



T.C.
SELÇUK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

HİDROMEKANİK DERİN ÇEKMEDE SIVI BASINCI ve BASKI PLAKASI KUVVETİ EĞRİLERİNİN BELİRLENMESİ

Selahattin Burak AKAY

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Mart-2014
KONYA

Her Hakkı Saklıdır

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

Selahattin Burak AKAY

Tarih: 03.03.2014

ÖZET

YÜKSEK LİSANS

HİDROMEKANİK DERİN ÇEKMEDE SIVI BASINCI ve BASKI PLAKASI KUVVETİ EĞRİLERİNİN BELİRLENMESİ

Selahattin Burak AKAY

Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Makina Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. H. Selçuk HALKACI

2014, 85 Sayfa

Jüri
Prof. Dr. H. Selçuk HALKACI
Doç. Dr. Ömer Sinan ŞAHİN
Yrd. Doç. Dr. Murat DİLMEÇ

Hidromekanik derin çekme işlemi sac şekillendirmede kullanılan bir yöntemdir. Proses sırasında sac, sıvı basıncı etkisiyle ilerleyen stampaya sıvanarak şekil alır. Bu üretim yönteminin başarısını etkileyen birçok parametre vardır. Bunlardan en önemlileri sıvı basıncı ve baskı plakası kuvvetidir. Bu parametrelerin şekillendirme sırasında uygun değerlerde olması, sınır çekme oranı ve sacdaki incelme gibi özelliklere doğrudan etki etmektedir.

Bu çalışmada Abaqus sonlu elemanlar analiz (SEA) programı kullanılarak optimum sıvı basıncı ve baskı plakası kuvveti profillerinin belirlenmesi üzerinde durulmuştur. Hidromekanik derin çekme prosesi Abaqus SEA sonlu elamanlar programında modellenirken, program basınçlı bölgeleri tanımlamada yetersiz kalmaktadır. Bu yüzden Abaqus SEA programının yeteneklerini artıran alt programlar kullanılmıştır. Böylece basınçlı bölgelerin tanımlanmasında deney şartlarına daha fazla yaklaşılmıştır. Daha sonra deneme yanılma metodu kullanılarak Al5754 sac malzemede en az incelmeye neden olan optimum sıvı basıncı ve baskı plakası kuvveti profilleri belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Altprogram, hidromekanik derin çekme, sonlu elemanlar analizi

ABSTRACT

MS THESIS

INVESTIGATION OF FLUID PRESSURE AND BLANK HOLDER FORCE CURVES ON HYDROMECHANICAL DEEP DRAWING

Selahattin Burak AKAY

THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF SELÇUK UNIVERSITY
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE
IN MECHANICAL ENGINEERING

Advisor: Prof. Dr. H. Selçuk HALKACI

2014, 85 Pages

Jury
Prof. Dr. H. Selçuk HALKACI
Assoc. Prof. Dr. Ömer Sinan ŞAHİN
Asst. Prof. Dr. Murat DİLMEÇ

Hydromechanical deep drawing is a method which used sheet metal forming process. During the process, sheet is taken shape by plastering to punch with the effect of fluid pressure. Affecting the success of this production method has several parameters. The most important of these are the fluid pressure and the blank holder force. Having proper values of these parameters during forming has a direct effect such as drawing ratio, thinning in the sheet.

In this study, it is focused on identifying optimum fluid pressure and blank holder force path by using Abaqus Finite Element Analysis (FEA) software. Abaqus FEA program has been insufficient to define areas of pressure in hydromechanical deep drawing process. Therefore subroutines are used that extend the capabilities of Abaqus FEA software. Thus, it has been approximated experimental conditions to define pressurized regions. Afterwards fluid pressure and blank holder force path of AA5754 sheet material that causing minimum thinning are determined by using trial and error method.

Keywords: Subroutine, hydromechanical deep drawing, finite element analysis

ÖNSÖZ

Bu çalışmada hidromekanik derin çekme işleminin önemli parametrelerinden olan sıvı basıncı ve baskı plakası kuvveti profilleri Abaqus SEA programı kullanılarak incelenmiştir. Hidromekanik derin çekme işlemi sonlu elemanlar programında modellenerek en uygun sıvı basıncı ve baskı plakası kuvveti profilleri belirlenmiştir. Sonlu elemanlar analizi için kullanılan Abaqus SEA paket programı, hidromekanik derin çekme işleminde basınçlı bölgeleri tanımlamada yetersiz kalmaktadır. Bu nedenle bu çalışmada yapılan analizlerde Abaqus SEA programının yeteneklerini arttıran alt programlar kullanılmıştır. Basınçlı bölgeler gerçeğe daha yakın modellenebildiği için analizler daha doğru sonuçlar vermiştir. Analiz modelini bu şekilde iyileştirdikten sonra belirlenen sıvı basıncı ve baskı plakası kuvvet profilleri Abaqus SEA belirlenerek elde edilen sonuçlara göre optimum sıvı basıncı ve baskı plakası kuvveti profilleri ortaya konmuştur.

Bu çalışmada, beni yönlendiren danışmanım Prof. Dr. H. Selçuk HALKACI ve yardım ve katkılarından dolayı Arş. Grv. Mevlüt TÜRKÖZ'e teşekkürlerimi sunarım.

Selahattin Burak AKAY
KONYA-2014

İÇİNDEKİLER

ÖZET ..... **iv**

ABSTRACT ..... **v**

ÖNSÖZ ..... **vi**

İÇİNDEKİLER ..... **vii**

1 GİRİŞ **1**

2 KAYNAK ARAŞTIRMASI **5**

2.1 Sac Hidroşekillendirme 5

2.1.1 Hidromekanik derin çekme 6

2.1.2 Dişi kalıpla sac hidroşekillendirme 9

2.2 Hidromekanik Derin Çekmede Proses Parametreleri 10

2.3 Optimum Sıvı Basıncı ve Baskı Plakası Kuvveti Profillerinin Belirlenmesinde Kullanılan Yöntemler 13

2.3.1 Geleneksel yaklaşım (Conventional approach) 14

2.3.2 Otomatik beslemeli yaklaşım (The self feeding approach) 14

2.3.3 Optimizasyon yaklaşımı (Optimization approach) 15

2.3.4 Adaptif yaklaşım (Adaptive approach) 21

3 HİDROMEKANİK DERİN ÇEKME PROSESİNİN MODELLENMESİ **25**

3.1 Part Modülü 25

3.2 Property Modülü 27

3.3 Assembly Modülü 30

3.4 Step Modülü 31

3.5 Interaction Modülü 32

3.6 Load Modülü 34

3.7 Mesh Modülü 39

3.8 Job Modülü 40

4 ABAQUS SEA'DE ALT PROGRAMLARIN (SUBROUTINE) KURULMASI VE ÇALIŞTIRILMASI **43**

4.1 Alt Programların Çalıştırılabilmesi İçin Gerekli Programlar 43

4.2 Programların Tanıtılması ve Çalıştırılması 44

4.2.1 Ortam değişkenlerinin tanımlanması 45

4.2.2 Abaqus SEA programı kısayol hedefinin değiştirilmesi 47

4.2.3 Abaqus command kısayol hedefinin değiştirilmesi 48

4.2.4 Abaqus verification kısayol hedefinin değiştirilmesi 48

4.2.5 Ek ayarlamalar 49
4.2.6 Programların çalışabilirliğinin doğrulanması 50
4.3 Alt Programların Çalıştırılması 51
4.4 Abaqus Commander DOS Penceresinin Kullanılması 52
4.5 Microsoft Visual Studio ile Hata Ayıklama (Debugging) İşlemi 53
4.6 Abaqus SEA Altprogram Komutları 55
4.6.1 Vload 55
4.6.2 Vdload 56

5 ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA 60

5.1 Optimum Sıvı Basıncı Profilinin Elde Edilmesi 60
5.2 Optimum Baskı Plakası Kuvveti Profilinin (OBPK) Elde Edilmesi 63
5.3 Elde Edilen Eğrilerin Önceki Çalışmalarla Karşılaştırılması 68

6 SONUÇLAR VE ÖNERİLER 74

7 KAYNAKLAR 75

EKLER 78

EK-1 ALT PROGRAM KODLARI 79
EK-2 SIVI BASINCI PROFİL DENEMELERİ 80
EK-3 BASKI PLAKASI PROFİL DENEMELERİ 81

1 GİRİŞ

Otomotiv, beyaz eşya sektörleri başta olmak üzere seri üretim teknolojisinin kapsamına giren sac metal parçaların yaklaşık %99'u kalıplama ile üretilmektedir. Her parça için kalıp tasarımı ve imalatı; sac malzemenin geometrik karmaşıklığı ve şekillendirme parametrelerinin belirlenmesinin zorluğu açısından oldukça zaman kaybına yol açmaktadır. Özellikle bazı büyük boyutlu parçalar (otomotiv kaportaları, savunma sanayisinde kullanılan büyük gövdeler vb.) için kalıp tasarımı ve imalatı ve metal sacın şekillendirilmesi çok büyük altyapı ve yatırım maliyeti gerektirmektedir (Karaağaç ve ark, 2009).

Şekillendirilmesi zor olan malzemelerin bu sınırlamalarının üstesinden gelmek için, uygulanan yöntemlerden biri hidroşekillendirme prosesidir. Hidroşekillendirme sac veya boru şeklindeki malzemelerin sıvı basıncı yardımıyla şekillendirilmesinde kullanılan bir imalat yöntemidir. Klasik bir kalıpla, parçalar iki kalıp arasında şekillendirilirken, sac hidroşekillendirme yönteminde tek bir kalıp kullanılmaktadır. Böylece kalıp masrafları azalmakta, kalıp uyumu aranmamakta ve farklı kalınlıktaki saclar tek bir kalıpla şekillendirilebilmektedir. Ayrıca sıvının esnekliğinden yararlanılarak çok karmaşık şekillerin elde edilmesi mümkün olmaktadır. Bu yöntemde sac malzemenin tüm yüzeyinde homojen dağılmış bir yük dağılımı olduğu için sacda incelmeler daha az olmakta ve homojen bir kalınlık dağılımı elde edilebilmektedir. Dolayısıyla saclar daha fazla şekillendirilebilmektedir. Ayrıca hidroşekillendirme ile üretilen parçalar daha yüksek mukavemete, daha iyi boyutsal ve geometrik doğruluğa ve daha düşük yüzey pürüzlüğüne sahip olabilmektedir.

Hidromekanik derin çekme, sıvı basıncıyla şekillendirme ve klasik derin çekme yöntemlerinin karışımı olan bir şekillendirme yöntemidir. Bu yöntemde; sac malzemeyi şekillendirmek için stampa sac metal parçayı kontrollü olarak yüksek basınçlı sıvı bir akışkana doğru hareket ettirmektedir. Baskı plakası ise sacı kalıba bastırarak şekillendirme sırasındaki malzeme akışını kontrol eder. Stampa sıvı içerisinde hareket ettirilirken sıvı basıncı artırılır. Böylece stampa ile sac malzeme arasında temas alanı artmakta ve sacın incelerek yırtılma olasılığı azalmaktadır. Ayrıca sac klasik derin

çekme yöntemine göre daha üniform bir yapıda ve kırılma başlangıcı geciktirildiğinden dolayı da çekme derinlikleri % 30 kadar daha fazla olabilmektedir.

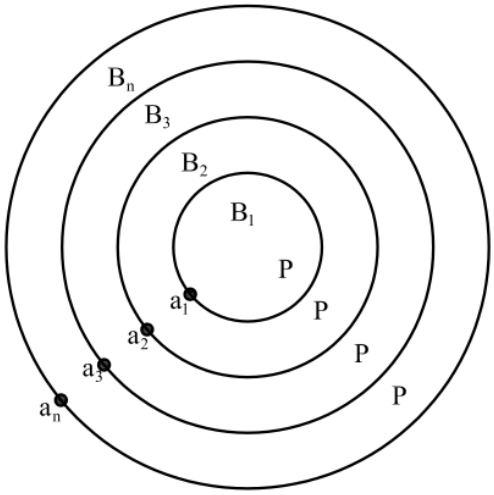
Hidromekanik derin çekme prosesinin başarısı sıvı basıncı, baskı plakası kuvveti, ön şişirme yüksekliği, sac kalınlığı, sürtünme kuvveti, vb. gibi parametrelerin uygunluğuna bağlıdır (Halkaci ve ark., 2011). Bunlardan en önemlileri uygulanacak olan sıvı basınç ve baskı plakası kuvvetidir. Basınç kuvveti ile baskı plakası kuvveti birbirlerini etkileyen parametrelerdir. Yüksek sıvı basıncı ve yüksek baskı plakası kuvveti yırtılmalara yol açmaktadır. Yetersiz sıvı basıncı ve baskı plakası kuvveti ise malzemede kırışmalara neden olmaktadır. Şekillendirme prosesinin başarılı olabilmesi için uygun sıvı basıncı ve baskı plakası kuvvetinin belirlenmesi gerekir.

Uygun baskı plakası kuvveti ve sıvı basıncı parametrelerini belirlemek için, derin çekme prosesi sonlu elemanlar analizi (SEA) ile modellenerek simülasyonlar yapılır. Böylece deney yaparken harcanan maliyet ve zaman kaybının önüne geçilmiş olur. Simülasyonlardan elde edilen verilerle deneylerden elde edilen sonuçlar karşılaştırılır ve gerekli değerler değiştirilerek uygun değerler bulunmaya çalışılmaktadır. Fakat hiçbir simülasyon gerçek olayları tam olarak karakterize edemez. Gerçek ile simülasyon ortamında, prosesin modellenmesi, kullanılan hasarlanma kriterleri, vb. gibi faktörler nedeniyle farklılıklar oluşur. Burada amaç, simülasyon ile gerçek durumlar arasındaki hata payı azaltılarak gerçek durumlara yakın simülasyonlar yapabilmektir.

Simülasyon yazılımlarında birçok modelleme ve çözümleme yöntemleri kullanılır. Fakat bazı durumlarda kullanılan SEA programları mevcut yapıyı veya şartları modellemede yetersiz kalmaktadır. Bu çalışmada olduğu gibi, kullanılan ABAQUS/CAE SEA yazılımı hidromekanik derin çekme işleminde basınç sınırını belirlemede yetersiz kalmaktadır. Hidromekanik derin çekme simülasyonunda, en başta baskı plakasına temas eden sac, daha sonra stampa hareketiyle kalıp boşluğuna akmaya başlayınca ABAQUS'ün standart komutlarıyla bu belirli yarıçaptaki bölge düzenli şekilde basınçlandırılamamaktadır. Geçmişte bu sorun, "partition" denilen yöntemle sacı birkaç bölüme ayırarak basınç uygulayarak aşılmaya çalışılmıştır (M.Halkaci ve ark., 2012). Ancak bu yöntemle fazladan tanımlanan işlem ve adımlardan dolayı, analiz hem

normalden uzun sürmekte hem de deneylerden elde edilen sonuçlara istenilen ölçüde yaklaşılamamaktadır.

Partition yönteminde sac, şekillendirme devam ettikçe kalıp ve baskı plakası arasından kayarak kalıp boşluğuna giren kısmına basınç tanımlayabilmek için farklı bölgelere ayrılır (Şekil 1.1). İlk bölge şekillendirme başlamadan önce sıvı basıncının etkidiği sınır olan a_1 çapındaki B_1 bölgesidir (Şekil 1.2a). Sacın kalıp ve baskı plakası arasında kalan kısmının bölme sayısı ne kadar çok olursa gerçek duruma o kadar yakınlaşılır. Modelleme süresinin çok zaman alıcı olmaması için, bu kısım genellikle 4-5 bölgeye ayrılır. Stampa ilerledikçe kalıp boşluğuna giren her bölgeye (örneğin a_1- a_2 arasındaki B_2 bölgesi) (Şekil 1.2b) basınç tanımlayabilmek için bölge sayısı kadar analiz adımı oluşturulur ve basınç ilgili adım zamanında tanımlanır. Sac kalıp boşluğuna aktıkça diğer bölgeler için de benzer şekilde basınç tanımı yapılır. Bu yöntemde radyal doğrultudaki eleman sayısı kadar bölge tanımlamak çok zordur. Az sayıda bölge tanımlandığı zaman da sacın basınç uygulanması gereken elemanlarına

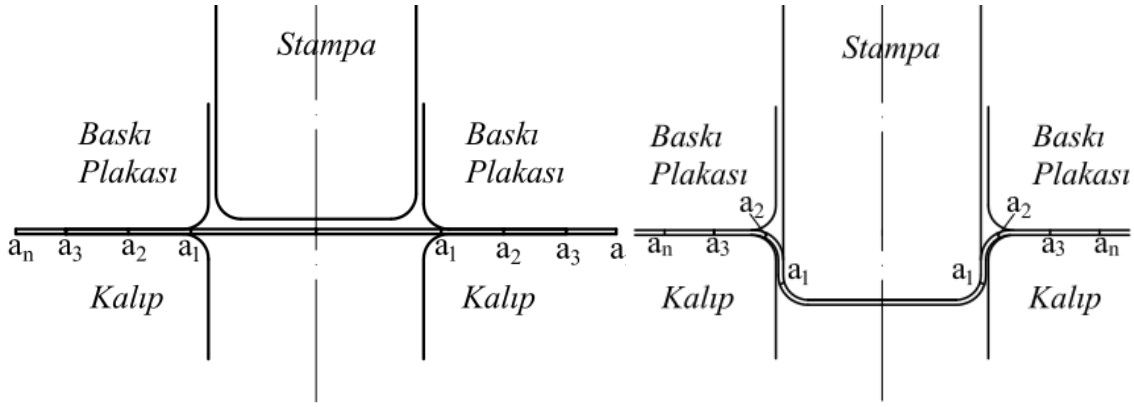


Şekil 1.1 Derin çekilen sacda tanımlanan basınç nokta ve bölgeleri

bazen basınç uygulanamamaktadır. Bazen de tersi olmaktadır. Bu nedenle yöntemin modelleme doğruluğu azdır. Ayrıca modelleme süresi de uzundur. Bu olumsuzlukları giderecek şekilde modelleme yapabilmek için, gerçekte sıvı basıncının etkidiği a_1 sınırından içeriye giren her bir sac elemanına basınç uygulamak gerekmektedir. Bu şekildeki bir modelleme de Abaqus yazılımında ancak altprogramlar yazılarak yapılabilmektedir. Bu amaçla geliştirilen altprogramlar kullanılarak yapılan

tanımlamada, sac parçanın kalıp boşluğuna doğru akan her noktasına sıvı basıncı etkiyecek şekilde tanımlama yapılmıştır. Bu sayede deney şartlarında olduğu gibi sıvı basıncı uygulaması bire bir modellenebilmiştir.

Bu tez çalışmasında, hidromekanik derin çekme prosesindeki optimum sıvı basıncı ve baskı plakası kuvveti profilleri SEA ile belirlenmiştir. Bu profillerin en doğru şekilde elde edilebilmesi için analizlerde sac yüzeyine uygulanacak basınç sınırı fortran



(a) (b)

Şekil 1.2(a) Hidromekanik derin çekme işlemi öncesi basınç noktaları (b) Hidromekanik derin çekme işlemi sırasında basınç noktaları

programlama dili ile yazılan altprogramlar (subroutine) kullanılarak modellenmiştir. Çalışmada altprogramların (subroutine) nasıl yazılacağı ve kullanılacağı detaylı şekilde açıklanmıştır. Daha sonra deneme ve yanılma yöntemiyle çeşitli yükleme profilleri ile analizler yapılmıştır. Denenen profillerden sacda en az incelmeye neden olanları optimum olarak belirlenmiştir. Uygulanan yöntemin başarısını kanıtlamak için optimum profiller kullanılarak elde edilen sonuçlar literatürdeki benzer çalışmalarla karşılaştırılmıştır.

2 KAYNAK ARAŞTIRMASI

Bu bölümde öncelikle sac hidroşekillendirme prosesi ve çeşitleri anlatılmış, daha sonra da hidromekanik derin çekme işleminin başarısına etki eden parametrelerden bahsedilmiştir. Son olarak da hidromekanik derin çekme işleminde kullanılan optimizasyon teknikleri araştırılmıştır.

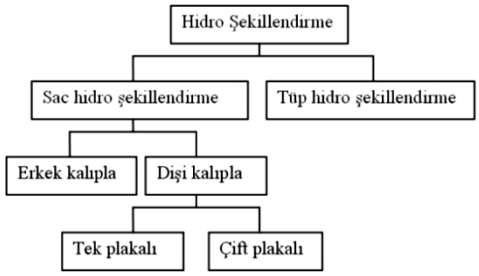
2.1 Sac Hidroşekillendirme

Sac hidroşekillendirme teknolojisinin genel uygulama alanları reflektörler, uçaklar, otomobil parçaları, mutfak ekipmanları ve elektrikli ev aletleri olarak sayılabilir (Lang ve ark. 2004).

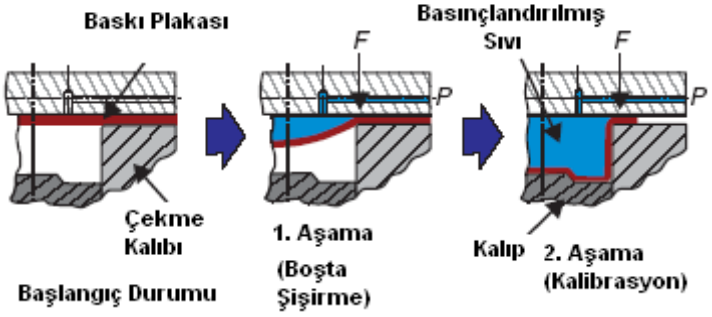
Sac hidroşekillendirmede kullanılan sıvı ortamın iki temel amacı vardır. Birincisi stampa kuvvetinin sadece iş parçası tabanı tarafından karşılanmayarak, erkek kalıbın yan yüzeylerinde oluşacak sürtünme kuvvetiyle desteklenmesi nedeniyle, malzemede yırtılma başlangıcının geciktirilmesi, böylece daha yüksek çekme oranlarının elde edilebilmesidir. İkincisi de sıvı basıncının etkisi ile sacın kalıbın şekline geleneksel kalıplamaya göre daha fazla uymasıdır. Sac hidroşekillendirme, Şekil 2.1'de de görüldüğü gibi, stampa ya da dişi kalıbın kullanılması durumuna bağlı olarak erkek kalıpla sac hidroşekillendirme (SHF-P) ve dişi kalıpla sac hidroşekillendirme (SHF-D) diye ikiye ayrılır. Dişi kalıpla sac hidroşekillendirme de kendi içerisinde tek plakalı ve çift plakalı diye ikiye ayrılır.

Sac hidroşekillendirme işlemini Zhang (1999), sac parça ve sıvı arasına esnek bir diyafram yerleştirilerek sıvının parça ile olan temasını kesmekten ibaret olan "esnek şekillendirme" diye tanımladığı üretim yöntemi olarak belirtmiştir ve yine bu üretim yönteminin adına "hidro derin çekme" ismini vermiştir. Zhang (1999) ayrıca "erkek kalıpla sac hidroşekillendirme" diye belirttiğimiz üretim yöntemine "hidromekanik derin

çekme" adını vermiştir ve "hidro derin çekme" işleminden farkını sadece esnek diyaframın olmayışı olarak belirtmiştir.



Şekil 2.1 Hidroşekillendirme yönteminin sınıflandırılması (Altan 2006)

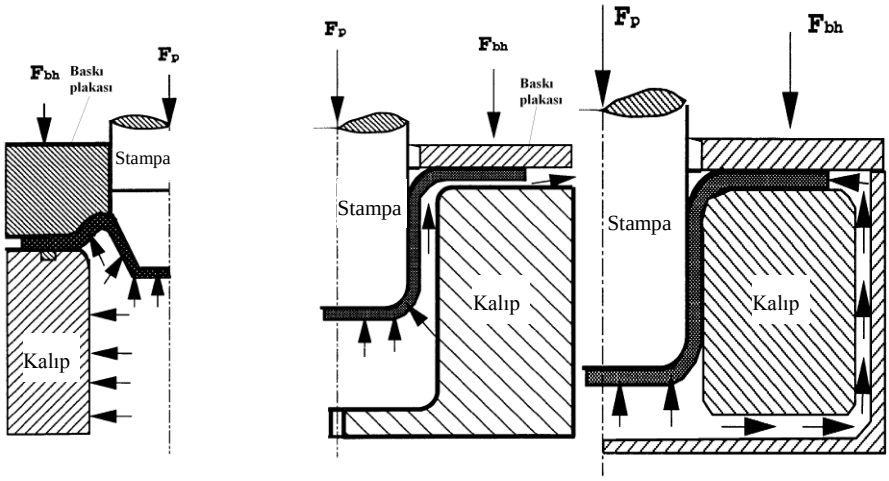


Şekil 2.2 Dişi kalıpla sac hidroşekillendirme işlemi (SHF-D) (Altan 2006)

2.1.1 Hidromekanik derin çekme

SHF-D yönteminde sac, sıvının basınç kuvvetiyle dişi kalıba sıvanarak şekillendirilmekte iken, hidromekanik derin çekme (erkek kalıpla sac hidroşekillendirme) (SHF-P; Sheet Hydro Forming with Punch) yönteminde ise sac erkek kalıbın kuvveti ve karşı taraftan basınçlı sıvının desteği ile erkek kalıbın formunu almaktadır. SHF-P yöntemlerinden biri olan hidro mekanik derin çekme (hydro mechanical deep drawing) (Zhang 1999) de ise stampa basınçlı bölgeye doğru hareket ettirilmektedir. Basınç kabındaki sıvının basıncı stampanın ileri stroğundan dolayı oluşuyor ve sadece valfin kaçırmasıyla kontrol ediliyorsa, "pasif basınçla kontrol", harici bir pompa ya da akümülatör ile stampanın pozisyonuna göre ayarlanabiliyorsa da "aktif basınçla kontrol"

denir (Braedel ve ark. 2005). Zhang (1999) hidromekanik derin çekme işlemini Şekil 2.3'te görüldüğü gibi (a) Hidrostatik hidromekanik derin çekme ve (b) Hidrodinamik hidromekanik derin çekme olarak ikiye ayırmıştır. Hidrodinamik derin çekme yönteminde sıvı sacın altında yüksek bir hızla dışarı doğru akarken stampa strokunun artmasıyla sıvı basıncı değişir. Bu yöntemle sac ve dişi kalıp arasındaki sürtünme kuvveti önemli derecede azaltılır. Bu yöntemlerden başka Şekil 2.3(c)'de görüldüğü gibi bir de radyal hidromekanik derin çekme işlemi vardır. Bu yöntemde sac, sıvı basıncıyla radyal olarak stampaya doğru itilir.



(a) (b) (c)

Şekil 2.3 Hidromekanik derin çekme prosesi (a) Hidrostatik hidromekanik derin çekme (b) Hidrodinamik hidromekanik derin çekme (c) Radyal hidromekanik derin çekme

Pratik uygulamalarda alüminyum malzemeler için hidromekanik çekmede 2,7 gibi yüksek çekme[1] oranlarına (LDR) rahatlıkla ulaşılabilmektedir. Hatta radyal hidromekanik derin çekme yöntemi ile bu oran 3,3 değerlerine kadar çıkmaktadır (Zhang ve Danckert 1998). Bu nedenle klasik çekmede birden çok çekme kademesi gerektirecek profillere bu yöntemle tek adımda ulaşmak mümkün olabilir. Ayrıca bu işlem sırasında, malzemenin stampaya akışkan basıncı yardımıyla sıvanması sayesinde taban kavisi

[1] Çekme oranı (b=D/d), D ilkel sac çapı, d çekilecek çap.

bölgesinde malzeme incelmesi pek az olmaktadır. Bu büyük üstünlük, çok ince malzemelerin bile hidro mekanik yöntem kullanılarak çekilmesine olanak sağlar. Küçük taban kavisleri kullanılabilir. Dolayısıyla basınçlı kap imalatı gibi alanlarda, oldukça büyük avantaj sağlamaktadır. Klasik derin çekmede et kalınlığındaki yerel incelmelerden kaçınmak için, nominal kalınlıktan daha kalın levhalar kullanılırken; hidro mekanik derin çekme yöntemiyle üretilen parçalarda, nominal kalınlığa çok daha yakın malzemeler kullanılabilir. Yöntem otomobil parçalarının üretiminde (far kovanları, çamurluklar), uçak sanayinde ve mutfak ekipmanları üretiminde kullanılmaktadır (Şahin 2004). Hidrostatik yöntemde stampa tam sacın üstünde iken sabit bir sıvı basıncı uygulanarak sac stampaya doğru şişirilmekte ve bundan sonra stampa ilerleyerek sacı deforme etmektedir. Bu şekildeki imalat ile sacın karşı tarafında sıvı basıncının bulunmadığı durumlara yani geleneksel kalıplama yöntemine göre saclar % 12 ile % 31 arasında daha derin çekilebilmektedir. Bunun birkaç nedeni vardır fakat en önemli olanı sacın ilk başta şişirilmesi ve stampa tarafından şişmenin tersi yönünde deforme edilmesi ile pekleşme meydana gelmesidir. Bu pekleşmenin derecesine göre sacda hatalara karşı direnç artmaktadır. Derin çekme oranının artmasının başka bir nedeni bu ters yönde eğme ve gerdirme sac metalin kalıp boşluğu içerisinde plastik olarak şekil değiştirmesini sağlamakta ve bu yüzden stampa yüzeyi boyunca lokal birim şekil değişiminin olması geciktirilmektedir. Bu şekillendirilebilirliğin artışındaki başka bir neden şişirme işleminin yapılmasıyla kalıp içinde stampa tarafından deforme edilecek malzeme miktarının artmasıdır. Hidrodinamik yöntemde ise stampa sacı deforme ettikçe sıvının basıncı kontrollü olarak artırılmaktadır. Bunun amacı sıvının basıncının kademeli olarak artırılması ile birim şekil değiştirme lokalleşmelerinin geciktirilmesidir (Zampaloni ve ark. 2003). Ayrıca stampa kenarlarındaki yüzeylere sacın itilmesi nedeniyle stampa ile sac arasında oluşacak sürtünme kuvveti stampanın tabanının etki ettiği kısımlarda yırtılmaya neden olacak kuvvetleri azaltır.

