

1. GİRİŞ

Ölçme; bir anlaşma veya konuşma bilimi olarak tanımlanan bir bilim dalıdır. Çünkü ölçme sayesinde bir cismin boyutları, miktarı, konumu ve zamanı kolayca bulunabilir. Ölçüler ve tartılar sistemine şu sebeplerden dolayı ihtiyacımız vardır:

1. Üreteceğimiz veya yapacağımız eşyanın ölçü sınırlarını belirlemek,
2. Diğer insanların izlediği üretim yöntemlerini kontrol etmek,
3. Üretimi yapılan eşyanın büyüklüğünü bilimsel açıklamalarla belirlemek.

Ölçme bilimi ile ilgili bilimsel araştırmalar yapılmadan önce, bir cismin varlığı, büyüklüğü ve benzeri özellikleri görme ve dokunma duyuları ile belirlenmekteydi. Ancak bu ölçümler, ölçümü yapan kişilerin kabiliyetine bağlı olarak değişmekte ve bu değişkenlerin belirli bir sınırı bulunmamaktaydı. Bu farklı değerlendirmeyi ortadan kaldırmak, her ölçümün belli standartlara göre yapılmasını sağlamak amacıyla ölçüler ve tartılar sistemi geliştirilmiştir. Bu sistem, devletlerarası anlaşma veya konuşma dili haline getirilerek uluslar arası ölçü standartları oluşturulmuştur [1].

Bugün uygulanmakta olan standart ölçme sistemi yardımıyla bir cismin veya parçanın büyüklüğünü, miktarını, durumunu v.b diğer özelliklerini kolayca belirleyebilmekteyiz.

1.1. Ölçmenin Endüstrideki Yeri ve Uygulama Alanı

Endüstrinin çeşitli alanlarında kullanılan bütün parçaların boyları, açıları v.b. büyüklükleri standart ölçü ve kontrol aletleriyle bulunur. Boyutsal ölçüler, aynı zamanda geometrik özellikleri bilinen temel kurullarla da bulunabilir.

Boyutsal ölçülerdeki temel prensip, üretimin tasarlanan değerler içerisinde kalıp kalmadığının kontrolüdür. Bu nedenle, endüstrinin her alanındaki seri üretimi artırmak, maliyeti düşürmek ve kaliteyi iyileştirmek, ancak ölçme ve kalite kontrolüyle gerçekleşebilir.

Standart ölçme sisteminin ve ölçü aletlerinin endüstride kullanılmasıyla;

1. Üretimi yapılacak parça ağırlığı azalır ve artık malzeme kaybı önlenir,
2. Üretilen parçaların bir kısmındaki veya tamamındaki ölçü büyüklüğünün detaylı yollardan kontrolünü en az düzeye indirir,
3. Hassasiyeti fazla olan dişli, bilye, yatak, v.b. gibi parçaların ölçü kontrolünde operatöre azami kolaylığı sağlar,
4. Otomatik olarak ayarlanması gereken işlemlerde istenen ölçü sınırları içerisinde ayarlanma kolaylığı sağlar,

5. Üretilen parçaların standartlara uygun olması nedeniyle uluslar arasındaki güvenilirliği artar.

1.2. Boyutsal Ölçü Kavramı

Üretimin uygunluğunu sağlamak ve parçaları istenilen tolerans sınırları içerisinde tutabilmek için ölçünün doğru olması gerekmektedir. Üretilen parçalardaki boyutsal ölçülerin doğruluğunu değerlendirebilmek için aşağıdaki esaslar göz önünde bulundurulur:

- Ölçme tamlığı,
- Üretilen parça üzerindeki ölçülen boyutun yerleşim konumu.

Tamlık kavramı genel bir bilgidir ve standart ölçü aletiyle kontrol edilen boyutun daha önce belirlenen değerde olduğunun onaylanmasıdır. Üretilen parça üzerindeki ölçülen boyutun yerleşim konumu ölçü alma ve uygulama bakımından ölçme işlemini etkilemektedir. Buna bağlı olarak çeşitli hatalar yapılabilir. Bundan dolayı, ölçülen boyutun yerleşim konumu, hataları en aza indirecek şekilde seçilmelidir. Hataları gidermek ve istenilen tamlık derecesine ulaşabilmek için, seçilen ölçü aletinin hassasiyeti ve uygulama metodu da göz önünde bulundurulmalıdır[1].

1.3 Boyutların Ölçülmesi

Boyutsal büyüklüklerin ölçülmesinde genellikle aşağıdaki üç ölçme metodlarından biri uygulanır.

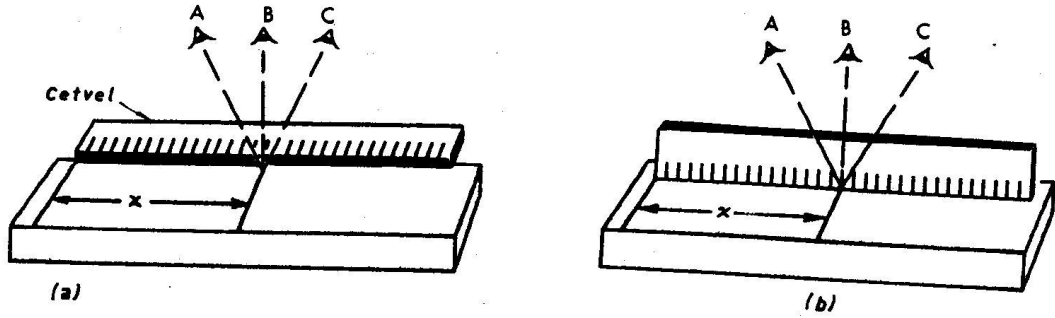
- Direkt (Doğrudan) ölçme metodu,
- Endirekt (Mukayeseli) ölçme metodu,
- Direkt (Doğrudan) kontrollü ölçme metodu.

1.3.1. Doğrudan Ölçme Metodu

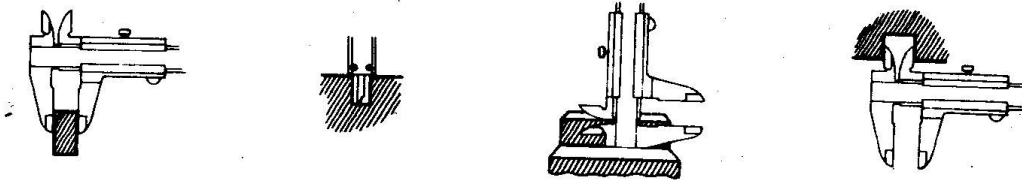
Verilen bir boyutun önce, uygulanan uzunluk ölçü biriminin ne kadarıyla temsil edildiği açıklanmalıdır. Daha önce de belirttiğimiz gibi, ölçü hassasiyetinin artmasıyla üretilen parça maliyeti de artmaktadır. Bundan da anlaşılacağı gibi boyutların kontrolü, ölçme maliyetini artırır.

Eğer bölüntülü bir çelik cetvel, bir kumpas veya bir mikrometre ile verilen uzunluğu veya boyutu ölçebiliyorsak, buna doğrudan ölçme denir ve ölçü değerlerini ölçme aletinin üzerinden okuyabiliriz. Bu ölçme işleminde el becerisi ve görme hassasiyeti önem taşımaktadır. Şekil 1.1, 1.2 ve 1.3’de farklı ölçü aletleriyle yapılan

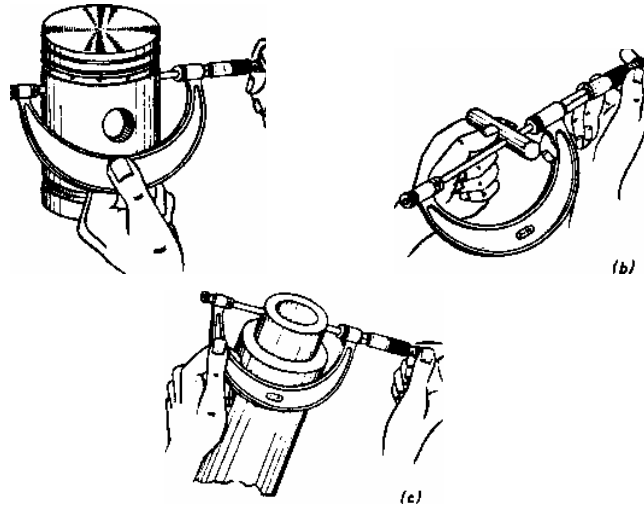
direkt ölçme işlemleri gösterilmektedir. Şekil 1.1'deki direkt ölçme işleminde, cetvelin parça üzerindeki yerleşim konumu ve ölçü okumada bakış açısı önem taşımaktadır.



Şekil 1.1. Cetvelle doğrudan ölçü kontrolü



Şekil 1.2. Kumpasla doğrudan ölçü kontrolü



Şekil 1.3. Mikrometreyle doğrudan ölçü kontrolü

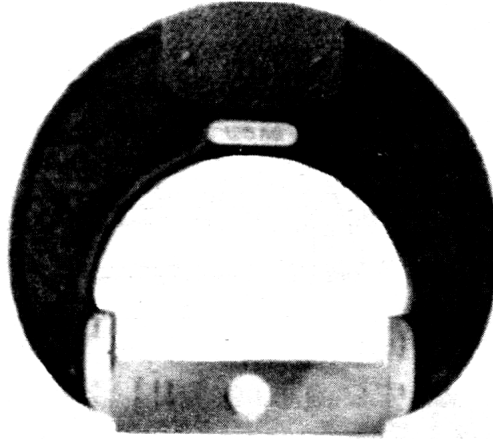
1.3.2. Mukayeseli Ölçme Metodu

Endirekt veya mukayeseli ölçme işlemi genellikle çok küçük boyutların ölçülmesinde uygulanır. Bu metotla doğrudan parçanın boyutu ölçülemez. Ancak, üzerinde veya içerisinde bölüntü çizgileri bulunan optikli, elektrikli ve benzeri ölçü aleti

kullanılarak ölçülecek boyutun büyüklüğü, ölçü aletinin bölüntü hassasiyetine bağlı olarak mukayese edilerek bulunur. Seri üretimi içeren büyük boyutlu parçaların kontrolünde da endirekt ölçme metodu uygulanır ve parçanın ölçü büyüklüğü farkı, uygulanan ölçü aletinden okunur. Üretilen parça boyutuna uygun sabit bir sehpa üzerine tespit edilen komparatör altından geçirilerek kontrol edilen parçalar, endirekt olarak ölçülmektedir.

1.3.3. Doğrudan Kontrollü Ölçme Metodu

Diğer ölçme metotlarından biri de direkt kontrollü ölçmedir. Bu uygulamada ölçülecek parça boyutuyla, büyüklüğü daha önce bilinen ölçü değeri doğrudan mukayese edilir. Bu işlem için genellikle sabit veya ayarlanabilen masterlar kullanılır. Üretimi yapılan parçaya ait anma ölçüsünün alt ve üst ölçü sınırlarını içerisine alan bu masterlarla gerçek ölçünün değeri ölçülemez. Ancak, parçanın anma ölçüsü sınırları içerisinde olup olmadığı kontrol edilir. Bu şekildeki kontrollü ölçme işlemine, direkt (doğrudan) kontrollü ölçme denir.



Şekil 1.4. Doğrudan kontrollü ölçme

Bu ölçme işleminde, kontrol aleti parça üzerine veya içerisine geçiyorsa **GEÇER** veya geçmiyorsa **GEÇMEZ** olmak üzere minimum ve maksimum ölçü limitlerim göstermektedir. Ancak, ölçü büyüklüğünün veya küçüklüğünün miktarı ölçülemez (Şekil 1.4).

Sabit veya ayarlanabilen “GEÇER-GEÇMEZ” masterlarıyla yapılan doğrudan kontrollü ölçme işlemi zaman alıcı değildir ve üretimin artışı kolaylaştırmaktadır. Ancak, ölçü aletini kullanan operatörün el baskısı değişken olacağından, parça boyutlarının alt ve üst limitleri de değişken olacaktır. Ayrıca, “GEÇER-GEÇMEZ” ölçü

sınırları içerisindeki değişkenlerin çok olması nedeniyle istatistik kalite kontrolü için arzu edilmeyen ölçme işlemidir.

1.4 Ölçme Hataları ve Özellikleri

Ölçü aletleriyle yapılan boyutsal ölçme ve açısal kontrol işlemlerinde meydana gelebilecek hataların sebeplerini aşağıdaki şekilde açıklamak mümkündür,

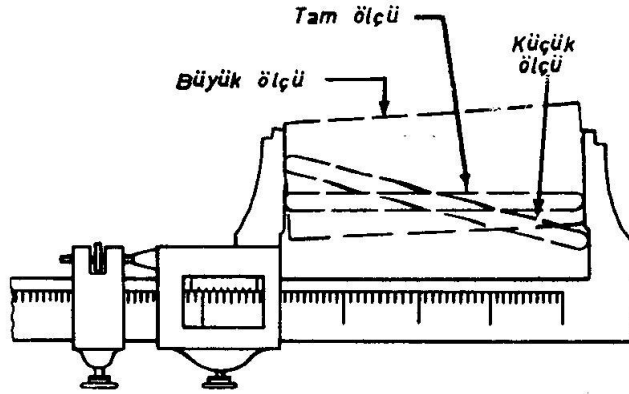
- Ölçü aletinden meydana gelen hatalar,
- Ölçme konumundan meydana gelen hatalar,
- Çevre etkisinden meydana gelen hatalar,
- Amaca uygun olmayan ölçü aletinin özelliklerinden dolayı meydana gelen hatalar,
- Ölçme anındaki baskı kuvvetinden dolayı meydana gelen hatalar,
- Okuma konumundan meydana gelen hatalardır.

1.4.1. Ölçü Aletinden Meydana Gelen Hatalar

Ölçme çeneleri, kayıt ve kızakları aşınmış ölçü aleti, hiçbir zaman ölçümü yapılan parçanın gerçek değerini göstermez. Ayrıca, ölçü aletinin yapımı sırasında veya iyi ayar edilmemiş olmasından dolayı meydana gelen hatalardır.

1.4.2. Ölçme Konumundan Meydana Gelen Hatalar

Ölçü aletinin parça üzerindeki ölçme konumuna uygun olarak yerleştirilemeyişinden meydana gelen hatalardır. Bu tip ölçme hataları, boyutsal ölçülerde ve açılarda sık sık meydana gelir. Şekil 1.5 de bölüntülü kumpasla ölçme konumları ve meydana gelebilecek hatalar gösterilmektedir.



Şekil 1.5. Kumpasla yapılan değişik ölçme konumları

1.4.3. Çevre Etkisinden Meydana Gelen Hatalar

Ölçme işleminin bulunduğu yerdeki sarsıntı ve standartlara uygun olmayan ısı değişiminden dolayı meydana gelen hatalardır. Ölçü aletleri, ölçme odası civarında takım tezgâhlarının meydana getirdiği titreşimden ve normal ölçme sıcaklığının (20 C°) altında veya üstündeki sıcaklıklardan etkilenir ve hatalı ölçme yapar.

Ölçü değişimine sebep olabilecek bu tip hataları gidermek için ölçme odası, sıcaklık farklarından ve titreşim veya sarsıntıdan etkilenmeyecek şekilde yalıtılır. Böylece, normal ölçme veya ölçü kontrolü hatasız olarak yapılabilir.

1.4.4. Amaca Uygun Olmayan Ölçü Aletinin Özelliklerinden Dolayı Meydana Gelen Hatalar

Çarpılmış, ölçme yüzeyi bozulmuş veya aşınmış ölçü aletlerinin ve birbirine uymayan standart mastarlarla blok setlerinden dolayı meydana gelen hatalardır. Örneğin; Tek blok mastarıyla yapılabilecek ölçü kontrolü yerine aşınmış veya yüzey kalitesi bozulmuş birkaç blok mastarı bir araya getirilerek ölçü kontrolü yapılıyorsa, hiçbir zaman gerçeğe yakın ölçü kontrolü yapılamayacaktır. Böylece, amaca uymayan ölçü aleti hataya sebep olacaktır.

1.4.5. Ölçme Anındaki Baskı Kuvvetinden Dolayı Meydana Gelen Hatalar

Ölçülen parça yüzeyinde ve ölçme aleti ucunda meydana gelebilecek şekil değişimine sebep, olan ölçme anındaki baskı kuvveti, ölçme hatasını meydana getirir. Büyük boyutlu ölçü aletleri, iki ucundan desteklenmiş bir kirişte olduğu gibi kendi ağırlığıyla (yerçekimi kuvvetinin etkisiyle) bir miktar şekil değiştirir. Bu da elle yapılan baskı kuvveti gibi ölçü aletini etkiler.

1.5. Kaynak Özetleri

Birbiriyle çalışan parçaların montajı yapıldıktan sonra problemsiz çalışabilmesi amacıyla ölçü toleransları uygun verilmelidir. Tolerans yığılmasını önlemek, ideal toleransları belirlemek için tolerans analizi gerekmektedir. Tolerans analizlerinde kullanılan yöntemlerin bir kısmı hareketli montajlarda kullanılan ve montajda vektör döngüleri ile momentlerin etkilerini göz önüne alarak hesaplamalar yapılabilen yöntemlerdir. Bu yöntemlerde montajda elde edilen fonksiyonlardan hareket edilerek tahmini varyasyonlar oluşturulur ve elde edilen tahmini değerlerden sonuca ulaşılmaya çalışılır. Samtaş ve Gülesin [2], kullanıcıya kolay analiz ortamı sağlayan ve her türlü montaj parçalarının analizlerini rahatlıkla yapabilen yeni bir 2B'li tolerans analiz yöntemi olan MAK-TOL tolerans analiz sistemi geliştirmiştir. Bu yeni yöntem ile

tasarım aşamasında bir geri besleme mekanizması oluşturulmuştur. Bu sayede montajda riskli görülen ölçülerin alabileceği varsayım tolerans değerleri yeniden hesaplanarak tasarımcıya sunulmaktadır. İmalat aşamasına geçmeden tolerans analizlerinin sonucu değerlendirilip, bilinmeyen toleranslar hakkında yorum yapılabilen ve hurdaya ayrılacak parça sayısı azaltılabilmektedir.

Gao et al. [3] dönel mil hatalarından yuvarlaklık hatalarını ayırmak için bir yer değiştirme ve bir açı sensörünün bilgilerini kullanarak dikey karma metot olarak adlandırılan tam yuvarlaklık ölçümü için yeni bir hata ayıklama metodu geliştirmiştir. Bu metot kullanılarak karma metodun özellikleri ve sensörlerin yerleşimi arasındaki ilişki incelenmiştir. Karma metodun çok iyi dengelenmiş harmonik cevabının yer değiştirme ve açısal sensörler arasındaki açının 90° 'ye açısal mesafede elde edilebileceği doğrulanmıştır.

Gao ve Kiyono [4] çalışmalarında silindirik parçaların makine üzerinde yuvarlaklık ölçümü için birleştirilmiş 3 nokta metodu adında yeni bir metot tanımlamıştır. Bu metotta geliştirilmiş ve ardışık 3 nokta metodlarının avantajlarını birleştirilmiştir. Birleştirilmiş 3 nokta metodunda geliştirilmiş 3 nokta metodu ile işlenen yuvarlaklık profilindeki bazı veri grupları referans noktalar olarak seçilmiş ve ardışık 3 nokta metodunun veri grupları arasındaki ilişkisini açıklamak için kullanılır.

Chen [5] yapmış olduğu çalışmada daha önce tam daire şeklindeki parçaların yuvarlaklık hatalarının değerlendirilmesinden dolayı, düşük fiyatlı bilgisayar donanımlarının gelişimiyle de geliştirilen görüş temelli ölçüm sisteminin uygulanabilirliğini doğrulamak amacıyla süresiz yüzeylere sahip bir çok parçayı test örneği olarak kullanmıştır. Yapmış olduğu deneyler neticesinde geliştirdiği yaklaşımın makina görüşlü uygulamalar için uygulanabilir ve yuvarlaklık ölçümlerinin otomasyonunun gerçekleştirilebileceğini göstermiştir.

Huang [6] yuvarlaklığın değerlendirilmesini lineer ve dış bükey olmayan problem olarak minimum alan kriterine dayanarak araştırmıştır. Hesapsal verimin artırılması için mevcut minimum radyal ayırım merkezinden toplanan tüm verileri optimum kriterle ulaşıncaya kadar en yakın ve en uzak noktadaki verilerin toplanmasıyla yeni bir strateji geliştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar neticesinde önerilen stratejinin hesaplama evresinin erken dönemlerde kritik verilere ulaştığı ve yuvarlaklık problemlerinde verimli bir yaklaşım verdiği görülmüştür.

Göleç [7] yapmış olduğu çalışmada silindirik bir imalat parçası olan motor gömleklerinin özellik-tabanlı modelleme sisteminden alınan özellikleri ve onlara ait

nitelik verileri kullanılarak, uzman bilgilerinden ve Bulanık C-Ortalamaları (FCM) algoritmasından faydalanılarak zeki bir süreç planlama sistemi geliştirmiştir. Bu sistemde, ilk önce ana işleme operasyonları olan tornalama, taşlama ve honlama ve daha sonra, toleranslar ve yüzey pürüzlülüğüne bağlı olarak, alt süreçler olan kaba, ön-finiş ve finiş operasyonlarını belirlemiştir.. Sonuç olarak, Kuru ve Sulu tip motor gömlekler için birer örnek süreç planı vermiştir.

Zhu et al. [8] koordinat ölçüm makineleri (CMM) ile elde edilmiş ölçüm noktalarını kullanarak mekanik parçaların daireselliğini değerlendirmek için kullanılan algoritmayı sunar. Çalışmalarında daireselliğin değerlendirilmesi diferansiyel olmayan optimizasyon problemi olarak formüle edilmiş, optimum çözüm için yeterli şartlar ve gereksinimlerin geometrik ifadesini esas almıştır. Dairesellik değerini bulmak için verimli bir optimizasyon prosedürü planlanmıştır. Mevcut yöntemlerle kıyaslayınca bu algoritmanın mevcut yöntemlere göre hesaplama verimi ve yüksek hassasiyet avantajlarının olduğu görülmüştür. Simülasyonlar ve pratik örnekler bu algoritmanın geçerliliğini onaylamıştır.

Liu et al. [9] koordinat ölçüm makineleri (CMM) ölçüm hatalarının şekil toleransı tahminlerine etkilerini incelemiştir. Çalışmada hataların tahminlere etkileri 3 grupta sınıflandırılmıştır.

1. En küçük kareler metodunun (Least Square(LS) substitute) geometri tahmini etkisi
2. En küçük kareler metodunun tolerans bölgesi tahminine etkisi
3. Minimum tolerans bölgesi tahminine etkileri

Sonuçlar Taylor hassasiyet katsayısı kullanılarak istatistiksel olarak incelenmiş ve nicel olarak tanımlanmıştır.

Çalışmada tanımlanan indisler ölçme hatasına koordinat ölçüm makinesi veri uydurma algoritmalarının hassasiyetini göstermiş olup değişik üretim ortamlarında koordinat ölçüm makinesi ölçme sonuçlarının doğruluğunun değerlendirilmesinde kılavuz olarak kullanılabileceğini göstermiştir.

Gleason ve Schwenke [10] çalışmalarında kürelerin daireselliğinin yüksek hassasiyetle ölçülmesi için otomatikleştirilmiş bir cihaz tanıtmıştır. Milin döndürülmesi yerine kürenin yüzeyi geometrik referans olarak alınmıştır. Ölçme metodu iyi bilinen Üç Nokta Metodu esasına göre yapılmıştır. Bu çalışmada iki nokta mekanik temas noktaları olarak alınır ve bir adedi de direk kürenin yüzeyine temas eden kapasitif ölçü

aleti olarak alınmıştır. Çalışma sonuçları düzeneğin hassasiyetini ve tekrarlanabilirliğini destekler şekilde ispatlamıştır.

Tan et al. [11] çalışmalarında hassas makinelerde geometrik hataların telafisinde kullanılabilir dinamik S-fonksiyonlarının otomatik oluşturulması için geliştirilmiş algoritmayı içerir.

Fonksiyon makinaların geometrik hatalarında temel teşkil edecek Neural Network yaklaşımlarından oluşmaktadır ve laser interferometre ve kullanıcı spesifikasyonları tarafından sağlanan basit kalibrasyon bilgilerine göre otomatik olarak hassasiyet gereksinimlerine göre oluşturulmuştur.. Metot 2 adet XY tablasının hatalarının tespitinde kullanılmış ve değerlendirme testlerinin sonuçları tüm geometrik hataların azaldığını göstermiştir.

2. KURAMSAL TEMELLER

2.1. Toleransların Tanımı ve Önemi

Makine imalatında parçaların teknik resminde verilen ölçülerinde, istenilen kalitede üretilmesi mümkün değildir. Parçaların imalatı sonucu elde edilen değerler, esas ölçülerden farklı olabilir. Aynı parçadan çok sayıda aynı tezgahta, aynı işçi tarafından yapıldığı durumda bile, hepsinin aynı ölçü aletleriyle ölçülmesi durumunda her birinin ölçüsü ve şekli arasında fark olduğu görülür.

Başka bir deyişle, teknik resim üzerindeki ölçülerin ve şekillerin parça üzerinde elde edilmesi mümkün değildir. Parçanın tam olarak elde edilmesine çalışmak ise, gereksiz zaman kaybına ve maliyetin artmasına yol açar.

Ancak iş parçasındaki bu farklılık birbiri ile temas eden veya birbirinin içine giren parçaların bir arada uyumlu olarak çalışmasını aksatmayacak kadar olmalıdır. Bunu ise toleranslar sağlar. Parçaların bir arada istenilen özelliklerde çalışmasını, kolayca montajını ve demontajını sağlamak için ilgili resimlerinde ölçü, şekil ve konum toleransı, yüzeyi ve malzeme özellikleri verilir. Bu değerler parçanın çalışma özelliği göz önünde bulundurularak seçilir. Özellikle bozulan, aşınan ve bu yüzden değiştirilmesi gereken parçaların yerine geçecek yedek parçaların üretiminde toleransların önemi büyüktür.

Arıza sonucu değiştirilmesi gereken bir parçanın sökölüp, yerine karşılıklı değiştirilebilme prensibi temelinde üretilmiş yenisinin takılması, makineyi hemen faaliyete geçireceğinden ekonomik açıdan önem taşır. Bütün bu sebeplerden dolayı teknik resimlerde toleransların gösterilmesi zorunlu hale gelmiştir.

2.2. Şekil ve Konum Toleransları


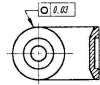
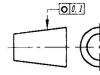
Makine parçalarının üretiminde karşılıklı yer değiştirilebilme prensibine bağlı olarak uygunluk sağlamak için boyut toleransları ile birlikte ayrıca hassas şekil ve konum toleransları kullanılması zorunludur. Buna ait standartlar TS 1304'de verilmiş olup teknik resimler üzerinde şekil ve konum toleranslarının (Şekil, yön, konum ve yalpalama) sembollerle gösterilmesi ilkelerini kapsar. Bu standartta şekil ve konum toleranslarına ait semboller Şekil 2.1'de gösterilmiştir[12].

Tolerans Uygulanacak Özellikler		Sembol
Tek elemanlar için şekil	Doğruluk	—
	Düzlemsizlik	□
	Dairesellik	○
	Silindiriklik	○
Birbirleriyle ilgili elemanlar için yön	Herhangi bir çizginin şekli	—
	Herhangi bir yüzeyin şekli	—
	Paralellik	//
	Diklik	⊥
Birbirleriyle ilgili elemanlar için konum	Eğiklik	∠
	Bir elemanın konumu	⊕
	Ortak merkezlilik ve eş eksenlilik	⊙
	Simetriklik	≡
Yalpalama	Yalpalama	↗
	Toplam yalpalama	↗↗

Şekil 2.1. Şekil ve Konum Toleransları Sembolleri

2.2.1. Dairesellik (Roundness)

Dairesellik, parça eksenini dik kesen düzlemdeki bütün elemanların dönme eksenine eşit mesafede olma şartıdır. Parça eksenini dik kesen düzlemdeki elemanların tolerans mesafesinde eş eksenli iki daire içinde olması koşulu daireellik toleransı olarak adlandırılır [13].

= DAİRESELİK TOLERANSI =	
<p>Söz konusu düzlem içinde, tolerans bölgesi t aralıklı ve ortak merkezli iki daire ile sınırlanmıştır.</p> 	<p>Disk çevresi, genişliği 0,03 olan daireel bir halka içinde bulunmalıdır</p>  <p>Her disk kesitin çevresi genişliği 0,1 olan daireel bir halka içinde bulunmalıdır.</p> 

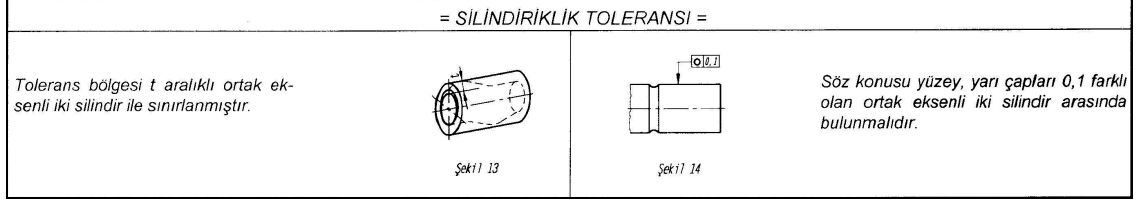
Şekil 2.2. Dairesellik Toleransının Gösterimi

Dairesellik toleransı;

1. Sadece silindirik yüzeylere uygulanır.
2. Parça özelliklerinden bağımsızdır. Sadece daireellik ölçümü için parça eksenine ilişkilidir.
3. Çap ölçüsü sınırları içerisinde olmalıdır.
4. Genel olarak parça tolerans mesafesinin yarısından az olmalıdır [13].

2.2.2. Silindiriklik (Cylindricity)

Silindiriklik bir yüzeyin merkez etrafında döndürülmesiyle üzerindeki tüm noktaların bir eksen den aynı uzaklıkta olduğu durum olarak tanımlanır. Silindiriklik toleransında parça yüzey elemanlarının tolerans mesafesinde ve eş merkezli iki silindir arasında olması koşulu aranır.



Şekil 2.3. Silindiriklik Toleransının Gösterimi

Silindiriklik toleransı;

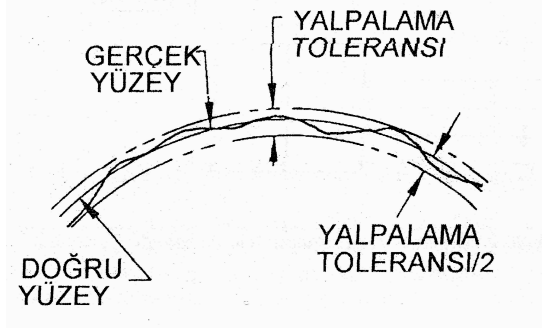
1. Sadece silindirik yüzeylere uygulanır.
2. Çap özelliğinden bağımsızdır. Sadece silindiriklik ölçümü için parça eksenine ilişki halindedir.
3. Aynı zamanda parça yüzeyinin dairesellik, doğrusallık ve paralellik toleranslarını da kontrol eder.
4. Çap ölçüsü sınırları içerisinde bulunmalıdır. Bu tolerans parça tolerans sınırını aşamaz.
5. Genel olarak parça tolerans mesafesinin yarısından az olmalıdır [13].

