farklı iklim tiplerinde kullanılan yapı kimyasallarının kullanıldığı yerden bağımsız olarak belirli referans değerleri sağlaması gerekmektedir.

Bu sebeplerden yola çıkılarak, Taguchi yönteminin kullanılmasıyla tüm faktörlerin değerlerine ulaşılabileceği ve böylece araştırma geliştirme sürecinin geliştirilebileceği düşünülmüştür.

Yapılan deneylerin amacı, belirlenen kategorideki her ürünün iç ve dış faktörler değıştikçe sağlaması gereken şartları ne kadar yerine getirdiğinin belirlenmesidir. Alınacak sonuçlar, Taguchi yöntemi ile değerlendirilerek tüm faktörlerin kalite göstergelerine etkileri belirlenecektir. Bir sonraki aşamada da istenilen sonuçlara ulaşmak için faktör düzeylerinin nasıl olması gerektiği belirlenmiş olacaktır.

Bu sebeple yapı kimyasalları arasından deneyleri yapılmak üzere seramik yapıştırıcıları ürün grubuna giren ürünlerin kalite göstergeleri seçilmiştir. Bunlar, ürünlerin öncelikle TSE gibi resmi kurumlar tarafından onaylanmasında kullanılan daha sonra da son kullanıcının tercihini etkileyen unsurlardır.

Üründen istenilen kalite göstergelerinin ilki “ÇALIŞMA SÜRESİ”dir. Bir seramik yapıştırıcısı, su ile karıştırıldıktan sonra en az 20 dakika boyunca kullanılabilir olmalıdır. Çünkü ürün gerçek hayatta, laboratuvar deneylerinde olduğu gibi küçük alanlarda değil, büyük yüzeylerde ve zaman alan işlerde kullanılmaktadır. Çalışma süresi, ürün su ile karıştırıldıktan sonra seramik yapıştırılana kadar geçen süredir ve enbüyüklenmesi tercih edilmektedir. Kronometre yardımı ile dakika cinsinden ölçülmektedir.

İkinci istenilen ise ürün su ile karıştırıldığında oluşan “KIVAM”dır. Her bir toz seramik yapıştırıcısı, kullanılabilir hale getirilebilmek için ağırlığının %25’i kadar su ile

karıştırılmaktadır (ürünlerin su oranları içindeki hammaddelerin tane büyüklüklerinin dağılımına göre belirlenmekte olup, belirleme yöntemi ayrıca 4. Adım'da anlatılacaktır). Su ile karıştırılan ürünlerin kıvamı sürülme esnasında akmaması için ne çok sıvı halde ne de sürülürken kolaylık sağlaması için çok koyu olmamalıdır. Ürünün kıvamı viskozimetre ile Pas cinsinden ölçülmektedir. Seramik yapıştırıcıları için 15-20 Pas kıvam ideal olan kıvamdır.

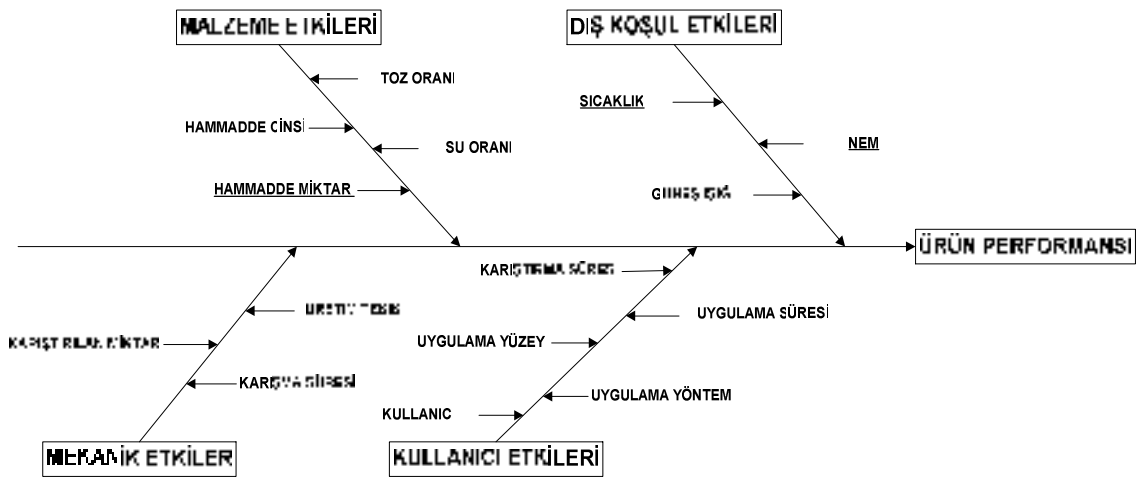
Seramik yapıştırıcılarının duvarlarda da kullanılmasından kaynaklanan “KAYMA”, yapıştırıcı duvara sürüldükten ve üzerine seramik yapıştırıldıktan sonra ilk yapıştırılan yer ile kurduğu yer arasında ölçülen mesafedir. Dik yüzeye yapılan uygulamalarda şekil bozukluklarını ve uygulama zorluğunu ortadan kaldırmak için yapıştırıcıdan beklenen performans seramiği en az seviyede kaydırmasıdır. Kayma milimetre cinsinden ve kumpas yardımıyla ölçülmektedir.

Ürünlerden beklenen bir diğer özellik, aslında en önemlisi fakat kullanıcı tarafından gözlemlenemeyen tek özellik olan “MUKAVEMET”tir. Mukavemet, kullanıcı tarafından test edilemediğinden, seramik yapıştırıcılarında ürün grupları bazında sağlanması gereken değerler ile sabitlenmiştir. Örneğin standart tip olarak sınıflanan ve seramikleri yapıştırmak üzere kullanılan yapıştırıcılarda olması gereken en küçük değer $0,5 \text{ N/mm}^2$ iken, teknik tip olarak sınıflandırılan ve büyük ebat seramikler ile granit gibi ağır malzemeleri yapıştırmaya yarayan ürünlerde bu değer 1 N/mm^2 'dir. Mukavemet çekme-koparma cihazı yardımıyla ve Newton/milimetrekare cinsinden ölçülmektedir.

Mukavemetin diğer bir türü olan “AÇIK KALMA MUKAVEMETİ” de, deneyler sonucunda istenilen kalite göstergelerinden biridir. Açık kalma mukavemetinin önemi, deneyde kullanılan ürünün, gerçek hayattaki uygulamalarının geniş yüzeylerde yapılmasıdır. Geniş yüzeyin etkisi, yapıştırıcının uygulama yapılacak yüzeye sürülmesinden sonra seramiğin tüm alana yapıştırılması sırasında belli bir süre geçmesidir. İstenilen, son yapıştırılan seramiğin mukavemet değerinin enbüyük olması ve ideali ise $0,5$ değerinden yüksek olmasıdır. Bu sebeple, çalışma süresinin de en az 20 dakika olmasından yola çıkılarak, 20 dakika sonra yapıştırılan seramiğin mukavemet

değerine bakılmaktadır. Açık kalma mukavemeti de çekme-koparma cihazı yardımıyla ve Newton/milimetrekare cinsinden ölçülmektedir.

Kalite göstergelerini etkileyen faktörler belirlenirken, konu ile ilgili tecrübesi bulunan kişilerle bir araya gelinerek, Beyin Fırtınası yöntemi kullanılmıştır. Çıkan sonuçlar kategorilerine ayrılarak, Şekil 6.1'deki sebep sonuç diyagramı ile gösterilmiştir.



Şekil 6.1. Faktörler için Sebep Sonuç Diyagramı

Deney tasarımında kullanılacak faktörler belirlenirken, faktörün kalite göstergesi üzerindeki etkisi ve laboratuvar ortamında uygulanabilir olması göz önünde tutulmuştur. Faktör düzeyleri seçilirken de, mevcut durumda kullanılan oranlardan ve gerçek hayatta karşılaşılan etkilerden yola çıkılarak düzenleme yapılmıştır. Seçilen faktörler dışındaki etkiler, deneylerin laboratuvar ortamında ve sabit cihazlarla yapılması sağlanarak sabitlenmiştir.

Sabit tutulan etkilerden ilki, “Hammadde Cinsi” olarak adlandırılan ve kullanılan muadil hammaddelerin olması veya kullanılan hammaddenin farklı üretim tarihli olmasından kaynaklanan farklardır. Eğer muadil malzeme kullanılırsa, her farklı malzemenin test sonuçları üzerinde farklı etkileri olabilecektir. Ayrıca farklı üretim

tarihli aynı malzeme kullanılması durumunda da, üretim tarihleri farklı olduğundan kendi spesifikasyon sınırları içinde meydana gelen değişiklikler hazırlanan karışımın test sonuçlarına yansiyacaktır. Bu farkları ortadan kaldırmak için, kullanılacak tüm hammaddelerden kullanım miktarlarından fazla olacak şekilde ayrılmış ve tüm deneyler aynı malzemeler ile gerçekleştirilmiştir.

“Toz Oranı” etkisi, hammaddelerin tane büyüklükleri değerlendirildiğinde, 100 mikrondan küçük olan tanelerin toplam içindeki oranıdır. Toz oranı arttıkça karışımın suya olan ihtiyacı artmaktadır. Karışımın içindeki su oranı arttıkça, tüm performans göstergelerinin sonuçları düşmektedir. Bu sebeple tüm deneyler için toz oranları, istenilen aralıkta tutulmuştur. Toz oranının sabitlenmesi ile diğer bir faktör olan “Su Oranı” da sabitlenmiştir. Belirlenen faktör düzeylerine göre toz oranı % 45-50 aralığında sabit olduğundan, su oranı da % 25 olarak belirlenmiştir.

