

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**GEMİ İNŞAATINDA KAYNAKLI BİRLEŞTİRMELERDE  
GERİLME VE ŞEKİL DEĞİŞTİRMELERİN  
İNCELENMESİ**

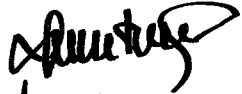
**79146**

**Müh. Hasan YAMAN**

**F.B.E. Gemi İnşaatı Mühendisliği Anabilim Dalında  
Hazırlanan**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Tez Danışmanı : Prof. Nurullah GÜLTEKİN**

Prof. Nurullah GÜLTEKİN   
Prof. Dr. Nihat TEKİN   
Prof. M. Emin YURCİ 

**İSTANBUL, 1998**

# İÇİNDEKİLER

|                                                                                      | Sayfa |
|--------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| ÖNSÖZ.....                                                                           | v     |
| ÖZET.....                                                                            | vi    |
| ABSTRACT.....                                                                        | vii   |
| 1. GİRİŞ.....                                                                        | 1     |
| 2. KAYNAKLI BİRLEŞTİRMELERDE OLUŞAN GERİLMELER.....                                  | 3     |
| 2.1. Genel Gerilme Tanımı.....                                                       | 7     |
| 2.2. Kaynak Sırasındaki Sıcaklık ve Gerilme Dağılımları.....                         | 10    |
| 2.3. Gerilmelerin Sınıflandırılması.....                                             | 12    |
| 2.4. Gerilmelerin Etkileri.....                                                      | 14    |
| 2.4.1. Çekme gerilmesi.....                                                          | 14    |
| 2.4.2. Basma gerilmesi.....                                                          | 15    |
| 2.4.3. Gerilmelerin yorulmaya etkileri.....                                          | 16    |
| 2.4.4. Çevrenin etkisi.....                                                          | 16    |
| 2.5. Kaynaklı Yapılardaki Tipik Gerilme Dağılımları.....                             | 18    |
| 2.6. Gerilme Oluşumunu Etkileyen Faktörler.....                                      | 19    |
| 2.6.1. Ana metal ve kaynak metali.....                                               | 19    |
| 2.6.2. Numunenin uzunluğu.....                                                       | 19    |
| 2.6.3. Numunenin kalınlığı.....                                                      | 22    |
| 2.6.4. Kaynak çeşidi.....                                                            | 22    |
| 2.6.5. Kaynak sırası.....                                                            | 23    |
| 3. KAYNAKLI BİRLEŞTİRMELERDE ŞEKİL DEĞİŞİMLERİ..                                     | 24    |
| 3.1. Enine Çekmenin İncelenmesi.....                                                 | 25    |
| 3.1.1. Alın kaynaklı birleştirmelerde enine çekme.....                               | 26    |
| 3.1.2. Köşe kaynaklı birleştirmelerde enine çekme.....                               | 32    |
| 3.2. Boyuna Çekmenin İncelenmesi.....                                                | 33    |
| 3.2.1. Alın kaynaklı birleştirmelerde boyuna çekme.....                              | 33    |
| 3.2.2. Köşe kaynaklı birleştirmelerde boyuna çekme.....                              | 33    |
| 3.3. Açısal Değişimin İncelenmesi.....                                               | 35    |
| 3.3.1. Alın kaynaklı birleştirmelerde açısal değişim.....                            | 35    |
| 3.3.2. Köşe kaynaklı birleştirmelerde açısal değişim.....                            | 36    |
| 3.4. Bükülme Şekil Değişimleri.....                                                  | 38    |
| 4. KAYNAKLI BİRLEŞTİRMELERDE OLUŞAN GERİLME ve ŞEKİL DEĞİŞTİRMENİN DÜZELTİLMESİ..... | 40    |
| 4.1. Şekil Değiştirmenin Kontrolü.....                                               | 40    |
| 4.1.1. Dizayn.....                                                                   | 40    |
| 4.1.2. Montaj.....                                                                   | 41    |
| 4.1.3. Elastik şekil verme.....                                                      | 42    |
| 4.1.4. Ön ısıtma.....                                                                | 43    |

|          |                                                              |     |
|----------|--------------------------------------------------------------|-----|
| 4.2.     | Şekil Değiştirmenin Düzeltilmesi.....                        | 45  |
| 4.2.1.   | Kaynak sonrası ısıtıl işlem.....                             | 45  |
| 4.2.2.   | Çekiçleme.....                                               | 47  |
| 4.2.3.   | Basınçla gerilme kaldırma.....                               | 47  |
| 4.2.4.   | Titreşimle gerilme kaldırma.....                             | 48  |
| 4.2.5.   | Malzemenin düzeltmeye etkisi.....                            | 49  |
| 4.3.     | Şekil Değiştirmenin Düzeltilmesinde Kullanılan Yöntemler...  | 49  |
| 4.3.1.   | Soğuk düzeltme yöntemi.....                                  | 49  |
| 4.3.2.   | Sıcak düzeltme yöntemi.....                                  | 51  |
| 4.3.2.1. | Çizgisel tavlama.....                                        | 55  |
| 4.3.2.2. | Noktasal tavlama.....                                        | 58  |
| 4.3.2.3. | Diğer tavlama yöntemleri.....                                | 64  |
| 4.4.     | Düzeltilme İşlemlerine Örnekler.....                         | 66  |
| 4.4.1.   | Küçük şişkinlikler.....                                      | 66  |
| 4.4.2.   | Delikli iki levha arasında tespit edilmiş sac.....           | 66  |
| 4.4.3.   | Profiller.....                                               | 67  |
| 4.4.4.   | Dört köşe çerçevelerin düzeltilmesi.....                     | 70  |
| 4.4.5.   | Boru bağlantılarının düzeltilmesi.....                       | 70  |
| 4.4.6.   | İçeriye doğru şişkinlikler.....                              | 70  |
| 4.4.7.   | Dışarıya doğru şişkinlikler.....                             | 71  |
| 4.4.8.   | Bölmeli bir kaplama sacının düzeltilmesi.....                | 71  |
| 4.4.9.   | Güverte sacının dışarıya doğru kabarması.....                | 72  |
| 4.4.10.  | Güverte sacının içeriye doğru kabarması.....                 | 73  |
| 4.4.11.  | Levha sonları.....                                           | 73  |
| 4.4.12.  | Takviyeli bir sacta takviyeli kısımların düzeltilmesi.....   | 73  |
| 4.4.13.  | Dalgalı çarpılmaların düzeltilmesi.....                      | 74  |
| 4.4.14.  | Takviyeli bir levhanın düzeltilmesi.....                     | 75  |
| 4.4.15.  | İnce sacların düzeltilmesi.....                              | 75  |
| 4.4.16.  | Kalın levhaların düzeltilmesi.....                           | 76  |
| 4.4.17.  | Konsantrik yatay hatlı şeritlerde tavlama.....               | 78  |
| 4.4.18.  | Düzeltilme sırasında çekiçleme.....                          | 80  |
| 4.4.19.  | SS, SH, SSH yöntemleriyle düzeltme.....                      | 81  |
| 5.       | GEMİ İNŞAATINDA ŞEKİL DEĞİŞİMİNİN İNCELENMESİ..              | 84  |
| 5.1.     | Şekil Değişimi.....                                          | 84  |
| 5.2.     | Şekil Değişiminin Kontrolü.....                              | 86  |
| 5.3.     | Şekil Değişiminin Düzeltilmesi.....                          | 88  |
| 5.4.     | Şekil Değişimi ve Kaynak.....                                | 89  |
| 5.4.1.   | Kaynak sırası.....                                           | 90  |
| 5.4.2.   | Kaynak planları.....                                         | 94  |
| 5.4.3.   | Kaynak sırası planları.....                                  | 95  |
| 5.4.4.   | Kaynak sırası örnekleri.....                                 | 99  |
| 6.       | GEMİ İNŞAATINDA TOLERANSLAR.....                             | 137 |
| 6.1.     | Profildeki Gövdenin Yüksekliği ve Alın Lamasının Genişliği.. | 138 |
| 6.2.     | Profil Gövde Sehim, Alın Lamasının Eğimi ve Köşe Kasılması.. | 139 |
| 6.3.     | Simetrik T Profillerdeki Alın Laması Durumu.....             | 140 |

|       |                                                           |     |
|-------|-----------------------------------------------------------|-----|
| 6.4.  | Sabit Bağlanan Taşıyıcı ve Desteklerin Düzgünlüğü.....    | 140 |
| 6.5.  | Levha Üzerindeki Stifnerler.....                          | 141 |
| 6.6.  | Birbirini Kesen Elemanların Kaydırılması.....             | 145 |
| 6.7.  | Levhadaki Şişlikler ve Kaynak Dikişinin Çökmesi.....      | 145 |
| 6.8.  | Taban Blokları.....                                       | 147 |
| 6.9.  | Su Geçirmez Perdeler.....                                 | 149 |
| 6.10. | Sintine Dönümü ve Borda Blokları.....                     | 152 |
| 6.11. | Güverte Blokları.....                                     | 153 |
| 6.12. | Borda, Karina ve Güverte Levhalarının Form Toleransı..... | 155 |
| 6.13. | Omurganın Form Toleransı.....                             | 156 |
| 6.14. | Kamaraların, Koridorların Uzunluk ve Genişlikleri.....    | 157 |
| 6.15. | Enine ve Boyuna Perde Eğimi.....                          | 157 |
| 6.16. | Güverte Yükseklikleri.....                                | 158 |
| 6.17. | Güvertedeki Menhollerin Büyüklük ve Köşe Diklikleri.....  | 159 |
| 6.18. | Blok Birleştirmelerinde Toleranslar.....                  | 161 |
| 7.    | İNŞAATI YAPILAN BİR GEMİNİN İNCELENMESİ.....              | 163 |
| 7.1.  | Geminin Özellikleri.....                                  | 163 |
| 7.2.  | Malzeme.....                                              | 164 |
| 7.3.  | Kaynak ve Düzeltme Yöntemleri.....                        | 165 |
| 7.4.  | İnşa Yöntemi.....                                         | 165 |
| 7.5.  | İnşa Sonunda Yapılan Ölçümler.....                        | 165 |
| 7.6.  | İnşa Aşamaları.....                                       | 187 |
| 8.    | SONUÇLAR.....                                             | 194 |
|       | KAYNAKLAR.....                                            | 196 |
|       | ÖZGEÇMİŞ.....                                             | 197 |



## ÖNSÖZ

Kaynaklı birleştirmelerde lokal ısınmalar nedeniyle gerilmeler ve şekil değişimleri oluşmaktadır. Gemi yapısında farklı büyüklükteki kaynaklı birleştirmeler birarada bulunduğundan yapıda yönleri ve büyüklükleri önceden bilinmeyen karmaşık gerilmeler ve şekil değişimleri meydana gelir. Bu çalışmada öncelikle temel tip kaynaklı birleştirmelerde sonra da gemi inşaatında gerilme ve şekil değişimleri incelenmiştir.

Bana, yüksek lisans öğrenimim süresinde başta tez danışmanım Prof. Nurullah GÜLTEKİN olmak üzere Prof.Dr. Nihat TEKİN'e, yüksek lisans öğrenim izni veren Dz.K.K.'lığına, her zaman destek ve yardımlarını esirgemeyen Dz.Kd. Albay Yıldırım ÖZEL'e, Yük.Müh. Albay Naci TAHMAZ'a ve özellikle Doç.Dr.Yük.Müh. Yarbay M. Ali BAYKAL'a teşekkür ederim.

Hasan YAMAN, 1998

## ÖZET

Bir metalik malzeme uniform bir şekilde ısıtılırsa malzemede düzgün ve serbest bir uzama oluşur. Aynı malzeme ortam sıcaklığına uniform bir şekilde soğutulursa eski boyutlarına çeker. Kaynaklı birleştirmelerde parçalar, lokal olarak ısıtılmaktadır. Lokal ısıtmalar nedeniyle elemanlarda farklı ısı alanları oluşmakta, bu da alanların farklı uzamasına sebep olmaktadır. Sonuç olarak kaynakla birleşmiş parçalarda gerilmeler ve şekil değişimleri ortaya çıkmaktadır.

Gemi yapısında farklı büyüklükteki kaynaklı birleştirmeler birarada bulunurlar. Bu nedenle yapıda yönleri ve büyüklükleri önceden bilinmeyen karmaşık gerilmeler meydana gelir. Hatalı birleştirmeler sonucunda bu gerilmeler üstüste toplanabilir ve ciddi yapı çarpılmalarına neden olurlar. Kaynaklarda çatlamlar oluşabilir. Kaynak sonrası şekil değişimlerini düzeltmek maliyetin çok artmasına, montajın zorlaşmasına ve zaman kaybına sebep olmaktadır. Gerilme ve şekil değişimlerini azaltmak için bunların nasıl oluştuğunu, dizayn ve kaynak işlemlerinden nasıl etkilendiklerini anlamak gerekir.

Bu çalışmada öncelikle temel tip kaynaklı birleştirmelerde gerilmelerin analizi yapılmıştır. Daha sonra şekil değiştirme olarak enine, boyuna ve açısal şekil değişimleri incelenmiştir. Ayrıca kaynaklı birleştirmelerde gerilme ve şekil değişimlerinin azaltılması ve düzeltilmesi incelenmiş olup, kaynak öncesi uygulanması gereken yöntemler tanımlanmıştır. Kaynak sonrası ise ısıl ve mekanik yöntemler anlatılmıştır. Genel olarak da pratikte kullanılan yöntemlerden bahsedilmiş ve örnekler verilmiştir.

Daha sonra gemi inşaatında şekil değişimleri incelenmiş olup, şekil değişimlerinin kontrolü, düzeltilmesi ve kaynak ile kaynak sıraları anlatılmış, örnekler verilmiştir.

Son olarak da gemi inşaatında şekil değişimlerini sınırlayan toleranslar verilmiş ve uygulama olarak inşa edilen bir gemi incelenmiş olup yapılan ölçümler verilmiştir.

## ABSTRACT

When a metal is heated uniformly, material elongates linear and freely. When the same material is cooled uniformly to the ambient temperature, it shrinks to the original dimensions. During the welding procedure, parts being welded are heated locally therefore it becomes different heat zones causing different elongation. As a result, at the welded joints stresses and deformations are forming.

At the ship structure, welded joints with different dimensions are close to each other. For this reason, complex stresses with different direction and size are formed. Because of the faulty joints, these stresses may be accumulated and cause serious structural distortions. Additionally, cracks may happen at the welded joints. Reforming of the material after the distortion caused by welding, causes additional cost, difficulty of the erection process and extra time. To decrease the level of stresses and distortions, the reasons should be clearly evaluated.

At this study, it is first analyzed the stresses at the basic welded joints. Then, longitudinal, transverse and angular distortions are studied. Additionally, distortion and stress control methods are examined and the methods which are to be applied before the welding procedure are described. Also, methods for stress and distortion elimination for the completed welds are described. Generally, practical methods are described with some examples.

Later, the distortions during ship building are studied and distortion control, welding sequences and reforming procedures are described with some examples.

Finally, the tolerances which limits the distortions are described and presented the measured values of a ship being built.

## 1. GİRİŞ

Gemi, levha ve profil gibi elemanların kaynakla birleştirilmesinden oluşan bir yapıdır. Kaynak teknolojisindeki büyük gelişmeler sayesinde günümüzde çelik gemi inşaatının büyük bir kısmında kaynaklı birleştirmeler kullanılmaktadır. Gemi inşaatında öncelikle elemanlar birleştirilerek bloklar, sonra da bloklar birleştirilerek gemi yapılmaktadır.

Kaynak işlemi sırasında ısıtma lokal yapıldığından, sıcaklık dağılımı uniform değildir. Yüksek sıcaklık nedeniyle ergiyen kaynak metali ve ana metal soğurken katılaşmaya başlar ve civarındaki ısı etkili bölgede gerilmeler oluşturur. Bu da kaynaklı birleştirmenin iç gerilme taşımasına neden olur. Kaynaklı birleştirmelerde gerilmelerin iki ana etkisi vardır. Birincisi şekil değişimi oluşturmaları, ikincisi de kaynak hatalarına sebep olmalarıdır.

Gemi inşaatında şekil değişimleri sadece estetik bir problem değildir. Belirli durumlarda, şekil değişimi yapının yeterli mukavemete sahip olmasını da engelleyecektir. Kaynak sonrası şekil değişimlerini düzeltmek ve kabul edilebilir sınırlar içine indirmek maliyetin artmasına, montajın zorlaşmasına ve zaman kaybına sebep olmaktadır. Ayrıca düzeltme işlemi sırasında yeni gerilmeler de oluşabilmektedir. Bu yüzden kaynağa başlamadan önce şekil değişimini önlemeye yönelik dizayn ve uygulamalar yapmak bir zorunluluktur. Yaygın olarak kullanılan uygulamalar ise kaynak öncesi parça pozisyonu, kaynak ağzı geometrisi ve kaynak sırasıdır. Tüm bu yöntemler uygulandığında bile şekil değişimi görülebilir. Bu şekil değişimleri de ısı ve mekanik yollarla giderilebilir.

Gerilmenin diğer bir sakıncası da kaynaklı birleştirmelerde kaynak hatalarının oluşmasıdır. Gerilme taşıyan yapı daha düşük yükler altında kırılmakta, bükülmekte ya da çatlamaktadır. Ayrıca gerilmeler yorgunluğa ve korozyona da yardım ederler.

İki parça hiçbir dış kuvvetin etkisi olmadan kaynaklanırsa parçada şekil değişimi fazla, gerilme az olur. Aynı parça bir yere sabitlenerek kaynaklanırsa şekil değişimi az fakat gerilme fazla olur. Bu da uygulanan işlemlerin gerilme ve şekil değiştirmeyi farklı yönlerden etkilediğini göstermektedir.

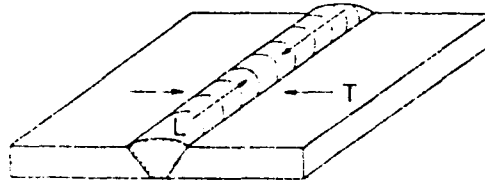
Gemi inşaatında kaynaklı birleştirmelerin kalitesini geliştirmek için temel problemleri tanımak ve analiz etmek gerekir. Çeşitli açılardan uygulanan yöntemlerin avantajı dezavantajı incelenmeli, optimum çözümler üretilmelidir.



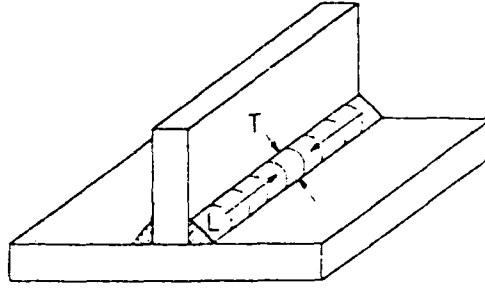
## 2. KAYNAKLI BİRLEŞTİRMELERDE OLUŞAN GERİLMELER

Kaynak işlemi lokal bir ısıtma işlemidir. Bundan dolayı kaynak sırasında sıcaklık dağılımı uniform değildir, kaynak ilerledikçe değişir. Kaynak metali ısı etkili bir bölgede ana metalle birlikte ergir. Oluşan eriyik havuzu katılaşmaya başlar ve çeker. Bu çekme kaynak metalinde ve kaynak ısısının etkilediği bölgede olur. Katılaşma başlangıcında metal henüz sıcak ve oynaktır, küçük gerilmeler taşır. Metal ortam sıcaklığına soğuduğunda ise kaynak metalinin kaynak bölgesi üzerindeki çekme gerilmesi, ana metale ve ısı etkili bölgeye varır.

Kaynak genelde adım adım yapılır. Bu nedenle kaynağın henüz katılaşmış kısımları, katılaşmamış kısımların çekmesine mukavemet etmek durumundadır. Bu durumda kaynak parçaları kaynak boyu doğrultusunda çekmeye zorlanırlar (Şekil 2.1). Kaynak yaparken ayrıca, enine doğrultuda izin verilebilir ölçüde kaynak hareketleri yapılır. Bunun nedeni kaynağın ağzının hazırlanmış olmasıdır. Enine hareketlerden dolayı enine çekme söz konusu olur (Şekil 2.1). Köşeli birleştirmelerde ise çekme gerilmesi kaynak boyunca ve köşe yüzeyleri boyunca olur (Şekil 2.2). Gerilmeler ve gerilme dağılımları karmaşık bir yapı içerir.

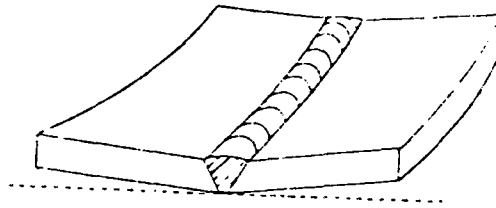


Şekil 2.1. Alın kaynaklarında boyuna (L) ve enine (T) çekme gerilmeleri



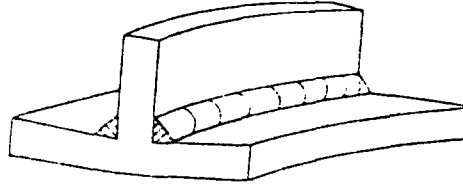
*Şekil 2.2. Köşeli birleştirmelerde boyuna ve enine çekme gerilmeleri*

Kaynaklı birleştirmelerde gerilmelerin iki ana etkisi vardır. Birincisi şekil değişimine, ikincisi kaynak hatalarına sebep olmalarıdır. Şekil değişimlerinin nedeni ısıtılan kaynak bölgesinin üniform olmayan bir şekilde kasılması, büzülmesidir. Bu kasılma, büzülme kaynak parçası içindeki çekmenin kaynak kesiti üzerinde meydana getirdiği eksantrik kuvvetler nedeniyle olur. Kaynak elastik olarak bu gerilmelere zorlanır ve kesitte üniform olmayan bir gerilme görülür. Şekil değişimi alın kaynaklı birleştirmelerde boyuna çekme şeklinde ve kaynak yüzünün kökünden daha fazla çektiği durumlarda açısal değişim olarak görülebilir. Kaynaklı parçalarda kaynak boyunca değişim enine kıvrılma şeklinde olur (Şekil 2.3).



*Şekil 2.3. Alın kaynaklarında şekil değişimi*

Köşeli birleştirmelerde şekil değişimi alın birleştirmelerine benzer. Bu kaynaklarda gerilmelerin düzensiz oluşunun sonucu olarak açısız şekil değişimi kadar, boyuna ve enine çekmeler de sözkonusudur (Şekil 2.4). Köşeli birleştirmelerde diğer kaynaklı birleştirmelerin kombinasyonu kullanılır. Bunun sonucunda ortaya karmaşık bir şekil değişimi çıkar. Köşeli birleştirmelerdeki şekil değişimi önemli bir faktördür ve ileride önceden nasıl tespit edileceği anlatılacaktır.



*Şekil 2.4. T birleştirmelerde şekil değişimi*

Şekilsel değişimlerin önlenmesinde teknik metotlar kullanılarak başarı sağlanılabilir. En yaygın kullanılan metod kaynak öncesi ve kaynak sırasındaki kaynak ağzı geometrisidir. Bu teknikler, kaynak parçalarının pozisyonunun şekil değişiminden sonra istenen geometriye gelecek şekilde önceden düzenlenmesi veya kaynak parçalarının kaynak sırasında şekil değiştirecek şekilde sabitlenmesidir. Kullanılan diğer bir teknik de kaynak ağzı dizaynı suretiyle kaynak metalinin kaynak merkez çizgisinin her iki tarafında dengelenmesidir. Kaynak çeşidi ve kaynak sırası da şekil değişimi ve gerilmeleri etkiler. Ayrıca şekil değişimine uğrayan bazı kaynaklar mekanik yolla düzeltilebilir. Eğer gerekliyse ısı işlem ya da tavlama yapılabilir. Bunlardan ileride ayrıntılı olarak bahsedilecektir.

Gerilmeler ve şekil değişimleri malzemelerin kırılma davranışlarını gevrek kırılma ve bükülme şeklinde arttırırlar. Tüm bu hatalar düşük gerilme seviyelerinde oluşabilirler. Aynı anda gerilme ve şekil değişimi olan bir parçada önceden tespit edilen yüklerden (beklenen) daha düşük yüklerde bükülme oluşabilir. Çekme durumunda gerilmeler kaynak bölgesinde yüksek lokal gerilmelere yol açarlar. Sonuç olarak düşük gerilmeler bile gevrek



kırılmalara yol açarlar. Dahası gerilmeler yorgunluğa ve korozyona da yardım ederler.