2.2.3. Yalpalama (Salgı, Runout)

Yalpalama, ekseni etrafında döndürülen parça yüzeyinin kusursuz durumundan sapma miktarıdır. Salgı toleransı, parçanın yuvarlaklığı, doğrusallığı, dikliği ve eşeksensizliği hatalarının toplamıdır. Yalpalama toleransı parça özelliklerine 2 şekilde uygulanır;

1. Dairesel yalpalama
2. Toplam yalpalama

Dairesel yalpalama, parça yüzeyinin referans eksene göre 360° döndürüldüğü durumda gerçek dairenin doğru daireden farkıdır. Parça yüzeyinin referans eksene göre 360° döndürüldüğü durumda gerçek dairenin doğru daireden sapma miktarı yalpalama toleransını oluşturur.

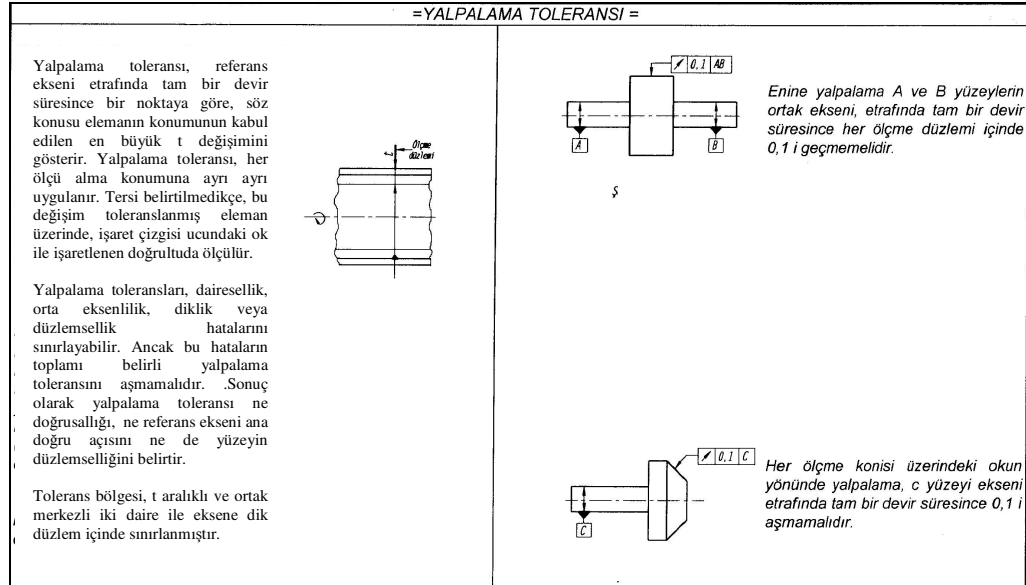


Şekil 2.4 Gerçek ve doğru yüzey tanımı

Dairesel yalpalama;

1. Yüzeyin her konumuna uygulanabilir.
2. Dönme eksenine normal yüzeylerde, diklik toleransını kontrol eder. Yüzeyin içe doğru ve dışa doğru yaptığı bombeyi tespit edemez.
3. Dönme eksenine dik ölçümlerde yüzeyin eş eksenliliğini kontrol eder fakat yüzeyin doğrusallığı ve paralellliğini kontrol edemez.

Toplam salgı ise eksen boyunca tüm yüzeyin referans eksen etrafında döndürülerek ölçülen toplam hatadır. Parça yüzeyinin referans eksene göre 360° döndürüldüğü durumda gerçek yüzeyin doğru yüzeyden sapma miktarı toplam yalpalama toleransını oluşturur.



Şekil 2.5 Salgı Toleransının Gösterimi

2.3. İşleme Hassasiyeti

2.3.1. İşleme Hassasiyetini Etkileyen Faktörler

Biri tezgahta imal edilen gerçek parça, diğeri teknik ressam tarafından resimlenen ve tanımlanan parça olmak üzere iki parça karşılaştırıldığında bunların farklı oldukları görülür. Gerçek parçanın teknik resimdekinden farklılık derecesi, imalatın kalitesine bağlıdır ve bu, işlemenin hassasiyetini belirtir.

Parçalar genellikle; düzlemsel, silindirik veya konik yüzeylerin sınırladığı geometrik şekillerdir. Gerçek parçanın, tasarlanan parçaya ne ölçüde uygun olarak imal edilebileceği şu ana faktörlere bağlıdır:

1. Şeklin veya geometrik özelliklerin hassasiyeti, yani, parçanın çeşitli kısımlarının (yüzeylerinin) tarif edilen geometrik gövdeye yaklaşma derecesi,
2. Parçanın kısımlarının (yüzeylerinin) ölçüsel hassasiyeti,
3. Aynı kısımlarının (yüzeylerinin) birbirlerine uyumlarının hassasiyeti,
4. Yüzey kalitesi, yani, gerçek pürüzlü yüzeyin istenilen doğru yüzeye yaklaşabilme derecesi.

İşlenen yüzeyin şekli ve kalitesi, bu yüzeyi işleyen tezgahın dişli düzeninin mükemmellik derecesini belirtir, kinematik anlamda işlenen yüzey işleyen dişli düzeninin aynasıdır.

Çeşitli yüzeylerin ebatları ve bu yüzeylerin birbirleri ile koordinasyonunu sağlayan ölçüleri, imalatta kullanılan takım tezgahlarında otomatik olarak elde etmek olanaksızdır. Eğer tezgahta çok hassas boyutlara ulaşılması isteniyorsa, bu durumda özel işleme metotları uygulanmalı ve daha birçok şart yerine getirilmelidir. Bu şartlar içerisinde, kalıp ve bağlama aparatlarının sağlanması, kesici takımların oldukça karmaşık bir düzenle yerleştirilip bağlanmaları v.b. sayılabilir. Son analizde, işlenen parçanın büyüklüğünün, kesici takımın tezgah kızaklarına göre pozisyonuna bağlı olduğunu belirtmek gerekir.

Koordinasyon hassasiyeti (yüzeylerin bir birlerine göre durumlarının ve uyumlarının hassasiyeti) sadece tezgahın hassasiyetine değil, iş parçasının tezgaha hangi pozisyonda bağlandığına da bağlıdır, örneğin, parçanın tezgaha bağlanışında yapılan bir hata bu hassasiyeti ortadan kaldıracaktır.

İşlenen gerçek parça ile teknik resimde tarif edilen parça arasındaki farklılıklar, hatanın büyüklüğünü belirtir.

2.3.2. Geometrik Özelliklerdeki Hatalar

Geometrik özelliklerdeki hatalar (sapmalar), gerçek yüzeyin teknik resimde belirtilen kusursuz yüzeyden sapma miktarına bağlı olarak tarif edilir ve aşağıdaki şekilde sınıflandırılabilir:

1. Silindirik şekilden sapmalar: tam dairesel olmayışı, kesitinin üçgen gibi görülmesi, fıçı şeklini alması, yay şeklini alması, doğruluğunun hatalı olması veya boydan boya konikleşmiş olması.

2. Gerçek yüzeyden sapmalar: doğruluğun noksan olması, yüzeyin tam düzgün olmayışı, iç bükeylik, dış bükeylik.

3. Yüzeylerin birbirleri ile doğru koordinasyonundan sapmalar: eksenlerin birbirleri ile aynı doğru üzerinde olamamaları, çap ölçüsünün kaçırılması, eksen boyunca ölçünün kaçırılması, birbirini kesen eksenlerin yanlış tespit edilmeleri, paralel olmayış, yassı yüzeylerin gönyesiz olmaları.

Doğru silindirik şekilden sapmalar- tam dairesel olmayış (buna ovallık denir): Aynı kesitteki maksimum ve minimum çaplar arasındaki fark olarak tanımlanır (Şekil 2.6.a). Buna göre:

$$\Delta = D - d \quad (2.1)$$

Bazı durumlarda dairesellik toleransı çap toleransından büyük olabilir, örneğin, ince cidarlı burçların veya manşonların işlenmesi sırasında bunlar deforme olurlar, yuvarlaklıklarını kaybederler, ancak montaj esnasında doğru şekillerini alırlar. Bu hallerde çapsal hata, nominal çapa göre ölçülmüş maksimum ve minimum çapsal sapmaların toplamının yarısı olarak kabul edilir.

Basıklık miktarı ise, basılmış kesit şeklin, içerisine sığdırılabildiği dairenin çapı ile parçanın yüzeylerine teğet olan düzlemler arasındaki uzaklığın farkına eşittir(Şekil 2.6.b). O halde,

$$\Delta = D - l \quad (2.2)$$

Burada basılmış kesit ile tarif edilen şekil, çeşitli malzemelerden çizilmiş ve birbirini kesen yayların sınırladığı şekil olarak belirtilebilir.

Fıçı şeklinin (Şekil 2.6.c) ve yay şeklinin (şekil 2.6.d) miktarı ise, iş parçasının uçlarındaki ve ortasındaki kesitlerin çapları arasındaki fark olarak tanımlanır. O halde,

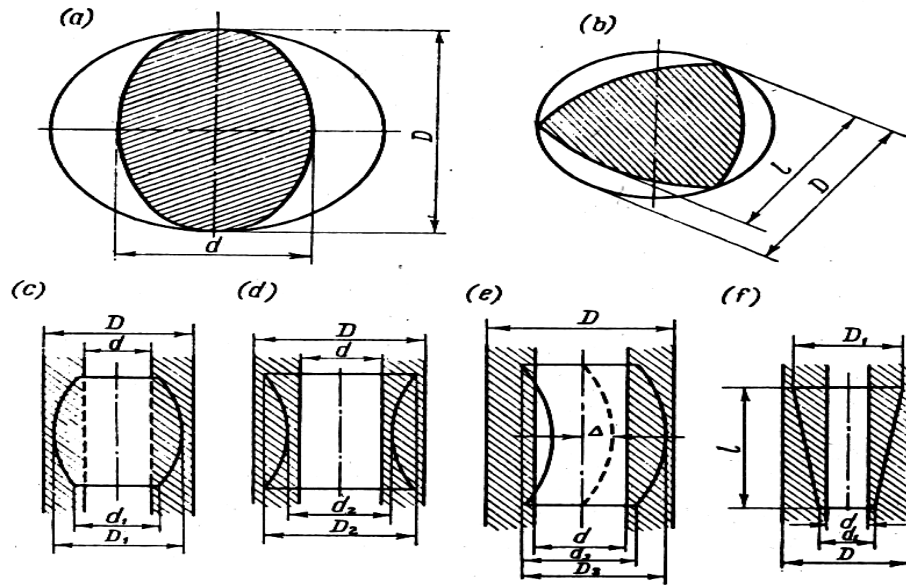
$$\Delta = D_1 - d_1 \text{ ve } \Delta = D_2 - d_2 \quad (2.3)$$

Silindirik bir yüzeyin doğruluktan sapma derecesi, silindir boyunca alınan kesitlerin merkezlerinin meydana getirdiği çizginin eğriliği ile ölçülür(Şekil 2.6.e). O halde,

$$\Delta = D_3 - d_3 \quad (2.4)$$

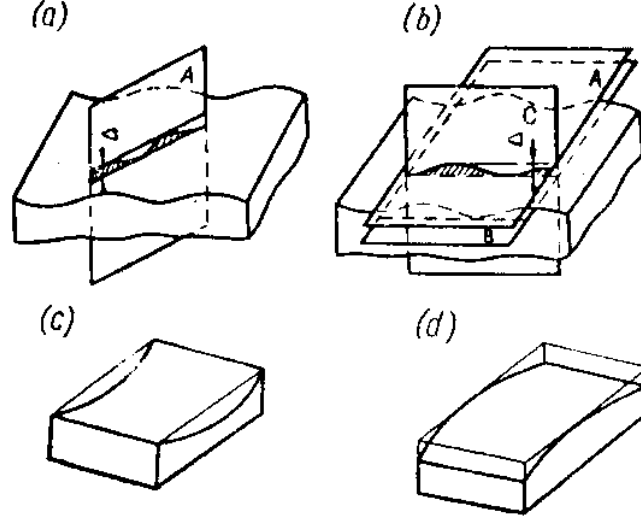
Koniklik ise karşılıklı iki elemanın (yüzeyin) arasındaki paralelliğin kaybedilmesi demektir. Bu, iki ayrı noktada alınan kesitlerin çapları arasındaki farkın bu noktaların birbirlerine olan uzaklığına bölünmesiyle elde edilir(Şekil 2.6.f). O halde,

$$\Delta = \frac{D_1 - d_1}{l} \quad (2.5)$$



Şekil 2.6 Enine ve boyuna kesitlerde doğru silindirik şekilden sapmalar a) Ovallık, b) Üçgen Şekilli, c) Fıçı Şekilli, d) Yay Şekilli, e) Doğruluk Kusuru (Eğrilik), f) Koniklik.

Yassı bir yüzeyin doğruluk kusuru (eğrilik), incelenen yüzeye dik olarak inen bir A düzlemi üzerindeki iki paralel çizgi arasındaki Δ uzaklığı olarak tanımlanır. A düzlemi, yüzeyi istenilen doğrultuda keser ve iki paralel çizgi şeklinde görüldüğü gibi kesit profilini alttan ve üstten sınırlar. (Şekil 2.7.a).



Şekil 2.7 Yassı yüzeylerin doğru şekilden sapmaları.

a) Doğruluk Kusuru (Eğrilik), b) Yassılık Kusuru (Kesitin profili taranmış olarak gösterilmiştir), c) İçbükeylik, d) Dışbükeylik.

Yassılık kusuru ise incelenen yüzeyi sınırlandıran paralel A ve B düzlemleri arasındaki Δ olarak tanımlanır. Δ uzaklığı, A ve B düzlemlerine dik olan C düzlemi üzerinde ölçülür. (Şekil 2.7.b).

Doğruluk ve yassılık kusurlarının basit şekilleri olarak içbükeylik ve dışbükeylik belirtilebilir.

İçbükeylik (konkavlık-şekil 2.7.c), gerçek yüzey üzerindeki noktaların, kenardan ortaya doğru gittikçe artmak üzere doğru düzlem yüzeyden sapmaları olarak tanımlanır.

Dışbükeylik (konvekslik- şekil 2.7.d), gerçek yüzey üzerindeki noktaların, kenardan ortaya doğru gittikçe azalmak üzere doğru düzlem yüzeyden sapmaları olarak tanımlanır.

2.3.3. Takım Tezgahı-Bağlama Aparatı-Takım-İş Parçası Sisteminin (TBTİ)

Rijitliği

Takım tezgahı, bağlama aparatı, takım, iş parçasından meydana gelen sistemin elemanları, kesme kuvvetinin etkisi altındadır ve bu kesme kuvveti, bu elastik sistemin içerisinde deformasyonlara neden olur.

Bu sistemin böyle deformasyona sebep olan kuvvet hareketlerine karşı koyabilme kapasitesi, o sistemin rijitliğini gösterir.

İşleme hassasiyeti, takım ile işlenen yüzey arasındaki uzaklığın değişmesine neden olan bu tip elastik deformasyonlardan büyük ölçüde etkilenir. Tezgah-bağlama

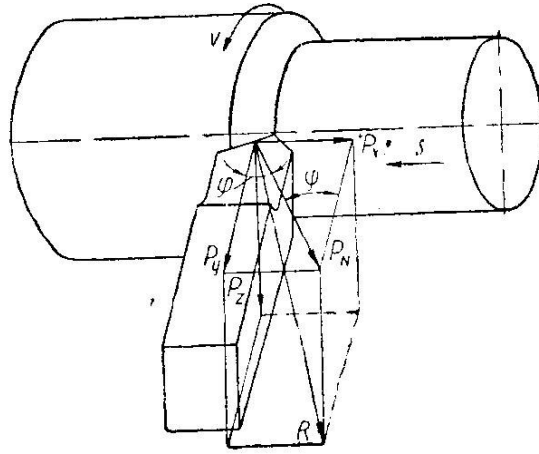
aparatu-takım-iş parçası sisteminin rijitliği, işlenen yüzeye dik doğrultudaki radyal kuvvetin, torna klemi kesici ağzının (takım) bu kuvvetle aynı yönde ölçülen sapma miktarına oranı olarak tanımlanır.

Bir TBTİ sisteminin rijitliği (j):

$$j = \frac{F_y}{y} [kgk/mm] \text{ dir.} \quad (2.6)$$

Burada; F_y : radyal kuvvet, kgk

y : kesici ağzın sapma miktarı, mm.



Şekil 2.8. Tezgah-Bağlama Aparatı-İş Parçası sistemi üzerine etkleyen kuvvetlerin diyagramı

Burada kesme (teğetsel) kuvveti F_z ile çoğu zaman da (eksenel-ilerleme) F_x kuvvetinin de bu elastik sistemin rijitliğini etkilediğini belirtmek gerekir.

Bunlara göre, bir torna tezgahının arabasının rijitliği; F_y ve F_x kuvvetlerinin aynı anda ortak etkisinde kaldığındaki rijitliği, sadece F_z kuvvetinin etkisi altında kaldıklarında, torna aynası ve arka puntanın rijitlikleri daha azdır.

Şekil 2.8 elastik bir sistemin elemanları üzerinde etkili olan kuvvetler diyagramını göstermektedir. Eğer takım tezgahı-bağlama aparatı-takım-iş parçasından meydana gelen sistem (TBTİ), bu kuvvetlerin etkisi altında deforme olmuyorsa bu durumda torna tezgahında işlenen parça, doğru geometrik şekilde ve tam istenen d çapında olacaktır. Bununla beraber F_z , F_y , F_x kuvvetleri bu elastik sistemi deforme ederler ve bunun sonucu olarak da iş parçasının çapı parça boyunca değişiklik gösterir. O halde, $d_x = d - \Delta d_x$ dir. Burada Δd_x verilen d çapındaki hatayı gösterir. İşleme sırasında F_z , F_y ve F_x kuvvetleri ne kadar büyük olursa hata da o ölçüde büyük olacaktır.

TBTİ sisteminin rijitliği; takım tezgahının, bağlama aparatının, takımın çeşitli noktalardaki durumuna bağlı olarak işlenen yüzey boyunca çeşitli noktalarda değişiklikler gösterir.

Rijitlik kavramı, ancak sistemin elemanları ayrı ayrı incelendiğinde bir gerçek değer ifade eder. Buna göre, takım tezgahının rijitliği onun birimlerinin deformasyon kuvvetlerine ne dereceye kadar dayanabildiklerini ifade eder. Burada iş parçası ve takımın kesinlikle rijit oldukları kabul edilmektedir.

Takımın veya bağlama aparatının rijitliği söz konusu olduğunda, takım tezgahının ve iş parçasının kesinlikle rijit olması halinde diğerlerinin elastik deformasyon kuvvetlerine dayanabilme kapasiteleri anlaşılır.

Deformasyonların hesabında sadece F_z , F_y ve F_x kuvvetlerini dikkate almak yeterli değildir. Çalışma koşullarına bağlı diğer faktörleri de dikkate almak gerekir, bunlar arasında; iş parçasının ağırlığı, iş parçasının ve bağlama aparatının takım tezgahının hareket eden parçaları üzerinde hareket sırasında meydana getirdiği etki, dengelenmemiş (balanssız) döner parçaların sebep oldukları merkezkaç kuvvetlerin etkisi sayılabilir.

Özellikle yüksek üretim kesim hızları ve ilerleme hızları uygulanıyorsa takımların yeterince rijit olmaları kesinlikle gereklidir. Eğer rijitlik düşük ise bu durumda kesme ve ilerleme hızlarının azaltılması ve böylece işleme hatalarının izin verilebilir sınırlar içerisinde tutmak gerekir.

Takımın deformasyonu, özellikle derin deliklerin işlenmesinde hassasiyeti çok büyük ölçüde etkiler, çünkü delik işleme kalemi (uzun bir sap ucuna tespit edilmiş kalem düzeni) elastik sistemin en zayıf elemanıdır.

Kalıp ve bağlama aparatının rijitliği de tezgah işleme hassasiyetini büyük ölçüde etkiler. Bu nedenle bunlar tasarlanırken deformasyonlarının izin verilebilecek sınırlar içerisinde kalabilecek şekilde olmasına büyük özen gösterilmelidir.

Bir TBTİ sisteminin rijitliğini hesaplamak için yeni bir kavram, birim sapma W kavramı ortaya atılmıştır. Bu, esasında rijitliğin tersidir. Yani,

$$W = \frac{1}{j} [mm / kgk] \quad (2.7)$$

Buna göre torna kaleminin kesici ağzının sapması:

$$y = \frac{F_y}{j} \cdot 1000 = F_y \cdot W [mikron] \text{ dur.} \quad (2.8)$$

Bir TBTİ sisteminin bütün elemanlarının ve ona bağlı basit manivela düzenlerinin rijitliğini birim sapma esasına göre hesaplarken, sistem rijitliği için şu genel formül kullanılır:

$$W = W_1 + W_2 + W_3 + W_4 + \dots + W_n \quad (2.9)$$

Birim sapsmalar için rijitlik değerlerini yerlerine koyarsak:

$$\frac{1}{j} = \frac{1}{j_1} + \frac{1}{j_2} + \frac{1}{j_3} + \frac{1}{j_4} + \dots + \frac{1}{j_n} \text{ formülünü elde ederiz.}$$

Takım tezgahının rijitliği statik metotlarla saptanabilir, örneğin; takım tezgahının kısımlarını veya birimlerini tezgah çalışma halinde değilken yüklemek ve üretim metodu ile-tezgah çalışma halinde iken rijitlik testleri uygulama-şeklinde olabilir.

Statik metot veya statik rijitlik testi, takım tezgahının elemanlarını operasyon sırasında meydana gelen kuvvetlerin etkisine bırakmak ve ortaya çıkan deformasyonları ölçmek suretiyle yapılır.

Üretim metodunda, kesme şartlarının diğer elemanlarını sabit tutarak ve iş parçasından çeşitli derinliklerde kesmeler yaparak rijitlik testi yapılır. İşleme, kademeli bir kaba parçanın kısa bir bölümü üzerinde yapılır. Bu kademeyi veya faturayı tornada işlerken kesme derinliği (talaş kalınlığı) değiştirilir. Bu, radyal kuvvetin ve torna kaleminin bu kuvvete bağlı sapsmasını artırır, sonuç olarak kalemin tornaladığı çap biraz daha büyür. Kalemin sapsması ne kadar az olursa hata da o ölçüde az olur ve yine takım tezgahının veya işleme sisteminin rijitliği o ölçüde fazla olur. (bu testlerde iş parçasının deformasyonu dikkate alınmaz).

Bütün bu anlatılanlar bize, takım tezgahında yüksek işleme hassasiyeti elde etmek için TBTİ sisteminin yüksek düzeyde rijitliği arttırılırsa, o sistemin elemanlarının titreşimleri azaltılmış olur. Bunun sonucu olarak da takım tezgahının işleme hassasiyetinden bir şey kaybetmeksizin, kesme hızını, kesme derinliğini, ilerleme hızını arttırmak mümkündür.

2.3.4. Sıcaklık ve Diğer Faktörlerin İşleme Hassasiyetine Etkileri

Kesme işlemi sırasında işlemi yapan sistemin elemanları ısınır ve bu, ısınma veya termik hatalara sebep olur

Kesme sırasında meydana gelen ısı nedeniyle kesici takımın sıcaklığı yükselir ve bunun sonucu olarak kesici eleman boyu doğrultusunda genişir.

Tek uçlu bir takımın uç kısmı gövde kısmına göre daha çabuk ısınır. Dolayısıyla takımın çeşitli yerlerinde sıcaklık değişiklikleri görülür, bunun sonucu olarak da termik deformasyonlar olur.

Isınma, takım tezgahının operasyonu sırasında ortaya çıkar. Bu ısının bir kısmı özellikle ısının ortaya çıktığı kısımlara yakın makine parçalarının sıcaklığını yükseltirken, diğer kısmı havada dağılarak kaybolur.

Isı miktarında ve dağılımında meydana gelen herhangi bir değişiklik, takım tezgahının büyük kütleli parçalarında sadece çok küçük termik deformasyonlara sebep olur.

İşleme hassasiyeti (planyada olduğu gibi) işlenen yüzeye dik doğrultudaki termik deformasyona bağlı olarak kesici ağızla işlenen yüzey arasındaki uzaklığın değişmesinden etkilenir. Torna tezgahında, yataklar ve dişlilerdeki sürtünmeler nedeniyle esas ısınan kısım torna aynasıdır. Arka punta başlığı, araba ve yatak çok az ısınırlar ve bunların termik deformasyonlarının işleme hassasiyeti üzerindeki etkileri son derece önemsizdir.

İşleme sırasında iş parçası da ısınır. Eğer iş parçası düzenli ısınırsa (her tarafında eşit ısı dağılımı sağlanırsa) sadece boyutları değişir; eğer bu ısınma düzenli olmazsa bu kez parçanın şekli de değişir.

İş parçasının sıcaklığının ne kadar yükselebileceği; parçaya geçen ısının miktarına, iş parçası malzemesinin özgül ısısına, kesme değişkenlerine (kesme hızı-ilerleme hızı-kesme derinliği) bağlıdır, iş parçasının kütlesi ne kadar büyük olursa, o parça termik deformasyonlara o ölçüde az uğrar.

Eğer bir iş parçasından kaba talaş kaldırıldıktan hemen sonra ince paso verilirse parçanın ebadı şart koşulan ölçüden daha düşük olabilir. Çünkü kaba talaş alınırken ortaya çıkan ısı nedeniyle parça genişler ve ölçümde gerçek ölçüsünden (genleşmesiz) büyük görünür, hemen yapılan ince paso işlemenden sonra soğuyan parça çekme yapacağından elde edilen ölçü istenenden düşük olur.

Özellikle küçük et kalınlığına sahip iş parçalarından kalın talaş kaldırılarak yapılan işlemlerde çok büyük termik deformasyonlar görülür.

Bir TBTİ sisteminin elemanlarında görülebilecek termik deformasyon; tezgahın kullanılma süresine ve çalışma-durma hareketlerinin sıklığına bağlıdır. Termik deformasyonlar düzensiz olarak artar veya azalır. Kesme değişkenlerinden herhangi birisi değişince termik deformasyon hemen hızla artar ve sonra termik denge sağlanıncaya kadar

bu deformasyonun artışı daha düşük bir hızla devam eder. Termik dengeye ulaşıncaya kadar deformasyon sabit kalır.

Takım tezgahı nispeten daha kısa periyotlarda çalıştırılırsa termik deformasyonlar azaltılmış olur.

Takımın işlenen yüzeye dik doğrultuda aşınması (ölçüden düşme), işleme hassasiyetini çok büyük ölçüde etkiler. Bu aşınma, takımın iş parçasına göre izlediği yola bağlıdır, örneğin; kesme boyu veya takımın talaş kaldırarak kat ettiği uzunluk gibi.

Eğer takımın ömrü T dakika olarak biliniyorsa, bu takım ömrüne göre kesme boyunu saptayabiliriz. O halde,

$$l_m = v.T \quad (2.10)$$

Burada v m/dak olarak kesme hızıdır.

l_m kesme boyuna bağlı olarak işlenen yüzeye dik w aşınma boyu,

$$w = w_0 l_m \text{ metredir.} \quad (2.11)$$

Burada; $w_0 =$ bağıl aşınma.

Talaş kalınlığı ve genişliği, bağıl aşınmayı kesme hızından daha az etkiler. Bununla beraber kesme derinliğinin artması bağıl aşınmada belli bir artışa neden olur (yaklaşık % 20 oranında).

Kesici takım geometrisinde, bağıl aşınma üzerinde en çok etkili olan eleman, sırt açısı (α) dır. Bu açı 8° den 15° ye kadar çıkarılırsa, bağıl aşınma % 30 oranında artar.

Yukarıda sayılan faktörlerin dışında, işlenen malzemenin mekanik özellikleri de bağıl aşınmayı etkiler. Malzeme ne kadar sert, optimum kesme hızı ne kadar az olursa bağıl aşınma da o miktarda fazla olur.

Bir kesici takım kullanılmaya başlandığı zaman yani yeni iken daha sonraki haline göre çok daha hızlı aşınmaya uğrar. Bu aşınma şiddeti, takımın taşlanma ve keçelenme (lepleme) kalitesine bağlıdır. O halde başlangıçtaki aşınmayı da dikkate alarak takımın aşınma boyunu;

$$w = (l_i + l_m)w_0 \quad (2.12)$$

formülüyle hesaplanabilir. Burada l_i (500–1500 m arasında) başlangıç aşınmasının meydana geldiği kesme boyudur.

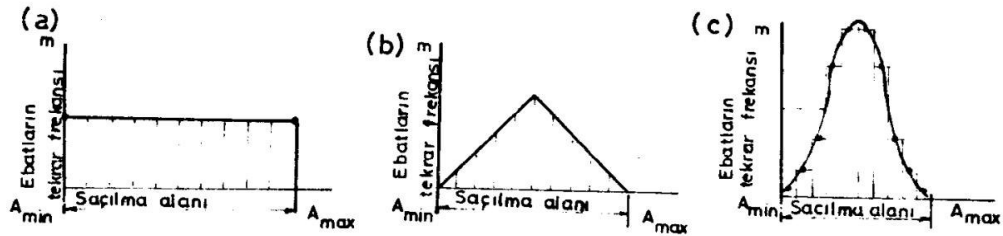
İş parçasında iç gerilmelerin (stress) yeniden dağılışı, işleme hassasiyeti üzerinde dikkate alınmayı gerektirecek ölçüde etkilidir. Bu tip iç gerilmeler genellikle döküm veya dövme kaba parçalarda, değişik soğuma hızlarının bir sonucu olarak ortaya çıkarlar.

2.4. İşlemede Ebatların Saçılması ve Ebat Frekansı Dağılım Kanunları

Tek bir yığından alınan benzer iş parçalarının ebatları birbirlerinden farklıdır. Bir yığındaki iş parçalarının tamamı aynı şartlar altında ölçülürse ebatlardaki maksimum fark saptanabilir. Bu maksimum farka ebatların saçılma aralığı denir. Bu aralık, verilen imalat şartları altında seçilen metodun hassasiyetini belirler.

İş parçasının yüzeyini işlerken ortaya çıkan hassasiyetsizlikler, hata nedeni faktörlerden ileri gelirler. İmalat mühendisliği, bu faktörlerin etkilerini teori ve pratikte hem ebatların saçılma aralığı, hem de ebat frekansı dağılım kanunları ile (frekans dağılım eğrisi ve bunun karakteristik parametreleri ile) belirlemektedir.