Mekanik etkilerin sabitlenmesi için deney karışımlarının tartımı tek kişi tarafından yapılmış, bir kilogramlık malzemeler karıştırılmış ve karıştırma süresi sabit tutulmuştur. Aynı kişinin tartım yapması ile hep aynı hassasiyetle tartım yapılması sağlanmıştır. Aynı miktar karışım ve aynı sürede karıştırma ile sağlanmak istenen ise homojenitenin aynı düzeyde olmasını sağlamaktır.

Kullanıcı etkileri olarak gruplanan faktörlerin tamamı deneyin yapılması sırasında sabitlenmesi gereken unsurlardır. İlk olarak deneylerin hepsinin aynı kişi tarafından yapılması ile “kullanıcı”dan ve “uygulama yöntemi”nden kaynaklı farklar sabitlenmiştir. Böylece karışımın yüzeye farklı sürülmesi veya uygulanmasından kaynaklanabilecek, performans göstergelerindeki farklılıklar önlenmiştir. Ayrıca “karıştırma süresi” ve “uygulama süresi” de bu sebeple sabit tutulmuştur. En önemli faktörlerden biri olan “uygulama yüzeyi” de hep aynı tip test karoları kullanılarak sabitlenmiştir. Önemi, pürüzlülüğünün kaymayı ve mukavemeti, su geçirgenliğinin ise çalışma süresini etkilemesinden kaynaklanmaktadır.

Kalite göstergesini etkileyen ve deneyde kullanılacak faktörler kontrol ve gürültü faktörleri olarak iki grupta ele alınmıştır.

Kontrol faktörleri olarak ele alınan “Hammadde Miktarı” grubunda deneyleri yapılacak karışımın içindeki hammaddelerin oranları bulunmaktadır. Bu hammaddeler:

- Bağlayıcı
- Selüloz
- Nişasta Eteri
- Polimer
- Lif

olarak belirlenmiştir.

Gürültü faktörleri olarak belirlenen faktörler, Şekil 6.1’de “Dış Koşullar” olarak gösterilen ve deneylerin yapılması sırasındaki hava koşullarını temsil eden sıcaklık ve nem düzeyleridir.

5.2. Faktör Düzeylerinin Seçilmesi

Kalite göstergelerinin ve bunları etkileyen faktörlerin belirlendiği beyin fırtınası uygulaması sırasında faktörlerin alabileceği değerler de belirlenmiştir. Kontrol faktörlerinin düzeyleri belirlenirken hem kalite göstergesine olan etkilerinin en iyi şekilde ortaya konması hem de deneylerin maliyet ve uygulanabilirliği göz önüne alınmıştır.

Gürültü faktörlerinin düzeyleri,, hem yaz ve kış aylarında standart yapıştırıcıların uygulaması yapılırken meydana gelebilecek hava şartları hem de laboratuvar ortamında sağlanabilecek şartlar göz önüne alınarak belirlenmiştir.

Yapı kimyasallarında kullanılan hammaddeler olarak seçilen faktörler grubunun seviyeleri de, hammaddelerin karışıma girecek yüzdeleri olarak belirlenmiştir.

Belirlenen beş kontrol ve iki gürültü faktörünün her biri için biri düşük biri yüksek olmak üzere ikişer düzey belirlenmiştir. Belirlenen düzeyler Çizelge 6.1’de verilmiştir:

Çizelge 6.1. Faktörler Tablosu

FAKTÖRLER		DÜZEYLER	
		1	2
A	BAGLAYICI	28	35
B	SELÜLOZ	0,15	0,4
C	NİŞASTA ETERİ	0,02	0,08
D	POLİMER	0,5	3
E	LİF	0,05	0,15
G1	NEM	40	50
G2	SICAKLIK	18	26

5.3. Uygun Ortogonal Dizinin Seçilmesi

Deney tasarımında uygun ortogonal diziyi seçmek için, faktörlerin düzey sayılarından yola çıkılmıştır. Belirlenen faktör sayısının beş ve düzey sayısının iki olmasından dolayı $L_{32}(2)^5$ dizisi seçilmiştir. Ayrıca gürültü faktörleri için de $L_4(2)^2$ dizisi kullanılmıştır.

Bir önceki aşamada faktörler belirlenirken faktörlerin sadece tekli değil, çoklu olarak da kalite göstergesini etkileyeceği düşünülmüş ve deneyler yapıldıkça ortaya çıkacak olan ikili ve daha yüksek mertebeden etkileşimleri araştırabilmek için tam faktöriyel tasarım seçilmiştir. Seçilen tasarım neticesinde $2^5 \times 2^2 = 128$ deney yapılması gerekmektedir.

Tam faktöriyel tasarımın getirdiği deney sayısı, deney sonuçlarının 7 gün sonra elde edilmesi ve bir deneyin yapılması sırasında beş farklı kalite göstergesinin

izlenmesinden kaynaklanan süre de göz önüne alınarak her deneyin bir kere tekrarlanmasına karar verilmiştir.

Tasarımların seçilmesinin ardından, faktörler ve seviyeleri dikkate alınarak deneylerin yapılabilmesi için gerekli tablolar oluşturulmuştur.

5.4. Faktörlerin Sütunlara Atanması

Tüm kalite göstergeleri, faktör ve faktör düzeyleri belirlendikten sonra seçilen deney tasarımına göre faktörler sütunlara atanmış ve yapılacak 128 deney için karışım oranları belirlenmiştir. İlgili tablo Ek-1’de verilmiştir.

5.5. Testlerin Yapılması

Her bir deney numarasında belirtilen faktör düzeylerine göre belirlenen hammadde miktarları tartılarak, her deney için bir karışım hazırlanmıştır. Bu aşamada karşılaşılan sorun, belirlenen faktör ve düzeylerdeki miktarlar karıştırıldığında uygulanabilir bir karışım elde edilememesidir. Bu sorunun nedeni, karışım içerisinde tüm hammaddelerin reaksiyonlarını gerçekleştirebilmesi ve uygulanabilir olması için karışımda bir dolgu malzemesinin olması gerekliliğidir. Bu sebeple, faktörlerin kalite göstergesine olan etkilerini değiştirmemesi için sabit özellikte bir dolgu malzemesi seçilmiş ve belirlenen düzey yüzdeleri ile eklenen hammaddeler ve dolgu malzemesi ile birer kilogramlık karışımlar elde edilmiştir.

Elde edilen karışımlar, ağırlıklarının % 25’i oranında su ile karıştırılarak, laboratuvar ortamında sağlanan gürültü faktörü düzeylerinde TS EN 1348 standardına göre yapılan testlerle, performans göstergesi değerleri belirlenmiştir.

Çalışma süresi, mukavemet ve açık kalma mukavemetini bulmak için yapılan testlerde karışım önce su ile karıştırılmaktadır. Daha sonra karışım beton test karosunun üzerine yayılarak, taraklı bir mala yardımıyla taraklama işlemi yapılmaktadır.

Taraklama işleminden sonra özel test karoları harcın üzerine yerleştirilmekte ve üzerine konulan 20 N ağırlıklar 30 sn bekletilerek karonun üzerinden alınmaktadır.

İlk dakikada yapıştırılan test karosu, 7 gün bekletilmiş ve çekme koparma cihazı yardımıyla koparılarak Mukavemet değerleri elde edilmiştir. Karıştırıldıktan 20 dakika sonra yapıştırılan test karosu da aynı şekilde koparılarak, Açık Kalma Mukavemeti değerleri bulunmuştur.

Çalışma Süreleri, mukavemet değerleri ile aynı şekilde 5 dakika ara ile yapıştırılan test karolarının, yüzeye yapışıp yapışmamasına göre belirlenmiştir. Son yapılan karonun dakikası alınarak belirlenmiştir.

Karışımların Kıvam değerleri, su ile karıştırıldıktan sonra viskozimetre cihazına konulan numunenin Pas cinsinden değerleri bulunarak belirlenmiştir.

Kayma testi yapılmadan önce, beton test korosunun üzerine bir cetvel sabitlenerek, cetvelin alt kısmına mala yardımıyla uygulanan karışım taraklanmıştır. Harcın üzerine kayma test karosu yerleştirildikten sonra konulan 50 N ağırlık, 30 sn süreyle bekletilerek karonun üzerinden alınmıştır. Karo ile cetvel arasındaki ilk uzaklık kumpas yardımıyla ölçülmüş ve beton karo dikine yerleştirilerek 20 dakika bekletilmiştir. Tekrar yatay konuma getirilen beton karo üzerindeki cetvel ve test karosu arasındaki son uzaklık da ölçülerek, ilk ve son uzaklık arasındaki fark olan Kayma mm cinsinde ölçülmüştür.

Örnek olarak “Çalışma Süresi” için oluşan değerlerin bir kısmı Çizelge 6.2’de verilmiştir.

Çizelge 6.2. Çalışma Süresi için Sonuçlar Tablosu

	F1	F2	F3	F4	F5	G2	40	50	40	50
						G1	18	18	26	26
1	28	0,15	0,02	0,5	0,05		35	20	50	25
2	28	0,15	0,02	0,5	0,15		25	20	30	40
3	28	0,15	0,02	3	0,05		40	35	35	40
4	28	0,15	0,02	3	0,15		40	45	40	40
5	...	...	...	...	...		...	...	...	...
6	...	...	...	...	...		...	...	...	...

