

## Tersine Mühendislik Yaklaşımı

### Kullanarak Sac Metalin Şekillendirme Sınır Diyagramının Belirlenmesi

\*<sup>1</sup>Oğuz KOÇAR, <sup>2</sup>Durmuş KARAYEL, <sup>2</sup>Osman ELDOĞAN ve <sup>2</sup>Sinan S. ÖZKAN

\*<sup>1</sup>Osmaneli MYO, Makine Programı, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Türkiye

<sup>2</sup>Teknoloji Fakültesi, Mekatronik Mühendisliği Bölümü, Sakarya Üniversitesi, Türkiye

#### Özet

Saç metal şekillendirme tekniği, üretim yöntemleri içinde çok geniş bir kullanım alanına sahiptir. Elde edilen ürünler otomobil, uçak ve raylı taşıt parçaları, ofis mobilyaları, bilgisayar bunlardan sadece birkaçıdır. Bu ürünlerin analizinde üretim sürecinin en iyi şekilde tasarlanması, kullanılacak malzemenin doğru seçilmesi ve malzeme israfının azaltılması çok önemlidir. Özellikle çekme işlemi diğer pres tekniklerine göre daha karmaşıktır. Bu nedenle tek eksenli çekme deneyi ile elde edilen malzeme özellikleri süreç tasarımında ve uygun işlem değişkenlerinin belirlenmesinde yetersiz kalmaktadır. Son yıllarda sac malzemenin şekillendirilebilirlik sınırlarının ve işlem değişkenlerinin (baskı plakası kuvveti, yağlama, zımba hızı vb) belirlenmesinde Nakajima bant denilen özel numuneler kullanılarak elde edilen şekillendirme sınır diyagramı kullanılmaktadır. Şekillendirme sınır diyagramı farklı geometrideki numuneler sayesinde farklı şartlar altında uzamaların değerlendirilerek bir diyagramda gösterilmesidir. Şekillendirme sınır diyagramı sayesinde malzeme davranışı ve kritik bölgeler analiz edilebilir. Bu çalışmada tersine mühendislik teknolojileri kullanılarak şekillendirme sınır diyagramının elde edilmesi incelenerek, klasik yöntemlere göre üstünlükleri anlatılmıştır. Şekillendirme sınır diyagramının daha kesin, daha hızlı ve tekrarlanabilir olarak elde edilmesi ile daha verimli olarak kullanılmasına yardımcı olması amaçlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Şekillendirme Sınır Diyagramı, Tersine Mühendislik, Derin Çekme

#### 1.Giriş

Sac metal teknikleriyle üretilen parçalar otomobil ve uçak parçaları, ofis mobilyaları, oyuncaklar, bilgisayar parçaları gibi endüstriyel ve tüketici ürünlerinde çoğunlukla kullanılmaktadır. Amerika'da 1980'de yapılan bir araştırmaya göre bir evde ortalama 100.000 adet metal parça bulunmaktadır [1] Bu araştırma sonuçları sac metal parçaların ticari önemini göstermektedir.

Sac metal pres teknikleri delme/kesme, bükme ve derin çekme olarak üç gruba ayrılmaktadır. Derin çekme işlemi diğer pres tekniklerine göre daha karmaşık bir yöntemdir. Derin çekme işleminde en çok karşılaşılan kusurlar buruşma ve yırtılmadır. İstenilen ürün kalitesini elde etmek için ürün kalitesini etkileyen malzeme değişkenleri (anizotropi katsayısı ( $r$ ), pekleşme üsseli ( $n$ ) vb. ) ve işlem değişkenleri (zımba hızı, zımba ve kalıp yuvarlatma yarıçapı, baskı plakası kuvveti vb.) üzerinde araştırmalar yapılmaktadır. Yırtılma ve buruşmanın değerlendirilmesi ve sac malzemenin şekillendirilebilirlik sınırının belirlenmesi için kullanılan tekniklerden biride Şekillendirme Sınır Diyagramıdır (SSD). SSD üretim işleminde oluşabilecek kusurları tespit etmek ve optimizasyonun yanı sıra kalıp tasarımında önemli bir araç olarak kullanılmaktadır [2]. Bu kavram Keler ve Bechofen (1963) ve Godwin (1969) tarafından özel uzama şartları altında doğrusal deformasyon arasında deneysel olarak buldukları ilişkiyle ortaya çıkmıştır [3].

Son 50 yılda ŞSD etkileyen parametrelerin belirlenmesi ve ŞSD'nın elde edilmesiyle ilgili araştırmalar yapılmıştır. Yapılan araştırma sonuçları ŞSD'nın malzeme şekillendirme tahmininde önemli bir araç olduğunu ortaya koymuştur. Bununla beraber 1990'lı yıllarda Sonlu Elemanlar Metodunun (SEM) gelişmesiyle ŞSD'nın önemi artmıştır. Çünkü SEM'nde çözümleme için kullanılan değerler için tek eksenli çekme testi yetersiz kalmaktadır [4, 5]. Bunun sebebi derin çekme işleminin gerdirerek şekillendirme, bükme ve çekme işlemlerinin hepsini bir arada bulundurmasıdır. ŞSD'nın elde edilmesi derin çekme işlemini daha iyi ifade ettiği için buradan elde edilen veriler SEM daha gerçekçi sonuçlar vermektedir.