Bu kanunlara dayanarak işlenmiş parçaların hassasiyetleri ile ilgili problemler çözümlenirken, matematiksel istatistik ve olasılık hesapları teorisinde öngörülen metotlar uygulanır. Bu metotların uygulanmasıyla, verilen koşullarda işlenen parçada en fazla olasılıkla elde edilebilecek ebatlar saptanabilir. Tek bir yığındaki işlenmiş parçalar işlem sonucunda ölçülürler ve öngörülen tolerans sınırları içerisinde çeşitli gruplara ayrılabilirler, bu ayırmda ebatların belli eşit aralıklarla gruplandırılması gerekir. Eğer bir yığın yeteri kadar büyükse (≥ 100 parça) her grupta değişik sayıda iş parçası olduğu görülür. Bundan sonra belirtilen aralıklarla grup sayıları en küçükten en büyüğe ($A_{\min} \sim A_{\max}$) artan ebatlara göre yatay eksene ve her gruptaki iş parçası sayısı m dikey eksene işlenerek bir grafik çizilir (Şekil 2.9). m değeri ebatların tekrar edilme frekansını belirtir. Burada elde edilen eğri n adet iş parçasından meydana gelen tek bir yığındaki ebat frekansı dağılım kanununun bir ifadesi olarak kabul edilir. m/n oranı ise, rasgele bir olayın olabileme şansı sayısını göstermektedir (verilen halde herhangi bir hassasiyet kategorisindeki-derecesindeki-parça sayısı olarak alınabilir).



Şekil 2.9. Frekans dağılım eğrilerinin çeşitleri

İşlenen parça sayısına ve işleme sırasında elde edilen ebatlar üzerinde etkili olan faktörlerin etki derecelerine bağlı olarak, frekans dağılımı kanunu karakterize eden eğrinin şekli çok değişiklik gösterir. En tipik şekiller şunlardır:

1. Eşit olasılık kanununa göre frekans dağılım eğrisi,

2. Simpson kanununa göre eğri,
3. Normal frekans dağılımı kanununa uygun olan Gaussian eğrisi.

Tek bir yığındaki parçalar işlenirken eşit olasılık kanununa göre bir frekans dağılımı; ancak seçilen işleme metodu ve teçhizatı, ebat yalnızca bir faktöre bağlı ise (örneğin, takımın aşınması gibi) elde edilebilir. Takımın aşınması zamanla lineer (doğrusal) bir şekilde artarsa, iş parçalarının ebatları da kesinlikle sabit bir hızda değişecektir (şekil 2.9.a). Bu değişme hızı yapılan işlemin çeşidine bağlı olarak ya artacak veya azalacaktır. Böyle bir dağılım ancak diğer faktörlerin dikkate alınmayacak kadar önemsiz ve iş parçasının ebadı üzerinde etkisiz olmaları halinde söz konusu olabilir. Eğer TBTİ sisteminin rijitliği yetersiz ise ve sistemin elemanlarının aşınmalarına bağlı olarak ilave deformasyonlar meydana geliyorsa, iş parçalarının ebatları zamanla başka bir kanuna uygun olarak değişiklik gösterir. Bu iki faktörün yani, yetersiz rijitlik ve eleman aşınmasının ortak etkisi veya hareketi TBTİ sisteminin deformasyonunu artırır ve ebat frekans dağılımı (şekil 2.9.b) Simpson kanununa göre bir üçgen şeklinde olur.

İş parçaları işlenirken eğer diğer bütün faktörlerin etkileri aynı ise ve bu faktörlerden hiç biri diğerlerinden üstün değilse, verilen bir iş parçası yığımda, işlemin herhangi bir anında önceden belirtilmiş kesin ölçüyü elde etmek olanaksızdır. Bununla beraber, verilen en büyük olasılıkla beklenebilecek ebat, Gaussian eğrisi ile normal frekans dağılımına göre (şekil 2.9.c) saptanabilir. Bu ebat, verilen ebadı elde etmek için seçilen imalat işlemini karakterize eden ebat saçılma alanının ortasına rastlar.

2.5. İş Parçası Hassasiyetinin Analitik Metotla Kontrolü

İş parçalarının işlenmeleri sırasında, takım tezgahlarına bağlı olarak hataya sebep olan faktörlerin incelenmesi sonunda bu faktörlerle, ortaya çıkan hataların büyüklükleri arasında bir bağıntı kurulmuştur. Bu bağıntı, bu hataların azaltılmasını veya hatta tümüyle ortadan kaldırılmasını, böylece de hassasiyet kontrolü yapılmasını sağlamıştır. Bazı durumlarda bu hataya sebep olan faktörleri, diğer bazı hataları ortadan kaldıracak veya azaltacak şekilde etkilemek uygun olur.

Bütün bu faktörlerin ortak hareketi sonunda asıl hata denilen ve öngörülen ebatın ne derece sapıldığını saptayan hata ortaya çıkar. Bu asıl hata önceden bilinmeli ve bunun verilen ebat için saptanmış tolerans sınırını aşmasına izin verilmemelidir.

Verilen ebat grubunun sınırları içerisindeki hatalar şu şekilde sınıflandırılabilirler:

1. Sabit simetrik hatalar, örneğin; söz konusu bütün gruplar için aynı değerde olan hatalar,
2. Değişken simetrik hatalar, bunlar imalat işlemi sırasında düzenli olarak değişirler,
3. Rasgele hatalar. (Ebatların saçılması şeklindeki hatalar).

O halde, eğer bir yığındaki iş parçalarının hepsinin delikleri düşük çaplı bir rayba ile raybalanmışsa, bütün deliklerdeki hata sistematik ve sabit tipten hata olacaktır.

Rayba aşınmaya uğrayacağından çapı devamlı olarak küçülecektir. O halde birbirini izleyerek işlenen deliklerin çapları da düzenli olarak küçülecektir. Bu hata ise yine sistematik fakat değişken tipte olacaktır.

Birbirini izleyen iş parçalarının delikleri aynı rayba ile ve nominal olarak aynı koşullarda işlense bile deliklerin çapları belli çapların tolerans sınırları içerisinde değişiklik gösterecektir. Diğer bir deyişle delik ebatlarında rasgele ölçü sapmaları görülecektir. Bu da rasgele tipli değişikliklerle karakterize edilir.

Asıl hatayı saptamak için, bütün bu hataları büyüklük ve işaretlerini dikkate alarak üst üste toplamak gereklidir. Tiplerine bağlı olarak, ebatların saçılmalarına yol açan sistematik veya rasgele hatalar değişik bir şekilde toplanırlar.

Sabit sistematik hatalar cebirsel olarak toplanırlar (işaretleri dikkate alınarak). Bu, ya hataların artması ya da azalması ile veya birbirlerini yok etmeleriyle sonuçlanabilir.

Değişken sistematik hatalar (artı veya eksi herhangi bir işaretli) aritmetik olarak toplanırlar. Sonuç olarak ortaya çıkan hata en uygunsuz şartı belirler. Bu tip hatalar şunları kapsar; TBTİ sisteminin rijitliğine bağlı olarak geometrik şekilde ortaya çıkan hatalar, takıma bağlı hatalar, ayarlama hataları.

Elemanların hatalarının sistematik dağılımına bağlı sonuç hatası Δ şu formülle hesaplanır:

$$\Delta = \sqrt{k_1\Delta_1^2 + k_2\Delta_2^2 + \dots + k_n\Delta_n^2} \quad (2.13)$$

Burada k_1, k_2, \dots, k_n eleman hatalarının, frekans dağılım eğrilerinin tiplerine bağlı katsayılarıdır. Eğer bütün eleman hataları aynı frekans dağılım kanununa uyuyorsa bu durumda k_1, k_2, \dots, k_n katsayılarının her biri k katsayısına eşittir. Yani, bütün hatalar için katsayılar aynıdır.

Eleman hataları normal frekans dağılımı kanununa uydukları zaman minimum sonuç hatası elde edilir.

Takımın aşınmasına bağlı olarak asıl hata ($k = 1, 2 \sim k = 1,5$) artar. Çok yüksek takım aşınma hızlarında, elemanların hata eğrileri için çizilen frekans dağılım eğrisi eşit olasılık kuralına ($k = 1,7$) uyar.

Önceden ayarlanmış takım tezgahlarında, otomatik olarak ebat korunarak ve düşük takım aşınma hızlarında yapılan operasyonlarda, rasgele hataların pek çoğunda frekans dağılımı, normal frekans dağılımı kanununa çok yakındır.

Rasgele hataların frekans dağılımlarındaki esas karakteristikler şunlardır; aritmetik ortalama ebat ve standart veya ortalama karekök, sapma (ortalama ebat veya ölçü kavramı, iş parçasının; çap, boy, açı, paralellikten kaçma, yassılık, gönyesinde olmak, hizalı olmak v.b) gibi parametrelerinden herhangi birisine bağlıdır).

Aritmetik ortalama ebat L_{ao} şu formülle hesaplanır;

$$L_{ao} = \frac{L_1 + L_2 + L_3 + \dots + L_n}{n} \quad (2.14)$$

Burada $L_1, L_2, L_3, \dots, L_n$: Yığındaki iş parçasının ebatlarıdır.

n : Yığındaki kaba iş parçasının veya iş parçasının sayısı.

Ortalama karekök sapması σ_{oks} şu formülle hesaplanır:

$$\sigma_{oks} = \sqrt{\frac{(L_1 - L_{ao})^2 + (L_2 - L_{ao})^2 + (L_3 - L_{ao})^2 + \dots + (L_n - L_{ao})^2}{n}} \quad (2.15)$$

Çeşitli denklemlerle tanımlanan rasgele hataların belli frekans dağılımı kanunlarını karakterize eden matematiksel eğriler, deney yoluyla elde edilen eğrilerle değiştirilebilirler

O halde normal frekans eğrisi (y ordinatlı Gaussian eğrisi) şu şekli alır,

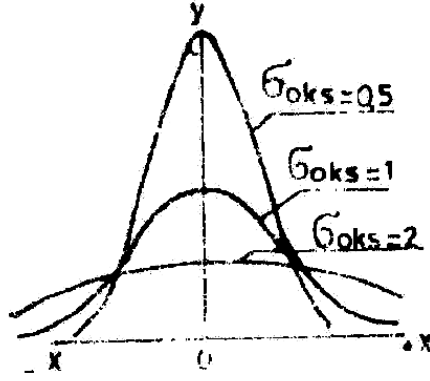
$$y = \frac{1}{\sigma_{oks} \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{x}{2\sigma_{oks}^2}} \quad (2.16)$$

burada σ_{oks} = Ortalama karakteristik sapma

$$x = L_1 - L_{ao}$$

e = Tabii logaritma tabanı

$\sigma_{oks} = 0,5, 1$ ve 2 değerleri için çizilen normal dağılım eğrileri şekil 2.10'da gösterilmiştir. Dağılım eğrisinin şeklinin, ortalama karekök sapmasına bağlılık derecesi saçılma alanını (düzensiz dağılıma) karakterize eder.



Şekil 2.10. Çeşitli σ_{oks} değerleri için normal dağılım eğrileri

σ_{oks} ne kadar küçük ise saçılma da o oranda az ve eğri o oranda sıkıştırılmış (dike yakın eğimli) olur. Eğer σ_{oks} büyükse saçılma daha belirgin ve eğri o oranda yayvandır.

Bir işleme hassasiyeti grafiği, (Şekil 2.10) işleme süresince sağlanan operasyon hassasiyetini karakterize eder. Bu grafik, pratik hesaplarda kullanılır ve şu sıra ile çizilir;

Önce A_0 ebadındaki değişiklikleri gösteren bir eğri çizilir. Bunu yapmak için, düzenli olarak değişen elemanlara bağlı hatalar, bir zaman serisine göre saptanırlar. Bunları matematiksel olarak toplayınca toplam düzenli değişken hata zamanın bir fonksiyonu olarak bulunur. O halde $\Delta_{düzl} = f(z)$.

A_0 için çizilen eğrinin her iki tarafında ani sapma değeri $\frac{\Delta_{as}}{2}$ veya ayarlamamanın sapma alanı değerleri Δ_{aysa} çizilir, böylece A_1 ve A_2 eğrileri elde edilir (ki buna sapmanın dizayn alanı denir). O halde,

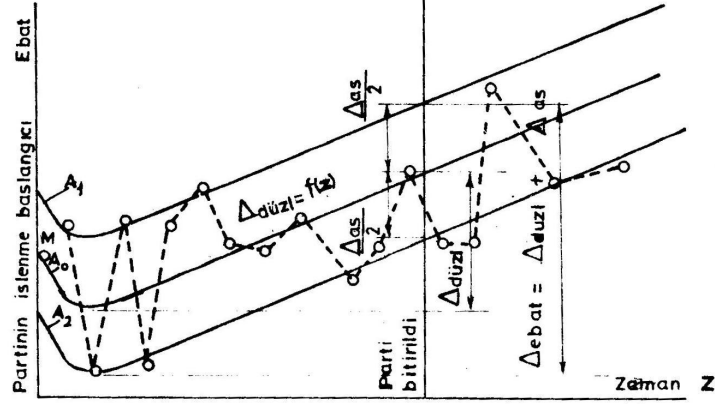
$$\Delta_{ebal} = \Delta_{düzl} + \Delta_{as} \quad (2.17)$$

$$\Delta_{ebal} = \Delta_{düzl} + \Delta_{aysa} \quad (\text{ayarlama sırasında}) \quad (2.18)$$

Grafiğin yapısı, verilen sapma alanı değerlerine bağlı olarak yapılan ön hesaplara ve ebat değişim eğrisinin, uygulanan toplam hata değişim kanununa göre çizilmesi esasına dayanır.

Araştırmada, deneylerden elde edilen noktalar grafiğe işlenir. Eğer bu noktalar dizayn alanı içerisinde kalıyorsa grafik uygun çizilmiş demektir.

Pratikte rasgele hataların % 99.73 ünün $\pm 3\sigma_{oks}$ aralığında olduğu saptanmıştır. Yani, bu aralık yığındaki incelenen iş parçalarının tamamının ebadını kapsamaktadır. Bu değer saçılma alanına eşit olarak alınabilir ($\Delta_{as} = \pm 3\sigma_{oks}$).



Şekil 2.11. İşleme hassasiyeti grafiği

Saçılmanın hesapla saptanmasında dikkate alınan ani toplam saçılma, yüke bağlı olmayan saçılma Δ_{abs} (ani bağımsız saçılma) ve yüke bağlı saçılma Δ_{as} ya göre hesaplanır. O halde,

$$\Delta_{as} = 1,2\sqrt{\Delta_{abs}^2 + \Delta_{as}^2} \text{ dır.} \quad (2.19)$$

Şekil hataları dikkate alınmayınca, yukarıda belirtilen standart hassasiyetler için Δ_{abs} (ince torna yapılırken) 11~35 mikron arasında değişir.

Δ_{abs} değeri şu formülle hesaplanabilir:

$$\Delta_{abs} = 1,2 \frac{\Delta_{ks}}{k} \quad (2.20)$$

burada; Δ_{ks} : Kaba malzemenin (parçanın) ebatlarındaki saçılmalar 0,1P ye eşittir. (P çapsal işleme payıdır).

k : Kaba parça malzemesinin (iş parçası) özelliklerine bağlı bir katsayıdır.

Grafiğin çiziminin teknik resimdeki ölçülerle de uyum sağlaması gerekir. (L_{min} ve L_{max} iş parçasının ölçü sınırlarıdır). Bu amaçla ilk nokta (Şekil 2.11) M saptanır. Bu nokta verilen iş parçası yığınının işlenmeye başladığı anı gösterir. Bütün yığının saçılma alanının orta noktası, tolerans alanının (δ) ortası ile çıkışacak şekilde ebat ayarlaması yapılarak faktörler arasında gerekli bağlantı sağlanmalıdır. H noktası verilen yığındaki iş parçalarının işlemlerinin bittiği anı göstermektedir. H ve M apsisleri arasındaki fark takım tezgahının birbirini izleyen iki ayrı arasındaki zamanı vermektedir.

2.6 İstatistiksel Olarak Hassasiyet Kontrolü

Bir imalat işlemi dengeli veya dengesiz ve aynı zamanda ayarlı veya ayarsız olabilir. Bunun sonucu olarak da iş parçaları ya düzenli ya da düzensiz kaliteli olabilirler. Düzenli kaliteli iş parçalarının kriterlerinde ihmal edilebilecek kadar küçük değişiklikler vardır. Düzensiz kaliteli iş parçalarında ise, parça ebatlarında ve diğer özelliklerde büyük ölçüde önemli farklılıklar, değişimler görülür.

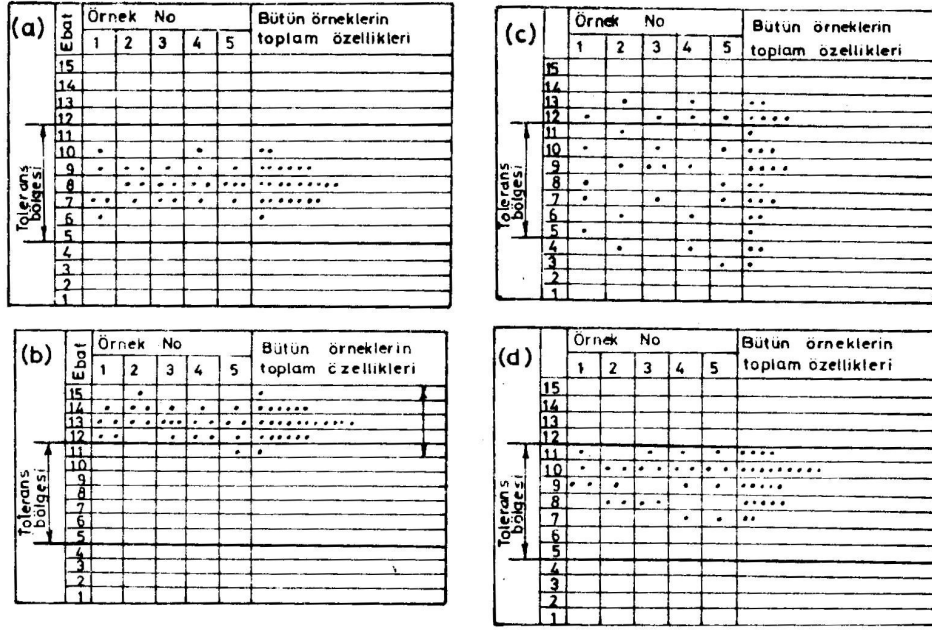
Frekans dağılımı eğrilerinin çizilme metodu (nokta nokta koordinatlı olarak), imalat işleminin tamamlanmış bir aşamasında ulaşılan işleme hassasiyetini saptamak için kullanılır. Parçaların işleniş sıraları dikkate alınmaz. Çünkü yığındaki bütün iş parçaları birbirlerine karışmış haldedirler. Sabit sistematik hatalarla değişen sistematik hatalar, rasgele hatalardan ayrılmazlar. Sistematik ve rasgele hataların etkileri, her iki halde de ebat saçılması dediğimiz genel isimle tanımlanırlar.

Yukarıda belirtilen dezavantajlar ve karışıklıklar, istatistiksel hassasiyet kontrolü metodu ile ortadan kaldırılmıştır. Bu metotta, tek tek ölçüm grupları düzenlenmektedir. Bu metot, uygulanacak imalat işleminin, frekans dağılım eğrilerine göre daha detaylı olarak araştırılmasını, incelenmesini sağlamaktadır. Bunlarında ötesinde, burada rasgele hataların etkilerinin sistematik hataların etkilerinden (sabit ve düzenli değişen hataların her ikisi) ayrılması mümkün olur.

Birbirini izleyen iş parçalarından alınan gerçek ölçüm değerlerinin karşılığı olan noktalar, grafik veya tabloya işlenerek, imalat işleminin içinde bulunduğu şartlar ve iş parçalarının kalitelerindeki düzenlilik saptanabilir.

İşlenmelerinden hemen sonra ölçüm için alınan birkaç iş parçası (veya örnek parça) bir örnek grup meydana getirir. Karşılaştırılabilir örnekler meydana getirebilmek için, bu örnek grup içerisinde her seferinde eşit sayıda iş parçası bulundurulmalıdır.

Verilen örnek grubun her örnek parçasından alınan ölçüm sonucu, ölçülen ebatlar için ayrılmış eksen veya cetvelin karşısına bir nokta şeklinde işlenir. Şekil 2.12 de verilen tablolar, benzer iş parçasından meydana gelmiş örnek gruplardan alınan örneklerin ölçüm sonuçlarını göstermektedir. Burada her bir gruptaki beş adet örnek parça, birer noktadan toplam beş nokta ile gösterilmektedir. Grupların numaraları da dikey kolonların başlarına yazılmıştır. Dikkat edilirse her dikey kolonda toplam beş nokta olduğu görülür.



Şekil 2.12. Tekil ölçüm tabloları

Şekil 2.12.a da düzenli ve iyi ayarlı bir üretim işlemi gösterilmektedir. Çünkü tek tek alınan (tekil) ölçümlerin karşılığı olan noktaların hepsi tolerans sınırları içerisindedir ve frekans dağılım eğrisinin ortası, tolerans bölgesini yaklaşık olarak iki eşit parçaya bölen doğrunun üzerinde bulunmaktadır.

Şekil 2.12.b de sapmaların orta pozisyonu çok simetrik bir durumdadır. Fakat artan ölçüler yönünde büyük ölçüde kaymaktadır. Diğer bir özellik de saçılma alanının tolerans bölgesinden küçük olmasıdır. Bütün bunlar bize üretim işleminin yeterince düzenli olduğunu, ancak iş parçalarının genel boyutlarını azaltmak için yeni bir ayarlama yapılmasının gerekli olduğunu göstermektedir. Bu ayarlama yapılırca iş parçasının kalitesini (ebadını) belirleyen bütün noktalar tolerans sınırları içerisine düşecektir.

Şekil 2.12.c, iş parçasının kalitesini (ebadını) belirleyen noktalarda büyük ölçülerde sapmalar olduğunu göstermektedir. Saçılmaların ortasının tolerans bölgesinin ortasına rastlamasına karşın, noktalar tolerans sınırları içerisinde değildir. Böyle bir tablo, üretim metodunun geliştirilmesi gerektiğini göstermektedir (İkinci bir paso verilmesi veya torna tezgahı yerine taşlama tezgahında işleme yapılması v.b.).

Dördüncü tablo (Şekil 2.12.d) saçılma merkezinin kaymasına sebep olan sabit bir sistematik nedenin olduğunu göstermektedir. Buna göre, bu nedeni ortadan kaldırmak için takım tezgahının yeniden ayarlanması gerekmektedir.

Bu tip tablolar sadece tek bir yığından alınan iş parçaları üzerinde yapılan ölçümleri belirtmek için değil aynı zamanda birbiri ardına işlenen yığınlar için de nokta nokta çizilir veya düzenlenirler. Burada her yığın birbiri ardına işlenmiş çeşitli iş parçalarından meydana gelmiş gruplara ayrılır. Apsis eksenini boyunca noktalanmış değerler iş parçası sayısını (veya örnekleri) değil grup sayısını göstermektedir. Bu halde, bir grubun ortalama değerlerinin dağılımı (gruptaki iş parçalarının ebatlarının aritmetik ortalamaları) çeşitli iş parçalarının ebatlarındaki saçılmalardan daha az olacaktır. Bir imalat işleminin ayarlamalarını minimum düzeye indirmek veya bunu olabildiğince az gerekir hale getirmek için, iki ayarlama arasında bütün tolerans bölgesinin kullanılması gerekir. Bu, tolerans bölgesinin karşı tarafındaki bir ebat değeri ile başlanarak yapılabilir. Bu değer öyle seçilmiştir ki, buna ulaşıncaya parça işlemeyi durdurup, yeniden ölçü ayarlaması yapmak gerekir. Aksi halde derhal kaçık ölçülü veya ölçü dışı parçalar üretilmeye başlanacaktır. Bu, tolerans bölgesinin ortasındaki bir değerle başlamakten daha iyidir. Ebat ayarlamasını gerektiren son ebat sınırındaki bir değerle başlamak ise çok daha kötüdür.

2.7. Frekans Dağılımı Eğrisi Alanından Hatalı Parça Oranının Saptanması

Gerçek ebatların gözlemlere, ölçümlere bağlı olarak elde edilen eğrileri genellikle kırık çizgiler halindedir. Bu nedenle böyle eğrilere dayanarak ortaya bir kural çıkarma olanağı yoktur. Gerçek ebatların eğrisini, teorik dağılım eğrisi ile karşılaştırmak ve teorik dağılım eğrisine ne ölçüde yaklaşabildiğini saptamak için, bu eğrilerin her ikisi de aynı ölçekle grafiğe işlenirler.

Aritmetik ortalama sapma L_{ao} ve ortalama karekök sapma σ_{oks} bilindikten sonra, her gözlem için normal frekans dağılım eğrisini çizebiliriz. Aritmetik ortalama sapma, normal frekans eğrisinin (merkezi eğilim) pozisyonunu belirler, ortalama karekök sapma değeri ise bu eğrinin yüksekliğini ve genişliğini belirtir.

Eğer Tablo 1'de verilen $\sigma = 1$ için aşağıdaki formülle hesaplanan y ordinat değerleri kullanılırsa, normal frekans dağılımı eğrisinin çizimindeki grafik işlem basitleştirilmiş olur;

$$y = \frac{10000}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{z^2}{2}} \quad (2.21)$$

Burada $\pi = 3,14$

e = tabii logaritma tabanı (e = 2,718)

$$z = \frac{x}{\sigma}$$

$$x = L_i - L_{ao} : \text{merkezi eğilimden ölçülen apsis değeri}$$

Tablo 2.1 z-y ordinat değerleri

$\pm z$	0	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0
$\pm y$	3989	3521	2420	1295	540	175	44

Normal frekans dağılımı eğrisinin bir kolunu çizmek için pratikte 5~7 nokta yeterlidir. Bu, x apsis ekseninde bu noktaların karşılığı olan değerlerin koyulmasını gerektirir.

Buna göre, eğrinin yüksekliğini belirleyen apsis üzerindeki ilk değer $x = 0$ dır, son değer ise $x = 3\sigma$ dan büyük olmaması gerekir. Bundan sonra, $z = \frac{x}{\sigma}$ değerleri hesaplanır ve bunların karşılıkları olan y ordinatları bulunur.

Normal frekans dağılımı eğrisini gerçek ebat saçılma eğrisi ile aynı ölçeğe (frekansa) getirmek için y ordinatları bir ölçek kat sayısı ile çarpılır. Bu durumda:

$$m_2 = y \frac{n\Delta_x}{10000\sigma} \quad (2.22)$$

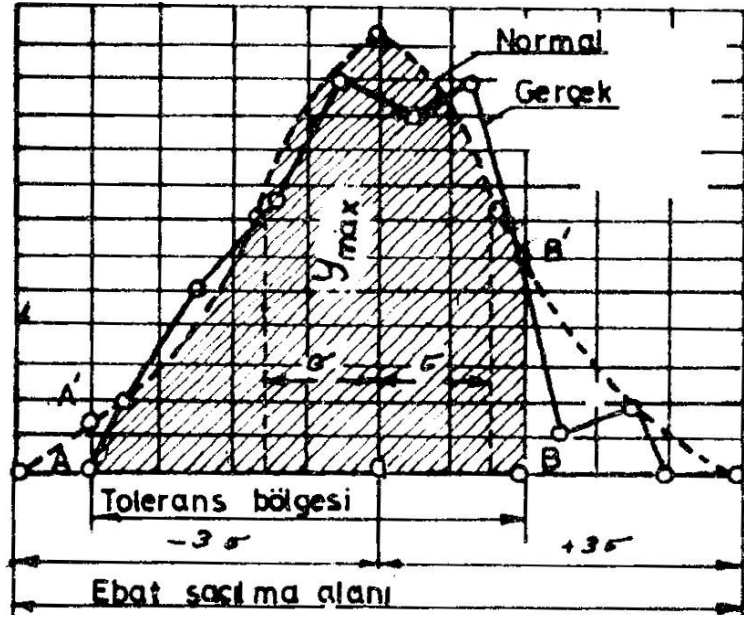
olur, burada m_2 : normal frekans dağılımı eğrisinin ordinatıdır. Bu ordinatın ölçeği, gerçek ebat saçılma eğrisinin ölçeği ile aynıdır.

Δ_x : gerçek ebat saçılma eğrisi çizilirken apsis ekseninde alınan aralıkların büyüklüklerini gösterir (aynı σ birimi ile belirtilir)

Bundan sonra normal frekans dağılımı eğrisi çizilirken elde edilen noktalardan yumuşak bir çizgi geçirilir (Şekil 2.13).

Normal frekans dağılımı eğrisinin sınırladığı alan, saptanmış belli bir ölçeğe göre, verilen yığındaki iş parçalarının tamamını gösterir. Bu alanın, AA' ve BB' doğru parçaları ve normal dağılım eğrisi arasında kalan kısmı (taranmış kısımlar) tolerans sınırları içerisinde kalan parçaları gösterir. Tolerans sınırları içerisinde iş parçası elde edebilme olasılığı, taranmış alanın bu eğri ile sınırlanmış toplam alana oranı ile hesaplanır; taranmamış kısımlar bozuğa çıkarılacak iş parçalarının miktarını gösterir. O halde bu alanların, eğri altındaki toplam alana oranlarını hesaplayıp 100 ile çarpılarak verilen bir imalat işlemindeki bozuk parça yüzdesini hesaplanabilir.

Sapmanın merkezinin (merkezi eğilim) her iki tarafındaki alanları (üst ve alt tolerans sınırları ile çevrelenen) saptarken yukarıda verilen Gaussian eğrisinin denkleminde yararlanılır. Burada bağımsız değişken $z = \frac{x}{\sigma}$ dir. İntegral ifadesini $\phi(z)$ ile gösterirsek;



Şekil 2.13. Gerçek ve normal frekans dağılım eğrileri

$$P = \frac{n}{N} = \phi(z) \quad (2.23)$$

elde edilir. Burada P = bağıl frekans (olasılık)

n = yararlı durum sayısı

N = olabilir durum sayısı

$\phi(z)$ = bir tarafında orta değer (eğrinin simetri eksenini) diğer tarafında belli değerlerin değişmelerini gösteren sınırla sınırlanan ve normal frekans dağılımı eğrisinin yarısının altında kalan alan.