Gerilmeler hem ısı hem de mekanik yolla giderilebilir. Isıl yöntemle gerilme giderme esnasında kaynaklı yapı, metalin akma noktasına kadar ısıtılır, bu gerilmelerin serbest kalarak azalmasını ya da yok olmasını sağlar. Bu işlemde kaynağın mekanik özellikleri değişebilir. Genelde kaynak ağzı boyunca daha üniform bir dağılım elde edilir. Fakat işlemde, kaynak ısı etkisi altında kalan alanın mikroyapısı ve sertliği giderilmez. Çekiçleme, dış kuvvet uygulama ve başvuru diğer teknikler de çözüm sayılabilir. Gerilmenin etkileri ve bunun giderilmesinden ilerde bahsedilecektir.

Metal yapılardaki kaynak kalitesinin geliştirilmesi için belli başlı problemleri tanımak önemlidir. Mühendisler yalnızca gerilme ve şekil değişiminin etkilerinin düşürülmesiyle ilgili olamaz, ayrıca birçok başka problemlerle de ilgilenmelidir. Pratikte mühendisler çeşitli açılardan işlem ve yöntemlerin avantajını ve dezavantajını tartışmalıdırlar.

Gerilme ve şekil değiştirme hakkında bilgilerin artması onların etkilerinin azalmasını sağlamaz. Bu aşağıdaki değişik yolların denenmesiyle sağlanır.

- Uygun işlem ve prosedür seçerek gerilmeleri ve şekil değiştirme miktarını düşürmek,
- Gerilmeyi kaldırmak ve şekil değişimini azaltmak için daha iyi yollar deneyip geliştirmek,
- Gerilme ve şekil değişimini minimuma indirecek yapısal dizayn ve malzeme değişiklikleri yapmak.

## 2.1. Genel Gerilme Tanımı

Kaynak sonrası bir parça üzerindeki tüm dış yükler kaldırıldığında geride kalan, kaybolmayan iç tepkilere gerilme denir. Gerilme, cisim üzerinde üniform olmayan sıcaklık değişimlerinden oluştuğundan genelde ısı gerilme olarak da tanımlanır.

Metal yapı içindeki gerilmeler çeşitli üretim aşamaları esnasında birçok nedene bağlı olarak oluşur. Dövme, haddeleme, bükme, vb. esnasında da malzeme üzerinde gerilmeler oluşabilir. Gerilme ayrıca metal parçaya şekil ve form verme aşamasında bükme, kesme, taşlama, nedeniyle de oluşabilir.

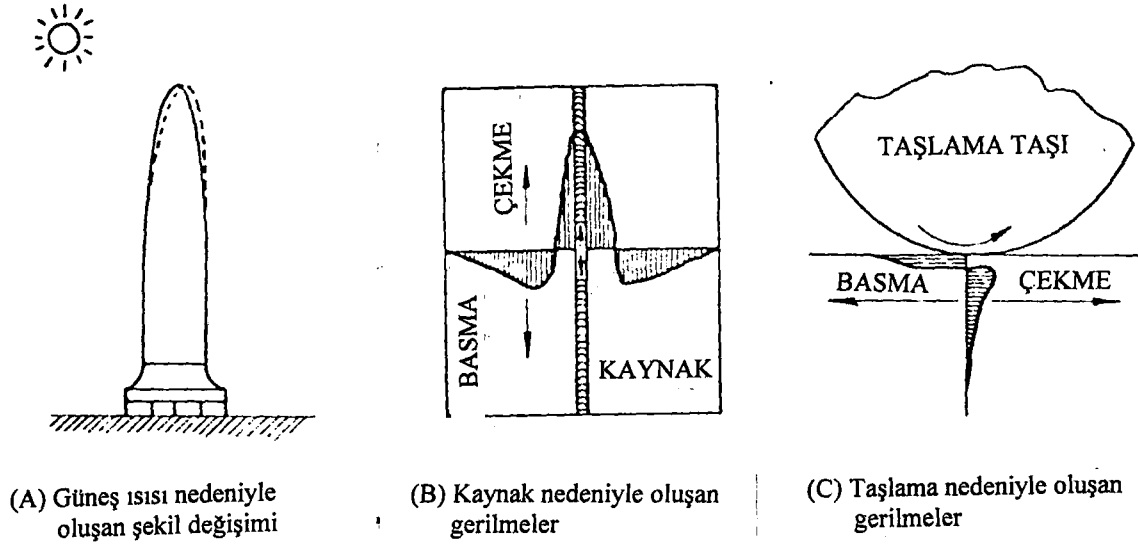
Değişik aşamalardaki ısı tesirleri de gerilmeyi etkiler. Örneğin ısı işlemle malzemedeki gerilmeyi azaltırken su ile soğutma yapılırsa yeni gerilmeler oluşur.

Kaynaklı metal yapılardaki gerilme büyüklükleri çok çeşitlidir. Şekil 2.5 çeşitli gerilmeleri göstermektedir. Örneğin bir yapı yalnızca bir taraftan güneş ışınlarıyla ısıtıldığında üzerinde şekil değişimi ve gerilmeler oluşur (Şekil 2.5A ). Şekil 2.5B kaynak sonucu oluşan kalıcı gerilmeleri gösterir. Burada gerilme kaynak civarına dağılmıştır.

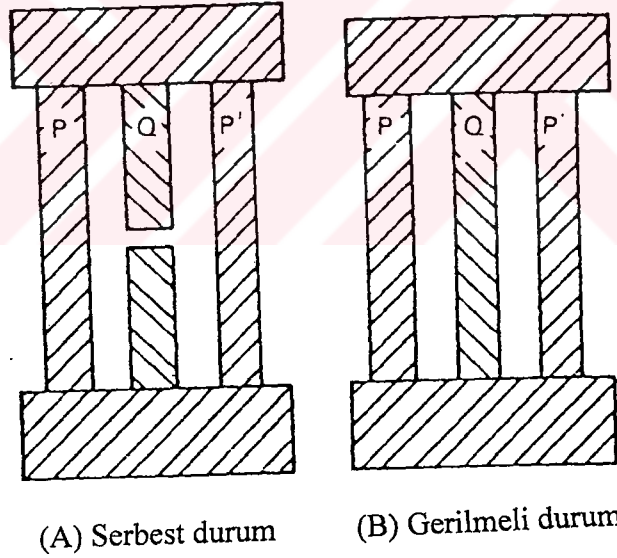
Şekil 2.5C taşlama sırasında oluşan gerilmeleri gösterir. Burada gerilme yüzeye yakın bir ince tabaka içinde oluşmuştur.

Gerilmeler onları üreten mekanizmalara göre sınıflandırılırlar. Bu mekanizmalar hatalı birleştirilme sonucu oluşan gerilmeler ve elastik olmayan şekil değiştirmelerin (plastik ve ısıl şekil değiştirmeler içeren ) oluşturduğu gerilmelerdir.

Şekil 2.6 birbirine kuvvetle bağlı farklı uzunluktaki çubukların kaynak sırasında ürettiği gerilmelerin temel halini gösterir. Q çubuğu kaynak yapıldığında Q çubuğunda çekme gerilmesi P ve P' çubuklarında basma gerilmesi oluşur.



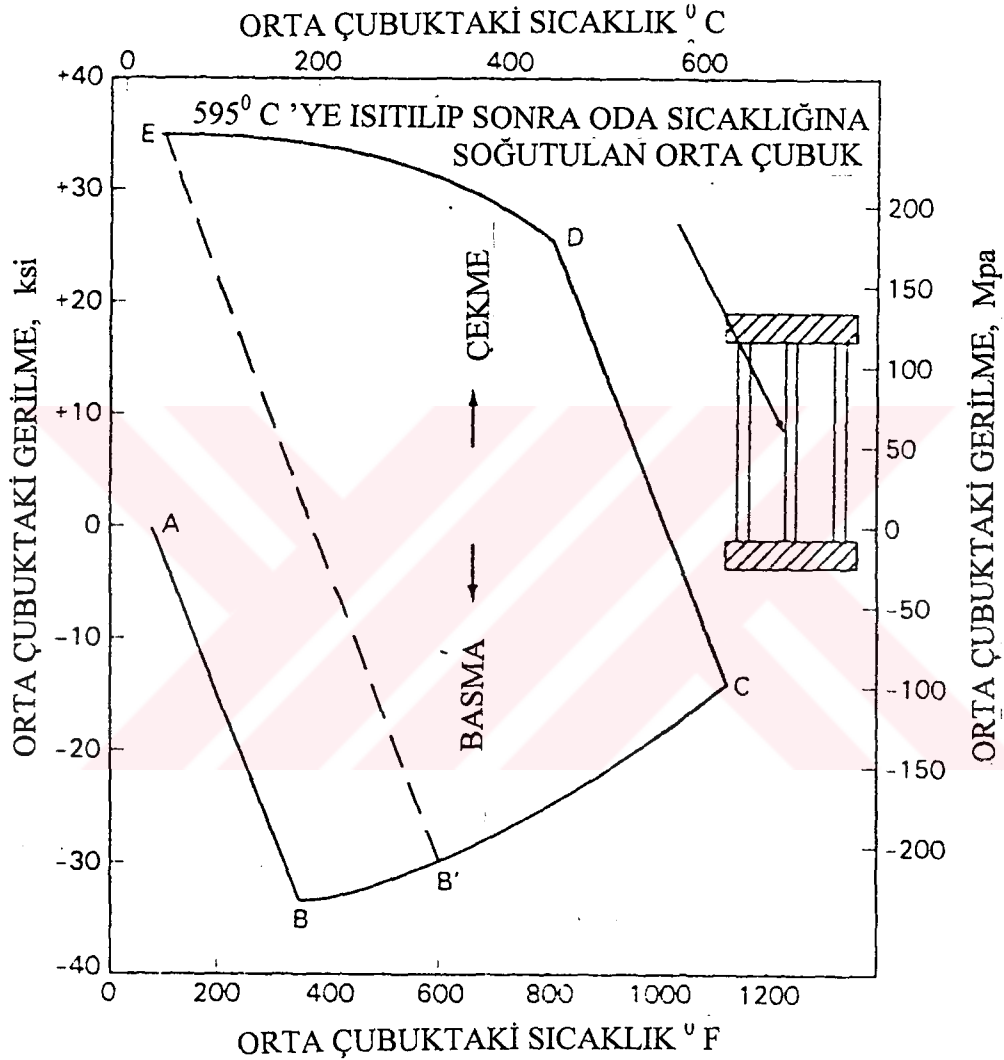
Şekil 2.5. Değişik durumlardaki gerilmeler



Şekil 2.6. Sabitlenmiş farklı uzunluktaki çubuklarda meydana gelen gerilmeler

Şekil 2.7 Hatalı birleştirilmiş mekanizmalarda ısıtma ve soğutma periyotlarının nasıl gerilmelere sebep olduğunu göstermektedir. Üç adet eşit uzunlukta çelik çubuk iki sabit blok arasına yerleştirilmiştir. İlk durumda gerilme mevcut değildir. Bloklar ve ortadaki çubuk  $595^{\circ}\text{C}$ 'ye ısıtılıp sonra

ortam sıcaklığına soğutulurken kenar çubukların ortam sıcaklığında kalması sağlanmaktadır (ortam sıcaklığı  $\approx$  oda sıcaklığı). Şekil 2.7'deki diyagram ortadaki çubuğun maruz kaldığı gerilme-sıcaklık diyagramını göstermektedir. Kenardaki iki çubuk ortadaki çubuğun deformasyonuna karşı koymaya çalışırlar ve herbirinde ortadaki çubuğun üzerindeki gerilmenin yarısı ve zıt yönlüsü kadar gerilme oluşur.



Şekil 2.7. Sabitlenmiş çubukların ısıtılmasının gerilmelerin etkileri

Ortadaki çubuk ısıtıldığında genişlemek ister. Sabit bloklar yüzünden genişleyemeyeceğinden üzerinde basma gerilmesi oluşur. Çubuğun sıcaklığı arttırılırken gerilme de AB hattı gibi değişir. Sıcaklık B noktasındaki sıcaklığa ulaştığında (yaklaşık 170°C) basmadaki akma gerilmesine ulaşılır. B noktasından sonra sıcaklık yükseltirirse gerilme alt limite iner (BC eğrisi).

Bundan sonra sıcaklık  $595^0$  C altına soğutulduğunda çubuktaki değişimler tekrar elastik olur. Basma gerilmesi de hızla düşer ve çekme gerilmesine dönüşür. Sonunda akma sınırına ulaşılır (D noktası). Sonra sıcaklık daha da düşürülürse çubuktaki gerilme limit noktaya ulaşır (DE eğrisi). Bunun anlamı orta çubuk üzerindeki kalıcı çekme gerilmesi ortam sıcaklığındaki akma gerilmesine eşittir. Kenar çubuklarda ise ortadaki çubuğun üzerindeki gerilmenin yarısı şiddetinde basma gerilmeleri oluşur. B'E çizgisi oda sıcaklığındaki akma gerilmesine eşit aynı büyüklükteki gerilmelerin ortadaki çubuğun  $315^0$  C üstündeki herhangi bir sıcaklığa ısıtıldığında oluşacağını gösterir.

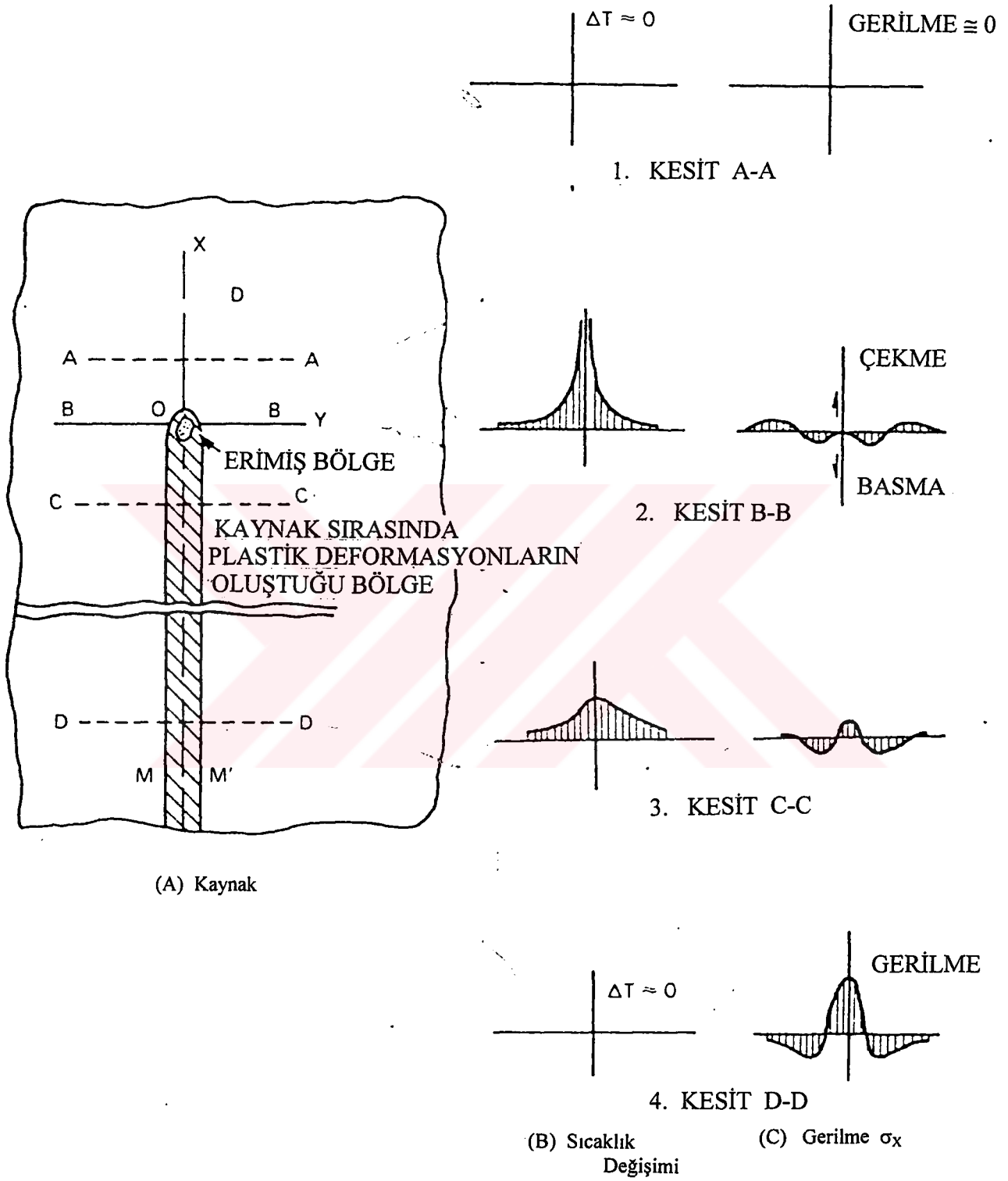
## 2.2. Kaynak Sırasındaki Sıcaklık ve Gerilme Dağılımları

Şekil 2.8 kaynak esnasında sıcaklık ve gerilme değişimlerini sistematik olarak göstermektedir. Kaynak x eksenini boyunca yapılmaktadır. v hızıyla hareket eden kaynak arkı O orijin noktasındadır.

M-M' kesit alanı şekil 2.8a da gösterildiği gibi kaynak ısı periyodu esnasında plastik deformasyonların olduğu bölgedir. O orijin noktasının kenarındaki elips metalin eridiği bölgeyi gösterir. Kaynak dışında kalan alan kaynak ısı periyodu esnasında elastik kalır.

Şekil 2.8b çeşitli kesitler boyunca oluşan gerilme ve sıcaklık dağılımını göstermektedir. Kaynak arkı önündeki A-A' kesiti boyunca kaynaktan dolayı sıcaklık değişimi  $\Delta T$  her zaman sıfırdır.

Kaynak arkı kesiti (B-B' kesiti) boyunca sıcaklık dağılımı aşırı bir hızla değişir. Kaynak arkının biraz arkasındaki C-C' kesiti boyunca sıcaklık dağılımı daha az değişkendir. Kaynak arkına çok uzak D-D' kesiti boyunca kaynaktan dolayı oluşan sıcaklık değişimleri çok azalmıştır ve sıfıra çok yakındır.



Şekil 2.8. Sıcaklık ve gerilme dağılımları

Şekil 2.8c kesitler boyunca gerilme dağılımını göstermektedir. A-A' kesiti boyunca ısı gerilmeler her zaman sıfırdır. Kaynak arkı altındaki B-B' kesitinde gerilmeler sıfıra yakındır. Çünkü eriyik halindeki metal yük taşımaz. Kesit boyunca kaynak arkından uzaklaştıkça gerilmeler basma şeklinde olur. Çünkü bu alanların genişlemesi civarındaki düşük sıcaklıktaki metal tarafından engellenir. Basma gerilmesinin büyüklüğü kaynaktan uzaklaştıkça ya da sıcaklığın azalmasıyla maksimuma çıkar. Bununla birlikte kaynaktan uzaktaki bir bölgedeki gerilmeler çekme şeklindedir. Bu kaynağa yakın bölgedeki basma gerilmeleriyle dengelenebilir. Buradaki gerilme dağılımı (B-B kesitinde) Şekil 2.8c'de gösterilmiştir.

Şekil 2.8 c'de gösterilen C-C kesitinde kaynağa yakın bölgedeki ana metal ve kaynak metali soğuduğunda birbirlerini çekmeye çalışırlar ve bu da kaynağa yakın bölgelerde çekme gerilmelerine neden olur. Bu bölgeden ve arktan uzaklaştıkça gerilmeler önce basma sonra tekrar çekme şeklinde olur.

D-D kesiti boyunca kaynağa yakın bölgelerde yüksek çekme, uzak bölgelerde yüksek basma gerilmeleri oluşur.

### 2.3. Gerilmelerin Sınıflandırılması

Kaynaklı yapıların imalatı sırasında oluşan gerilmeler sınıflandırılabilirler:

- (1) Dış etki olmadan kaynağın kendisinde oluşan kaynak gerilmeleri
- (2) Dış yüklerle tespit edilmiş kaynaklı birleştirmelerdeki tepki gerilmeleri

Alın kaynağında boyuna ve enine gerilmelerin tipik dağılımı şekil 2.9'da gösterilmiştir. Kaynak doğrultusundaki gerilme  $\sigma_x$ , kaynak doğrultusuna dik gerilme  $\sigma_y$  dir.

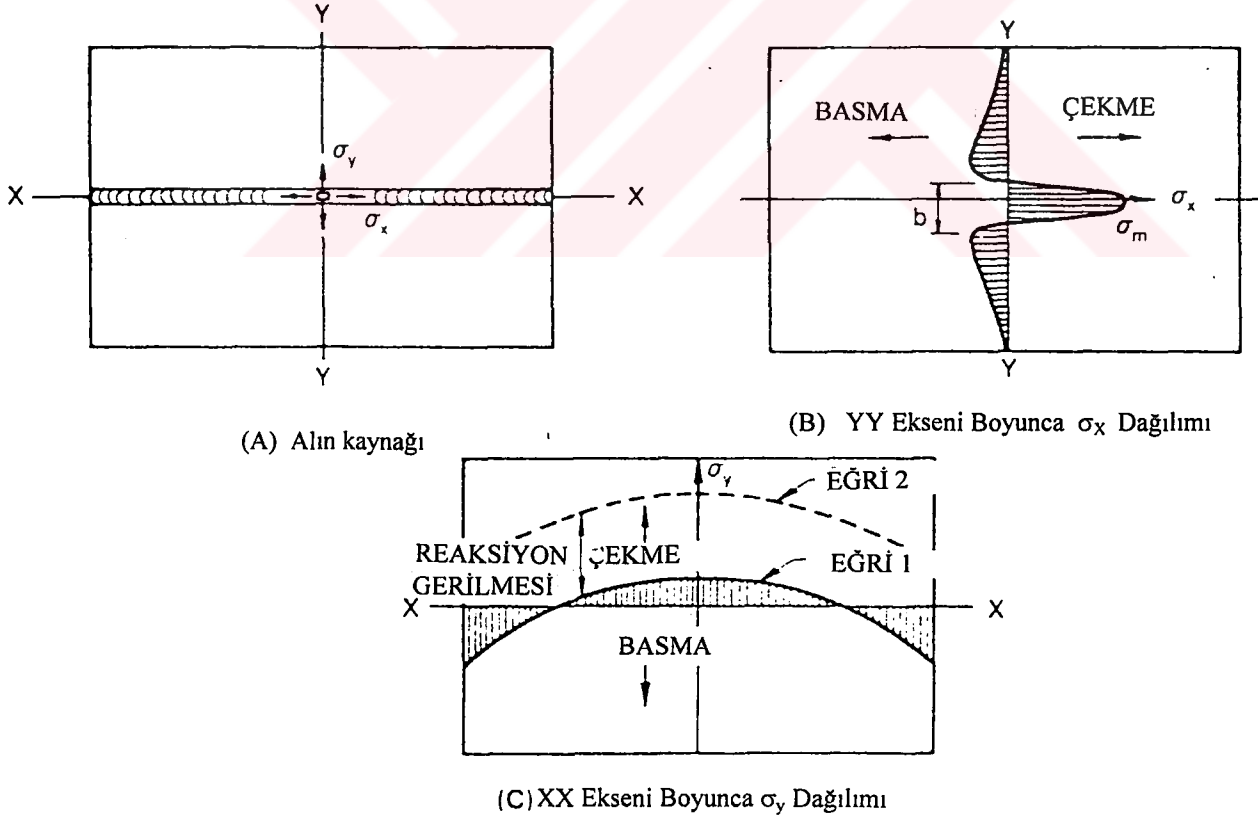
Şekil 2.9b boyuna gerilmenin ( $\sigma_x$ ) dağılımını göstermektedir. Yüksek değerdeki çekme gerilmesi kaynağa yakın bölgede meydana gelmektedir.  $\sigma_m$

kaynak bölgesindeki maksimum gerilme ve b çekme gerilmelerine maruz kalan bölgenin genişliğidir. Düşük karbonlu çeliklerde yapılan kaynak işleminde  $\sigma_m$  değeri genelde kaynak metalinin akma gerilmesi kadar yüksektir.

Kaynak boyunca enine gerilmenin dağılımı şekil 2.9c eğri 1'de gösterilmiştir. Çekme gerilmeleri relatif olarak düşük değerlerde ve birleştirmenin orta kısmında yer alır. Basma gerilmeleri ise birleştirmenin sonunda yer alır.

Eğer kaynağın yanal kasması dış etkilerle engellenirse çekme gerilmesi kaynak boyunca uniform bir değer alır ve bu reaksiyon tepkisi olarak eklenir. Bununla birlikte  $\sigma_x$  üzerindeki dış etkilerin etkisi azdır.

Kaynak işlemi kalın parçalarla yapıldığında (25mm üstü) kalınlık doğrultusundaki gerilmelerde ( $\sigma_z$ ) önemli olur.