Hanggi [5] derin çekme şartlarını esas alarak tasarladığı ve şekillendirme sınırlarını ortaya çıkarmak için kullandığı Nakajima testini geliştirmiştir.

Hecker [6] ŞSD değerlendirmesi için geliştirilen tekniği basitleştirerek numunenin hazırlanması, deformasyon işleminin gerçekleştirilmesi ve değerlendirmenin yapılması olarak üç kısma ayırmıştır.

Ahmedi ve arkadaşları [2] LC ve ULC çelikleri için pekleşme üsseli ( $n$ ), anizotropi katsayısı ( $r$ ) gibi farklı malzemenin özelliklerinin ŞSD'na etkilerini değerlendirmişlerdir. Hill'in akma kriterini ve Atkins'in yırtılma kriterini kullanarak ABAQUS ticari yazılımında simülasyonunu gerçekleştirmişlerdir.

Mashkar ve Monsorzadeh [7] AL 3105 sac malzemenin ŞSD'nın belirlenmesi için testten önce malzemeyi tavlama tabii tutmuşlar ve numuneleri hadde yönünde hazırlamışlardır. Yağlamanın sınır gerilmedeki ve yırtılma bölgesindeki etkilerini incelemişlerdir.

Anket ve arkadaşları [5] ŞSD'nın doğru okunmasının önemini vurgulayarak, daha verimli kullanılabilmesi için dikkat edilmesi gereken noktalar üzerinde durmuşlardır.

Jang Kim ve arkadaşları [8] sıcak şekillendirme test cihazı tasarlayarak üretmişlerdir. 300 °C'ye kadar AZ31B Mg alaşımlı sac malzemenin ŞSD ve geri yaylanma karakterisliğini araştırmışlar ve 200 °C'ye kadar ŞSD diyagramının hızlıca arttığını, 200 °C'den sonra bu artışın azaldığını gözlemlemişlerdir.

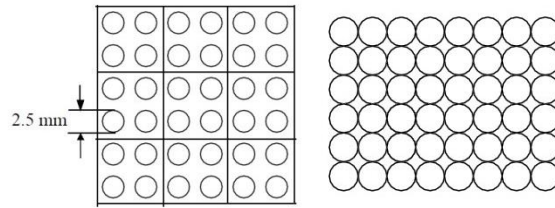
Son yıllardaki araştırmalar ise ŞSD'nın daha hızlı ve daha güvenilir elde edilebilmesine odaklanmıştır. Bunun için Harvey [1] tarafından resim işleme teknolojileriyle deforme olmuş desenlerin uzama miktarlarının otomatik olarak ölçülmesi esasına dayanan optik uzama ölçüm sistemlerini geliştirmiştir. ŞSD'nın belirlenmesinde kullanılan desenlerin ölçülmesinin uzun zaman alması ve ölçüm yapan kişilerden kaynaklanan hataların ŞSD'ını olumsuz etkilemesi araştırmacıları bilgisayar yardımıyla değerlendirmeye yönlendirmiştir [1-3-9-10-11]. Özellikle tersine mühendislik çalışmalarının bu alana uygulanmasıyla ŞSD'ı daha hızlı, daha güvenilir ve tekrarlanabilir şekilde elde edilmeye başlanmıştır.

Bu çalışmada numunenin hazırlanması, Şekillendirme Sınır Diyagramının tersine mühendislik yaklaşımı kullanılarak elde edilmesi ve bu işlem için kullanılan teknikler uygulama esaslı olarak anlatılmaktadır. Çalışmada, numunenin hazırlanması, Nakajima test metodu kullanılarak numunenin şekillendirilmesi ve oluşan gerilmelerin fotoğrametri tekniğiyle değerlendirilmesini kapsamaktadır. Ayrıca bu yöntemin geleneksel yöntemle göre avantajları karşılaştırmalı olarak anlatılmaktadır. Söz konusu yeni yöntemin, AL 6754 sac malzeme üzerinde uygulaması gerçekleştirilerek, elde edilen ŞSD'nın analizi yapılmıştır.

## 2. Şekillendirme Sınır Diyagramı (ŞSD)

### 2.1. Sac Malzemenin Hazırlanması

ŞSD'nın çizdirilebilmesi için sac metal yüzeyinde şekillendirme sırasında farklı uzama şartlarının oluşturulması gerekmektedir. Bu uzama şartları farklı test yöntemlerinin biri veya birkaçı birlikte kullanılarak elde edilmektedir. Kullanılan test metoduna uygun ölçülerde hazırlanan numunelerin yüzeyine fotokimyasal, elektrokimyasal vb. desen oluşturma tekniklerden biri kullanılarak desenler oluşturulur. Kullanılan dairesel desenlerin bütün yüzeyi kaplayacak şekilde birbirine çok yakın fakat temassız veya karelerle bölünmüş alanların içine çizilen desenler (Şekil.1) gibi birkaç farklı yapıda çeşitleri bulunmaktadır.