2.1.2 Dişi kalıpla sac hidroşekillendirme

Bu hidroşekillendirme yönteminin Şekil 2.2'de görüldüğü gibi iki aşaması vardır.

1. aşama ön şişirme (pre-bulging) olarak da adlandırılabilecek serbest şişirme (free bulging) prosesidir. Bu aşamada sac metal, kalıp boşluğu içerisinde, kalıp yüzeyi ile temas edinceye kadar serbest olarak şişer. Sac parçanın serbest olarak şişmesi, geleneksel kalıplama ile üretilmiş parçalarla karşılaştırıldığı zaman malzemenin üniform olarak deforme olmasını sağlar.

2. aşama sacın yüksek basınçlı sıvı yardımıyla istenilen şekli alması için kalıp boşluğuna göre kalibrasyonunu içerir. Bu basıncın miktarı sacın malzemesine ve kalınlığına, parçanın karışıklığına ve kalıp geometrisinde radyüsü en küçük olan köşeye bağlıdır.

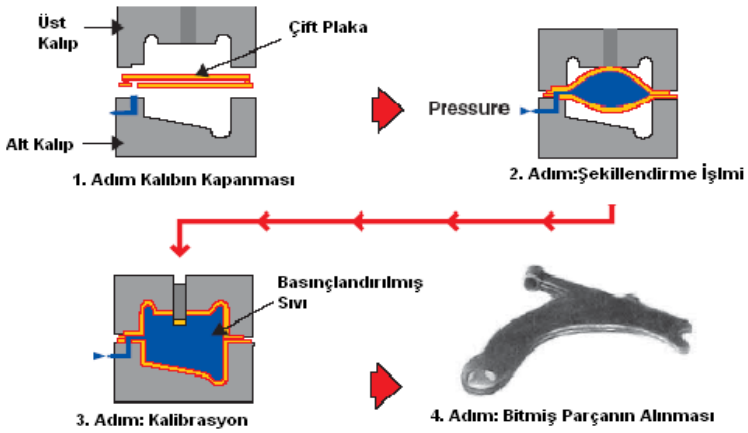
Dişi kalıpla sac hidroşekillendirmenin başarılı olabilmesi için aşağıda belirtilen konuların geniş bir bakış açısıyla dikkate alınması gerekir (Altan 2006):

- Kalıp ve iş parçası arasındaki sürtünme ve yağlama
- Baskı plakası kuvvetinin sızıntıyı önleyecek şekilde uygulanabilmesi göz önüne alınarak kalıbın tasarlanması
- İç sıvı basıncı ve baskı plakası kuvveti arasındaki ilişki
- Pres ve kalıplama
- Şekillendirilecek parçanın ölçüleri ve özellikleri

Çift plakalı sac hidroşekillendirme işleminde, iki adet farklı kalınlıklarda ve farklı şekillerde de olabilen düz ya da ön şekil verilmiş, kenarları kaynatılmış ya da kaynatılmamış olan sac metaller çift plakalı sac hidroşekillendirmede kullanılacak girdi malzemeyi oluşturur.

Form verilecek şekle sahip üst ve alt kalıpların arasına çift plakalı sac yerleştirilir (Şekil 2.4). Sac kenarlarından tutulur ve basınçlandırılmış sıvı sacların arasına uygulanır. Saclar basınçlı sıvı yarımıyla üst ve alt kalıpların şeklini alır.

Çift plakalı sac hidroşekillendirme dişi kalıpla sac hidroşekillendirmeye alternatif olarak kullanılabilir. Çünkü her iki yöntemde de basınçlı sıvı sac metali kalıbın şeklini almaya zorlar. Yalnız çift plakalı sac hidroşekillendirmede bir üretim çevriminde 2 adet parça üretilebilir. Bu da onun üretilebilirliğini artırır. Bu yöntem iki farklı malzemeyi ya da farklı kalınlıklardaki iki parçayı tek bir çevrimde üretilebilmesini sağlar. Çift plakalı sac hidroşekillendirme hala geliştirilme aşamasındadır. Fakat bazı küçük grupta parçaların üretimi de günümüzde pratik olarak yapılmaktadır.



Şekil 2.4 Çift plakalı hidroşekillendirme işlemi

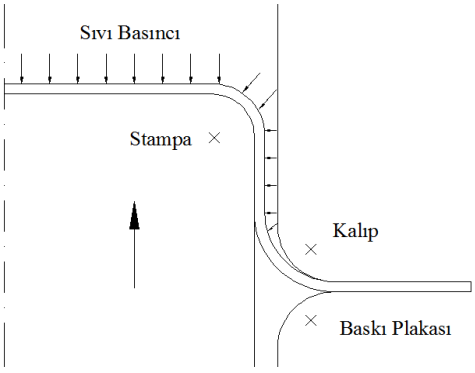
2.2 Hidromekanik Derin Çekmede Proses Parametreleri

Hidromekanik derin çekme işleminde sıvı basıncı, baskı plakası kuvveti, sac ile kalıp ve sac ile baskı plakası arasındaki sürtünme kuvveti, stampa geometrisi, ön şişirme basıncı gibi parametreler prosesin başarısını ve şekillendirilmiş sacın kalitesini etkileyen parametrelerdir.

Ön şişirme SHF-P yönteminde, stampa sabit bir pozisyonda iken, şekillendirme işleminin ilk aşamasında, kalıp boşluğundaki basıncı önceden belirlenen bir değere kadar

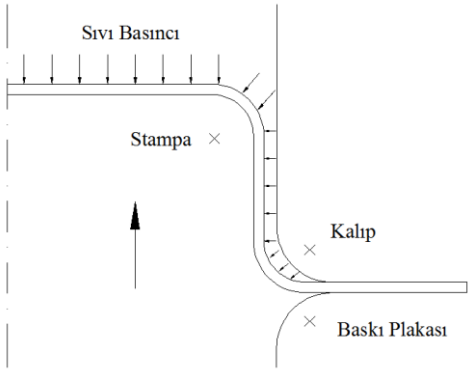
artırıp sacı stampaya doğru belirli bir miktar şişirmektir (Zhang ve ark., 2000; Yossifon ve Tirosh, 1988; Lang ve ark.,2004). Genel olarak ön şişirme işleminin iki fonksiyonu vardır. Birincisinin amacı hidroşekillendirme işleminin başlangıç aşamasında basınç oluşturmak, ikincisinin ise stampa ucundaki gerilme durumunu değiştirerek yırtılmaları ve şekillendirmenin başlangıcında oluşabilecek buruşmaları engellemektir. Ön şişirme işleminde sacın bükülüp düzelmesi ile stampa burnu etrafında önemli derecede pekleşme meydana gelir. Bu da yırtılma oluşumunu önlenmektedir. Sürtünmeyi mümkün olduğu kadar azaltmak için, sac ile kalıbın düz kısmı arasında ve sac ile baskı plakası yüzeyi arasında yağlama yapılmalıdır. Ancak sac ile stampa arasındaki sürtünme sacdaki lokal incelmeleri azaltıp, sınır çekme oranını (Limited Drawing Ratio, LDR) arttıracağı için bu yüzeylerde sürtünmeyi azaltacak herhangi bir işlem yapılmasına gerek yoktur.

Kalıp radyüsüne temas, hidromekanik derin çekme işleminin önemli parametrelerinden birisidir. Stampa sacı şekillendirmek için hareketine başladıktan sonra sac kalıp radyüsüne temas eder ve radyüs boyunca kayarak şekillendirme devam eder (Şekil 2.5). Kalıp radyüsünden kayan sac üzerinde temastan dolayı bir sürtünme kuvveti oluşur. Sürtünme kuvveti stampanın hareket doğrultusuna ters yönde oluşacağı için sacın kalıp radyüsüne temas eden bölgesindeki gerilme değerini arttırır. Sacın, kalıp radyüsüne temasını engellemek için çekme sırasındaki sıvı basıncı sacı kalıptan ayıracak kadar arttırılır (Şekil 2.6). Bu sayede hem sürtünme kuvvetinin etkisi azaltılır hem de sac malzemede pekleşme sağlanarak çekme oranı daha yüksek parçalar elde edilebilir.



Şekil 2.5 Sacın kalıp radyüsüne teması

Hidromekanik derin çekme prosesinde daha yüksek çekme oranları elde edilmesinin önemli nedenlerinden bir tanesi, proses sırasında sacın stampaya yüzey boyunca temas etmesidir. Sac, stampa yukarı doğru hareket ettikçe sıvı basıncının etkisiyle stampa yüzeyine yapışır. Stampa yüzeyine sıvanan sac kalıba temas etmez ve stampa ile sac malzeme arasında sürtünme artarken sac malzeme ile kalıp arasındaki sürtünme azalır. Sıvı basıncının etkisiyle kalıp sürtünmeleri azalırken, stampa ve sac arasındaki sürtünme kuvvetinin artmasıyla stampa burundaki yırtılma önlenebilmektedir. Bu durum çekme oranı sınırının artmasına olanak sağlamaktadır (Zhang ve Danckert ,1998).



Şekil 2.6 Yüksek basınç ile sacın kalıp radyüsünden ayrılması

Baskı plakası kuvveti, hidromekanik derin çekme işlemindeki önemli parametrelerden biridir. Çekilen sacın flanş kısmında buruşma olmasını önler. Baskı plakası kuvveti arttırıldığında stampa doğrultusunda oluşan gerilme de artacaktır ve buna bağlı olarak buruşma oluşumu engellenecektir. Ancak büyük baskı plakası kuvvetleri çekilen sacın çeperinde yırtılmaya neden olmaktadır. Bu yüzden yırtılma ve buruşma limitleri içerisinde kalarak uygun kuvvetler bulunmalıdır (Gharib ve ark., 2006).

Hidromekanik derin çekmede proses parametrelerinin belirlenmesi için bir deney düzeneği tasarlanmıştır. Deney presinde bilgisayara girilen stampa konumuna göre, baskı plakası kuvveti ve sıvı basıncı kapalı devre otomatik kontrol sistemi ile kontrol edilebilir. Deneyler yapılırken, sac malzeme öncelikle basınç kabı ile baskı plakası arasında, bilgisayara girilen bir F_b kuvveti ile sıkıştırılır. Baskı plakası kuvveti, basınçlı

sıvının sızmasına engel olacak ve sac malzemede buruşmaların oluşmasını önleyecek kadar yüksek olmalıdır, ancak yırtılmalara neden olacak kadar da yüksek olmamalıdır. Bu aşamadan sonra ön şişirme işlemi yapılır. Ön şişirmede ayarlanacak iki parametre vardır. Bunlar ön şişirme yüksekliği ve ön şişirme basıncıdır. Ön şişirme yüksekliği, stampanın konumu ile ayarlanır. Bunun için stampa, ön şişirme basıncı verilmeden, sacdan belirli bir mesafe kadar aşağıda konumlandırılır. Daha sonra sabit bir $P_{ön}$ ön şişirme basıncı uygulanır. Son olarak stampa, yukarı doğru hareket eder ve sacı şekillendirir. Bu hareket sırasında stampa sıvıyı sıkıştırmaya ve basıncını yükseltmeye çalışacaktır. Ancak, sıvı basıncı sistem tarafından bilgisayara girilen değerde sabit olarak tutulur. Deneyler yapılırken istenirse baskı plakası kuvveti ve sıvının basıncı, stampa konumuna göre değişken olarak da ayarlanabilir.

Abaqus SEA yazılımıyla yapılacak olan analizlerle deneyler karşılaştırılarak, analizlerden elde edilen veriler ile deneylerden sonuçların birbirine yaklaşması beklenmektedir. Böylece uygun sıvı basıncı ve baskı plakası kuvveti profilleri belirlendikten sonra bu değerlerin değişkenliği ayarlanabilecek ve simülasyon sonuçları ile eşdeğer koşullarda karşılaştırma yapılabilecektir.

2.3 Optimum Sıvı Basıncı ve Baskı Plakası Kuvveti Profillerinin Belirlenmesinde Kullanılan Yöntemler

Proses planlamasında sonlu elemanlar analizleri, parçada oluşabilecek hasarların belirlenmesinde ve uygun sıvı basıncı ve baskı plakası kuvvet profillerinin yaklaşık olarak seçilmesinde yoğun olarak kullanılmaktadır. SEA genelde deneme ve yanılma temelli olarak kullanılmaktadır. Bu yöntemde, örneğin seçilen bir yükleme profili ile simülasyon yapılır, eğer sonuçlar tatmin edici değilse profiller önsezi ile değiştirilerek tekrar simülasyon yapılır. Bu deneme ve yanılma metodu genellikle çok zaman alıcı olmaktadır. Ancak proses tasarımcıları belirli bir problem üzerinde tecrübeli ise parametre optimizasyonunda hızlı ve çok iyi çözümler bulabilmektedirler.

Çok zaman alan deneme ve yanılma yönteminin bu dezavantajını gidermek amacıyla literatürde belirli sistematik yaklaşımlar da geliştirilmiştir. Bütün analiz çeşitleri için uygun parametreleri belirleyecek tek bir yöntem bulunmamaktadır. Örneğin basit geometriler için analitik çözümler geliştirilebilir. Daha karmaşık parçalarda kullanılan sonlu elemanlar analizlerinde ise farklı çözüm stratejileri geliştirilmiştir. Aydemir ve ark. (2005) en çok kullanılan yöntemleri şu şekilde sıralamışlardır.

2.3.1 Geleneksel yaklaşım (Conventional approach)

Proses parametreleri bazı temel metal şekillendirme Eşitliklerine göre belirlenir. Bu Eşitlikler ile sacı hasarlandırmadan çekebilecek minimum basınç kuvveti elde edilmeye çalışılır. Burada sac kalınlığının üniform olduğu, akma kriteri seçimi gibi bazı kabuller yapılır.

Seidi ve ark. (2010) Tresca akma kriteri, pekleşme kuralı gibi analitik Eşitlikleri kullanarak hidromekanik derin çekme prosesinde sacın hasar görmeden şekillendirilebileceği maksimum kuvveti ifade eden Eşitlikler elde etmişlerdir. Şekillendirme işlemi sırasında oluşacak ilk hasarın sac ile stampa yüzeyi arasındaki bölgede olacağı kabulü ile hareket etmişlerdir. Daha sonra elde edilen maksimum kuvvet Eşitlikine göre, farklı stampa konumlarında farklı basınç kuvveti profillerini Abaqus SEA programında analiz ederek optimum basınç kuvveti profilini elde etmişlerdir. Bu basınç profilini kullanarak anizotropi, çekme oranı, kalınlık ve pekleşme üssünün sıvı basıncı-stampa stroku grafiğine etkilerini araştırmışlardır. Pekleşme üssü, sac kalınlığı ve anizotropi değeri arttıkça gerekli sıvı basınç kuvvetinin arttığını, sınır çekme oranı arttıkça da uygulanması gereken sıvı basınç kuvvetinin azaldığını belirlemişlerdir.

2.3.2 Otomatik beslemeli yaklaşım (The self feeding approach)

Bu yaklaşımda bir yapay zeka algoritması yardımıyla birden fazla sayıda simülasyon yapılır. Proses parametre eğrileri uygun eğri grubu arasından seçilir. Simülasyonlara başlanırken sürtünme ve dış kuvvetler gibi unsurlar uygulanmaz. Sınır şartları, kuvvetler ve basınç profilleri parça parça uygulanır. Her değişen proses

parametresiyle analiz sonuçları güncellenerek optimum basınç kuvveti eğrisi elde edilir. Daha sonra simülasyonlar yeterli ve uygun sonuçlar elde edilene kadar farklı parametrelerle tekrarlanır. Bu bir çeşit deneme yanılma yöntemidir. Simülasyonlar yaparken daha önce denediği parametrelerden interpolasyonlar yaparak daha uygun basınç veya baskı plakası kuvvet eğrileri bulmaya çalışır. Geçmiş parametrelerden öğrenme yaptığı için bir yapay zeka algoritmasına ihtiyaç duyar (Strano ve ark., 2004). Diğer optimizasyon yöntemlerine göre basınç ve baskı plakası kuvvet profillerini elde etmede fazla tercih edilen bir yöntem değildir.

2.3.3 Optimizasyon yaklaşımı (Optimization approach)

Proses parametreleri, uygun amaç veya kriterlere göre optimize edilmiş bir dizi simülasyon yapılarak elde edilir. Örneğin bu yaklaşımla daha üniform bir kalınlık dağılımı için bir algoritma geliştirilebilir. Genetik algoritma da birçok araştırmacının ilgisini çeken bir optimizasyon yaklaşımıdır. Bu metotta her optimizasyon rasgele kromozomlardan (birey) oluşan toplumlar üretir. Bu kromozomlar yeni nesiller üretmek için bir döngüye girerler. Bu işlem bütün toplumlar için tekrarlanır (Şekil 2.7). Olasılık kurallarına göre çalışan genetik algoritmalar, yalnızca amaç fonksiyonuna gereksinim duyar ve çözüm uzayının tamamını değil belirli bir kısmını tararlar. Böylece, etkin arama yaparak çok daha kısa bir sürede çözüme ulaşırlar (Goldberg, 1989). Diğer bir önemli üstünlükleri ise çözümlerden oluşan popülasyonu eş zamanlı incelemeleri ve böylelikle yerel en iyi çözümlere takılmamalarıdır.

Birçok alanda uygulamaları olan genetik algoritmaların işlem adımları şöyle açıklanabilir (Engin, 2001):

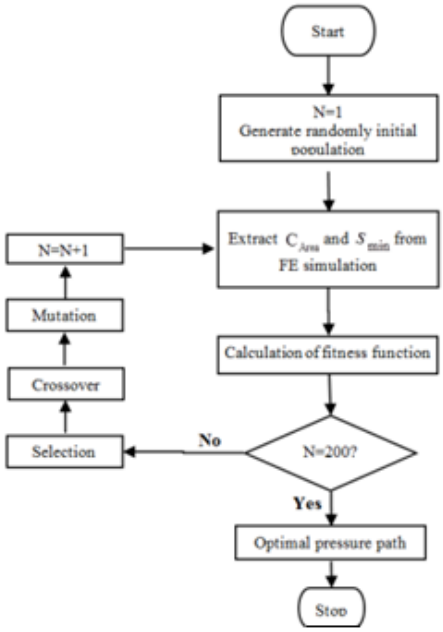
- Arama uzayındaki tüm mümkün çözümler dizi olarak kodlanır.
- Genellikle rastsal bir çözüm kümesi seçilir ve başlangıç popülasyonu olarak kabul edilir.
- Her bir dizi için bir uygunluk değeri hesaplanır, bulunan uygunluk değerleri dizilerin çözüm kalitesini gösterir.
- Bir grup dizi belirli bir olasılık değerine göre rastsal olarak seçilip çoğalma işlemi gerçekleştirilir.

- Yeni bireylerin uygunluk değerleri hesaplanarak, çaprazlama ve mutasyon işlemlerine tabi tutulur.
- Önceden belirlenen kuşak sayısı boyunca yukarıdaki işlemler devam ettirilir. İterasyon, belirlenen kuşak sayısına ulaşınca işlem sona erdirilir. Amaç fonksiyonuna göre en uygun olan dizi seçilir.

Genetik algoritmalar, çözümlerin kodlanmasını, uygunlukların hesaplanmasını, çoğalma, çaprazlama ve mutasyon operatörlerinin uygulanmasını içerir (Jang, 1997).

İlk popülasyonun oluşturulması; olası çözümlerin kodlandığı bir çözüm grubu oluşturulur. Çözüm grubu popülasyon, çözümlerin kodları da kromozom olarak adlandırılır.

Uygunluk değerinin hesaplanması; bir kuşak oluşturulduktan sonraki ilk adım, popülasyondaki her üyenin uygunluk değerini hesaplama adımıdır. Örneğin, bir maksimizasyon problemi için i. üyenin uygunluk değeri f(i), genellikle o noktadaki amaç fonksiyonunun değeridir (Jang, 1997). Çözümü aranan her problem için bir uygunluk fonksiyonu mevcuttur. Verilen belirli bir kromozom için uygunluk fonksiyonu, o kromozomun temsil ettiği çözümün kullanımıyla veya yeteneğiyle orantılı olan sayısal bir uygunluk değeri verir. Bu bilgi, her kuşakta daha uygun çözümlerin seçiminde yol göstermektedir. Bir çözümün uygunluk değeri ne kadar yüksekse, yaşama ve çoğalma şansı o kadar fazladır ve bir sonraki kuşakta temsil edilme oranı da o kadar yüksektir (Yeniay, 2001).



Şekil 2.7 Genetik Algoritma optimizasyonu akış algoritması (Shamsı-Sarband, 2012)

Çoğalma işleminin uygulanması; çoğalma operatöründe diziler, amaç fonksiyonuna göre kopyalanır ve iyi kalıtsal özellikleri gelecek kuşağa daha iyi aktaracak bireyler seçilir. Uygunluk değerinin hesaplanması adımından sonra mevcut kuşaktan yeni bir popülasyon yaratılmalıdır. Seçim işlemi, bir sonraki kuşak için yavru üretmek amacıyla hangi ailelerin yer alması gerektiğine karar vermektedir. Bu doğal seçimdeki en uygunun yaşaması durumuna benzerdir. Bu yöntemin amacı, ortalama uygunluğun üzerindeki değerlere çoğalma fırsatı tanımaktır. Bir dizinin kopyalanma şansı, uygunluk fonksiyonuyla hesaplanan dizinin uygunluk değerine bağlıdır (Jang, 1997). Seçim yöntemlerine rulet tekerleği seçimi, turnuva seçimi ve sıralama seçimi gibi seçim yöntemleri örnek verilebilir.

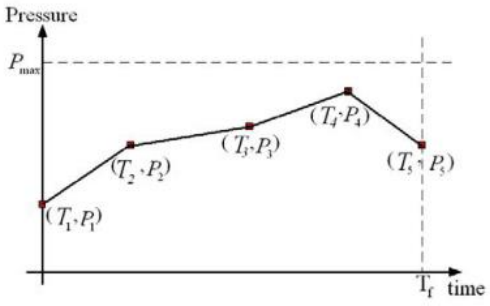
Çaprazlama işleminin uygulanması; mevcut gen havuzunun potansiyelini araştırmak üzere, bir önceki kuşaktan daha iyi nitelikler içeren yeni kromozomlar yaratmak amacıyla çaprazlama operatörü kullanılmaktadır. Çaprazlama genellikle, verilen bir çaprazlama oranına eşit bir olasılıkla seçilen aile çeşitlerine uygulanmaktadır (Jang, 1997). Genetik algoritmanın performansını etkileyen önemli parametrelerden biridir. Çoğalma işlemi sonucunda elde edilen yeni popülasyondan rastgele olarak iki kromozom seçilmekte ve karşılıklı çaprazlama işlemine tabi tutulmaktadır.

Mutasyon işleminin uygulanması; çaprazlama mevcut gen potansiyellerini araştırmak üzere kullanılır. Fakat popülasyon gerekli tüm kodlanmış bilgiyi içermez ise, çaprazlama tatmin edici bir çözüm üretemez. Bundan dolayı, mevcut kromozomlardan yeni kromozomlar üretme yeteneğine sahip bir operatör gerekmektedir. Bu görevi mutasyon gerçekleştirir. Mutasyonun genel amacı, genetik çeşitliliği sağlamak veya korumaktır (Braysy, 2001).

Yeni kuşağın oluşması ve döngünün durdurulması; yeni kuşak çoğalma, çaprazlama ve mutasyon işlemlerinden sonra tanımlanmakta ve bir sonraki kuşağın ebeveynleri olmaktadırlar. Süreç yeni kuşakla çoğalma için belirlenen uygunluk ile devam eder. Bu süreç, önceden belirlenen kuşak sayısı kadar veya bir hedefe ulaşılıncaya kadar ya da başka bir durdurma kriteri sağlanana kadar devam eder (Yeo ve Agyel, 1998).

Shamsı-Sarband ve ark. (2012) Abaqus SEA programında pyhton programlama dilinde yazdıkları genetik algoritmayı kullanarak 1,5mm kalınlığındaki alüminyum sac malzeme için optimum basınç eğrisini bulmuşlardır. Bu çalışmada öncelikle 5 adet basınç ve zaman noktası belirlemişlerdir (Şekil 2.8). Uygulanan süreler arasında Eşitlik (2.1)'deki gibi bir ilişki vardır.

$$T_2 = T_3/2 \;;\; T_4 = (T_3 + T_5)/2 \tag{2.1}$$



Şekil 2.8 Basınç-zaman Profili (Shamsı-Sarband,2012)

Her popülasyon 20 kromozom içerir ve her kromozom 5 tanesi basınç değişkeni, 1 tanesi zamanı göstermek üzere 6 değişkenden oluşur.

$$Pop = \{c_1, c_2, ..., c_i, ..., c_{20}\} \tag{2.2}$$

$$c_i = \left(p_{1,i}, p_{2,i}, p_{3,i}, p_{4,i}, p_{5,i}, t_i\right) \tag{2.3}$$

$$i = (1,...,20) \quad ; \quad j = (1,...,5) \; ; \quad 0 \le p_{i,j} \le 1 \; ; \; 0 \le t_i \le 1 \tag{2.4}$$

Yukarıda Eşitlik (2.2), (2.3) ve (2.4)'de gösterildiği gibi c, j, i ve $p_{i,j}$ sırasıyla kromozom, kromozom sayısı, değişken sayısı ve boyutsuz basınç değerini ifade etmektedir. t_i ise $p_{3,i}$ basıncının uygulandığı zaman değeridir. Boyutsuz basınç ve zaman değerleri elde etmek için mevcut basınç ve zaman değerleri maksimum basınç ve toplam zaman değerlerine bölünerek boyutsuz basınç ve zaman değerleri elde edilmiştir.

$$p_{i,j} = \frac{P_{i,j}}{P_{\max}}; \; t_i = \frac{T_i}{T_f}; \quad f = (1,\ldots,5) \tag{2.5}$$

Basınç-zaman profili eşitlik (2.6)'da gösterildiği gibi ifade edilir. Eşitlik (2.1)'den yararlanarak ifade eşitlik (2.6)'daki duruma gelir. Proses boyunca şekillendirme hızı sabit olduğu için eşitlik (2.7)'den eşitlik (2.8) basınç kuvveti-stampa stroku ifadesi elde edilebilir.

$$Basınç\ zaman\ eğrisi = \{(T_1, P_1), (T_2, P_2), (T_3, P_3), (T_4, P_4), (T_5, P_5)\} \tag{2.6}$$

$$\{(0, P_{1,i}), (T_i/2, P_{2,i}), (T_i, P_{2,i}), [(T_i + T_f)/2, P_{4,i}], (T_f, P_{5,i})\} \tag{2.7}$$

$$\{(0, P_{1,i}), (X_i/2, P_{2,i}), [(X_i + X_f)/2, P_{4,i}], (X_f, P_{5,i})\} \tag{2.8}$$

- ***Uygunluk değeri (Fitness Function):*** Metal şekillendirme prosesinde iş parçasının nihai kalitesini gösteren ana parametreler sacdaki minimum kalınlık ve sacın son şeklidir. Kalınlık parametresi için sacın şeklinin matematiksel olarak ifade edilebilmesi için, $S_{\min}$ minimum sac kalınlığı ve S_0 başlangıçtaki sac kalınlığı olmak üzere $S_{\min}/S_0$ ilişkisi kullanılmıştır. Sacın şeklinin matematiksel olarak ifade edilebilmesi için C_{Area} proses sonunda stampa ile sac arasında temas eden yüzey alanı ve C_{Area0} başlangıçtaki sac yüzey alanı olmak üzere C_{Area}/C_{Area0} ifadesi kullanılmıştır. Bu ifadelere W_1 ve W_2 ağırlık katsayıları da eklenir. Değerleri sırasıyla 1.5 ve 1 dir. Algoritma uygunluk fonksiyonun maksimum 2,5 olabilir. Ancak kalınlığın ve temas

alanının başlangıçtaki şartlara eşit olmayacağı için uygunluk fonksiyonu hiçbir zaman 2.5'e ulaşamaz. Kalınlık dağılımı temas yüzeyinden daha önemli bir kriter olduğu için kalınlık oranı katsayısı daha büyüktür. Uygunluk fonksiyonu aşağıdaki gibidir.

$$f(c_i) = S_{\min,i} / S_0 \times W_1 + C_{Area,i} / C_{Area0} \times W_2 \tag{2.9}$$

- ***Seçim (Selection):*** Seçim operatörü hangi popülasyon kromozomlarının genetik karakterlerinin sonraki jenerasyona aktarılmasına izin verileceğini belirler. Shamsı-Sarband ve ark.'nın (2012) yaptığı çalışmada rulet tekerleği seçimi (Roulette Wheel Selection) kuralı kullanılmıştır.