Şekil 2.9. Alın kaynaklarında tipik gerilme dağılımı

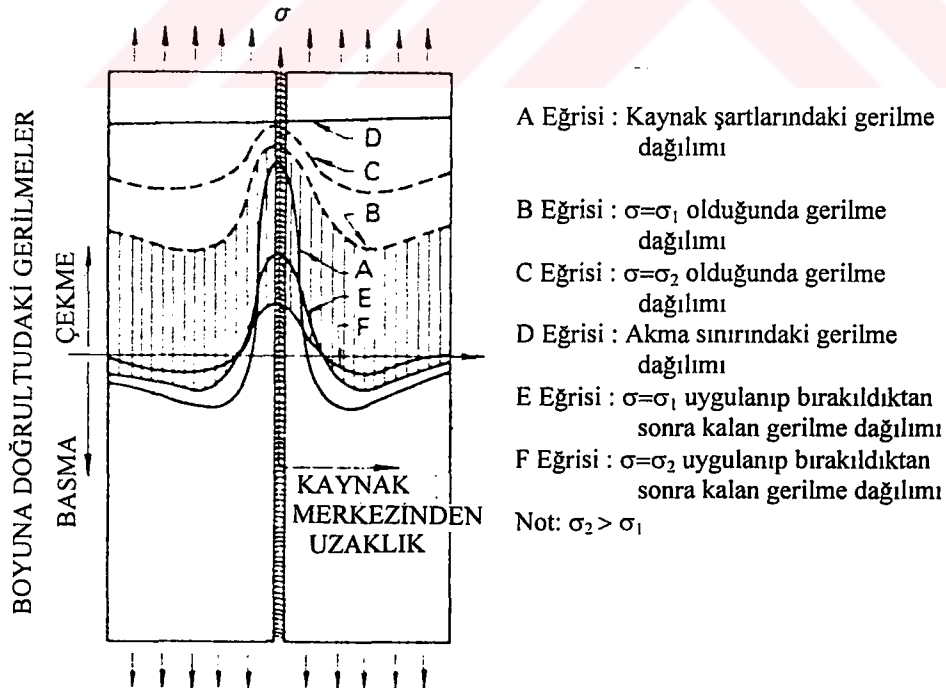


## 2.4. Gerilmelerin Etkileri

### 2.4.1. Çekme gerilmesi

Şekil 2.10 Çekme yüklerine maruz kalan alın kaynaklı birleştirmede gerilmelerin nasıl değiştiğini gösterir. A eğrisi boyuna kalıcı gerilmelerin yanal dağılımını göstermektedir. Kaynaklı parçaya kaynak doğrultusuna paralel uniform bir çekme gerilmesi uygulanırsa ( $\sigma = \sigma_1$ ) gerilme dağılımı B eğrisi gibi olur. Kaynağa yakın alanlardaki gerilmeler akma gerilmesine ulaşır ve gerilme artmasının önemli miktarı kaynaktan uzaktaki bölgelerde oluşur. Uygulanan çekme gerilmesi  $\sigma_2$  ye yükselttilirse gerilme dağılımı C eğrisi şeklinde olur. Uygulanan çekme gerilmesi yükseldikçe kaynaklı parçadaki gerilme dağılımı daha düzgün bir hal alır. Yani gerilme dağılımındaki gerilmelerin etkileri azalır.

Uygulanan çekme gerilmesi daha da yükselttilirse bu gerilme akma gerilmesinin yerini alır. Yani kesit boyunca akmalar oluşur. Akma gerilme dağılımı D eğrisinde görüldüğü gibidir. Akma gerilmesinin ilerisinde gerilme dağılımı içindeki kaynak sonucu oluşan gerilmelerin etkileri kaybolur.



Şekil 2.10. Düzgün dış yüklerin alın birleştirmelerindeki gerilme dağılımına etkileri

Şimdiki sorun, çekme yüklerinin kaldırılmasından sonra gerilmelerin dağılımıdır. E eğrisi  $\sigma = \sigma_1$  değerine eşit çekme yükünün kaldırılmasından sonra kalıcı gerilmeleri gösterir. F eğrisi de  $\sigma = \sigma_2$  değerine eşit çekme yükünün kaldırılmasından sonra kalan gerilmeleri gösterir.

Gerilmenin orjinal, yüklemeden sonra ve yükleme kaldırıldıktan sonraki durumu karşılaştırıldığında yüklemeden sonra daha düzgün bir hal aldığı görülür. Yük arttırılırsa gerilmelerin dağılımı yüklemeden sonra çok daha düzgün olur. Yani gerilme dağılımı içindeki gerilmelerin etkisi bu yolla düşürülür.

Aşağıda çıkarılan gerilmeler hakkındaki temel gerçekler ilerideki konulara rehber olacaktır:

- Kaynak gerilmelerinin kaynaklı yapıların performansına etkisi yalnızca düşük yükler altında (gevrek kırılma ve gerilme korozyonu çatlaması gibi) oluşan olaylar üzerinde önemlidir.
- Uygulanan gerilmelerin seviyesi arttıkça, gerilmelerin etkisi azalır.
- Akma sınırı ilerisinde gerilmelere maruz kalan kaynaklı yapıdaki kalıcı gerilmelerin yapının performansı üzerinde etkisi neredeyse yoktur, önemsizdir.
- Gerilmelerin etkisi yükleme tekrarlandığında düşme eğilimindedir.

#### 2.4.2. Basma gerilmesi

Dayanıksızlık veya bükülme hataları bazen ince metal ya da zayıf çubuklardan ibaret metal yapıların dikey basma, bükme veya burulma yüklerine maruz kaldığında oluşur. Kalıcı basma gerilmesi metal yapının bükülme dayanımını azaltır. Buna ek olarak kalıcı gerilmelerin sebep olduğu başlangıç şekil değiştirmeleri de bükülme dayanımını azaltır. Gerilmelerin kaynaklı yapıların bükülme dayanımına etkileriyle ilgili problemler aşağıda sınıflandırılmıştır:

- (1) Gerilme içeren düz profillerdeki bükülme dayanımı

(2) Gerilme içeren düz plakalarda bükülme dayanımı

(3) Gerilme kadar başlangıç şekil değiştirmeleri içeren profil ve plakalardaki bükülme dayanımı.

#### **2.4.3. Gerilmelerin yorulmaya etkileri**

Her ne kadar kaynaklı birleştirmelerde gerilmelerin yorulma dayanımı üzerine etkileri konusunda geniş çalışmalar yapılmamış olsa da bu konu hala tartışılmaktadır.

Yorulma dayanımı, numune özellikle basma gerilmesini yüzeylerde barındırıyorsa yükselir. Birçok araştırmacı gerilme altındaki numunenin yorulma dayanımının arttığını rapor etmişlerdir.

Yorulma kırılmasının bir önemli karakteristiği de birçok yorulma kırılmasının yüzeyde meydana gelmesidir. Yüksek yorulma dayanımı elde etmek için yüzeyin düzgünlüğü önemlidir. Örneğin taşlanmış yüzey düzensizlikleri yorulma dayanımını etkiler.

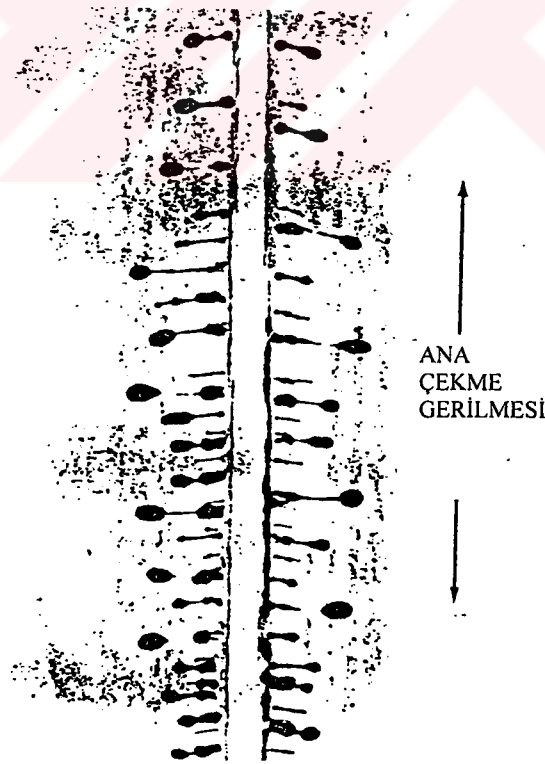
Kalıcı gerilmelerin yorulma dayanımı üzerindeki etkilerini saptamak için yapılan deneylerden numune yüzey şartlarının dikkate alınması gerektiği saptanmıştır. Yüzeyi basma gerilmesine sahip numune yüksek yorulma dayanımına sahiptir. Numune eğer keskin bir çentik taşıyorsa (ki bu çentikten başlayan bir yorulma çatlamasına neden olur) yorulma dayanım noktası çok düşük olur.

#### **2.4.4. Çevrenin etkisi**

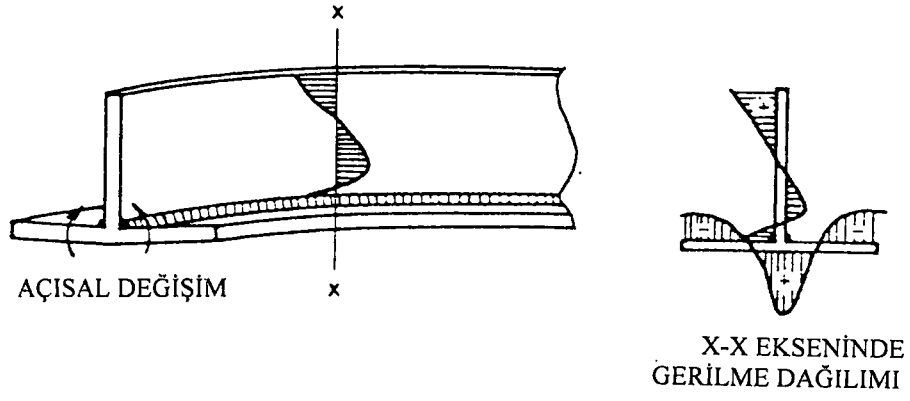
Kaynaklı yapılarda çatlamlar, dış kuvvet olmadan malzemenin aynı anda belirli çevre şartlarından etkilenmesi ve kaynak sonucu oluşan gerilmeler nedeniyle oluşabilir. Gerilme korozyonu çatlaması çevre şartlarına maruz kalan malzemede görülen gevrek tip kırılmadır. Bu tip korozyon, pitting etkisi ve kavitasyonla karıştırılmamalıdır. Gerilme korozyonu çatlaması çevresel

şartlara maruz kalan demir ve demir olmayan alaşımların üzerinde gözlemlenmiştir. Bazı duyarlı kombinasyonlar aşağıda verilmiştir.

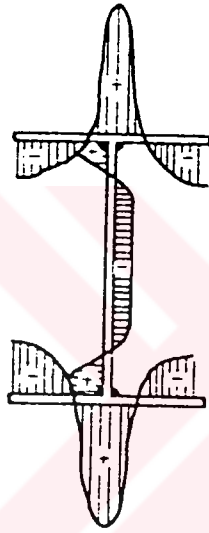
Yüksek dayanımlı çelikler hidrojene duyarlıdır. Birçok çatlama kaynağı sırasında olaya karışan hidrojen sebep olmuştur. İçinde kübik kristal yapılar, titanyum, zirkonyum ve onların alaşımlarını içeren çelikler hidrojen tarafından gevrekleştirilmiş olabilir. Hidrojen sebepli çatlamlar çeşitli çelikler için incelenmiştir. Şekil 2.11 alın kaynaklı yapıdaki çatlak örneğini gösterir. Burada örnek parça 50 dakikalık hidrojen yükleme testinden sonra yağa daldırılmış ve 260°C'ye ısıtılmıştır. Enine çatlak sistemleri ve numunenin orta bölgesinde büyük çatlaklar gözlenmiştir. Çatlak örneği göstermiştir ki, kaynağa yakın bölgede ve kaynağa paralel yüksek çekme gerilmeleri vardır. Kaynaklar düşük dayanımlı çelikte yapıldığında çatlakların oluşması için daha uzun bir süreye ihtiyaç vardır ve çatlaklar daha az yaygındır.



Şekil 2.11. Basit alın kaynaklarında çatlama örneği

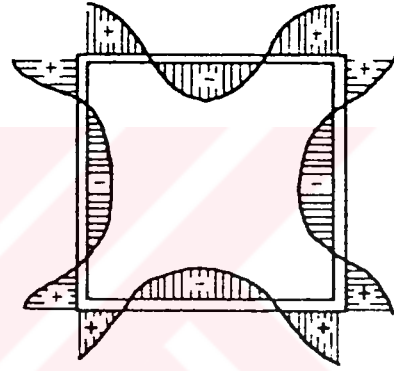


(A) Kaynaklı T şeklindeki gerilme ve şekil değişimi



KAYNAKLI LEVHA

(B) KAYNAKLI H-ŞEKLİNDE GERİLMELER



(C) KAYNAKLI KUTU ŞEKLİNDE GERİLMELER

Şekil 2.12. Kaynaklı yapılardaki tipik gerilmeler

## 2.5. Kaynaklı Yapılardaki Tipik Gerilme Dağılımları

Şekil 2.12 kaynaklı şekillerdeki tipik gerilme dağılımını gösterir. Şekil 2.12a kaynaklı T şeklinde oluşan gerilme ve şekil değişimini gösterir. Profilin sonundan belli bir uzaklıktaki kesitte (XX kesiti gibi) yüksek çekme gerilmeleri oluşur. Kaynak kenarı alanlarında oluşan bu gerilmeler eksene

paralel doğrultudadır. Sağdaki şekil XX kesitindeki gerilmelerin dağılımını gösterir. Baş tarafta kaynağa yakın bölgelerde çekme, uzak bölgelerde basma oluşur. Alt levhanın üst kısmında çekme gerilmeleri kaynağın boyuna çekmesine dolayısıyla şeklin boyuna bükülmesine ve bükme şekil değişimine sebep olur. Burada açısal şekil değişimi de oluşur.

Şekil 2.12b ve 2.12c kaynaklı çerçevedeki gerilmelerin dağılımını göstermektedir. Gerilmeler x eksenine paralel olarak gösterilmiştir. Çekme gerilmelerinin kaynak yakınında, basma gerilmelerinin kaynaktan uzaklaştıkça oluştuğu gözlenmektedir.

Alın kaynaklarındaki tipik gerilme örneklerinden daha önce şekil 2.9'da gösterilerek bahsedilmiştir.

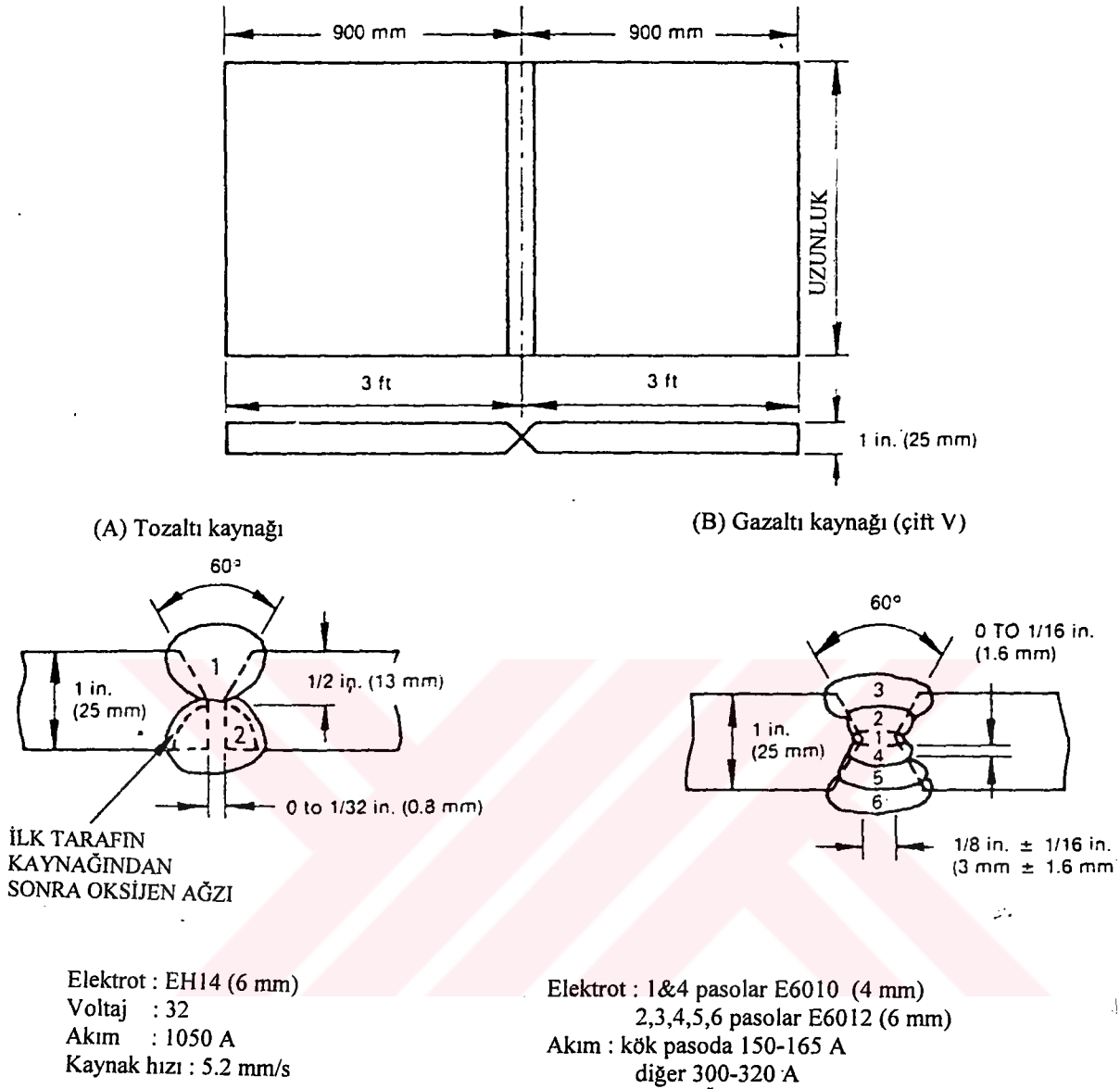
## **2.6. Gerilme Oluşumunu Etkileyen Faktörler**

### **2.6.1. Ana metal ve kaynak metali**

Normal dayanımlı çeliklerin kaynaklı birleştirmelerinde gerilmeler kaynak metali ve ana metalin akma gerilmesi kadar yüksektir. Alüminyum ağızlarda kaynaklı bölgelere yakın bölgelerde oluşan gerilmeler de metalin akma gerilmesi kadar yüksektir. Bununla birlikte yüksek dayanımlı çeliklerdeki gerilmeler akma gerilmesinden daha düşük bir seviyededir.

### **2.6.2. Numunenin uzunluğu**

Düşük karbonlu çelik alın kaynaklarında (dış etkisiz) kaynak uzunluğunun gerilmelere etkisi üzerinde çalışmak için tozaltı ve gazaltı kaynak işlemi uygulanan iki seri kaynak deneyi yapılmıştır (Şekil 2.13). Her serideki değişken yalnızca uzunluktur. Her iki numunenin genişliği tüm öngerilmeleri karşılamaya yeterlidir. Şekil 2.14 her iki işlemde kaynak boyunca oluşan boyuna ve enine kalıcı gerilmeleri gösterir.

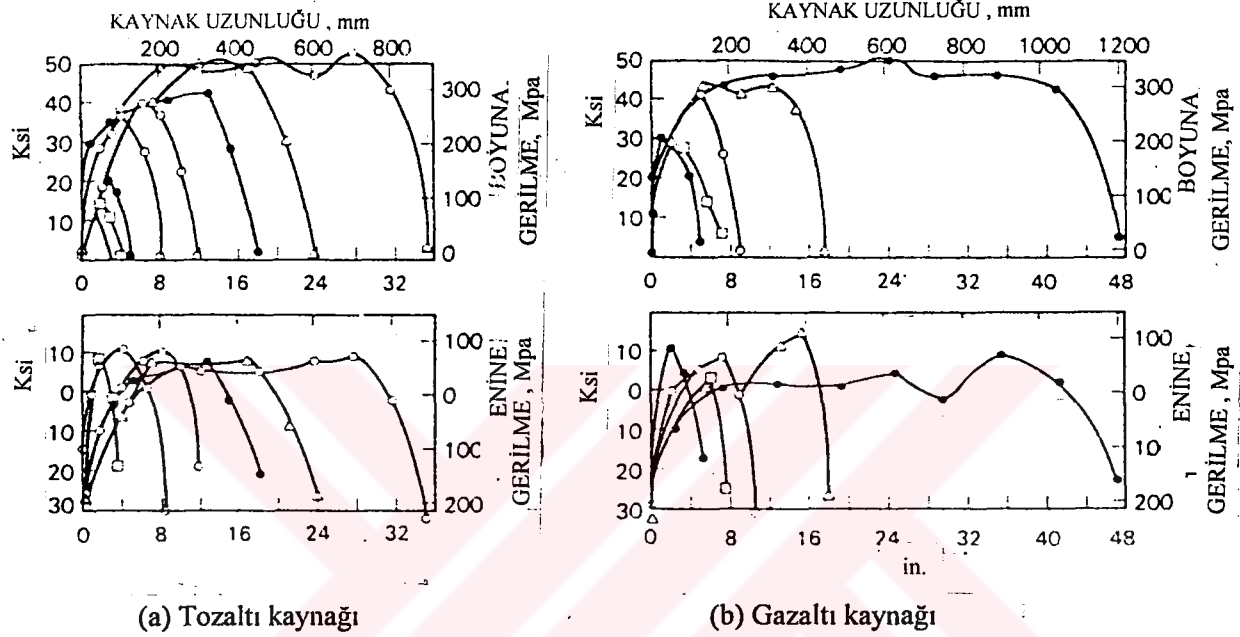


Şekil 2.13. Kaynak uzunluğunun gerilmelere etkisini anlatan numuneler

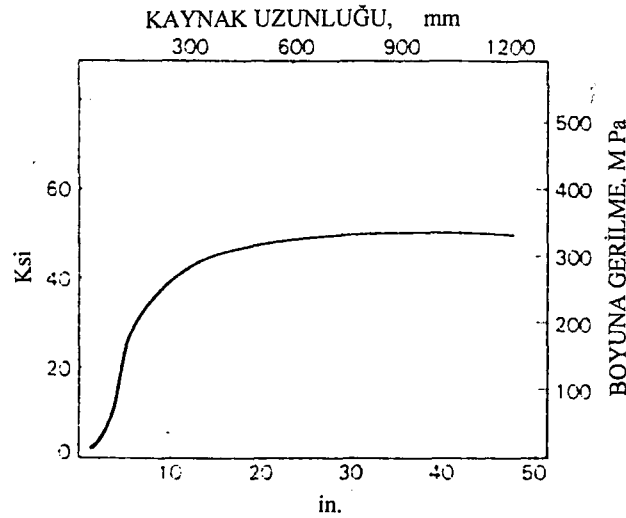
Boyuna gerilmeler kaynağın sonlarında sıfır olacaktır. Kaynağın merkezinde yüksek çekme gerilmeleri vardır. Merkez noktadaki uç gerilme kaynak uzunluğu arttıkça yükselir. Kaynak uzunluğu-uç gerilme arasındaki ilişki şekil 2.15’de açıkça görülmektedir. Grafik 457 mm uzunluğa kadar kaynak boyu arttıkça boyuna doğrultuda çekme gerilmesinin arttığını, 457 mm’den sonra boyuna kalıcı gerilmelerin üniform bir hal aldığını göstermektedir.

Enine gerilmelerle ilgili olarak (Şekil 2.14), gerilmeler kaynak merkezinde çekme, levha sonlarında basma şeklindedir. Kaynak uzunluğunun merkezdeki çekme gerilmesine ve levha sonlarındaki maksimum basmaya etkisi azdır.

Tozaltı ve gazaltı kaynak işleminde gerilme dağılımları benzerdir. Gerilme dağılımı tozaltı kaynağında daha düzgündür.