Çeşitli $z = \frac{x}{\sigma}$ değerleri için $\phi(z)$ değerleri tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2.2 $\frac{\phi(z)}{2}$ değerleri (normal frekans dağılım eğrisi altındaki sınırlayıcı alanların yarısı)

Z	$\frac{\phi(z)}{2}$	z	$\frac{\phi(z)}{2}$	z	$\frac{\phi(z)}{2}$	z	$\frac{\phi(z)}{2}$
0,00	0,0000	0,90	0,3160	1,80	0,4640	2,70	0,4965

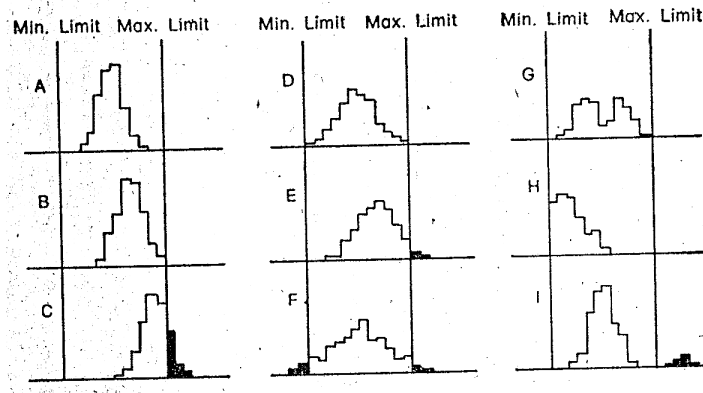
0,05	0,0200	0,95	0,3290	1,85	0,4680	2,75	0,4970
0,10	0,0400	1,00	0,3415	1,90	0,4715	2,80	0,4975
0,15	0,0595	1,05	0,3530	1,95	0,4745	2,85	0,4975
0,20	0,0795	1,10	0,3645	2,00	0,4775	2,90	0,4980
0,25	0,0985	1,15	0,3750	2,05	0,4800	3,00	0,4985
0,30	0,1180	1,20	0,3850	2,10	0,4820	3,05	0,49865
0,35	0,1370	1,25	0,3945	2,15	0,4840	3,10	0,4990
0,40	0,1555	1,30	0,4030	2,20	0,4860	3,20	0,4995
0,45	0,1735	1,35	0,4115	2,25	0,4880	3,30	0,4995
0,50	0,1915	1,40	0,4190	2,30	0,4895	3,40	0,4995
0,55	0,2090	1,45	0,4265	2,35	0,4905	3,50	0,49975
0,60	0,2255	1,50	0,4330	2,40	0,4920	3,60	0,49985
0,65	0,2420	1,55	0,4395	2,45	0,4930	3,70	0,49990
0,70	0,2580	1,60	0,4450	2,50	0,4940	3,80	0,49993
0,75	0,2735	1,65	0,4495	2,55	0,4945	3,90	0,49995
0,80	0,2880	1,70	0,4555	2,60	0,4955	4,0	0,49997
0,85	0,3025	1,75	0,4600	2,65	0,4960	5,0	0,4999999

2.8. Frekans Dağılımlarının Yorumlanması

Bir olaydaki değişimleri gösteren frekans dağılımına bakarak yorumda bulunmak veya olayları etkileyen faktörler hakkında tahminler yapmak mümkündür. Fakat frekans diyagramları değişimin niteliklerini daha kolay görme olanağı sağlar. Şekil 2.14’de çeşitli tiplerde frekans dağılım grafikleri verilmiştir. Yatay ekseninde bir tornadan çıkan millerin çaplarındaki ölçü sapmalarının gösterildiği varsayılarak her bir durum için aşağıdakileri söylemek mümkün olur;

- A) Değişkenlik, yani ölçü sapmalarının dağılım aralığı izin verilenden daha dardır. Ortalama sapmanın limitlere göre konumu iyidir. İşlemin başarılı uygulandığı, toleransların biraz daha daraltılabileceği söylenebilir.
- B) Değişkenlik yine az olmakla beraber ortalama değer üst limite tehlikeli bir biçimde yaklaşmıştır. Hatalı parça sayısının artması beklenmelidir.
- C) Bir önceki maddede sözü geçen tehlikeli durum gerçekleşmiştir. Ortalama değer aşırı derecede sağa kaymasının nedenleri araştırılmalıdır. Tezgah ve ölçü aletlerinin ayarları kontrol edilmelidir.

- D) Değişkenlik izin verilen sınırlar içerisinde olmakla beraber fazla yaygın durumdadır. Üst ve alt limitler dışına taşması olasılığı oldukça yüksektir. İşleme yöntemi, tezgah ve takımlar üzerinde çalışılarak dağılıma aralığını daraltmak veya tolerans limitlerini genişletme olanakları araştırılmalıdır.
- E) Ortalama değer bir miktar sağa kayması ile bir önceki diyagramda bahsedilen durum oluşmuş ve üst limiti aşan kusurlu parça sayısı artmıştır.
- F) Ortalama değer konumu değişmemekle beraber dağılımın yaygın olma durumu biraz daha artmış ve her iki limiti aşan kusurlu parça sayısında artış gözlemlendiği ortaya çıkmıştır. (E) ve (F)'deki sorunları giderebilmek için (D)'de belirtilen çözümler üzerinde durulmalıdır.
- G) İki tepe noktalı bu dağılım tipi, farklı karakteristikli iki tezgah kullanma, takım değiştirme, malzeme hatası, işçilik vb. nedenlerle ortaya çıkar.
- H) Normal görünümlü bu dağılım soldan alt limit tarafından kesilmiştir. Daha önce tüm parçalara uygulanan bir muayene neticesinde alt limitin dışına çıkan bütün parçalar ayıklanmıştır. Elde kusurlu parça yoktur, fakat işlemden bir hata kaynağının bulunduğu bellidir ve giderilmesi yönünde bir çözüm gerekmektedir. Ortalamanın biraz daha sağa kaydırılabilmesi ile problem çözülmüş olacaktır.
- İ) Üst limitin dışında kalan küçük dağılım tezgah, tertibat yada takımlarda bir süre değişik ayarla işlem yapıldığını gösterir. Tezgah operatörünün uyarılması ile düzeltilme olanağı bulunmaktadır[14].



Şekil 2.14 Çeşitli frekans dağılım tipleri

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Deney Düzenegi

Geometrik kusurlar boyutsal gibi kaçınılmazdır. Gerçek kusurlar araştırılarak ve denenerek belirlenmiş tasarım toleransları içinde kaldığı sürece parçanın işlevini yerine getireceği düşünülür. Bir parçanın şekil ve konum toleranslarının belirlenmesinde, farklı yöntemler ve cihazlar kullanılarak geometrik kusurların tespit edilmesi mümkündür.

Bu çalışmada, silindirik bir parçanın tolerans analizinin gerçekleştirilmesi amacıyla küçük bir sistem geliştirilmiş ve imal edilmiştir. Bu sistem bir XY tablası, pleyt, parçanın merkezlenmesini sağlayan sabit puntalar ve gövdesi, adım (Step) motor, adım motor sürücü kartı, LVDT (Lineer Variable Differential Transducer), veri toplama kartı, sisteme güç sağlayan güç kaynağı, yükseltici (amplifikatör) ve elde edilen verilerin işlenmesini sağlayan yazılımdan oluşmaktadır. Aynı zamanda komparatör ve multimetre yardımcı ekipmanlar olarak kullanılmıştır.



Şekil 3.1 Deney Düzenegi

3.1.1. XY Tablası

XY tablaları çoğunlukla çok hassas konumlama gerektiren uygulamalarda kullanılır. Deneylerde kullanılan XY tablası, adım motorunun hareketini üzerindeki vidalı mile iletilmesiyle bir eksendeki hareketini gerçekleştirilir. Bu eksendeki hareket mesafesi 40 cm'dir. Bilyeli vidalı millerde somun ve mil arasında çelik bilyeler bulunmaktadır. Bu sayede verim artırılır, aşınma azaltılabilir ve uzun ömür sağlar. Bu özelliğinden dolayı yüksek hızlanma ve yavaşlama gerektiren uygulamalar için idealdir. Tabla üzerindeki vidalı mile bağlı araba milin dönmesiyle hareket eder. Bu şekilde arabaya bağlı LVDT'nin de hareketi sağlanmış olur. Tabla üzerindeki vidalı milin adımı 5 mm'dir. Tablanın 2. hareket eksenine ise punta başlarına bağlı silindirik numunenin tepe yüzeyinin bulunması amacıyla kullanılır. Bu tepe yüzeyinin bulunması için komparatörden faydalanılmıştır. Tablanın 2. ekseninin hareket mesafesi 30 cm'dir. Ayrıca tablanın düzlemselliğinin sağlanabilmesi için ayarlanabilir pabuçlar takılmıştır. XY tablasında iskelet malzemesi olarak Etal 165 sert alüminyum kullanılmıştır. Hareket eksenlerinde indüksiyonla sertleştirilmiş miller üzerine kayar rulmanlar kullanılarak kılavuzlama gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.2 Vidalı mil ve somun bağlantısı

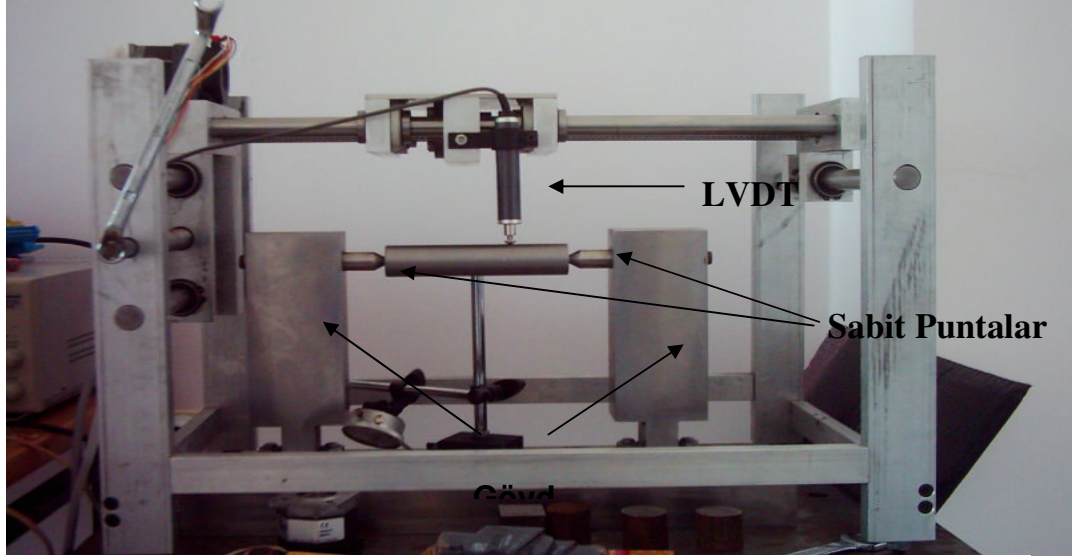
3.1.2. Pleyt

XY tablasının ve sabit puntaların üzerine oturtulacağı pleyt döküm yolu ile imal edilmiş ve yüzeyi 90° taşlanmıştır. Pleyt, düzlemselliğinin ayarlanabilmesi amacıyla ayaklarına ayarlanabilir pabuçlar monte edilen bir masa üzerine yerleştirilmiştir. Hem pleytin üzerine yerleştirildiği masa hem de XY tablasının ayaklarına ayarlanabilir

pabuçların monte edilmesi, laboratuvar zemininden kaynaklanabilecek yüzey kusurlarının etkisini ortadan kaldırmıştır.

3.1.3. Sabit Puntalar ve Gövdesi

Tolerans ölçümü yapılacak numunenin merkezlenmesi ve deney sırasında gerekli işlemlerin rahatlıkla yerine getirilmesi amacıyla kullanılan sabit puntalar ve gövdesi şekil 3.2’de gösterilmiştir. Gövde St 1040 çelik malzemeden imal edilmiştir. Ayarlanabilir gövdesi sayesinde 20 cm uzunluğa kadar silindirik parça bağlanabilir.



Şekil 3.3 Sabit Puntalar ve Gövdesi

3.1.4. Adım (Step) Motor

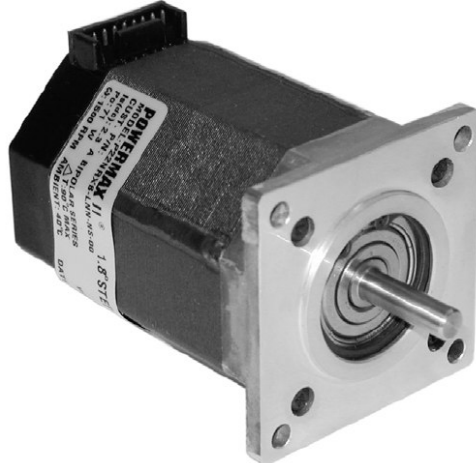
Adım motorları hareket ve konumun hassas olarak kontrol edilmesinin gerekli olduğu yerlerde kullanılan özel motorlardır. Adından da anlaşılacağı üzere, adım motorları belirli adımlarla dönerler. Bu adımlar, motorun sargılarından uygun olan birine darbeli gerilim uygulanarak kontrol edilirler. Motorun tasarımına bağlı olarak, adım motorları 90° , 45° , 18° , 15° , 7.5° veya 1.8° gibi açı aralıklarında dönebilirler.

Adım motorları saat yönünde dönebilecekleri gibi saat yönünün tersi yönünde de dönebilirler. Bu yön, faz sargılarına uygulanan darbe gerilimlerinin sırasına bağlı olarak değişir.

Adım motorunun davranışı motoru süren güç kaynağına bağlıdır. Güç kaynağından elde edilecek darbeler mikroişlemci veya bilgisayar tarafından kontrol edilirler. Darbeler bilgisayar tarafından sayılır ve kaydedilir. Saat yönündeki darbeler (+) iken,

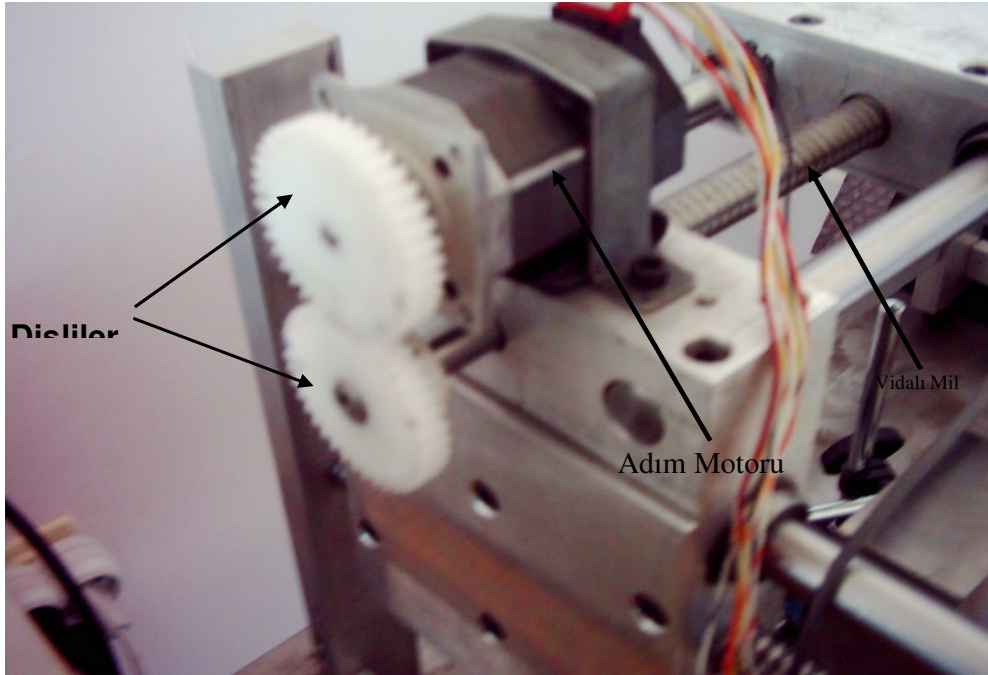
saat yönünün tersindeki darbeler (-) olarak işlem görürler. Bu nedenle, her zaman için adım motorlarının adım sayıları bilinmektedir. Adım aralıkları tam olarak bilindiğinden devir sayısı ve mile bağlı yükün pozisyonu da tam olarak bilinmektedir. Bu özelliğinden dolayı, adım motoru çok hassas pozisyon kontrolü gereken cihazlarda kullanılmaktadır.

Bu çalışmada kullanılan adım motoru yüksek radyal ve eksenel yüklere dayanabilen bir adım motoru olup, 1.8° adım açısına sahiptir. Buna göre, motorun bir turunu tamamlaması için 200 adım atması gerekmektedir.



Şekil 3.4 Kullanılan adım (step) motor

Adım motor hareketini XY tablası üzerindeki vidalı mile iletmektedir. Adım motor ve vidalı mil arasındaki bağlantı dişliler kullanılarak sağlanmıştır.



Şekil 3.5 Adım motor ve vidalı milin dişlileri ile bağlantısı

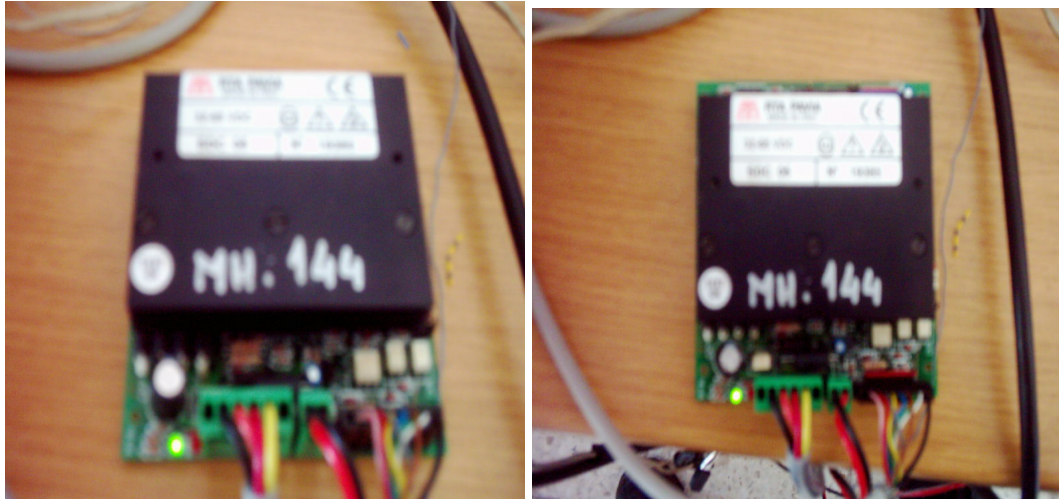
Aşağıdaki tabloda düzeneğin üzerinde kullanılan adım motoruna ait teknik özellikler verilmiştir.

Tablo 3.1 Adım motorun teknik özellikleri

Bağlantı Türü			Tork (N-m)	Faz Direnci (ohm)	Faz İndüktansı (mH)	Tutma Torku (N-m)	Termal direnç ($^{\circ}\text{C}/\text{watt}$)	Rotor Ataleti ($\text{kgm}^2 \times 10^{-3}$)	Ağırlık (kg)
Paralel	Seri	Unipolar							
●			1.79	0.38	1.7	0.12	4.5	0.025	2.5
	●		1.79	1.52	6.8				
		●	1.26	0.76	1.7				

3.1.5. Adım Motor Sürücü Kartı

Adım motor sürücü devreleri bilgisayar ile motor arasında bağlantıyı sağlayan elektronik kartlardır. Deney düzeneğinde kullanılan adım motor sürücü kartı motorun bir turunu 400, 500, 800, 1000, 1600, 3200 ve 4000 adıma bölebilecek şekilde ayarlanabilmektedir. Aynı zamanda yüksek sıcaklık, aşırı voltaj ve kısa devre gibi sürücü karta zarar verebilecek olaylara karşı koruma mevcuttur.



Şekil 3.6 Adım motor sürücü kartı

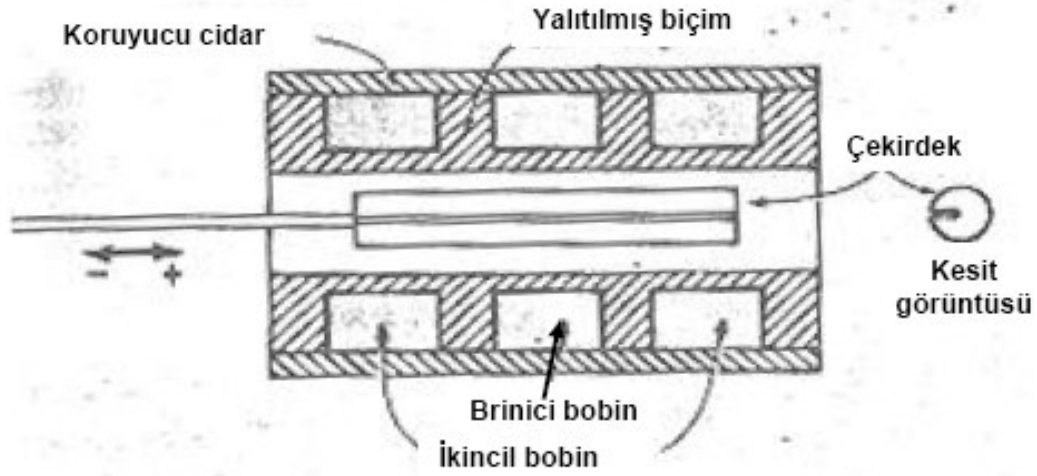
Adım motor sürücü kartı MATLAB'da yazılan program ile adım motoru arasındaki bağlantıyı sağlayarak adım motorunun hareket etmesi gerçekleştirilmiştir. Tablo 3.2'da adım motor sürücü kartına ait özellikler verilmiştir.

Tablo 3.2 Adım motor sürücü devresine ait özellikler

Özellikleri	Model Numarası	SDC 06
Maksimum Besleme Voltajı (VDC)		75
Minimum Besleme Voltajı (VDC)		32
Maksimum Motor Akımı (A)		6.0
Minimum Motor Akımı (A)		3.4

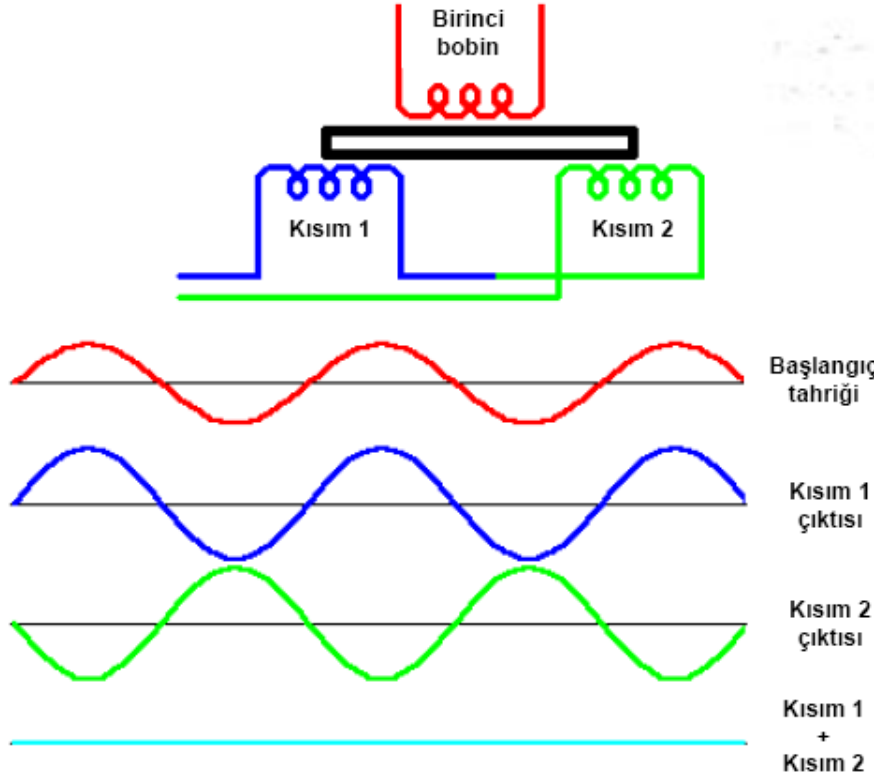
3.1.6. LVDT (Linear Variable Differential Transducer)

LVDT'ler alınan fiziksel değişkeni elektrik sinyaline dönüştüren aygıtlardır. Çalışma şekli şu şekildedir: Manyetik çekirdek sarımların arasında serbest olarak hareket eder. Birinci sarım alternatif akımla beslenmektedir.



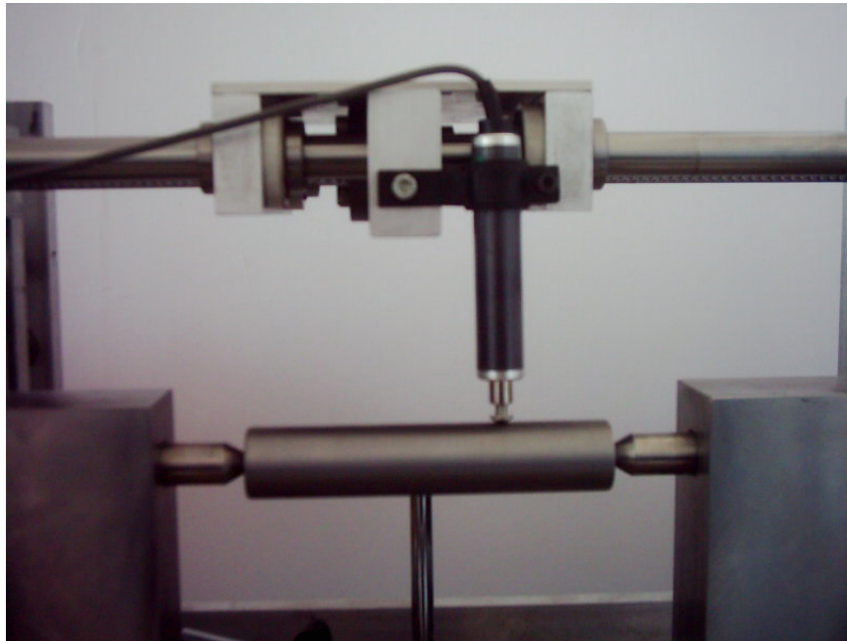
Şekil 3.7 LVDT'nin iç yapısı

Çekirdeğin konumuna göre ikincil sarımda meydana potansiyel fark yer değiştirme ile doğru orantılıdır. Lineer özelliğinden dolayı LVDT (Linear Variable Differential Transducer) adını alır.



Şekil 3.8 Çekirdeğin konumuna göre kısımlardaki voltaj değişimleri

Deneyleerde kullanılan LVDT silindirik numunenin tolerans aralığının değişimini ölçmek üzere kullanılmıştır. LVDT ± 5 mm ölçme aralığına sahip olup, 2000×10^{-6} gerilme/mm hassasiyete sahiptir.



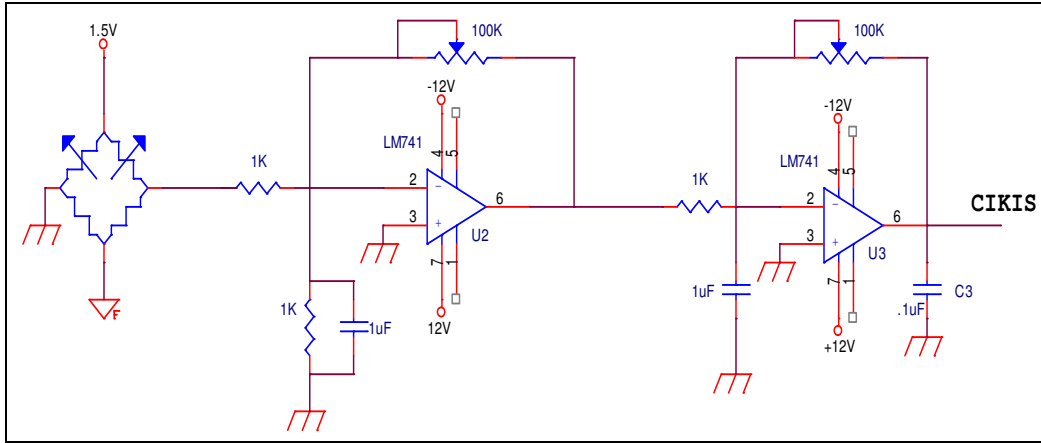
Şekil 3.9 LVDT'nin XY tablasına bağlantısı

3.1.7. Veri Toplama Kartı

Deneylerde kullanılan bilgisayar Pentium 200MMX işlemciye sahip bir bilgisayardır. Bilgisayara ADVANTECH marka, PCL-812PG modelinde bir veri toplama kartı takılmıştır. Kartta 16 12-bitlik analog giriş kanalı, iki 12-bitlik analog çıkış kanalı, 16 dijital giriş kanalı ve 16 dijital çıkış kanalı bulunmaktadır. Kartın analog sinyal okuma hızı 30 kHz'dir. Bu çalışmada kartın analog giriş kanalı LVDT'den gelen konum bilgilerini okumak ve kayıt altına alınabilmesini sağlamak amacıyla kullanılmıştır.

3.1.8. Yükseltici (Amplifikatör)

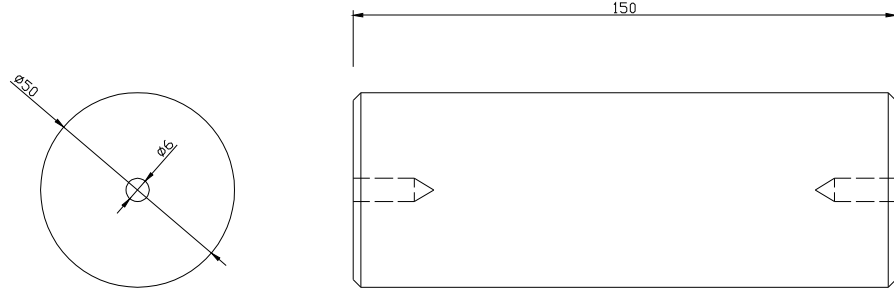
Deneyde LVDT'den gelen voltaj değerinin yükseltilmesi amacıyla yapılan yükselticiye ait devre şeması aşağıdaki şekilde verilmiştir.



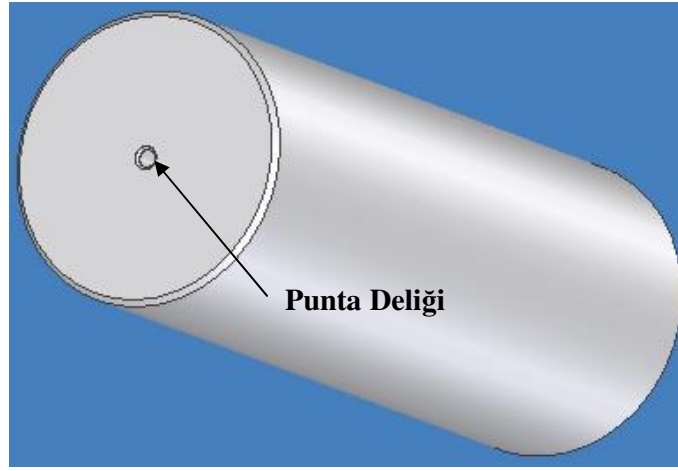
Şekil 3.10 Yükselticiye ait devre şeması

3.2. Deney Metodu

Ölçümlerde kullanılmak üzere 5 adet 50 mm çapta h5 mil toleransına sahip St 1040 çeliğinden numuneler %1 hassasiyete sahip universal torna tezgahında işlenmiştir. Punta başlarından sabitlenebilmesi amacıyla 6 mm çapında punta delikleri açılmıştır. Numuneye ait model resmi ve teknik bilgiler aşağıdaki şekilde verilmiştir.