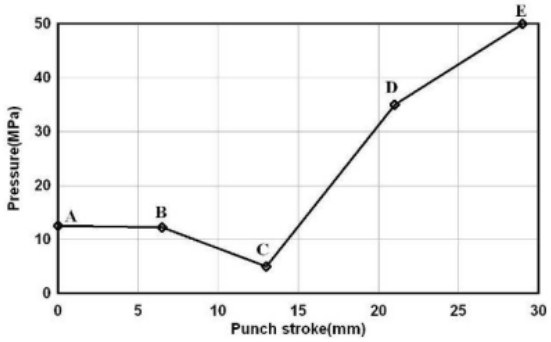
- ***Çaprazlama (Cross over):*** Aşağıdaki Eşitlikler kullanılarak iki yeni kromozom oluşturulur (2.10). a ve b rastgele sayılardır 1 ve 5 arasında ve çaprazlama operatörü %80 olarak uygulanmıştır. R ise 0 ve 1 arasında rastgele bir sayıdır.

$$\begin{cases} p_j^{child1} = \left(p_j^{child\ i} + p_j^{parent\ 2} \right) / 2 + \left| \left(p_j^{parent\ i} + p_j^{parent\ 2} \right) \right| \times R \\ p_j^{child2} = \left(p_j^{parent\ i} + p_j^{parent\ 2} \right) / 2 + \left| \left(p_j^{parent\ i} + p_j^{parent\ 2} \right) \right| \times R \end{cases} ;\ j = (a,\ldots,b) \tag{2.10}$$

- ***Mutasyon (Mutation):*** Çaprazlama sonucu oluşan bireylerden, kromozom dizilimlerini değiştirerek oluşturulan yeni bireylerdir. Bu sayede genetik çEşitlik sağlanır. Bu çalışmada mutasyon %5 olarak belirlenmiştir. Genler rastgele değiştirilerek aşağıdaki Eşitlike göre işlem yapılır (2.11).

$$\dot{p}_{j,i} = \left(P_{j,i} + R \right) / 2 \tag{2.11}$$

Yazılan altprogram ve yapılan analizler Abaqus SEA programında python programlama dilinde yapılmıştır ve popülasyon sayısı 200 oluncaya kadar algoritma çalışmaktadır. 12mm stampa ilerlemesi için Şekil 2.9'da görülen basınç kuvveti-stampa stroku profili elde edilmiştir.



Şekil 2.9 12mm stampa ilerlemesi için elde edilen optimum basınç kuvveti-stampa stroku profili (Shamsı-Sarband,2012)

Ayrıca yapılan çalışmada aynı ön şişirme basınçlarında, farklı stampa deplasmanlarında optimum sıvı basıncı profilleri incelenmiş ve bu profillerdeki en düşük basıncın en yüksek stampa deplasmanında olduğunu gösterilmiştir. Farklı çaplarda ve farklı sıvı basınçları ile başlayan profiller kullanılarak çekilen saclarda elde edilen optimum sıvı basınç profillerinde, optimum minimum basınç değerlerinin çok fazla değişmediğini ortaya koymuşlarıdır.

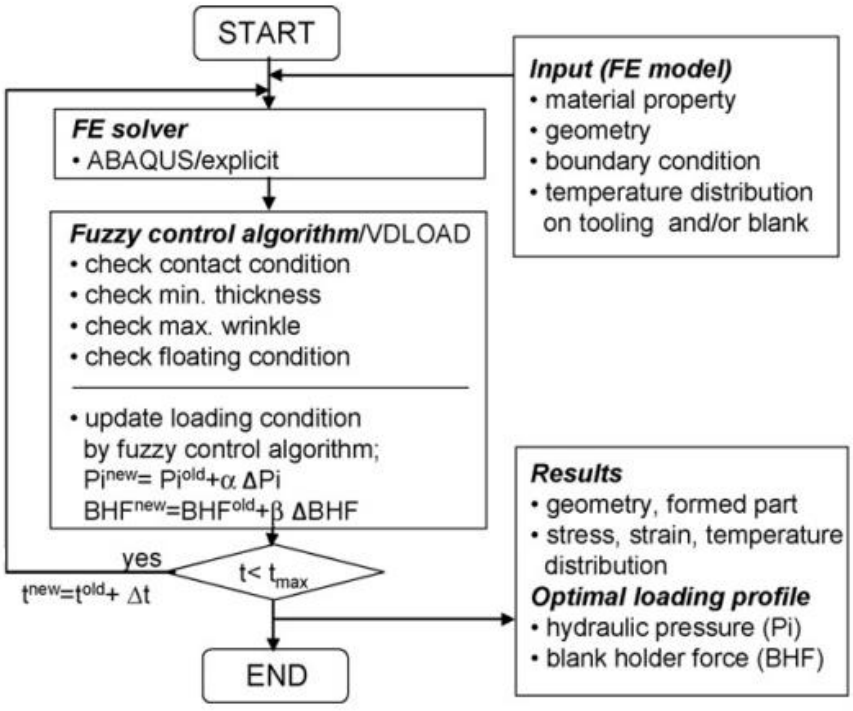
2.3.4 Adaptif yaklaşım (Adaptive approach)

Adaptif simülasyon yaklaşımı, proses boyunca meydana gelen kusurların başlangıcında ya da devamında gerçek zamanlı reaksiyon gösteren bir yetenektedir. Basınç profili aynı anda simülasyon sırasında ayarlanabilir. Esas amaç minimum sayıda hatta tek bir simülasyon yaparak en optimum profili elde etmektir.

Choi ve ark. (2006) uygun sıvı basıncı ve baskı plakası kuvvetlerini farklı stampa hızlarında ılık hidroşekillendirme koşulunda hesaplayacak bir metodoloji geliştirmişlerdir. Optimum basınç ve baskı plakası kuvvet profillerini anlık olarak belirlemek için bulanık mantık kontrol algoritması ile birlikte adaptif SE analiz yaklaşımı geliştirmişlerdir. İncelme, buruşma, stampa yüzeyine ve kalıp radyüsüne temas gibi durumlar bulanık mantık algoritması içinde kriter olarak kullanılmıştır. Elde edilen yükleme profillerinin etkisi kalınlık, bşd ve gerilme açısından gösterilmiştir. Geliştirilen bulanık mantık kontrol algoritmalarıyla birlikte kullanılan adaptif SEA metoduyla optimum proses şartları hızlı ve doğru bir şekilde elde etmişlerdir.

Şekil 2.10'de görülen algoritma kullanılarak her analiz adımı başında minimum incelme, stampa yüzeyine temas ve maksimum buruşma gibi kriterler Abaqus SEA programında Vdload alt programı kullanılarak kontrol edilmiştir.

Şekil 2.11'de kalınlık, buruşma ve stampaya temas değerleri için oluşturulan üyelik fonksiyonları gösterilmiştir. Bu fonksiyonlar vCR; çok kritik, CR; kritik, nCR; kritik değil değerlerini alır. Bahsedilen çalışmada %30 incelmede hasarın oluştuğu kabul edilmiştir. Örneğin sonlu elemanlar alt programından bulanık kontrol algoritmasına sacın minimum kalınlığının 1 mm olduğu bilgisi geldiğinde Şekil 2.11(a)'daki üyelik fonksiyonu yardımıyla kalınlığın üyelik değerleri çok kritik için 0, kritik için 0,4 ve kritik değil için 0,6 olmaktadır. Diğer girdi değişkenleri için de bu şekilde üyelik değerleri belirlenmiştir. Sonra Şekil 2.12'de verilen kural tabanı matrisine göre yüklemelerin (sıvı basıncı ve baskı plakası kuvveti) artması mı yoksa azalması mı gerektiğine karar verilmiştir.



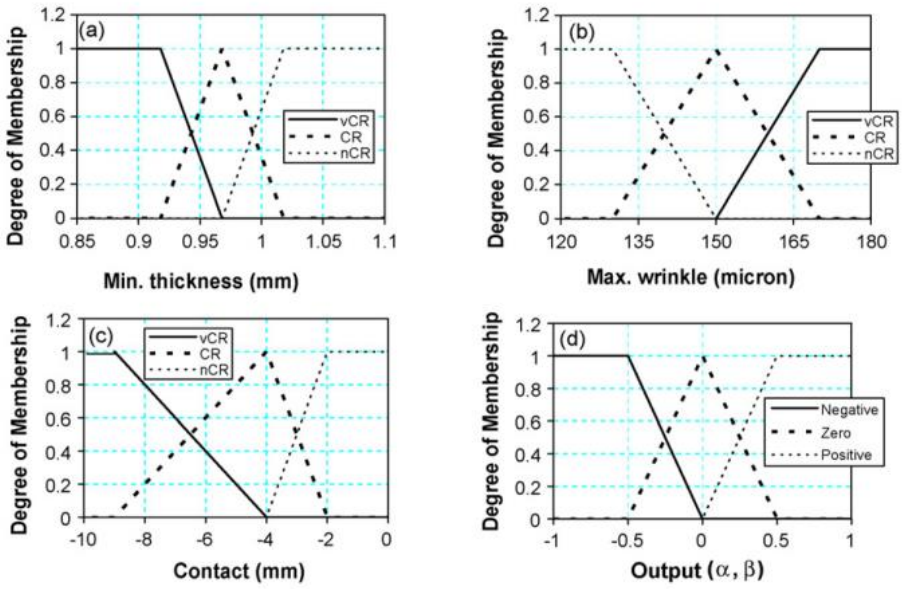
Şekil 2.10 Adaptif FEA ile birlikte çalışan bulanık mantık algoritmasının akış şeması (Choi, 2006)

Bu matriste girdi değişkenlerinin değerlerine göre 9 durumda (R1-R9) tecrübelerden yani bu konunun uzmanlarından yaralanarak yüklemelerin hangi yönde

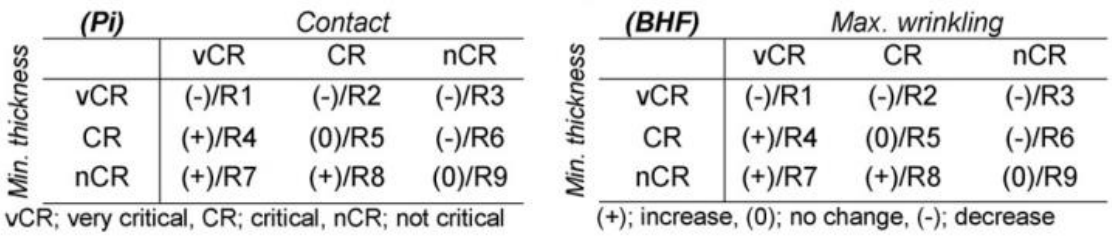
olacağına karar verilmiştir. Örneğin minimum kalınlık kritik değilken (nCR), temas çok kritik ise (vCR) sıvı basıncının artması gerektiğine karar verilmiştir. Burada temasın kritik olması henüz sacın stampaya yeterince temas etmediğini belirtmektedir. Eğer kalınlık ve temas kritik değerlerde (CR) ise sıvı basıncının sabit kalması gerektiğine karar verilmiştir. Baskı plakası kuvveti için de sıvı basıncına benzer tarzda kurallar yazılmıştır. Kural tabanı matrisine göre pozitif, sıfır ve negatif gibi çıktı üyelik değerleri belirlenmiş ve sonra çıktı üyelik fonksiyonu ile bu değerler kesin çıktılara (α, β) dönüştürülmüştür (Şekil 2.11d). Kesin çıktı değerleri ile olması gereken yükleme değeri P ve BPK sırasıyla sıvı basıncı ve baskı plakası kuvveti olmak üzere Eşitlik (2.12) ve (2.13) ile hesaplanmıştır.

$$P_i^{yeni} = P_i^{eski} + \alpha \Delta P_i \tag{2.12}$$

$$BPK^{yeni} = BPK^{eski} + \beta \Delta BPK \tag{2.13}$$



Şekil 2.11 Bulanık mantık algoritmasında (a) kalınlık, (b) buruşma yüksekliği,(c) stampaya temas durumları için oluşturulan üyelik fonksiyonları (Choi, 2006)



(Pi)	Contact		
Min. thickness	vCR	CR	nCR
vCR	(-)/R1	(-)/R2	(-)/R3
CR	(+)/R4	(0)/R5	(-)/R6
nCR	(+)/R7	(+)/R8	(0)/R9

vCR; very critical, CR; critical, nCR; not critical

(BHF)	Max. wrinkling		
Min. thickness	vCR	CR	nCR
vCR	(-)/R1	(-)/R2	(-)/R3
CR	(+)/R4	(0)/R5	(-)/R6
nCR	(+)/R7	(+)/R8	(0)/R9

(+); increase, (0); no change, (-); decrease

Şekil 2.12 (a) Sıvı basıncı, (b) baskı plakası kuvveti için kural tabanı matrisi (Choi, 2006)

3 HİDROMEKANİK DERİN ÇEKME PROSESİNİN MODELLENMESİ

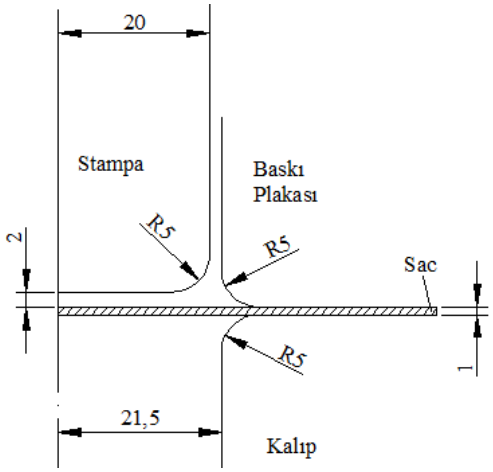
Bu tez çalışmasında, hidromekanik derin çekme prosesi Abaqus SEA programında modellenmiştir. Modelde kalıp, baskı plakası, sac ve stampa olmak üzere toplam dört bileşen bulunmaktadır ve model eksenel simetrik olarak modellenmiştir. Kullanılan Al5754 malzemenin akma eğrisi çekme testinden elde edilmiştir. Aşağıda modelleme ayrıntıları detaylıca anlatılmıştır.

3.1 Part Modülü

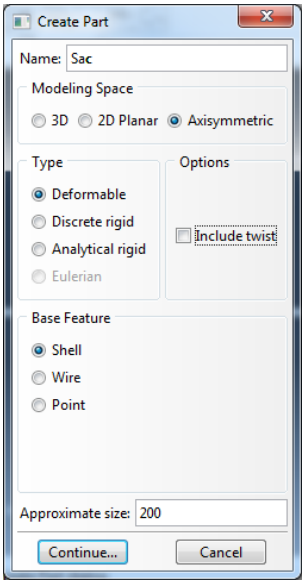
Bu adımda hidromekanik derin çekme prosesinin ana bileşenleri olan sac, kalıp, baskı plakası ve stampa modellenecektir (Şekil 3.1). Bunun için *Part* modülünden *Create Part* butonu tıklanarak öncelikle çizilecek parçanın özellikleri belirlenir. Şekil 3.2'de görüldüğü gibi model penceresinden çizilecek sac için *Axisymmetric*, *Deformable* ve *Shell* eleman seçenekleri seçilir. Bu tez çalışmasında hidromekanik derin çekme prosesi Abaqus SEA yazılımında eksenel simetrik olarak modelleneceği için *Axisymmetric* seçeneği, analiz sırasında sac parça şekil değiştireceği için *Deformable* seçeneği ve sac iki boyutlu modelleneceği için *Shell* eleman seçeneği işaretlenmiştir. Bu işlemler yapıldıktan sonra *Continue* butonuna basılır.

Bu aşamada analize ait parçaların çizileceği Şekil 3.3'de görülen *sketch* penceresi açılacaktır. Buradan boyu 50mm, kalınlığı 1mm olan sac malzeme çizilerek pencerenin alt kısmında yer alan *Done* butonuna basılır. Burada daha sonraki adımlarda *Assembly* modülünde yapılacak montaj adımında kolaylık sağlaması için çizilen sac kesitinin sağ alt kenarı Abaqus sketch penceresi koordinat sisteminin orjini (0,0) ile kesiştirilir. Aynı zamanda bu işlem ile yazılacak alt program kodlarındaki karışıklığın da önüne geçilmiş olacaktır. Çünkü yazılacak olan alt program kodlarında, Abaqus koordinat sistemine göre sacın konumlandığı noktalar verilecektir. Özellikle sac parçanın alt noktasına etkiyecek

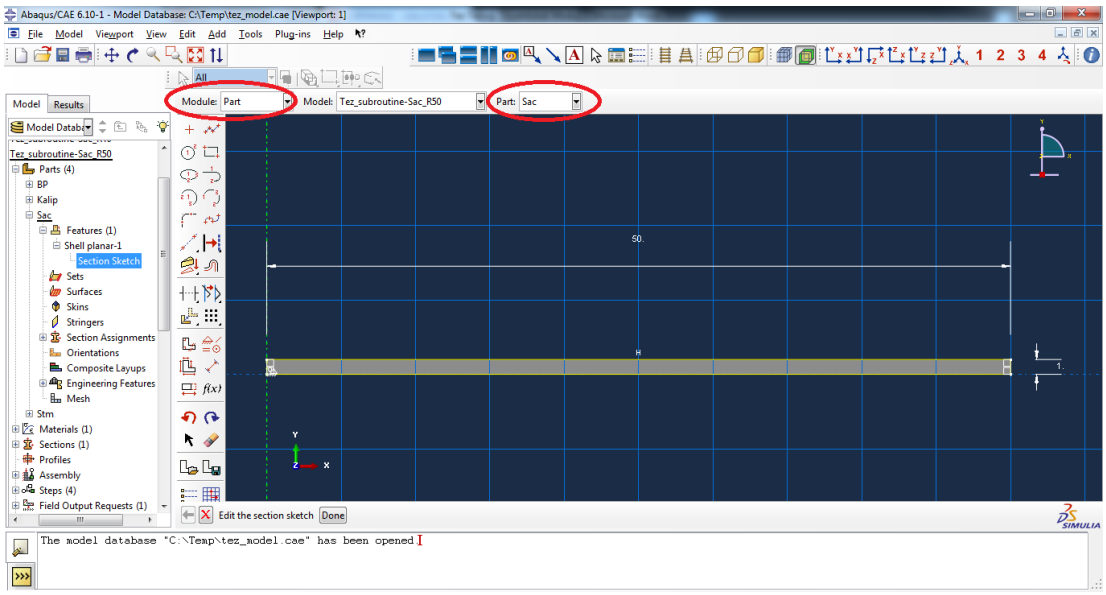
basınç için sac parçanın alt kenarının y=0 doğrusu üzerinde olması alt program yazımı açısından oldukça kolaylık sağlayacaktır.



Şekil 3.1 Analiz bileşenleri ve boyutları



Şekil 3.2 Create part model penceresi



Şekil 3.3 Part modülü sketch penceresi

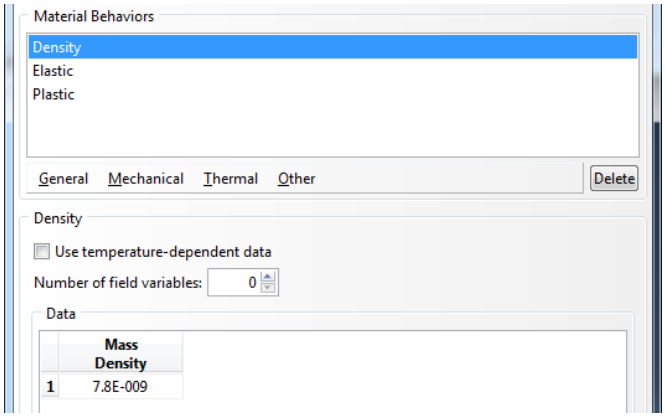
3.2 Property Modülü

Bu modülde analiz sırasında kullanılacak olan sacın malzemesi ve özellikleri tanıtılır. Bu analizde Al5754 sac malzeme kullanılmıştır ve buradaki malzeme özelliklerini tanımlayabilmek için Al5754'ün yoğunluğu, elastik ve plastik özelliklerinin programa girilmesi gerekir. Al5754'ün kimyasal bileşimi Çizelge 3.1'de verilmiştir.

Çizelge 3.1Al5754 malzemesinin kimyasal bileşimi

% Cu	% Mg	% Mn	% Fe	% Si	% Zn	% Ti	% Cr	%Al
0,006	3,1	0,16	0,287	0,135	<0.02	0,022	0,064	96,1

Malzeme yoğunluğunun programa girilmesi için *Property-Create Material* yolu izlenerek Şekil 3.4'de görüldüğü gibi *General* sekmesi altındaki *Density* seçeneği seçilir. Daha sonra *Mass Density* bölümüne görülen değer girilir.



Şekil 3.4 Malzeme yoğunluğu tanım penceresi

Yoğunluk tanımlandıktan sonra malzemenin mekanik özelliklerinin programa girilmesi gerekir. General sekmesinin yanında bulunan *Mechanical* sekmesi tıklanarak *Elasticity-Elastic* yolu takip edilerek Şekil 3.6'de görüldüğü gibi Young Modülü ve poison oranları girilir.

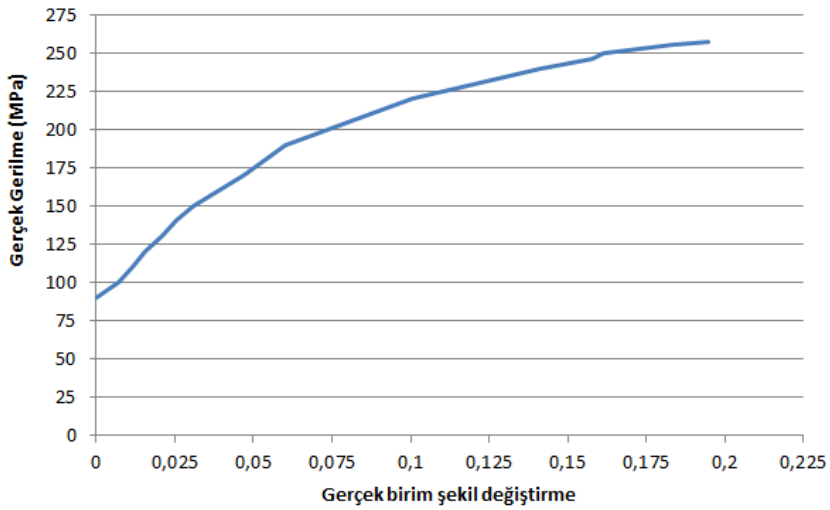
Son olarak da malzemenin plastik davranışının programa girilmesi gerekir. *Elasticity* seçeneğinin hemen altında bulunan *Plastic* seçeneği seçilerek Şekil 3.7'da

görüldüğü gibi çekme testinden elde edilen akma gerilme değerine karşılık gelen plastik birim şekil değiştirme değerleri programa girilir (Şekil 3.5). Von Mises akma kriterine göre analiz yapılmıştır. Çekme testinden elde edilen veri çiftleri Çizelge 3.2'de verilmiştir.

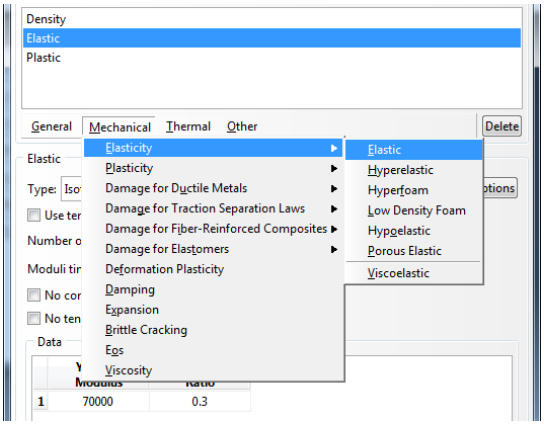
Çizelge 3.3 Al5754 çekme testi verileri

Gerçek gerilme(σ_{ak})	Gerçek birim şekil değiştirme(ε_p)
90,1	0
100,1	0,006
110,2	0,0113
120,1	0,015
130,6	0,020
141	0,025
150,3	0,030
170,1	0,047
190,1	0,060
210,2	0,086
220,4	0,100
230	0,119
240,1	0,141
245,9	0,157
250,2	0,161
255,3	0,183
257,5	0,194

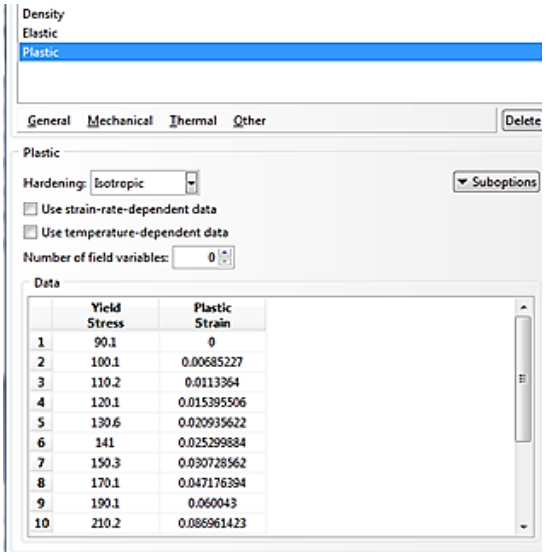
Al 5754'ün düzlemsel anizotropi katsayısı 0.09 olarak elde edilmiştir (Türköz, 2009). Bu değer malzemenin düzlemsel izotropik olarak kabul edilebileceği 0.13 değerinin altındadır (Hatipoğlu, 2007). Bu yüzden analizlerde izotropik sertleşme kuralı kullanılmıştır.



Şekil 3.5 Al5754 akma eğrisi



Şekil 3.6 Elastic malzeme özelliğinin tanımlanması



Şekil 3.7 Plastik malzeme özelliğinin tanımlanması

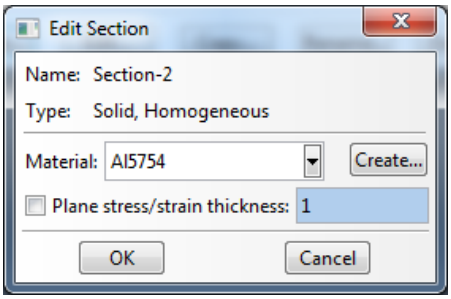
Bu işlemlerden sonra yapılan malzeme tanımı, *Shell* elaman olarak tanımlanan saca atanmalıdır. Bunun için Şekil 3.8 (a)'da komut çubuğunda görülen *Section Manager* butonu tıklanır. Şekil 3.8 (b)'de görülen *Create Section* penceresinden *Solid, Homogeneous* seçenekleri seçilerek *Continue* butonuna basılır. Daha sonra *Edit Section*

penceresi ile *Material* bölümünde Şekil 3.9'de görüldüğü gibi daha önce tanımlanan Al5754 malzeme seçilerek işlem tamamlanır.



(a) (b)

Şekil 3.8 Section manager komutu (b)Create section penceresi



Şekil 3.9 Edit section penceresi

3.3 Assembly Modülü

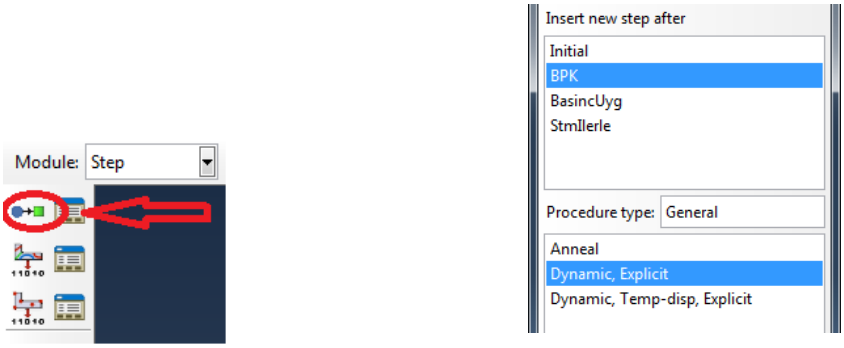
Bu modülde hidromekanik derin çekme işleminin bileşenlerinden olan sac, kalıp, baskı plakası ve stampanın Abaqus çalışma alanında konumlandırılması işlemi yapılır. Assembly modülünden *Instance Part* butonuna tıklayarak daha önce *Part* modülünde oluşturulmuş olan bileşenler buraya çağrılır. Parçalar *Part* modülünde birbirlerine göre ölçülü çizildiği için bu modülde bileşenlerin çağrılması yeterlidir.

3.4 Step Modülü

Bu modülde analiz sırasında takip edilecek adımlar ve süreleri programa girilir. Hidromekanik derin çekme SEA modelinde önce baskı plakası uygun kuvvetle sacı kalıba doğru bastırır. Daha sonra uygulanan sıvı basıncı ile ön şişirme uygulanarak sac stampaya doğru şekil değiştirir. Son olarak da stampa aşağı yönlü hareketine başlayarak şekillendirme işlemi adımları tamamlanır.

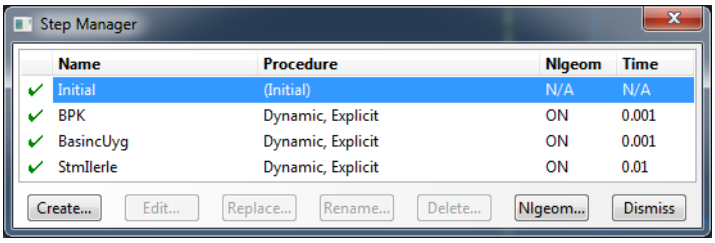
Step modülü altında Şekil 3.10(a)'da görülen *Create Step* butonuna tıklayarak sırasıyla baskı plakası, basınç kuvveti ve stampa hareketi adımları tanımlanır. Bütün adımlar Şekil 3.10(b)'de görüldüğü gibi *dynamic* ve *explicit* olarak tanımlanır. Adımlar tanımlanırken adım zamanları girilir. Baskı plakası, basınç uygulama ve stampa hareketi Şekil 3.11'da görüldüğü gibi sırasıyla 0.001, 0.001 ve 0.01s olarak girilir.