Şekil 2.14. Farklı uzunluktaki alın kaynaklarında gerilme dağılımı



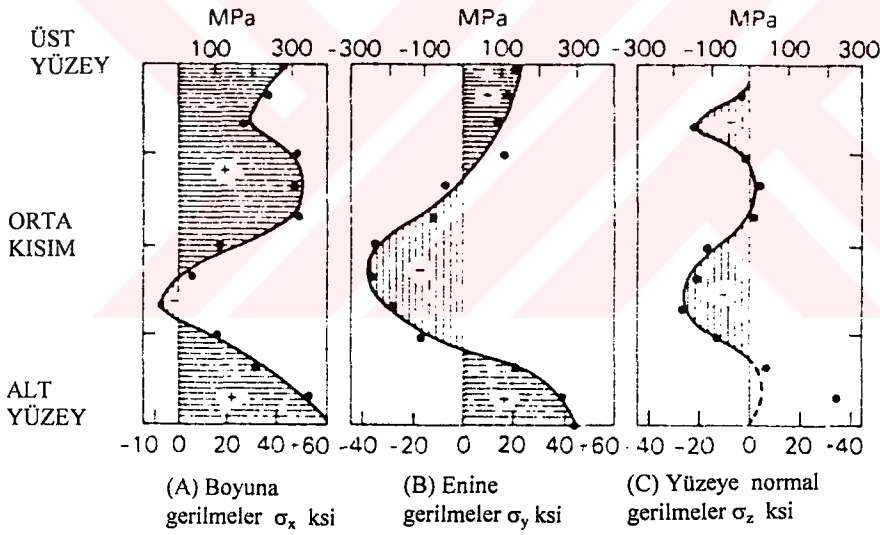
Şekil 2.15. Kaynak uzunluğunun boyuna gerilmeye etkisi



### 2.6.3. Numunenin kalınlığı

Şekil 2.16 kalınlık doğrultusunda oluşan gerilmelerin dağılımını gösterir (25 mm kalınlıkta ve 500 mm genişlikteki düşük karbonlu çelik sac üzerinde). Şekilde boyuna, enine ve yüzey gerilmeleri görülmektedir. Kaynaklar örtülü elektrotlarla (2.5 mm'den 5.0 mm'ye kadar çapta) yapılmıştır. Kaynak operasyonu açısız şekil değişimi minimuma indirmek için her iki taraftan yürütülmüştür. Elde edilen sonuç şekil 2.16'da gösterildiği gibidir. Boyuna ve enine gerilmeler, her iki yüzeyin yakınında çekme şeklindedir. Alt ve üstten kaynak sırasında basma gerilmeleri kaynağın iç tarafında oluşur.

Şekil 2.16c numune yüzeyine normal gerilmelerin ( $\sigma_z$ ) dağılımını gösterir. Her iki yüzeyde  $\sigma_z$  sıfır olmalıdır. Kalıcı gerilmeler görüldüğü gibi basma gerilmeleridir.



Şekil 2.16. Alın kaynaklı 25 mm kalınlığında bir levhada kalınlık doğrultusunda oluşan gerilme dağılımı

### 2.6.4. Kaynak çeşidi

Genelde kaynak çeşidinin benzer gerilmeler bıraktığı kabul edilir. Örneğin şekil 2.14a ve şekil 2.14b'de tozaltı ve gazaltı kaynağıyla yapılmış kaynaklarda gerilmelerin benzer olduğunu gösterir.

### 2.6.5. Kaynak sırası

Kaynak işlemi yapılırken çeşitli tiplerdeki kaynak sıraları (geri adım v.b.) kullanılarak gerilme ve şekil değişimi azaltılabilir. Uygun kaynak sırasının seçimi önemli bir pratik problemidir.



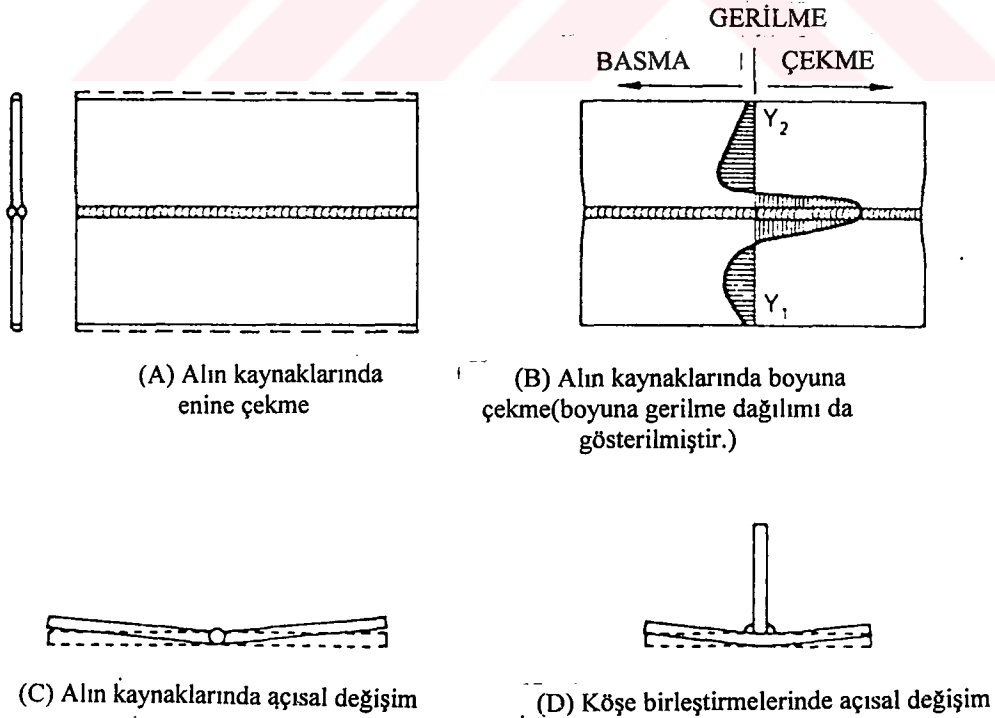
### 3. KAYNAKLI BİRLEŞTİRMELERDE ŞEKİL DEĞİŞİMLERİ

Üretilen yapılarda oluşan şekil değişimlerinin sebebi kaynak sırasında oluşan üç temel boyutsal değişimdir (Şekil 3.1).

- (1) Kaynak hattına dik oluşan enine çekme
- (2) Kaynak hattına paralel oluşan boyuna çekme
- (3) Kaynak hattı etrafındaki dönüşümden ibaret açısal değişim

Ayrıca parçanın kendisini kalınlığı boyunca çekmesi de söz konusudur. Ancak çok küçük olduğu için pratikte fazla bir önem taşımaz.

Şekil 3.1a alın kaynağındaki enine çekmeyi gösterir. Boyuna kalıcı gerilme dağılımı  $\sigma_x$  şekil 3.1b'de gösterilmiştir. Bu gerilme boyuna çekmeye neden olur. Şekilde görüldüğü gibi kaynak metalinin kaynağa yakın ana metal

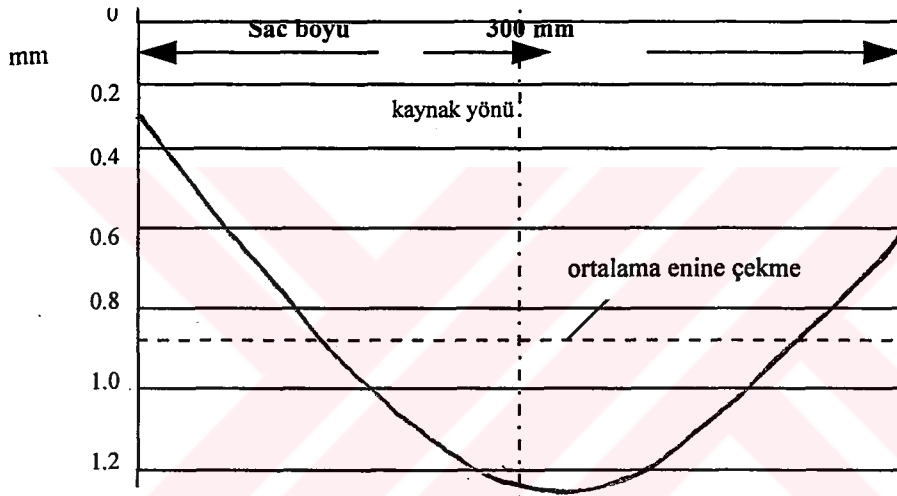


Şekil 3.1. Kaynaklı birleştirmelerde oluşan temel boyutsal değişimler

bölgelerini boyuna çekmesi çevre bölgeleri tarafından engellenir.

Şekil 3.1c alın kaynağında oluşan açısıl değişimi göstermektedir. Kalınlık doğrultusunda oluşan üniform olmayan enine çekmeler bu dönüşüme sebep olurlar. Şekil 3.1d iç köşe birleştirmelerinde oluşan açısıl değişimi göstermektedir. Bu değişimin nedeni parçanın kenarları üzerinde oluşan dengesiz çekmedir.

Yapıların imali sırasında oluşan çekme ve şekil değişimleri şekil 3.1’de gösterilenden daha karmaşıktır.



Şekil 3.2. St 38 150x6 mm sac levhanın birleştirilmesinde kaynak dikişi boyunca enine çekmenin değişimi

### 3.1. Enine Çekmenin İncelenmesi

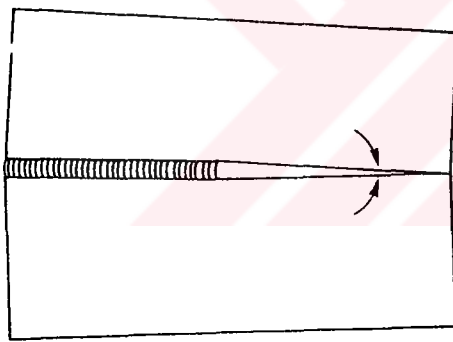
Enine çekmeler, sac yüzeyinden dikiş yönüne doğru bir kısalmadır. Bu kısaltmaların büyüklüklerini, uygulamadaki ısı miktarı , kaynak çeşidi ve ağız biçimi, kaynak uzunluğu ve iç gerilmelerin mertebesi belirler. İyi tespit edilmiş saclar kaynaktan sonra, tam tespit edilmemiş olanlardan daha düşük oranda enine çekmeye maruz kalmaktadır. Bundan başka, özellikle kök pasolarda kaynak sıralarının uygun tespiti, geri adım (back-step) yöntemi, dikiş ortalarından tek ya da iki yöne doğru kaynak uygulaması, kaynak hızının arttırılması gibi önlemler de enine çekmeleri azaltabilmektedir. Köşe

kaynaklarında ısı sadece sac yüzeyinin birleşen bölgesinde sınırlı kaldığından ortaya çıkan enine çekme, alın kaynağına kıyasla daha küçüktür.

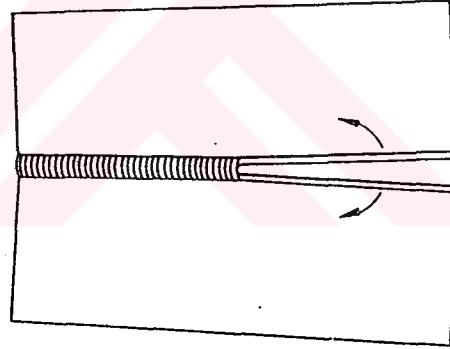
Belirli bir kaynak dikişinde, dikiş uzunluğu boyunca oluşan bu enine çekmeler, sabit bir büyüklükte de değildir. Örnek olarak ele alınan 300 mm uzunluğundaki bir sac birleştirmede, dikiş sonunda en küçük değerde olmasına karşın, ortasına yakın fakat kaynak yönü tarafında maksimum bir çekme görülmektedir (Şekil 3.2).

### 3.1.1. Alın kaynaklı birleştirmelerde enine çekmeler

Şekil 3.1a'da çekme kaynak boyunca üniformdur. Bununla birlikte alın kaynaklarında, özellikle yapılarıdaki uzun kaynaklarda enine çekme çok daha karmaşıktır. Alın kaynaklarında üniform olmayan enine çekmeyi iki faktör etkiler.



a. Ağızın kaynatılmamış kısmının kapanması (normal elektrot)



b. Ağızın kaynatılmamış kısmının açılması (tozaltı kaynağı)

Şekil 3.3. Eksenel şekil değişimi

(1) *Eksenel şekil değiştirme:* Kaynak bir uçtan diğer uca adım adım ilerlediğinde henüz kaynak edilmemiş ağız kısmı şekil değiştirir. Ve bu eksenel şekil değişimine sebep olur (Şekil 3.3). Eksenel şekil değişimi ısı girişi ve kaynak hızından etkilenir. 13 mm kalınlıktaki bir çelik levha örtülü elektrotla düşük kaynak hızında kaynaklanırsa şekil 3.3a'da gösterildiği gibi kaynaklanmamış kısım kapanma eğilimindedir. Çelik levha tozaltı kaynağıyla kaynatılırken kaynaklanmamış kısım açılma eğilimindedir (Şekil 3.3b). Bunun

anlamı tozaltıyla kaynaklanacak ağızlardaki punta kaynağı eksenel değişimin yaratacağı gerilimi engelleyecek kadar geniş olmalıdır.

(2) *Birleştirmenin tespit edilmiş olması:* Kaynaklarda oluşan enine çekme miktarı kaynak ağzına uygulanan dış kuvvetlerin büyüklük derecesine bağlıdır. Dış kuvvetler enine yaylar sistemi gibi düşünülebilir; kuvvetlerin derecesi yay sisteminin rijitliği ile ölçülebilir. Çekme miktarı tespit derecesi yükseldikçe düşer. Birçok birleştirmede kaynak boyunca tespit derecesi üniform değildir. Örneğin şekil 3.4'deki yarık kaynakta dış kuvvet derecesi kaynak uzunluğu boyunca değişiktir ve kaynak sonlarında en yüksektir. Yani enine çekmenin miktarı kaynak merkezinin kenarlarında daha büyük, ağız sonlarında daha azdır. Kısaca uzun bir kaynak ağzında kaynak boyunca enine çekme üniform değildir.

Enine çekme miktarını hesaplamak için bir çok kaynakta çeşitli formüller verilmiştir. Bu formüller kaynaklı birleştirmenin dış yükler altında olmadığı ve önceden gerilme içermediği durumlarda geçerlidir.

- Malisius'a göre;

$$\Delta b = 1,3.(0,6.\lambda_1.k.A_k/s + \lambda_2.b) \quad \text{mm} \quad (3.1)$$

$$\lambda_1 = 0.0044$$

$$\lambda_2 = 0.0093$$

$$A_k = \text{kaynak dikiş kesiti} \quad \text{mm}^2$$

$$b = \text{ek yeri genişliği (alın aralığı)} \quad \text{mm}$$

$$s = \text{sac kalınlığı} \quad \text{mm}$$

$$k = \text{kaynak yöntemine bağlı tüketilen ısı oran katsayısı}$$

$$= 38 \text{ MAG kaynağı}$$

$$= 44 \text{ Tozaltı kaynağı}$$

Bu eşitlik çelik yapılarda pratik değerlerin kolay bulunması nedeniyle üstünlüğe sahiptir.

- Wörtmann ve Mohr 'a göre;

$$\Delta b = \alpha \cdot m \cdot q / c \cdot s \cdot Y \quad \text{cm} \quad (3.2)$$

$\alpha$  = 20-700 °C sıcaklık aralığı için ortalama ısı genleşme katsayısı  
(°C<sup>-1</sup>) (alaşımsız çelikler için  $\alpha = 15 \cdot 10^{-5}$ )

$q$  = birim ağırlık başına harcanan ısı miktarı (cal / gr)  
(kaynak şartlarına bağlıdır.)

= 1150 cal / gr dalgali akımla kaynak

= 1790 cal / gr doğru akım, elektrot negatif kutupta

= 1010 cal / gr doğru akım, elektrot pozitif kutupta

$m$  = birim kaynak dikişi başına dikiş kütlesi (gr/cm)

$c$  = 20-700 °C sıcaklık aralığında ortalama özgül ısı (cal / gr.°C)  
( $c = 0.16$  alaşımsız çelik)

$s$  = sac kalınlığı (cm)

$Y$  = yoğunluk (gr / cm<sup>3</sup>)

- Gildeye göre;

$$\Delta b = 0,24 \cdot 6000 \cdot k \cdot \alpha \cdot U \cdot I \cdot a / v \cdot s \cdot \lambda \quad (3.3)$$

$k$  = ark ısısından faydalanma faktörü

$\alpha$  = ortalama ısı genleşme sayısı (1 / °C)

$u$  = kaynak gerilimi (V)

$I$  = kaynak akım şiddeti (A)

$a$  = sıcaklık iletme sayısı  $a = \lambda / c \cdot Y$  (cm<sup>2</sup>/s)

$c$  = özgül ısı (cal / gr °C)

$v$  = kaynak hızı (m / dk)

$s$  = sac kalınlığı (mm)

$Y$  = yoğunluk (gr/cm<sup>3</sup>)

$\lambda$  = ortalama ısı iletim katsayısı (cal / cm.s. °C)

0.24 : ısı eşdeğer faktörü

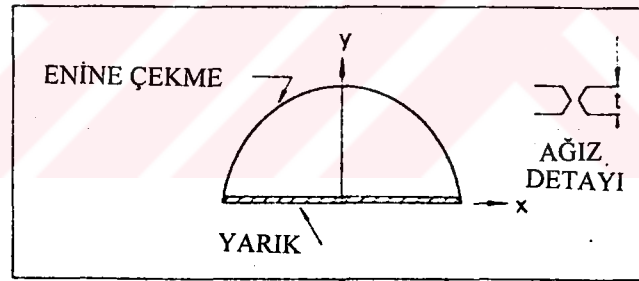
6000 : dakika saniye, metre santimetre düzeltme faktörü

Son hesaplama yöntemi tüketilen ısıнын da hesaba katılması, malzemelerin ısısal özelliklerinin ve kaynak parametrelerinin direkt hesaplamada kullanılmasından daha anlaşılır görülmektedir. Bu yöntemle göre hesaplanan enine çekmeler, kaynak dikişinin her bir pasoda tekrar iyi bir şekilde tavlanması şartı ile, ölçülen değerlere uymaktadır.

• Çeşitli kaynaklardan toplanan verilerin analizinden aşağıdaki basit formül elde edilmiştir.

$$S = 5,16.A_w / t + 1,27.d \quad (3.4)$$

S = enine çekme (mm)  
 $A_w$  = kaynağın kesit alanı (mm<sup>2</sup>)  
 t = levhanın kalınlığı (mm)  
 d = kök açıklığı (mm)

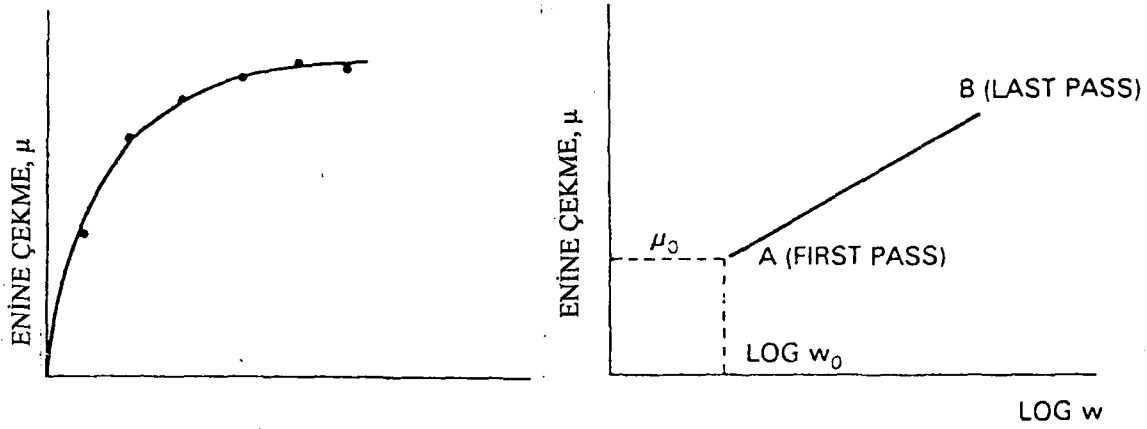


YARIK-KAYNAK NUMUNESİ  
VE TİPİK ÇEKME DAĞILIMI

Şekil 3.4. Sabitlenmiş alın birleştirmelerinde enine çekme

Şekil 3.5 çok pasolu kaynak sırasında enine çekmenin nasıl yükseldiğini göstermektedir. Çekme eğilimi başlangıçtaki pasolardan sonlardaki pasolara gelindikçe azalır. Bunun nedeni kaynak ilerledikçe çekmeye karşı artan dirençtir. Enine çekme  $\mu$  ve birim uzunluktaki kaynak metalinin ağırlığının logaritması arasında lineer bir bağıntı vardır.





(A) Çok pasolu kaynakta enine çekmenin artması

(B) Log w ve  $\mu$  arasındaki ilişki

Şekil 3.5. Çok pasolu alın birleştirmelerinde kaynak metali ağırlığının enine çekmeye etkisi

Enine çekmeyi etkileyen çeşitli faktörlerin (ağız dizaynı, kök açılımı, elektrot tipi ve çapı, tespit derecesi, soğuk şekil verme, oksijenle kesme) etkileri çizelge 3.1'de özetlenmiştir. Bunların arasında kök açıklığı ve ağız dizaynı en büyük etkiyi yapar.

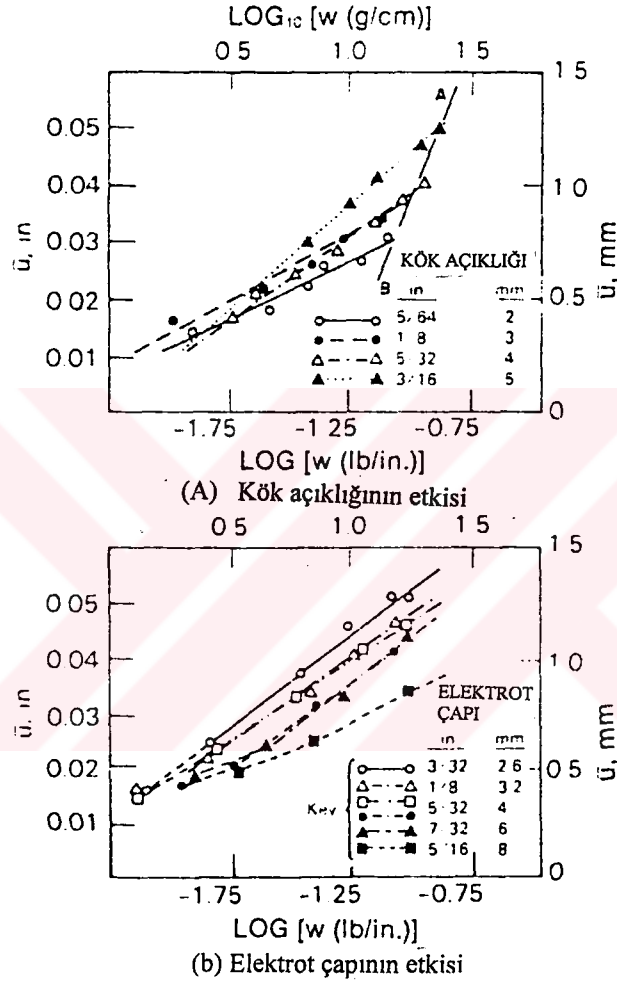
Çizelge 3.1. Alın birleştirmelerinde çeşitli faktörlerin enine çekmeye etkisi

|                 |                                                                   |
|-----------------|-------------------------------------------------------------------|
| Kök açıklığı    | Kök açıklığı artarsa çekme de artar. Etkisi büyük.                |
| Ağız dizaynı    | Tek-V-ağız çift-V-ağızdan daha fazla çekme yapar. Etkisi büyük.   |
| Elektrot çapı   | Elektrot çapı büyüdükçe çekme düşer. Etkisi orta seviyededir.     |
| Tespit derecesi | Tespit derecesi yükseldikçe çekme düşer. Etkisi orta seviyededir. |
| Elektrot tipi   | Etkisi azdır.                                                     |
| Çekiçleme       | Çekiçlemeyle çekme düşer. Etkisi azdır.                           |

Şekil 3.6a kök açıklığının enine çekmeye etkisini gösterir. Kök açıklığı yükselirse kaynak metalinin toplam miktarı artar ve çekme artar. Araştırmalar ağız dizaynında önemli olduğunu göstermektedir. Tek V ağzı, çift V ağzından

daha çok çekme üretir.

Şekil 3.6b elektrot çapının çekme üzerine etkilerini göstermektedir. Elektrot çapı büyüdükçe çekme azalır. Bunun anlamı ilk dikişte geniş boyutlu elektrotlar kullanılırsa çekmede bir düşme oluşur. Bu deneysel olarak kanıtlanmıştır.



Şekil 3.6. Kök açıklığı ve elektrot çapının çekmeye etkisi

Kaynak ısı girdisinin enine çekmeye etkisi ise şöyledir. Belirli ağızlarda kaynağa gerekli toplam ısı girdisi düşerse çekme de düşer. Bununla birlikte kaynak birkaç pasoda tamamlanmışsa ilk dikiş daha büyük bir ısı girişiyle kaynaklanırsa çekme azalır. Kaynak metalinin defolardan kurtulması için yapılan işlem (taşlama) çekmeyi çok az etkiler ve çekme kaynak tekrarından dolayı artar. Oksijenle kesme esnasında numuneye ısı verildiğinde çekme yükselir, kaynağın tekrarı durumunda daha da artar.