Şekil 3.11 Numuneye ait teknik resim



Şekil 3.12 Numunenin model resmi

Deneylere başlanmadan önce birinci olarak pleytin üzerine oturtulduğu masanın ayaklarındaki ayarlanabilir pabuçlar yardımıyla pleytin düzlemselliği sağlandı. Daha sonra ise XY tablası pleytin üzerine yerleştirilerek aynı işlemler gerçekleştirildi. Bu sayede pleyt yada XY tablasının düzlemsel olmayışından kaynaklanabilecek hataların LVDT'nin ölçümü aşamasına taşınması engellenmiş oldu.

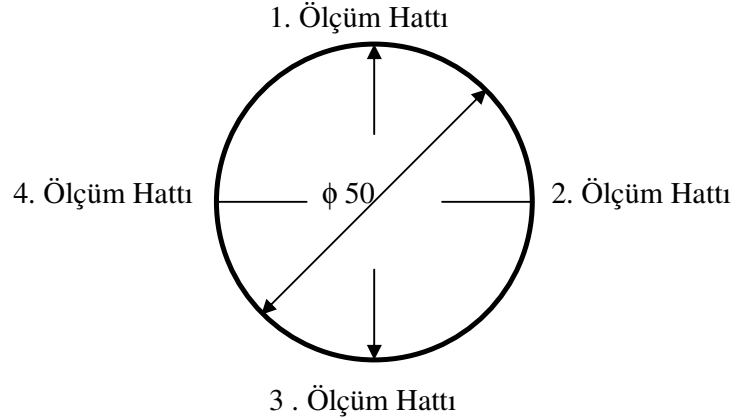
Deneylerde XY tablasının hareket hızı $0,15 \text{ mm/sn}$ olarak ayarlandı. Hareket hızının düşük tutulmasıyla numune üzerinde daha fazla noktadan veri alınması amaçlandı. Bu şekilde numunenin formu hakkında daha ayrıntılı bilgiye ulaşılması hedeflendi.

LVDT'nin çıkış voltajını mV seviyesinde olduğundan çıkış voltajının volt seviyesine yükseltilebilmesi için şekil 3.10'da devre şeması verilen amplifikatör hazırlanarak LVDT çıkışına bağlandı.

Adım motorlarının çalıştırılabilmesi için MATLAB programlama dilinde hazırlanmış bir program hazırlanarak, gerekli ayarlamalar (motorun dönüş hızı, ilerleme miktarı, dönüş yönü vb.) bu program içerisinde verildi.

Advantech firmasına ait GeniDAQ programının 4.11 versiyonu kullanılarak yazılan program ara yüz haline getirilerek, veri toplama kartından gelen verilerin anlık görüntülenmesi ve karttan gelen verilen değerlendirilmek üzere saklanması sağlandı. Program ara yüzünde aynı anda XY tablasının ilerleme miktarı, LVDT'nin yükseltilmiş çıkış voltajı, LVDT'nin yükseltilmiş çıkış voltajının deplasmana dönüştürülmüş hali, yükseltilmiş çıkış voltajı-deplasman, yükseltilmiş çıkış voltajı-zaman ve deplasman-zaman değerlerine ait grafikler görüntüledi.

Deneyler toplam 5 adet numune için yapıldı ve her bir numune için 2 deney gerçekleştirildi. Birinci deneyde, aşağıdaki şekilde belirtilen 4 ölçüm hattı üzerinde tüm yüzey üzerinde LVDT'nin hareketi sağlanarak her 0,15 mm'de ölçümler alındı. Bu ölçümlerden elde edilecek verilerden oluşturulacak grafikler sayesinde numunenin şekli hakkında yorumlar yapılabilmesi hedeflendi. Ancak numunede ölçüm aralığı olarak numunenin her iki ucundan 5 mm içeride kalan uzunluk kullanıldı. Bununla, numune uçlarında bulunan pahlardan oluşabilecek ölçüm hataları ortadan kaldırılmış oldu. Numune üzerinde 140 mm uzunlukta ve numune üzerinde 4 farklı ölçüm hattında tolerans değişimleri gözlemlendi.



Şekil 3.13 Numune üzerindeki ölçüm hatları

İkinci deneyde ise yine numunenin uç kısımlarından 5 mm içeride kalan bölüm kullanılarak, bu bölüm üzerindeki 3 kesitte numune tam tur döndürülerek ölçümler alındı. Bu ölçümler, numunenin her 12° dönüşünde ölçülen deplasman değerleri olarak kullanılan program sayesinde bilgisayar tarafından kaydedildi. Deneylerde ölçülen tüm veriler bilgisayarda DATA.DAT dosyası altında saklandı.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

Doğada ve insan faktörünün rol aldığı tüm olaylarda değişkenlik normal ve kaçınılmaz bir sonuçtur. Bu gerçek imalatta göz önüne alınarak, dizayn aşamasında kalite özellikleri için belirli kurallara göre tolerans limitleri belirlenir. Boyut, şekil, performans vb. özelliklerin önceden belirlenen limitler arasında değişim göstermesi peşin olarak kabul edilir. Eğer bu değişimler limitlerin dışına taşarsa, nedenler araştırılır ve prosesin tekrar kontrol altına girmesini sağlayacak düzeltici önlemler alınır.

4.1. Deney Sonuçları

Bu bölümde, bölüm 3.2’de anlatılan deney metotlarına göre yapılan deneyler sonucunda elde edilen veriler her bir numune için gösterilecektir. Aşağıda 1. numune için anlatılan ilk deney sonucunda 1. ölçüm hattındaki, her 6 saniyede bir elde edilen veriler gösterilmiştir.

Tablo 4.1 1. numuneye ait 1. ölçüm hattındaki deney verileri

Zaman	LVDT Çıkış Voltajı	Arabanın İlerleme miktarı	Yer değiştirme Miktarı
0	1,44	0	0
6	1,475	0,9	0,035
12	1,357	1,8	-0,083
18	1,304	2,7	-0,136
24	1,404	3,6	-0,036
30	1,546	4,5	0,106
36	1,493	5,4	0,053
42	1,452	6,3	0,012
48	1,569	7,2	0,129
54	1,552	8,1	0,112
60	1,581	9	0,141
66	1,469	9,9	0,029
72	1,381	10,8	-0,059
78	1,393	11,7	-0,047
84	1,404	12,6	-0,036
90	1,369	13,5	-0,071
96	1,446	14,4	0,006
102	1,481	15,3	0,041
108	1,387	16,2	-0,053
114	1,375	17,1	-0,065
120	1,481	18	0,041
126	1,481	18,9	0,041
132	1,34	19,8	-0,1

Tablo 4.1. (devami)

138	1,346	20,7	-0,094
144	1,552	21,6	0,112
150	1,563	22,5	0,123
156	1,446	23,4	0,006
162	1,34	24,3	-0,1
168	1,416	25,2	-0,024
174	1,416	26,1	-0,024
180	1,41	27	-0,03
186	1,44	27,9	0
192	1,628	28,8	0,188
198	1,399	29,7	-0,041
204	1,487	30,6	0,047
210	1,622	31,5	0,182
216	1,646	32,4	0,206
222	1,581	33,3	0,141
228	1,399	34,2	-0,041
234	1,646	35,1	0,206
240	1,487	36	0,047
246	1,546	36,9	0,106
252	1,387	37,8	-0,053
258	1,581	38,7	0,141
264	1,646	39,6	0,206
270	1,575	40,5	0,135
276	1,41	41,4	-0,03
282	1,652	42,3	0,212
288	1,428	43,2	-0,012
294	1,41	44,1	-0,03
300	1,416	45	-0,024
306	1,434	45,9	-0,006
312	1,575	46,8	0,135
318	1,622	47,7	0,182
324	1,422	48,6	-0,018
330	1,657	49,5	0,217
336	1,663	50,4	0,223
342	1,61	51,3	0,17
348	1,61	52,2	0,17
354	1,575	53,1	0,135
360	1,516	54	0,076
366	1,452	54,9	0,012
372	1,422	55,8	-0,018
378	1,428	56,7	-0,012
384	1,428	57,6	-0,012
390	1,434	58,5	-0,006
396	1,557	59,4	0,117

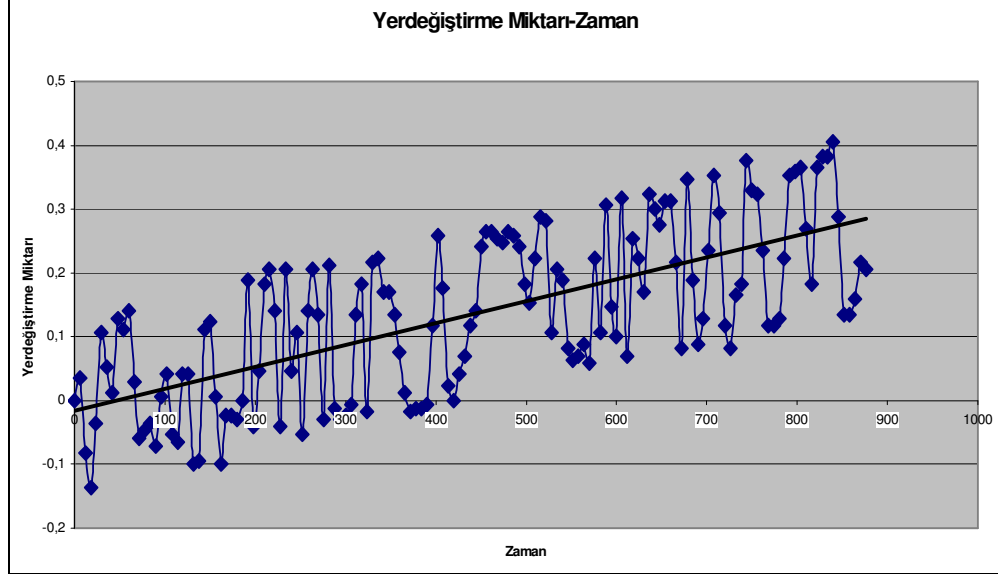
Tablo 4.1. (devami)

402	1,699	60,3	0,259
408	1,616	61,2	0,176
414	1,463	62,1	0,023
420	1,44	63	0
426	1,481	63,9	0,041
432	1,51	64,8	0,07
438	1,557	65,7	0,117
444	1,581	66,6	0,141
450	1,681	67,5	0,241
456	1,705	68,4	0,265
462	1,705	69,3	0,265
468	1,693	70,2	0,253
474	1,687	71,1	0,247
480	1,705	72	0,265
486	1,699	72,9	0,259
492	1,681	73,8	0,241
498	1,622	74,7	0,182
504	1,593	75,6	0,153
510	1,663	76,5	0,223
516	1,728	77,4	0,288
522	1,722	78,3	0,282
528	1,546	79,2	0,106
534	1,646	80,1	0,206
540	1,628	81	0,188
546	1,522	81,9	0,082
552	1,504	82,8	0,064
558	1,51	83,7	0,07
564	1,528	84,6	0,088
570	1,499	85,5	0,059
576	1,663	86,4	0,223
582	1,546	87,3	0,106
588	1,746	88,2	0,306
594	1,587	89,1	0,147
600	1,54	90	0,1
606	1,757	90,9	0,317
612	1,51	91,8	0,07
618	1,693	92,7	0,253
624	1,663	93,6	0,223
630	1,61	94,5	0,17
636	1,763	95,4	0,323
642	1,74	96,3	0,3
648	1,716	97,2	0,276
654	1,752	98,1	0,312
660	1,752	99	0,312

Tablo 4.1. (devamı)

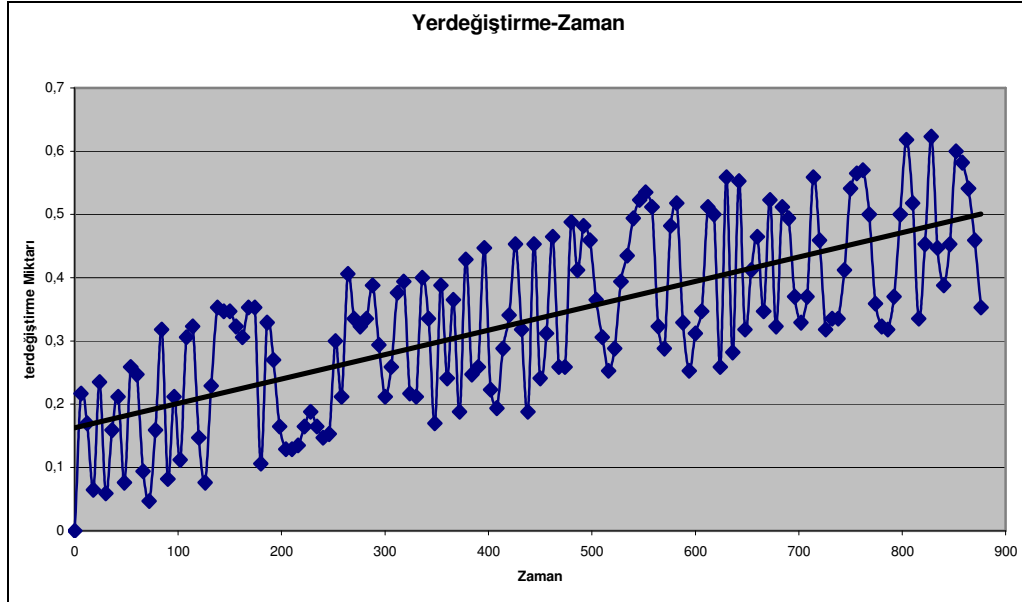
666	1,657	99,9	0,217
672	1,522	100,8	0,082
678	1,787	101,7	0,347
684	1,628	102,6	0,188
690	1,528	103,5	0,088
696	1,569	104,4	0,129
702	1,675	105,3	0,235
708	1,793	106,2	0,353
714	1,734	107,1	0,294
720	1,557	108	0,117
726	1,522	108,9	0,082
732	1,605	109,8	0,165
738	1,622	110,7	0,182
744	1,816	111,6	0,376
750	1,769	112,5	0,329
756	1,763	113,4	0,323
762	1,675	114,3	0,235
768	1,557	115,2	0,117
774	1,557	116,1	0,117
780	1,569	117	0,129
786	1,663	117,9	0,223
792	1,793	118,8	0,353
798	1,799	119,7	0,359
804	1,805	120,6	0,365
810	1,71	121,5	0,27
816	1,622	122,4	0,182
822	1,805	123,3	0,365
828	1,822	124,2	0,382
834	1,822	125,1	0,382
840	1,846	126	0,406
846	1,728	126,9	0,288
852	1,575	127,8	0,135
858	1,575	128,7	0,135
864	1,599	129,6	0,159
870	1,657	130,5	0,217
876	1,646	131,4	0,206

Elde edilen bu veriler yardımıyla zamana karşı yer değiştirme grafiği çizdirildiğinde;

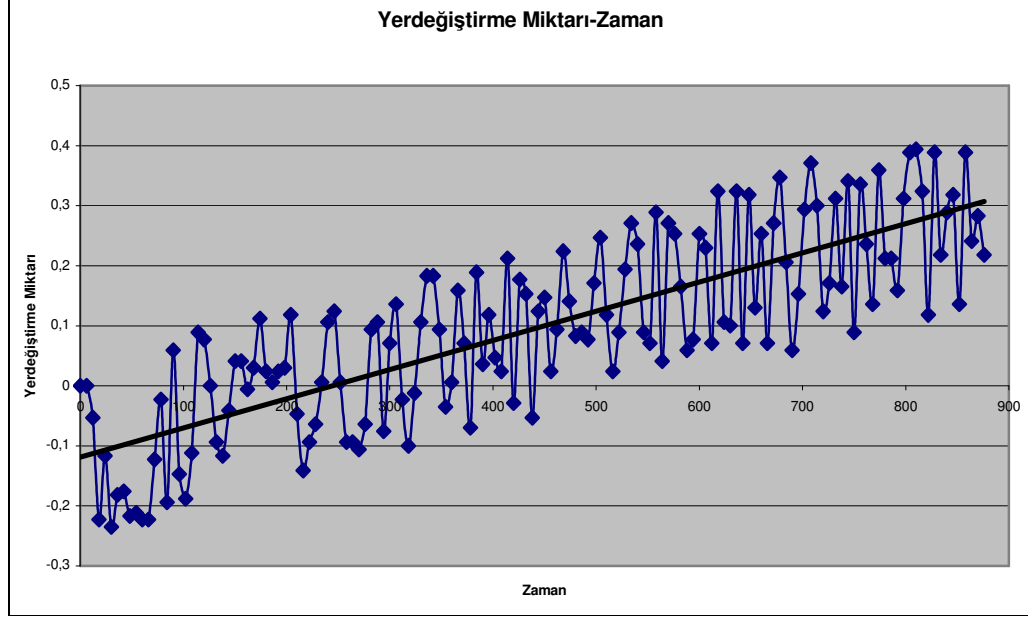


Şekil 4.1 1. Numuneye ait 1. ölçüm hattındaki Yer değiştirme Miktarı(mm)-Zaman(sn) grafiği

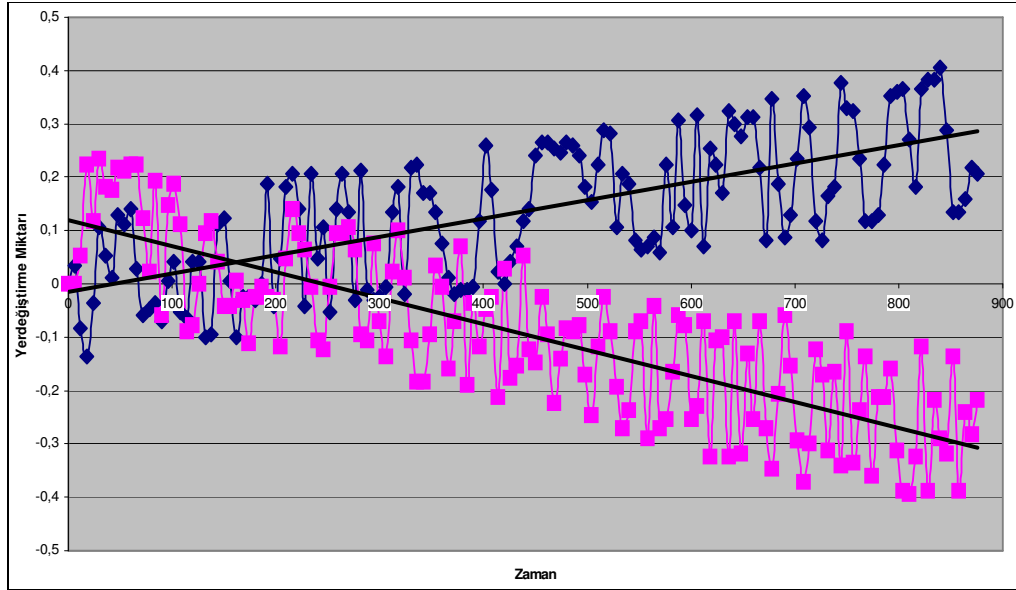
grafiğine ulaşılır. Grafik incelendiğinde parçanın ilk işlenmeye bağlandığı noktadan sonraki noktalara, giderek boyutunun arttığı gözlenmektedir. Aynı numune için 2. ölçüm hattında elde edilen verilerden yararlanılarak Şekil 4.2 elde edilir. Bu grafikte de parçanın başı ve sonu arasındaki boyut farkının 0,6 mm değerine ulaştığı gözlenmektedir.



Şekil 4.2 1. Numuneye ait 2. ölçüm hattındaki Yer değiştirme Miktarı(mm)-Zaman(sn) grafiği



Şekil 4.3 1. Numuneye ait 3. ölçüm hattındaki Yer değiştirme Miktarı-Zaman grafiği Aynı şekilde 3. ölçüm hattındaki verilerin işlenmesi sonucunda grafiği elde edilir. 1. ve 3 ölçüm hatları numune üzerinde 180° farka sahip olduğundan bu ölçüm hatları numune üzerinde birinin numunenin üst kısmında diğerinin ise bu hattın tam simetriği olacaktır. Her iki ölçüm hattına ait veriler aynı grafik üzerinde incelendiğinde parçanın yay şekline sahip olduğü görülecektir.



Şekil 4.4 1. Numuneye ait 1. ve 3. ölçüm hatlarındaki Yer değiştirme Miktarı-Zaman grafiği

Aynı zamanda parçadan istenen toleransa bakıldığında proses etkinliğinin iyi olduğü fakat limitlerin hatalı tespit edildiği veya tezgah ayarlarında bir hatanın mevcut olduğü söylenebilir.

2. numune için 1. ölçüm hattında yapılan ölçümler neticesinde oluşturulan tablo aşağıda verilmiştir.

Tablo 4.2 2. numuneye ait deney verileri

Zaman	LVDT Çıkış Voltajı	Arabanın İlerleme Miktarı	Yer değiştirme Miktarı
0	1,4162421	0	0
6	1,3691758	0,9578106	-0,04707
12	1,4044756	1,9156212	-0,01177
18	1,4986084	2,8734317	0,082366
24	1,492725	3,8312423	0,076483
30	1,316226	4,789053	-0,10002
36	1,3809423	5,7468634	-0,0353
42	1,5633247	6,7046742	0,147083
48	1,4809585	7,6624846	0,064716
54	1,3574091	8,6202955	-0,05883
60	1,3338759	9,5781059	-0,08237
66	1,433892	10,5359163	0,01765
72	1,5809746	11,4937267	0,164733
78	1,4456587	12,4515371	0,029417
84	1,3338759	13,4093485	-0,08237
90	1,3456426	14,3671589	-0,0706
96	1,3691758	15,3249693	-0,04707
102	1,3691758	16,2827797	-0,04707
108	1,3515258	17,240591	-0,06472
114	1,3574091	18,1984005	-0,05883
120	1,3691758	19,1562119	-0,04707
126	1,3574091	20,1140213	-0,05883
132	1,3809423	21,0718327	-0,0353
138	1,4986084	22,029644	0,082366
144	1,5868579	22,9874535	0,170616
150	1,6398076	23,9452648	0,223566
156	1,5221416	24,9030743	0,1059
162	1,433892	25,8608856	0,01765
168	1,6045078	26,818697	0,188266
174	1,5456748	27,7765064	0,129433
180	1,3868257	28,7343178	-0,02942
186	1,5574414	29,6921272	0,141199
192	1,6339242	30,6499386	0,217682
198	1,5633247	31,6077499	0,147083
204	1,4221255	32,5655594	0,005883
210	1,3985922	33,5233688	-0,01765
216	1,5809746	34,4811821	0,164733
222	1,5809746	35,4389915	0,164733

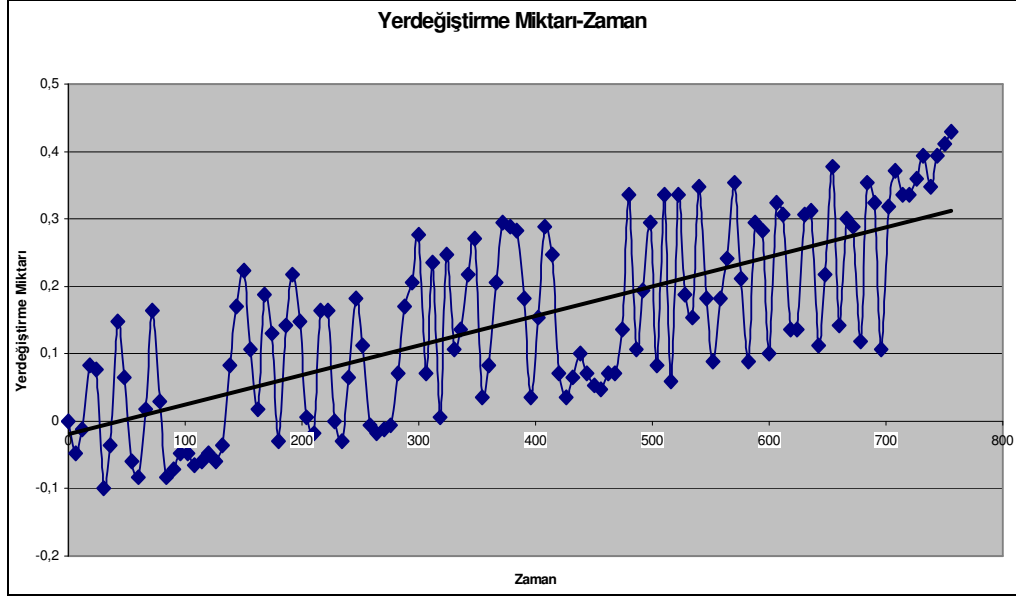
Tablo 4.2. (devami)

228	1,4162421	36,396801	0
234	1,3868257	37,3546143	-0,02942
240	1,4809585	38,3124237	0,064716
246	1,5986245	39,2702332	0,182382
252	1,5280249	40,2280426	0,111783
258	1,4103589	41,1858559	-0,00588
264	1,3985922	42,1436653	-0,01765
270	1,4044756	43,1014748	-0,01177
276	1,4103589	44,059288	-0,00588
282	1,4868418	45,0170975	0,0706
288	1,5868579	45,9749069	0,170616
294	1,6221577	46,9327202	0,205916
300	1,6927572	47,8905296	0,276515
306	1,4868418	48,8483391	0,0706
312	1,6515741	49,8061485	0,235332
318	1,4221255	50,7639618	0,005883
324	1,6633408	51,7217712	0,247099
330	1,5221416	52,6795807	0,1059
336	1,551558	53,637394	0,135316
342	1,6339242	54,5952034	0,217682
348	1,686874	55,5530128	0,270632
354	1,4515419	56,5108261	0,0353
360	1,4986084	57,4686356	0,082366
366	1,6221577	58,426445	0,205916
372	1,7104071	59,3842545	0,294165
378	1,7045239	60,3420677	0,288282
384	1,6986406	61,2998772	0,282399
390	1,5986245	62,2576866	0,182382
396	1,4515419	63,2154999	0,0353
402	1,569208	64,1733093	0,152966
408	1,7045239	65,1311188	0,288282
414	1,6633408	66,0889282	0,247099
420	1,4868418	67,0467377	0,0706
426	1,4515419	68,0045547	0,0353
432	1,4809585	68,9623642	0,064716
438	1,5162582	69,9201736	0,100016
444	1,4868418	70,8779831	0,0706
450	1,4691919	71,8357925	0,05295
456	1,4633086	72,793602	0,047066
462	1,4868418	73,7514114	0,0706
468	1,4868418	74,7092285	0,0706
474	1,551558	75,667038	0,135316
480	1,7515903	76,6248474	0,335348

Tablo 4.2. (devami)

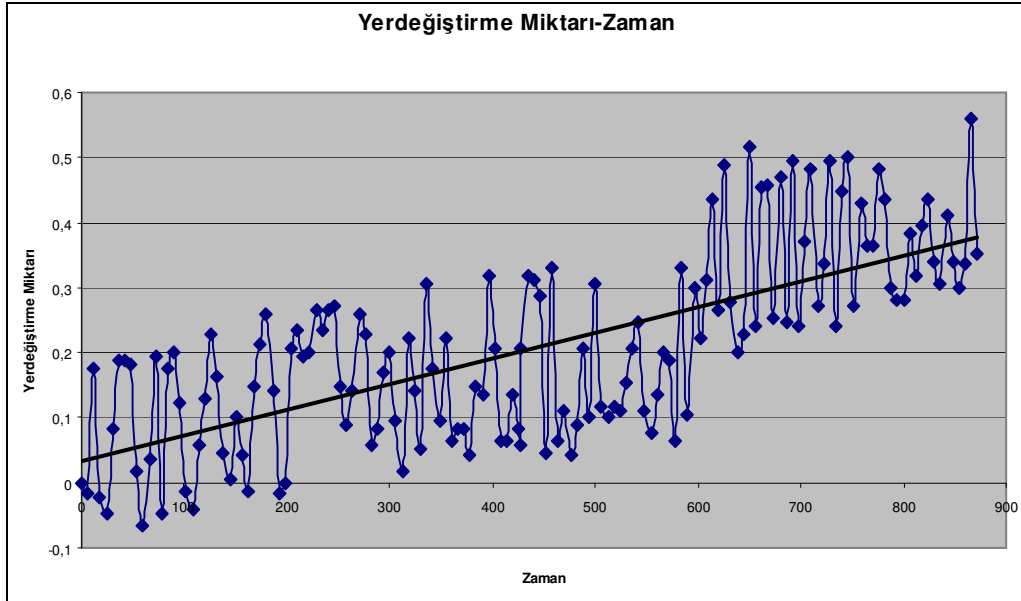
486	1,5221416	77,5826569	0,1059
492	1,610391	78,5404663	0,194149
498	1,7104071	79,4982758	0,294165
504	1,4986084	80,4560852	0,082366
510	1,7515903	81,4139023	0,335348
516	1,4750751	82,3717117	0,058833
522	1,7515903	83,3295212	0,335348
528	1,6045078	84,2873306	0,188266
534	1,569208	85,2451401	0,152966
540	1,7633569	86,2029495	0,347115
546	1,5986245	87,1607666	0,182382
552	1,5044917	88,118576	0,08825
558	1,5986245	89,0763855	0,182382
564	1,6574575	90,0341949	0,241215
570	1,7692403	90,9920044	0,352998
576	1,628041	91,9498138	0,211799
582	1,5044917	92,9076233	0,08825
588	1,7104071	93,8654404	0,294165
594	1,6986406	94,8232498	0,282399
600	1,5162582	95,7810593	0,100016
606	1,7398237	96,7388687	0,323582
612	1,7221738	97,6966782	0,305932
618	1,551558	98,6544876	0,135316
624	1,551558	99,6122971	0,135316
630	1,7221738	100,5701141	0,305932
636	1,7280571	101,5279236	0,311815
642	1,5280249	102,485733	0,111783
648	1,6339242	103,4435425	0,217682
654	1,7927734	104,4013519	0,376531
660	1,5574414	105,3591614	0,141199
666	1,7162905	106,3169708	0,300048
672	1,7045239	107,2747879	0,288282
678	1,5339081	108,2325974	0,117666
684	1,7692403	109,1904068	0,352998
690	1,7398237	110,1482162	0,323582
696	1,5221416	111,1060257	0,1059
702	1,7339404	112,0638351	0,317698
708	1,7868901	113,0216522	0,370648
714	1,7515903	113,9794617	0,335348
720	1,7515903	114,9372711	0,335348
726	1,7751235	115,8950806	0,358881
732	1,8104233	116,85289	0,394181
738	1,7633569	117,8106995	0,347115
744	1,8104233	118,7685089	0,394181
750	1,8280733	119,726326	0,411831

Tabloda gösterilen değerler yardımıyla 2. numunenin 1. ölçüm hattındaki yer değiştirme miktarına karşılık zaman grafiği oluşturulduğunda 1. numunede olduğu gibi parçanın ilk işlenmeye başlanan ucundan son ucuna doğru yer değiştirme miktarının arttığı gözlenmektedir.