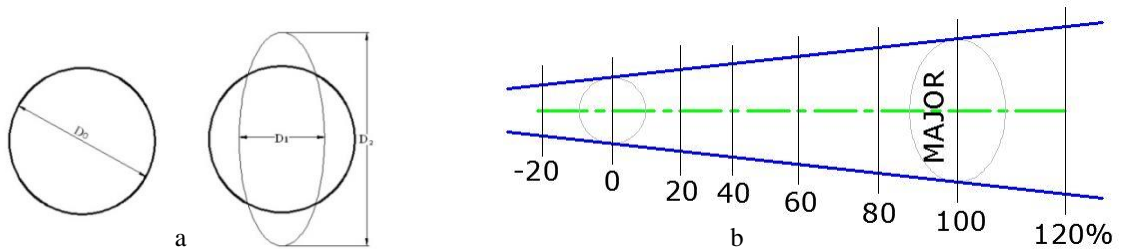


Şekil.1. Sac Malzemenin Üzerine Oluşturulan Dairesel Desenler [12]

### 2.2. Sac Malzemedeki Şekil Değişimlerinin Ölçülmesi

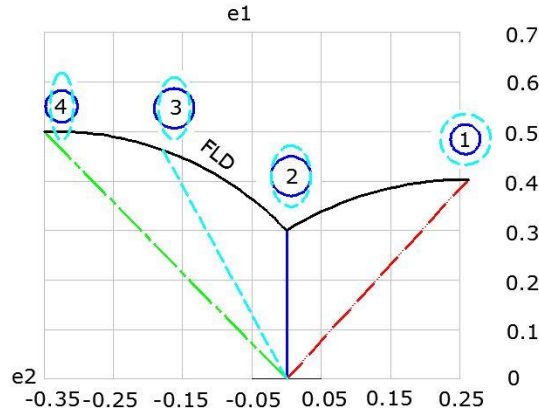
Uygulanacak test metoduna uygun ölçülerde numuneler hazırlandıktan ve numune yüzeyine dairesel desenler çizdirildikten sonra boyun verme başlangıcına veya yırtılmaya kadar şekillendirme işlemi gerçekleştirilir. Şekillendirilmeden önce 'Do' çapında (Şekil.2.a) olan daireler şekillendirmeden sonra deformasyona uğrayarak elips şeklini alırlar. Şekil değiştirmiş dairenin büyük eksenini 'D<sub>1</sub>' ve küçük eksenini 'D<sub>2</sub>' major ve minor yönlerindeki sac malzeme yüzeyinde oluşan birim uzamayı temsil eder. Bu eksenler mikroskop, büyütme gözlükleri veya esnek ölçüm çubukları kullanılarak yapılan ölçmelerle birim şekil değiştirme uzamaları hesaplanır. Şekil değiştirme miktarının tespit edilebilmesi için kullanılan diğer bir yöntemde Mylar bandıdır (Şekil.2.b). Bu bant direk ölçüm yapabilmek için kullanılan şeffaf bir ölçektir. Yüzde olarak gerinme değeri bu ölçekten okunabilir. Mylar bandı 90 derece döndürülerek hem minor hem de major gerinmelerin ölçümü için kullanılabilir.

Birim uzama hesaplamaları için kullanılan mühendislik uzama ve gerçek uzama formülleri kullanılmaktadır. Mühendislik uzama değerleri ' $e_1 = [(D_1 - D_0) / D_0]$ ' ve ' $e_2 = [(D_2 - D_0) / D_0]$ ' formülleri ile hesaplanırken, gerçek uzama değerleri  $\epsilon_{max} = \ln(D_1 / D_0)$  ve  $\epsilon_{min} = \ln(D_2 / D_0)$  formülleriyle hesaplanır. Boyun verme, yırtılma bölgelerindeki veya bu bölgelere yakın deforme olmuş daireler ölçülerek en büyük birim uzama değerleri tespit edilir. Gerçek uzama formüllerinden elde edilen değerlerle ŞSD çizdirilir.



Şekil.2. Şekil Değiştirmeden ve Şekil Değiştirdikten Sonra Dairenin Görünüşü (a) ve Mylar Bandı (b) [12]

Farklı test yöntemleri ile sac malzemede oluşabilecek uzama durumlarının diyagramda gösterilmesiyle ŞSD elde edilir (Şekil.3). ŞSD’nda şekillendirme sınırlarını gösteren eğri derin çekme ve gerdirerek şekillendirme şartlarında elde edilen değerler arasında oluşmaktadır. Diğer şekil değişimleri bu iki bölge arasında yer almaktadır. Şekillendirme Sınır Eğrisi (ŞSE) boyunca oluşabilecek yük durumları Şekil.3’de verilmiştir.

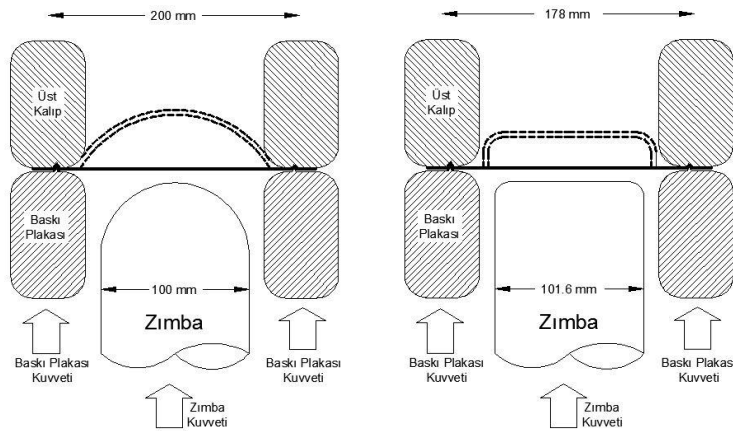


Şekil.3. Tipik Bir Şekillendirme Sınır Diyagramı [13]