5.6. Sonuçların Analiz Edilmesi

Bu bölümde yapılan deneylerin sonuçlarına ilişkin analizler önce her bir kalite göstergesi için ayrı ayrı ele alınmış, daha sonra hepsi için ortak bir eniyileme çalışması yapılmıştır.

5.6.1. Kayma kalite göstergesine ilişkin analizler

Seramik yapıştırıcılarının kalite göstergelerinden biri olan 'Kayma', kullanım sırasında istenmeyen bir durum olduğundan en küçüklenmesi gerekmektedir.

Tüm faktörlerin Kayma üzerindeki tekli ve bileşik etkileri Çizelge 6.3'deki varyans analizi tablosunda gösterilmiştir. Bu tabloda dört faktörün ve bir üçlü bileşik etkinin p değerlerinin 0,05'in altında kalması, %95 güven seviyesinde kayma kalite göstergesine etkilerinin olduğunu göstermektedir. Buna göre, A, B, C, D ve BCD üçlü bileşik etkisinin Kayma üzerinde anlamlı etkisi vardır.

Kritik etki yaratan faktör ve etkileşimin yer aldığı model, Kayma'yı % 96,7966 oranında açıklamaktadır. Modeli bağımsız değişkenlere göre karşılaştırmaya daha uygun olan düzeltilmiş R^2 ise modelin Kayma'yı % 83,449 oranında açıkladığını göstermektedir.

Çizelge 6.3 Kayma Kalite Göstergesi İçin Varyans Analizi Tablosu

<i>Faktör</i>	<i>SS</i>	<i>sd</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>p</i>
A:BAGLAYICI	44,1669	1	44,1669	8,32	0,0279
B:SELULOZ	127,958	1	127,958	24,10	0,0027
C:NISASTA	172,802	1	172,802	32,55	0,0013
D:POLIMER	444,505	1	444,505	83,72	0,0001
E:LIF	8,71907	1	8,71907	1,64	0,2473
AB	4,5958	1	4,5958	0,87	0,3881
AC	19,9336	1	19,9336	3,75	0,1008
AD	10,9387	1	10,9387	2,06	0,2012
AE	0,466592	1	0,466592	0,09	0,7769
BC	5,71569	1	5,71569	1,08	0,3395
BD	2,78527	1	2,78527	0,52	0,4961
BE	0,334251	1	0,334251	0,06	0,8103
CD	18,5978	1	18,5978	3,50	0,1104
CE	26,6797	1	26,6797	5,03	0,0662
DE	1,33953	1	1,33953	0,25	0,6334
ABC	0,79858	1	0,79858	0,15	0,7115
ABD	2,25694	1	2,25694	0,43	0,5386
ABE	1,03904	1	1,03904	0,20	0,6737
ACD	0,15045	1	0,15045	0,03	0,8719
ACE	0,275552	1	0,275552	0,05	0,8274
ADE	0,669186	1	0,669186	0,13	0,7347
BCD	45,6203	1	45,6203	8,59	0,0262
BCE	0,758599	1	0,758599	0,14	0,7184
BDE	0,454146	1	0,454146	0,09	0,7798
CDE	21,0219	1	21,0219	3,96	0,0937
Hata	31,8561	6	5,30935		
Toplam	994,44	31			

$R^2 = \%96,7966$
 Düz- $R^2 = \%83,449$
 Standart Hata = **2,3042**

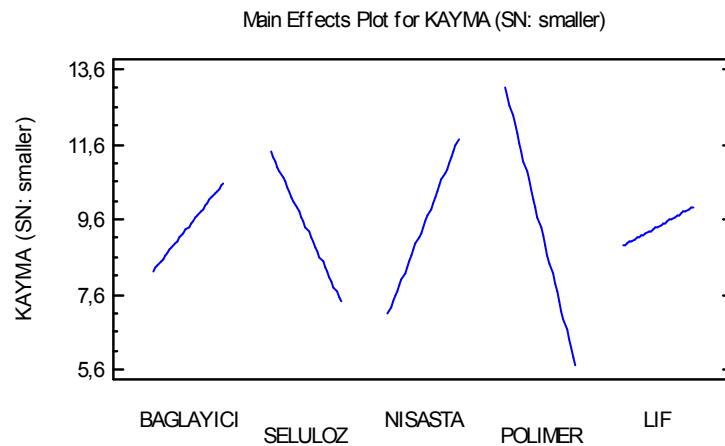
Kayma üzerindeki etkileri anlamlı olan faktörler ve bileşik etkilerinin gösterildiği Çizelge 6.4'deki indirgenmiş varyans analizi tablosuna bakıldığında R^2 değerinin % 88,7691 ve düzeltilmiş R^2 değerinin de % 85,4934 olduğu görülmektedir. Elde edilen sonuçlara göre, E faktörünün kritik etkisi bulunmamakla beraber, en iyi düzeyinin bulunması için p değeri 0.05'e yakın olan etkileşim(ler) indirgenmiş varyans analizi tablosuna eklenmiştir.

Çizelge 6.4 Kayma Kalite Göstergesi İçin İndirgenmiş Varyans Analizi Tablosu

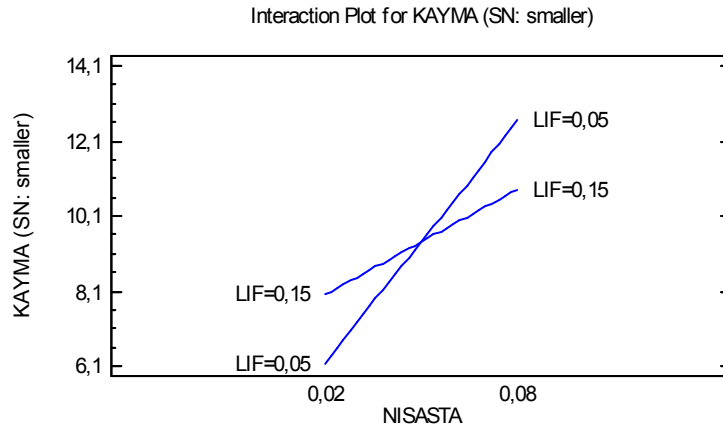
<i>Faktör</i>	<i>SS</i>	<i>sd</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>p</i>
A:BAGLAYICI	44,1669	1	44,1669	9,49	0,0051
B:SELULOZ	127,958	1	127,958	27,50	0,0000
C:NISASTA	172,802	1	172,802	37,13	0,0000
D:POLIMER	444,505	1	444,505	95,52	0,0000
CE	26,6797	1	26,6797	5,73	0,0248
BCD	45,6203	1	45,6203	9,80	0,0045
CDE	21,0219	1	21,0219	4,52	0,0440
Hata	111,685	24	4,65354		
Toplam	994,44	31			

$R^2 = \%88,7691$
Düz- $R^2 = \%85,4934$
Standart Hata = **2,15721**

Her bir faktörün Kayma üzerindeki etkisinin görüldüğü Şekil 6.2'deki ortalama etkiler ve Şekil 6.3'deki etkileşim grafikleri incelendiğinde, Kayma'yı enküçükmek için A ve C faktörlerinin yüksek düzeyinin, B, D ve E faktörlerinin de düşük düzeylerin seçilmesi gerektiği görülmektedir ($A_1B_0C_1D_0E_0$).



Şekil 6.2 Kayma Kalite Göstergesi İçin Ortalama Etkiler Grafiği



Şekil 6.3 Kayma Kalite Göstergesi için Etkileşim Grafiği

Kayma için kritik faktör ve çoklu etkiler ile faktör düzeyleri belirlendikten sonra, tahmin denklemi için faktör ve etkileşimlerin katsayıları bulunmuştur:

$$\mu_1 = 9,408 + 2,349A - 3,999B + 4,647C - 7,454D - 1,826CE - 2,388BCD + 1,621CDE$$

Tahmin denklemi ve eniyi düzeyler yardımıyla Kayma için S/G oranı 19,16 dB bulunmuştur. S/G oranından hareketle Kayma için bulunan en iyi değer 0,11 mm'dir. Kayma için istenilen değer 0,5 mm'den küçük olması olduğundan, bulunan değer bu kalite göstergesi için kabul edilebilir bir değerdir.

5.6.2. Mukavemet kalite göstergesine ilişkin analizler

Seramik yapıştırıcılarının kalite göstergelerinden biri olan 'Mukavemet'in enbüyüklenmesi istenmektedir.

Tüm faktörlerin Mukavemet üzerindeki tekli ve bileşik etkileri Çizelge 6.5'deki varyans analizi tablosunda gösterilmiştir. Bu tabloda iki faktörün ve bir ikili bileşik etkinin p değerlerinin 0,05'in altında kalması, %95 güven seviyesinde kalite

göstergesine etkilerinin olduğunu göstermektedir. Buna göre, B, D ve BD ikili bileşik etkisi Mukavemet üzerinde kritik etki yaratmaktadır.

Kritik etki yaratan faktör ve etkileşimin yer aldığı model, Mukavemet'i %97,4026 oranında açıklamaktadır. Modeli bağımsız değişkenlere göre karşılaştırmaya daha uygun olan düzeltilmiş R^2 ise modelin Mukavemeti % 86,5799 karşıladığını göstermektedir.