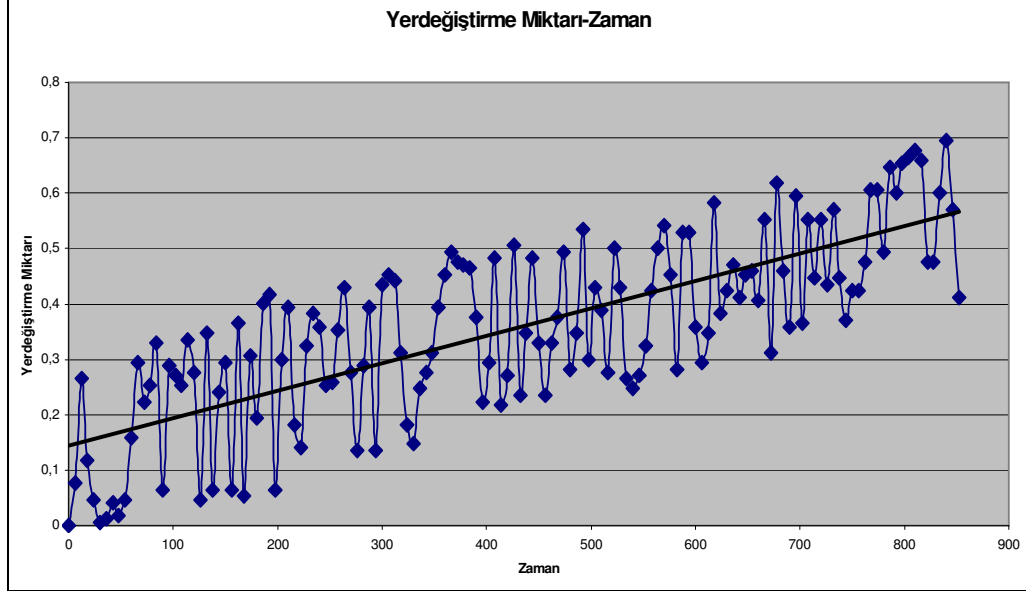


Şekil 4.5 2. Numuneye ait 1. ölçüm hattındaki Yer değiştirme Miktarı-Zaman grafiği

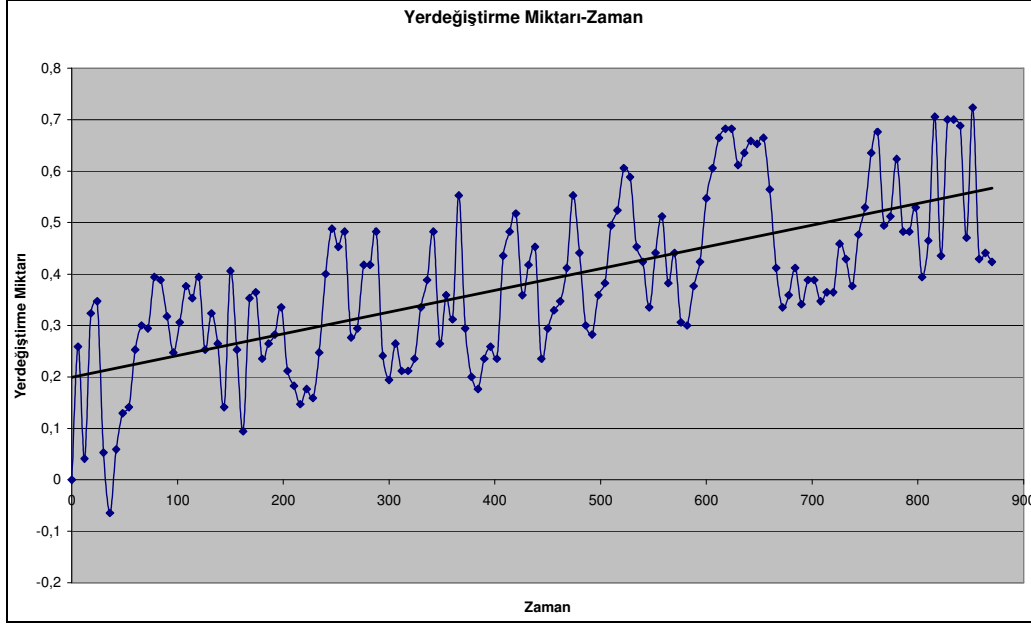
Aşağıda 2. numuneye ait 2., 3., ve 4. ölçüm hatlarının yer değiştirme-zaman grafikleri incelenecek olursa yine 1. ölçüm hattında gözleendiği gibi torna işleminden sonra numunenin bir ucu ile diğer ucu arasında 0.4 mm'nin üzerinde bir boyut farkı olduğu rahatlıkla gözlenmektedir.



Şekil 4.6 2. Numuneye ait 2. ölçüm hattındaki Yer değiştirme Miktarı-Zaman grafiği

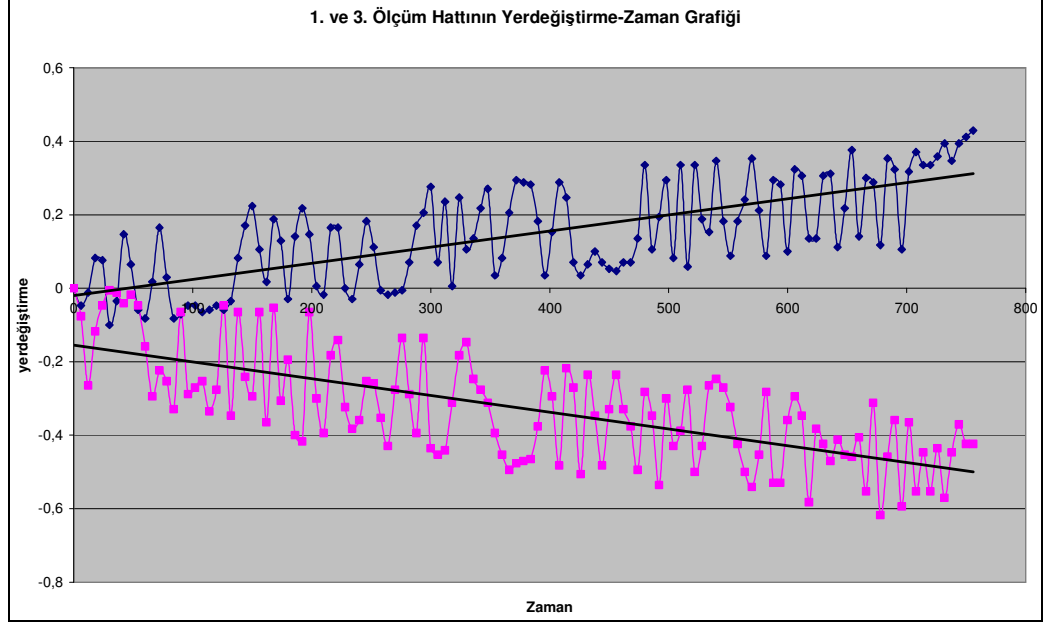


Şekil 4.7 2. Numuneye ait 3. ölçüm hattındaki Yer değiştirme Miktarı-Zaman grafiği

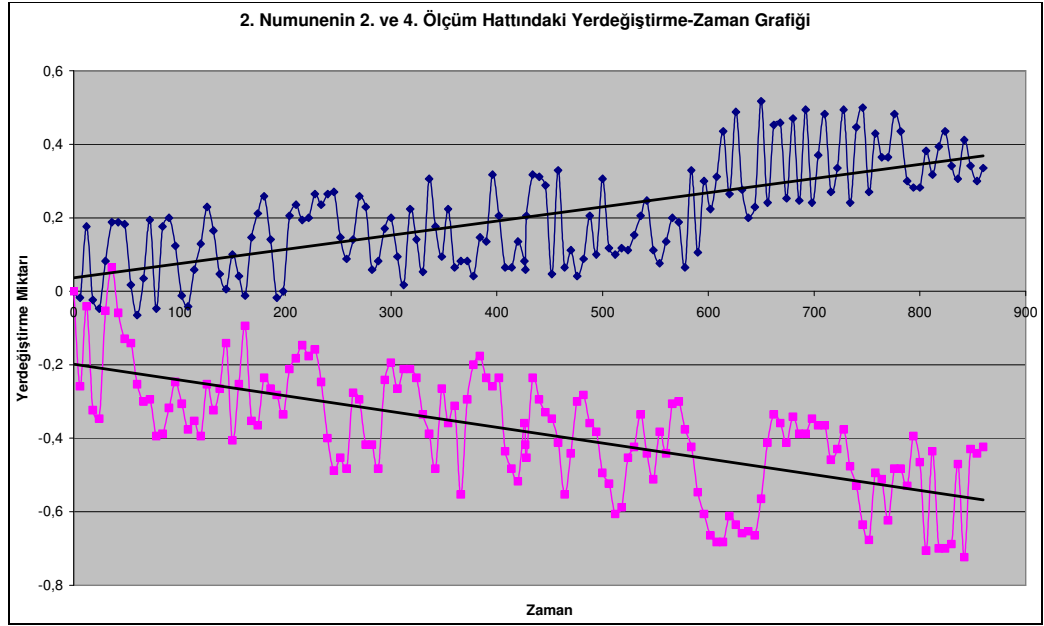


Şekil 4.8 2. Numuneye ait 4. ölçüm hattındaki Yer değiştirme Miktarı-Zaman grafiği

Numunenin şeklinin daha rahat anlaşılabilmesi açısından 1. ve 3. ölçüm hattından alınan veriler ile 2. ve 4. ölçüm hattından alınan veriler aynı grafik üzerinde beraber incelenecek olursa, bu numune için tornalama işlemi sonucunda konik bir yapının oluştuğu görülür.



Şekil 4.9 2. Numuneye ait 1. ve 3. ölçüm hatlarındaki Yer değıştirme Miktarı-Zaman grafiği



Şekil 4.10 2. Numuneye ait 2. ve 4. ölçüm hatlarındaki Yer değıştirme Miktarı-Zaman grafiği

Aşağıdaki tabloda 3. numunenin 1. ölçüm hattından elde edilen verilerden elde edilen tablo yardımıyla yer değıştirme miktarına karşılık zaman grafiğine bakılacak olursa diğer numunelerde görüldüğü gibi numunenin her iki ucu arasında boyut farkının mevcut olduğu görülecektir.

Tablo 4.3 3. numuneye ait deney verileri

Zaman	LVDT Çıkış Voltajı	Arabanın İlerleme Miktarı	Yer değıştirme Miktarı
0	2,1634214	0	0
6	1,8339565	0,957811	-0,32946
12	2,2457876	1,915621	0,082366
18	2,0339887	2,873432	-0,12943
24	2,0869384	3,831242	-0,07648
30	2,2752042	4,789053	0,111783
36	2,1810713	5,746863	0,01765
42	1,9633892	6,704674	-0,20003
48	1,7162905	7,662485	-0,44713
54	2,2810874	8,620296	0,117666
60	2,3458037	9,578106	0,182382
66	2,1457715	10,53592	-0,01765
72	2,0398722	11,49373	-0,12355
78	1,2044433	12,45154	-0,95898
84	1,2456264	13,40935	-0,9178
90	1,2103267	14,36716	-0,95309
96	1,2632763	15,32497	-0,90015
102	1,3103428	16,28278	-0,85308
108	1,4397753	17,24059	-0,72365
114	1,5044917	18,1984	-0,65893
120	1,610391	19,15621	-0,55303
126	1,433892	20,11402	-0,72953
132	1,2279766	21,07183	-0,93544
138	1,5986245	22,02964	-0,5648
144	1,4691919	22,98745	-0,69423
150	1,257393	23,94526	-0,90603
156	1,3456426	24,90307	-0,81778
162	1,4103589	25,86089	-0,75306
168	1,6398076	26,8187	-0,52361
174	1,5339081	27,77651	-0,62951
180	1,3927089	28,73432	-0,77071
186	1,3456426	29,69213	-0,81778
192	1,3927089	30,64994	-0,77071
198	1,6751074	31,60775	-0,48831
204	1,2750429	32,56556	-0,88838
210	1,5927411	33,52337	-0,57068
216	1,7221738	34,48118	-0,44125
222	1,5456748	35,43899	-0,61775
228	1,6633408	36,3968	-0,50008
234	1,6398076	37,35461	-0,52361
240	1,3927089	38,31242	-0,77071
246	1,3809423	39,27023	-0,78248
252	1,2868096	40,22804	-0,87661
258	1,5280249	41,18586	-0,6354

Tablo 4.3. (devami)

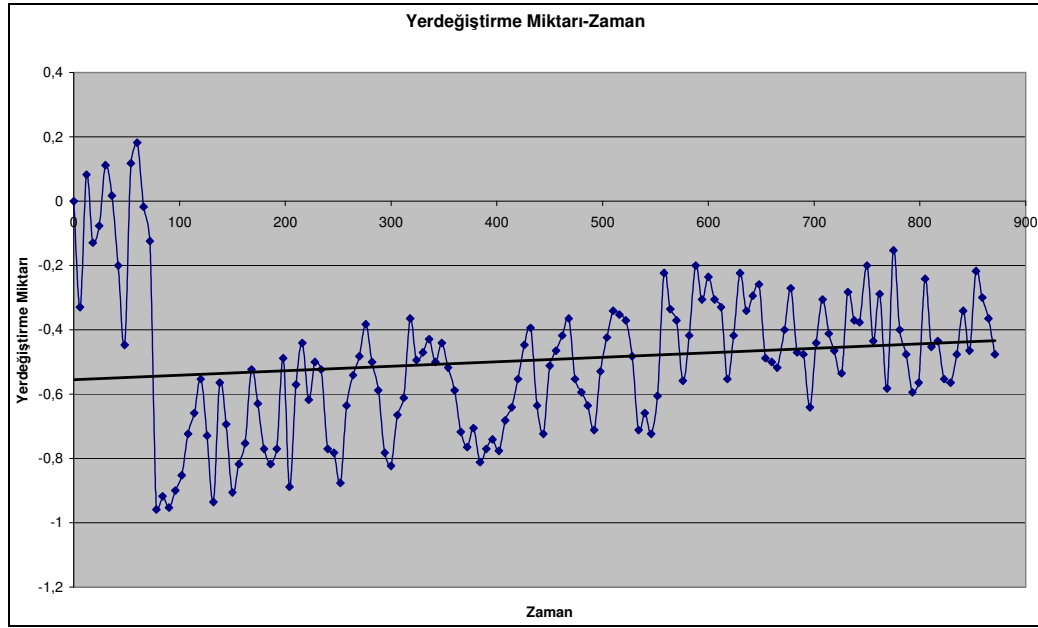
264	1,6221577	42,14367	-0,54126
270	1,6809907	43,10147	-0,48243
276	1,7810068	44,05929	-0,38241
282	1,6633408	45,0171	-0,50008
288	1,5750912	45,97491	-0,58833
294	1,3809423	46,93272	-0,78248
300	1,3397592	47,89053	-0,82366
306	1,4986084	48,84834	-0,66481
312	1,551558	49,80615	-0,61186
318	1,7986567	50,76396	-0,36476
324	1,6692241	51,72177	-0,4942
330	1,6927572	52,67958	-0,47066
336	1,7339404	53,63739	-0,42948
342	1,6633408	54,5952	-0,50008
348	1,7221738	55,55301	-0,44125
354	1,6456909	56,51083	-0,51773
360	1,5750912	57,46864	-0,58833
366	1,4456587	58,42645	-0,71776
372	1,3985922	59,38425	-0,76483
378	1,4574252	60,34207	-0,706
384	1,3515258	61,29988	-0,8119
390	1,3927089	62,25769	-0,77071
396	1,4221255	63,2155	-0,7413
402	1,3868257	64,17331	-0,7766
408	1,4809585	65,13112	-0,68246
414	1,5221416	66,08893	-0,64128
420	1,610391	67,04674	-0,55303
426	1,7162905	68,00455	-0,44713
432	1,7692403	68,96236	-0,39418
438	1,5280249	69,92017	-0,6354
444	1,4397753	70,87798	-0,72365
450	1,6515741	71,83579	-0,51185
456	1,6986406	72,7936	-0,46478
462	1,745707	73,75141	-0,41771
468	1,7986567	74,70923	-0,36476
474	1,610391	75,66704	-0,55303
480	1,569208	76,62485	-0,59421
486	1,5280249	77,58266	-0,6354
492	1,4515419	78,54047	-0,71188
498	1,6339242	79,49828	-0,5295
504	1,7398237	80,45609	-0,4236
510	1,8221899	81,4139	-0,34123
516	1,8104233	82,37171	-0,353
522	1,7927734	83,32952	-0,37065
528	1,6809907	84,28733	-0,48243
534	1,4515419	85,24514	-0,71188

Tablo 4.3. (devami)

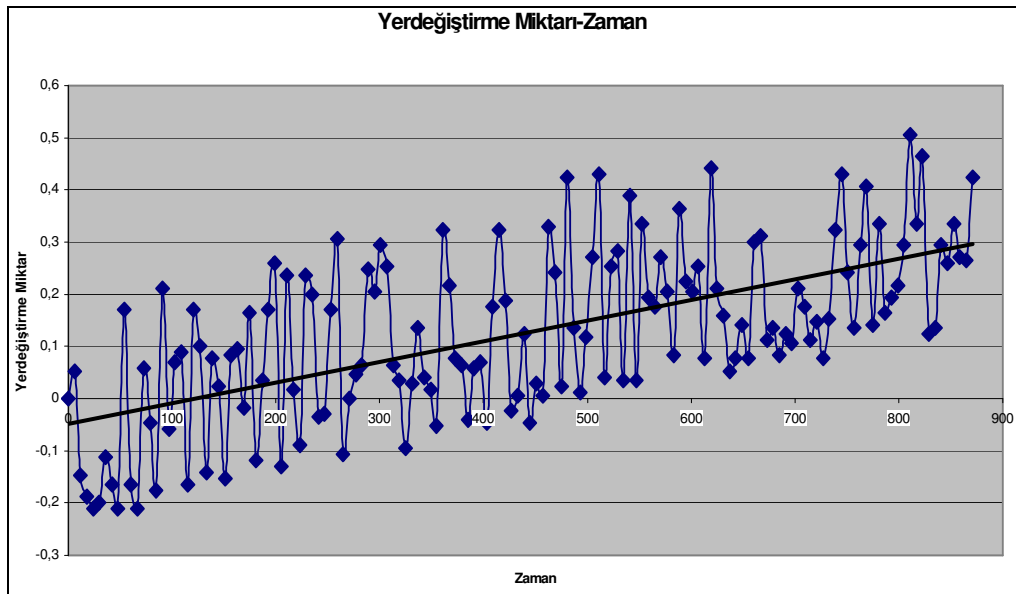
540	1,5044917	86,20295	-0,65893
546	1,4397753	87,16077	-0,72365
552	1,5574414	88,11858	-0,60598
558	1,9398559	89,07639	-0,22357
564	1,8280733	90,03419	-0,33535
570	1,7927734	90,992	-0,37065
576	1,6045078	91,94981	-0,55891
582	1,745707	92,90762	-0,41771
588	1,9633892	93,86544	-0,20003
594	1,8574897	94,82325	-0,30593
600	1,9280894	95,78106	-0,23533
606	1,8574897	96,73887	-0,30593
612	1,8339565	97,69668	-0,32946
618	1,610391	98,65449	-0,55303
624	1,745707	99,6123	-0,41771
630	1,9398559	100,5701	-0,22357
636	1,8221899	101,5279	-0,34123
642	1,8692564	102,4857	-0,29417
648	1,9045562	103,4435	-0,25887
654	1,6751074	104,4014	-0,48831
660	1,6633408	105,3592	-0,50008
666	1,6456909	106,1573	-0,51773
672	1,7633569	107,2748	-0,40006
678	1,8927895	108,2326	-0,27063
684	1,6927572	109,1904	-0,47066
690	1,686874	110,1482	-0,47655
696	1,5221416	111,106	-0,64128
702	1,7221738	112,0638	-0,44125
708	1,8574897	113,0217	-0,30593
714	1,7515903	113,9795	-0,41183
720	1,6986406	114,7776	-0,46478
726	1,628041	115,8951	-0,53538
732	1,8810229	116,8529	-0,2824
738	1,7927734	117,8107	-0,37065
744	1,7868901	118,6089	-0,37653
750	1,9633892	119,7263	-0,20003
756	1,7280571	120,6841	-0,43536
762	1,8751396	121,6419	-0,28828
768	1,5809746	122,7594	-0,58245
774	2,0104556	123,7172	-0,15297
780	1,7633569	124,675	-0,40006
786	1,686874	125,6328	-0,47655
792	1,569208	126,5906	-0,59421
798	1,5986245	127,5484	-0,5648
804	1,922206	128,5063	-0,24122
810	1,7104071	129,4641	-0,45301

Tablo 4.3. (devamı)

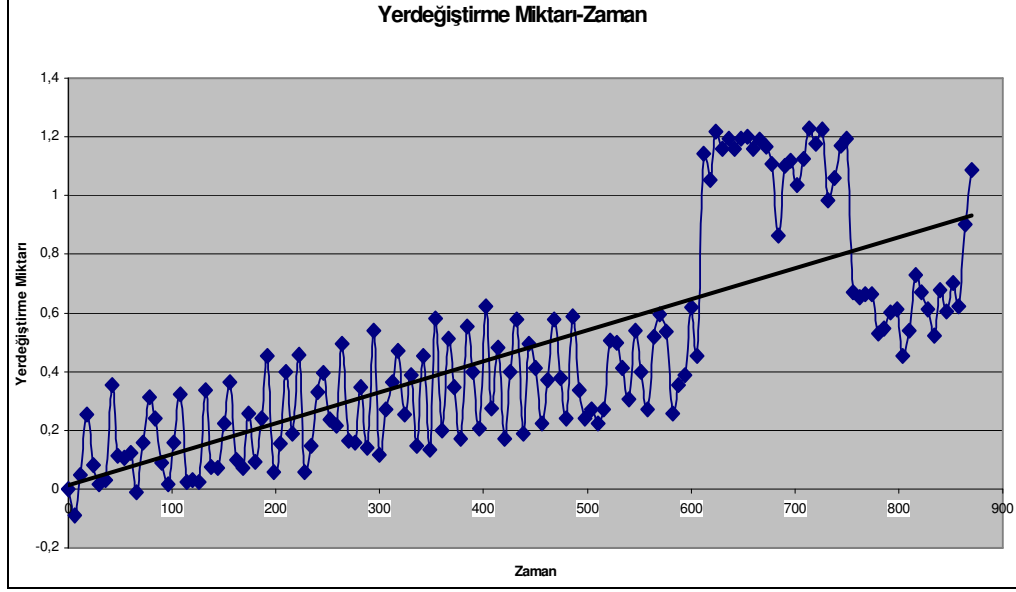
816	1,7280571	130,4219	-0,43536
822	1,610391	131,3797	-0,55303
828	1,5986245	132,3375	-0,5648
834	1,686874	133,2953	-0,47655
840	1,8221899	134,2531	-0,34123
846	1,6986406	135,2109	-0,46478
852	1,9457393	136,1687	-0,21768
858	1,863373	137,1265	-0,30005
864	1,7986567	138,0844	-0,36476
870	1,686874	139,0422	-0,47655



Şekil 4.11 3. Numuneye ait 1. ölçüm hattındaki Yer değiştirme Miktarı-Zaman grafiği

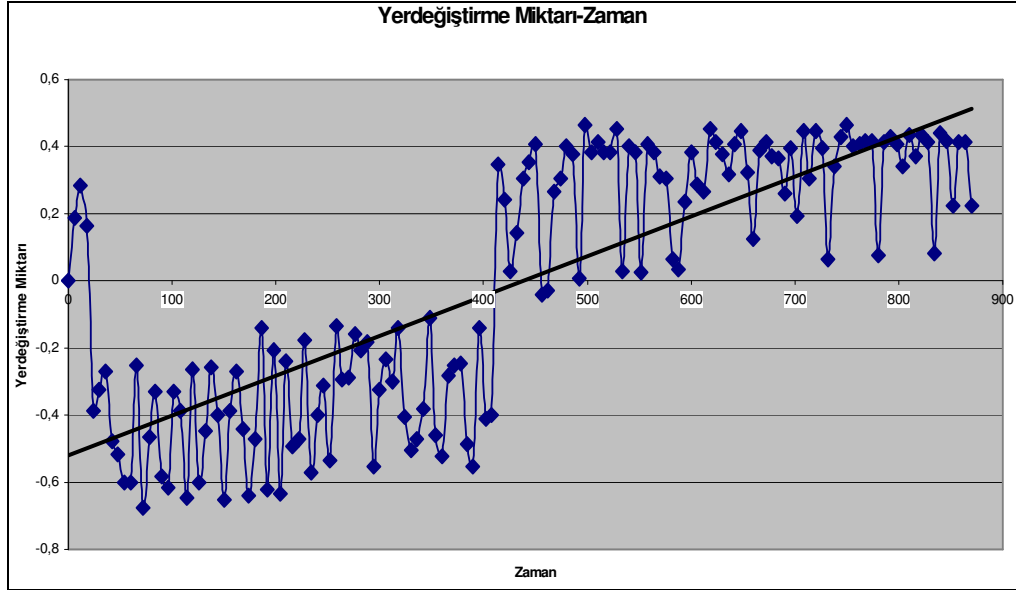


Şekil 4.12 3. Numuneye ait 2. ölçüm hattındaki Yer değiştirme Miktarı-Zaman grafiği



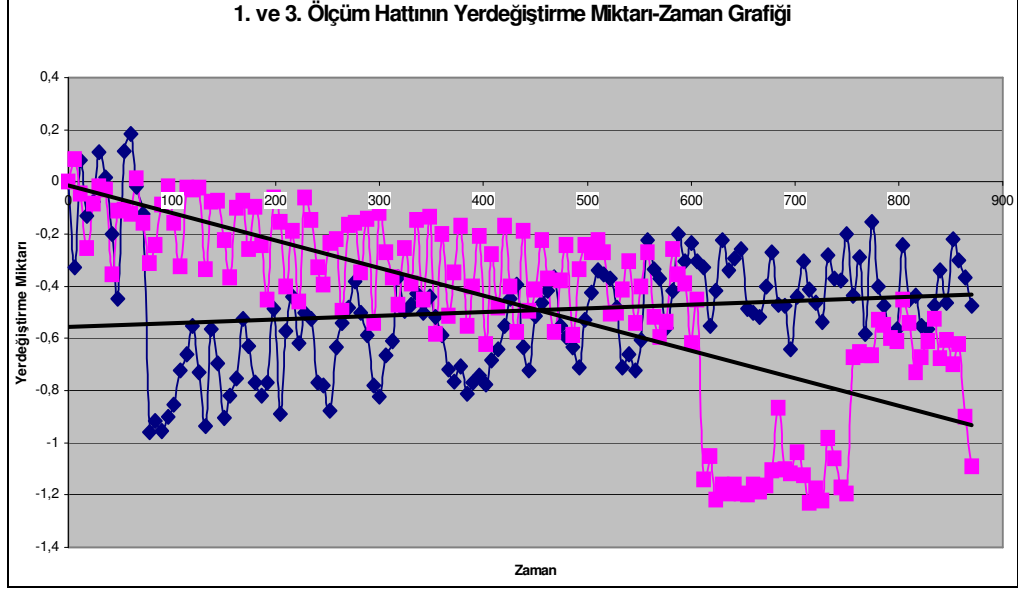
Şekil 4.13 3. Numuneye ait 3. ölçüm hattındaki Yer değiştirme Miktarı-Zaman grafiği

Bu ölçüm hattında 600. saniyeden sonra meydana gelen sıçramalar bilgisayar ile deney cihazı arasındaki bağlantıyı sağlayan kabloların uzun olması, topraklamanın yetersiz kalması ve çevresel etmenlerden kaynaklı gürültüden oluşmaktadır.

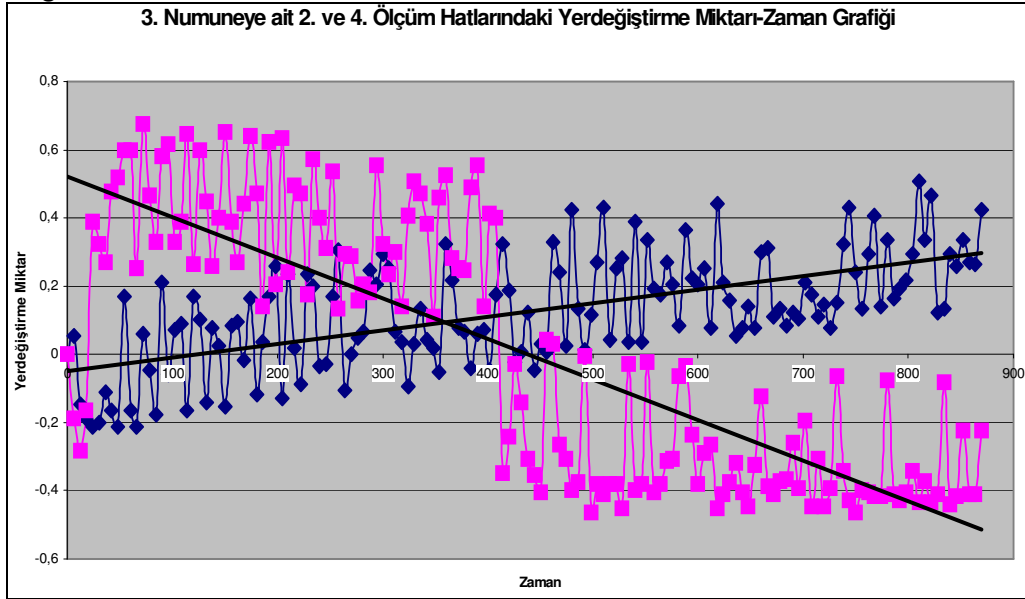


Şekil 4.14 3. Numuneye ait 4. ölçüm hattındaki Yer değiştirme Miktarı-Zaman grafiği

Aşağıda diğer numuneler için de verilen 1., 3. ölçüm hattına ve 2., 4. ölçüm hattına ait grafikler beraber verilmiştir.



Şekil 4.15 3. Numuneye ait 1. ve 3. ölçüm hatlarındaki Yer değiştirme Miktarı-Zaman grafiği



Şekil 4.16 3. Numuneye ait 2. ve 4. ölçüm hatlarındaki Yer değiştirme Miktarı-Zaman grafiği

3. numuneye ait şekil 4.13 ve şekil 4.14 incelendiğinde, numunenin imalat sonucunda yay şekilli olduğu görülür. Bu sonuçtan işleme yapılan tezgahın ayarlanması gerektiği ve numunenin şeklinde geometrik olarak hataların bulunduğu sonucuna varılır.

Aşağıda 4. numune için yapılan deney sonucunda 1. ölçüm hattındaki, her 6 saniyede bir elde edilen veriler gösterilmiştir.