Şekillendirme sınır eğrisinin alt kısmı güvenli bölgeyi, üst kısmı ise tehlikeli bölgeyi göstermektedir. Ayrıca 'e<sub>2</sub>'nin pozitif veya negatif olmasına göre diyagram ikiye ayrılır. Pozitif bölge germe şekil değiştirmeyi, negatif bölge ise çekme-basma şekil değiştirme uzamalarını göstermektedir. ŞSE'nin üzerinde; 1- Germe şekillendirmede oluşan 'e<sub>1</sub>'='e<sub>2</sub>', 2- Düzlemsel uzamada meydana gelen 'e<sub>2</sub>'=0, 3- Tek eksenli çekmede oluşan 'e<sub>1</sub>'=-2\*e<sub>2</sub>, 4- Derin çekmede oluşan 'e<sub>1</sub>'=-e<sub>2</sub> birim uzama durumları gösterilmiştir. Farklı malzemelerin karşılaştırılmasında kullanılan 'e<sub>2</sub>'nin sıfır olduğu nokta düzlemsel şekil değiştirmeyi belirtir ve 'ŞSD0' ile gösterilir.

### 2.3. Nakajima Test

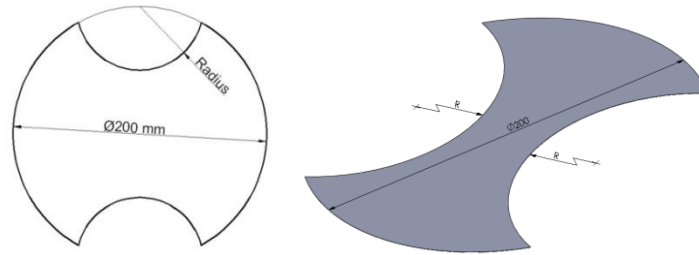
ŞSD'nın belirlenmesinde en çok bilinen iki yöntem mevcuttur. Birincisi Marciniak ve diğeri Nakajima test metodudur (Şekil 4).



Şekil.4 Nakajima ve Merciniak Test Metodları [14]

Marciniak test metodunda düz zımba kullanılırken, Nakijima test metodunda küresel zımba kullanılarak, her iki teknikte de sürtünmenin etkisini azaltmak için özel yağlama teknikleri uygulanmaktadır. Her iki test metodunda farklı geometrilerde hazırlanan numunelerin boyun verme başlangıcına veya yırtılma gerçekleşinceye kadar şekillendirilmesi prensibine dayanmaktadır.

Farklı geometriler sayesinde numune yüzeyinde derin çekme ve gerdirerek şekillendirme koşulları oluşturulur. Ve oluşan kabul edilebilir en büyük birim uzamalar tespit edilerek ilgili malzemenin ŞSD'nın çizdirilmesinde kullanılır. Nakajima test metodunda kullanılan 200 mm çapında (Şekil 5) ve hadde yönüne dik olarak hazırlanan numunelerin radyüs değerleri Tablo.1' verilmiştir. Bu numunelerin şekilleri 1978'de Haşek Tarafından belirlenmiştir [15].



Şekil.5. ŞSD'nın Belirlenmesinde Kullanılan Numunelerin 2B ve 3B Şekilleri

Tablo.1. ŞSD'nın Belirlenmesi İçin Kullanılan Numunelerin Yarıçap Değerleri

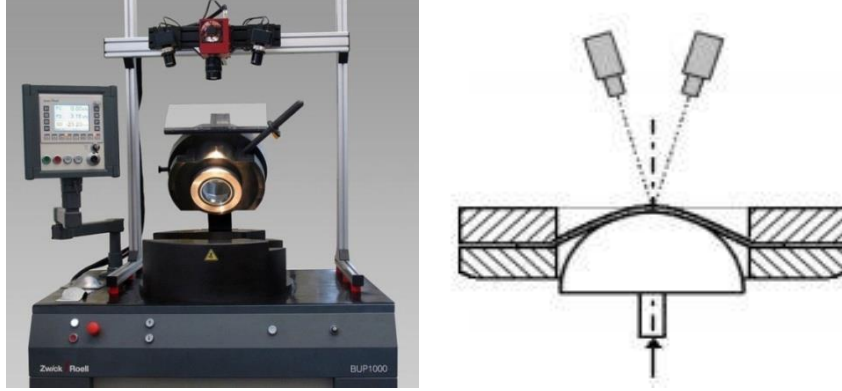
Test Numuneleri	1	2	3	4	5	6	7	8
Yarıçap (R) mm	0	35	45	50	55	65	75	85