Hidromekanik derin çekme prosesinin sonlu elemanlar analizinde proses süresi 0.01 s olarak tanımlanmıştır. Bu süre gerçekteki şekillendirme süresi civarında tanımlandığı zaman çözüm süresi oldukça uzamaktadır. Bu nedenle deneysel şekillendirme sonuçlarına yakın sonuçlar elde edecek çok daha kısa bir analiz süresi tanımlamak gerekmektedir. Bu süre sac parçanın ilk rezonansa girdiği frekans değerinin periyodunun onda biri alınarak bulunmuştur (ABAQUS user manual). Tüm şekillendirme işlemi çok kısa bir sürede gerçekleştiği için, analizde şekillendirme hızına bağlı herhangi bir tanımlama yapılmamıştır. Analiz yaklaşık 10^5 adet zaman artırımında gerçekleştirilmiştir.



(a) (b)

Şekil 3.10 (a)Create step butonu (b) Create step penceresi

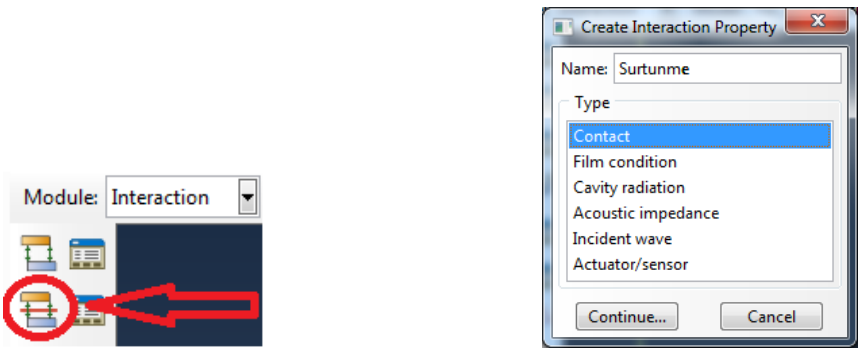


Şekil 3.11 Hidromekanik derin çekme adım zamanları

3.5 Interaction Modülü

Bu modülde, analiz sırasında hangi yüzeylerin birbiriyle etkileşim halinde olduğu ve yüzeyler arasındaki sürtünme katsayıları tanımlanır. Hidromekanik derin çekme prosesinde baskı plakası-sac, kalıp-sac ve stampa-sac arasında yüzey teması bulunmaktadır.

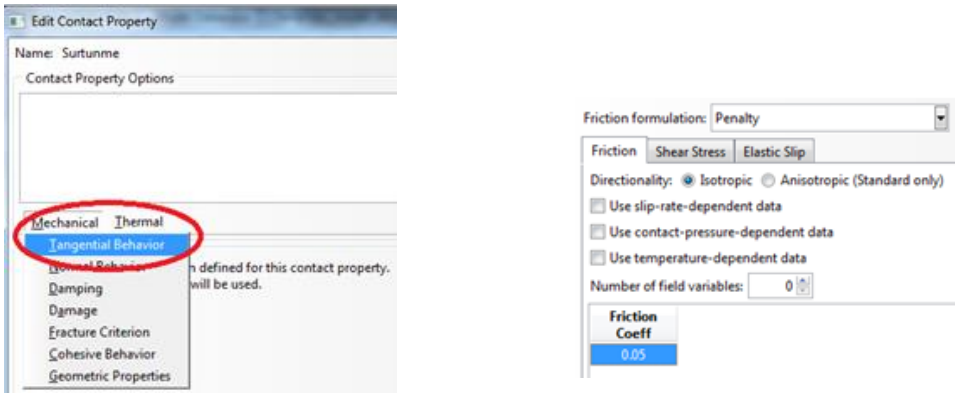
Öncelikle yüzeyler arasındaki sürtünme katsayısı tanımlanmalıdır. *Interaction* modülü altında bulunan Şekil 3.12(a)'da görülen *create interaction property* butonuna tıklandıktan sonra Şekil 3.12(b)'de görülen pencereden temas tipi *contact* olarak seçilir. Daha sonra Şekil 3.13(a)'da görülen temas özelliklerinden *Tangential Behavior* seçeneği tıklanıp Şekil 3.13(b)'de görülen pencereye geçiş yapılır. Burada sürtünme katsayısı girilerek *penalty* hesap yöntemi seçilir.



(a) (b)

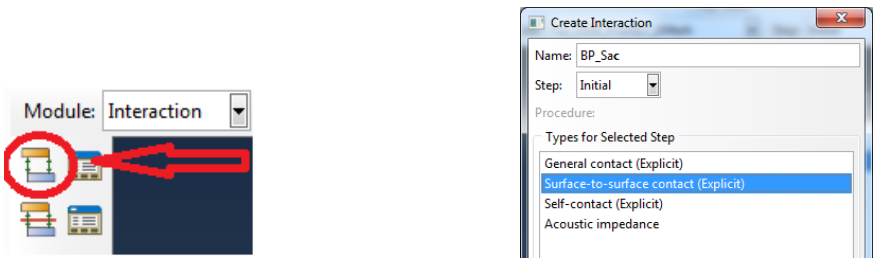
Şekil 3.12 (a)Create interaction propertry butonu (b)Temas tipinin tanımlanması

Sürtünme katsayıları tanımlandıktan sonra temas yüzeyleri ve bu yüzeylere ait katsayılar tanımlanır. Modelde baskı plakası-sac, kalıp-sac ve stampa-sac arasında yüzey teması bulunmaktadır. Yüzeyler arasındaki sürtünme kuvvetleri kalıp-sac ve baskı plakası-sac arasında 0.05, stampa-sac arasında ise 0.25 dir. Şekil 3.14 (a)'da görülen *create interaction* butonuna tıklandıktan sonra Şekil 3.14 (b)'de görülen *create interaction* penceresinden yüzey-yüzey teması (surface to surface contact) seçilir. Daha sonra modelde bulunan parçalar üzerinde Şekil 3.15'de görüldüğü gibi yüzeyler seçilir. Seçilen yüzeyin hangi tarafında sürtünmenin olacağını belirtmek için Abaqus magenta veya sarı renkte yönleri gösterir. Doğru yön seçilerek sürtünme yüzeyi tanımlanır. Sürtünme yönü seçildikten sonra *edit interaction* penceresinde *penalty contact* metodu ile hesap yapılarak pencerenin alt kısmından daha önce tanımlanan sürtünme kuvveti seçilir.



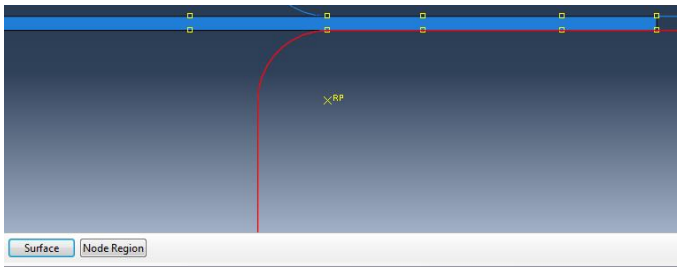
(a) (b)

Şekil 3.13 (a) Edit contact property penceresi (b) Sürtünme katsayısınını girilmesi



(a) (b)

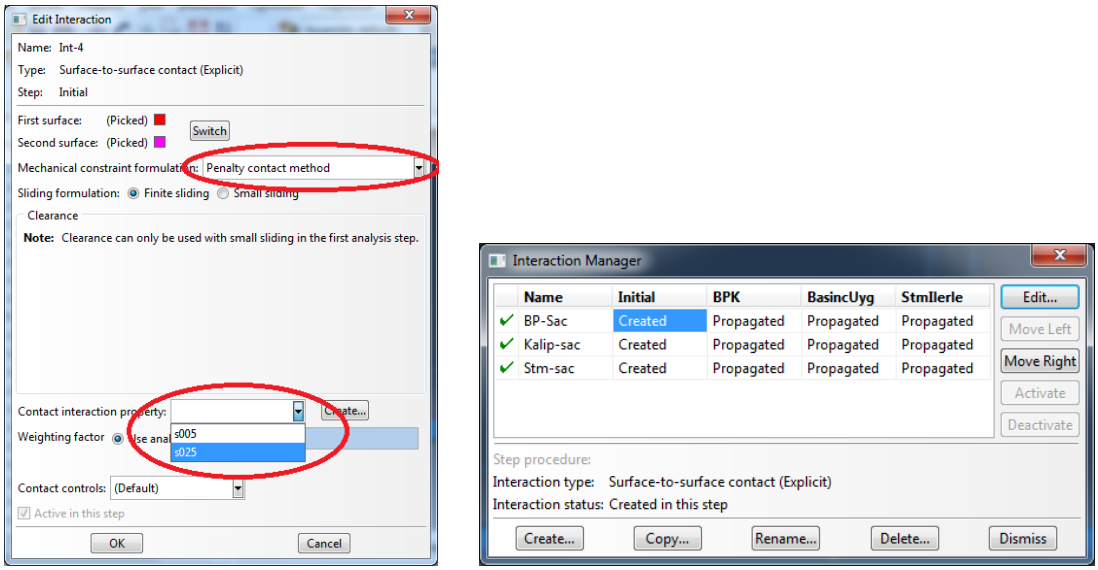
Şekil 3.14 (a) Create interaction butonu (b) Create interaction yüzey tanımı



Şekil 3.15 Yüzey teması tanımı

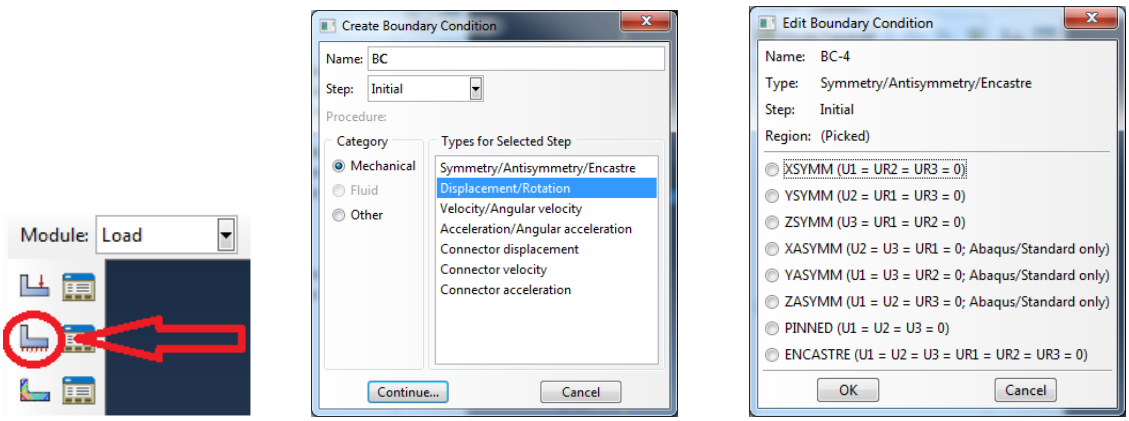
3.6 Load Modülü

Bu modülde uygulanacak baskı plakası ve basınç kuvveti programa girilir. Burada ayrıca bir *amplitude* tanımlanarak istenen kuvvet-zaman eğrisi uygulanabilir. Bir diğer adım olarak da analiz sırasında baskı plakası, kalıp ve stampanın sınır şartları da bu modülde tanımlanır.



(a) (b)

Şekil 3.16 (a)Yüzeylere temas ve sürtünme kuvveti atanması (b)Temas tanımlanan yüzeyler



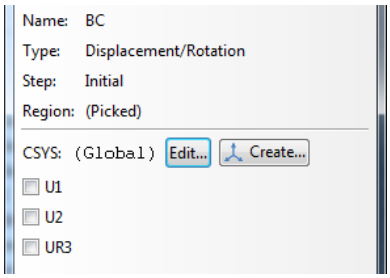
(a) (b) (c)

Şekil 3.17 (a) Create boundary condition butonu (b) Create boundary condition menüsü (c)Ankastre sınır şartı tanımı

Load modülü altında tanımlama yapmaya sınır şartlar ile başlanması analiz adımları açısından daha uygun olacaktır. Analiz sırasında kalıp, tüm adımlar boyunca sabit kalacaktır. Baskı plakası analiz sırasında aşağı yönlü harekete izin verirken, stampa ilk iki adımda sabit kalacak, üçüncü adımda aşağı yönlü harekete izin verecektir. Buradaki kuvvetlerin değerleri bu sınır şartlar tanımlandıktan sonra *Create Load* butonu tıklanarak tanımlanacaktır. Şekil 3.17(a)'da görülen *Load* modülü altındaki *create boundary condition* butonu tıklanır. Daha sonra Şekil 3.17(b)'de görülen *create boundary condition* penceresi görünür. Bu pencere üzerinde tanımlanan sınır şartının ismi yazıldıktan sonra *Mechanical* seçeneği seçilir. Yine Şekil 3.17(b)'de görülen *Displacement/Rotation* seçeneği işaretlenerek *Continue* butonuna basılır. Bu ayarlama baskı plakası ve stampa için geçerlidir. Kalıp için tanımlanacak sınır şartında ise Şekil 3.17(c)'de görülen *Types for Selected Step* başlığı altında bulunan *Symmetry/Antisymeetry/Encastre* seçeneği işaretlenir.

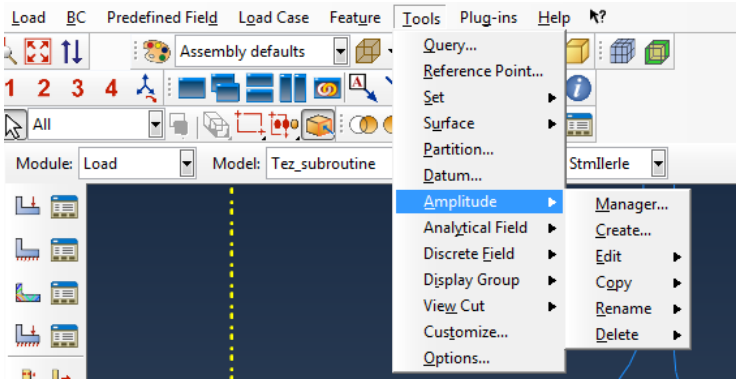
OK butonuna basıldıktan sonra program parçalar üzerinde bir nokta seçilmesini isteyecektir. Daha önce baskı plakası, kalıp ve stampa için ayrı ayrı oluşturulan *Referance Point* (RP)'ler seçilir.

Bu işlemden sonra Şekil 3.18'da görülen *Edit Boundary Condition* penceresi görünecektir. Buradan sınırlanması istenen doğrultular seçilip, hareket etmesi istenen doğrultular işaretlenmeden bırakılır.



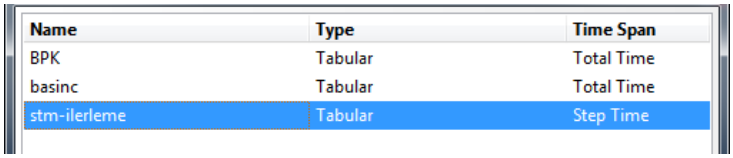
Şekil 3.18 Edit boundary condition penceresi

Sınır şartlarının tanımlanması bittikten sonra analiz sırasında hareket eden stampa, baskı plakası ve saca uygulanacak sıvı basınç değerleri programa girilmelidir. Uygulanacak kuvvetler zamana bağlı olarak değişkenlik gösterdiği için burada *amplitude* tanımı yapılmalıdır. Menü çubuğundan Şekil 3.19'de görüldüğü gibi *Tools- Amplitude - Create* program yolu izlenerek *amplitude* tanımlanır. *Amplitude manager* penceresi geldikten sonra Şekil 3.20'de görülen şekilde baskı plakasının, basıncın ve stampanın *amplitude* değerleri tanımlanır.



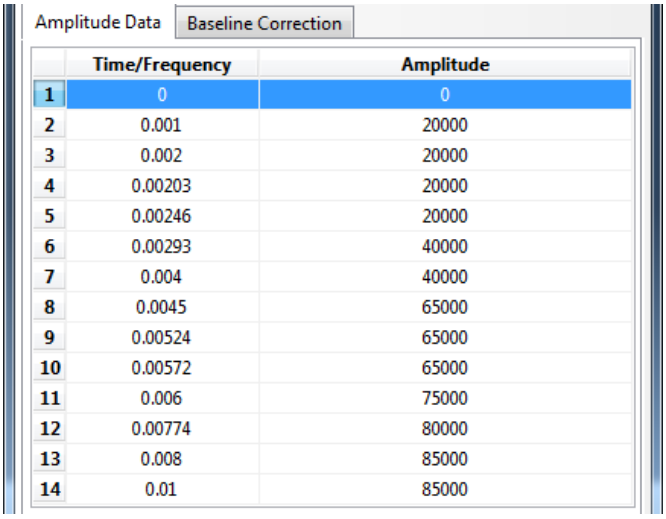
Şekil 3.19 Amplitude manager program yolu

Şekil 3.21'de görülen baskı plakası kuvveti, Şekil 3.22'de görülen basınç kuvveti ve Şekil 3.23'de görülen stampa hızı *amplitude* değerleri programa girilir.



Name	Type	Time Span
BPK	Tabular	Total Time
basinc	Tabular	Total Time
stm-ilerleme	Tabular	Step Time

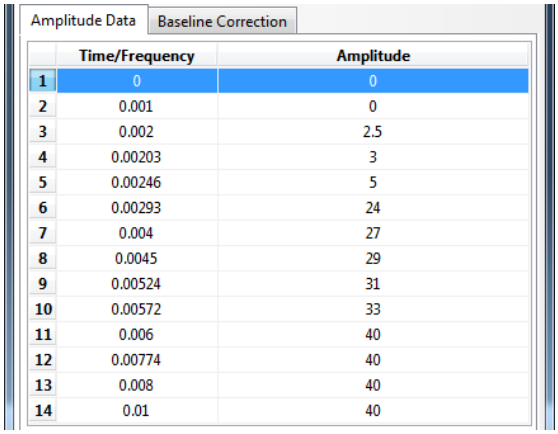
Şekil 3.20 Amplitude manager penceresi



Amplitude Data | Baseline Correction

	Time/Frequency	Amplitude
1	0	0
2	0.001	20000
3	0.002	20000
4	0.00203	20000
5	0.00246	20000
6	0.00293	40000
7	0.004	40000
8	0.0045	65000
9	0.00524	65000
10	0.00572	65000
11	0.006	75000
12	0.00774	80000
13	0.008	85000
14	0.01	85000

Şekil 3.21 Baskı plakası amplitude değerleri



Amplitude Data | Baseline Correction

	Time/Frequency	Amplitude
1	0	0
2	0.001	0
3	0.002	2.5
4	0.00203	3
5	0.00246	5
6	0.00293	24
7	0.004	27
8	0.0045	29
9	0.00524	31
10	0.00572	33
11	0.006	40
12	0.00774	40
13	0.008	40
14	0.01	40

Şekil 3.22 Baskı plakası amplitude değerleri

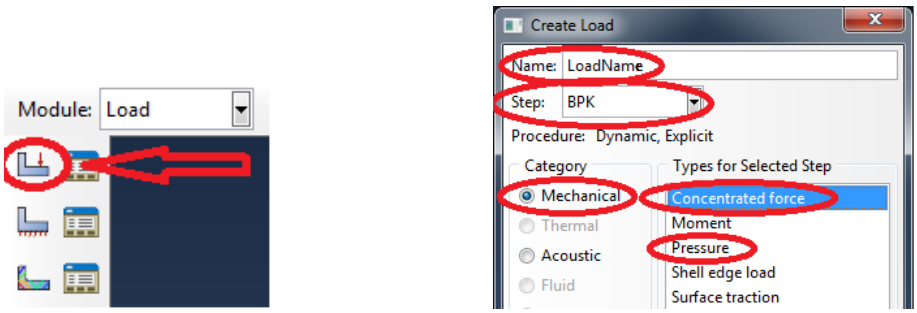
Amplitude Data | Baseline Correction

	Time/Frequency	Amplitude
1	0	0
2	0.001	0
3	0.002	0
4	0.00203	0.21
5	0.00246	2.73
6	0.00293	5.48
7	0.004	11.75
8	0.0045	14.69
9	0.00524	19.05
10	0.00572	21.87
11	0.006	23.5
12	0.00774	33.75
13	0.008	35.25
14	0.01	47

Şekil 3.23 Baskı plakası amplitude değerleri

Bu işlemlerden sonra son adım olarak Şekil 3.24(a)'da görülen *Create Load* butonuna tıklayarak kuvvetler daha önce tanımlanan *amplitude* değerleri yardımıyla programa tanıtılır.

Create Load butonuna tıkladıktan sonra Şekil 3.24(b)'de görüldüğü gibi *Create Load* penceresi görünecektir. Üst kısımdan tanımlanacak kuvvetin ismi girilir. *Step* başlığından ise oluşturulacak kuvvetin hangi adımda uygulanacağı seçilir. *Step* modülü altında oluşturulan adımlar burada otomatik olarak görünecektir. *Mechanical* kategorisi altında bulunan *Concentrated force* seçeneği baskı plakasını tanımlamada, *Pressure* seçeneği ise sıvı basıncını tanımlamada kullanılacaktır.

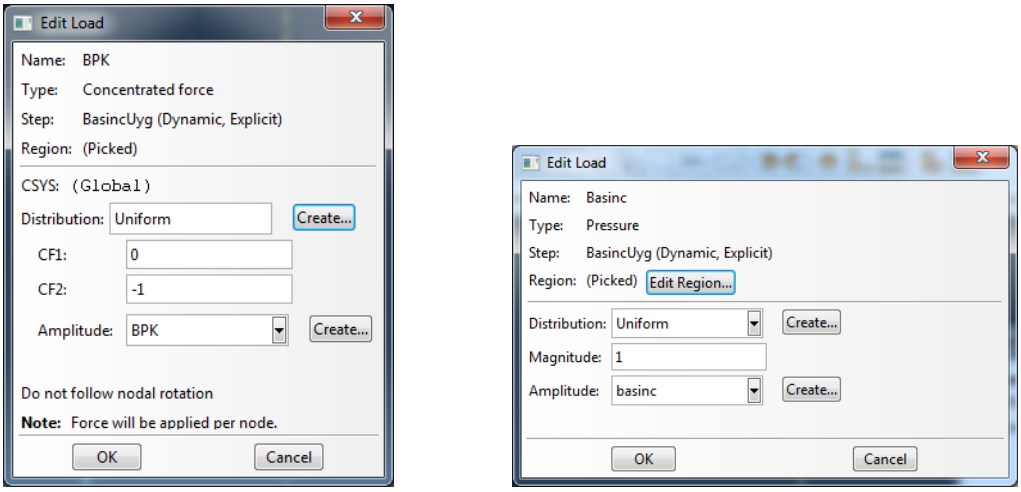


(a) (b)

Şekil 3.24 (a)Create load butonu (b)Create load penceresi

Concentrated force ve *Pressure* seçenekleri kuvvetler için seçildikten sonra Continue butonuna basılır. Daha sonra program uygulanacak kuvvet için gerekli parçalar üzerinde olan bir nokta seçilmesini isteyecektir. Önceden oluşturulmuş olan referans noktaları(RP) seçilerek fare orta tuşuna basılır.

Şekil 3.25'da görüldüğü gibi *Edit Load* penceresi görünecektir. Baskı plakası kuvveti için Şekil 3.25(a)'da görüldüğü gibi y ekseni için -1 değeri girilir. Bu değer program tarafından, pencerenin alt kısımda belirlenen ve daha önce tanımlanmış *amplitude* değerleri ile çarpılacaktır. Şekil 3.25(a)'da CF2 değeri, baskı plakası kuvvetinin y ekseni üzerinde aşağı doğrultuda etkidiği için eksi değerlidir.

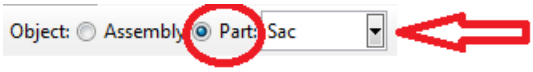


(a) (b)

Şekil 3.25 (a) Baskı plakası kuvveti *edit load* penceresi (b) Sıvı basıncı *edit load* penceresi

3.7 Mesh Modülü

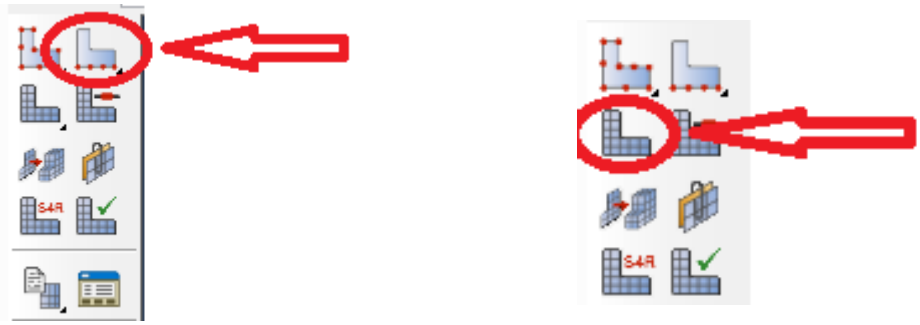
Bu modülde analizi yapılacak sac malzemenin mesh ağı oluşturulacaktır. Bunun için Mesh modülünde ekranın üst kısmında bulunan Şekil 3.26'deki ayar çubuğundan part seçeneği işaretlenerek mesh yapılacak sac parça seçilir.



Şekil 3.26 Mesh modülü için parça seçme

Sac parça seçildikten sonra Şekil 3.27(a)'da görüldüğü gibi *Seed Edges* kenar bölme butonuna basılır. Sacın en ve boyu üzerinde noktalar belirlenir. Bu noktalar daha sonra birleştirilerek mesh yapısı elde edilecektir. Bu çalışmada kısa kenar 1, uzun kenar 100 parçaya bölünmüştür. Bölme işlemi bittikten sonra Şekil 3.27(b)'de görülen *Mesh Part* butonuna tıklayarak mesh yapısı elde edilir.

Kalınlık doğrultusundaki birim şekil değiştirme değerlerini daha kolay elde edilmesi için tek sıra mesh kullanılmıştır. Sacda kalınlık doğrultusunda tek ve çift sıra mesh tanımlanarak maksimum kalınlıktaki incelme değerleri karşılaştırılmış ve yakın sonuçlar elde edilmiştir.



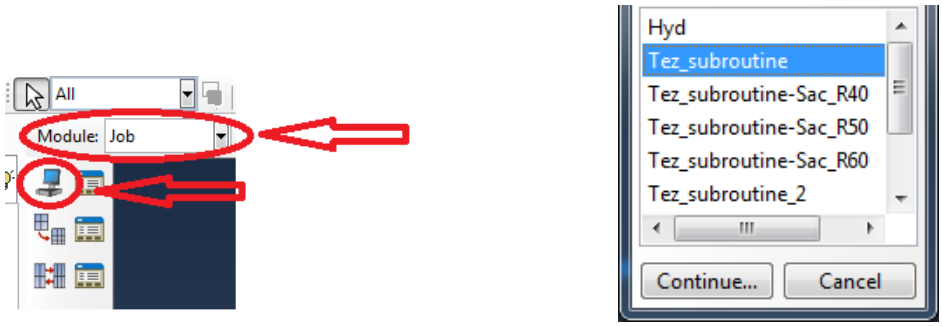
(a) (b)

Şekil 3.27 (a)Seed edges kenar bölme butonu (b)Mesh part butonu

3.8 Job Modülü

Bu modül, analizin çözümünü yapacak olan bölümdür. Şekil 3.28(a)'da görülen *Job* modülünde *Create Job* butonu tıklandıktan sonra Şekil 3.28(b)'de görülen *Create Job* penceresi görülecektir. Burada çalışmada var olan modellerin listesi bulunmaktadır.

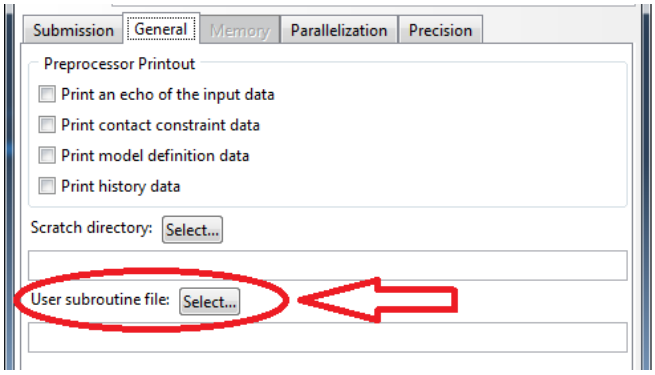
Hangi model için *job* oluşturulmak istenirse o model ismi seçilerek *Continue* butonuna basılır.



(a) (b)

Şekil 3.28 (a) Job modülü ve create job butonu (b) Create job penceresi

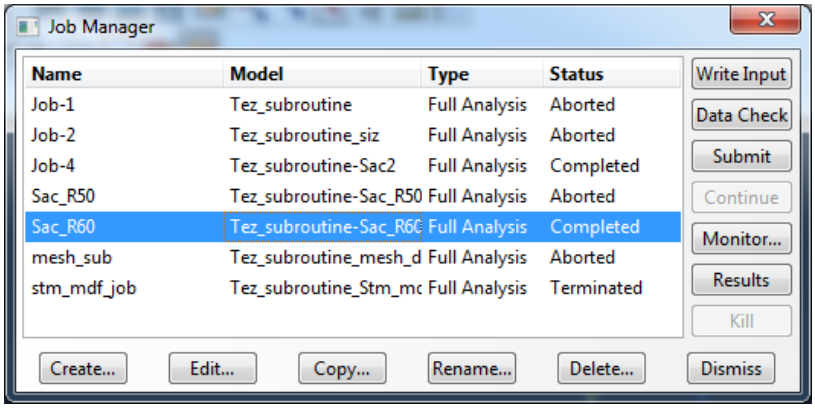
Bu çalışmada altprogram kullanılmıştır. Bu altprogram dosyası *Job* modülünden programa girilmektedir. Bunun için Şekil 3.29'da görülen *Edit Job* penceresinden *General* sekmesi seçilerek *User Subroutine File* yazısının yanında bulunan *select* butonu tıklanarak altprogram dosya yolunda bulunarak işaretlenir.