Tablo 4.4 4. numuneye ait deney verileri

Zaman	LVDT Çıkış Voltajı	Arabanın İlerleme Miktarı	Yer değiştirme Miktarı
0	1,1926767	0	0
6	1,2456264	0,957811	0,05295
12	1,3279927	1,915621	0,135316
18	1,4809585	2,873432	0,288282
24	1,2632763	3,831242	0,0706
30	1,3338759	4,789053	0,141199
36	1,551558	5,746863	0,358881
42	1,2750429	6,704674	0,082366
48	1,2103267	7,662485	0,01765
54	1,3044595	8,620296	0,111783
60	1,492725	9,578106	0,300048
66	1,5750912	10,53592	0,382415
72	1,4633086	11,49373	0,270632
78	1,5280249	12,45154	0,335348
84	1,2926928	13,40935	0,100016
90	1,2162099	14,36716	0,023533
96	1,4103589	15,32497	0,217682
102	1,4574252	16,28278	0,264749
108	1,4691919	17,24059	0,276515
114	1,2162099	18,1984	0,023533
120	1,492725	19,15621	0,300048
126	1,6162744	20,11402	0,423598
132	1,3456426	21,07183	0,152966
138	1,2868096	22,02964	0,094133
144	1,4986084	22,98745	0,305932
150	1,3985922	23,94526	0,205916
156	1,3338759	24,90307	0,141199
162	1,5574414	25,86089	0,364765
168	1,4044756	26,8187	0,211799
174	1,2456264	27,77651	0,05295
180	1,3456426	28,73432	0,152966
186	1,6339242	29,69213	0,441248
192	1,2456264	30,64994	0,05295
198	1,5162582	31,60775	0,323582
204	1,5574414	32,56556	0,364765
210	1,5162582	33,52337	0,323582
216	1,4574252	34,48118	0,264749
222	1,257393	35,43899	0,064716
228	1,3985922	36,3968	0,205916
234	1,569208	37,35461	0,376531
240	1,2985761	38,31242	0,105899

Tablo 4.4. (devami)

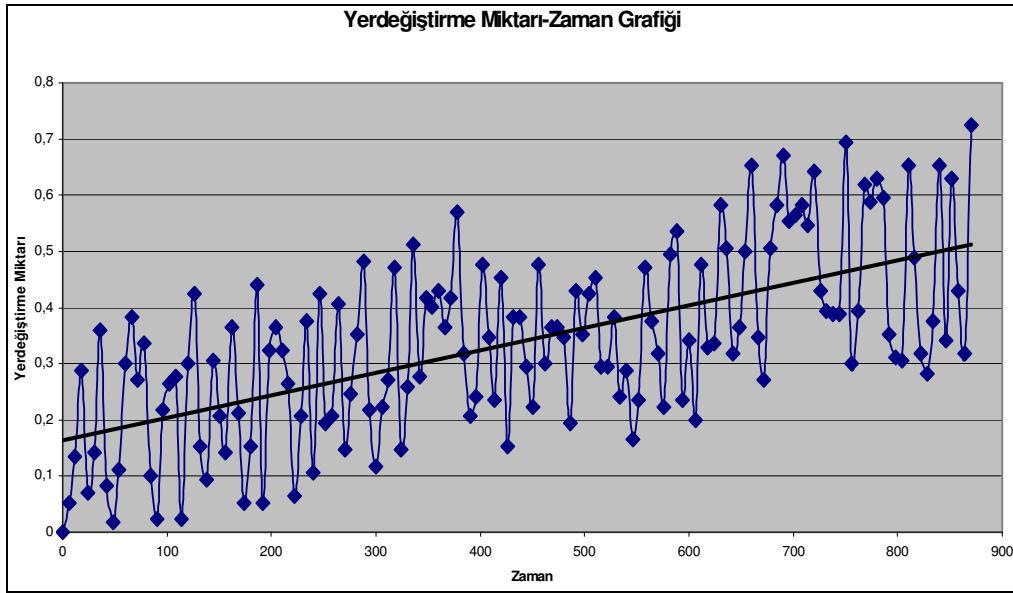
246	1,6162744	39,27023	0,423598
252	1,3868257	40,22804	0,194149
258	1,3985922	41,18586	0,205916
264	1,5986245	42,14367	0,405948
270	1,3397592	43,10147	0,147083
276	1,4397753	44,05929	0,247099
282	1,5456748	45,0171	0,352998
288	1,6751074	45,97491	0,482431
294	1,4103589	46,93272	0,217682
300	1,3103428	47,89053	0,117666
306	1,4162421	48,84834	0,223565
312	1,4633086	49,80615	0,270632
318	1,6633408	50,76396	0,470664
324	1,3397592	51,72177	0,147083
330	1,4515419	52,67958	0,258865
336	1,7045239	53,63739	0,511847
342	1,4691919	54,5952	0,276515
348	1,610391	55,55301	0,417714
354	1,5927411	56,51083	0,400064
360	1,6221577	57,46864	0,429481
366	1,5574414	58,42645	0,364765
372	1,610391	59,38425	0,417714
378	1,7633569	60,34207	0,57068
384	1,510375	61,29988	0,317698
390	1,3985922	62,25769	0,205916
396	1,433892	63,2155	0,241215
402	1,6692241	64,17331	0,476547
408	1,5397915	65,13112	0,347115
414	1,4280088	66,08893	0,235332
420	1,6456909	67,04674	0,453014
426	1,3456426	68,00455	0,152966
432	1,5750912	68,96236	0,382415
438	1,5750912	69,92017	0,382415
444	1,4868418	70,87798	0,294165
450	1,4162421	71,83579	0,223565
456	1,6692241	72,7936	0,476547
462	1,492725	73,75141	0,300048
468	1,5574414	74,70923	0,364765
474	1,5574414	75,66704	0,364765
480	1,5397915	76,62485	0,347115
486	1,3868257	77,58266	0,194149
492	1,6221577	78,54047	0,429481
498	1,5456748	79,49828	0,352998
504	1,6162744	80,45609	0,423598

Tablo 4.4. (devami)

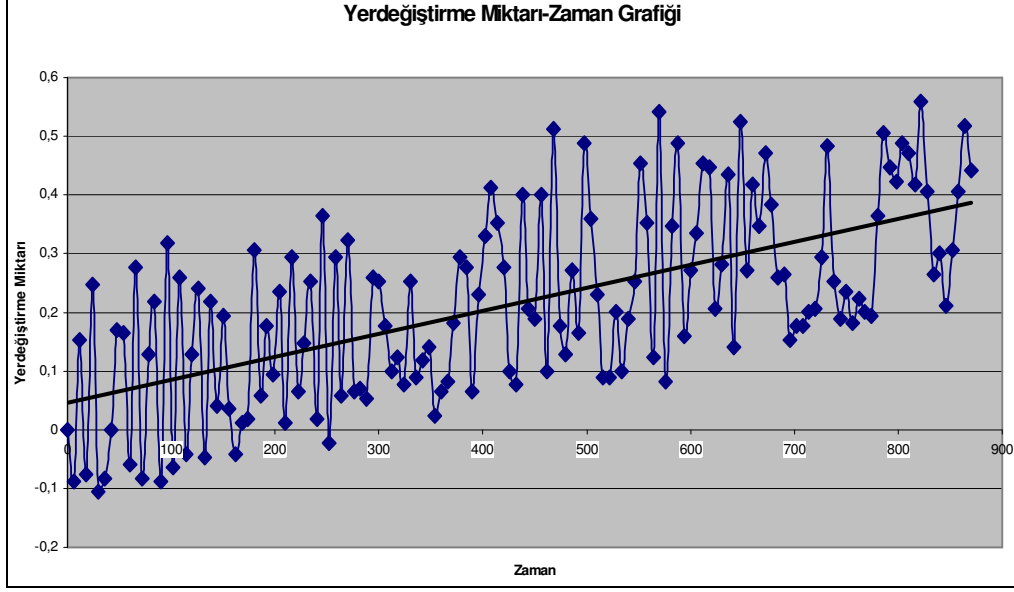
510	1,6456909	81,4139	0,453014
516	1,4868418	82,37171	0,294165
522	1,4868418	83,32952	0,294165
528	1,5750912	84,28733	0,382415
534	1,433892	85,24514	0,241215
540	1,4809585	86,20295	0,288282
546	1,3574091	87,16077	0,164732
552	1,4280088	88,11858	0,235332
558	1,6633408	89,07639	0,470664
564	1,569208	90,03419	0,376531
570	1,510375	90,992	0,317698
576	1,4162421	91,94981	0,223565
582	1,686874	92,90762	0,494197
588	1,7280571	93,86544	0,53538
594	1,4280088	94,82325	0,235332
600	1,5339081	95,78106	0,341231
606	1,3927089	96,73887	0,200032
612	1,6692241	97,69668	0,476547
618	1,5221416	98,65449	0,329465
624	1,5280249	99,6123	0,335348
630	1,7751235	100,5701	0,582447
636	1,6986406	101,5279	0,505964
642	1,510375	102,4857	0,317698
648	1,5574414	103,4435	0,364765
654	1,6927572	104,4014	0,500081
660	1,8457232	105,3592	0,653047
666	1,5397915	106,317	0,347115
672	1,4633086	107,2748	0,270632
678	1,6986406	108,2326	0,505964
684	1,7751235	109,1904	0,582447
690	1,863373	110,1482	0,670696
696	1,745707	111,106	0,55303
702	1,7574736	112,0638	0,564797
708	1,7751235	113,0217	0,582447
714	1,7398237	113,9795	0,547147
720	1,8339565	114,9373	0,64128
726	1,6221577	115,8951	0,429481
732	1,5868579	116,8529	0,394181
738	1,5809746	117,8107	0,388298
744	1,5809746	118,7685	0,388298
750	1,8869063	119,7263	0,69423
756	1,492725	120,6841	0,300048
762	1,5868579	121,6419	0,394181
768	1,8104233	122,5998	0,617747

Tablo 4.4. (devamı)

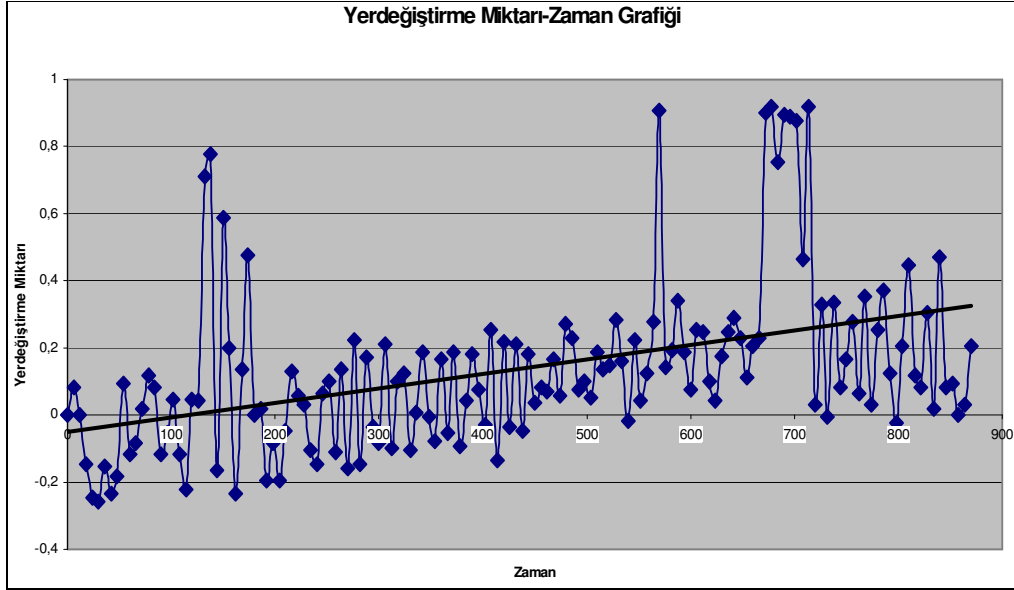
774	1,7810068	123,5576	0,58833
780	1,8221899	124,5154	0,629513
786	1,7868901	125,4732	0,594213
792	1,5456748	126,431	0,352998
798	1,5044917	127,3888	0,311815
804	1,4986084	128,3466	0,305932
810	1,8457232	129,3044	0,653047
816	1,6809907	130,2622	0,488314
822	1,510375	131,22	0,317698
828	1,4750751	132,1779	0,282398
834	1,569208	133,1357	0,376531
840	1,8457232	134,0935	0,653047
846	1,5339081	135,0513	0,341231
852	1,8221899	136,0091	0,629513
858	1,6221577	136,9669	0,429481
864	1,510375	137,9247	0,317698
870	1,9163227	138,8825	0,723646



Şekil 4.17 4. Numuneye ait 1. ölçüm hattındaki Yer değiştirme Miktarı-Zaman grafiği

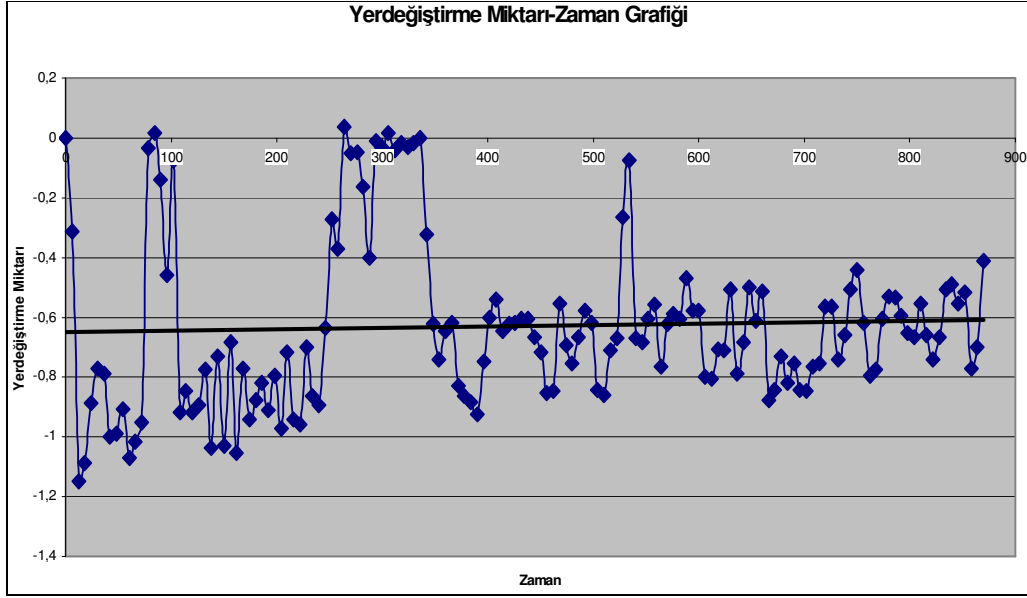


Şekil 4.18 4. Numuneye ait 2. ölçüm hattındaki Yer değiştirme Miktarı-Zaman grafiği



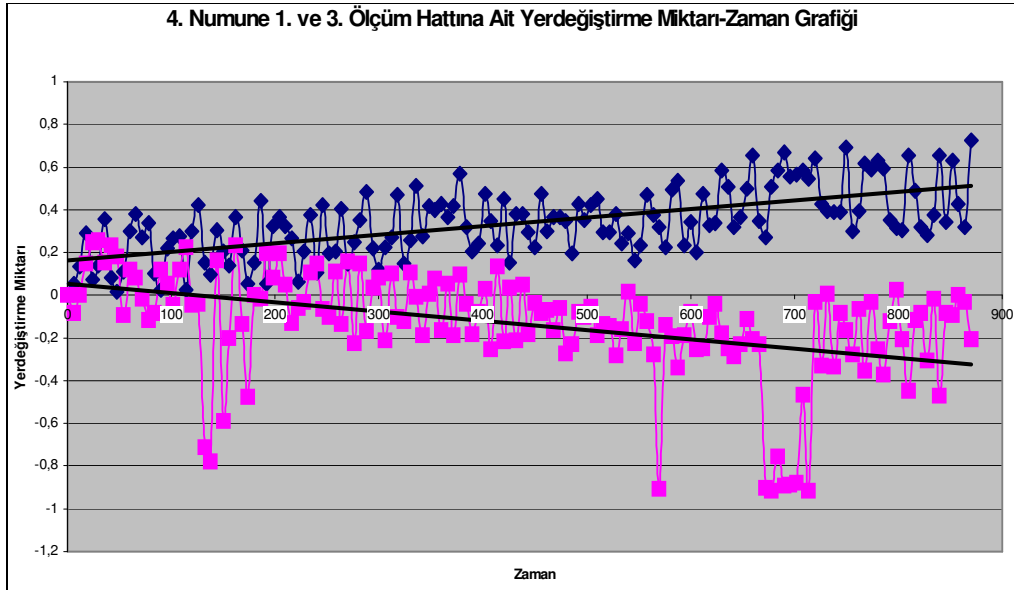
Şekil 4.19 4. Numuneye ait 3. ölçüm hattındaki Yer değiştirme Miktarı-Zaman grafiği

Yukarıdaki grafikte de yine 3. numunede görüldüğü gibi kabloların uzun olması ve çevresel elektro manyetik gürültüden kaynaklı olarak sıçramalar mevcuttur.

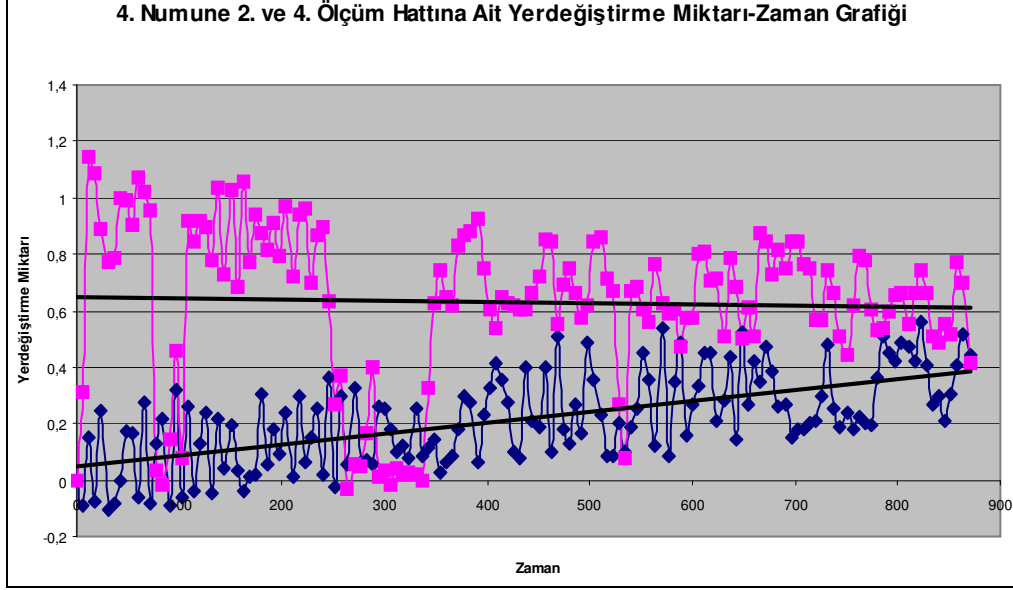


Şekil 4.20 4. Numuneye ait 4. ölçüm hattındaki Yer değiştirme Miktarı-Zaman grafiği

Bu numunede de Şekil olarak konikliğin mevcut olduğu görülmektedir. 1. ve 2. numunede olduğu gibi paręanın baŐı ve sonu arasında boyutta toplam olarak 0.8 mm civarında farklılık bulunmaktadır.



Şekil 4.21 4. Numuneye ait 1. ve 3. lçm hatlarındaki Yer değiştirme Miktarı-Zaman grafiği



Şekil 4.22 4. Numuneye ait 2. ve 4. ölçüm hatlarındaki Yer değiştirme Miktarı-Zaman grafiği

Numunenin bu ölçün hattında ise konikliğin diğer hattındakinin tersi yönünde olduğu alınan değerler sonucunda elde edilen grafikten anlaşılmaktadır.

Tablo 4.5 5. numuneye ait deney verileri

Zaman	LVDT Çıkış Voltajı	Arabamın İlerleme Miktarı	Yer değiştirme Miktarı
0	1,610391	0	0
6	1,510375	0,957811	-0,10002
12	1,6809907	1,915621	0,0706
18	1,6045078	2,873432	-0,00588
24	1,6751074	3,831242	0,064716
30	1,5809746	4,789053	-0,02942
36	1,5221416	5,746863	-0,08825
42	1,4397753	6,704674	-0,17062
48	1,316226	7,662485	-0,29417
54	1,3985922	8,620296	-0,2118
60	1,569208	9,578106	-0,04118
66	1,4986084	10,53592	-0,11178
72	1,686874	11,49373	0,076483
78	1,6221577	12,45154	0,011767
84	1,7398237	13,40935	0,129433
90	1,5397915	14,36716	-0,0706
96	1,5750912	15,32497	-0,0353
102	1,6574575	16,28278	0,047067
108	1,4633086	17,24059	-0,14708
114	1,6692241	18,1984	0,058833
120	1,6633408	19,15621	0,05295

Tablo 4.5. (devami)

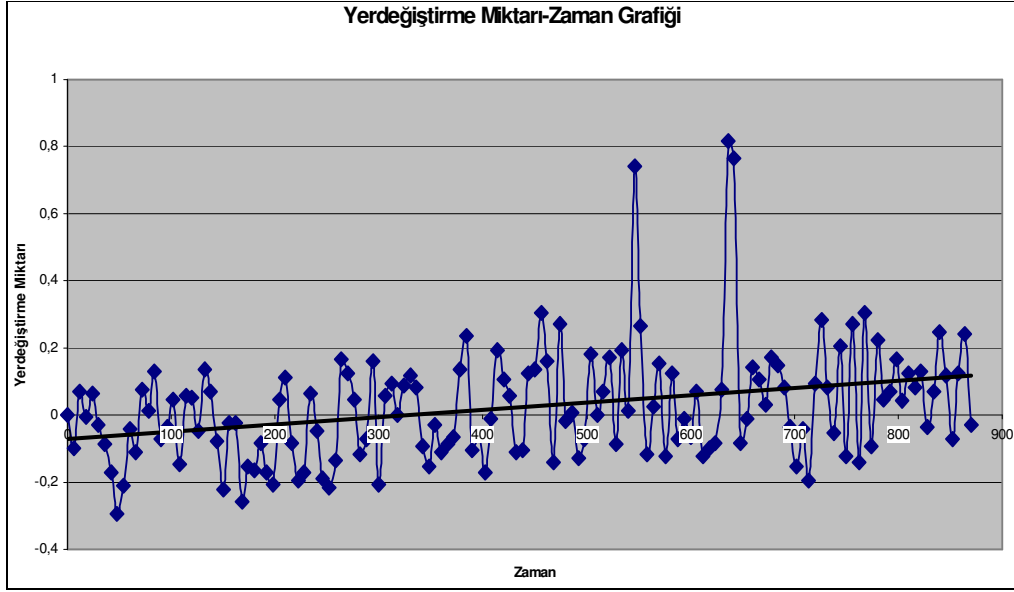
126	1,5633247	20,11402	-0,04707
132	1,745707	21,07183	0,135316
138	1,6809907	22,02964	0,0706
144	1,5339081	22,98745	-0,07648
150	1,3868257	23,94526	-0,22357
156	1,5868579	24,90307	-0,02353
162	1,5868579	25,86089	-0,02353
168	1,3515258	26,8187	-0,25887
174	1,4574252	27,77651	-0,15297
180	1,4456587	28,73432	-0,16473
186	1,5280249	29,69213	-0,08237
192	1,4397753	30,64994	-0,17062
198	1,4044756	31,60775	-0,20592
204	1,6574575	32,56556	0,047067
210	1,7221738	33,52337	0,111783
216	1,5280249	34,48118	-0,08237
222	1,4162421	35,43899	-0,19415
228	1,4397753	36,3968	-0,17062
234	1,6751074	37,35461	0,064716
240	1,5633247	38,31242	-0,04707
246	1,4221255	39,27023	-0,18827
252	1,3927089	40,22804	-0,21768
258	1,4750751	41,18586	-0,13532
264	1,7751235	42,14367	0,164733
270	1,7339404	43,10147	0,123549
276	1,6574575	44,05929	0,047067
282	1,492725	45,0171	-0,11767
288	1,5397915	45,97491	-0,0706
294	1,7692403	46,93272	0,158849
300	1,4044756	47,89053	-0,20592
306	1,6692241	48,84834	0,058833
312	1,7045239	49,80615	0,094133
318	1,610391	50,76396	0
324	1,6986406	51,72177	0,08825
330	1,7280571	52,67958	0,117666
336	1,6927572	53,63739	0,082366
342	1,5162582	54,5952	-0,09413
348	1,4574252	55,55301	-0,15297
354	1,5809746	56,51083	-0,02942
360	1,4986084	57,46864	-0,11178
366	1,5221416	58,42645	-0,08825
372	1,5456748	59,38425	-0,06472
378	1,745707	60,34207	0,135316
384	1,8457232	61,29988	0,235332

Tablo 4.5. (devami)

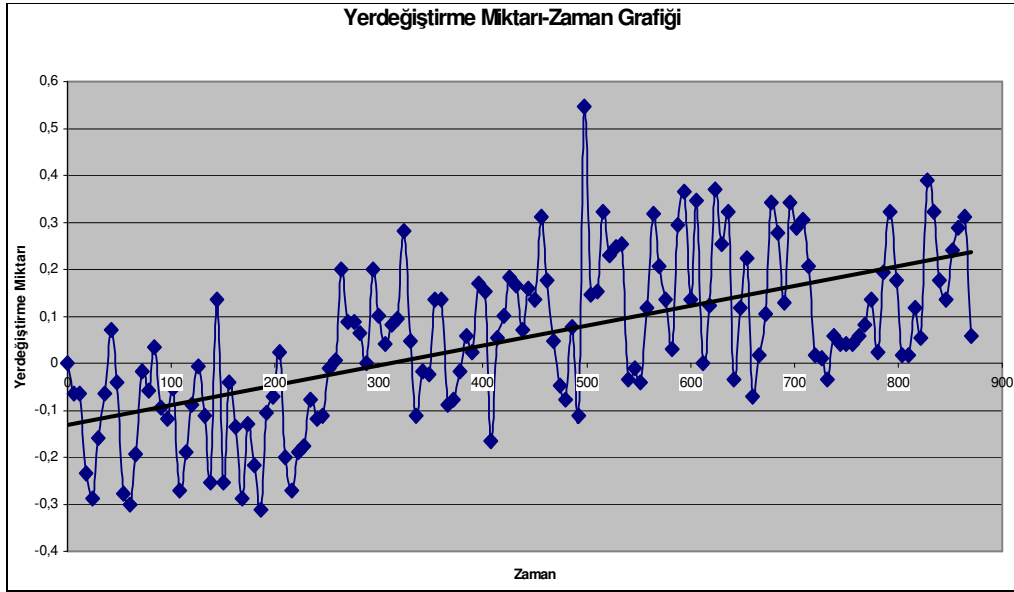
390	1,5044917	62,25769	-0,1059
396	1,551558	63,2155	-0,05883
402	1,4397753	64,17331	-0,17062
408	1,5986245	65,13112	-0,01177
414	1,80454	66,08893	0,194149
420	1,7162905	67,04674	0,1059
426	1,6692241	68,00455	0,058833
432	1,4986084	68,96236	-0,11178
438	1,5044917	69,92017	-0,1059
444	1,7339404	70,87798	0,123549
450	1,745707	71,83579	0,135316
456	1,9163227	72,7936	0,305932
462	1,7692403	73,75141	0,158849
468	1,4691919	74,70923	-0,1412
474	1,8810229	75,66704	0,270632
480	1,5927411	76,62485	-0,01765
486	1,6162744	77,58266	0,005883
492	1,4809585	78,54047	-0,12943
498	1,5397915	79,49828	-0,0706
504	1,7927734	80,45609	0,182382
510	1,610391	81,4139	0
516	1,6809907	82,37171	0,0706
522	1,7810068	83,32952	0,170616
528	1,5221416	84,28733	-0,08825
534	1,80454	85,24514	0,194149
540	1,6221577	86,20295	0,011767
546	2,351687	87,16077	0,741296
552	1,8751396	88,11858	0,264749
558	1,492725	89,07639	-0,11767
564	1,6339242	90,03419	0,023533
570	1,7633569	90,992	0,152966
576	1,4868418	91,94981	-0,12355
582	1,7339404	92,90762	0,123549
588	1,5397915	93,86544	-0,0706
594	1,5986245	94,82325	-0,01177
600	1,5456748	95,78106	-0,06472
606	1,6809907	96,73887	0,0706
612	1,4868418	97,69668	-0,12355
618	1,510375	98,65449	-0,10002
624	1,5280249	99,6123	-0,08237
630	1,686874	100,5701	0,076483
636	2,42817	101,5279	0,817779
642	2,3752203	102,4857	0,764829
648	1,5280249	103,4435	-0,08237

Tablo 4.5. (devami)

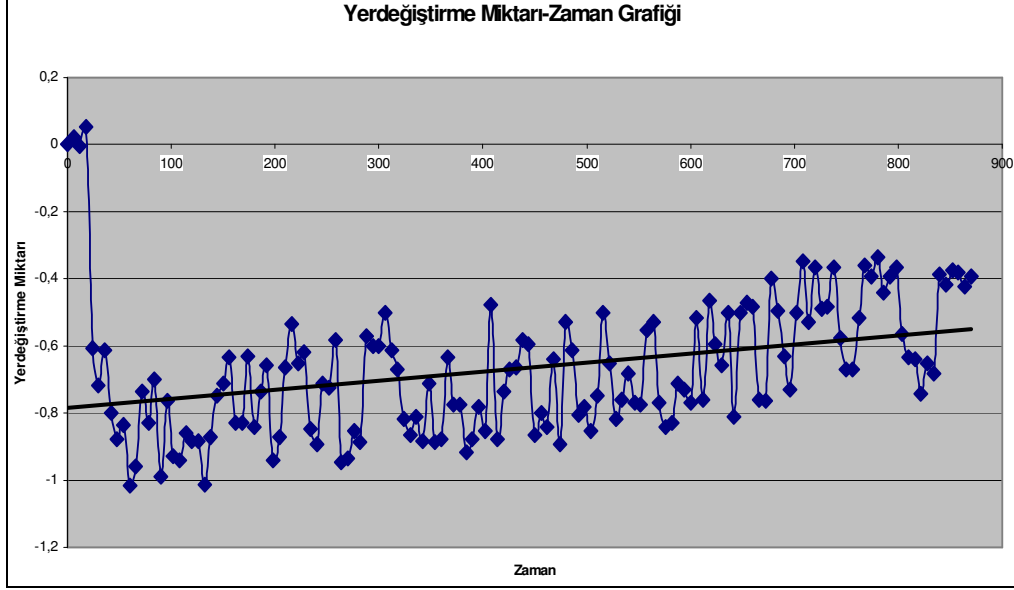
654	1,5986245	104,4014	-0,01177
660	1,7515903	105,3592	0,141199
666	1,7162905	106,317	0,1059
672	1,6398076	107,2748	0,029417
678	1,7810068	108,2326	0,170616
684	1,7574736	109,1904	0,147083
690	1,6927572	110,1482	0,082366
696	1,5750912	111,106	-0,0353
702	1,4574252	112,0638	-0,15297
708	1,569208	113,0217	-0,04118
714	1,4162421	113,9795	-0,19415
720	1,7045239	114,9373	0,094133
726	1,8927895	115,8951	0,282399
732	1,6927572	116,8529	0,082366
738	1,5574414	117,8107	-0,05295
744	1,8163066	118,7685	0,205916
750	1,4868418	119,7263	-0,12355
756	1,8810229	120,6841	0,270632
762	1,4691919	121,6419	-0,1412
768	1,9163227	122,5998	0,305932
774	1,5162582	123,5576	-0,09413
780	1,8339565	124,5154	0,223566
786	1,6574575	125,4732	0,047067
792	1,6809907	126,431	0,0706
798	1,7751235	127,3888	0,164733
804	1,6515741	128,3466	0,041183
810	1,7339404	129,3044	0,123549
816	1,6927572	130,2622	0,082366
822	1,7398237	131,22	0,129433
828	1,5750912	132,1779	-0,0353
834	1,6809907	133,1357	0,0706
840	1,8574897	134,0935	0,247099
846	1,7280571	135,0513	0,117666
852	1,5397915	136,0091	-0,0706
858	1,7339404	136,9669	0,123549
864	1,8516064	137,9247	0,241215
870	1,5809746	138,8825	-0,02942



Şekil 4.23 5. Numuneye ait 1. ölçüm hattındaki Yer değiştirme Miktarı-Zaman grafiği

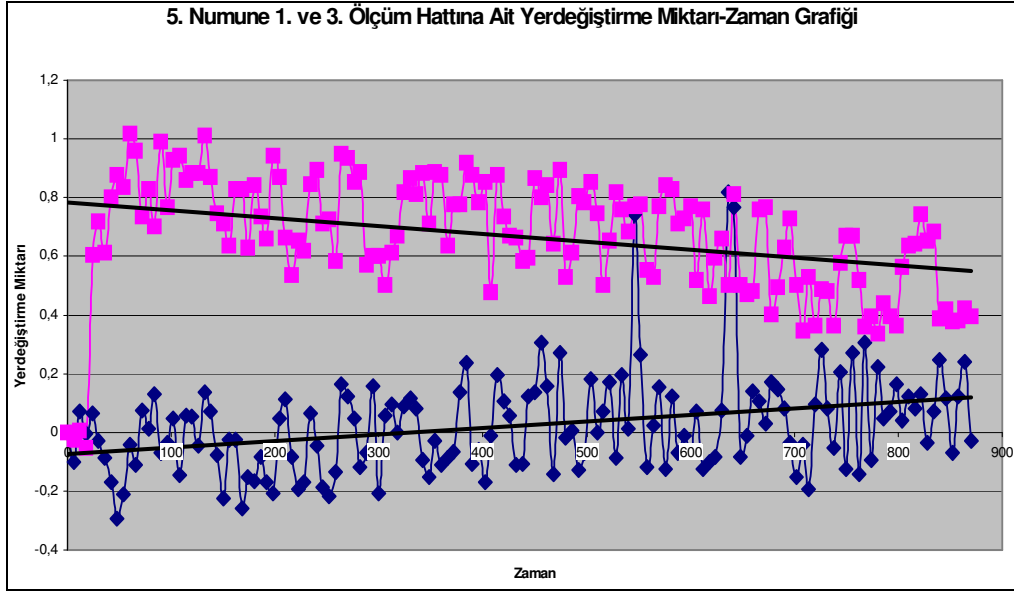


Şekil 4.24 5. Numuneye ait 2. ölçüm hattındaki Yer değiştirme Miktarı-Zaman grafiği



Şekil 4.25 5. Numuneye ait 3. ölçüm hattındaki Yer değiştirme Miktarı-Zaman grafiği

Aynı şekilde bu numunenin 1. ve 3. ölçüm hatlarındaki yer değiştirme-zaman grafiğinde parça şekli konik olmasına rağmen diğer numunelerden ayrı olarak şekilsel anlamda farklı olduğu görülür. Bu farklılık, 1. ve 2. numunede koniklik parçanın ilk işlendiği uçtan son uca doğru boyut artarken bu numunede azalmaktadır.