ŞSD'ı sac metal üreticileri tarafından müşterilere doğru malzeme seçiminde yardımcı olması için malzeme kalitesinin sınıflandırılmasında kullanılmaktadır. Geleneksel yöntemle ŞSD elde edilmesinde karşılaşılan olumsuz yönlerden bazıları numunenin hazırlamasının ve deformatsiyondan sonra desenlerin ölçümünün uzun zaman alması, numune yüzeyine yapılan desenlerin ŞSD'ını olumsuz etkileyebilmesi ve ölçüm yapan kişiden kaynaklanan ölçme hatalarıdır. Bununla beraber numuneler genellikle yırtıldıktan sonra analiz edilmektedir. Bundan dolayı veri kaybı olmakta ve geri esnemenin dolayısıyla yırtılma bölgesine yakın desenleri olumsuz etkilemektedir. Bu olumsuzlukların ortadan kaldırılarak ŞSD'nın daha hızlı, tekrarlanabilir, daha güvenilir ve daha düşük maliyetle belirlenmesi gerekmektedir. Bu gereksinimleri karşılamak ve istenmeyen durumları en az indirebilmek için ŞSD'nın belirlenmesinde tersine mühendislik uygulamaları kullanılmaya başlanmıştır. Bu çalışmada ŞSD'nın elde edilmesinde kullanılan tersine mühendislik metodu tanıtılacak ve bir uygulama yapılacaktır.

### 3. ŞSD'nın Tersine Mühendislik Yöntemiyle Elde Edilmesi

#### 3.1. Malzeme ve Deneysel Düzenek

Deneyler Atılım Üniversitesi Mükemmeliyet Merkezinde Nakajima Test metodu ve optik deformasyon ölçüm sistemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Şekil.6'da görülen test düzeneğinin başlıca bileşenleri küresel zımba, baskı plakası, ışıklandırma sistemi, optik deformasyon ölçüm sistemi (ARAMIS) ve CCD kameralardır.



Şekil.6. Optik Ölçüm Sistemi ve Nakajima Test Metodunun Deneysel Düzeneği ve Şematik Görünüşü

Nakajima test cihazının max. zımba kuvveti 600 kN, max. zımba kurs boyu 120 mm, max. zımba hızı 1150 mm/dak ve zımba çapı 120 mm'dir. Max. baskı plakası kuvveti 600 kN, cihaza bağlanabilecek sac malzeme kalınlığı 10 mm'dir.

Kullanılan optik deformasyon sistemi fotogrametrinin avantajları ile ızgara projeksiyonu metodunun avantajlarını birleştirmiştir [11]. Fotogrametri yüzey noktalarını ve yüzey yapısını nokta bulutu oluşturarak 3 boyutlu gösterilmesini sağlayan bir metottur. Nesne ızgara metodunda ise nesne üzerine ışık demeti düşürülerek yer değiştirme verileri ve ışık demetinin kontrast bilgileri ulaşılmaktadır. Bu yöntemler kullanılarak deforme olmuş numuneden yer değiştirme vektörü, birim uzama değerleri ve kontur farkı elde edilebilir. Kullanılan kameralar ve numune yüzeyi bir üçgen formu olmak zorundadır. Şekil.8'da Nakajima test düzeneği ve optik düzenin sistematik şekli görülmektedir. Bu çalışmada 2 mm kalınlığında AL 5754 malzeme kullanılmıştır.

#### 3.2. Numunelerin Hazırlanması

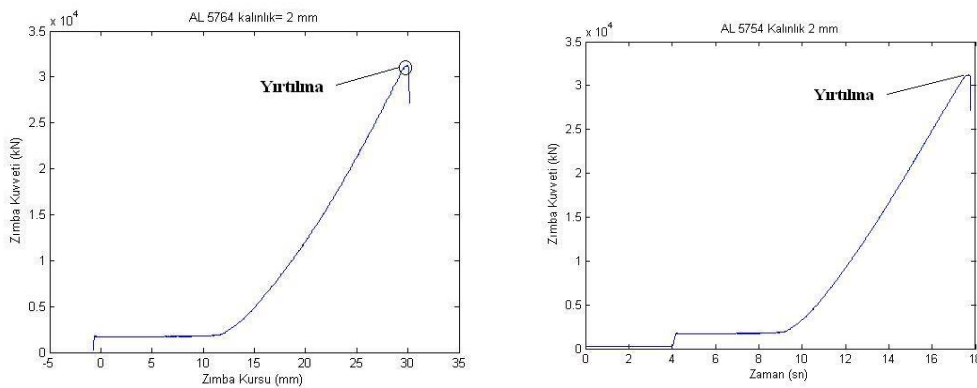
ŞSD'nın elde edilebilmesinde sac malzemenin farklı şartlarda şekil değişimine uğratılabilmesi için farklı geometrik ölçülerde hazırlanması gerekmektedir. Bunun için sac metal malzeme Tablo.1'deki ölçülerde su jeti kullanarak hazırlanmıştır.