Çizelge 6.5. Mukavemet Kalite Göstergesi İçin Varyans Analizi Tablosu

<i>Faktör</i>	<i>SS</i>	<i>sd</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>p</i>
A:BAGLAYICI	0,457405	1	0,457405	0,40	0,5510
B:SELULOZ	37,3015	1	37,3015	32,52	0,0013
C:NISASTA	6,02052	1	6,02052	5,25	0,0619
D:POLIMER	192,985	1	192,985	168,26	0,0000
E:LIF	0,155556	1	0,155556	0,14	0,7253
AB	0,0891554	1	0,0891554	0,08	0,7898
AC	0,0413788	1	0,0413788	0,04	0,8556
AD	0,692393	1	0,692393	0,60	0,4667
AE	1,47689	1	1,47689	1,29	0,2998
BC	1,08469	1	1,08469	0,95	0,3684
BD	9,225	1	9,225	8,04	0,0297
BE	0,0895686	1	0,0895686	0,08	0,7893
CD	0,275635	1	0,275635	0,24	0,6414
CE	0,564653	1	0,564653	0,49	0,5092
DE	0,005223	1	0,005223	0,00	0,9484
ABC	0,144765	1	0,144765	0,13	0,7345
ABD	0,293404	1	0,293404	0,26	0,6311
ABE	3,70791	1	3,70791	3,23	0,1223
ACD	0,369233	1	0,369233	0,32	0,5910
ACE	0,0680162	1	0,0680162	0,06	0,8157
ADE	1,61015	1	1,61015	1,40	0,2809
BCD	0,016367	1	0,016367	0,01	0,9088
BCE	0,396167	1	0,396167	0,35	0,5782
BDE	0,758904	1	0,758904	0,66	0,4470
CDE	0,230095	1	0,230095	0,20	0,6699
Hata	6,88168	6	1,14695		
Toplam	264,941	31			

$R^2 = \%97,4026$

Düz- $R^2 = \%86,5799$

Standart Hata = **1,07096**

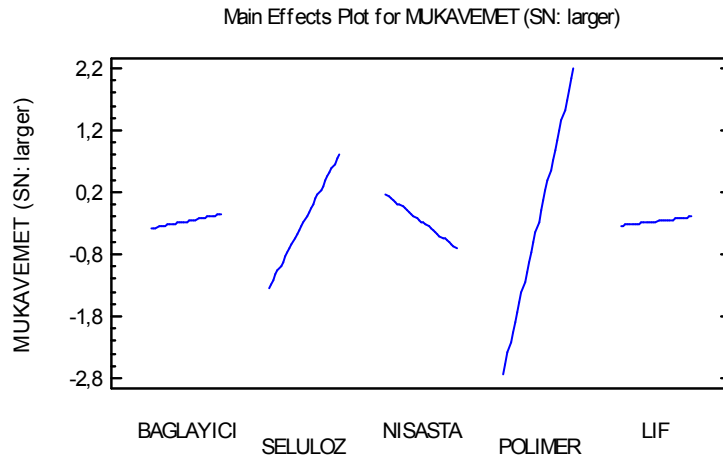
Mukavemet üzerindeki etkileri anlamlı olan faktörler ve bileşik etkilerinin gösterildiği Çizelge 6.6'daki indirgenmiş varyans analizi tablosuna bakıldığında R^2 değerinin % 94,0736 ve düzeltilmiş R^2 değerinin de % 92,934 olduğu görülmektedir. Elde edilen sonuçlara göre, kritik olmayan C faktörü ve ABE bileşik etkisi, diğer faktörlerin en iyi düzeylerin bulunabilmesi için indirgenmiş varyans analizi tablosuna eklenmiştir.

Çizelge 6.6. Mukavemet Kalite Göstergesi İçin İndirgenmiş Varyans Analizi Tablosu

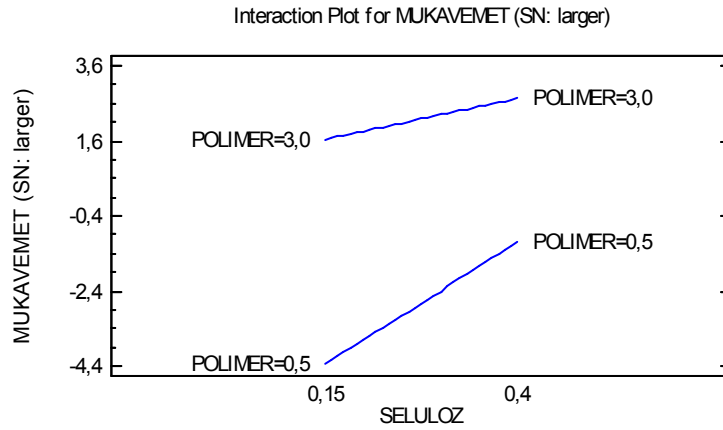
<i>Faktör</i>	<i>SS</i>	<i>sd</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>p</i>
B:SELULOZ	37,3015	1	37,3015	61,77	0,0000
C:NISASTA	6,02052	1	6,02052	9,97	0,0040
D:POLIMER	192,985	1	192,985	319,57	0,0000
BD	9,225	1	9,225	15,28	0,0006
ABE	3,70791	1	3,70791	6,14	0,0200
Hata	15,7013	26	0,603898		
Toplam	264,941	31			

$R^2 = \%94,0736$
 Düz- $R^2 = \%92,934$
 Standart Hata = **0,777109**

Her bir faktörün Mukavemet üzerindeki etkisinin görüldüğü Şekil 6.4'deki ortalama etkiler ve Şekil 6.5'deki etkileşim grafiklerine bakıldığında, Mukavemet'i enbüyüklemek için B ve D faktörlerinin yüksek düzeylerinin, A, C ve E faktörlerinin de düşük düzeylerinin seçilmesi gerektiği görülmektedir ($A_0B_1C_0D_1E_0$).



Şekil 6.4. Mukavemet Kalite Göstergesi İçin Ortalama Etkiler Grafiği



Şekil 6.5. Mukavemet Kalite Göstergesi İçin Etkileşim Grafiği

Mukavemet için kritik faktör ve çoklu etkiler ile faktör düzeyleri belirlendikten sonra, tahmin denklemi için faktör ve etkileşimlerin katsayıları bulunmuştur:

$$\mu_2 = -0,268 + 2,159B - 0,867C + 4,911D - 1,074BD + 0,681ABE$$

Tahmin denklemi ve eniyi düzeyler yardımıyla Mukavemet için S/G oranı 3,50 dB bulunmuştur. S/G oranından hareketle Mukavemet için bulunan en iyi değer 1,50

N/mm^2 'dir. Mukavemet için istenilen minimum değer $1 N/mm^2$ olduğu düşünülürse, bulunan değer bu kalite göstergesi için iyi bir değerdir.

5.6.3. Açık Kalma Mukavemeti Kalite Göstergesine İlişkin Analizler

Seramik yapıştırıcılarının kalite göstergelerinden 'Açık Kalma Mukavemeti'nin enbüyüklenmesi istenmektedir.

Tüm faktörlerin Açık Kalma Mukavemeti üzerindeki tekli ve bileşik etkileri Çizelge 6.7'deki varyans analizi tablosunda gösterilmiştir. Buna göre, A, B, D tekli etkileri ile AB, AD, BD ve ABD bileşik etkileri Açık Kalma Mukavemeti üzerinde kritik etki yaratmaktadır.

Kritik etki yaratan faktör ve etkileşimin yer aldığı model, Açık Kalma Mukavemeti'ni % 98,5886 oranında, açıklamaktadır. Modeli bağımsız değişkenlere göre karşılaştırmaya daha uygun olan düzeltilmiş R^2 ise modelin % 92,708 oranında Açık Kalma Mukavemet'ini karşıladığını göstermektedir.

Açık Kalma Mukavemeti üzerindeki etkileri anlamlı olan faktörler ve bileşik etkilerinin gösterildiği Çizelge 6.8'deki indirgenmiş varyans analizi tablosuna bakıldığında R^2 değerinin % 95,3905 ve düzeltilmiş R^2 değerinin de % 93,5049 olduğu görülmüştür. Çıkan sonuçlara göre, kalite göstergesi üzerindeki etkisi kritik olmayan ACD ve BDE bileşik etkileri de, analiz edilebilmeleri için tabloya eklenmiştir. Etkileri kritik olmamasına rağmen indirgenmiş varyans analizi tablosuna eklenmelerinin sebebi, yine kritik olmayan C ve E'nin etkilerinin de tahmin denklemine yansımaları sağlamaktır. Bu sebeple C ve E'yi içeren ve p değeri 0,05'e en yakın olan bileşik etkiler tabloya eklenmiştir.