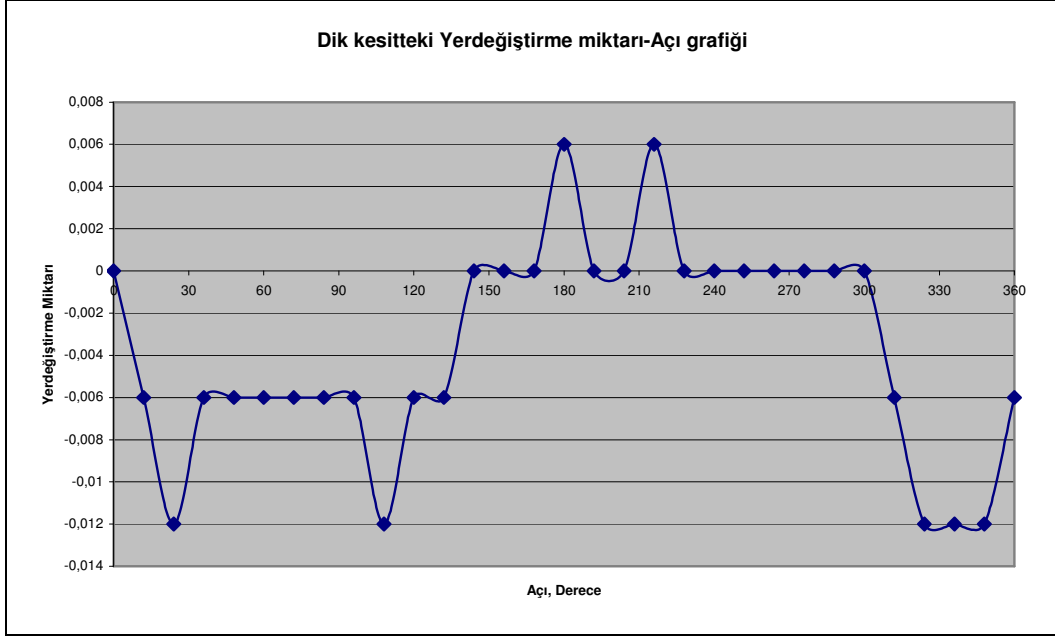


Şekil 4.26 5. Numuneye ait 1. ve 3. ölçüm hatlarındaki Yer değiştirme Miktarı-Zaman grafiği

İkinci deney sonucunda 1. numunenin ölçüm aralığı üzerinde numunenin tam döndürülmesinde her 12° elde edilen veriler sonucunda oluşan grafik aşağıda verilmiştir.



Şekil 4.27 1. Numuneye ait 1. dik kesitteki Yer değiştirme Miktarı-Açı grafiği

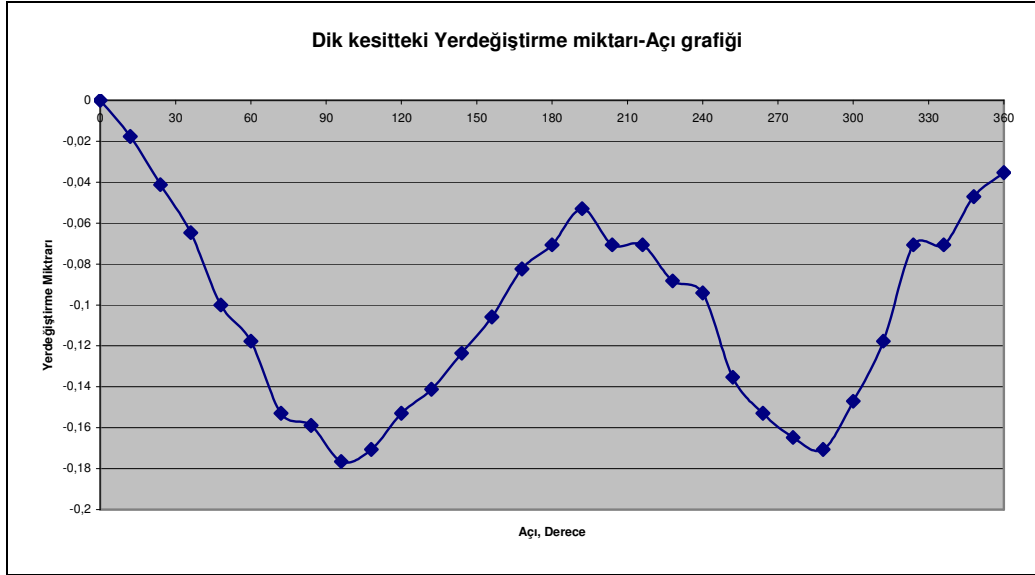


Şekil 4.28 1. Numuneye ait 2. dik kesitteki Yer değiştirme Miktarı-Açı grafiği

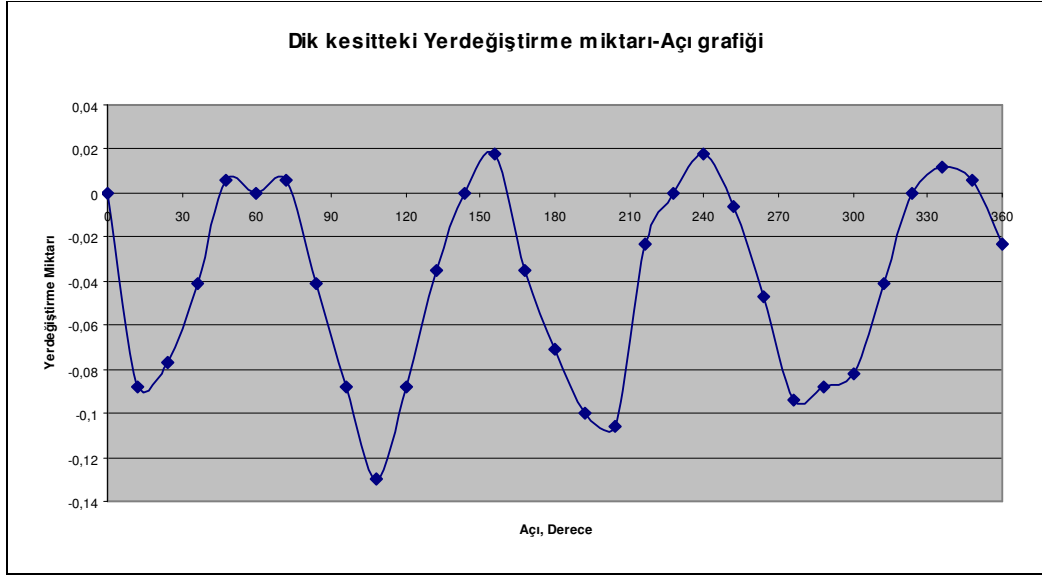


Şekil 4.29 1. Numuneye ait 3. dik kesitteki Yer değiştirme Miktarı-Açı grafiği

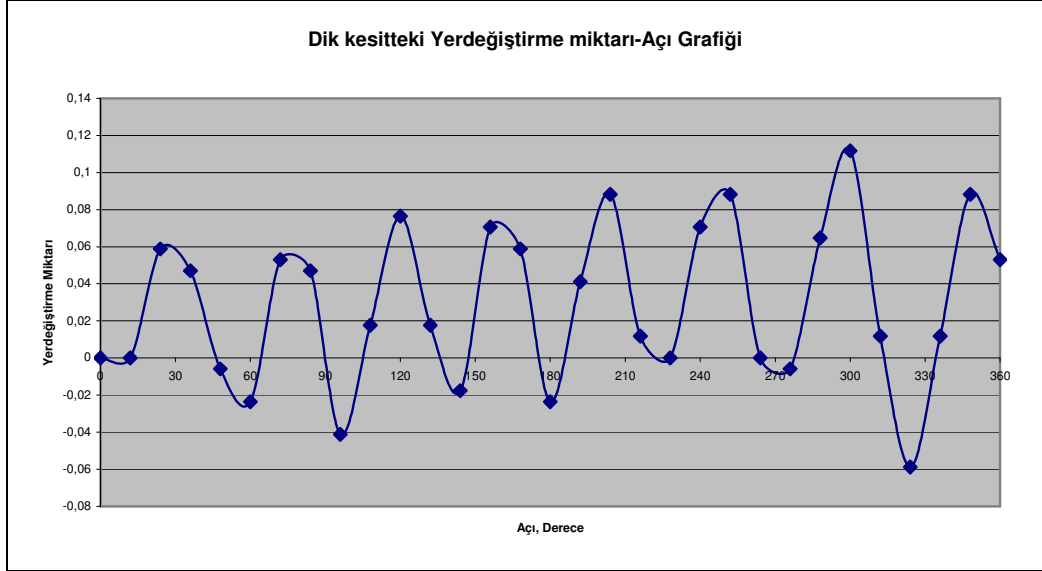
Yukarıdaki grafiklerden numunelerin istenilen tolerans aralığından saptığı rahatlıkla gözlenmektedir. Ölçülen yer değiştirme miktarları 0.012 ile -0.012 arasında değişmektedir.



Şekil 4.30 2. Numuneye ait 1. dik kesitteki Yer değiştirme Miktarı-Açı grafiği

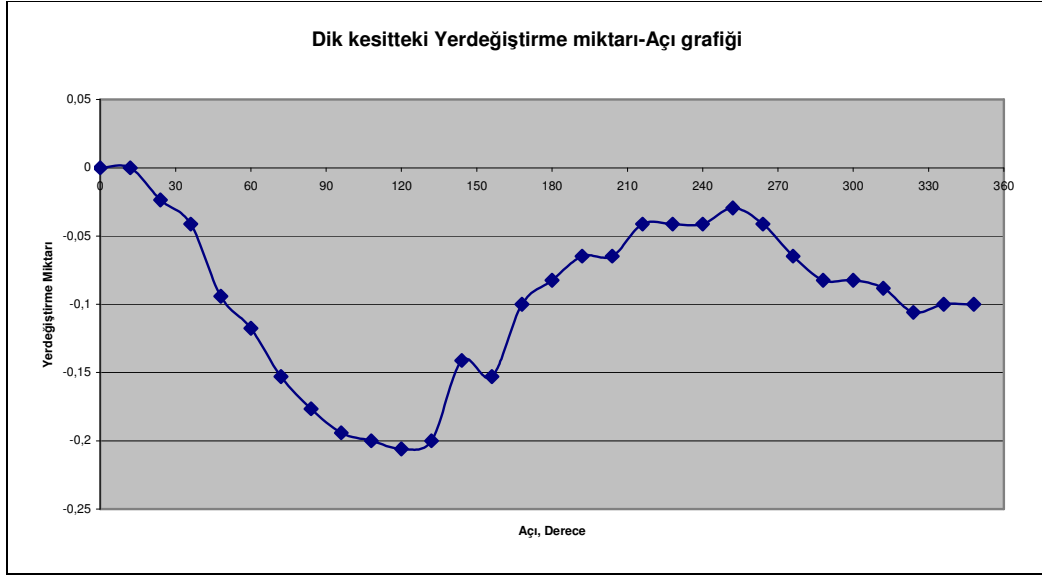


Şekil 4.31 2. Numuneye ait 2. dik kesitteki Yer değiştirme Miktarı-Açı grafiği



Şekil 4.32 2. Numuneye ait 3. dik kesitteki Yer değiştirme Miktarı-Açı grafiği

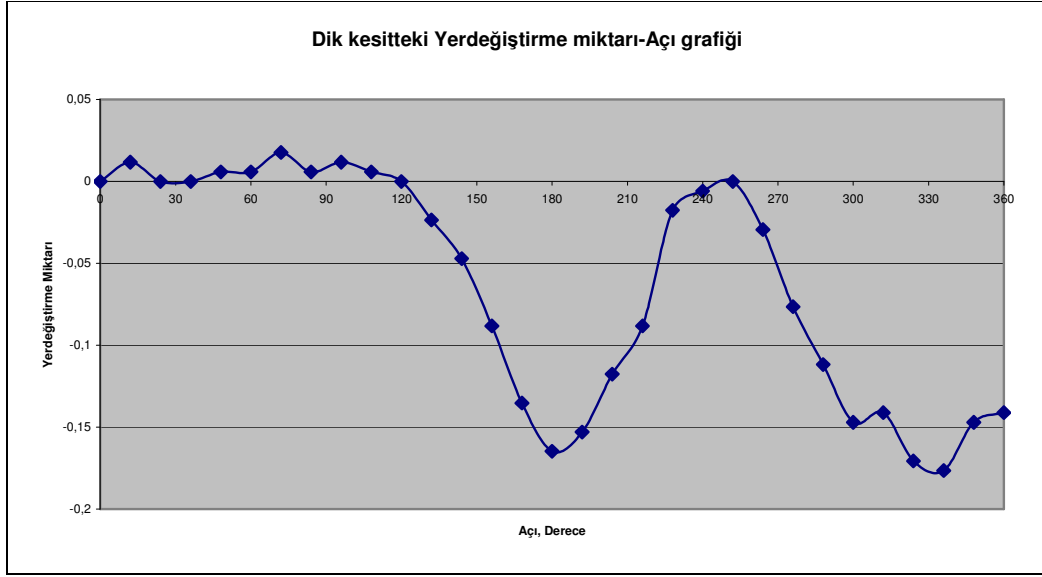
2. numuneye ait yer değiştirme miktarları 0.11 ile -0.13 arasında değişmektedir.



şekil 4.33 3. Numuneye ait 1. dik kesitteki Yer değiştirme Miktarı-Açı grafiği



şekil 4.34 3. Numuneye ait 2. dik kesitteki Yer değiştirme Miktarı-Açı grafiği



Şekil 4.35 3. Numuneye ait 3. dik kesitteki Yer değiştirme Miktarı-Açı grafiği

3. numuneye ait yer değiştirme miktarları 0.00 ile -0.02 arasında değişmektedir.



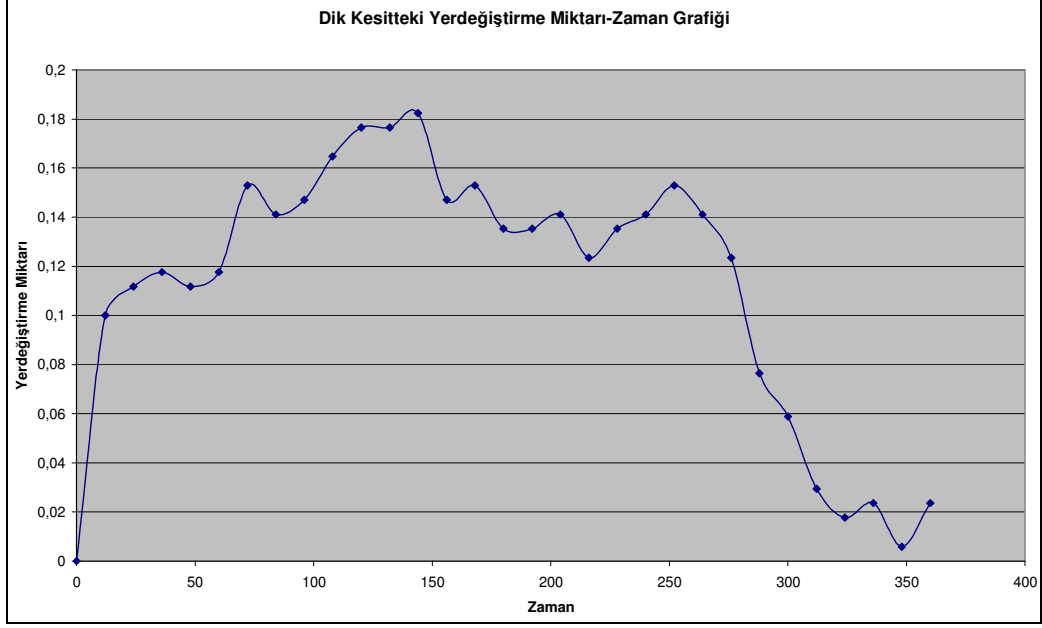
Şekil 4.36 4. Numuneye ait 1. dik kesitteki Yer değiştirme Miktarı-Açı grafiği



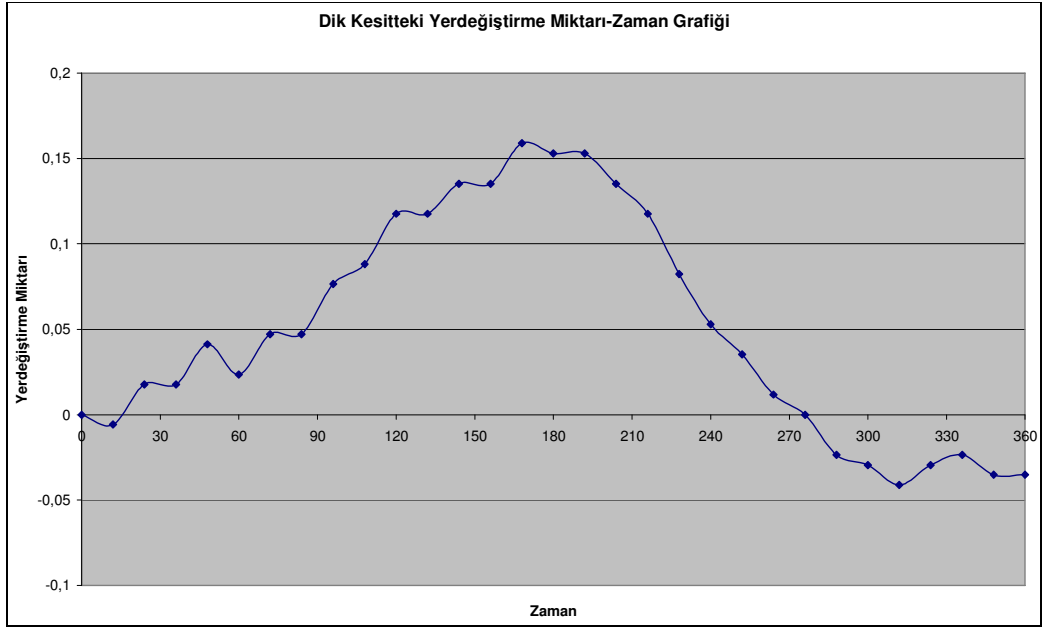
Şekil 4.37 4. Numuneye ait 2. dik kesitteki Yer değiştirme Miktarı-Açı grafiği



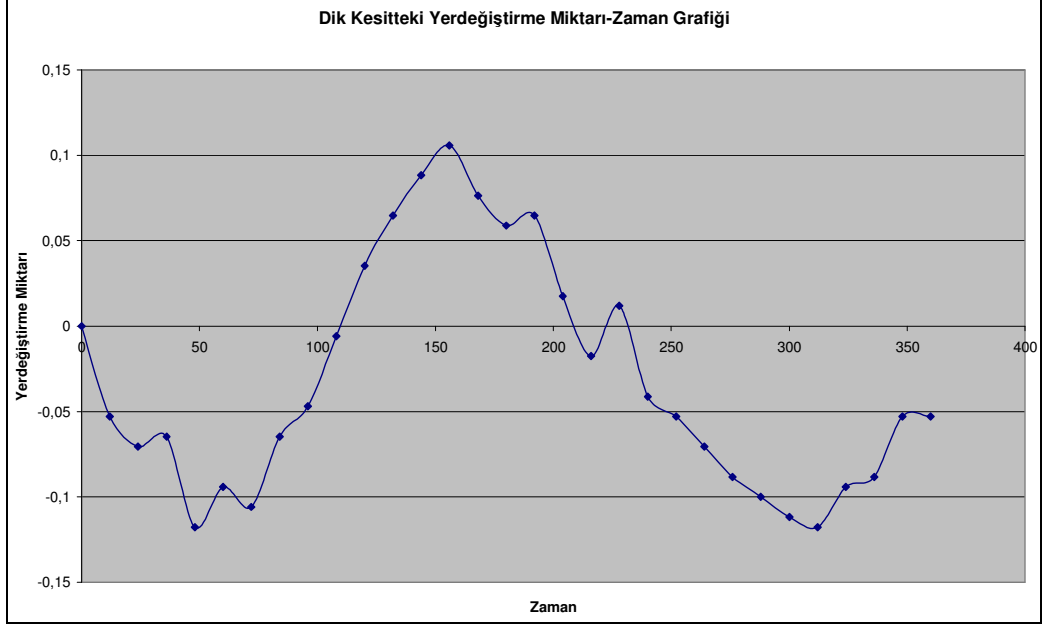
Şekil 4.38 4. Numuneye ait 3. dik kesitteki Yer değiştirme Miktarı-Açı grafiği



Şekil 4.39 5. Numuneye ait 1. dik kesitteki Yer değiştirme Miktarı-Açı grafiği



Şekil 4.40 5. Numuneye ait 2. dik kesitteki Yer değiştirme Miktarı-Açı grafiği



Şekil 4.41 5. Numuneye ait 3. dik kesitteki Yer değıştirme Miktarı-Açı grafiği

Tüm numunelere ait grafikler incelendiğinde numunelerin tümü için tolerans bölgesinin içerisinde kalmadıkları gözlemlenmiştir. Bu sonuçlardan, imalatın gerçekleştirildiği tezgahın gerçek hassasiyetine sahip olmadığı, kesici uçların aşındığı ve gerekli tezgah ayarlamaları sonucunda istenilen tolerans değerine yaklaşılabileceği gözlemlendi.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada boyutları ve toleransı belirli olan silindirik bir parçanın geometrik (silindiriklik, dairesellik, yuvarlaklık vb.) özelliklerinin belirlenmesi ve istenilen tolerans aralığında bulunup bulunmadığının araştırılması hedeflenmiştir. Bunun gerçekleştirilmesi amacıyla, bir XY tablası tasarlanıp imal edilmiş, bir adım motoru yardımıyla hareketi sağlanmış, gerekli numuneler hazırlanmış ve bu numunelerdeki gerekli bilgilerin alınması amacıyla XY tablasına bir LVDT bağlanarak elde edilen bu verilerin bilgisayar ortamına aktarılabilmesi ve depolanabilmesi için bir bilgisayar programı hazırlanmıştır.

Sonuç olarak, elde edilen veriler yardımıyla gerekli grafikler oluşturulduğunda numunelerde imalat sonrasında geometrik hataların (fıçılık, koniklik, eğrilik vb.) mevcut olduğu gözlenmiş ve istenilen tolerans aralığından daha büyük olduğu tespit edilmiştir. Bu hatalar, operatörün dikkati ve kullanılan torna tezgahında gerekli düzenlemeler ve ayarlamaların yapılmasından sonra giderilebilecektir. Kullanılan kesici uçların ömrünü tamamlamış olması, ürünün yüzey bitirme işlemlerinde taşlama yerine hassas olmayan ve operatör tarafından uygulanan zımparalama işleminin gerçekleştirilmesi hem tolerans aralığını etkilemekte hem de parça üzerinde geometrik hataların oluşmasına yol açmaktadır. Operatör tarafından uygulanan zımparalama işleminde operatörün parça üzerine uyguladığı kuvvetin homojen olmayışı ve zımparalama süresi parça üzerinden kaldırılacak talaş miktarını değiştireceğinden parçada geometrik hataların oluşması kaçınılmaz olacaktır.

Ayrıca, bazı numunelere ait grafiklerde görülen ani sıçramalar deney düzeneği ile bilgisayar arasında veri iletişimini sağlayan kabloların (Analog Dijital dönüştürücü ile bilgisayar arasında kullanılan gibi) çok uzun olmasından, topraklamanın yeterli olmayışından ve çevresel etkenlerden (etrafta oluşan elektromanyetik gürültü) kaynaklı gürültülerden meydana geldiği tespit edilmiştir. Deney düzeneğinin ve kullanılan devrelerin çok iyi topraklanması, kondansatör ve bobinler içeren gürültü önleyici filtrelerin kullanımıyla bahsedilen sıçramalar giderilebilir.

Kurulan deney düzeneği düşük maliyetli olup hassas ölçümler yapabilmeye kabiliyetine sahiptir. Bu özelliği ile imal edilen bu düzenek öğrenci laboratuvarlarında toleranslar konusunda görsel eğitim aracı olarak kullanılabilmesi gibi mühendislik eğitiminde yer alan kontrol alanındaki konularda da destekleyici laboratuvar düzeneği olarak kullanılabilir.

6. K A Y N A K L A R

- [1] Danilevsky, V., *İmalat Mühendisliği*, MMO Makine Mühendisleri Odası Yayınları, Yayın No: 121, Ankara, 1987.
- [2] G. Samtaş and M. Gülesin, *Tolerans analiz yöntemleri ve mak-tol tolerans analiz sistemi*, **J. Fac. Eng. Arch. Gazi Univ.**, 20:1 (2005) 85-93.
- [3] W. Gao, S. Kiyono and T. Sugawara, *High-accuracy roundness measurement by a new error separation method*, **Precision Engineering**, 21 (1997) 123-133.
- [4] W. Gao and S. Kiyono, *On-machine roundness measurement of cylindrical workpieces by the combined three-point method*, **Measurement**, 21:4 (1997) 147-156.
- [5] M. Chen, *Roundness measurements for discontinuous perimeters via machine vision*, **Comp. In Industry**, 47 (2002) 185-197.
- [6] J. Huang, *A new strategy for circularity problems*, **Precision Engineering**, 25 (2001) 301-308.
- [7] A. Göleç, *Özellik-tabanlı bilgisayar destekli süreç planlamada bulanık modelleme yaklaşımı*, **YA/EM'2004**, (2004) 1-18.
- [8] Q. Liu, C. C. Zhang and H.-P. B. Wang, *On the effect of CMM measurement error on form tolerances estimation*, **Measurement**, 30 (2001) 33-47.
- [9] E. Gleason and H. Schwenke, *A spindleless instrument for the roundness measurement of precision spheres*, **Precision Engineering**, 22 (1998), 37-42.
- [10] K.K. Tan, S.N. Huang and T.H. Lee, *Dynamic S-function for geometrical error compensation based on neural network approximations*, **Measurement**, 34 (2003) 143-156.
- [11] L.-M. Zhu, H. Ding and Y.-L. Xiong, *A steepest descent algorithm for circularity evaluation*, **Comp.-Aided Design**, 35 (2003) 255-265.
- [12] TS 1304, *Teknik Resim-Geometrik Toleranslar*, TSE, Ankara, 1995
- [13] C. Töre, *Geometrik Toleranslar*, Bileşim Yayıncılık, Ankara, 2005.
- [14] B. Kobu, *Endüstriyel Kalite Kontrolü*, Önsöz Basım ve Yayıncılık, İstanbul, 1981.
- [15] K. Çavdar, "Bilgisayar destekli tolerans analizi" Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi, 1993.

ÖZGEÇMİŞ

1978 yılında Elazığ'da doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini Elazığ'da tamamladıktan sonra Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümünde lisans eğitimine başladı. 2001 yılında Makine Mühendisi unvanını alarak mezun oldu. 2002 yılında İnönü Üniversitesinde araştırma görevlisi olarak göreve başladı. 2003 yılında İnönü Üniversitesinde yüksek lisans eğitimine kayıt yaptırdı. 2006 yılında İnönü Üniversitesindeki görevinden ayrılarak Muğla Bayındırlık ve İskan Müdürlüğünde Makine Mühendisi olarak görev aldı. Halen aynı görevi sürdürmektedir.