Şekil 3.29 Edit job penceresi ve altprogramın (subroutine) tanıtılması

OK butonuna basılıp bu işlemler bittikten sonra Şekil 3.30'de görülen *Job Manager* penceresi görülecektir. Burada sırasıyla *write input* butonu ile modelin özellikleri, hangi tanımlama ve işlemlerin yapıldığı C:\Temp klasörünün içine yazdırılabilir. *Data Check* butonu ile analizi yapmaya başlamadan, modelde eksik veri olup olmadığı denetlenebilir. *Submit* butonu analizin çözümünü yaparken, *Monitor* butonu ile çözümleme adımları

anlık olarak takip edilebilir. *Result* butonu ise analiz sürerken ya da bittiğinde çözüm sonrası görsel ve yazılı çıktıları verir.



Şekil 3.30 Job manager penceresi

4 ABAQUS SEA'DE ALT PROGRAMLARIN (SUBROUTINE) KURULMASI VE ÇALIŞTIRILMASI

Abaqus SEA yazılımında alt programların çalıştırılması işlemi oldukça karmaşıktır. Çünkü sadece programların kurulması yeterli değildir, birçok ayarlamanın belirli sıralarda ve dikkatlice yapılması gerekir. Örneğin program yollarının ve değişkenlerin tanımlanması sırasında belirli bir sıranın takip edilmesi gerektiği gibi, bir boşluk veya virgül karakteri bile programların çalışmasını engelleyebilmektedir. Alt programların çalışabilmesi için gerekli olan yazılımların kurulması en az alt program kodlarının yazılması kadar zor bir işlemdir. Bu nedenle aşağıdaki adımların sırasıyla ve dikkatli bir şekilde yapılması gerekir.

4.1 Alt Programların Çalıştırılabilmesi İçin Gerekli Programlar

Abaqus SEA yazılımında alt programların çalıştırılabilmesi için, Abaqus SEA yazılımına ilaveten Microsoft Visual Studio ve Intel® Visual Fortran Compiler programlarının kurulması gereklidir.

Microsoft Visual Studio, Microsoft tarafından geliştirilen bir tümleşik geliştirme ortamıdır. Visual Studio, değişik programlama dillerini destekler, bu da kod editörü ve hata ayıklayıcısının neredeyse tüm programlama dillerini desteklemesini sağlamaktadır.

Fortran Compiler, Intel tarafından geliştirilen bir fortran kodu derleyicisidir. Fortran dilinde yazılan alt programın, Abaqus SEA programı çatısı altında derlenmesine imkan vermektedir.

Abaqus Documentation, Abaqus SEA programının internet tarayıcısı ile çalışan HTML uzantılı yardım dosyalarıdır.

Bu paket programlar kurulurken dikkatli olunmalıdır. Çünkü programların beraber ve sorunsuz çalışabilmesi için her bir programın hedef adresleri, klasör yolları ve

değişken adreslerinin eksiksiz şekilde tanıtılması gerekir. Bu işlemleri yapabilmek için yukarıda sayılan paket programların belirli bir sıraya göre kurulması gereklidir. Programlar bu sıraya göre kurulmazsa alt programların çalıştırılacağı platformun kurulması mümkün olmamaktadır.

Bu programların kurulum sırası şu şekildedir:

1. Microsoft Visual Studio
2. Intel® Visual Fortran Compiler
3. Abaqus Documentation
4. Abaqus SEA

Yukarıda sayılan programların belirtilen sırayla kurulması da yeterli olmamaktadır. Kullanılan Abaqus SEA programının sürümüne göre Microsoft Visual Studio, Intel® Visual Fortran Compiler ve Abaqus Documentation programlarının da uygun sürümlerinin bulunup yüklenmesi gereklidir. Bu programların uygun sürümlerinin hangileri olduğu aşağıdaki web adresinden bulunabilir.

"http://www.3ds.com/support/certified-hardware/simulia-system-information/abaqus-610/system-requirements-for-abaqus-610-products/"

İnternet forumlarında, bu programların düzgün bir şekilde kurulup çalıştırılabilmesi için birçok yöntem önerilmektedir. Ancak bu işlemler sırayla ve dikkatlice yapıldığında bile kurulan platform düzgün çalışmayabilmektedir. Uzun ve meşakkatli çalışmalardan sonra bir kurulum tecrübesi elde edilebilmektedir. Bu tez çalışmasında birçok forumdan da faydalanılarak kurulum gerçekleştirilmiştir.

4.2 Programların Tanıtılması ve Çalıştırılması

Bu tez çalışmasında 64-bit Windows işletim sistemi için gerekli olan sürümler kullanılmıştır. Programların kullanılan sürümleri şunlardır:

1. Microsoft Visual Studio 2008
2. Intel® Visual Fortran Compiler 11.1

3. Abaqus Documentation 6.9
4. Abaqus SEA 6.10-1

Bu programlar sırayla kurulduktan sonra aşağıdaki işlemlerin yapılması gereklidir.

4.2.1 Ortam değişkenlerinin tanımlanması

Alt programların çalıştırılması için öncelikle yukarıda sıralanan programlar verilen sıra ile kurulmalıdır. Daha sonra programın hedef adresleri, klasör yolları ve değişken adreslerinin eksiksiz şekilde tanıtılması gerekir.

Programlar sırasıyla kurulduktan sonra Şekil 4.1(a) ve Şekil 4.1(b)'de görüldüğü gibi ortam değişkenleri tanımlanmalıdır. *"Bilgisayar –> Özellikler –> Gelişmiş Sistem Ayarları –> Gelişmiş –> Ortam Değişkenleri –> Sistem Değişkenleri –> Path"* yoluna,

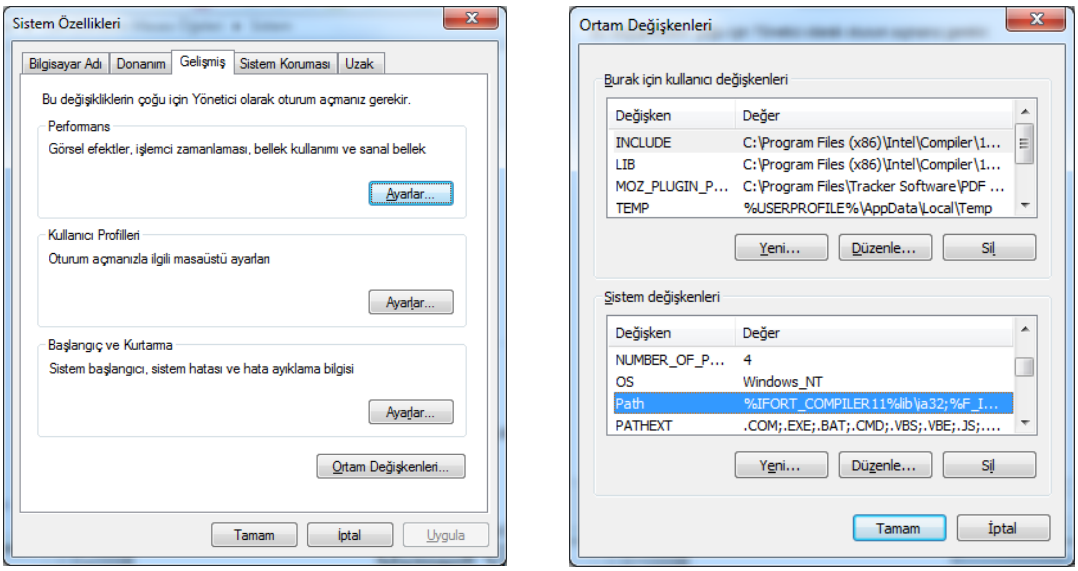
- Microsoft Visual Studio programı için; *"amd32" (32-bit işletim sistemleri için)* veya *"amd64" (64-bit işletim sistemleri için)* klasör yolu,
- Intel® Visual Fortran Compiler programı için; *"intel32" (32-bit işletim sistemleri için)* veya *"intel64" (64-bit işletim sistemleri için)* klasör yolu eklenmelidir.

Bu klasör yolları path değişkenine eklenirken varsayılan olarak gelen klasör yolları silinmemelidir. Eklenen klasör yolları noktalı virgül ile ayrılarak yazılmalıdır.

Bu ayarlamalara ek olarak "*Bilgisayar –> Özellikler –> Gelişmiş Sistem Ayarları –> Gelişmiş –> Ortam Değişkenleri –> Kullanıcı Değişkenleri"* bölümüne *"INCLUDE"* ve *"LIB"* isimli iki yeni değişkenler girilmelidir (Şekil 4.2). Değişken değerlerine ise Intel Compiler, Visual Studio program klasörleri içerisindeki lib ve include dosyalarının yolları yazılmalıdır. Bu çalışmada kullanılan değişkenler şöyledir:

LIB

C:\Program Files (x86)\Intel\Compiler\11.1\072\lib;C:\Program Files (x86)\Microsoft Visual Studio 9.0\VC\lib;C:\Program Files (x86)\Microsoft Visual Studio 9.0\VC\atlmfc\lib;C:\Program Files (x86)\Microsoft SDKs\Windows\v5.0\Lib

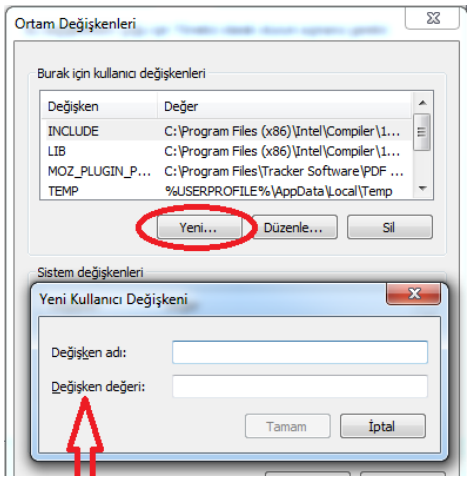


(a) (b)

Şekil 4.1 Ortam Değişkenleri Tanımlama

INCLUDE

C:\Program Files (x86)\Intel\Compiler\11.1\072\include;C:\Program Files (x86)\Microsoft Visual Studio 9.0\VC\include;C:\Program Files (x86)\Microsoft Visual Studio 9.0\VC\atlmfc\include;C:\Program Files (x86)\Microsoft SDKs\Windows\v5.0\Include



Şekil 4.2 Kullanıcı değişkeni tanımlama

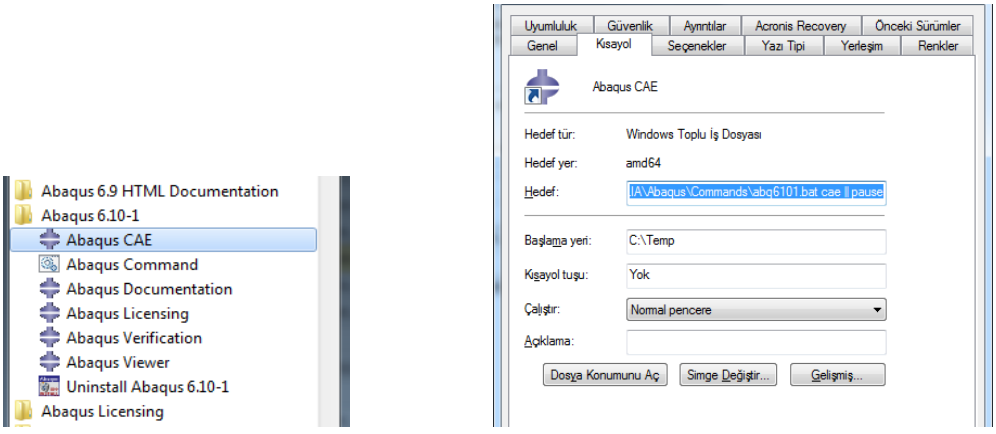
4.2.2 Abaqus SEA programı kısayol hedefinin değiştirilmesi

"Başlat –> Tüm Programlar –> Abaqus –> Abaqus CAE –> Özellikler –> Kısayol–>Hedef" dosya yolu takip edilerek *"Hedef"* boşluğuna Microsoft Visual Studio ve Intel® Visual Fortran Compiler programlarının alt klasörlerinde bulunan *".bat"* uzantılı dosyaların klasör yolları girilmelidir.

"Hedef" dosya yoluna;

- Microsoft Visual Studio programı için; *"vcvarsamd32.bat" (32-bit işletim sistemleri için)* veya *"vcvarsamd64.bat" (64-bit işletim sistemleri için)* klasör yolu,
- Intel® Visual Fortran Compiler programı için; *"ifortvars_intel32.bat" (32-bit işletim sistemleri için)* veya *"ifortvars_intel64.bat" (64-bit işletim sistemleri için)* klasör yolu eklenmelidir.
- Bu işlemlere ek olarak *"C:\SIMULIA\Abaqus\Commands\abq6101.bat cae || pause"* dosya yolu, diğer klasör yollarının sonuna eklenmelidir. Çalışmada kullanılan Abaqus CEA Hedef yolu;

"C:\Program Files (x86)\Microsoft Visual Studio 9.0\VC\bin\amd64\vcvarsamd64.bat" && "C:\Program Files (x86)\Intel\Compiler\11.1\072\bin\intel64\ifortvars_intel64.bat" && C:\SIMULIA\Abaqus\Commands\abq6101.bat cae || pause



(a) (b)

Şekil 4.3 (a)Abaqus CAE kısayolu (b)Abaqus CAE kısayolunun değiştirilmesi

4.2.3 Abaqus command kısayol hedefinin değiştirilmesi

"Başlat –> Tüm Programlar –> Abaqus –> Abaqus Command –> Özellikler –> Kısayol –> Hedef" dosya yolu takip edilerek *"Hedef"* boşluğuna Microsoft Visual Studio ve Intel® Visual Fortran Compiler programlarının alt klasörlerinde bulunan *".bat"* uzantılı dosyaların klasör yolları girilmelidir.

"Hedef" dosya yoluna;

- Microsoft Visual Studio programı için; *"vcvarsamd32.bat" (32-bit işletim sistemleri için)* veya *"vcvarsamd64.bat" (64-bit işletim sistemleri için)* klasör yolu,
- Intel® Visual Fortran Compiler programı için; *"ifortvars_intel32.bat" (32-bit işletim sistemleri için)* veya *"ifortvars_intel64.bat" (64-bit işletim sistemleri için)* klasör yolu eklenmelidir.
- Bu işlemlere ek olarak *"C:\Windows\SysWOW64\cmd.exe /k"* dosya yolu, diğer klasör yollarının sonuna eklenmelidir.

Çalışmada kullanılan Abaqus Command Hedef yolu;

"C:\Program Files (x86)\Microsoft Visual Studio 9.0\VC\bin\amd64\vcvarsamd64.bat" && "C:\Program Files (x86)\Intel\Compiler\11.1\072\bin\intel64\ifortvars_intel64.bat" && C:\Windows\SysWOW64\cmd.exe /k

4.2.4 Abaqus verification kısayol hedefinin değiştirilmesi

"Başlat –> Tüm Programlar –> Abaqus –> Abaqus Verification –> Özellikler –> Kısayol –> Hedef" dosya yolu takip edilerek *"Hedef"* boşluğuna Microsoft Visual Studio ve Intel® Visual Fortran Compiler programlarının alt klasörlerinde bulunan *".bat"* uzantılı dosyaların klasör yolları girilmelidir.

"Hedef" dosya yoluna;

- Microsoft Visual Studio programı için; *"vcvarsamd32.bat" (32-bit işletim sistemleri için)* veya *"vcvarsamd64.bat" (64-bit işletim sistemleri için)* klasör yolu,

- Intel® Visual Fortran Compiler programı için; *"ifortvars_intel32.bat" (32-bit işletim sistemleri için)* veya *"ifortvars_intel64.bat" (64-bit işletim sistemleri için)* klasör yolu eklenmelidir.
- Bu işlemlere ek olarak *"C:\SIMULIA\Abaqus\Commands\abq6101.bat -verify -all -log && notepad.exe verify.log"* dosya yolu, diğer klasör yollarının sonuna eklenmelidir.

Çalışmada kullanılan Abaqus Verification Hedef yolu;

"C:\Program Files (x86)\Microsoft Visual Studio 9.0\VC\bin\amd64\vcvarsamd64.bat" && "C:\Program Files (x86)\Intel\Compiler\11.1\072\bin\intel64\ifortvars_intel64" && C:\SIMULIA\Abaqus\Commands\abq6101.bat -verify -all -log && notepad.exe verify.log

4.2.5 Ek ayarlamalar

Abaqus SEA programının kurulumu sırasında, kurulum menüsü *"Set Work Directory"* adı altında kullanıcıdan bir dosya yolu seçilmesini ister. Bu seçilen dosya yolu, yapılan analizlerin kayıt ve çıktılarının varsayılan olarak kaydedildiği klasör olacaktır. Kullanıcı istediği klasörü "*Set Work Directory*" olarak seçebilmektedir. Ancak alt program (subroutine) kullanılacak bir sistemde varsayılan olarak gelen *"C:\Temp"* klasörünün kullanılması programların kurulumunda yaşanacak olumsuzlukları azaltacaktır.

"C:\SIMULIA\Abaqus\6.10-1\site" dosya yolu içerisinde bulunan *"abaqus_v6.env"* isimli enviroment dosyası, compile ve link işlemleri için gerekli komutları tanımlar [Writing User Subroutines with ABAQUS]. Bu *"C:\SIMULIA\Abaqus\6.10-1\site"* dosya yolu içerisinde bulunan ".env" uzantılı dosyanın *"Set Work Directory"* olarak seçilen dosyanın içerisine kopyalanması gereklidir.

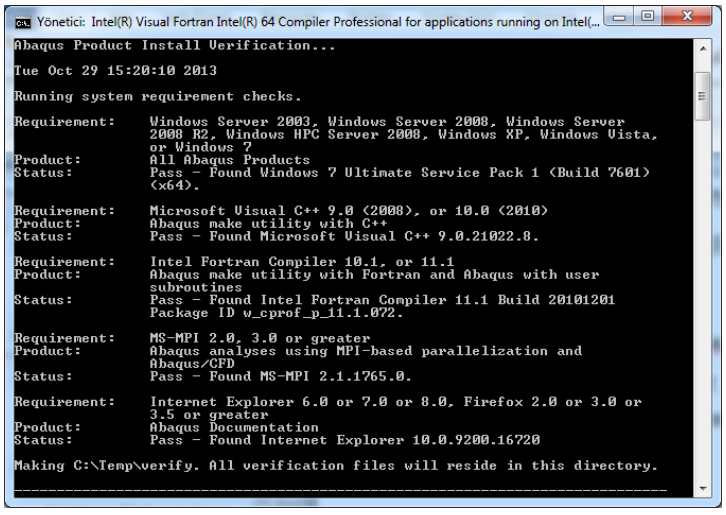
4.2.6 Programların çalışabilirliğinin doğrulanması

"Başlat –> Tüm Programlar –> Abaqus –> Abaqus Command" kısayoluna gidildiğinde bir DOS penceresi görünecektir. Bu DOS penceresine

"abaqus verify -user - std"

Komutu yazılarak doğrulama işlemi gerçekleştirilir. Bu işlemde açılan DOS komut penceresi; Abaqus CAE, Microsoft Visual Studio, Intel Fortran Compiler, MS-MPI ve Internet Explorer programların uyumluluğunu ve çalışıp çalışmadığını kontrol eder. Burada MS-MPI paralel programlamada kullanılan bir paket yazılımdır ve WIN7 işletim sistemi ile veya işletim sistemine ait güncellemelerin yüklenmesiyle elde edilebilir. Internet tarayıcısı sürüm uyumluluğunun kontrol edilmesinin sebebi ise programın, HTML uzantılı yardım dosyalarının görüntülenebilmesi için uygun Internet Explorer ya da Firefox sürümüne ihtiyaç duymasıdır. Örneğin bu tezde kullanılan Abaqus 6.10-1 sürümü için gerekli sürümler şunlardır:

- Abaqus CEA
- Microsoft Visual C++ 9.0 (2008) veya 10.0 (2010)
- Intel Fortran Compiler 10.1 veya 11.1
- MS-MPI 2.0, 3.0 veya daha sonrası
- Internet Explorer 6.0, 7.0 veya 8.0, Firefox 2.0, 3.0, 3.5 veya daha sonrası



Şekil 4.4 Abaqus DOS komut penceresi doğrulama adımı

Eğer kullanılan Abaqus SEA programının hangi sürümleri desteklediği konusunda sorun yaşanırsa *"abaqus verify -user – std"* komutuyla gerçekleşen doğrulama işlemi sırasında, DOS komut penceresi gerekli olan sürümleri *"Requirement"* başlığı altında belirtecektir.

Bütün programların çalışabilirliği doğrulandıktan sonra DOS komut penceresine

abaqus make library=source_file directory=destination

komutu yazılır. Bu komut Abaqus SEA programı içerisinde yer alan alt programların (subroutine), Intel Compiler kütüphanesine aktarılmasını sağlar. Buradaki *"source file"* kullanılmak istenen alt programın dosya yolu, *"directory"* ise "*Set Work Directory"* olarak seçilen klasörün dosya yoludur. Bu çalışmada kullanılan komut şöyledir:

abaqus make library= tez_vdload.for directory=C:\Temp

Bu komutun kurulumdan sonra bir kez verilmesi yeterlidir. Bu komut ile bütün alt program değişkenleri Intel Compiler kütüphanesine aktarılır.

4.3 Alt Programların Çalıştırılması

Abaqus SEA programında çalıştırılan alt programlar fortran programlama dilinde ve Microsoft Visual Studio ara yüzünde yazılır. Bu ara yüzde yazılan fortran kodlarından oluşan alt program (subroutine) "*.for"* uzantılı olarak kaydedilmelidir. Dosya yolları ve program bağlantıları arasında sorun yaşamamak için *"Set Work Directory"* olarak ayarlanan ve varsayılan olarak gelen *"C:\Temp"* dosyası içine konulması analizde yaşanacak sorunları azaltacaktır.

Abaqus SEA analiz programı ara yüzünde bulunan *"JOB"* modülüne gidilir. Analiz için oluşturulan *"JOB"* seçiler "edit" butonuna basılır. Açılan *"Edit Job"* penceresi altında bulunan *"General"* sekmesine tıklanır. Bu sekmede, kullanılacak alt program dosyasının klasör yolunun girileceği *"user subroutine file"* bölümü bulunmaktadır.

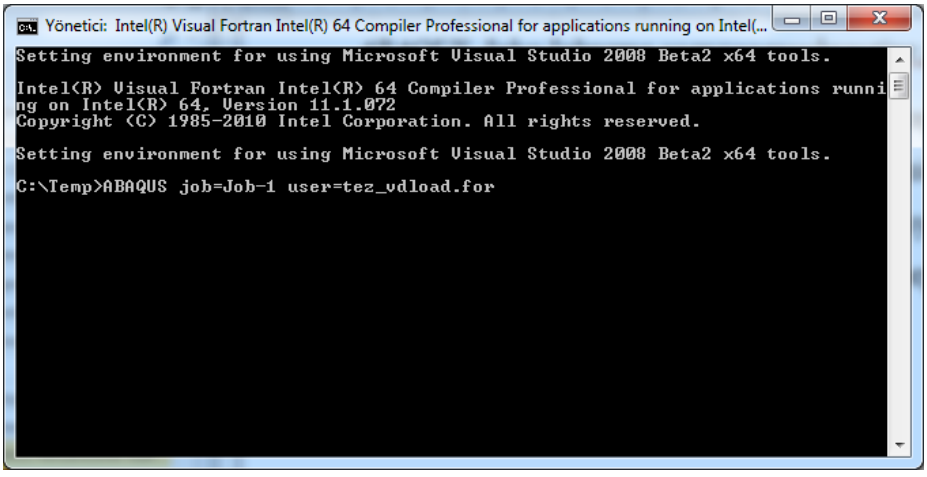
Buradan C:\Temp klasörünün içerisinde bulunan uygulama dosyası seçilerek yazılan altprogramın Abaqus SEA programı tarafından tanınması sağlanır.

4.4 Abaqus Commander DOS Penceresinin Kullanılması

Abaqus Commander DOS penceresi; alt programların çalıştırılması, kullanılan programların uyumluluğunun denetlenmesi (Microsoft Visula Studio, Intel Fortran Compiler) için kullanılmasının yanı sıra, yazılan programdaki yapısal hataların tespit edilebileceği *"DEBUG"* işlemini de yapabilmektedir. DEBUG işleminin yapılabilmesi için command satırına;

ABAQUS Job=Jobname user=usersubroutine.for

Komutu yazılır. Buradaki *"Jobname"* yapılan analizde kullanılan job adı, *"Usersubroutine"* ise kullanılan alt programın ismidir ve dosya yolları yazılmaz. Çünkü oluşturulan alt program (subrotine) dosyası, varsayılan olarak tanımlanan *"C:\Temp"* klasörü altında bulunmaktadır. Bu sebeple Abaqus Commander bu dosyaları otomatik olarak okur.



Şekil 4.5 Örnek abaqus commander alt program komutu

DEBUG işlemini yapabilmek için yazılan komuta ek olarak int ya da interactive komutu eklenir. Bu komutla Abaqus commander yazılan kodlardaki yapısal uygunluğu denetler (Değişken tanımlanması, if-endif döngüsel mantık uygunluğu, vb.). Kullanılan kodlarda yapısal hatalar bulunmazsa, Abaqus commander, job adı belirtilen analizi tanımlanan alt program (subroutine) ile birlikte çözmeye başlar. Çözüm işlemi sonlandıktan sonra commander penceresine yazdırılan değerler, *"C:\Temp"* klasörü altında oluşturulacak *"Jobname.sta"* isimli *".sta"* uzantılı dosyada bulunabilir.

ABAQUS Job=Jobname user=usersubroutine.for int

ABAQUS Job=Jobname user=usersubroutine.for interactive

4.5 Microsoft Visual Studio ile Hata Ayıklama (Debugging) İşlemi

Fortran kodlarından oluşan *".for"* uzantılı alt program dosyası, Miscrosoft Visual Studio ara yüzü ile açılarak debug işlemi yapılabilir. Bu sayede yapısal hataları görebilmenin yanı sıra tanımlanan değişkenlerin aldığı değerler de görülebilir. Microsoft Visual Studio üzerinden Debug işlemini yapabilmek için bazı ayarlamalar yapılması gerekir.

C:\SIMULIA\Abaqus\6.10-1\site klasörü altında bulunan abaqus_v6.env isimli dosya wordpad ile açılır. Burada link ve compile işlemlerinin kodları bulunmaktadır. Mevcut kodlara ek olarak satırlara şu komutlar eklenir:

• compile_fortran=['ifort', '/c', '/Gm', '/recursive', '/nologo', '/heap-arrays:1', '/include:%I', '/Od', '/Zi']

d. In "link_sl", add /DEBUG to let Visual C++ .NET linker to link the files with the symbolic information in .obj file

• link_sl='cmd /c "LINK /DEBUG /nologo /INCREMENTAL:NO /subsystem:console /machine:X86

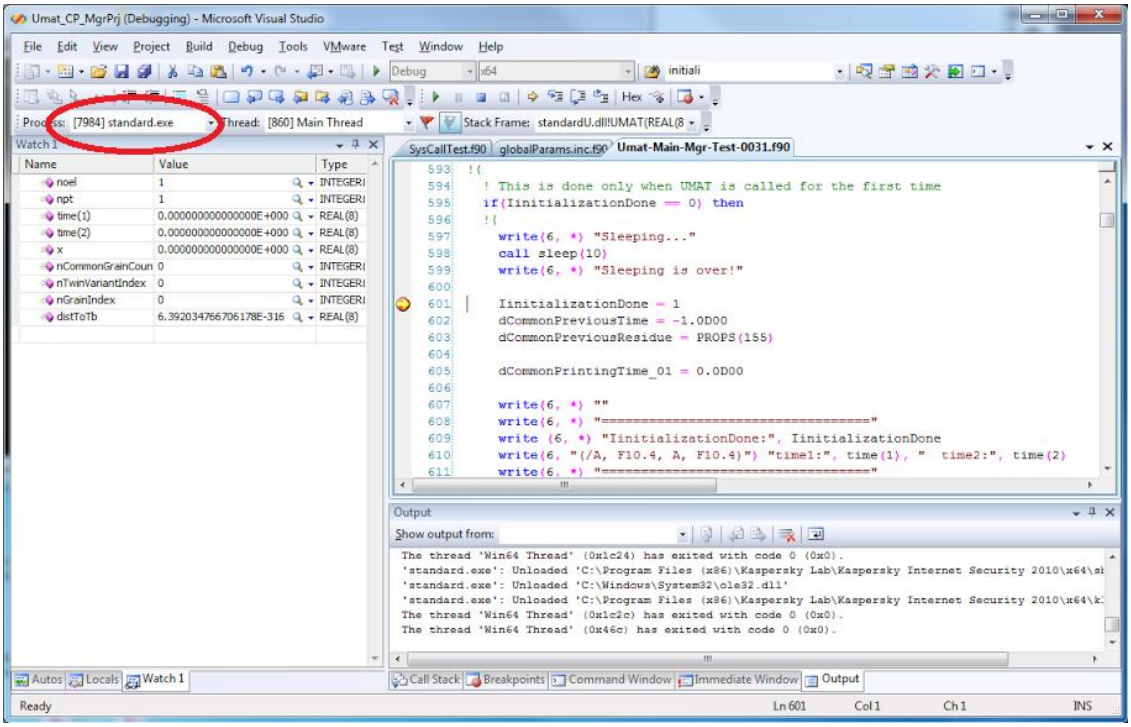
e. In "link_exe", add /DEBUG to let Visual C++ .NET linker to debug the files

• link_exe='cmd /c "LINK /DEBUG /nologo /INCREMENTAL:NO /subsystem:console

Açılan kodlarda yukarıdaki satır bulunup, kırmızı renkle yazılan komutlar gösterilen satırlara eklenir. Dosya kaydedilerek env dosyası kapatılır.