### 3.1.2. Köşe kaynaklı birleştirmelerde enine çekme

Köşe birleştirmelerinde enine çekme, alın birleştirmelerinden daha az oluşur. Köşe birleştirmelerin yarattığı etki üzerine sınırlı çalışmalar yapılmıştır. Bununla birlikte temel bir formül verilmiştir.

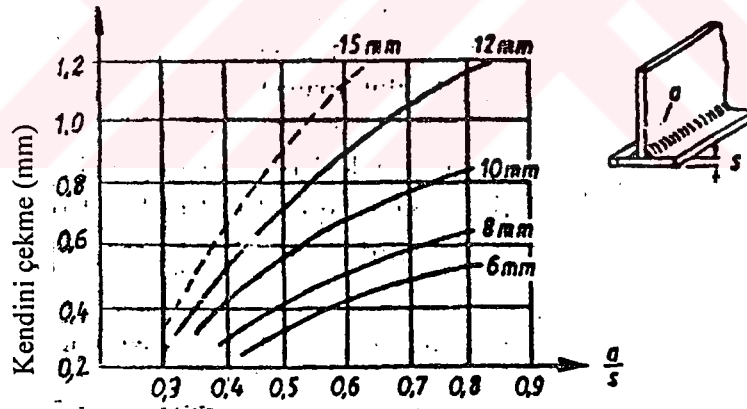
(1) Çift taraflı devamlı kaynaklı T birleştirme için;

$$\text{ÇEKME} = 1.02 * (\text{dikiş kalınlığı} / \text{sac kalınlığı}) \quad \text{mm} \quad (3.5)$$

(2) Eşit kalınlıktaki çift taraflı bindirme (lap-joint) kaynaklarında;

$$\text{ÇEKME} = 1.52 * (\text{dikiş kalınlığı} / \text{sac kalınlığı}) \quad \text{mm} \quad (3.6)$$

(3) Belli aralıklarda yapılan metod kaynaklarda doğrultma faktörü olarak kaynak bantının uzunluğunun, toplam uzunluğa oranı kullanılır.



Şekil 3.7. Köşe birleştirmelerinde enine çekme değeri

Şekil 3.7, a (dikiş kalınlığı) / s (sac kalınlığı) ile enine çekme arasındaki ilişkiyi gösterir. Genel olarak;

a/s = 0.3 ise enine çekme azdır.

a/s = 0.5 ise “ “ normaldir.

a/s = 0.8 ise “ “ fazladır.

### 3.2. Boyuna Çekmenin İncelenmesi

Kaynak işlemi gereği, ısıdan dolayı yüksek sıcaklığa gelmiş malzeme, soğuk malzeme ile çevrilidir. Isınan bölgede oluşan yığılmalar, kaynak dikişi boyunca ya da paralel olarak çekme oluştururlar. İnce saclarda çekme kuvvetlerinden oluşan şekil değişimleri gözlenmesine karşın, kalın saclarda ölçülemez boyuttadır.

#### 3.2.1. Alın kaynaklı birleştirmelerde boyuna çekme

Alın kaynaklarında boyuna çekme miktarı kaynak uzunluğunun 1/1000'i mertebesindedir, enine çekmeden çok daha azdır. Alın kaynaklarında boyuna çekme hakkında sınırlı araştırmalar yapılmıştır. Çekme aşağıdaki formülle ifade edilebilir:

$$\Delta L = 3.05 * I * L / (100000 * t) \quad \text{mm} \quad (3.7)$$

I = kaynak akımı (amper)

L = kaynak uzunluğu (mm)

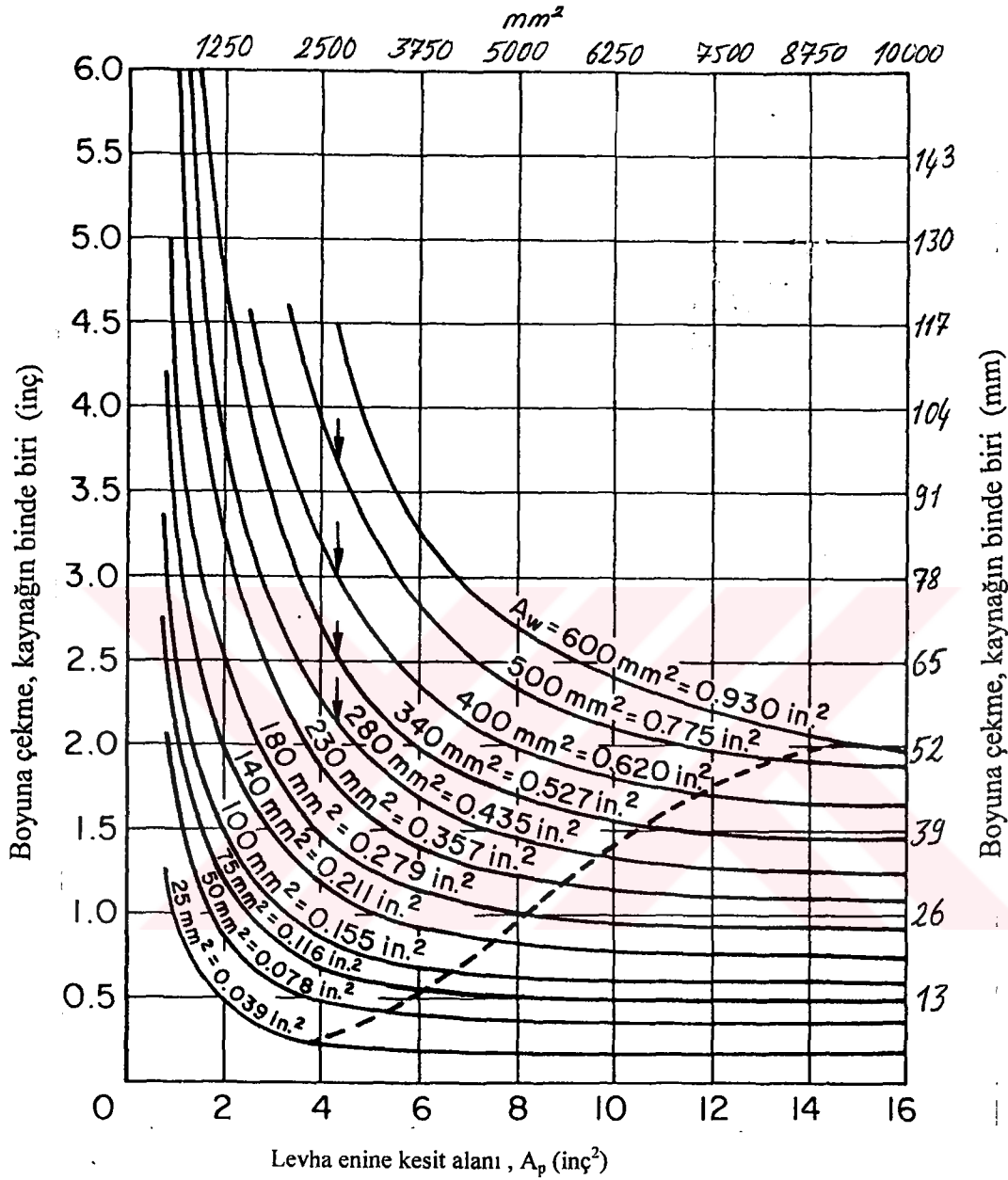
t = levha kalınlığı (mm)

#### 3.2.2. Köşe kaynaklı birleştirmelerde boyuna çekme

Köşe birleştirmelerindeki boyuna çekme üzerine yapılan çalışmalar göstermiştir ki boyuna çekme öncelikle profil kesiti ile kaynak dikiş kesiti arasındaki orana bağlıdır. Bazı kaynaklarda profil kesiti direnç kesiti olarak da tanımlanır.

Şekil 3.8 Guyot tarafından elde edilen sonuçları gösterir. Çekme değerleri levha kesit alanı  $A_p$  ve kaynak metali kesit alanıyla  $A_w$  açıklanır.  $A_p$ 'nin  $A_w$ 'ye oranı 20'den az olduğu durumlarda aşağıdaki formül kullanılabilir.

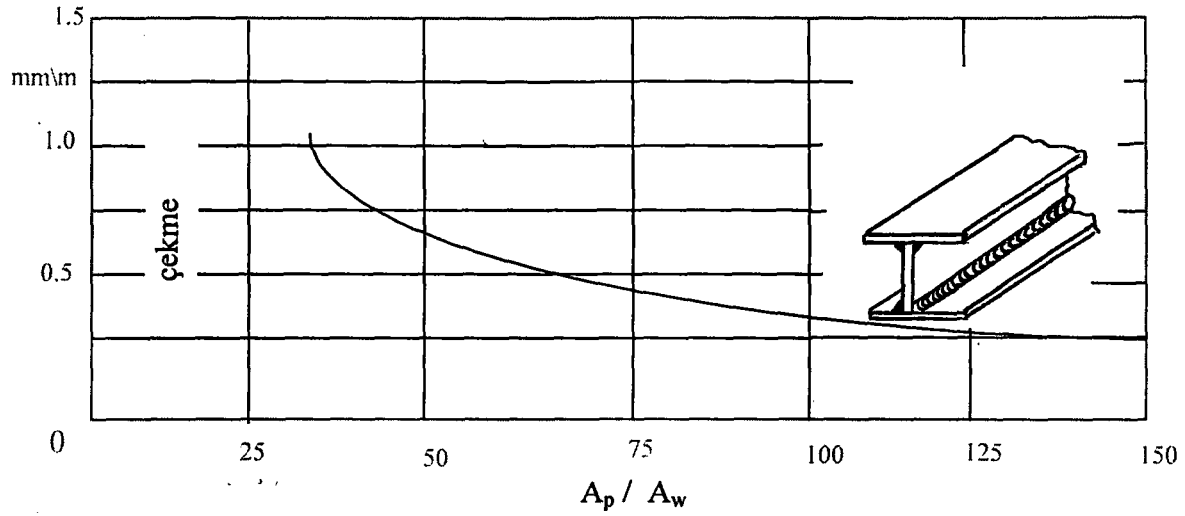
$$\Delta L = (A_w / A_p) * 25 \quad \text{mm/m} \quad (3.8)$$



Şekil 3.8. Profil kesit alanı  $A_p$  ve kaynak metali enine kesit alanının fonksiyonu olarak boyuna çekme değişimleri

Şekil 3.9 uzunlamasına bir dikişte taşıyıcı kesit ile kaynak dikiş kesitine bağlı olarak boyuna çekme oranları verilmektedir.

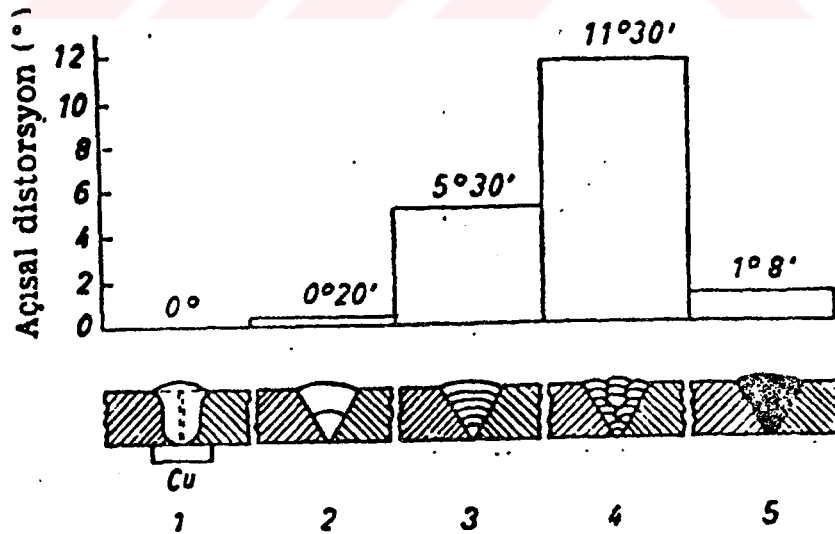
Bir yapımda kaynak dikişleri ağırlık eksenine göre simetrik değilse, kısalma lineer olarak ortaya çıkmaz, ayrıca eğilme ve çarpılmalar oluşur.



Şekil 3.9.  $A_p/A_w$  oranının, bir I profilinin kaynağında boyuna çekmelere etkisi

### 3.3. Açısal Şekil Değişiminin İncelenmesi

Kaynaklarda oluşan çekme, kalınlık doğrultusunda üniform olmadığından açısal değişim oluşur. Başka bir deyişle alt ve üst yüzeylerde farklı çekme kuvvetleri olduğundan açısal değişim oluşmaktadır.

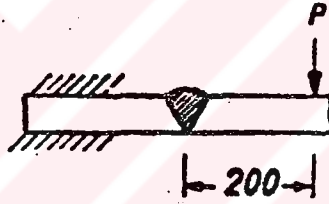


Şekil 3.10. Dikişin teşkil tarzının açısal değişim üzerine tesiri

### 3.3.1. Alın kaynaklı birleştirmelerde açısai değişim

Alın kaynaklı birleştirmelerde meydana gelen açısai değişimin büyüklüğü kaynak ağzının şekline, pasoların teşkil tarzına ve sac kalınlığına bağlıdır. şekil 3.10'da pasoların teşkil tarzının tesiri görölmektedir. Kaynaktan önce parçalara ters yönde bir meyil vererek açısai değişimi azaltmak mümkündür. Kaynak sırasında parçaların sıkı bir şekilde tespiti de açısai değişimi azaltır.

| Sac kalınlığı (mm) | Paso sayısı | Dikişe 200 mm mesafede açısai şekil değişimi kuvveti (kp) |
|--------------------|-------------|-----------------------------------------------------------|
| 8                  | 3           | 416                                                       |
| 10                 | 4           | 680                                                       |
| 12                 | 4           | 1230                                                      |
| 15                 | 6           | 1930                                                      |
| 18                 | 7           | 2360                                                      |



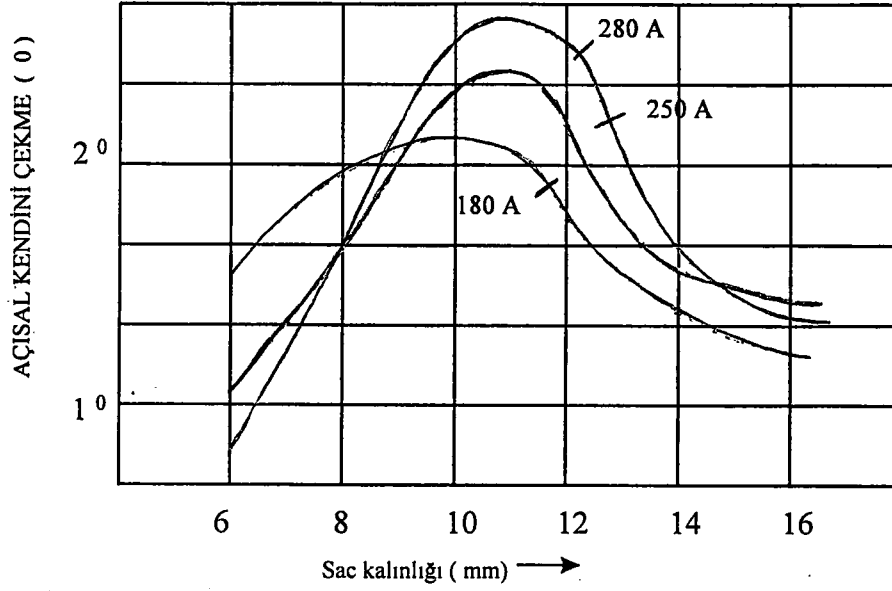
şekil 3.11. Sac kalınlığı açısai değişim üzerine etkisi

şekil 3.11'de de, sac kalınlığının açısai değişim üzerindeki tesiri görölmektedir. Burada ölçüler 500 mm uzunluğundaki dikişler üzerinde yapılmıştır.

### 3.3.2. Köşe kaynaklı birleştirmelerde açısai değişim

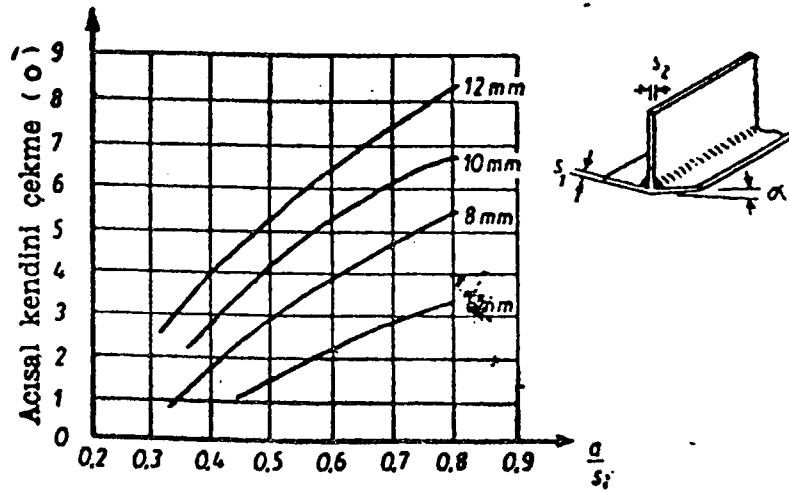
Açısai değişim, tek taraflı tavlama sonucunda sac'da meydana gelen sıcaklık farkları sebep olur. İnce saclarda, sac kalınlığı boyunca sıcaklık farkı az olduğu için, kuvvetli enine ve hafif açısai değişimler ortaya çıkar. Kalın levhalarda sıcaklık farkı büyük olduğundan ve meydana gelen yüksek gerilmeler çekmeye karşı koyduğundan, açısai değişim miktarı azdır.

Çeşitli sac kalınlıklarında ve akım şiddetlerinde, iç köşe dikişlerinde hasıl olan açısai değışim miktarları bir diyagram halinde şekil 3.12'de verilmiştir.



Şekil 3.12. Çeşitli sac kalınlıklarında ve akım şiddetlerinde meydana gelen açısai değışim (Kumos'eye göre).

Açısai şekil değışiminin büyüklüğü Klöppel tarafından dikiş kalınlığının levha kalınlığına oranına bağı olduğı ifade edilmiştir (Şekil 3.13). Klöppel'e göre kalın çaplı bir elektrotla bir paso halinde kaynak yapıldığında oluşan açısai şekil değışimi aynı dikiş boyu için düşük çaplı elektrotla çok pasolar halinde yapılan kaynağı nazaran daha azdır. İki parça arasındaki mesafenin büyümesi açısai şekil değışimini fazlalaştırır.



Şekil 3.13. Klöppel'e göre köşe dikişlerinde oluşan açısai şekil değışimi



Taşıyıcı kirişlerin kaynağında yatay parçaya önceden ters bir şekil verilirse (plastik şekil ) kaynağı takiben oluşacak açısai şekil değışimleri dengelenmiş olur. Levhaya verilecek bu sehim miktarı şu formülle hesaplanır:

$$c = a * b / 30 * s \quad (3.9)$$

$c$  = sehim miktarı (mm)

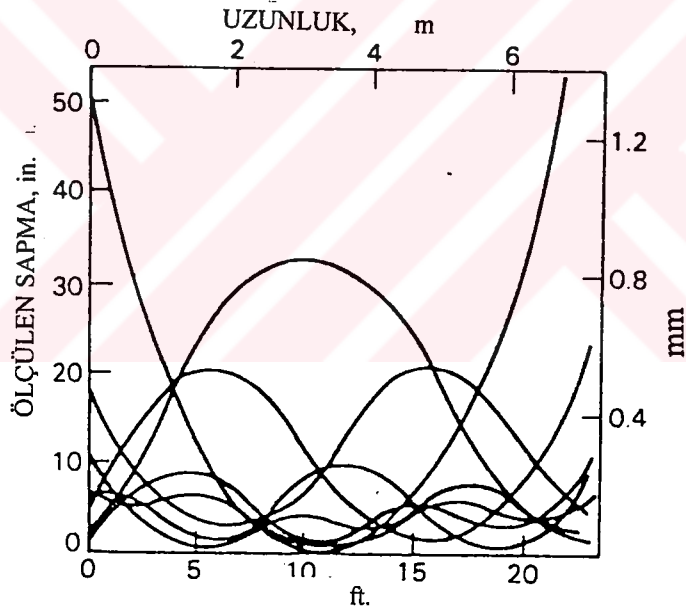
$a$  = dikiş yüksekliğı (mm)

$b$  = yatay levhanın genişliğı (mm)

$s$  = sac kalınlığı (mm)



(A) Bükölme şekil değışimi



(B) Bir numunede gözlenen sekiz sabit şekil değışimi

(şekil değışimleri kaynak hattı boyuncadır.)

Şekil 3.14. Bir paso kaynaklı levhadaki bükölme şekil değışimleri

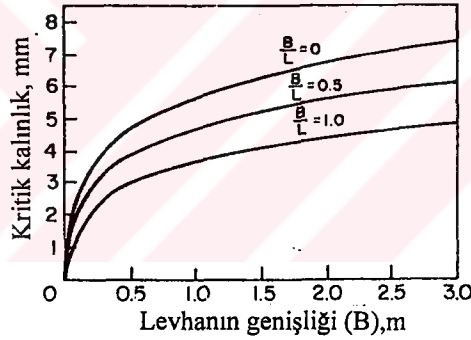
### 3.4. Bükölme Şekil Değışimleri

İnce bir levha kaynaklanırken kaynaktan uzak bölgelerde basma gerilmeleri oluşur ve bunlar bükölmelere sebep olur. Bükölme şekil değışimi

numunenin boyunun olması gerekenden fazla olduğunda oluşur. İnce bir yapıdaki şekil değişimini öğrenmek için öncelikle şekil değişiminin bükme ya da bükülme nedeniyle olduğu saptanmalıdır. Bükülme şekil değişimi bükmeden iki yolla ayrılır:

- (1) Yapıda birden fazla eğilme ve çarpılma vardır.
- (2) Deformasyon miktarı çok daha fazladır.

Şekil 3.14 merkez hattı üzerinden pasolarla kaynaklanmış bir numunede bulunan sekiz farklı deformasyon örneğini göstermektedir. Numune (2.3 mm x 400 mm x 7000 mm) tozaltı kaynağıyla kaynaklanmıştır. Şekil 3.15 alın levhaları için kritik kalınlık değerleri verilmiştir. Örneğin 2 m uzunlukta ve 1 m genişlikte iki panelin kaynaklanması durumunda ( $B=2$  m,  $B/L=1$ ) levha eğer 4.6 mm'den daha az kalınlıkta ise bükülmeye uğrar.



Şekil 3.15. Alın kaynaklarında bükülme şekil değişimi için kritik kalınlık

#### **4. KAYNAKLI BİRLEŞTİRMELERDE OLUŞAN GERİLME VE ŞEKİL DEĞİŞTİRMENİN DÜZELTİLMESİ**

Gerilme ve şekil değiştirmeyi azaltmak için bunların nasıl oluştuğunu, dizayn ve kaynak işlemlerinden nasıl etkilendiklerini anlamak gerekir. Bu konuda verilmiş olan bilgiler etkili dizayn ve uygulamayı saptamakta yararlı olacaktır. Bu bölümde, gerilmeyi düşürmek ve şekil değiştirmeyi kontrol altına almak için kullanılan yöntemlerden bahsedilecektir.

Şekil değişimini azaltmak için kaynak öncesi ve sonrası uyulması gereken kurallar vardır. Kaynak öncesi ağız dizaynı , parçanın belli bir pozisyonda kaynatılması, ön ısıtma şekil değiştirmeyi azaltır. Kaynak sonrası ise şekil değiştirmeyi azaltmak için ısı ve mekanik yöntemlere (tavlama, çekişleme vb.) başvurulur.

##### **4.1. Şekil Değiştirmenin Kontrolü**

###### **4.1.1. Dizayn**

Kaynaklı imalatlarda en ekonomik dizayn, az parça ve minimum kaynak işlemi içeren ve şekil değişimini azaltan dizayndır.

Öncelikle serbest alın kaynaklarında ağız tipi önemlidir. Çünkü ağız dizaynı açısal değişim miktarını etkiler.

Köşeli birleştirmelerde çeşitli ağız dizaynı hazırlamak mümkün olmayabilir. En iyi dizayn gerekli dayanımı sağlayacak kaynak boyutunu minimumda tutan dizayndır. Bu yüzden kaynağın fazla olmasından kaçınılmalı ve şekil değişimi minimuma indirilmelidir.

Şekil değişimi yalnızca iyi dizaynla ve iyi hazırlanmış kaynak ağzıyla kontrol altına alınamaz. Ancak bu işlemler problemin büyüklüğünü azaltmaya ve imalat esnasında istenen sonuca ulaşmayı kolaylaştırır.