Çizelge 6.7. Açık Kalma Mukavemeti Kalite Göstergesi İçin Varyans Analizi Tablosu

<i>Faktör</i>	<i>SS</i>	<i>sd</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>p</i>
A:BAGLAYICI	434,181	1	434,181	28,67	0,0017
B:SELULOZ	138,865	1	138,865	9,17	0,0232
C:NISASTA	6,59768	1	6,59768	0,44	0,5337
D:POLIMER	4769,48	1	4769,48	314,95	0,0000
E:LIF	17,4836	1	17,4836	1,15	0,3239
AB	127,397	1	127,397	8,41	0,0273
AC	19,3293	1	19,3293	1,28	0,3017
AD	241,233	1	241,233	15,93	0,0072
AE	3,43834	1	3,43834	0,23	0,6506
BC	0,098354	1	0,0983541	0,01	0,9384
BD	165,204	1	165,204	10,91	0,0163
BE	21,9962	1	21,9962	1,45	0,2735
CD	5,757	1	5,757	0,38	0,5602
CE	4,91975	1	4,91975	0,32	0,5894
DE	16,0618	1	16,0618	1,06	0,3428
ABC	24,6878	1	24,6878	1,63	0,2489
ABD	174,618	1	174,618	11,53	0,0146
ABE	2,24256	1	2,24256	0,15	0,7136
ACD	57,3141	1	57,3141	3,78	0,0997
ACE	17,4031	1	17,4031	1,15	0,3249
ADE	25,2208	1	25,2208	1,67	0,2444
BCD	14,8072	1	14,8072	0,98	0,3609
BCE	25,8418	1	25,8418	1,71	0,2393
BDE	32,8618	1	32,8618	2,17	0,1912
CDE	0,005006	1	0,00500647	0,00	0,9861
Hata	90,8621	6	15,1437		
Toplam	6437,9	31			

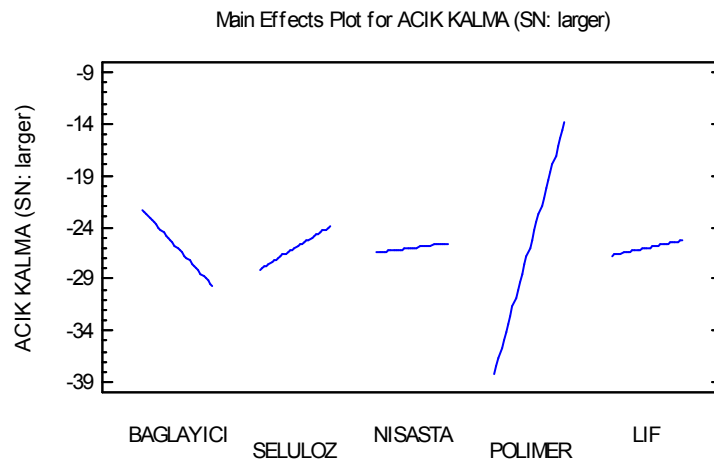
$R^2 = \%98,5886$
Düz- $R^2 = \%92,708$
Standart Hata = **3,89149**

Çizelge 6.8. Açık Kalma Mukavemeti Kalite Göstergesi İçin İndirgenmiş Varyans Analizi Tablosu

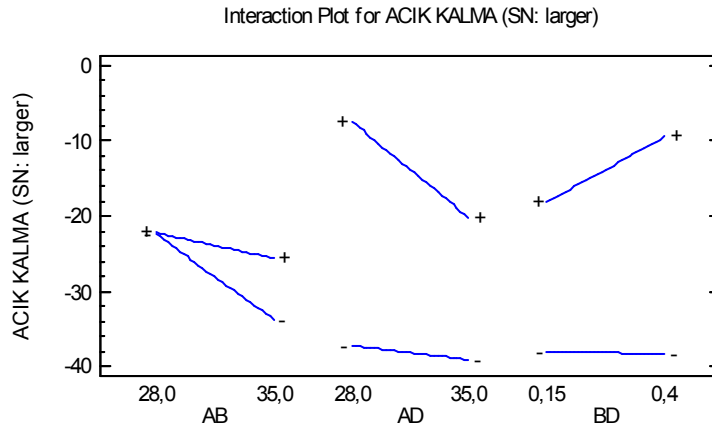
<i>Faktör</i>	<i>SS</i>	<i>sd</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>p</i>
A:BAGLAYICI	434,181	1	434,181	32,19	0,0000
B:SELULOZ	138,865	1	138,865	10,29	0,0040
D:POLIMER	4769,48	1	4769,48	353,59	0,0000
AB	127,397	1	127,397	9,44	0,0056
AD	241,233	1	241,233	17,88	0,0003
BD	165,204	1	165,204	12,25	0,0020
ABD	174,618	1	174,618	12,95	0,0016
ACD	57,3141	1	57,3141	4,25	0,0513
BDE	32,8618	1	32,8618	2,44	0,1328
Hata	296,752	22	13,4887		
Toplam	6437,9	31			

$R^2 = \%95,3905$
Düz- $R^2 = \%93,5049$
Standart Hata = **3,6727**

Her bir faktörün Açık Kalma Mukavemeti üzerindeki etkisinin görüldüğü Şekil 6.6'daki ortalama etkiler ve Şekil 6.7'deki etkileşim grafiklerine bakıldığında, Açık Kalma Mukavemeti'ni enbüyüklemek için B ve D faktörlerinin yüksek düzeyleri ile A, C ve E faktörlerinin düşük düzeyleri alınmalıdır ($A_0B_1C_0D_1E_0$).



Şekil 6.6. Açık Kalma Mukavemeti Kalite Göstergesi İçin Ortalama Etkiler Grafiği



Şekil 6.7. Açık Kalma Mukavemeti Kalite Göstergesi İçin Etkileşim Grafiği

Açık Kalma Mukavemeti için kritik faktör ve çoklu etkiler ile faktör düzeyleri belirlendikten sonra, tahmin denklemi için faktör ve etkileşimlerin katsayıları bulunmuştur:

$$\mu_3 = -26,012 - 7,367A + 4,166B + 24,417D + 3,991AB - 5,491AD + 4,544BD + 4,672ABD + 2,677ABC - 2,026BDE$$

Tahmin denklemi ve eniyi düzeyler yardımıyla Açık Kalma Mukavemeti için S/G oranı -4,99 dB bulunmuştur. S/G oranından hareketle Açık Kalma Mukavemet için bulunan en iyi değer 0,56 N/mm²'dir. Açık Kalma Mukavemeti için bulunan değer standart seramik yapıştırıcıları için kabul edilebilir bir değerdir.

5.6.4. Kıvam Kalite Göstergesine İlişkin Analizler

Seramik yapıştırıcılarının kalite göstergelerinden 'Kıvam'ın enbüyüklenmesi istenmektedir.

Tüm faktörlerin Kıvam üzerindeki tekli ve bileşik etkileri Çizelge 6.9'daki varyans analizi tablosunda gösterilmiştir. Buna göre, A, B, C, D tekli etkileri ile AC ve BC bileşik etkileri Kıvam üzerinde kritik etki yaratmaktadır.

Çizelge 6.9. Kıvam Kalite Göstergesi İçin Varyans Analizi Tablosu

<i>Faktör</i>	<i>SS</i>	<i>sd</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>p</i>
A:BAGLAYICI	3,67022	1	3,67022	7,15	0,0368
B:SELULOZ	773,621	1	773,621	1507,45	0,0000
C:NİSASTA	34,8202	1	34,8202	67,85	0,0002
D:POLİMER	4,51999	1	4,51999	8,81	0,0250
E:LİF	0,0730274	1	0,0730274	0,14	0,7190
AB	1,55527	1	1,55527	3,03	0,1324
AC	3,16957	1	3,16957	6,18	0,0475
AD	0,0667805	1	0,0667805	0,13	0,7307
AE	0,167494	1	0,167494	0,33	0,5885
BC	6,52197	1	6,52197	12,71	0,0119
BD	0,1337	1	0,1337	0,26	0,6280
BE	0,225635	1	0,225635	0,44	0,5319
CD	0,317686	1	0,317686	0,62	0,4613
CE	0,017465	1	0,017465	0,03	0,8597
DE	0,14495	1	0,14495	0,28	0,6142
ABC	0,0139813	1	0,0139813	0,03	0,8743
ABD	0,275502	1	0,275502	0,54	0,4914
ABE	0,470806	1	0,470806	0,92	0,3751
ACD	2,32908	1	2,32908	4,54	0,0772
ACE	0,0378775	1	0,0378775	0,07	0,7950
ADE	1,64263	1	1,64263	3,20	0,1238
BCD	1,8051	1	1,8051	3,52	0,1098
BCE	0,586385	1	0,586385	1,14	0,3262
BDE	0,0107485	1	0,0107485	0,02	0,8897
CDE	0,20594	1	0,20594	0,40	0,5498
Hata	3,07919	6	0,513198		
Toplam	839,482	31			

$R^2 = \%99,6332$

Düz- $R^2 = \%98,1049$

Standart Hata = **0,716378**

Kritik etki yaratan faktör ve etkileşimin yer aldığı model, Kıvam'ı % 99,6332 oranında açıklamaktadır. Modeli bağımsız değişkenlere göre karşılaştırmaya daha uygun olan düzeltilmiş R^2 ise modelin Kıvam'ı % 98,1049 karşıladığını göstermektedir.

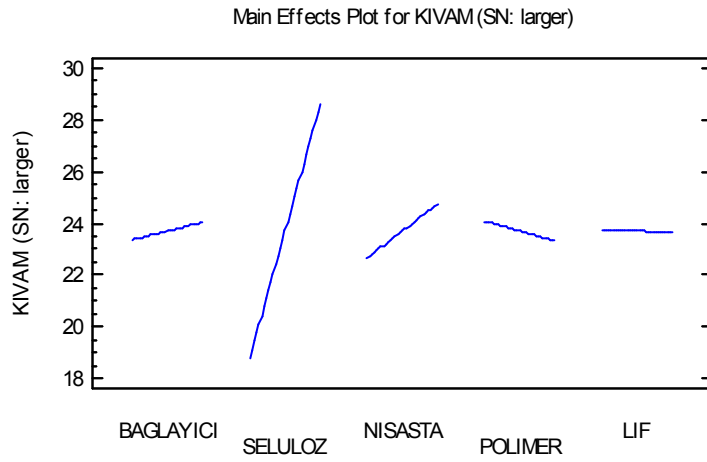
Sadece Kıvam üzerindeki etkileri anlamlı olan faktörler ve bileşik etkilerinin gösterildiği Çizelge 6.10'deki indirgenmiş varyans analizi tablosuna bakıldığında R^2 değerinin % 98,6281 ve düzeltilmiş R^2 değerinin de % 98,228 olduğu görülmüştür. Çıkan sonuçlara göre, kalite göstergesi üzerindeki etkisi kritik olmayan ADE bileşik etkisi de, analiz edilebilmesi için tabloya eklenmiştir. ADE bileşik etkisinin indirgenmiş varyans analizi tablosuna eklenmelerinin sebebi, yine kritik olmayan E'nin etkisinin de tahmin denklemine yansımaları sağlamaktır. Bu sebeple E'yi içeren ve p değeri 0,05'e en yakın olan bileşik etki tabloya eklenmiştir.