Daha sonra yazılan alt program (subroutine) üzerine "DIMENSION" değişken tanımlama satırından sonra *"read (*,*)"* komutu eklenir. Program kodların bu satırına gelince klavyeden bir değer girilmesini isteyecek ve program duracaktır. Bu komut çalışan programı duraklatmak amacıyla kullanılır.

Program durakladıktan sonra Microsoft Visual Studio ara yüzünden *"Tools –>Attach to Process"* yolu takip edilerek açılan menüde standard.exe bulunur ve Attach butonuna tıklayarak işlem tamamlanır. Bu adımlar uygulandıktan sonra Microsoft Visual Studio ara yüzü ile açılan alt program kodları F11 tuşu ile adım adım Debug edilebilir.



Şekil 4.6 Microsoft visual studio attach prosess işlemi

4.6 Abaqus SEA Altprogram Komutları

Abaqus SEA programında sıcaklık, yerçekimi, sürtünme katsayısı vb. gibi birçok durum için kullanılabilecek alt programlar (subroutine) mevcuttur. Abaqus kütüphanesinde bulunan bu alt programlar yapılan analizin implicit ya da expilicit modu olması durumuna göre değişkenlik göstermektedir. Her alt programın farklı modlarda aynı fonksiyonları gerçekleştiren farklı isimli komutları bulunmaktadır.

Kullanılan her alt program komutunun kendine ait özel değişkenleri bulunmaktadır. Bu değişkenlerin bazıları alacağı değeri modelden okumaktadır ve bu değerler alt programda bulunan kodlar tarafından değiştirilemez. Bu özellik *"read only"* olarak adlandırılmaktadır. Bazı değişkenlerin değerleri ise kullanıcı tarafından alt program kodunda yazılması gereklidir. Bu özellik de *"write only"* olarak adlandırılmaktadır.

Örneğin, bu tez çalışmasında ihtiyaç duyulduğu gibi Abaqus alt program kütüphanesinde, belirli sınırlar arasına basınç uygulanması için kullanılabilen VLOAD ve VDLOAD komutları mevcuttur. Fakat kullanılan hidromekanik derin çekme prosesi explicit olarak modellendiği için VDLOAD komutu kullanılmıştır. VLOAD komutu implicit analizlerde kullanılırken VDLOAD explicit analizlerde kullanılmaktadır. Yapılan analize uygun alt program kullanılmadığı taktirde, Abaqus SEA programı yapılan analiz türü ile kullanılan alt programın uyuşmadığını belirten bir hata verecektir.

4.6.1 Vload

VLOAD, implicit (statik) analizler için geliştirilmiş bir komuttur. Bu komut ile genel olarak yayılı yükler; zaman, hız ya da pozisyonun fonksiyonu olarak tanımlanabilir. Giriş kısmında bahsedildiği gibi VLOAD komutunun da kendine has değişkenleri bulunmaktadır. Bu değişkenler incelenerek kullanılan alt program komutunun yetenekleri daha iyi analiz edilebilir.

VLOAD komutunun genel yapısı şu şekildedir:

```
SUBROUTINE DLOAD (F,KSTEP,KINC,TIME,NOEL,NPT,LAYER,KSPT,
1 COORDS,JLTYP,SNAME)
INCLUDE 'ABA_PARAM.INC'
DIMENSION TIME (2), COORDS (3)
CHARACTER*80 SNAME
        user coding to define F
RETURN
END
```

Bu alt program komutunda F, KSTEP, KINC, TIME, NOEL, NPT, LAYER, KSPT, COORDS, JLTYP ve SNAME gibi değişkenler bulunmaktadır. Adı geçen bazı değerlerin karşılıkları şunlardır:

F: Uygulanacak olan yayılı yükün değeridir. Burada kuvvetin birimi Newton, uzunluğun değeri mm olarak verilir. Kuvvet yüzeye uygulanacak ise F değeri FL-2, bir gövdeye uygulanacak ise FL-3 olarak hesaplanır. Eğer F değeri yazılan kodda belirtilmezse değeri sıfır olarak atanır, program hata vermez. Bu yayılı yükün değeri abaqus programı ara yüzünden output (çıktı) olarak alınamaz.

KSTEP: Yapılan analizdeki step (adım) sayısıdır.

KINC: Analizin çözümünde kullanılacak increment değeridir.

TIME (1): Step time ın anlık değerini verir.

TIME (2): Total time ın anlık değeridir.

NOEL: Basınç uygulanacak element'in numarasıdır.

COORDS: Meshlenenen parçanın düğüm noktalarının koordinat sistemine göre yerini belirler.

Bunlardan COORDS değişkeni write only olup, diğer değişkenler read only özelliktedir.

4.6.2 Vdload

VDLOAD, explicit (dinamik) analizler için geliştirilmiş bir komuttur. Bu komut ile genel olarak yayılı yükler veya basınç; düğüm noktaları ya da yüzeylere göre zaman, hız

ya da pozisyonun fonksiyonu olarak tanımlanabilir. Giriş kısmında bahsedildiği gibi VDLOAD komutunun da kendine has değişkenleri bulunmaktadır. Bu değişkenler incelenerek kullanılan alt program komutunun yetenekleri daha iyi analiz edilebilir.

VDLOAD komutunun genel yapısı şu şekildedir:

```
      subroutine vdload (
C Read only (unmodifiable)variables -
        1 nblock, ndim, stepTime, totalTime,
        2 amplitude, curCoords, velocity, dirCos, jltyp, sname,
C Write only (modifiable) variable -
        1 value )
        include 'vaba_param.inc'
        dimension curCoords (nblock,ndim), velocity (nblock,ndim),
        1 dirCos (nblock,ndim,ndim), value (nblock)
        character*80 sname
        do 100 km = 1, nblock
                user coding to define value
        100 continue
        return
      end
```

nblock: Kuvvet uygulanacak ağ yapısındaki (mesh) düğüm noktalarının (node) sayısını verir.

ndim: Kuvvet uygulanacak düğüm noktası ya da yüzeyin koordinatını belirler. X,Y ve Z ekseni üzerinde uygulanan kuvvetlere göre ndim değişkeni sırasıyla 1,2 veya 3 değerini almalıdır.

stepTime: Belirlenen adımın başlangıcından itibaren geçen süreyi belirler.

value (nblock): Uygulanan kuvvet ya da basıncın değerini belirler.

totalTime: Yapılan analizin başından sonuna kadar geçen süreyi verir.

amplitude: Analiz esnasında okunan amplitude değeridir. Eğer amplitude tanımlanmış ise yazılan alt programda kuvvet ile amplitude değeri çarpılmalıdır.

Jltype	Load type
0	Surface-based load
1	BXNU
2	BYNU
3	BZNU
20	PNU
21	P1NU
22	P2NU
23	P3NU
24	P4NU
25	P5NU
26	P6NU
41	PXNU
42	PYNU
43	PZNU

Şekil 4.7 Yükleme çeşitleri tablosu

curCoords (nblock, ndim): Uygulanan basınç ya da kuvvet değerinin hesaplanması istenen düğüm noktalarının koordinatlarıdır. Uygulanan basınç ya da kuvvet x ekseninde ise *"ndim=1"*, y ekseninde ise" *ndim=2*" ve z eksenin de ise "*ndim*=3" değerini alır.

velocity (nblock, ndim): Basınç ya da kuvvet uygulanan her bir düğüm noktasının hızını verir.

dirCos (nblock, ndim, ndim): Yüzey, kenar ya da kiriş elamanlarına basınç uygulamak için kullanılır. Tüm gövde eleman yüklemeleri için kullanılmaz

JLTYP: Yüklemenin çeşidini belirler. Yükleme gövde yükü, yüzey tabanlı ya da eleman yükü tabanlı olabilir. Örneğin; BXNU üniform olmayan 3 boyutlu elemanların x ekseni üzerindeki yüklemesini belirtir. Bu çalışmada, referans bir yüzey üzerinde bulunan düğüm noktaları üzerine basınç uygulanmasına imkan tanıyan PNU yükleme tipi kullanılmıştır. Alt program kodunda JLTYP=20 yazılarak yükleme tipi belirlenir.

sname: Yükleme sadece yüzey tabanlı yapılıyorsa yani, JLTYP=0 ise yükleme yapılacak yüzeyin ismi bu değişken yardımıyla programa tanıtılır.

Vdload komutu ile zamana göre değişen basınç profili uygulanmıştır. Bu basınç profilini Abaqus SEA programında uygulayabilmek için program kodları içinde "amplitude" tanımı yapılması gereklidir. Bunun için vdload içerisinde amplitude değişkeni mevcuttur. Fakat bu değişken ile tanımlama yapılamamıştır. Diğer bir çözüm yolu olarak vdload gibi başka bir komut olan ve sadece değişken yüklemeleri tanımlamak için kullanılan vuamp komutu bulunmaktadır. Ancak tek alt program dosyası içerisinde

iki farklı komut kullanılması kodların çalıştırılması esnasında sorunlara yol açmıştır. Bu yüzden tanımlanan basınç eğrisinin eğimini hesaplayarak basınç değerini atayan özel bir kod dizisi yazılmıştır. Yazılan kodlar EK-1'de verilmiştir.

5 ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Bu çalışmada Hidromekanik Derin Çekme prosesi 1mm kalınlıktaki Al5754 malzeme için Abaqus SEA programında modellenmiştir. Simülasyonlar kullanılarak deneme yanılma metodu ile minimum incelmeyi verecek basınç profili (BP) ve baskı plakası kuvveti profili (BPKP) belirlenmiştir. Giriş kısmında ayrıntılı olarak anlatıldığı gibi, daha önceki çalışmalarda kullanılan hidromekanik derin çekme analizinde basınçlı bölge tanımlaması kesikli (*partition*) olduğu için daha kaba bir yaklaşımla analiz yapılmaktadır (Halkacı ve ark., 2014). Bu nedenle basınçlı bölge; altprogramlar kullanılarak sürekli olarak değişen bir şeklinde gerçeğe daha yakın modellenmiştir. Kullanılan alt programa ait kaynak kodları EK-1'de verilmiştir.

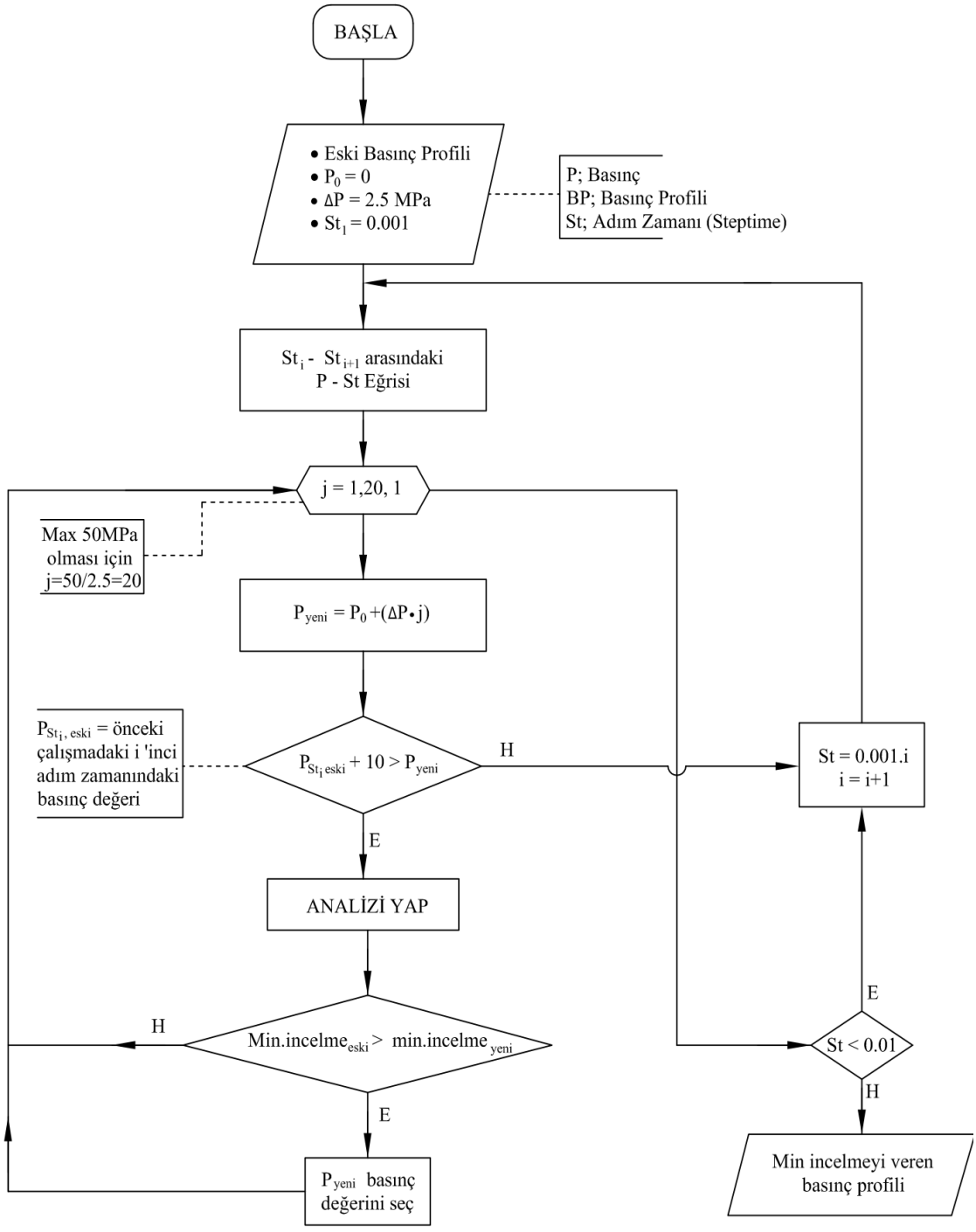
Proseste önce BP belirlenip buna bağlı olarak BPKP bulunmuştur. Optimum basınç profilini (OBP) bulmak için yapılan denemelerde Halkacı ve ark. (2014) tarafından elde edilen baskı plakası kuvveti profilinden yararlanılmıştır. Bu BPKP kullanılarak sacda en az incelmeyi veren BP elde edilmiş. BP elde edildikten sonra baskı plakası kuvveti ile ilgili denemeler yapılarak daha az incelmeye neden olan BPK profili elde edilmiştir.

5.1 Optimum Basınç Profilinin (OBP) Elde Edilmesi

Alt programlar kullanarak basınç profili ve basınç profiline bağlı olarak da baskı plakası profili elde edilmiştir Optimum basınç profilini bulmada kullanılan yöntemin akış diyagramı Şekil 5.1'de verilmiştir. Kalınlık doğrultusunda minimum incelmeyi veren BP profili belirlenirken kullanılan BPKP Çizelge 5.2'de gösterilmiştir.

Çizelge 5.1 Baskı plakası kuvveti profili (BPKP)

Zaman(s)	0.001	0.002	0.00246	0.00293	0.004	0.0045	0.00572	0.006	0.00774	0.008	0.01
BPK(kN)	0	20	20	40	40	65	65	75	80	85	85



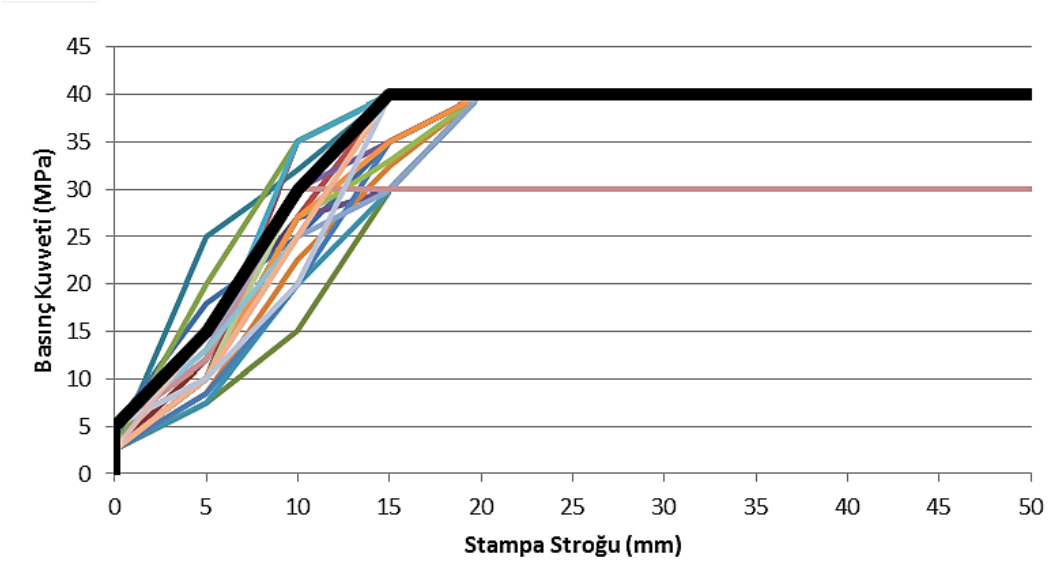
Şekil 5.1 Optimum basınç profili bulma akış diyagramı

Çizelge 5.2'deki baskı plakası profili kullanılarak çeşitli basınç profilleri denenmiştir. Bu profiller arasında Şekil 5.2'de kalın siyah çizgiyle gösterilen basınç

profilinde kalınlık doğrultusunda %11.44 (17.Profil) ile en az incelmeyi veren profil olmuştur. Denemeler yapılırken en düşük 2.5Mpa, en yüksek 40Mpa basınç kuvveti seçilmiş ve Çizelge 5.3'de görülen optimum sıvı basıncı profili elde edilmiştir. Bu profillere ait daha ayrıntılı sayısal değerler EK-2'de verilmiştir.

Çizelge 5.2 Baskı plakası kuvveti profili (BPKP)

Zaman(s)	0.001	0.002	0.00246	0.00293	0.004	0.0045	0.00572	0.006	0.00774	0.008	0.01
BPK(kN)	0	20	20	40	40	65	65	75	80	85	85



Şekil 5.2 Basınç profil denemeleri grafiği

Çizelge 5.3 Elde edilen optimum basınç profili

Zaman (s)	0	0.001	0.002	0.003	0.004	0.005	0.006	0.008	0.01	0.012	% incelme
Basınç (MPa)	0	0	5	15	30	40	40	40	40	40	%11.44

5.2 Optimum Baskı Plakası Kuvveti Profilinin (OBPK) Elde Edilmesi

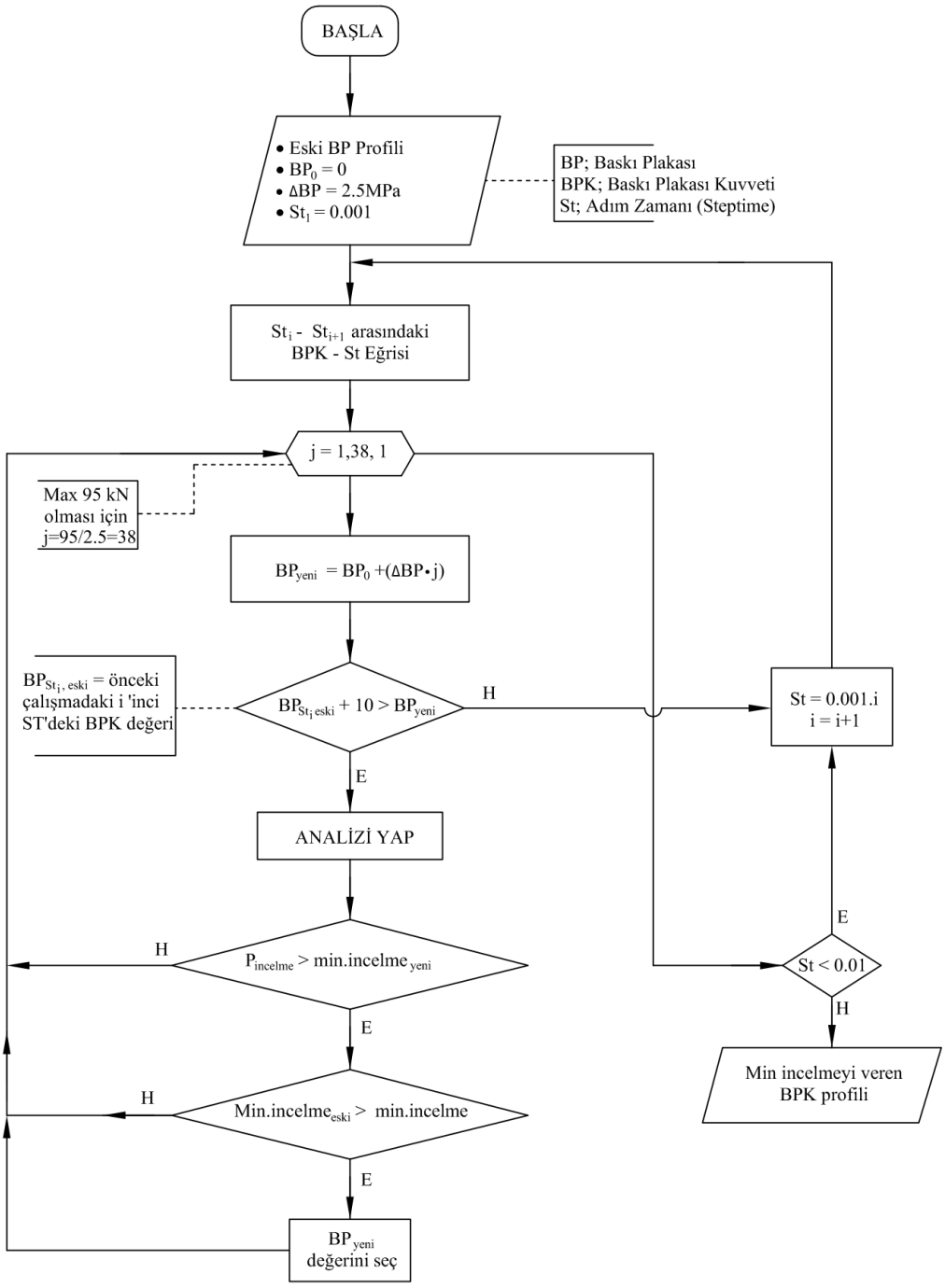
Elde edilen optimum sıvı basınç profili kullanılarak farklı baskı plakası kuvveti profilleri denenmiştir. İncelenen bu profiller EK-3'de verilmiştir. Öncelikle lineer veya sabit baskı plakası kuvvetleri altında sacda oluşan incelmeler araştırılmıştır (Çizelge 5.3). Daha sonraki baskı plakası profil denemelerinde her iki adım arasında 2.5kN artırım yapılarak minimum incelmeyi veren profiller incelenmiştir. Bu profiller belirlenirken 2.5kN artırım yapılarak önce iki adım zamanı arasındaki baskı plakası kuvvetleri denenmiş, buradan en az incelmeye sebep olan değerler seçilip diğer adımlar arasında da aynı işlemler yapılmıştır (Çizelge 5.4). Optimum baskı plakası kuvveti profilini bulmada kullanılan yöntemin akış diyagramı Şekil 5.3'de verilmiştir.

Çizelge 5.4 Baskı plakası kuvvet profillerinin belirlenmesi

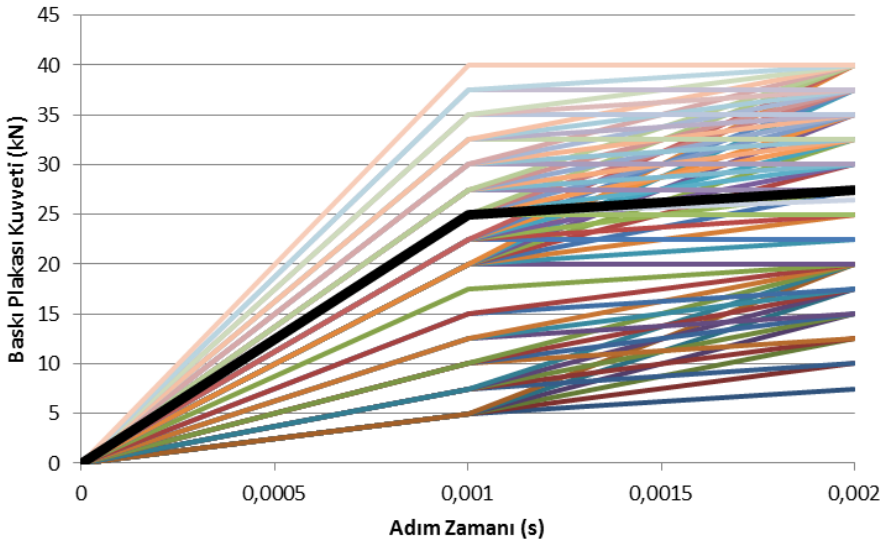
Steptime (s)	0	0.001	0.002	0.003	0.004	0.005	0.006	0.008	0.01	0.012	% incelme
BPK (kN)	0	5	**5**	40	40	65	75	85	85	85	%14.55
	0	5	**7.5**	40	40	65	75	85	85	85	%16.56
	0	5	**10**	40	40	65	75	85	85	85	%12.33
	0	5	**12.5**	40	40	65	75	85	85	85	%12.94
	0	5	**15**	40	40	65	75	85	85	85	%11.44
	0	5	**17.5**	40	40	65	75	85	85	85	%17.38
	0	5	**20**	40	40	65	75	85	85	85	%16.56

Yapılan analizler sonucunda 0-0.002 adım zamanı arası (Şekil 5.4), 0.002-0.004 adım zamanı arası (Şekil 5.5), 0.004-0.006 adım zamanı arası (Şekil 5.6) baskı plakası kuvveti-adım zamanı grafiklerinden görülen değerler incelenmiştir. Grafiklerde görülen siyah kalın çizgili eğriler adım zamanları arasında en az yüzde incelmeleri vermiştir. 0.006-0.01 adım zamanı arası (Şekil 5.7) grafiğinde ise diğer deneme analizlerinden elde edilen yüzde incelmelerden daha iyi bir incelme oranı sağlanamamıştır. Yapılan

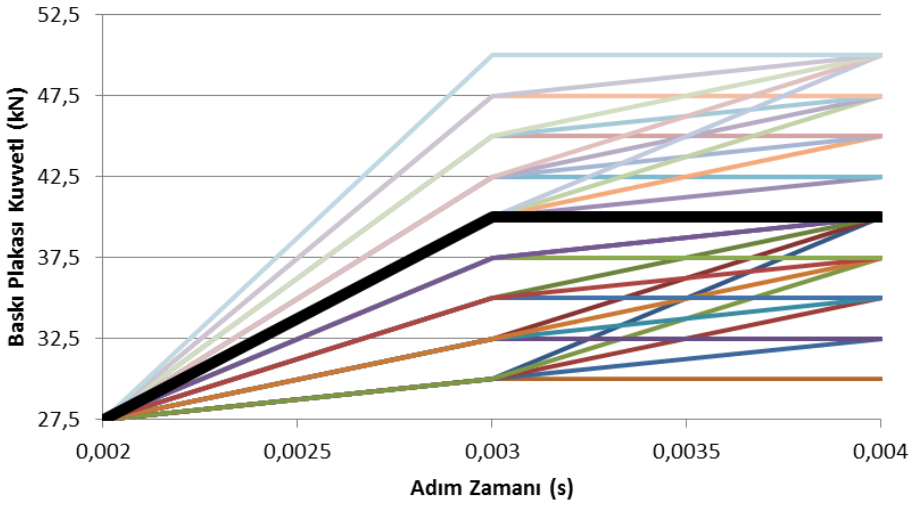
denemelerde 0.01 adım zamanı sonrasında yapılan denemelerde en fazla on binde bir değişme olduğu görülmüştür. Bu nedenle bu alanda deneme yapılmamış, sabit kuvvet uygulanmıştır. Şekil 5.8 ve Şekil 5.9'da ise denenen baskı plakası kuvveti profillerinin grafikleri verilmiştir.