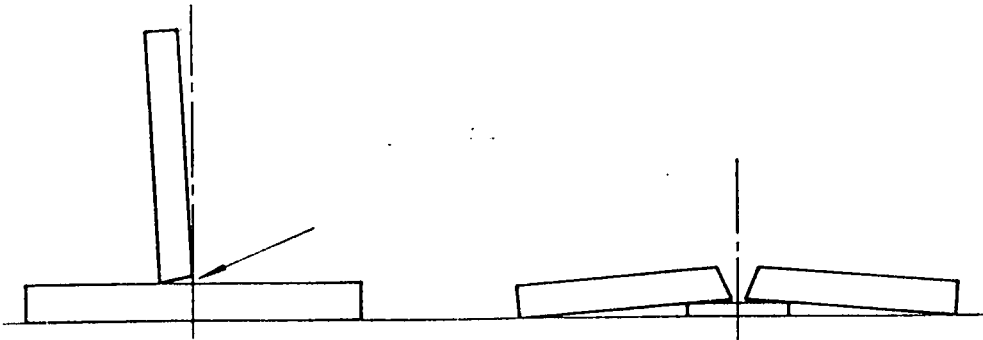
#### 4.1.2. Montaj

Öncelikle şekil değişimlerinin kaçınılmaz olduğu kabul edilir. Sonra bunların nasıl kontrol altına alınabileceği ile ilgilenmek gerekir. Deneyimler göstermiştir ki başarıya bir veya iki montaj metodunun imalata uygulanmasıyla ulaşılabilir. Bunlar:

(1) Kaynak sırasında oluşan şekil değişim miktarını büyük bir yakınlıkla hesaplamak. Sonra normalden şekil değişim miktarı kadar farklı montaj etmek.

(2) Parçaları istenen formda yerleştirmek ve kaynak öncesi parçaları tespit ettikten sonra kaynatmak.

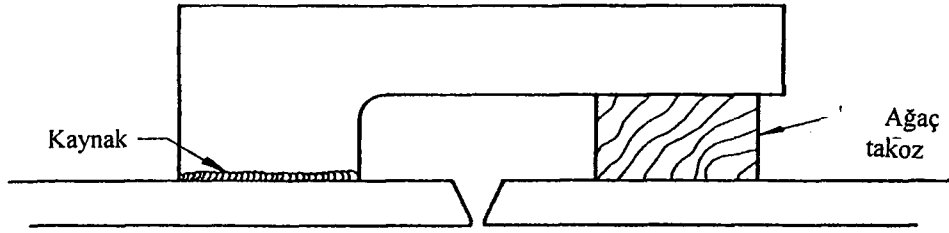
İlk metod daha elverişlidir. Çünkü parçalar serbesttir ve kaynak sırasında hareket edebilir. İkinci metoda göre daha az gerilme içerir. Bununla birlikte, basit imalatlar dışında zor bir metoddur. Bu nedenle (çok sayıda parça içeren büyük ürün imalatlarında) ürünü küçük parçalara bölmek gerekir. Bu parçalar tespit altında kalmadan kaynak edilebilir. Daha sonra oluşan parçalar birbirine monte edilir ve kaynaklanır. Ancak son kaynak tespit altında yapılmak zorunda kalır.



Şekil 4.1. Alın ve köşe birleştirmelerinde ön hazırlık metodu

Şekil 4.1 alın ve köşe kaynaklarında başvurulmuş ön hazırlık metodunun basit örneklerini gösterir. Gerekli değişim miktarı levha kalınlığı, genişliği ve kaynak işlemine göre değişir. Bu nedenle uygulanılacak değişim miktarının deneyle saptanması tavsiye edilir. Ancak, tecrübeyle yaklaşık tahminler yapılabilir.

Tespit altında montaj metodu daha çok tercih edilir. Çünkü daha basittir. Tespit mengenelerle, kısıkaçlarla bir yere sabitleme veya punta kaynağıyla yapılır.

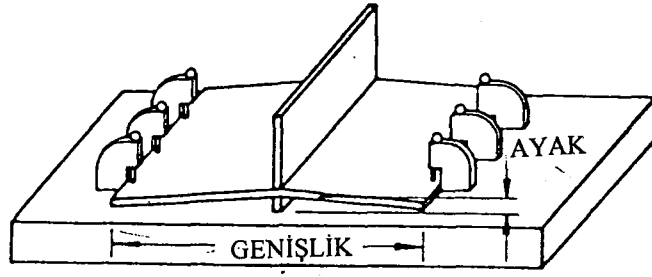


Şekil 4.2. Enine çekmeye izin veren fakat açısız değişimi engelleyen düzenek

Bu metod şekil değişimini minimuma indirirken yüksek gerilmeler oluşturur. Bu yüksek gerilmeler çatlama riskini artırır. Gerilmeler uygun kaynak sırası ve büyük kesitlerde tavlama ile düşürülebilir. Gerilmelerin kaldırılması için kaynak sonrası gerilme kaldırıcı ısıtma işlemleri uygulanmak zorundadır. Parçayı komple tespit altına almak gerekmeyebilir. Bir yönde hareketi engellemek ve diğer yönde serbest kalmasına izin verilebilir. Şekil 4.2'deki düzenekte görüldüğü gibi alın kaynağındaki açısız değişim engellenirken enine çekme serbest bırakılmıştır.

#### 4.1.3. Elastik şekil verme

Bu metotta şekil değiştirme yönüne ters yönde parçalara elastik şekil verilir. Elastik şekil verme ile şekil değiştirmenin kontrolünü bir örnekle açıklayabiliriz (Şekil 4.3). Burada alt levha elastik olarak eğilerek, üst parçaya kaynaklanmaktadır. Dış etkilerin kaldırılmasından sonra açısız değişim önemli bir şekilde düşer.



*Şekil 4.3. T birleştirmelerinde her iki serbest ucu sabitleyip elastik ön şekil değişimini sağlayan aparat*

#### 4.1.4. Ön ısıtma

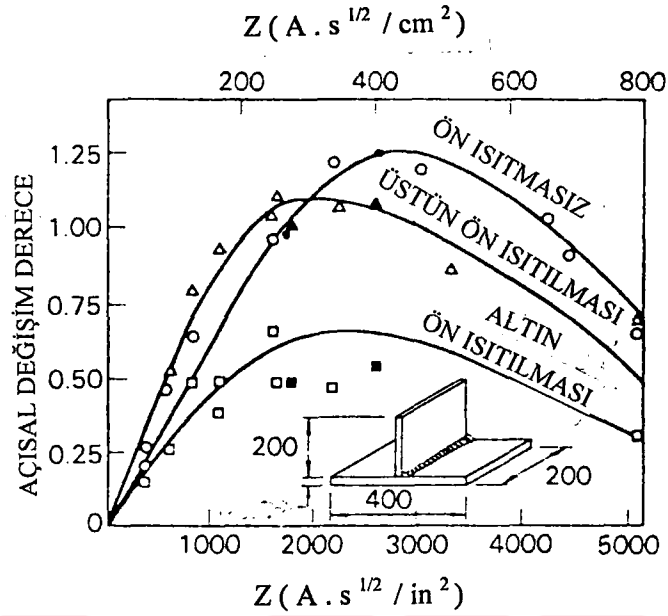
Ön ısıtma ana metalin veya kesitinin kaynak öncesi ortam sıcaklık üzeri bir sıcaklığa ısıtılmasıdır. Birçok operasyonda ana metalin ısısı kontrol edilmelidir. Kontrolün en iyi yolu parçayı ocağın içinde istenen sıcaklığa ısıtmak veya elektriksel yolla (indüksiyon bobinleri ya da direnç telleri) ısıtmaktır. İnce melzemelerde ısı yayan lambalar veya sıcak hava rüzgarı kullanılabilir. Isıtma yapılırken aşırı lokal ısıtmalardan kaçınılmalıdır.

Ön ısıtma, kaynak metali ve ana metalin kırılmasını düşürmede çok etkili bir yoldur. Ön ısıtma genelde iki ana etkenle kaynak edilebilirliği artırır. Kaynak metalinin ve ana metalin soğumasını geciktirir ve çekme gerilmelerini düşürür. Soğuma oranı ön ısıtmasız kaynak için daha hızlıdır. Yüksek ön ısıtma sıcaklığı kaynak sonrası yavaş soğuma oranı demektir. Bunun nedeni ısıl iletkenlik katsayısının sıcaklık arttıkça düşmesidir.

Soğuma oranını düşüren ön ısıtma çeliğe uygun metalurjik yapı sağlar. Bu da östenitik yapının martensitik yapı yerine ferritik ve perlitik yapıya dönüşmesine katkıda bulunur. Ön ısıtılmış kaynak ön ısıtmasız kaynaklardan daha sert bir kaynak bölgesine sahiptir.

Kaynak çekmeleri genelde ön ısıtmayla düşer. Bu gerçek çoğunlukla gözardı edilir ancak çekmeye etkisi büyüktür. Kaynak boyunca gerçek

ölçümler göstermiştir ki ön ısıtmayla 205 °C'ye ısıtılıp kaynak yapılan ağızda oda sıcaklığında kaynak yapılan benzer ağızdan %30 daha az büzülme vardır.



Şekil 4.4. Ön ısıtmanın  $T$  birleştirmelerindeki açısız değişime etkisi

Bununla birlikte parça tespit altında kaynak yapılırsa lokal ön ısıtma, çekme miktarının yükselmesine ve çatlamaya yolaçabilir. Yüksek sıcaklıklarda (315 °C'nin üstü) ön ısıtma malzemenin akma dayanımını azaltır. Bu da çekme gerilmelerini azaltır. Eğer bu gerilmeler ön ısıtmasız bir şekilde oluşursa kaynak metalinde veya kaynağa çok yakın bölgedeki ana metalde sıcak kırılmalar oluşabilir.

Ön ısıtma köşe kaynaklarında açısız değişimi düşürmek için de kullanılan bir metoddur. Şekil 4.4 farklı şartlar altında ve farklı kalınlıktaki köşe kaynaklarında oluşan açısız değişimi gösterir. Burada  $Z$  parametresi aşağıdaki eşitlikle saptanır.

$$Z = I / t \sqrt{vt} \quad (4.1)$$

$I$  = kaynak akımı

$t$  = yatay levha kalınlığı

$v$  = kaynak hızı

Z parametresi dolaylı olarak köşe kaynak boyutudur. Çünkü kaynak alanı, kaynak akımının kaynak hızına oranıyla orantılıdır.

#### 4.2. Şekil Değiştirmenin Düzeltilmesi

Şekil değişimini kabul edilir sınırlar içinde tutmak her zaman mümkün değildir. Bu özellikle yeni dizaynlar için geçerlidir. Çok dikkatli planlamalara rağmen şekil değişimi aşırı olabilir.

Şekil değişimi değişime uğramış kesit veya parçada uygun plastik deformasyon yaratarak giderilir. Gerekli deformasyon miktarı aşağıda bahsedilen ısı ve mekanik metodlarla elde edilir. Bunlar, kaynak sonrası ısıtma, çekiçleme, basınçla düzeltme, titreşimle gerilme kaldırmadır. Bu bölümde metodların nasıl uygulandığı, gerilme ve şekil değiştirmeyi nasıl etkiledikleri anlatılacaktır.

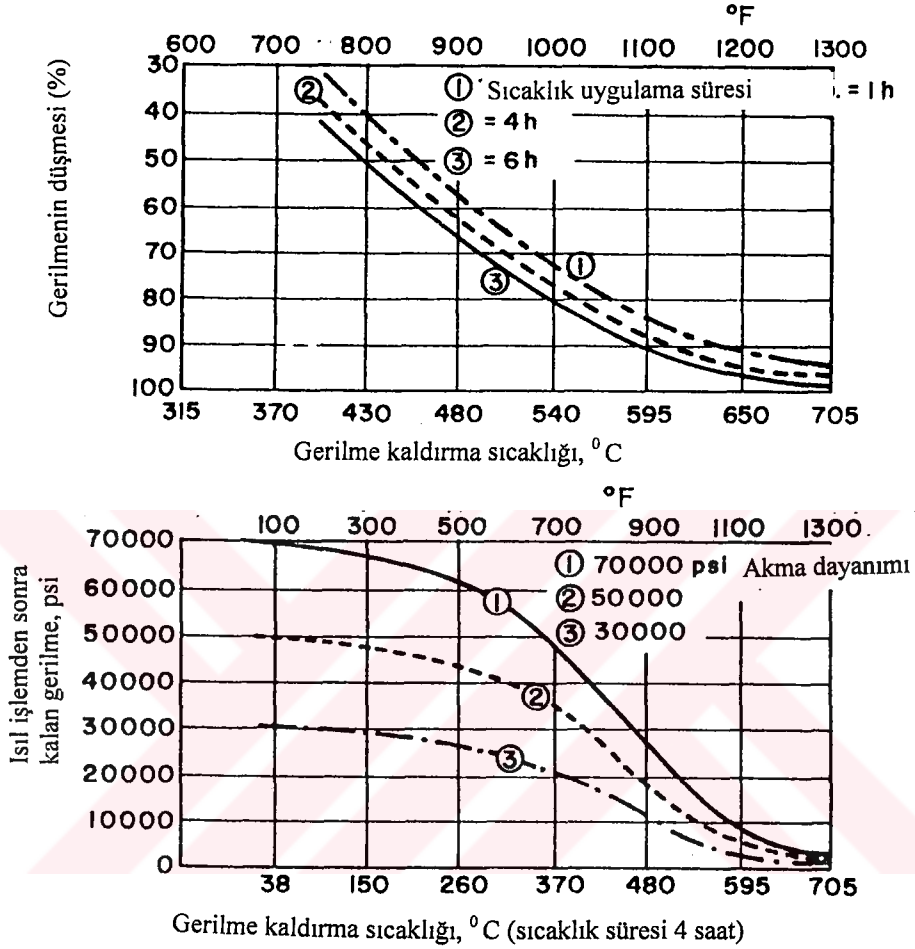
Isıl ve mekanik işlemlerin kaynak ısısının etkilediği bölgedeki ana metalin özelliklerinin koruması ve onarması gerekir. Isıl işlem kaynak metalinin özelliklerini geliştirebilir. Bu işlemlerin gerilmeyi kaldırması, ana ve kaynak metalindeki istenen mikroyapıyı oluşturması gerekir. Ana metaldeki değişimin derecesi sıcaklığa, uygulama periyoduna, metal bileşimine, soğutma oranına bağlıdır. Diğer faktörler ise ağız dizaynı, kaynak işlemi vb. faktörlerdir.

##### 4.2.1. Kaynak sonrası ısı işlem

Bu yöntemde kaynaklı yapı uygun sıcaklığa düzgün bir şekilde yükseltilir, bu sıcaklıkta önceden saptanmış bir zaman periyodunda tutulur ve tekrar düzgün bir şekilde soğutulur. Boyutsal değişime ve taneli yapıda değişime yolaçan ısı işlemler parçayı yaralayabilir. Netice olarak gerilme kaldırma ısı işlemi kritik değerin altında uygulanmalıdır.



Gerilmeler uygulanan sıcaklıktaki akma noktasının hemen altına düşerler. Malzeme üzerinde kalan gerilmeler soğuma oranına bağlıdır. Üst sıcaklıktan ortam sıcaklığına düzensiz soğumalar ek gerilmelere neden olabilirler.



Şekil 4.5. Sıcaklık ve zamanın gerilme kaldırmaya etkisi

Kaybolan gerilme yüzdesi çelik tipine veya akma dayanımına bağlıdır. Zaman ve sıcaklığın etkileri Şekil 4.5’de gösterilmiştir. Uygulama esnasında sıcaklığın etkisi uygulanan zaman diliminden çok daha fazladır. Düzgün ısıtma ve soğutma yapılırsa kritik sıcaklığa yakın sıcaklıklar daha etkilidir.

Isıl gerilme kaldırma işlemi uygulandığında diğer önemli özellikler de göz önüne alınmalıdır. Mikroyapı, çekme ve darbe dayanımı bu yöntemden etkilenen özellikler arasındadır. Bundan dolayı maksimum gerilme kaldırmayı düşünürken bu özellikleri de geliştirmeyi düşünerek sıcaklığı seçmek gerekir.

Kaynaklı birleştirmelerde gerilmenin çok fazla olduğu durumlarda gerilmeleri düşürmek için kullanılan bir ısı gerilme kaldırma yöntemi daha vardır. Parça kaynaklı ağzın her iki kenarından 175 °C ile 205 °C arasına kadar ısıtılır. Bu sırada kaynağın kendisi ısıtılan kısma oranla daha soğuktur. Parçanın ısıtılan bantları kaynağa paralel ve her kenara bitişiktir. Bu işlem sonucunda ana metalde ısı genişlemeler ve kaynakta karşılıklı çekme gerilmeleri oluşur. Bu uygulamanın teorisi, basınç altındaki iki alan ısı olarak genişler ve bu kaynaktaki çekme gerilmelerini akma sınırına kadar yükseltir. Metal düzenli olarak soğur ve büzüldüğünde gerilme akma sınırının altına doğru iner. İşlem doğru uygulandığında alın kaynaklarındaki boyuna çekme miktarı da düşer. Enine çekmedeki gerilme düşümü %60'ın üzerine çıkarken, boyuna gerilmelerdeki düşüş de bir hayli fazladır.

#### 4.2.2. Çekiçleme

Çekiçleme uzun zamandır kaynak endüstrisinde kullanılan bir yöntemdir. Bu yöntem bilimsel verilerden çok görüşler üzerine kurulmuştur. Çünkü henüz çekiçlemenin etkisini ölçecek pratik bir metod yoktur. Çeşitli spesifikasyonlar ve kodlar kaynağın ilk ve son pasolarında çekiçleme yapılmasını istememektedirler. Kesin bir şey vardır ki o da ilk pasoda çekiçleme yapılmamalıdır. Nedeni, soğuk işlem kaynak metalini yaralayabilir.

ABS tarafından yürütülen laboratuvar test sonuçları ve Naval Research Laboratory tarafından yapılan testler ilk ve son pasolarda çekiçlemenin yapılmaması gerektiğini doğrulamıştır. Çekiçleme her kaynak pasosunda (ilk ve son hariç) uygulandığında etkilidir. Kaynak kalınlığı yükselirse çekiçlemenin etkisi azalır.

#### 4.2.3. Basınçla gerilme kaldırma

Araştırmalar, kaynaklı birleştirmelerin üniform olarak ağır bir şekilde yüklenmesinin, artık boyuna gerilmeyi yükleme miktarına bağlı olarak azalttığını göstermektedir.

Silindirik ve küresel basınçlı kaplardaki artık gerilmeler hidrostatik yükleme sayesinde azaltılabilir. Silindirik kaplarda hidrostatik yükleme, boyuna gerilmenin yaklaşık iki katı büyüklüğünde dairesel gerilme oluşturur, böylece dairesel kaynaklardaki artık gerilme miktarındaki azalma boyuna kaynaklardaki artık gerilme miktarındaki azalmanın sadece yarısı kadar olacaktır.

Karmaşık geometriye sahip kaynaklı yapılarda, basınçla gerilme kaldırma işlemi oldukça zordur. Bu yüzden nadiren kullanılır. Bu işlem imalat sonu operasyonu olarak uygulanır. Plastik şekil değiştirme yüzünden ürünlerdeki düzensizlikler giderilir. Sonuç olarak tümüyle elastik ve güvenli sınırlarda servise hazır hale gelir.

#### **4.2.4. Titreşimle gerilme kaldırma**

Titreşimlerin meydana getirdiği mekanik enerji kaynaklarda gerilmeleri kaldırmak için kullanılır. Parça titreşim üreten jeneratöre mekanik olarak bağlanır. Parça, parçanın doğal frekansında titreştirilir. Bu yöntemin etkili olabilmesi için gerilme kaldırılacak bölgede plastik akış üretmelidir. Bu metodla tüm gerilmeyi gidermek mümkün olmayabilir. Bununla birlikte gerilmenin uç nokta büyüklükleri kırılabilir. Yöntem gevrek kırılma dayanımını da arttırabilir. Bazı ürünlerde ürünün karmaşıklığı yüzünden akma noktasına ulaşılamaz. Bu durumlarda bile şekil değişiminde bazı gelişmeler elde edilebilir.

Titreşimle gerilme kaldırma yöntemi kaynaklardaki metalurjik yapıyı değiştirmez. Bu yüzden tartışılan bir yöntemdir ve hakkında çok az veri vardır. Dahası yöntem hakkındaki fikirler çok çeşitlidir. Bazıları çok etkili olduğunu savunurken, bazıları etkisinin olmadığını savunmaktadır.

#### 4.2.5. Malzemenin düzeltmeye etkisi

##### *Normal Yapı Çelikleri:*

Normal yapı çeliklerinden; çekme dayanımı 45 kgf/mm<sup>2</sup>, çentik darbe dayanımı 6 kgf/ cm<sup>2</sup>'den büyük ve uzama miktarı %20'den büyük mekanik özelliklere sahip olanlar iyice düzeltilebilir.

##### *Yüksek Karbonlu ve Hafif Alaşımlı Çelikler:*

Bu çelikler ancak şartlı olarak düzeltilebilir. Küçük bir tecrübe ile tavlama öncesi ve sonraki çekme dayanımı, çentik darbe dayanımı ve kopma uzamalarının tespit edilmesi gerekir.

##### *Dökme Çelik:*

Dökme çelikten üretilen yapı malzemeleri tavlama ile gayet iyi bir şekilde düzeltilebilir. Fakat gerilme kaldırma tavlama tabii tutulan kısımların tekrar gerilme kazanmamasına dikkat edilmelidir.

##### *Kır Dökme Demir:*

Kır dökme demir büyük bir dikkatle yalnız şartlı olarak alevle düzeltilebilir. Hafif şekilde çekmeye ve basmaya zorlanabilir. Gayet yavaş ısıtılmalı ve soğutulmalıdır.

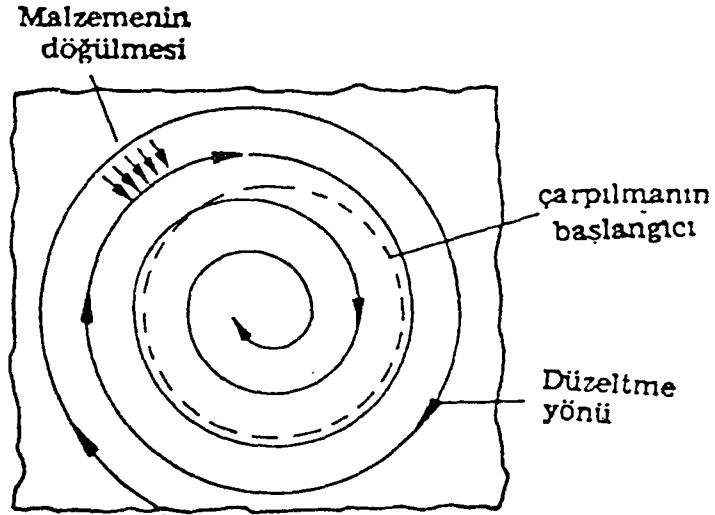
#### 4.3. Şekil Değiştirmenin Düzeltmesinde Kullanılan Yöntemler

Farklı yapılar için farklı düzeltme yöntemleri kullanılmaktadır. İyi bir neticeye ancak yöntemi iyi seçmek ve onu hatasız uygulamakla ulaşılabilir. Düzeltme yöntemlerini, soğuk ve sıcak düzeltme olarak ayırabiliriz. Bazı durumlarda bu iki yöntemi birlikte kullanmak gerekebilmektedir.

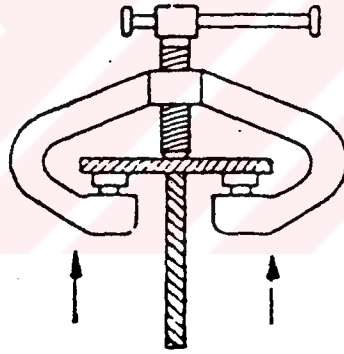
##### 4.3.1. Soğuk düzeltme yöntemi

Soğuk olarak yapılan düzeltme işlemidir. Genellikle küçük miktardaki çarpımlarda kullanılır. Ayrıca parça soğuk olarak doğrultulacak kadar ince olmalıdır. Örnek olarak 3 mm kalınlığındaki levhaların çarpımları, mekanik

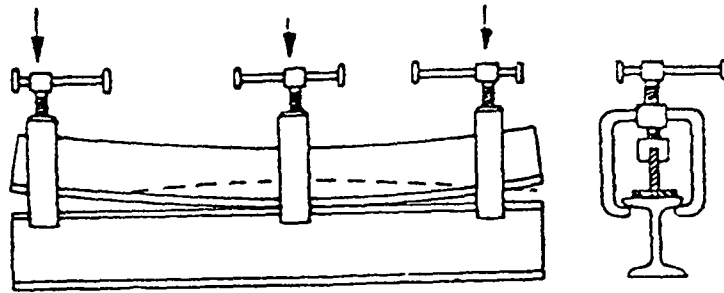
arpılmaların bütün eşitleri ile eğilme gibi şekil bozuklukları soğuk düzeltme yöntemi ile düzeltilebilir.