Çizelge 6.10. Kıvam Kalite Göstergesi İçin İndirgenmiş Varyans Analizi Tablosu

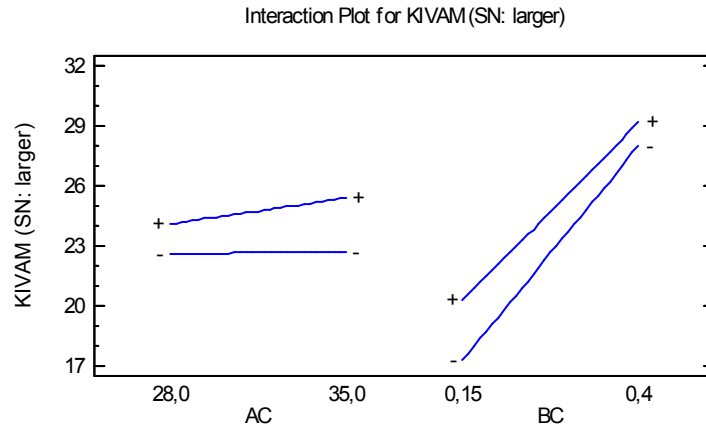
<i>Faktör</i>	<i>SS</i>	<i>sd</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>p</i>
A:BAGLAYICI	3,67022	1	3,67022	7,65	0,0108
B:SELULOZ	773,621	1	773,621	1612,19	0,0000
C:NISASTA	34,8202	1	34,8202	72,56	0,0000
D:POLIMER	4,51999	1	4,51999	9,42	0,0053
AC	3,16957	1	3,16957	6,61	0,0168
BC	6,52197	1	6,52197	13,59	0,0012
ADE	1,64263	1	1,64263	3,42	0,0766
Hata	11,5166	24	0,479859		
Toplam	839,482	31			

$R^2 = \%98,6281$
Düz $R^2 = \%98,228$
Standart Hata = **0,692718**

Her bir faktörün Kıvam üzerindeki etkisinin görüldüğü Şekil 6.8'deki ortalama etkiler ve Şekil 6.9'daki etkileşim grafiklerine bakıldığında, Kıvam'ı enbüyüklemek için A, B ve C faktörleri için yüksek düzeylerin, D ve E faktörleri için ise düşük düzeylerin seçilmesi gerektiği görülmektedir ($A_1B_1C_1D_0E_0$).



Şekil 6.8. Kıvam Kalite Göstergesi İçin Ortalama Etkiler Grafiği



Şekil 6.9. Kıvam Kalite Göstergesi İçin Etkileşim Grafiği

Kıvam için kritik faktör ve çoklu etkiler ile faktör düzeyleri belirlendikten sonra, tahmin denklemi için faktör ve etkileşimlerin katsayıları bulunmuştur:

$$\mu_4 = 23,699 + 0,677A + 9,834B + 2,086C - 0,752D + 0,629AC - 0,903BC + 0,453ADE$$

Tahmin denklemi ve eniyi düzeyler yardımıyla Kıvam için S/G oranı 30,4642 dB bulunmuştur. S/G oranından hareketle Kıvam için bulunan en iyi değer 33 Pas'dır.

Standart yapıştırıcılar için en az 15-20 Pas değeri kabul edildiği için bulunan değer neredeyse bu değer iki katı olması sebebiyle oldukça iyi bir değerdir.

5.6.5. Çalışma Süresi Kalite Göstergesine İlişkin Analizler

Seramik yapıştırıcılarının kalite göstergelerinden ‘Çalışma Süresi’nin enbüyüklenmesi istenmektedir.

Tüm faktörlerin Çalışma Süresi üzerindeki tekli ve bileşik etkileri Çizelge 6.11’deki varyans analizi tablosunda gösterilmiştir. Buna göre, A ve D tekli etkileri ile AB, BC ve ABC bileşik etkilerinin Çalışma Süresi üzerinde kritik etki yaratmaktadır.

Kritik etki yaratan faktör ve etkileşimin yer aldığı model, Çalışma süresi’ni % 98,4996 oranında açıklamaktadır. Modeli bağımsız değişkenlere göre karşılaştırmaya daha uygun olan düzeltilmiş R^2 ise modelin Çalışma Süresi’ni % 92,2482 karşıladığını göstermektedir.

Çalışma Süresi üzerindeki etkileri anlamlı olan faktörler ve bileşik etkilerinin gösterildiği Çizelge 6.12’deki indirgenmiş varyans analizi tablosuna bakıldığında R^2 değerinin % 94,1965 ve düzeltilmiş R^2 değerinin de % 92,5038 olduğu görülmüştür. Ayrıca sonuçlara göre kritik olmayan C ve E faktör etkileri de analiz edilebilmesi için tabloya eklenmiştir.

Çizelge 6.11. Çalışma Süresi Kalite Göstergesi İçin Varyans Analizi Tablosu

<i>Faktör</i>	<i>SS</i>	<i>sd</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>p</i>
A:BAGLAYICI	34,6081	1	34,6081	78,87	0,0001
B:SELULOZ	1,19351	1	1,19351	2,72	0,1502
C:NISASTA	1,6775	1	1,6775	3,82	0,0983
D:POLIMER	105,099	1	105,099	239,51	0,0000
E:LIF	1,48416	1	1,48416	3,38	0,1155
AB	12,7363	1	12,7363	29,02	0,0017
AC	0,347302	1	0,347302	0,79	0,4079
AD	1,56686	1	1,56686	3,57	0,1077
AE	0,0325822	1	0,0325822	0,07	0,7944
BC	6,92748	1	6,92748	15,79	0,0073
BD	0,755726	1	0,755726	1,72	0,2374
BE	0,286588	1	0,286588	0,65	0,4498
CD	0,733346	1	0,733346	1,67	0,2436
CE	0,0050915	1	0,00509153	0,01	0,9177
DE	0,0216907	1	0,0216907	0,05	0,8314
ABC	2,76493	1	2,76493	6,30	0,0459
ABD	0,312418	1	0,312418	0,71	0,4311
ABE	2,49103	1	2,49103	0,00	0,9999
ACD	0,0193692	1	0,0193692	0,04	0,8405
ACE	1,02213	1	1,02213	2,33	0,1778
ADE	0,135704	1	0,135704	0,31	0,5982
BCD	0,0760684	1	0,0760684	0,17	0,6916
BCE	0,0016907	1	0,00169076	0,00	0,9525
BDE	0,0000518	1	0,000051876	0,00	0,9917
CDE	1,04109	1	1,04109	2,37	0,1744
Hata	2,63284	6	0,438806		
Toplam	175,481	31			

$R^2 = \%98,4996$

Düz $R^2 = \%92,2482$

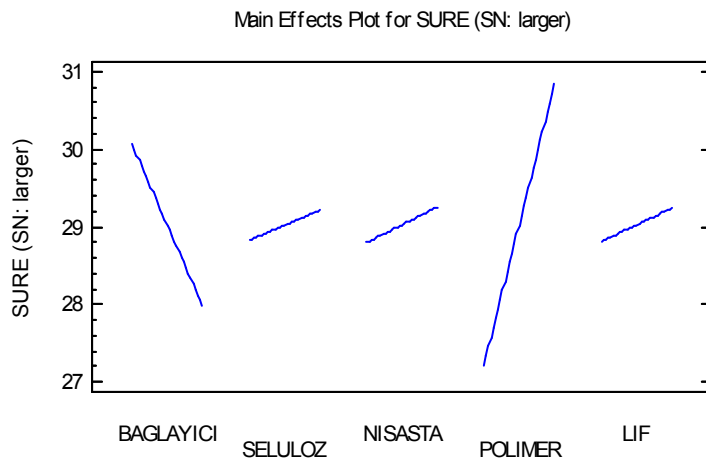
Standart Hata = **0,662425**

Çizelge 6.12. Çalışma Süresi Kalite Göstergesi İçin İndirgenmiş Varyans Analizi Tablosu

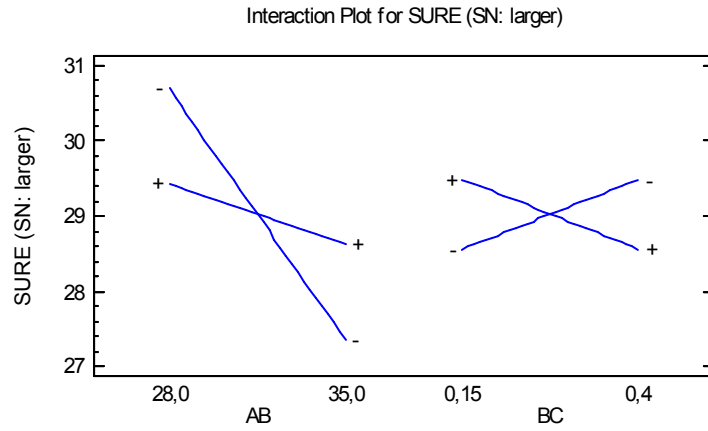
<i>Faktör</i>	<i>SS</i>	<i>sd</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>p</i>
A:BAGLAYICI	34,6081	1	34,6081	81,56	0,0000
C:NISASTA	1,6775	1	1,6775	3,95	0,0583
D:POLIMER	105,099	1	105,099	247,68	0,0000
E:LIF	1,48416	1	1,48416	3,50	0,0737
AB	12,7363	1	12,7363	30,01	0,0000
BC	6,92748	1	6,92748	16,33	0,0005
ABC	2,76493	1	2,76493	6,52	0,0175
Hata	10,184	24	0,424335		
Toplam	175,481	31			

$R^2 = \%94,1965$
Düz $R^2 = \%92,5038$
Standart Hata = **0,65141**

Her bir faktörün Çalışma Süresi üzerindeki etkisinin görüldüğü Şekil 6.10'daki ortalama etkiler ve Şekil 6.11'deki etkileşim grafiklerine bakılarak, Çalışma Süresi'ni enbüyüklemek için C ve D faktörlerinin yüksek düzeyleri, A, B ve E faktörlerinin düşük düzeylerinin seçilmesi gerektiği belirlenmiştir ($A_0B_0C_1D_1E_0$).