Deforme olmuş numunede uzamaların hesaplanabilmesi için deformasyondan önce numune üzerine dairesel desenler oluşturulur. Desenlerin oluşturulmasında kullanılan farklı teknikler mevcuttur. Genel olarak bu tekniklerin dezavantajları uzun zaman almaları, maliyetlerinin yüksek olması ve numune kalınlığını etkiledikleri için ŞSD'nı aşağı çekmeleri ve ölçüm yapan kişiden kaynaklanan hatalardır. Bunun yerine malzeme yüzeyinde sprey kullanarak rastgele bir noktasal desen oluşturuldu. Bu işlem iki aşamadan oluşmaktadır. Malzeme parlak bir yüzeye sahipse lazer ışını CCD üzerinde parlayıp titreme oluşturacaktır veya malzeme mat bir yüzeye sahipse gelen ışını tutarak yeterli ışığın geri dönmesini engelleyecektir. Bundan

dolayı ilk önce malzeme yüzeyi açık gri tonlarda spreyle boyanır. Sonra gri kaplamanın üstüne siyah noktalar oluşturulur. Spray kullanılarak rastgele oluşturulan desen sayesinde hazırlık süresi ve maliyet önemli oranda azalırken, şekillendirilme sınırlarını olumsuz etkileyen sebepler ortadan kalkış olur. Ayrıca yüzeyde oluşturulan nokta sayısı dairesel desen sayısına göre önemli ölçüde artış gösterir. Ölçüm noktalarının fazla olması güvenilirliğin artışı sağlanmaktadır.

### 3.3. Deneylerin Gerçekleştirilmesi

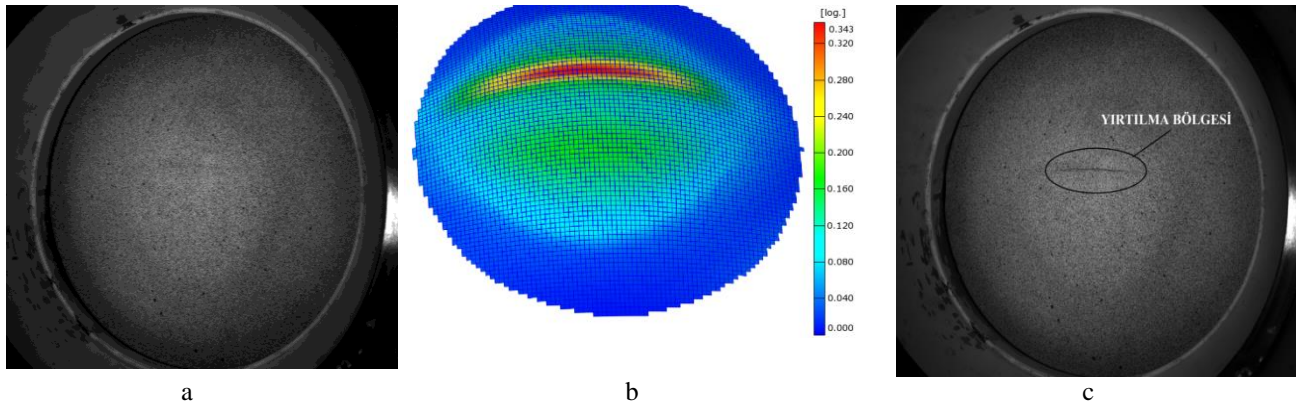
ISO 12004'de [11] yırtılma kriteri olarak bölgesel boyun verme başlangıcı kabul edilmiştir. Fakat boyun verme başlangıcı belirlenmesi zor olduğundan ŞSD'nın belirlenmesi için yırtılma kadar deforme edilen numuneler analiz edilir. Yırtılan numunede veri kayıpları oluşmakta ve yırtılma bölgesindeki geri esneme uzama değerlerini etkilemektedir.



Şekil.7. Kuvvet-Yol(a) ve Kuvvet-Zaman(b) Grafikleri (R=55mm)

Bu analiz metodunda yırtılma başlangıcına kadar deformasyonun bütün aşamaları kaydedilir. Kameraların frekansına göre çok sayıda resim elde edilerek deformasyonun her aşaması incelenebilmektedir. Numune yırtılmadan önce her iki kamera sistemin ulaşabileceği max. frekansta yük bölgesinde kayıt yaparken test süresince makine parametreleri de (kuvvet-yer değiştirme, kuvvet-zaman vb.) kaydedilir. Makine parametrelerinin kaydedilme aralığı 0.01 sn'dir. Şekil.7'de yarıçapı 55 mm olan numunenin zımba kuvvetinin zamanın ve yolun bir fonksiyonu olarak grafikleri görülmektedir. Zımba kuvvetindeki azalmadan yırtılma anı tespit edilebilir. Zımba kuvvetinin yırtılmadan önce ulaştığı kuvvet 31079.8 N, yırtılmanın gerçekleştiği kurs boyu 30 mm ve yırtılma gerçekleştiği zaman 17.76 saniyedir. Deformasyon sırasında kaydedilen resimler incelendiğinde de yırtılma kolaylıkla belirlenebilmektedir. Yırtılmadan önceki fotoğraf üzerinden noktaların yer değiştirmeleri hesaplanarak ŞSD oluşturulmaktadır. Şekil.8'de yırtılma gerçekleşmeden önceki, yırtılmanın gerçekleştiği andaki fotoğraflar görülmektedir.

Nakajima testi üç tekrarlı olarak 2,5 mm/sn'de gerçekleştirilmiştir. Kameraların kayıt hızı 10 resim/sn olduğunda ortalama her deformasyon işleminde 260 resim kaydedilmiştir. Baskı plakası kuvveti (bpk) 250 kN olarak deneme yoluyla belirlenmiştir. Çünkü değerlendirmenin yapılabilmesi için yırtılmanın küresel zımbanın üst kısmında oluşması gerekmektedir. Bpk'nin az olması durumunda numune şekillenmeden baskı plakasından kurtulacaktır, fazla olması durumunda yırtılma flaşlarda gerçekleşecektir.