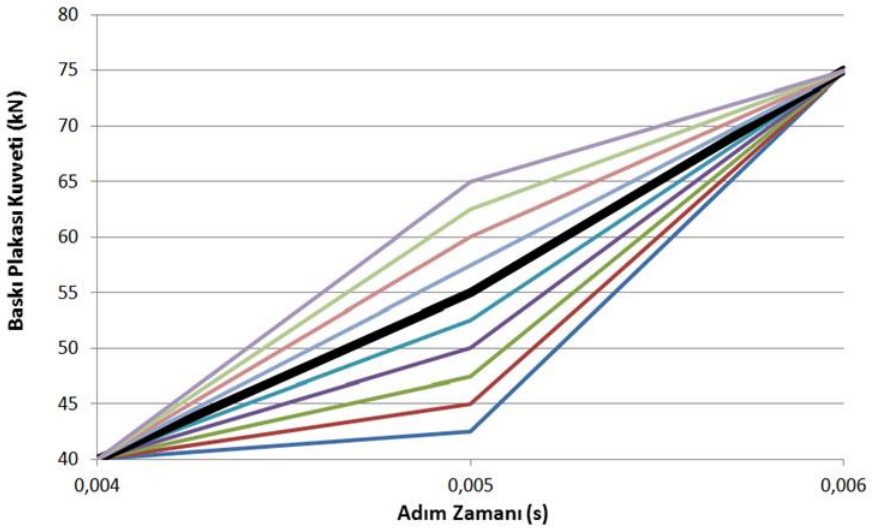
Şekil 5.3 Optimum baskı plakası kuvveti profilini bulma akış diyagramı



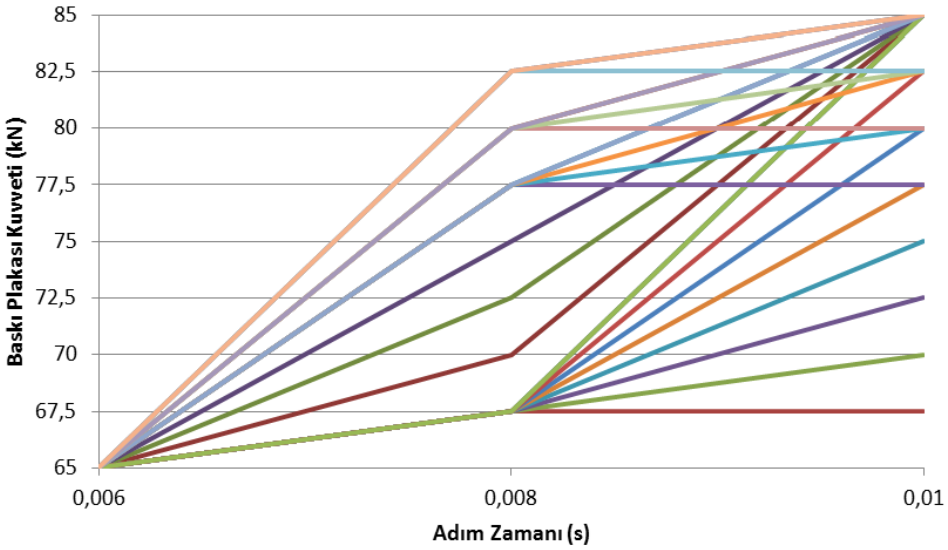
Şekil 5.4 0-0.002 Adım zamanı arası baskı plakası deneme grafiği



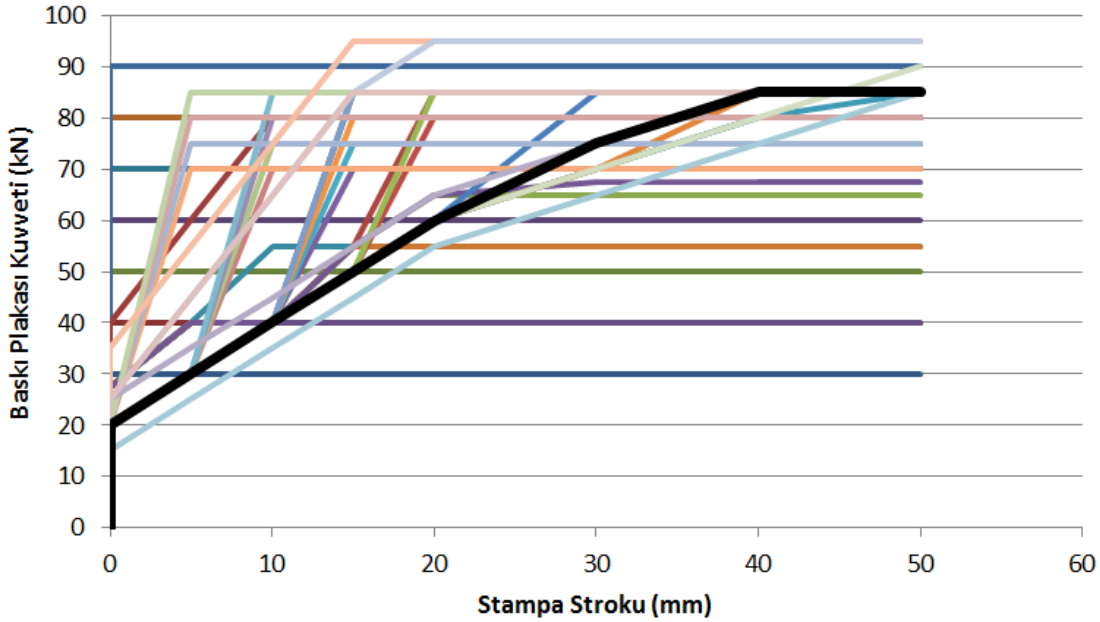
Şekil 5.5 0.002-0.004 Adım zamanı arası baskı plakası deneme grafiği



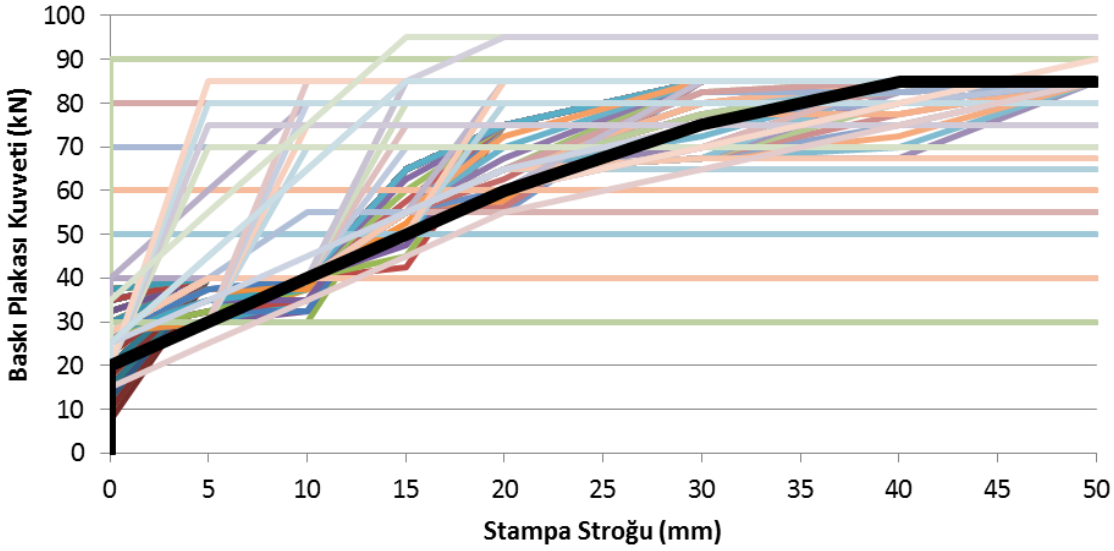
Şekil 5.6 0.004-0.006 Adım zamanı arası baskı plakası deneme grafiği



Şekil 5.7 0.006-0.01 Adım zamanı arası baskı plakası deneme grafiği



Şekil 5.8 Sabit ve lineer baskı plakası denemeleri



Şekil 5.9 Tüm baskı plakası profilleri

5.3 Elde Edilen Eğrilerin Önceki Çalışmalarla Karşılaştırılması

Halkacı ve ark.(2014) tarafından yapılan çalışmada, Abaqus SEA programında hidromekanik derin çekme prosesi modellenirken basınçlı bölge tanımlamada partition yani parçalara ayırma yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemle basıncın etkidiği yüzey parçalara ayırılarak, her bir adımda basınç etki ettirilmektedir. Ancak bu yöntem ile basınç artışı düzenli olmamaktadır. *Partition* yöntemi kullanılarak tek sıra ağ yapısı (mesh) ile yapılan analizde basınç artışı düzenli olmadığı için, analiz hata ile sonuçlanmıştır. Halkacı ve ark.(2014) tarafından yapılan çalışmada kullanılan sıvı basıncı ve baskı plakası kuvvetleri Çizelge 5.5'te verilmiştir. Burada kalınlık doğrultusundaki incelme değeri %12.44 bulunmuştur.

Çizelge 5.6'te, elde edilen sıvı basıncı ve baskı plakası kuvvetleri verilmiştir. Burada incelme değeri ise %10.23 olarak elde edilmiştir.

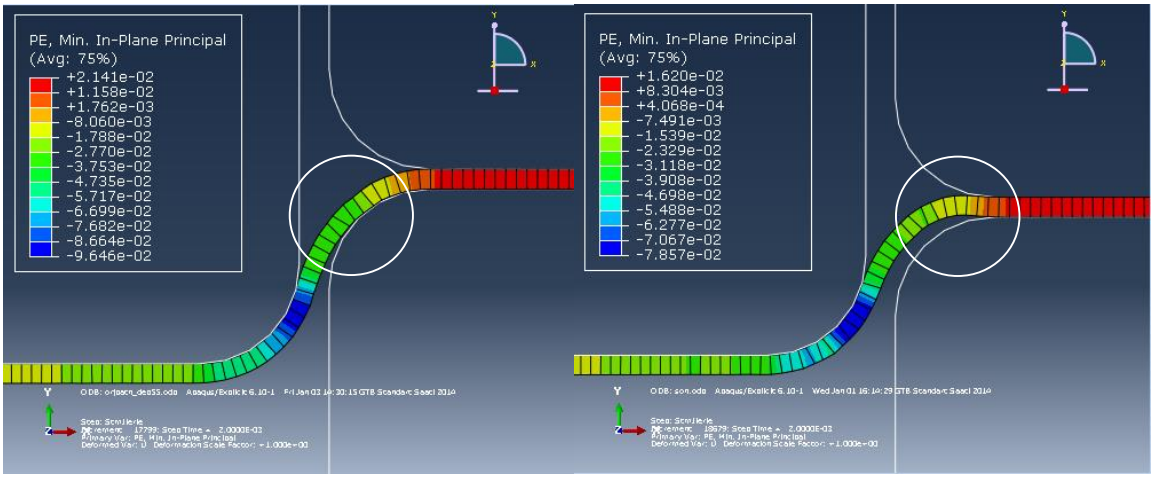
Bu çalışmada elde edilen optimum sıvı basıncı ve baskı plakası kuvveti profillerini kullanarak yapılan analizlerle, Halkacı ve ark.(2014) tarafından yapılan çalışmada kullanılan sıvı basıncı ve baskı plakası kuvveti profilleri analizleri karşılaştırıldığında kalıp radyüsüne temas kriterinin iyileştiği belirlenmiştir. Şekil 5.13'de görüldüğü gibi aynı stampa stroklarında karşılaştırıldığında, elde edilen sıvı basıncı ve baskı plakası kuvveti profillerinin kalıp radyüsüne teması azalttığı belirlenmiştir (Şekilde daire içine alınmış kısım). Resimlerde sol üstte gösterilen skalada yüzde incelme değerleri bulunmaktadır.

Çizelge 5.5 Halkacı ve ark.(2014) tarafından kullanılan sıvı basıncı ve baskı plakası profilleri

Adım Zamanı (s)	Basınç (MPa)	Baskı Plakası Kuvveti (kN)	% incelme
0	0	0	%12.44
0.001	0	20	
0.002	2.5	20	
0.00203	3	20	
0.00246	5	20	
0.00293	24	40	
0.004	27	40	
0.0045	29	65	
0.00524	31	65	
0.00572	33	65	
0.006	40	75	
0.00774	40	80	
0.008	40	85	
0.01	40	85	
0.012	40	85	

Çizelge 5.6 Tez çalışmasından elde edilen sıvı basıncı ve baskı plakası profilleri

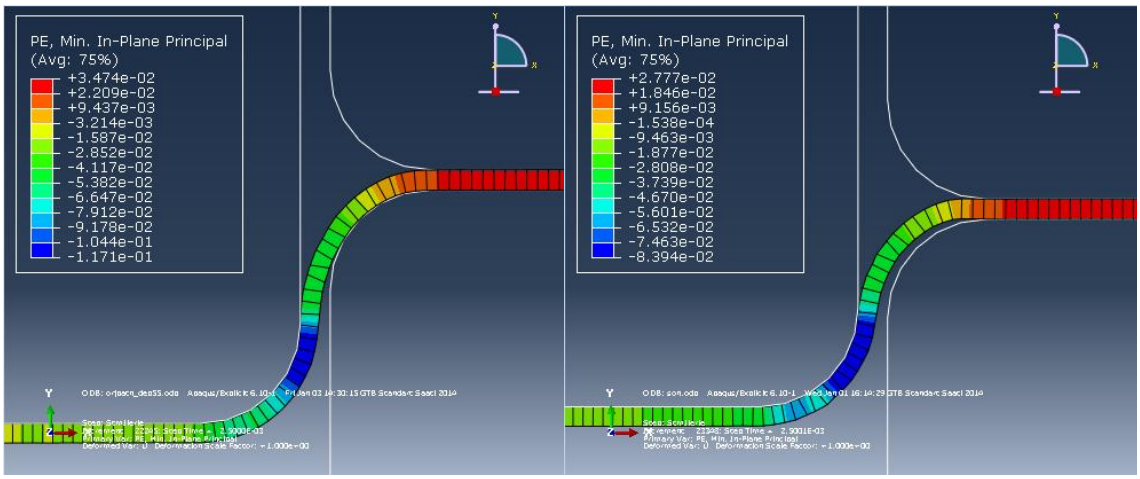
Adım Zamanı (s)	Basınç (MPa)	Baskı Plakası Kuvveti (kN)	% incelme
0	0	0	%10.23
0.001	0	10	
0.002	5	20	
0.003	15	30	
0.004	30	40	
0.005	40	50	
0.006	40	60	
0.008	40	75	
0.01	40	85	
0.012	40	85	



(a) (b)

Şekil 5.10 (a) Radyüs teması, stampa stroğu = 10mm (Halkacı ve ark., 2014)

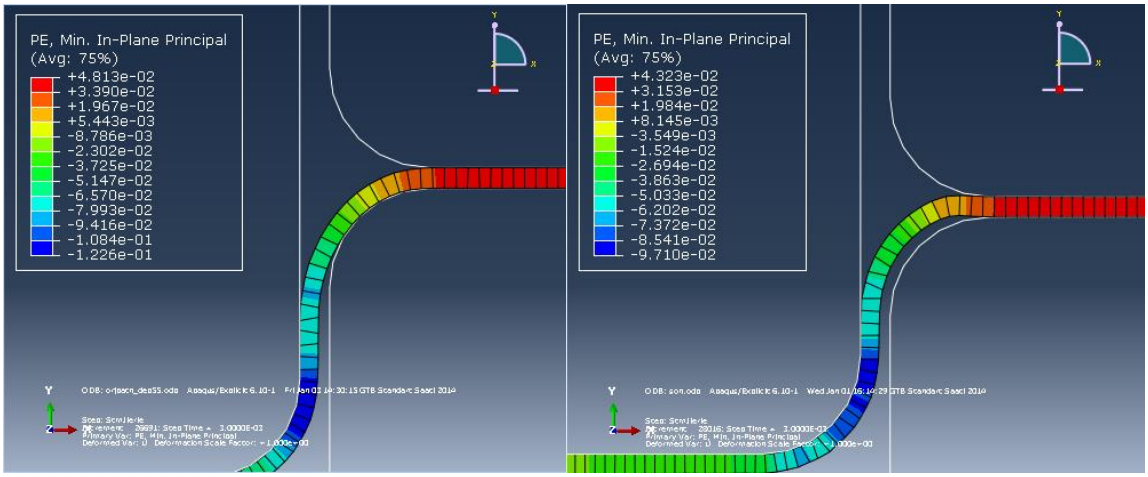
(b) Tez çalışması radyüs teması, stampa stroğu =10mm



(a) (b)

Şekil 5.11 (a) Radyüs teması, stampa stroğu=12.5mm (Halkacı ve ark., 2014)

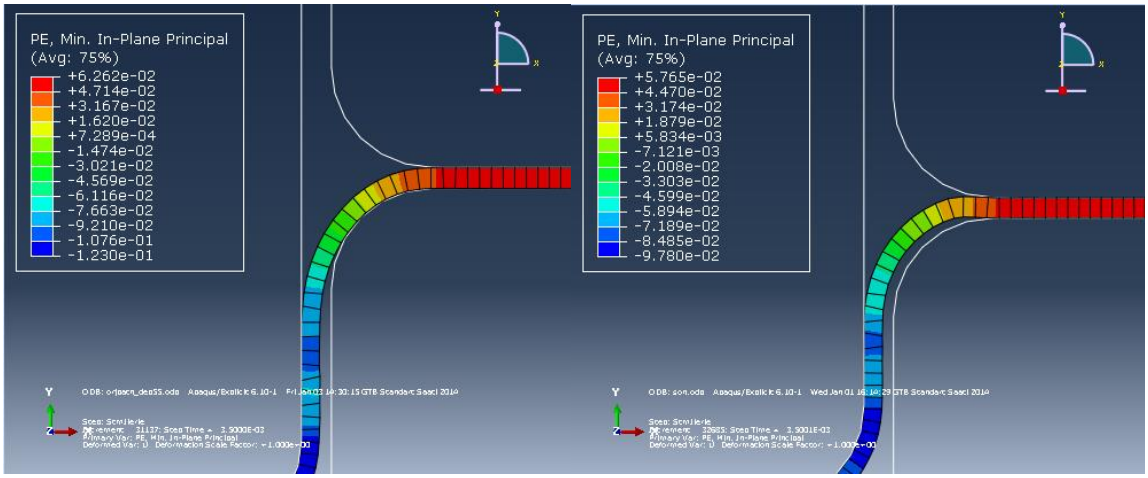
(b) Tez çalışması radyüs teması, stampa stroğu=12.5mm



(a) (b)

Şekil 5.12 (a) Radyüs teması, stampa stroğu=15mm (Halkacı ve ark., 2014)

(b) Tez çalışması radyüs teması, stampa Stroğu=15mm

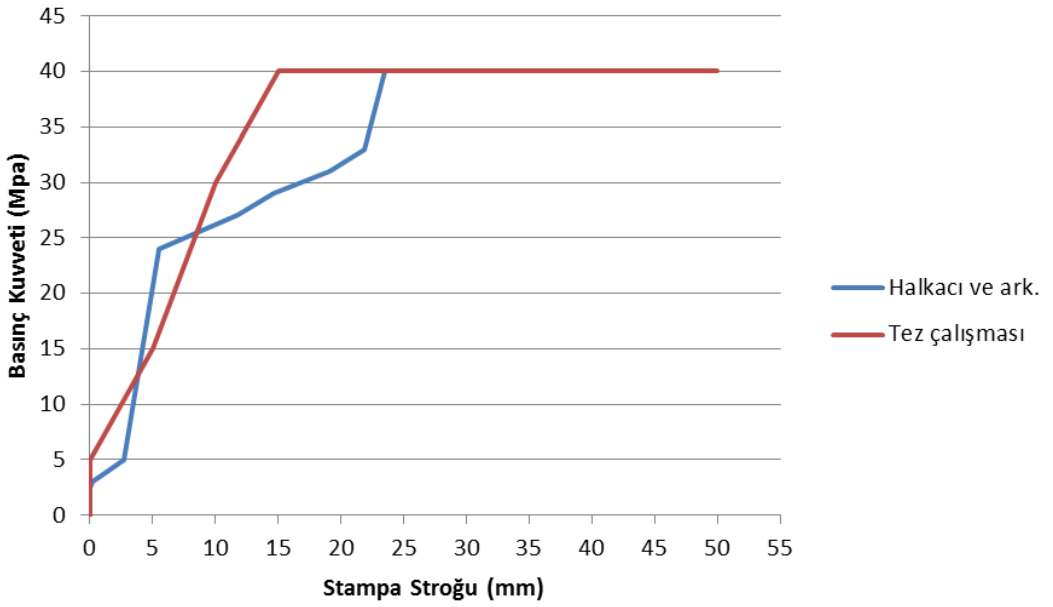


(a) (b)

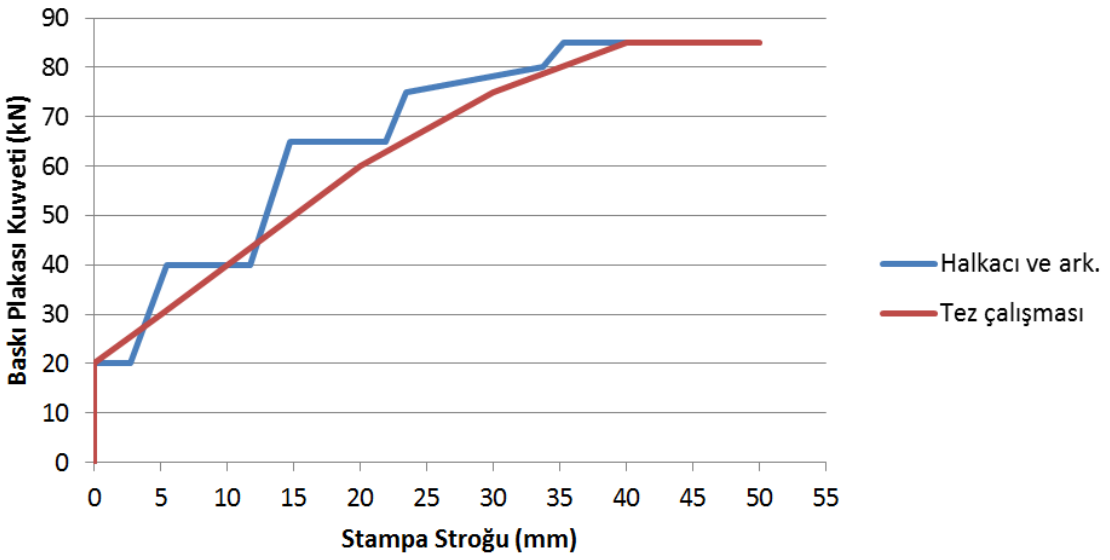
Şekil 5.13 (a) Radyüs teması, stampa stroğu=17.5mm (Halkacı ve ark., 2014)

(b) Tez çalışması radyüs teması, stampa stroğu=17.5mm

Halkacı ve ark.(2014) tarafından yapılan çalışma ve elde edilen optimum profiller Şekil 5.14 ve Şekil 5.15'de gösterilmiştir. Burada görüldüğü gibi basınç kuvveti ve baskı plakası kuvveti profillerinde düzensiz ve ani artırımlar yerine lineer kuvvetler hidromekanik derin çekme işlemine iyileştirici bir etki yapmıştır.



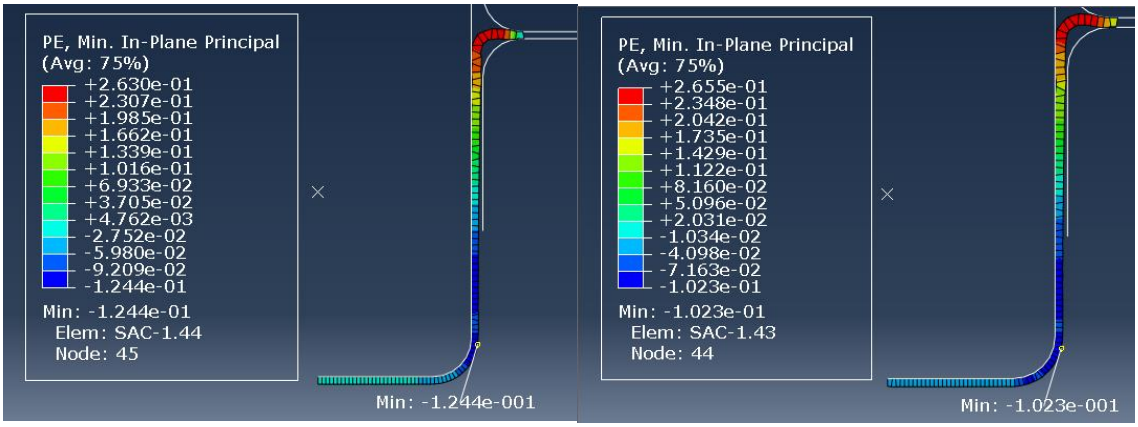
Şekil 5.14 Basınç kuvveti profilleri karşılaştırması



Şekil 5.15 Baskı plakası kuvveti profilleri karşılaştırması

Halkacı ve ark. (2014) tarafından elde edilen sıvı basıncı ve baskı plakası kuvveti profilleri (Şekil 5.16-a) ile tez çalışmasında elde edilen kalınlık doğrultusunda minimum incelmeyi veren sıvı basıncı ve baskı plakası kuvveti profilleri (Şekil 5.16-b) kullanılarak yapılan analizler sonucunda minimum incelmenin meydana geldiği bölgelerin

değişmediği görülmüştür. *Partition* yöntemi kullanılarak sac kalınlığı doğrultusunda tek sıra mesh kullanılarak yapılan analizler, basınç artışındaki düzensizlikler neticesinde hata ile sonuçlanığı için sonuçlar irdelenip karşılaştırma yapılamamıştır.



(a) (b)

Şekil 5.16 (a) Önceki çalışmada elde edilen sıvı basıncı ve baskı plakası kuvvet profilleri ile yapılan analiz sonucu maksimum incelmenin meydana geldiği bölge (Halkacı ve ark., 2014)

(b) Tez çalışmasında elde edilen sıvı basıncı ve baskı plakası kuvvet profilleri ile yapılan analiz sonucu maksimum incelmenin meydana geldiği bölge

6 SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında hidromekanik derin çekme işlemi, Abaqus SEA programında modellenerek, proses sonunda sac kalınlığında en az incelmeyi sağlayacak şekilde sıvı basıncı ve baskı plakası kuvveti profilleri elde edilmiştir. Abaqus SEA programında modelleme yapılırken kullanılan alt programlar ile sıvı basıncının etkidiği bölge gerçeğe daha yakın olarak modellenmiştir. Geliştirilen alt programlarda birçok farklı profil deneme-yanılma metoduyla modele girilerek, stampa ve radyüs temasları gözlenerek optimum profiller elde edilmiştir. Böylece aynı şartlar altında Halkacı ve ark.(2014) tarafından simülasyonu yapılan çalışmalara göre sac kesitinde meydana gelen maksimum yüzde incelme %12.44 den %10.23'e kadar indirilmiştir. Daha önce yapılan simülasyon çalışmaları deneylerle doğrulandığı için, burada ayrıca doğrulama deneyleri yapılmamıştır.

Sacın stampa yüzeyi ve kalıp radyüsü boyunca teması da hidromekanik derin çekme işlemini etkileyen önemli parametrelerdir. Gelecekte yapılacak çalışmalarda, bu kontrolleri de otomatik ayarlayacak alt programlar yazılması ile daha efektif profillerin elde edilmesi mümkün olacaktır. Bu hedef doğrultusunda adaptif yaklaşım üzerinde çalışmalar yapılabilir.

7 KAYNAKLAR

ABAQUS user manual, HKS.

Altan T., 2006, Process for hydroforming sheet metal, *Stamping Journal* : 400-418.

Braedel M., Vavilikolane V., Bartot P., Palaniswamy H., Kaya S. and Altan T., 2005, Estimation of the Optimal Blank Holder Force and Forming Pressure Trajectory for Sheet Hydroforming Process With Punch.

Shamsi-Sarband A., Zahedi S.A., Bakhshi-Jouybari M., Hossinipour S.J. and Banabic D., 2012, Optimizitation Of The Pressure Path In Sheet Metal Hydroforming, *Proceedings Of The Romanian Academy*, 351–359.

Braysy O., 2001, Local Search and Variable Neighborhood Search Algorithms for The Vehicle Routing Problem With Time Windows, Phd Thesis.

Choi H., Koc M. And Ni J., 2007, Determination of optimal loading profiles in warm hydroforming of lightweight materials, *Journal of Materials Processing Technology*, 190(1–3), 230–242.

Dao,T.P and Huang, S.C, 2011, Study on Optimization of Process Parameters Hydromechanical Deep Drawing of Trapezoid Cup, *Journal of Engineering Technology and Education*, Vol. 8 (1), 53-71.

Engin O., 2001, Akış Tipi Çizelgeleme Problemlerinin Genetik Algoritma ile Çözüm Performansının Arttırılmasında Parametre Optimizasyonu, Yayınlanmamış Doktora Tezi, *İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü*.

Goldberg D.E., 1989, Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning, *Addison-Wesley-USA*, 1-7.

H. Gharib, A.S. Wifi, M. Younan, A. Nassef, 2006, Optimization of the blank holder force in cup drawing, *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*, 18, 291-294.

H.Seidi, M.Jalali Azizpour and S.A.Zahedi, 2010, Investigation of Tearing in Hydroforming Process with Analytical Equations and Finite Element Method, *World Academy of Science, Engineering and Technology* , 207-210

Halkaci, M., Türköz, M., Dilmec, M., Halkaci, H. S., Dağhan, B., 2011, Increasing the Limiting Drawing Ratio of AA 5754 Aluminum Sheet by Hydromechanical Deep Drawing Process, *10th International Conference Technology Plasticity (ICTP 2011)*, Aachen-Germany, 472-476.

Halkacı,M., Halkacı,H.S., Türköz,M., Dağhan, B., 2012, A Study on DOE Methods for Hydromechanical Deep Drawing Process Parameters, *Applied Mechanics and Materials*, 217, 1602-1608.

Hatipoglu H.A., 2007, Experimental and numerical investigation of sheet metal hydroforming (flexforming) process, M.Sci Thesis, Middle East Technical University, Ankara.

Jang J. S. R., 1997, Neuro-Fuzzy and Soft Computing: A Computational Approach To Learning and Machine Intelligence, *Prentice-Hall, USA*, 173-196.

Karaağaç, İ., Gürün H., Özdemir A., 2009, AISI 304 Paslanmaz Çelik Sac Malzemenin Klasik Olarak ve Sıvı Basıncıyla Derin Çekilebilirliklerinin Sonlu Elemanlar Yöntemiyle Karşılaştırmalı Analizi, *5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu*, Karabük-Türkiye.

Labergere, C. and Gelin, J.C., 2012, Numerical Simulation of Sheet Hydroforming Taking into Account Analytical Pressure and Fluid Flow, *Journal of Materials Processing Technology*, Volume 212, Issue 10, 2020-2030.

Lang L., Danckert J., Nielsen K.B., 2004, Investigation into the effect of pre-bulging during hydromechanical deep drawing with uniform pressure onto the blank, *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 44, 649-657.

Shim, H., and Yang, D. Y., 2005, A simple method to determine pressure curve for sheet hydro-forming and experimental verification , *J. Mater. Process. Technol.*, 169, 134-142.

Strano M., Jirathearanat S., Shr S.G. and Altan T., 2004, Virtual process development in tube hydroforming, *Journal of Materials Processing Technology*, 146(1), 130–136.