Şekil 6.10. Çalışma Süresi Kalite Göstergesi İçin Ortalama Etkiler Grafiği



Şekil 6.11. Çalışma Süresi Kalite Göstergesi İçin Etkileşim Grafiği

Çalışma Süresi için kritik faktör ve çoklu etkiler ile faktör düzeyleri belirlendikten sonra, tahmin denklemi için faktör ve etkileşimlerin katsayıları bulunmuştur:

$$\mu_5 = 29,0238 - 2,079A + 0,458C + 3,625D + 0,431E + 1,262AB - 0,931BC - 0,588ABC$$

Tahmin denklemi ve eniyi düzeyler yardımıyla Çalışma Süresi için S/G oranı 33,1226 dB bulunmuştur. S/G oranından hareketle Çalışma Süresi için bulunan en iyi değer 46 dk'dır. Seramik yapıştırıcılarının en az 20 dakika çalışma süresi olması gerektiği için çıkan 46 dakikalık sonuç çok iyi olarak değerlendirilebilir.

5.6.6. Çoklu Eniyilemeye Yönelik Analizler

Kalite göstergelerine ait tüm tahmin denklemleri oluşturulduktan sonra, her kalite göstergesi için en iyi seviyelere bakıldığında, farklılıklar olduğu görülmüştür. Çalışmanın amacı, tüm kalite göstergelerini bir arada eniyilemek olduğundan, hepsini eniyileyebilecek bir denklem bulmak gerekmektedir. Bu sebeple her bir kalite göstergesine diğerlerine göre bir önem derecesi verilerek, bu değerlerin toplam önem içerisindeki yüzdeleri bulunmuştur.

Önem dereceleri verilirken, bu çalışma içerisinde değerlendirilen performans göstergelerinin içerisinde hangi sonuçların daha önemli olduğu tartışılmıştır. Buna göre, son kullanıcılar açısından da tercih sebebi olan çalışma süresine en yüksek önem verilirken, kayma, mukavemet ve açık kalma mukavemeti gibi diğer göstergelere yine yüksek ama ikinci sırada yer verilmiştir. Son olarak, kıvam her son kullanıcıya göre göreceli bir kavram olduğundan son sırada ağırlıklandırılmıştır. Bulunan değerler her bir tahmin denkleminde katsayı olarak kullanılarak toplamın tahmin denklemi oluşturulmuştur:

$$\mu_1=(4/20)\mu_1+(4/20)\mu_2+(4/20)\mu_3+(3/20)\mu_4+(5/20)\mu_5$$

Tüm kalite göstergeleri eniyilenmeye çalışıldığı için, bulunan tahmin denkleminin de sonucunun enbüyüklenmesi gerekmektedir. Tüm deneyler için faktör düzeyleri göz önüne alınarak, 66 dB S/G oranı A düşük, B yüksek, C yüksek, D yüksek ve E düşük seviyelerinin olduğu $A_0B_1C_1D_1E_0$ kombinasyonunun en iyi olduğu görülmüştür.

Tüm kalite göstergelerini bir arada eniyilemek için, bulunan en iyi kombinasyonun gösterge değerlerinin, istenilen sınırlar içinde olup olmadığı incelenmiştir. Değerlere bakıldığında, dört tanesinde göstergelerin çoklu en iyi seviyelerindeki S/G oranlarının, kendi en iyi seviyelerine göre düştüğü sadece Açık Kalma Mukavemeti'nin değerinin az da olsa yükseldiği gözlemlenmiştir. S/G oranları ile bulunan gösterge değerlerine bakıldığında ise, dört tanesinin istenilen sınırlar içerisinde olduğu, yalnızca kayma değerinin sınır değere yakın olmasından dolayı kritik olduğu görülmektedir.

Çizelge 6.13'de kalite göstergeleri için sırasıyla, tek başına bir kalite göstergesi için en iyi S/G oranları, bu oranlarla elde edilen kalite göstergesi değerleri, çoklu eniyileme sonucunda çıkan S/G oranları ve bu oranlarla elde edilen kalite göstergesi değerleri ile karşılaştırma için sınır kabul edilen ideal değerler verilmiştir.

Çizelge 6.13 Karşılaştırma Tablosu

Kalite Göstergeleri	Kalite G. Eniyi S/G Oranları	Kalite G. Değerleri	Çoklu Eniyi S/G Oranları	Çoklu Eniyi Kalite G. Değerleri	İdeal Değer
KAYMA	19 dB	0,11 mm	4,76 dB	0,57 mm	<0,5
MUKAVEMET	3,5 dB	1,5 N/mm ²	1,42 dB	1,11 N/mm ²	>0,5
AÇIK KALMA M.	-4,99 dB	0,56 N/mm ²	-4,84 dB	0,57 N/mm ²	>0
KIVAM	30 dB	33 Pas	27 dB	23 Pas	>20
ÇALIŞMA SÜRESİ	33 dB	46 dk	30 dB	34 dk	>20

5.7. Doğrulama Deneylerinin Yapılması

Her bir kalite göstergesi için bulunan tahmin denklemleri, elde edilen en iyi seviyedeki faktör düzeyleri için hesaplanarak, her bir kalite göstergesi için S/G oranları bulunmuştur. S/G oranlarından yola çıkılarak gerçekleşmesi gereken gösterge değerleri ile yapılan doğrulama deneyi sonuçları ile karşılaştırılmıştır.

Buna göre Çizelge 6.14’de kalite göstergeleri için sırasıyla, hesaplama ve deney sonuçları karşılaştırılmıştır. Deneylerden, analizler ile uyumlu olmak üzere, tüm kalite göstergeleri için hesaplama sonuçlarından daha iyi değerler elde edilmiştir.

Çizelge 6.14 Tahmin Edilen Kalite Göstergeleri ile Doğrulama Deney Sonuçları

Kalite Göstergesi	Hesaplama Sonuçları	Deney Sonuçları
KAYMA	0,57 mm	0,47 mm
MUKAVEMET	1,17 N/mm ²	1,19 N/mm ²
AÇIK KALMA	0,57 N/mm ²	0,65 N/mm ²
KIVAM	23 Pas	25 Pas
ÇALIŞMA SÜRESİ	34 dk	35 dk

Elde edilen sonuçların, % 95 güven seviyesinde anlamlı olup olmadığını belirlemek için, indirgenmiş varyans analizi tablolarında verilen standart hata değerleri kullanılmıştır. S/G oranlarına ilişkin standart hata değerleri dikkate alınarak, kalite göstergeleri için güven aralıkları oluşturulmuştur. S/G oranları ve kalite göstergeleri için güven aralıkları Çizelge 6.15’de verilmiştir.

Çizelge 6.15 Hesaplanan Güven Aralıkları

Kalite Göstergeleri	Çoklu Eniyi S/G Oranları	S/G Oranları Güven Aralıkları	Çoklu Eniyi Kalite Gös. Değerleri	Kalite Gös. Değerleri Güven Aralıkları
KAYMA	4,76 dB	± 2,15 dB	0,57 mm	± 0,14 mm
MUKAVEMET	1,42 dB	± 0,78 dB	1,17 N/mm ²	± 0,11N/mm ²
AÇIK KALMA M.	-4,84 dB	± 3,67 dB	0,57 N/mm ²	± 0,25 N/mm ²
KIVAM	27 dB	± 0,69 dB	23 Pas	± 2 Pas
ÇALIŞMA SÜRESİ	30 dB	± 0,65 dB	34 dk	± 3 dk

Çizelge 6.15’deki güven aralıkları ile Çizelge 6.14’deki doğrulama deneyi sonuçları karşılaştırıldığında, tüm kalite göstergeleri için elde edilen sonuçların güven aralığı içerisinde olduğu görülmüştür.

Doğrulama deneyinden yola çıkarak, güven aralıkları ile desteklenen sonuç hem gerçek sonuçların tahmin denkleminin verdiği sonuçlar ile % 95 güven seviyesinde paralel olduğunu hem de gerçek testlerde daha iyi sonuçlar elde edildiğini göstermektedir.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Yapılan çalışmada, Taguchi yöntemi kullanılarak standart seramik yapıştırıcılarının kalite göstergeleri geliştirilmeye çalışılmıştır.