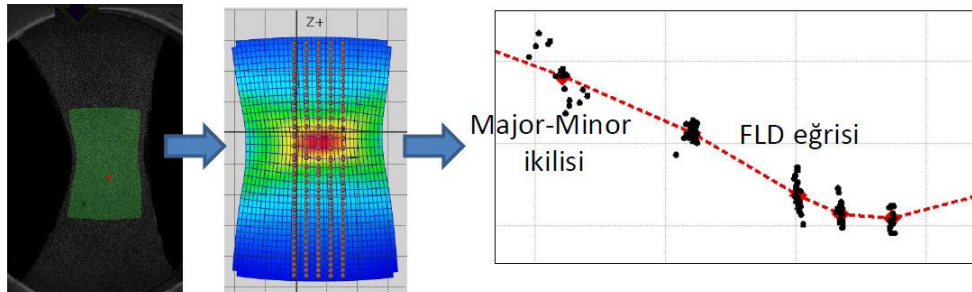


Şekil.8. Yırılmadan Önceki Resim(a), Resim üzerinde Uzama Değerleri (b)ve Yırılma Anındaki (c) Resim

### 3.4. Yer Değiştirmenin Hesaplanması

Sprey kullanılarak oluşturulan rastgele desen siyah noktalardan oluşmaktadır. Yer değiştirmenin belirlenmesinin amacı her P noktası için bütün deformasyon safhalarında nesne koordinatlarının hesaplanmasıdır. Burada önemli olan deforme olmamış durumda P noktasının (X,Y,Z) koordinatları ile deformasyondan sonra P noktasının yeni (X,Y,Z) koordinatlarının bulunabilmesidir. Böylece yer değiştirme ve birim uzama değerleri hesaplanabilir (Şekil.8.b).

Bunun için deformasyon işlemine başlamadan önce numunenin karşılaştırma için kullanılacak referans resmi oluşturulur. Deformasyondan sonra, yırtılma zımba kuvveti-zaman, zımba kuvveti-yol v.b. diyagramlar veya çekilen fotoğraflar kullanılarak belirlenir ve yırtılmadan bir önceki resim ŞSD oluşturulması için kullanılır. Bu resimde boyun verme bölgesine dik 2 mm aralıklarla beş kesit alınır (Şekil.9).



Şekil.9. R85 Yarıçapında Numune, Yırılmaya Dik Alınan Kesitler ve ŞSD

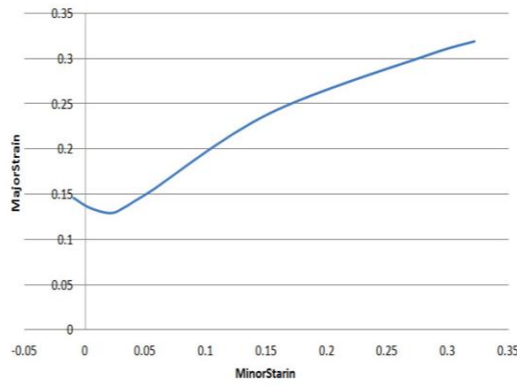
Böylece yer değiştirmenin hesaplanması gereken alan belirlenerek hesaplama süresi azaltılır. Her kesit üzerinde IDDRG(Uluslararası Derin Çekme Araştırma Grubu)'nin geliştirdiği standart algoritma ile hesap yapılarak her tekrardaki beş 'kesit çizgisi' için bir major-minor gerinme ikilisi bulunur [16-17]. Bu yolla üç tekrarlı Nakajima geometrisi için 15 major-minor ikilisi bulunmaktadır. IDDRG'nin önerdiği yöntemde bunların ortalaması ŞSD eğrisinde bir noktaya karşılık gelmektedir. Bu şekilde elde edilen 8 noktanın birleştirilmesiyle ŞSD eğrisi elde edilir.

ŞSD elde edilmesinde kullanılan genel metotta deformasyondan sonra oluşan uzama miktarının ölçülmesinde Mylar bandı, mikroskop, esnek ölçüm şeritleri v.b. kullanıldığı için ölçüm yapan kişiden kaynaklanan hatalar oluşmaktadır. Tersine mühendislik uygulamalarında



ölçüm oluşturulan noktasal desenlerin bilgisayar yardımıyla ölçümü gerçekleştirildiğinden ŞSD daha güvenilir olarak elde edilmektedir.

Bu çalışmada 2 mm kalınlığında AL 5764 için şekillendirmenin bütün safhaları incelenmiştir. Her numune için yırtılma başlangıcı tespit edilmiştir. Uzama değerleri bir önceki resim üzerinden oluşturulmuştur. Elde edilen major ve minor yönlerindeki birim uzamalar Tablo.2’de, birim uzama değerlerinin çizdirilmesiyle elde edilen ŞSD Şekil.10’de görülmektedir.