şekil 4.6. Hafif arpılmaların tavlamadan eki darbeleriyle düzeltilmesi

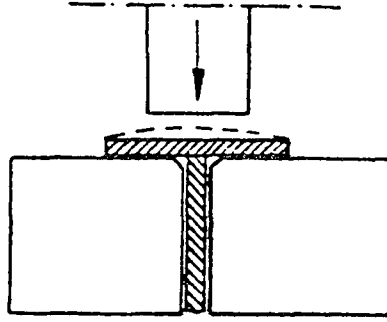


şekil 4.7. T profilinin basınç gerilmesi uygulanılarak düzeltilmesi



şekil 4.8. T profilinin tespit tertibatlarıyla düzeltilmesi

Çekiçle düzeltme, baskı altında (kıskaç, kriko) düzeltme soğuk düzeltme yöntemleridir. Örneğin, hafif kabarıklıkların bulunduğu parçalar çekiç darbesiyle helezonvari bir tarzda dövülerek giderilir (Şekil 4.6). T profilleri ya basınç gerilmesi uygulayan mekanizmalarla (Şekil 4.7), ya tespit mekanizmalarıyla (Şekil 4.8) ya da preslerle (Şekil 4.9) düzeltilir.



*Şekil 4.9. T profilinin presle düzeltilmesi*

#### 4.3.2. Sıcak düzeltme yöntemi

Düzeltilecek bölgenin ısıtılmasını (tavlanması) ve tavlanan bölgenin çekişlenmesini, gerdirilmesini veya mekanik olarak payanda vurulmasını kapsar. Düzeltme için kullanılan tüm payandalar, liftinler, krikolar yapıda yeni çarpılma ve hasar yapmayacak şekilde yapı stifnerlerine oturtulmalı veya bağlanmalıdır.

Tavlanan metalin şekil düzeltme işlemini hızlandırmak için tavlanan bölgenin etrafını veya tavlanan bölgenin kendisini çekişlemek gereklidir. Ayrıca tavlanan bölgenin su veya basınçlı hava ile soğutulması da işlemi hızlandırır. Ancak bazı yönlerden sakıncalı olduğu için yaygın olarak kullanılan ve tavsiye edilen bir yöntem değildir.

Tavlama işlemi sırasında yanlış anlaşılabilir etkilere ortaya çıkar. Sıcaklık yükselmesiyle metal genişler, bu nedenle ilk ısıtmada levha eğriliği bir miktar daha artar. Bu eğrilik büyümesi, sıcaklık artımı ile eğrilikte biriken iç gerilme kuvvetleriyle önlenir. Daha sonra metal akma noktasına ulaştığında gerilme kuvvetleri dengesi kurularak eğrilik büyümesi azalır ve metalin iç

kuvvetlerini yenerek tavlanan yerde dengenin tersine dönmesini sağlar. Levha yüzey ölçülerinin azalması ile doğrultma yapılmış olur.

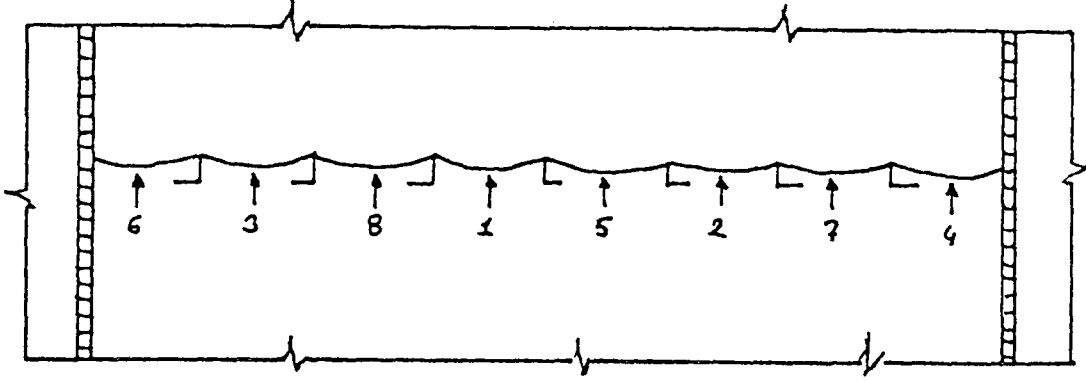
Tavlama daima eğriliğin olduğu taraftan yapılmalıdır. Bazı eğriliklerin tekrar tavllanması gerekiyorsa aynı yer tekrar tavlalmaz. Tavlanan şeritler veya noktalar yan yana olmalı ve açık olarak markalanmalıdır.

Düzeltilme etkileri metal sıcaklığı 100 °C'nin altına düşünceye kadar metal soğumadan önce ölçülmez. Bu sıcaklığın üzerinde metal henüz dengeli değildir. Yani büzülme sonucu henüz yeterli olarak belirmemiştir. Tavlanan yer soğurken düzeltme neticesini bilmeden tekrar tavlama yapılması gerektiğine karar verilemeyeceğinden, soğumakta olan bu yere çok yakın yerlerde tavlama tekrarı yapılmamalıdır. Zamanı değerlendirmek bakımından bu soğuma sırasında başka yerlerdeki eğriliklerin düzeltilmesi için tavlama yapılabilir. Bu yer yapılacak tavlama sırasında meydana gelecek sıcaklığın soğumakta olan yerlere etkisi olmayacak kadar uzak mesafede olmalıdır.

Metalin 900 °C'nin üzerinde aşırı ısıtılması onun gevrekleşmesine, levha üzerinde çok büyük bir alanın tavlanaşına sebep olur. Bütün gerilme kuvvetlerinin serbest bırakılması levhanın eğriliğinin tersine dönerek düzelme kabiliyetinin kaybolmasına yol açar. Neticede eğriliklerin düzeltilmesi yapılamaz. Bu nedenle düzeltme işleminde tavlamaı durdurma anını yakalamak çok önemlidir. Bu an genellikle eğrilik kaybolmadan önce gelir. Metalin soğuması sırasında büzülme olacaktır, bu büzülme için bir rezerv eğrilik bırakılmasına dikkat edilmelidir. Bu yolla büzülme kuvvetleri yardımıyla büzülme işlemi tamamlanır ve levha gerginliği sağlanarak düzeltilmiş olur. Şayet büzülme için rezerv eğrilik bırakılmaz ise büzülme kuvvetleri ikinci dereceli gerilmeler meydana getirerek levha üzerinde yeni eğrilikler yaratılmasına veya çatlamaya sebep olur.

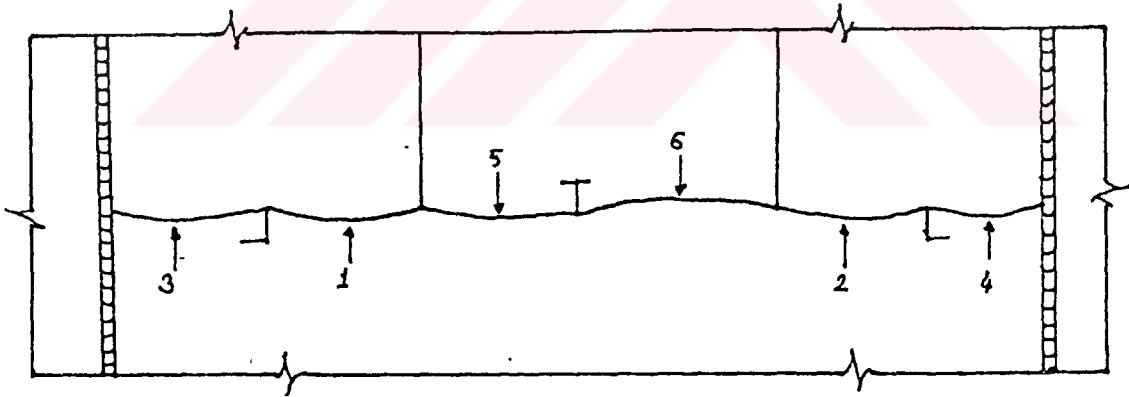
Stifnerlerle veya çeşitli takviye elemanlarıyla takviye edilmiş çelik levhaların çok sayıda olan düzeltmelerinde çarpılma olan yerleri eğrilikleri ile aynı yönlü olarak düzeltilmelidir. Düzeltmeye sıra ile yan yana devam

edildiğinde başarılı olunamaz. Bu husus bir düzeltmenin yakınındakinin düzeltilmesine etki edeceği şeklinde açıklanabilir (Şekil 4.10).



Şekil 4.10. Aynı yönlü eğrilerin düzeltme sırası

Düzeltilme yapılan yerlerde doğrultmanın sebep olduğu gerilmelerin yarattığı ikinci dereceli çarpılmalar oluşabilir. Eğer yapıda ters yönlü eğrilikler varsa, (+,-) doğrultma önce yapının bir tarafında yapılır. Yani önce bütün (+) eğrilikler daha sonra (-) eğrilikler doğrultulur (Şekil 4.11).



Şekil 4.11. Ters yönlü eğriliklerin düzeltilmesi

Eğer az sayıda bitişik bölümlerin doğrultulması yapılacaksa yine kaydırma yöntemi uygulanır. Yani doğrultma işlemi birer birer atlayarak yapılır. Daha sonra arada kalan bölmelerin doğrultulması yapılır. Yapı tamamen soğuduktan sonra doğrultma sonuçlarının kontrolü yapılır.



Düzeltilmelerde bir önceki düzeltmeden dolayı yapı tamamen soğumadan bir sonraki düzeltme işlemine başlanabilir. Aynı zamanda yapılan düzeltme işlemleri, düzeltme yerlerindeki ısıtma sıcaklığının bir diğerine etkisi olmayacak şekilde birbirine mesafesi olan yerlerde yapılabilir. Düzeltme karmaşık ve zor bir işlemdir. Bu nedenle işlemin uygulanmasında ustalık, tecrübe ve uygulama ile bağlantılı olarak tüm gereçleri gerektirir. Düzeltmenin iyi sonuçları aşağıdaki şartlara bağlıdır:

- Uygun düzeltme yöntemi seçimi
- Tavlanacak yerin seçiminin uygunluğu
- Tavlanacak alan ölçülerinin doğruluğu
- Yeterli tav sıcaklığı
- Çekiçleme uygulamasının ustalığı
- Soğutma işlemi ve şiddeti
- Düzeltme işleminin gerçekleştirilme hassasiyeti

Şekil değiştirmeyi düzeltmek için tavlama oksii-asetilen tav üfleçleri ile gerçekleştirilir. Üfleç uçları tavlanacak levha kalınlıklarına göre sınıflandırılır. Üfleci iyi kullanmak ustalık gerektirir. Düzeltme işleminde çok önemli iki faktör olan en yararlı tavlama şiddeti ve hızına ulaşmak için tavlamaı yapan, üfleci kullanmada daha yüksek kalorifik etkiye ulaşmayı amaçlamalıdır. Üfleç önündeki levhanın istenilen sıcaklığa ısıtılması ve metalin aşırı ısınmasına neden olmaması için ustalık ve hassasiyet gerekir.

Tavlama sıcaklığı levha veya diğer elemanların kalınlıklarına bağlı olarak 650 °C ile 850 °C arasındadır. Metalin ısıtma sıcaklığı pratik olarak ısınma sırasında metalin alacağı renk ile anlaşılır. Belirli sıcaklık aralıklarında kullanılan özel master çubuklarla da bulunabilir.

Levha kalınlıklarına göre yaklaşık sıcaklıkları Çizelge 4.1'de verilmiştir. Tavlama sırasında sıcaklık gözlenmesi ve değerlendirilmesi yapılırken metalin alacağı rengin gün ışığında veya kapalı bölümde farklı olarak görüleceği dikkate alınmalıdır.

*Çizelge 4.1. Kalınlığa bağılı ısıtma sıcaklığı ve levhanın aldığı renk*

| levha kalınlığı (mm) | sıcaklık ( °C ) | renk            |
|----------------------|-----------------|-----------------|
| 2-3                  | 650-750         | koyu kırmızı    |
| 4-8                  | 700-800         | koyu kırmızı    |
| 9 ve üzeri           | 750-850         | kiraz kırmızısı |

Tavlamada kullanılacak üfleç alevi tam nötr olmalıdır. Yani oksijen ve asetilen fazlalıkları olmamalıdır. Alevdeki en ufak bir oksijen fazlalığına izin verilmemelidir. Bu nedenle üfleç alevi asetilen fazlalık limiti esası üzerine oluşturulur. Asetilen fazlalığı alevde parlak küçük iç koni meydana gelinceye kadar asetilen valfini kısmak suretiyle azaltılır. Bir iç alev konisinin meydana getirilmesiyle üfleç alevinde oksijen fazlalığı kalmamış demektir.

Tavlamada iyi sonuçlar elde edilmesi tavlayan kişinin ustalığına bağlıdır. Levha üzerinde üflecin kullanılmasında, kullanan kişi, alev iç konisi ile levha arasındaki mesafenin uygun olmasına ve daima aynı kalmasına dikkat etmelidir. Bu mesafe üfleç boyutuna bağlı olarak 3-5 mm arasında olmalıdır.

#### 4.3.2.1. Çizgisel tavlama

Çizgisel tavlama en çok kullanılan yöntemlerden biridir. Burada üfleç tavlama genişliğinde hafif bir zikzak yaparak hareket ettirilir. Tavlanacak şerit genişliği levha kalınlığına bağlıdır. Kalın levhalar, daha geniş şerit halinde tavlmalıdır. Levha kalınlıklarına bağlı olarak tavlanan şerit genişlikleri yaklaşık olarak aşağıda verilmiştir:

| <u>Levha Kalınlığı (mm)</u> | <u>Tavlanan Şerit Genişliği (mm)</u> |
|-----------------------------|--------------------------------------|
| 2-3                         | 8-14                                 |
| 4-6                         | 14-22                                |
| 7-10                        | 18-30                                |
| 11-15                       | 25-30                                |
| 16-20                       | 30-40                                |

İstenilen sıcaklığa kısa zamanda erişildiği takdirde iyi bir kendini çekme tesiri sağlanmış olur. Bunun içinde oksii-asetilen kaynağına nazaran daha büyük üfleç kullanmak gerekir (Çizelge 4.2).

*Çizelge 4.2. Tavlamada sac kalınlığının üfleç büyüklüğüyle ilişkisi*

| Sac kalınlığı (mm) | Üfleç büyüklüğü (mm) |
|--------------------|----------------------|
| 4-6                | 6-9                  |
| 6-9                | 9-14                 |
| 9-14               | 14-20                |
| 14-20              | 20-30                |
| 20-30              | 30-50                |

Bu yöntemin avantajlarını şöyle sıralayabiliriz:

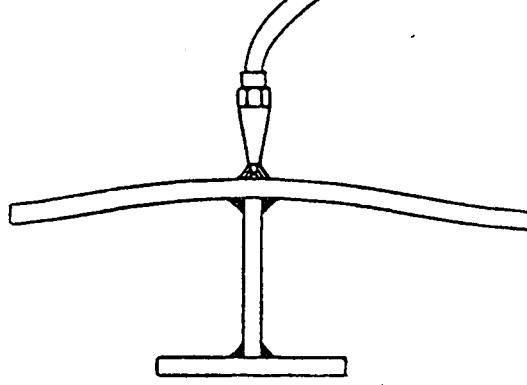
- Tavlanan kısımların bütün levha üzerindeki yayılışı dolayısıyla muntazam bir gerilme dağılışı meydana gelir.
- Bu yöntemde gerilmelerin toplandığı noktalar, nokta yöntemi tavlama göre azdır.
- Az bir kuvvete ihtiyaç vardır.
- Çekiçle dövme muayyen ve zaruri yerlerde kullanıldığı için gürültüsü az bir yöntemdir.
- Şekil değişimine uğramış kısımlarda ve malzemenin yüzeylerinde kalınlaşma asgaridir.

Çizgi yöntemiyle tavlamanın karşı şekil değişimi sağlaması, kaynaklı birleştirmelerin doğrultulması ve mevzii çarpılmalarının düzeltilmesi gibi başlıca üç esas kullanım sahası mevcuttur.

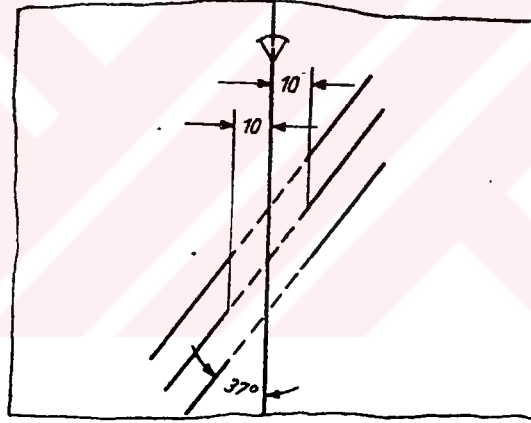
*Karşı şekil değiştirme sağlanması:* Bir iç köşe birleştirmesinde meydana gelen şekil değişimi (Şekil 4.12) bu yöntem ile tavlama ile karşı açısal bir deformasyon oluşturarak doğrultulur.

*Kaynak bağlantılarının doğrultulması:* Çizgi yöntemi kaynak dikişine

yaklaşık  $37^0$ 'lık bir açı altında ve dikişin her tarafından 10 mm'ye kadar gidecek şekilde uygulanır (Şekil 4.13). Tavlama sırasında dikişi atlamak gerekir. Ortalama sıcaklık  $600^0\text{C}$ 'yi geçmemelidir. Çekiçe dövme düzeltme etkisini artırır.

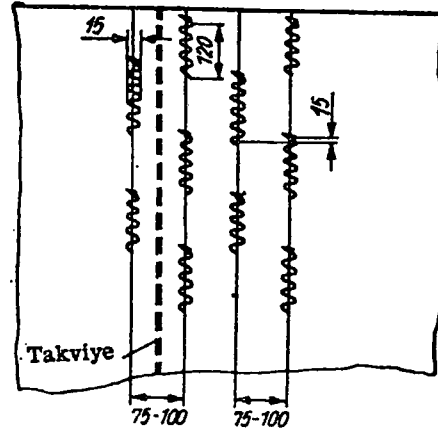
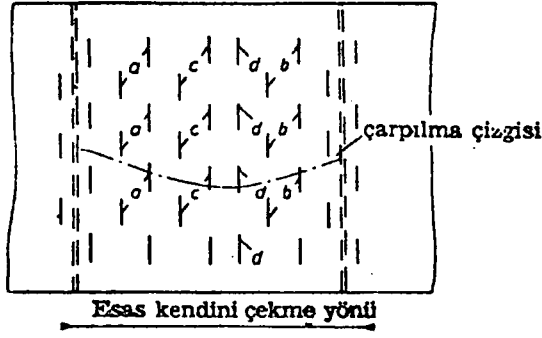


Şekil 4.12. Çizgi yöntemi tavlamayla açısal şekil değişimi oluşturma



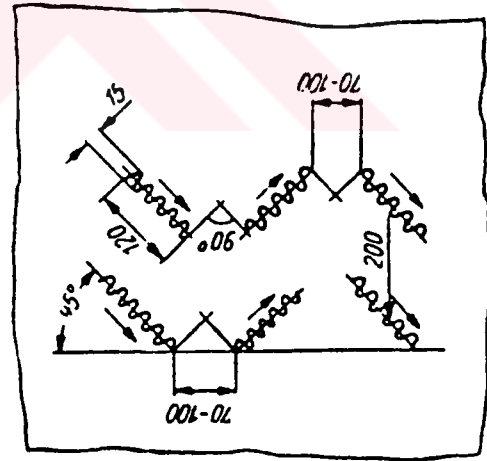
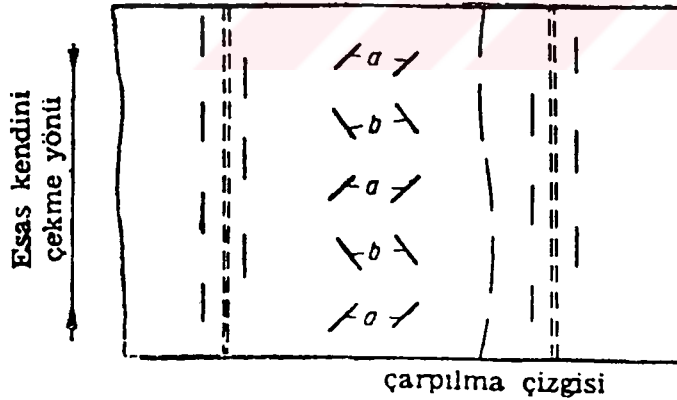
Şekil 4.13. Çizgi yöntemi tavlamayla bir kaynak bağlantısının düzeltilmesi

**Mevzii çarpılmaların düzeltilmesi:** Deformasyonların şekline göre çizgi tavlamaya paralel çizgiler halinde ya da  $45^0$ 'lık bir açı altında uygulanır. Esas kendini çekmenin giderilmesinde genelde alanı takviye eden kısımlardan ortaya doğru gidilir ve boylamasına muntazam çarpımlarda, bütün sacın alanı takviyelere paralel olarak tavllanır (Şekil 4.14). Bu tavlamalar 120 ile 150 mm boyunda ve takriben 15 mm genişliğinde çizgiler halinde yapılmalıdır. Paralel tavlama aralıkları arasındaki mesafede 75 ile 100 mm arasında bulunmalı ve tavlama çizgileri dışarıdan içeriye doğru uygulanmalıdır.



Şekil 4.14. Mevzii çarpımların düzeltilmesi  
(boylamasına muntazam şekil değişimi)

Takviyelere dik yani levha alanındaki konveks veya konkav çarpımlardan ibaret çarpımların giderilmesinde, tavlama çizgileri  $45^{\circ}$ 'lik bir açı altında tatbik edilir. Buradaki tavlamlar yine 120 mm ile 150 mm boyunda ve takriben 15 mm genişliğinde çizgiler halinde yapılır. Bu paralel sıralar arasındaki mesafe 200 mm ve birbirinden uzaklığı da 70 mm ile 100 mm arasında olmalıdır (Şekil 4.15).



Şekil 4.15. Mevzii çarpımların düzeltilmesi  
(enine şekil değişimi)

#### 4.3.2.2. Noktasal tavlama

Bu yöntemde tavlama noktalar halinde yapılır ve sonra düz bir demirci baskısıyla hafif dövülerek, özellikle kaynaklı profil kuşakların arasındaki

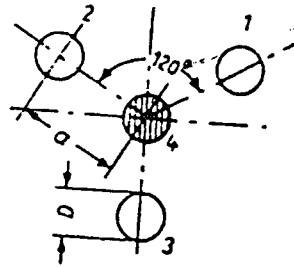
kısımlar düzeltilir. Önceleri daha yaygın olarak kullanılan bu yöntem, günümüzde ince levhaların dışında fazla kullanılmamaktadır. Bunun sebebi karşılaştırma çizelgesinde (Çizelge 4.3) görülmektedir. Bu yöntemin en zayıf noktası kendini çekme kuvvetinin çok büyük olmasından dolayı birbirine komşu parçaların birbirini etkileme olasılığıdır. Çeşitli noktasal tavlama yöntemleri vardır.

Çizelge 4.3. Çizgisel ve noktasal tavlama yöntemlerinin karşılaştırılması

| Özellikler                   | Çizgisel tavlama | Noktasal tavlama     |
|------------------------------|------------------|----------------------|
| kendini çekme kuvveti        | küçük            | büyük                |
| yüzey                        | iyi              | yanma işaretleri var |
| ısıtma sıcaklığı             | düşük            | yüksek               |
| teknik                       | kolay            | zor                  |
| hafif çekiçleme              | gereksiz         | gerekli              |
| şekil değiştirme etkileşmesi | nadir            | sık sık              |

#### Üçgen tavlama :

Bu yöntemde şekil 4.16'da görüldüğü gibi önce 1,2,3 noktaları sırasıyla tavllanır; Bu noktalar 100 °C ila 120 °C'ye kadar soğuyunca ortadaki 4 nolu nokta tavlanamaya başlanır.



**D = Tavlama noktalarının çapı**

**s = Sac kalınlığı**

**f = Azami şişkinlik (çarpılma) yüksekliği.**

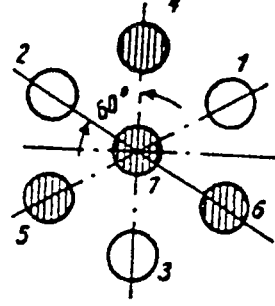
**a = Tavlama noktalarının merkeze mesafesi.**

$$D = 8 \cdot s + 10$$

$$a = D + 150 - 4 \cdot f.$$

Şekil 4.16. Üçgen tertip tavlama(1)

Eğer çarpılma miktarı fazla ise şekil 4.17’de verilen tarzda önceden tavlanan noktaların arasındaki 4,5,6 ve 7 noktaları tavllanır. Tavlama sırasında tavlanan noktanın çapı fazla büyük olmamalıdır. Tavlanan noktaların üçgen merkezine olan mesafeleri ile tavlama çapları, sac kalınlığına bağlı olarak çizelge 4.4’te verilmiştir.