Seramik yapıştırıcıları üzerinde etkileri olan tüm faktörler sebep sonuç diyagramı yardımıyla incelenmiş, sabit tutulabilecekler dışında kalan faktörler kontrol ve gürültü faktörleri olarak ele alınmıştır. Faktörlerin iki grupta ele alınması, deneylerin uygulandığı karışımların, sadece içerisinde kullanılan malzemeler yönünden performanslarının değil ayrıca dış koşullar karşısındaki performanslarının da analiz edilmesini sağlamıştır. Her ne kadar, deneyler laboratuvar ortamında gerçekleştirilmiş olsalar da, karışımların gerçek hayatta kullanım alanları dış mekanlardır. Özellikle farklı coğrafyalardaki iklim koşulları için performanslarını test etmek bu açıdan önem kazanmaktadır.

Faktörler ve düzeyleri belirlendikten sonra, kontrol faktörleri için $L_{32}(5^2)$ ve gürültü faktörleri için $L_4(2^2)$ ortogonal diziler kullanılmış, tüm faktörlerin kalite göstergesi üzerindeki tekli ve daha yüksek mertebeden bileşik etkilerinin analiz edilebilmesi için tam faktöriyel deneyler yapılmıştır.

Yapılan deneylerden elde edilen veriler; ANOVA analizleri, etki grafikleri ve tahmin denklemleri elde edilerek yorumlanmıştır. Daha sonra her bir kalite göstergesi için S/G oranları bulunmuş ve her biri için en iyi düzeyler belirlenmiştir. Tüm kalite göstergeleri analiz edildikten sonra karşılaşılan durum, faktörlerin en iyi seviyelerinin hepsi için farklı olmasıdır. Amaç tüm göstergeleri bir arada eniyilemek olduğundan ve tüm göstergelerin kendi en iyi düzeyleri farklı olduğundan, tümünü temsil edecek bir tahmin denklemi oluşturulmuştur. Oluşturulan denklemde, her bir kalite göstergesi diğerlerine göre ağırlıklandırılarak hesaplamalar yapılmış ve en iyi faktör düzeyleri $A_0B_1C_1D_1E_0$ olarak belirlenmiştir. Bulunan sonuçlar, kalite göstergelerinin istenilen değerleri ile karşılaştırılarak beklentiyi karşıladığı görülmüştür.

Kontrol faktörlerine göre seçilen tasarımda 32 kombinasyon olmasına karşın, gürültü faktörleri göz önüne alınarak 4 defa tekrarlandığı için 128 deney yapılmıştır. Bu sebeple seçilen en iyi kombinasyonda gürültü faktörlerinin değerlerine de bakılması gerekmektedir. Buna göre nemin yüksek ve sıcaklığın düşük olduğu durumda yapılan deneyden daha iyi sonuçlar alındığı gözlemlenmiştir.

Sonuçların doğruluğunu test etmek için yapılan doğrulama deneyi ile bulunan sonuçlar ile analizlerden elde edilen sonuçlar paralel olduğundan ve % 95 güven seviyesinde belirlenen güven aralıkları içerisinde bulunduğundan, tahmin denkleminin faktörler ile kalite göstergeleri arasındaki ilişkiyi karşıladığı belirlenmiştir.

Çalışmanın tümüne bakılarak varabileceğimiz bir diğer sonuç ise, etkilerinin analizi için deney sayısının artması da göz önünde tutularak, faktör olarak belirlenen ve 'E' ile sembolize edilen Lif faktörünün, hiçbir faktör için kritik önemde olmadığına ortaya çıkmasıdır.

Varyans analizi uygulamalarında elde edilen R^2 ve düzeltilmiş R^2 değerlerinin yüksek çıkması, yapılan deney sonuçlarının tutarlı olduğunu göstermektedir.

Çalışma sonucunda bir ürün için en iyi seviyelerin belirlenmesi dışında, bundan sonraki çalışmalara yön vermesi ve araştırma geliştirme çalışmalarında yeni ürünlere rehberlik edebilmesi açısından, her bir kalite göstergesi üzerindeki faktör etkilerini açıklayan tahmin denklemleri ve S/G oranlarının bulunması da önemlidir. Ürünler yaşam döngülerini tamamladıklarında, kalite göstergeleri aynı fakat istenilen seviyeleri farklılık gösteren talepler doğmaktadır. Örnek olarak, normalden çok uzun bir çalışma süresi veya çok yüksek mukavemet istenildiğinde, etki eden faktörler bilindiği için geliştirme çalışmalarında bir öngörü sağlayacaktır.

İşletmelerin veya müşterilerin talepleri yönünde değişen isteklere cevap verebilmek için, toplam tahmin denklemindeki katsayılar, kalite göstergelerine verilecek önem derecesine göre değiştirilebileceğinden, bu çalışmanın devamında farklı isteklere yönelik çalışmaların da yapılması mümkündür.

KAYNAKLAR DİZİNİ

- Baynal, K., 2005, Çok yanıtli kalite karakteristiklerinin eş zamanli eniyilenmesinde Taguchi yöntemi ve otomotiv endüstrisinde bir uygulama, Endüstri Mühendisliği Dergisi, 16, 2, 24 s.
- Berube,J.,Wu,C.F.J.,2000, Signal to noise ratio and related measures in parameter desing optimization: An overview, The Indian Journal of Istatistics, 62, 417-432.
- Burnak, N., 1997, Toplam kalite yönetimi istatistiksel süreç kontrolü, OGÜ Mühendislik Mimarlık Fakültesi TEKAM Yayın No: TS-97-008-NB,222 s.
- Çömlekçi, N., 2003, Deney tasarımı ilke ve teknikleri, Alfa yayınları,468 s.
- Dobrzański,L.A.,Domaga,J.,Silva,J.F.,2007, Application of Taguchi method in the optimisation of filament winding of thermoplastic composites, International Scientific Journal, 28, 133-140.
- Durmaz,S.,2008, Taguchi metodunun kauçuğun vulkanizasyonu prosesine uygulanması, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, 150 s.
- Gencer,İ.,2007, Çok yanıtli problemlerin optimizasyonunda Taguchi yönteminin kullanılması ve alkollü İçkiler sektöründe bir uygulama, Yüksek lisans tezi, Kocaeli Üniversitesi,150 s.
- Gopalmasy,B.,Mondal,B.,Ghosh,S.,2009, Taguchi method and ANONA: An approach for process parameters optimization of hard machining while machining hardened steel, Journal of Scientific & Industrial Research, 68, 686-695.

KAYNAKLAR DİZİNİ (Devam)

- Gündüz,L.,Bekar,M.,Şapçı,N., 2007, Influence of a new type of additive on the performance of polymer-lightweight mortar composites, *Cement and Concrete Composites*, 29, 594–602.
- Hsieh,K.,Tong,L.I.,Chiu,H.P.,Yeh,H.Y.,2005, Optimization of a multi-response problem in Taguchi's dynamic system, *Computers and Industrial Engineering*, 49, 556-571.
- Kasap, Ş.,2006, F-4 uçaklarında yakıt tüketimini etkileyen faktörlerin 2k deneyleri ve Taguchi yöntemiyle belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi,Anadolu Üniversitesi, 78s.
- Kağnıcıoğlu,H., 1998, Üretim öncesi kalite kontrolünde Taguchi Yöntemi ve kükürtdioksit giderici sitrat yöntemine uygulanması, Doktora tezi, Anadolu Üniversitesi, 202 s.
- Kolarik, W.J.,1995, *Creating quality, concepts, systems, strategies and tools*, McGraw-Hill Inc., 909 p.
- Liao.H.,Shie,J.R.,Yang,Y.K.,2008, Applications of Taguchi and design of experiments methods in optimization of chemical mechanical polishing process parameters, *Int J Adv Manuf Technol*, 38, 674-682.
- Montgomery,D.C.,1991, *Design and analysis of experiments*, John Wiley&Sons Inc.,649 p.
- Muniglia,L.,Kiss,L.N.,Fonteix,C.,Marc,I.,2004, Multicriteria optimization of a single-cell oil production, *European Journal of Operational Research*, 153, 360–369.

KAYNAKLAR DİZİNİ (Devam)

Phadke,M.S.,1989, Quality engineering using robust design, PTR Prentice Hall Inc., 334 p.

Ross, J. P., 1988, Taguchi techniques for quality engineering, McGraw Hill, 329 p.

Savaşkan,M., Taptık, Y., ve Ürgen,M., 2004, Deney tasarımı yöntemi ile matkap uçlarında performans optimizasyon, İTÜ Dergisi, 3, 6,117-128.

Şanyılmaz,M., 2006, Deney tasarımı ve kalite geliştirme faaliyetlerinde Taguchi yöntemi ile bir uygulama,Yüksek Lisans Tezi,Dumlupınar Üniversitesi,97 s.

Şirvancı, M.,1997, Kalite için deney tasarımı Taguchi Yaklaşımı, Literatür Yayınları, 110s.

Tong,L.I.,Wang,C.H.,Chen.C.C.,Chen,C.T.,2004, Dynamic multiple responses by ideal solution analysis, European Journal of Operational Research, 156, 433–444.

Wang,T.,Huang, C.,2007, Improving forecasting performance by employing the Taguchi method, European Journal of Operational Research, 176, 1052–1065.

Zhong,S.,Chen, Z., 2002, Latex Properties of latex blends and its modified cement mortars, Cement and Concrete Research, 32,1515–1524.

Zhu,C.R.,Yuan,J.L.,Lv,B.H.,Zhou,Z.Z.,2007, Application of Taguchi Method for Optimization of Finishing Conditions in SUS440 Stainless Steel Substrate, Advanced Materials Research, 25, 77-82.

İnternet-1: <http://websitem.gazi.edu.tr/asaliha>, (Erişim Tarihi: 15/09/2009).