Şekil.10. ŞSD ve Major-Minor Yönlerindeki Birim Uzama Değerleri

Tablo.2. Major ve Minor Yönlerindeki Uzamalar

Major	0.319	0.322	0.305	0.286	0.239	0.152	0.153	0.0539	0.143
Minor	0.0417	0.135	0.0319	0.129	0.00209	0.0135	0.00373	0.0146	-0.00974

#### 4- Sonuçlar

Bu çalışma AL 5754 malzemenin Şekillendirme Sınır Diyagramı’nın belirlenmesinde optik deformasyon ölçüm sistemi kullanılarak, sistemin bileşenleri ve aşamaları tanıtılmıştır. Sistem tersine mühendislik uygulamalarından fotoğrometri ve ızgara iz düşüm metotlarını kullanmaktadır. Söz konusu sistemin en önemli avantajları otomasyona uygun olması, daha hızlı, daha ucuz ve tekrarlanabilir olarak ŞSD’nin elde edilebilmesidir. Farklı şartlardaki uzama miktarının tespit edilebilmesinde rastgele noktasal desen kullanılarak ölçüm noktalarının önemli ölçüde artması sağlanmış ve hazırlık süresi azaltılmıştır. Deformasyon süreci kayıt altına alınarak bütün evreler analiz edilmiştir.

Yırtılma anı, zımba kuvveti yolun veya zamanın bir fonksiyonu olarak incelenerek kuvvetin kararsızlığından ve kaydedilen resimlerin incelenmesi sonucu tespit edilmiştir. Yırtılmadan bir önceki resim kullanılarak ŞSD’i çizdirilmiştir. Böylece yırtılma bölgesinde gerçekleşen veri kaybı veya geri esnemenin meydana gelen uzama değişiklikleri önlenmiştir.

Deformasyondan sonra numune yüzeyine yapılan desenlerin ölçümü ve değerlendirmesi bilgisayar yardımıyla yapıldığından ölçüm yapan kişiden kaynaklanan ölçüm hataları engellenmiştir. Elde edilen sonuçlar, malzeme özelliklerinin belirlenmesinde Tersine mühendislik yaklaşımının yaygın kullanım alanı bulacağı yönündeki kanaatleri güçlendirmiştir.

## Referanslar

- [1] Hsu C Q, Comparison of analysis models to measure plastic strains on sheet metal forming parts by dijital image processing, *Machine Tools and Manufacture* 2003;43:515-521.
- [2] Ahmedi S, Eivani A R, Akbarzadeh A, Experimental and analytical studies on The prediction of forming limit diyagrams, *Computational Materials Science* 2009;44:1252-1257.
- [3] Stoilov G, Genov J, Kavardzhikov V, Kovachev J, A software system for determination of forming limit diyagrams, *International Science and Computing* 2009;11:45-52.
- [4] Erhuy C G, Yurci M E, Altan T, Determining the effective stress – effective strain curve of a hight – strength low – alloy steel sheet from The Viscous Pressure Bulge Test, *Sigma Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi* 2009;26-4:282-299.
- [5] Anket O, Koruvatan T, Ay İ, Sac malzemelerin şekillendirmesinde şekillendirme sınır diyagramlarının kullanımı, *Politeknik Dergisi* 2011;14-1:39-47
- [6] Hecker S S, Simple technique for determining forming limit curves, *Sheet Metal Industries* 1975;53:671-675.
- [7] Moshksar M M, Mansorzadeh S, Determination of the forming limit diagram for Al 3105 sheet, *Journal of Materials Processing Technology* 2003;141: 138–142.
- [8] Kim J H, Choi C S, Lee T K, Kim Y H, Experimental determination of forming limit diyagram and springback characteristics of AZ31B mg alloy sheets at elevated temperatures, *Materials Transactions* 2008;49-5:1112-1119.
- [9] Park D H, Sreejith P S, Analysis of Surface Deflection in Autobody Outer Panel, *World Academy of Science, Engineering and Technology* 2010;61;5-9.
- [10] Galanulis K, Hofmann A, Determination of forming limit diagrams using an optical measurement system, *Proc. Of. SheMet* 1999;99:245-252.
- [11] Geiger M, Merklein M, Determination of forming limit diyagrams-a new analysis method for characterization of materials formability, *CIRP Annals-Manufacturing Technology* 2003;52-1:213-216.
- [12] Kumar U, Analysis of major and minor strains in sheet metal forming, *International Journal of Application or Innovation in Engineering Management* 2013;2:194-198.
- [13] Strano M, Colosimo M, Logistic regression analysis for experimental determination of FLD, *International Journal of Machine Tools and Manufacture* 2006; 46: 673–682.
- [14] Hsu E, Carsley J E, Verma R, Development of forming limit diagrams of aluminum and magnesium sheet alloys at elevated, *Journal of Material Engineering and Performance* 2008;17-3: 288-296.
- [15] Walters C L, Development of a punching technique for ductile fracture testing over a wide range of stress states and strain rates (PhD thesis), *Mechanical Engineering at The Massachusetts Institute of Technology, University of Massachussts* 2009.
- [16] Karadoğan C, Doğan A, Şekillendirme sınır diyagramı test sonuçları, *Metal Şekillendirme Mükemmeliyet Merkezi* 2013.
- [17] [www.gom.com/industries/sheet-metal-forming/material-propertiesflc.html](http://www.gom.com/industries/sheet-metal-forming/material-propertiesflc.html), Determination of process limitations in sheet metal forming - forming limit diagram