Şahin S., 2004, Hidrolik Şekillendirme Yönteminin Esasları ve Sınıflandırılması. Mühendis ve Makine, 45(533), 35-39

Yeniay Ö., 2001, An Overview of Genetic Algorithms, *Anadolu Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 2(1), 37-49.

Yeo M. F. ve Agyel E. O., 1996, Optimising Engineering Problems Using Genetic Algorithms, *Engineering Computations*, 15 (2), 268-280.

Yossifon S., Tirosh J., 1985, Rupture instability in hydroforming deep-drawing process, I*nt. J. Mech. Sci.*, 27, 559-570.

Yossifon S., Tirosh J., 1988. On the permissible fluid-pressure path in hydroforming deep drawing process- Analysis of failures and experiments, Transections of the ASME 110, 146-152.

Zampaloni M., Abedrabbo N. and Pourboghrat F., 2003, Experimental and numerical study of stamp hydroforming of sheet metals, *International Journal of Mechanical Sciences*, 45, 1815–1848.

Zhang S.H. and Danckert J., 1998, Development of hydro-mechanical deep drawing, *Journal of Materials Processing Technology*, 83, 14-25.

Zhang S.H., 1999, Developments in hydroforming, *Journals of Materials Processing Technology*, 91, 226-244.

Zhanga S.H., Wangb Z.R., Xua Y., Wanga Z.T. and Zhoua L.X., 2004, Recent developments in sheet hydroforming technology, *Journal of Materials Processing Technology*, 151, 237–241.

Zhang S.H., Danckert J., 1998, Development of hydromechanical deep drawing, *Journal of Materials Processing Technology*, 83, 14-25.

Zhang S.H., Jensen M.R., Danckert J., Nielsen K., Kang D.C. and Lang L.H., 2000, Analysis of the hydromechanical deep drawing of cylindrical cups, *Journal of Materials Processing Technology*, 103, 367-373.

EKLER

EK-1 Alt Program Kodları

EK-2 Sıvı Basıncı Profil Denemeleri

EK-3 Baskı Plakası Profil Denemeleri

EK-1 Alt Program Kodları

```
C User subroutine : VDLOAD
      subroutine vdload (
C Read only -
     *     nblock, ndim, stepTime, totalTime,
     *     amplitude, curCoords, velocity, dircos,
     *     jltyp, sname,
C Write only -
     *     value )
C
      include 'vaba_param.inc'
      character*80 sname
C
      dimension curCoords(nblock,ndim), velocity(nblock,ndim),
     *     dircos(nblock,ndim,ndim), value(nblock)
      !JLTYP =20
      integer k
      !real value(k)
C
      do k=1, nblock
      if(curCoords(k,1).ge.0.and.curCoords(k,1).le.26.5) then
        if (totalTime.ge.0.and.totalTime.le.0.001) then
         value(k)=0.d0
        elseif (totalTime.gt.0.001.and.totalTime.lt.0.002) then
         value(k)=(((5/0.001)*(totalTime-0.002))+5)
        else if (totalTime.eq.0.002) then
         value(k)=5
C
        else if (totalTime.gt.0.002.and.totalTime.lt.0.003) then
         value(k)=(((10/0.001)*(totalTime-0.003))+15)
        else if(totalTime.eq.0.003) then
         value(k)=15
C
        else if (totalTime.gt.0.003.and.totalTime.lt.0.004) then
         value(k)=(((15/0.001)*(totalTime-0.004))+30)
        else if(totalTime.eq.0.004) then
         value(k)=30.d0
C
        else if (totalTime.gt.0.004.and.totalTime.lt.0.005) then
         value(k)=((((40-30)/(0.005-0.004))*(totalTime-0.005))+40)
        else if(totalTime.eq.0.005) then
         value(k)=40.d0
C
        else if (totalTime.gt.0.005.and.totalTime.le.0.012) then
         value(k)=40.d0
C
        end if
C
       else
        value(k)=0.d0
        !print *, value(k)
      end if
      end do
      return
      end
```

EK-2 Sıvı Basıncı Profil Denemeleri

Steptime Profil	***0***	***0,001***	***0,002***	***0,003***	***0,004***	***0,005***	***0,006***	***0,008***	***0,01***	***0,012***	***% incelme***
1. Profil	0	0,00	2,50	10	27,00	30,00	40,00	40,00	40,00	40,00	% 12.06
2. Profil	0	0,00	2,50	12	30,00	40,00	40,00	40,00	40,00	40,00	%15.30
3. Profil	0	0,00	2,50	7,5	15,00	30,00	40,00	40,00	40,00	40,00	%15.94
4. Profil	0	0,00	2,50	15	27,00	40,00	40,00	40,00	40,00	40,00	%14.60
5. Profil	0	0,00	2,50	25	32,00	40,00	40,00	40,00	40,00	40,00	%14.77
6. Profil	0	0,00	5,00	12	30,00	40,00	40,00	40,00	40,00	40,00	%13.44
7. Profil	0	0,00	5,00	18	25,00	35,00	40,00	40,00	40,00	40,00	%12.69
8. Profil	0	0,00	5,00	10	35,00	40,00	40,00	40,00	40,00	40,00	%19.38
9. Profil	0	0,00	2,50	20	35,00	40,00	40,00	40,00	40,00	40,00	%16.38
10. Profil	0	0,00	2,50	10	27,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	%13.41
11. Profil	0	0,00	2,50	7,5	20,00	30,00	40,00	40,00	40,00	40,00	%15.11
12. Profil	0	0,00	2,50	8,5	22,50	32,50	40,00	40,00	40,00	40,00	%13.03
13. Profil	0	0,00	2,50	8,5	20,00	35,00	40,00	40,00	40,00	40,00	%14.87
14. Profil	0	0,00	2,50	10	27,00	40,00	40,00	40,00	40,00	40,00	%11.51
15. Profil	0	0,00	2,50	10	27,00	33,00	40,00	40,00	40,00	40,00	%12.80
16. Profil	0	0,00	2,50	15	30,00	35,00	40,00	40,00	40,00	40,00	%14.99
17. Profil	0	0,00	5,00	15	30,00	40,00	40,00	40,00	40,00	40,00	%11.44
18. Profil	0	0,00	5,00	12	35,00	40,00	40,00	40,00	40,00	40,00	%16.55
19. Profil	0	0,00	2,50	10	27,00	35,00	40,00	40,00	40,00	40,00	%12.23
20. Profil	0	0,00	2,50	10	25,00	30,00	40,00	40,00	40,00	40,00	%14.44
21. Profil	0	0,00	5,00	12	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	%14.59
22. Profil	0	0,00	5,00	10	30,00	40,00	40,00	40,00	40,00	40,00	%13.74
23. Profil	0	0,00	5,00	13	30,00	40,00	40,00	40,00	40,00	40,00	%13.99
24. Profil	0	0,00	5,00	13	25,00	40,00	40,00	40,00	40,00	40,00	%16.65
25. Profil	0	0,00	2,50	10	25,00	40,00	40,00	40,00	40,00	40,00	%12.65
26. Profil	0	0,00	5,00	10	20,00	40,00	40,00	40,00	40,00	40,00	%15.12
27. Profil	0	0,00	2,50	15	30,00	40,00	40,00	40,00	40,00	40,00	%13.36

EK-3 Baskı Plakası Profil Denemeleri

Steptime Profil	***0***	***0,001***	***0,002***	***0,003***	***0,004***	***0,005***	***0,006***	***0,008***	***0,01***	***0,012***	***% incelme (1Mesh)***
1. Profil	0,0	5,0	7,5	40,0	40,0	65,0	75,0	85,0	85,0	85,0	%16.56
2. Profil	0,0	5,0	10,0	40,0	40,0	65,0	75,0	85,0	85,0	85,0	%12.33
3. Profil	0,0	5,0	12,5	40,0	40,0	65,0	75,0	85,0	85,0	85,0	%12.94
4. Profil	0,0	5,0	15,0	40,0	40,0	65,0	75,0	85,0	85,0	85,0	%11.44
5. Profil	0,0	5,0	17,5	40,0	40,0	65,0	75,0	85,0	85,0	85,0	%17.38
6. Profil	0,0	5,0	20,0	40,0	40,0	65,0	75,0	85,0	85,0	85,0	%16.56
7. Profil	0,0	7,5	10,0	40,0	40,0	65,0	75,0	85,0	85,0	85,0	%13.10
8. Profil	0,0	7,5	12,5	40,0	40,0	65,0	75,0	85,0	85,0	85,0	%10.90
9. Profil	0,0	7,5	15,0	40,0	40,0	65,0	75,0	85,0	85,0	85,0	%13.25
10. Profil	0,0	7,5	17,5	40,0	40,0	65,0	75,0	85,0	85,0	85,0	%18.18
11. Profil	0,0	7,5	20,0	40,0	40,0	65,0	75,0	85,0	85,0	85,0	%15.24
12. Profil	0,0	10,0	12,5	40,0	40,0	65,0	75,0	85,0	85,0	85,0	%11.87
13. Profil	0,0	10,0	15,0	40,0	40,0	65,0	75,0	85,0	85,0	85,0	%14.53
14. Profil	0,0	10,0	17,5	40,0	40,0	65,0	75,0	85,0	85,0	85,0	%13.42
15. Profil	0,0	10,0	20,0	40,0	40,0	65,0	75,0	85,0	85,0	85,0	%12.33
16. Profil	0,0	12,5	15,0	40,0	40,0	65,0	75,0	85,0	85,0	85,0	%13.28
17. Profil	0,0	12,5	17,5	40,0	40,0	65,0	75,0	85,0	85,0	85,0	%14.23
18. Profil	0,0	12,5	20,0	40,0	40,0	65,0	75,0	85,0	85,0	85,0	%15.28
19. Profil	0,0	15,0	17,5	40,0	40,0	65,0	75,0	85,0	85,0	85,0	%13.02
20. Profil	0,0	15,0	20,0	40,0	40,0	65,0	75,0	85,0	85,0	85,0	%12.94
21. Profil	0,0	17,5	20,0	40,0	40,0	65,0	75,0	85,0	85,0	85,0	%14.57
22. Profil	0,0	20,0	20,0	40,0	40,0	65,0	75,0	85,0	85,0	85,0	%11.44
23. Profil	0,0	20,0	22,5	40,0	40,0	65,0	75,0	85,0	85,0	85,0	%14.88
24. Profil	0,0	20,0	25,0	40,0	40,0	65,0	75,0	85,0	85,0	85,0	%14.71
25. Profil	0,0	20,0	27,5	40,0	40,0	65,0	75,0	85,0	85,0	85,0	%12.37
26. Profil	0,0	20,0	30,0	40,0	40,0	65,0	75,0	85,0	85,0	85,0	%13.08
27. Profil	0,0	20,0	32,5	40,0	40,0	65,0	75,0	85,0	85,0	85,0	%12.59
28. Profil	0,0	20,0	35,0	40,0	40,0	65,0	75,0	85,0	85,0	85,0	%11.58
29. Profil	0,0	20,0	37,5	40,0	40,0	65,0	75,0	85,0	85,0	85,0	%13.25
30. Profil	0,0	20,0	40,0	40,0	40,0	65,0	75,0	85,0	85,0	85,0	%13.38
31. Profil	0,0	22,5	22,5	40,0	40,0	65,0	75,0	85,0	85,0	85,0	%14.61
32. Profil	0,0	22,5	25,0	40,0	40,0	65,0	75,0	85,0	85,0	85,0	%15.77
33. Profil	0,0	22,5	27,5	40,0	40,0	65,0	75,0	85,0	85,0	85,0	%12.53
34. Profil	0,0	22,5	30,0	40,0	40,0	65,0	75,0	85,0	85,0	85,0	%13.31
35. Profil	0,0	22,5	32,5	40,0	40,0	65,0	75,0	85,0	85,0	85,0	%14.23

36. Profil	0,0	22,5	35,0	40,0	40,0	65,0	75,0	85,0	85,0	85,0	%13.25
37. Profil	0,0	22,5	37,5	40,0	40,0	65,0	75,0	85,0	85,0	85,0	%12.04
38. Profil	0,0	22,5	40,0	40,0	40,0	65,0	75,0	85,0	85,0	85,0	%14.17
39. Profil	0,0	25,0	25,0	40,0	40,0	65,0	75,0	85,0	85,0	85,0	%11.45
40. Profil	0,0	25,0	27,5	40,0	40,0	65,0	75,0	85,0	85,0	85,0	%11.43
41. Profil	0,0	25,0	30,0	40,0	40,0	65,0	75,0	85,0	85,0	85,0	%15.30
42. Profil	0,0	25,0	32,5	40,0	40,0	65,0	75,0	85,0	85,0	85,0	%15.66
43. Profil	0,0	25,0	35,0	40,0	40,0	65,0	75,0	85,0	85,0	85,0	%16.10
44. Profil	0,0	25,0	37,5	40,0	40,0	65,0	75,0	85,0	85,0	85,0	%13.79
45. Profil	0,0	25,0	40,0	40,0	40,0	65,0	75,0	85,0	85,0	85,0	%12.68
46. Profil	0,0	27,5	27,5	40,0	40,0	65,0	75,0	85,0	85,0	85,0	%16.47
47. Profil	0,0	27,5	30,0	40,0	40,0	65,0	75,0	85,0	85,0	85,0	%11.94
48. Profil	0,0	27,5	32,5	40,0	40,0	65,0	75,0	85,0	85,0	85,0	%12.08
49. Profil	0,0	27,5	35,0	40,0	40,0	65,0	75,0	85,0	85,0	85,0	%11.93
50. Profil	0,0	27,5	37,5	40,0	40,0	65,0	75,0	85,0	85,0	85,0	%13.26
51. Profil	0,0	27,5	40,0	40,0	40,0	65,0	75,0	85,0	85,0	85,0	%12.18
52. Profil	0,0	30,0	30,0	40,0	40,0	65,0	75,0	85,0	85,0	85,0	%12.04
53. Profil	0,0	30,0	32,5	40,0	40,0	65,0	75,0	85,0	85,0	85,0	%13.12
54. Profil	0,0	30,0	35,0	40,0	40,0	65,0	75,0	85,0	85,0	85,0	%15.20
55. Profil	0,0	30,0	37,5	40,0	40,0	65,0	75,0	85,0	85,0	85,0	%12.91
56. Profil	0,0	30,0	40,0	40,0	40,0	65,0	75,0	85,0	85,0	85,0	%13.28
57. Profil	0,0	32,5	32,5	40,0	40,0	65,0	75,0	85,0	85,0	85,0	%12.52
58. Profil	0,0	32,5	35,0	40,0	40,0	65,0	75,0	85,0	85,0	85,0	%14.08
59. Profil	0,0	32,5	37,5	40,0	40,0	65,0	75,0	85,0	85,0	85,0	%12.19
60. Profil	0,0	32,5	40,0	40,0	40,0	65,0	75,0	85,0	85,0	85,0	%12.19
61. Profil	0,0	35,0	35,0	40,0	40,0	65,0	75,0	85,0	85,0	85,0	%16.33
62. Profil	0,0	35,0	37,5	40,0	40,0	65,0	75,0	85,0	85,0	85,0	%14.65
63. Profil	0,0	35,0	40,0	40,0	40,0	65,0	75,0	85,0	85,0	85,0	%13.05
64. Profil	0,0	37,5	37,5	40,0	40,0	65,0	75,0	85,0	85,0	85,0	%22.06
65. Profil	0,0	37,5	40,0	40,0	40,0	65,0	75,0	85,0	85,0	85,0	%12.94
66. Profil	0,0	40,0	40,0	40,0	40,0	65,0	75,0	85,0	85,0	85,0	%13.38
67. Profil	0,0	25,0	26,5	40,0	40,0	65,0	75,0	85,0	85,0	85,0	%14.68
68. Profil	0,0	25,0	27,0	40,0	40,0	65,0	75,0	85,0	85,0	85,0	%14.69
69. Profil	0,0	25,0	27,5	30,0	40,0	65,0	75,0	85,0	85,0	85,0	%14.17
70. Profil	0,0	25,0	27,5	40,0	40,0	55,0	75,0	85,0	85,0	85,0	%10.77
71. Profil	0,0	25,0	27,5	40,0	42,5	55,0	75,0	85,0	85,0	85,0	%17.37
72. Profil	0,0	25,0	27,5	42,5	42,5	55,0	75,0	85,0	85,0	85,0	%14.18
73. Profil	0,0	25,0	27,5	40,0	45,0	55,0	75,0	85,0	85,0	85,0	%15.86
74. Profil	0,0	25,0	27,5	42,5	45,0	55,0	75,0	85,0	85,0	85,0	%14.70
75. Profil	0,0	25,0	27,5	45,0	45,0	55,0	75,0	85,0	85,0	85,0	%11.91
76. Profil	0,0	25,0	27,5	40,0	47,5	55,0	75,0	85,0	85,0	85,0	%16.38
77. Profil	0,0	25,0	27,5	42,5	47,5	55,0	75,0	85,0	85,0	85,0	%12.73

78. Profil	0,0	25,0	27,5	45,0	47,5	55,0	75,0	85,0	85,0	85,0	%14.90
79. Profil	0,0	25,0	27,5	47,5	47,5	55,0	75,0	85,0	85,0	85,0	%12.79
80. Profil	0,0	25,0	27,5	40,0	50,0	55,0	75,0	85,0	85,0	85,0	%12.60
81. Profil	0,0	25,0	27,5	42,5	50,0	55,0	75,0	85,0	85,0	85,0	%12.13
82. Profil	0,0	25,0	27,5	45,0	50,0	55,0	75,0	85,0	85,0	85,0	%14.13
83. Profil	0,0	25,0	27,5	47,5	50,0	55,0	75,0	85,0	85,0	85,0	%14.97
84. Profil	0,0	25,0	27,5	50,0	50,0	55,0	75,0	85,0	85,0	85,0	%14.17
85. Profil	0,0	25,0	27,5	32,5	40,0	65,0	75,0	85,0	85,0	85,0	%12.30
86. Profil	0,0	25,0	27,5	35,0	40,0	65,0	75,0	85,0	85,0	85,0	%21.21
87. Profil	0,0	25,0	27,5	37,5	40,0	65,0	75,0	85,0	85,0	85,0	%15.33
88. Profil	0,0	25,0	27,5	40,0	40,0	65,0	75,0	85,0	85,0	85,0	%11.43
89. Profil	0,0	25,0	27,5	30,0	30,0	65,0	75,0	85,0	85,0	85,0	%11.90
90. Profil	0,0	25,0	27,5	30,0	32,5	65,0	75,0	85,0	85,0	85,0	%13.78
91. Profil	0,0	25,0	27,5	30,0	35,0	65,0	75,0	85,0	85,0	85,0	%13.13
92. Profil	0,0	25,0	27,5	30,0	37,5	65,0	75,0	85,0	85,0	85,0	%12.05
93. Profil	0,0	25,0	27,5	32,5	32,5	65,0	75,0	85,0	85,0	85,0	%13.86
94. Profil	0,0	25,0	27,5	32,5	35,0	65,0	75,0	85,0	85,0	85,0	%12.31
95. Profil	0,0	25,0	27,5	32,5	37,5	65,0	75,0	85,0	85,0	85,0	%12.27
96. Profil	0,0	25,0	27,5	35,0	35,0	65,0	75,0	85,0	85,0	85,0	%15.45
97. Profil	0,0	25,0	27,5	35,0	37,5	65,0	75,0	85,0	85,0	85,0	%14.00
98. Profil	0,0	25,0	27,5	37,5	37,5	65,0	75,0	85,0	85,0	85,0	%15.77
99. Profil	0,0	25,0	27,5	37,5	40,0	65,0	75,0	85,0	85,0	85,0	%15.33
100. Profil	0,0	25,0	27,5	40,0	40,0	42,5	75,0	85,0	85,0	85,0	%12.25
101. Profil	0,0	25,0	27,5	40,0	40,0	45,0	75,0	85,0	85,0	85,0	%11.76
102. Profil	0,0	25,0	27,5	40,0	40,0	47,5	75,0	85,0	85,0	85,0	%12.55
103. Profil	0,0	25,0	27,5	40,0	40,0	50,0	75,0	85,0	85,0	85,0	%11.29
104. Profil	0,0	25,0	27,5	40,0	40,0	52,5	75,0	85,0	85,0	85,0	%12.34
105. Profil	0,0	25,0	27,5	40,0	40,0	55,0	75,0	85,0	85,0	85,0	%10.77
106. Profil	0,0	25,0	27,5	40,0	40,0	57,5	75,0	85,0	85,0	85,0	%12.13
107. Profil	0,0	25,0	27,5	40,0	40,0	60,0	75,0	85,0	85,0	85,0	%12.59
108. Profil	0,0	25,0	27,5	40,0	40,0	62,5	75,0	85,0	85,0	85,0	%11.83
109. Profil	0,0	25,0	27,5	40,0	40,0	65,0	75,0	85,0	85,0	85,0	%11.43
110. Profil	0,0	25,0	27,5	40,0	40,0	55,0	57,5	85,0	85,0	85,0	%10.78
111. Profil	0,0	25,0	27,5	40,0	40,0	55,0	60,0	85,0	85,0	85,0	%12.02
112. Profil	0,0	25,0	27,5	40,0	40,0	55,0	62,5	85,0	85,0	85,0	%11.03
113. Profil	0,0	25,0	27,5	40,0	40,0	55,0	65,0	85,0	85,0	85,0	%10.63
114. Profil	0,0	25,0	27,5	40,0	40,0	55,0	67,5	85,0	85,0	85,0	%11.00
115. Profil	0,0	25,0	27,5	40,0	40,0	55,0	70,0	85,0	85,0	85,0	%11.16
116. Profil	0,0	25,0	27,5	40,0	40,0	55,0	72,5	85,0	85,0	85,0	%10.88
117. Profil	0,0	25,0	27,5	40,0	40,0	55,0	55,0	85,0	85,0	85,0	%10.79
118. Profil	0,0	25,0	27,5	40,0	40,0	55,0	56,3	85,0	85,0	85,0	%10.88
119. Profil	0,0	25,0	27,5	40,0	40,0	55,0	65,0	67,5	85,0	85,0	%10.62

120. Profil	0,0	25,0	27,5	40,0	40,0	55,0	65,0	70,0	85,0	85,0	%10.63
121. Profil	0,0	25,0	27,5	40,0	40,0	55,0	65,0	72,5	85,0	85,0	%10.63
122. Profil	0,0	25,0	27,5	40,0	40,0	55,0	65,0	75,0	85,0	85,0	%10.63
123. Profil	0,0	25,0	27,5	40,0	40,0	55,0	65,0	77,5	85,0	85,0	%10.62
124. Profil	0,0	25,0	27,5	40,0	40,0	55,0	65,0	80,0	85,0	85,0	%10.62
125. Profil	0,0	25,0	27,5	40,0	40,0	55,0	65,0	82,5	85,0	85,0	%10.62
126. Profil	0,0	25,0	27,5	40,0	40,0	55,0	65,0	67,5	67,5	85,0	%10.62
127. Profil	0,0	25,0	27,5	40,0	40,0	55,0	65,0	67,5	70,0	85,0	%10.63
128. Profil	0,0	25,0	27,5	40,0	40,0	55,0	65,0	67,5	72,5	85,0	%10.63
129. Profil	0,0	25,0	27,5	40,0	40,0	55,0	65,0	67,5	75,0	85,0	%10.63
130. Profil	0,0	25,0	27,5	40,0	40,0	55,0	65,0	67,5	77,5	85,0	%10.62
131. Profil	0,0	25,0	27,5	40,0	40,0	55,0	65,0	67,5	80,0	85,0	%10.63
132. Profil	0,0	25,0	27,5	40,0	40,0	55,0	65,0	67,5	82,5	85,0	%10.63
133. Profil	0,0	25,0	27,5	40,0	40,0	55,0	65,0	67,5	85,0	85,0	%10.62
134. Profil	0,0	25,0	27,5	40,0	40,0	55,0	65,0	77,5	77,5	85,0	%10.62
135. Profil	0,0	25,0	27,5	40,0	40,0	55,0	65,0	77,5	80,0	85,0	%10.62
136. Profil	0,0	25,0	27,5	40,0	40,0	55,0	65,0	77,5	82,5	85,0	%10.61
137. Profil	0,0	25,0	27,5	40,0	40,0	55,0	65,0	77,5	85,0	85,0	%10.62
138. Profil	0,0	25,0	27,5	40,0	40,0	55,0	65,0	80,0	80,0	85,0	%10.63
139. Profil	0,0	25,0	27,5	40,0	40,0	55,0	65,0	80,0	82,5	85,0	%10.62
140. Profil	0,0	25,0	27,5	40,0	40,0	55,0	65,0	80,0	85,0	85,0	%10.62
141. Profil	0,0	25,0	27,5	40,0	40,0	55,0	65,0	82,5	82,5	85,0	%10.62
142. Profil	0,0	25,0	27,5	40,0	40,0	55,0	65,0	82,5	85,0	85,0	%10.62
143. Profil	0,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	%11.07
144. Profil	0,0	40,0	40,0	40,0	40,0	40,0	40,0	40,0	40,0	40,0	%12.33
145. Profil	0,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	%13.01
146. Profil	0,0	60,0	60,0	60,0	60,0	60,0	60,0	60,0	60,0	60,0	%14.62
147. Profil	0,0	70,0	70,0	70,0	70,0	70,0	70,0	70,0	70,0	70,0	%13.48
148. Profil	0,0	80,0	80,0	80,0	80,0	80,0	80,0	80,0	80,0	80,0	%15.38
149. Profil	0,0	90,0	90,0	90,0	90,0	90,0	90,0	90,0	90,0	90,0	%18.80
150. Profil	0,0	20,0	40,0	60,0	80,0	80,0	80,0	80,0	80,0	80,0	%15.31
151. Profil	0,0	10,0	20,0	30,0	40,0	50,0	60,0	70,0	80,0	80,0	%10.33
152. Profil	0,0	25,0	27,5	40,0	40,0	40,0	40,0	40,0	40,0	40,0	%10.62
153. Profil	0,0	25,0	27,5	40,0	55,0	55,0	55,0	55,0	55,0	55,0	%18.11
154. Profil	0,0	25,0	27,5	40,0	40,0	55,0	55,0	55,0	55,0	55,0	%10.76
155. Profil	0,0	25,0	27,5	40,0	40,0	85,0	85,0	85,0	85,0	85,0	%14.47
156. Profil	0,0	25,0	27,5	40,0	40,0	55,0	85,0	85,0	85,0	85,0	%12.29
157. Profil	0,0	25,0	27,5	40,0	40,0	55,0	65,0	65,0	65,0	65,0	%10.63
158. Profil	0,0	25,0	27,5	40,0	40,0	55,0	65,0	67,5	67,5	67,5	%10.62
159. Profil	0,0	10,0	20,0	30,0	40,0	50,0	60,0	70,0	80,0	85,0	%10.33
160. Profil	0,0	10,0	20,0	30,0	40,0	50,0	60,0	70,0	85,0	85,0	%10.34
161. Profil	0,0	10,0	20,0	30,0	40,0	50,0	60,0	75,0	85,0	85,0	%10.23

162. Profil	0,0	10,0	20,0	30,0	40,0	50,0	60,0	85,0	85,0	85,0	%10.30
163. Profil	0,0	10,0	20,0	30,0	40,0	50,0	80,0	80,0	80,0	80,0	%12.20
164. Profil	0,0	10,0	20,0	30,0	40,0	50,0	85,0	85,0	85,0	85,0	%11.23
165. Profil	0,0	10,0	20,0	30,0	40,0	70,0	70,0	70,0	70,0	70,0	%11.81
166. Profil	0,0	10,0	20,0	30,0	40,0	75,0	75,0	75,0	75,0	75,0	%12.68
167. Profil	0,0	10,0	20,0	30,0	40,0	80,0	80,0	80,0	80,0	80,0	%14.49
168. Profil	0,0	10,0	20,0	30,0	40,0	85,0	85,0	85,0	85,0	85,0	%15.34
169. Profil	0,0	10,0	20,0	30,0	70,0	70,0	70,0	70,0	70,0	70,0	%14.53
170. Profil	0,0	10,0	20,0	30,0	75,0	75,0	75,0	75,0	75,0	75,0	%14.80
171. Profil	0,0	10,0	20,0	30,0	80,0	80,0	80,0	80,0	80,0	80,0	%15.88
172. Profil	0,0	10,0	20,0	30,0	85,0	85,0	85,0	85,0	85,0	85,0	%15.24
173. Profil	0,0	10,0	20,0	70,0	70,0	70,0	70,0	70,0	70,0	70,0	%13.11
174. Profil	0,0	10,0	20,0	75,0	75,0	75,0	75,0	75,0	75,0	75,0	%21.32
175. Profil	0,0	10,0	20,0	80,0	80,0	80,0	80,0	80,0	80,0	80,0	%17.36
176. Profil	0,0	10,0	20,0	85,0	85,0	85,0	85,0	85,0	85,0	85,0	%19.55
177. Profil	0,0	15,0	25,0	35,0	45,0	55,0	65,0	75,0	85,0	85,0	%12.54
178. Profil	0,0	5,0	15,0	25,0	35,0	45,0	55,0	65,0	75,0	85,0	%13.69
179. Profil	0,0	15,0	35,0	55,0	75,0	95,0	95,0	95,0	95,0	95,0	%20.14
180. Profil	0,0	5,0	25,0	45,0	65,0	85,0	95,0	95,0	95,0	95,0	%20.49
181. Profil	0,0	5,0	25,0	45,0	65,0	85,0	85,0	85,0	85,0	85,0	%20.43
182. Profil	0,0	10,0	20,0	30,0	40,0	50,0	60,0	70,0	80,0	90,0	%10.32