Şekil 4.17. Üçgen tertip tavlama(2)

Çizelge 4.4. Üçgen tertip tavlamaya ait karakteristikler

| Sac kalınlığı<br>(mm) | Tavlama Noktasının çapı<br>(mm) | Tavalama noktasının merkeze<br>mesafesi (mm) |
|-----------------------|---------------------------------|----------------------------------------------|
| 2                     | 25                              | 90-120                                       |
| 3                     | 35                              | 90-120                                       |
| 5                     | 50                              | 100-130                                      |
| 6                     | 60                              | 120-150                                      |
| 7                     | 65                              | 120-150                                      |
| 8                     | 75                              | 130-160                                      |
| 10                    | 90                              | 140-170                                      |
| 12                    | 100                             | 150-180                                      |
| 14-16                 | 120                             | 150-180                                      |

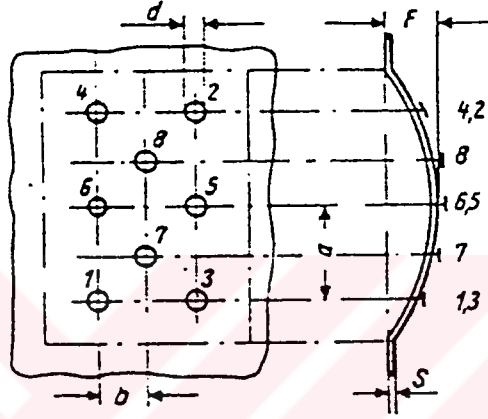
#### Satranç yöntemi :

Bu yöntem daha çok yassı parçalara (levha ve sac) uygulanır. Şişkinliğin bulunduğu taraftan parça şekil 4.18’de görülen sıralar dahilinde (1 ile 8) noktalar halinde tavllanır. Eğer soğuma sonrası tavlamanın yetmediği anlaşılırsa bu defa daha önce tavlanan noktaların arasına gelecek şekilde 9 dan 17 ye tavlama yapılır (Şekil 4.19). Satranç yöntemi tavlama

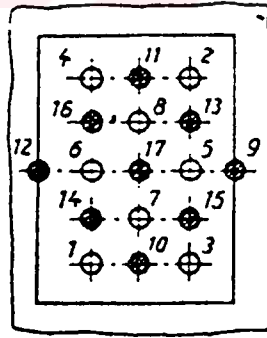
noktalarının çapı çizelge 4.5'deki değerleri aşmamalıdır. Tavlama noktalarının durumu sacın kalınlığına bağlı olup, yaklaşık olarak  $a=300-350$  mm,  $b=150-200$  mm'dir .

Çizelge 4.5. Sac kalınlığına bağlı tavlama noktası çapı

| Sac kalınlığı (mm) | Tavlama noktasının çapı (mm) |
|--------------------|------------------------------|
| 2-3                | 30-40                        |
| 4-12               | 40-50                        |



Şekil 4.18. Satranç tertibi tavlama(1)



Şekil 4.19. Satranç tertibi tavlama (2)

#### Kare formu :

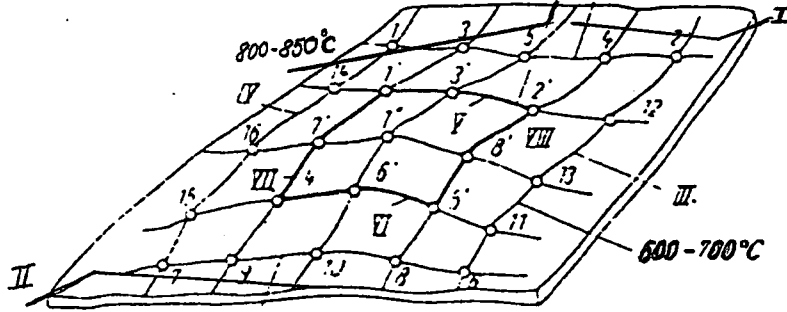
Tavlamaya başlamadan önce parçanın kenarları iyi bir şekilde tespit edilmeli ve tavlama sırası noktalar halinde çarpılmaların kenarlarından başlamalıdır (Şekil 4.20). Soğutma sonrası uygulamanın yetmediği anlaşılırsa parçanın ortasına doğru tavlama devam etmelidir. Hafif bir dövme müsaade



edilebilir. Tavlama noktalarının çapı ve aralarındaki mesafe aşağıda verilen değerleri aşmamalıdır.

Tavlama noktasının çapı = 20-30 mm

Tavlama noktaları arasındaki mesafe = 40-50 mm



Şekil 4.20. Kare formda tavlama

Tavlama sıcaklığı kenarlarda 600 °C-700 °C ve ortalarda 800 °C-850 °C arasında olmalıdır. Bu tavlama tarzı 2 mm ile 6 mm arasındaki saclara uygulanmalıdır.

#### Dairesel form :

Dairesel formda yapılan tavlama sırası şekil 4.21’de verilmiştir. Tavlama noktalarının çapları ve aralarındaki mesafe kare formunda olduğu gibidir. Daireler arasındaki mesafeler aşağıda verilmiştir.

RA = 8 x 40 ..... 50 mm

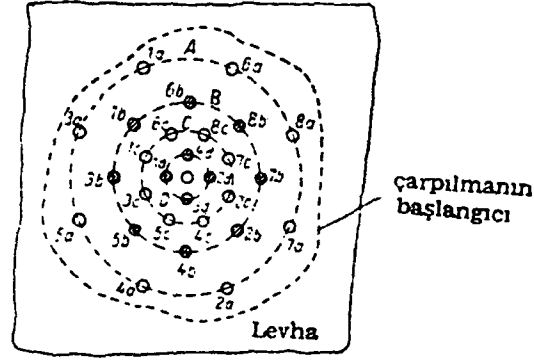
RB = 4 x 40 ..... 50 mm

RC = 2 x 40 ..... 50 mm

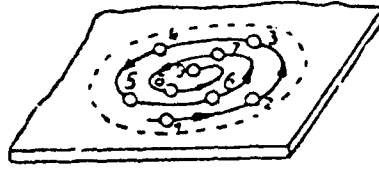
RD = 1 x 40 ..... 50 mm

#### Helezonik form :

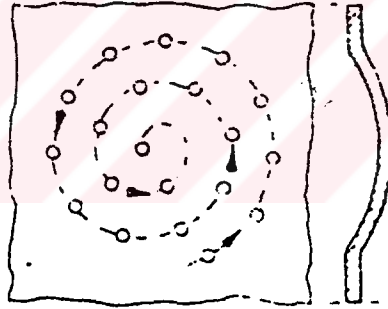
Kenarları tavlama başlamanın önce iyice tespit etmeli ve tavlama şekil 4.22’deki gibi helezonik tarzda yapılmalıdır. Tavlama noktalarının çapı 30-40 mm arasında olmalıdır.



Şekil 4.21. Dairesel formda tavlama



Şekil 4.22. Helezonik tavlama



Şekil 4.23. Noktalar tarzında tavlayıp çekiçle döverek düzeltme

Noktalar tarzında tavlayıp çekiçle dövme :

Çarpılan parça şekil 4.23’de görülen tarzda noktalar halinde  $650^{\circ}\text{C}$  ile  $850^{\circ}\text{C}$  arasında tavlانیp hemen çekiçle dövülür. Tavlanan her noktanın arkasından hemen dövme işlemine geçilmelidir.

#### 4.3.2.3. Diğer tavlama yöntemleri

##### *Isı kaması :*

Bu yöntemde ısı, kamaya benzer lokal bir bölgeye uygulanır. Kamanın ucuna nazaran geniş tarafındaki kendini çekme miktarı fazla olduğu için bu yöntem bilhassa profillere ve dalgalı levha kenarlarına uygulanır.

##### *Yanyana noktalama :*

Yanyana tatbik edilen noktalar bir sıra oluşturur. Bu noktaların soğumasını takiben takviyeli ya da takviyesiz saca bir düzelme görülür. Tavlanan kısımlara çekiç darbeleri uygulayarak düzeltme arttırılabilir.

##### *Zig-zag :*

Bu yöntemde üfleç devamlı olarak zig-zag hareketleri yaparak parçayı tavlalar. Bu yöntem uygun tarzda uygulanabilirse, çekiçlemeye gerek kalmaz ve parça büyük ölçüde düzelir.

##### *Isı çemberi veya elipsi:*

Bu yöntem, genelde bir boruya tek tarafından kaynak yapılmış boru bağlantıları için kullanılır ve ısı çemberi kaynak yapılan kısmın aksi tarafına uygulanır.

##### *Isı yolu ve ısı kaması :*

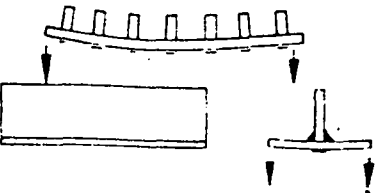
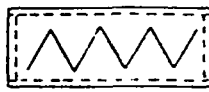
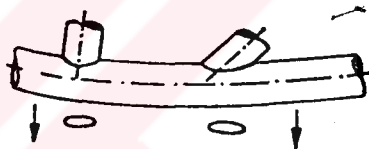
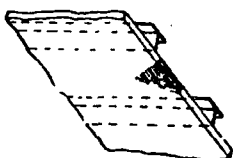
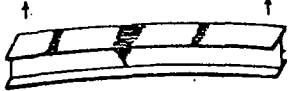
Her iki yöntemin de ortak kullanıldığı yerler profiller ve buna benzer yapı elemanlarıdır.

##### *Isı haçı ve ısı çemberi :*

Bu iki yöntem aynı zamanda her tarafından tespit edilmiş kalın parçalarda kullanılır. Küçük bir bölge büyük çapta bir kendini çekme tesiri altında düzelir.

Sıcak düzeltmeye ait bazı yöntemler çizelge 4.6'da görülmektedir.

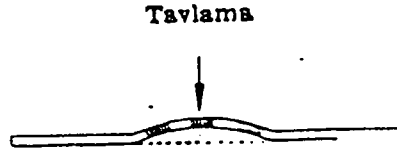
Çizelge 4.6. Sıcak düzeltmeye ait yöntemler

| Usulün adı.                                                              | Tavlama tarzı                                                                       | Kullanma yerleri                                                                                                                                                                                                                                             |
|--------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Noktalama usulü                                                          |    | <br>Sacların düzeltilmesi                                                                                                                                                  |
| Isı yolu<br>1) Yanyana noktalama usulü<br>2) Çizgizel usul               |    | <br>Tek tarafından kaynak yapılmış parçaların düzeltilmesi                                                                                                                 |
| Zikzak usul                                                              |    |  Her tarafından tespit edilmiş bir sac çerçevesinin düzeltilmesi.                                                                                                          |
| Isı çemberi<br>Isı elipsi                                                |   | <br>Boru bağlantılarının düzeltilmesi                                                                                                                                     |
| Isı kaması                                                               |  | <br>Profillerin düzeltilmesi<br><br>Sac kenarlarının düzeltilmesi                   |
| 1 — Isı yolu<br>ve<br>Isı kaması<br><br>2 — Isı haçı<br>+<br>Isı çemberi |  | <br>Profillerin düzeltilmesi<br><br>Kalın sactan mamül bir çerçevenin düzeltilmesi.. |

#### 4.4. Düzeltme İşlemine Örnekler

##### 4.4.1. Küçük şişkinlikler

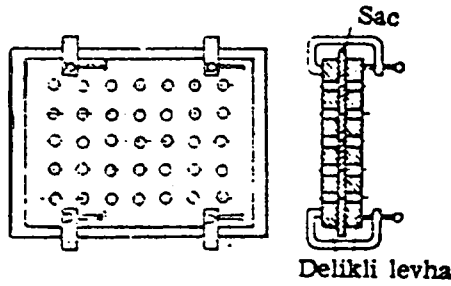
İnce saclarda oluşan küçük çaptaki şişkinlikleri yoketmek için şişkin taraftan noktalama yöntemi bir tavlama yapmak gerekir (Şekil 4.24). Kalın saclardaki kabarıklığın giderilmesi için ise, tavlamayı takiben çekiçle dövme ihtiyacı vardır (Şekil 4.25).



Şekil 4.24. İnce saclarda noktalama yöntemi tavlama



Şekil 4.25. Kalın saclarda tavlama



Şekil 4.26. Delikli iki levha arasındaki düzeltme

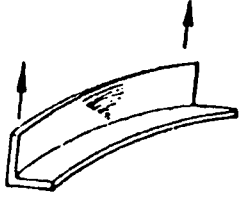
##### 4.4.2. Delikli iki levha arasında tespit edilmiş sac

Düzeltililecek sac şekil 4.26'da görülen tarzda delikli iki levha arasına bağlanır. Delikli levhanın bir tarafındaki delikten alevle noktalama

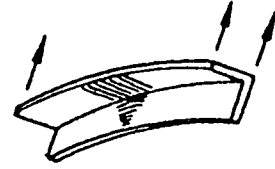
yönteminde tavlama uygulanır ve diğer tarafından da tazyikli hava ile soğutulur.

#### 4.4.3. Profiller

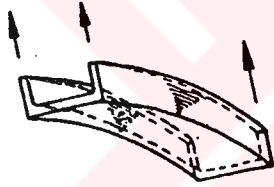
*Köşebentler* : Köşebentlere ısı kaması (Şekil 3.27) ya da ısı kaması + ısı yolu yöntemi uygulanır (Şekil 3.28).



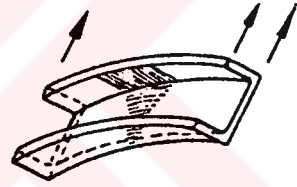
Şekil 4.27. Isı kaması şeklinde tavlama



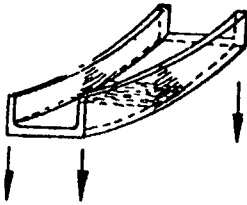
Şekil 4.28. Isı kaması ve ısı yolu şeklinde tavlama



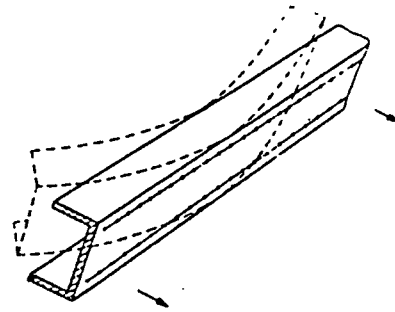
Şekil 4.29. İki üfleç ile ısı kaması yöntemi ile tavlama



Şekil 4.30. Isı kaması ve ısı yolu yöntemi ile tavlama



Şekil 4.31. İki üfleç ile ısı kaması ve ısı yolu yönteminin uygulanması

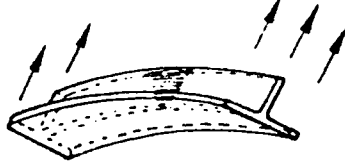


Şekil 4.32. U profilinin iki üfleç ile noktalama yöntemiyle düzeltilmesi

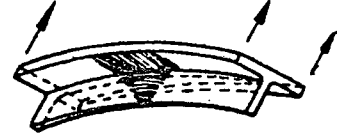
*U profiller* : Aynı zamanda iki üfleç ile ısı kaması (Şekil 4.29), ısı kaması ve ısı yolu (Şekil 4.30), iki üfleç ile aynı zamanda ısı kaması ve ısı

yolu (Şekil 4.31) uygulanarak U profilleri düzeltilebilir. Bazen de şekil 4.32’de görülen tarzda, profilin sırtına iki üfleç ile aynı zamanda çizgisel iki sıra halinde noktalama yöntemi tavlaması uygulanır.

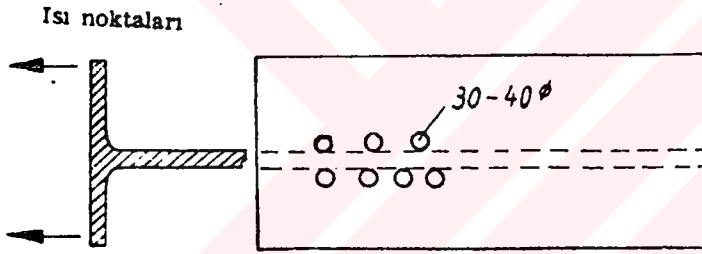
*T profiller* : T profilleri ısı kaması (Şekil 4.33), ısı kaması ve ısı yolu (Şekil 4.34), noktalama yöntemi (Şekil 4.35) ve çatal üfleçlerle düzeltilebilir (Şekil 4.36).



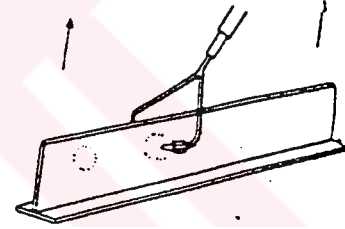
Şekil 4.33. T profiline ısı kaması uygulanması



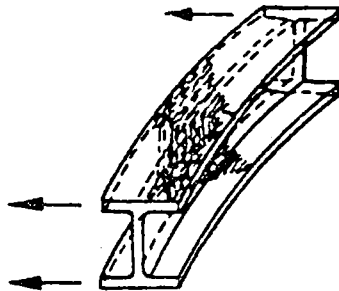
Şekil 4.34. T profiline ısı kaması ve ısı yolunun uygulanması



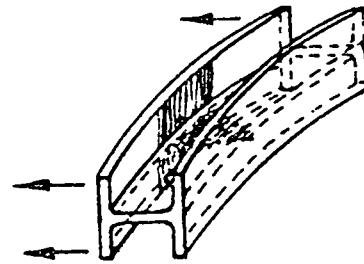
Şekil 4.35. T profiline noktalama yöntemi tavlamanın uygulanması



Şekil 4.36. T profilini çatal üfleçle tavlama



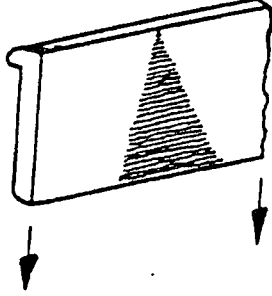
Şekil 4.37. I profiline iki üfleçle ısı kaması ve ısı yolu uygulanması



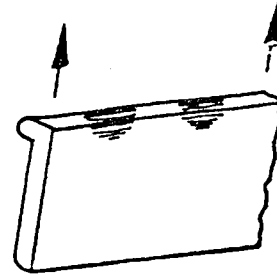
Şekil 4.38. I profilinin ısı kaması ve ısı yolu yöntemiyle düzeltilmesi

**I profiller :** I profilleri aynı zamanda iki üfleç ile ısı kaması + ısı yolu (Şekil 4.37) ve tek üfleçle ısı kaması + ısı yolu uygulanarak doğrultulur (Şekil 4.38).

**Küpeşte profilleri :** Küpeşte profilleri ya ısı kaması (Şekil 4.39) ya da ısı yolu (Şekil 4.40) uygulanarak düzeltilir.



Şekil 4.39. Küpeşte demirinin ısı kaması ile düzeltilmesi

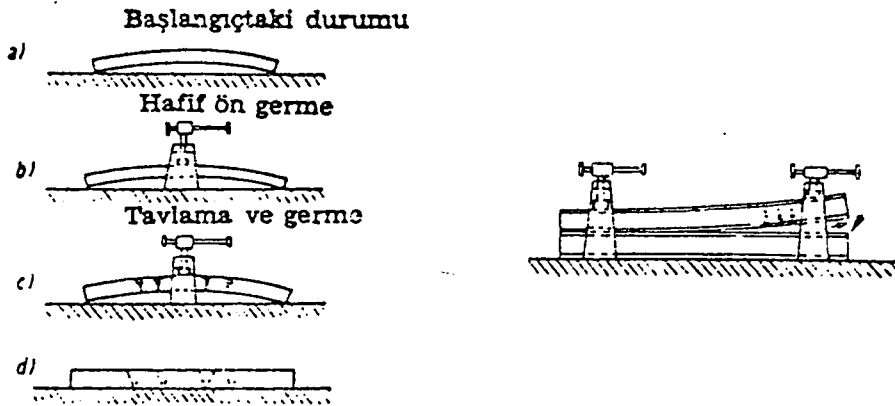


Şekil 4.40. Küpeşte demirinin ısı yolu ile düzeltilmesi

**Takviyeli T profilleri :** Takviyeli T profillerindeki küçük çarpılmalar ısı yolu, büyük çarpılmalar da ısı kaması yöntemi uygulanarak düzeltilir (Şekil 3.41).



Şekil 4.41. Takviyeli bir T profilinin düzeltilmesi



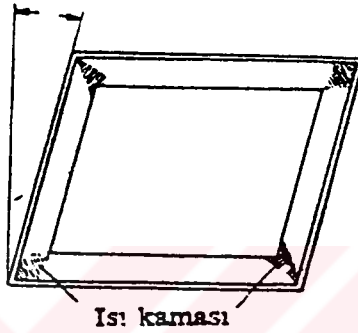
Şekil 4.42. Tavlama sırasında genleşmeyi azaltmak için mekanik yöntemler



Tavlama sırasında genleşmeyi azaltmak için şekil 4.42’de görülen mekanik yöntemler uygulanır. Ön germe tavlama sırasında genleşmeyi tahdit edecek şekilde gayet az olmalıdır. Aksi takdirde kuvvetli öngerilmeler, arzu edilmeyen bükülmeler meydana gelebilir.

#### 3.4.4. Dört köşe çerçevelerin düzeltilmesi

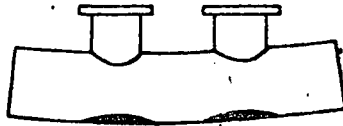
Şekil değişimine uğrayan dört köşe çerçeveler, köşelerine uygulanan ısı kamasıyla doğrultulur (Şekil 4.43).



Şekil 4.43. Dört köşe çerçevelere uygulanan ısı kaması

#### 4.4.5. Boru bağlantılarının düzeltilmesi

Bir boruya tek tarafından bir kol kaynak yapıldığı zaman oluşan çarpılma kolun simetriği tarafa çevresel bir noktalama yöntemi tavlama uygulanarak doğrultulur (Şekil 4.44).

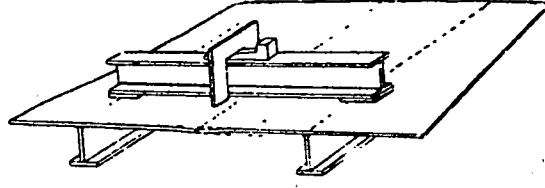


Şekil 4.44. Bir boruda oluşan açısal değişimin düzeltilmesi

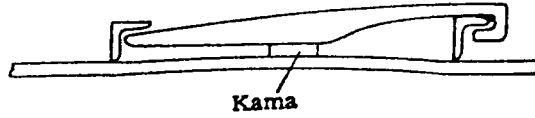
#### 4.4.6. İçeriye doğru şişkinlikler

İçeriye doğru oluşan şişkinlikler şekil 4.45, 4.46 ve 4.47’de görülen

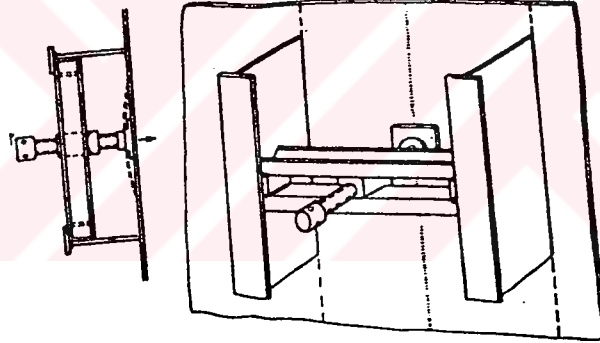
tertibatlar vasıtasıyla ve aynı zamanda içeriden dışarıya doğru yapılan bir tavlama ile düzeltilir.



*Şekil 4.45. İçeriye doğru oluşan şişkinliklerin giderilmesi*



*Şekil 4.46. İçeriye doğru oluşan şişkinliklerin giderilmesi*



*Şekil 4.47. İçeriye doğru oluşan şişkinliklerin giderilmesi*

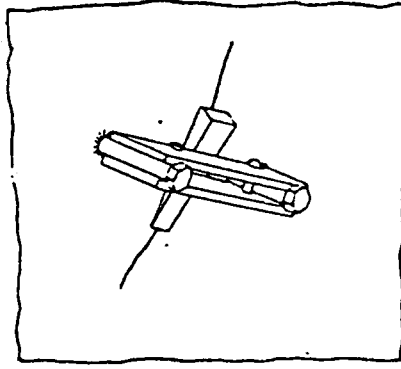
#### 4.4.7. Dışarıya doğru şişkinlikler

Dışarıya doğru oluşan şişkinlikler şekil 4.48'de görülen tertibatla ve aynı zamanda uygulanan bir tavlama ile düzeltilir.

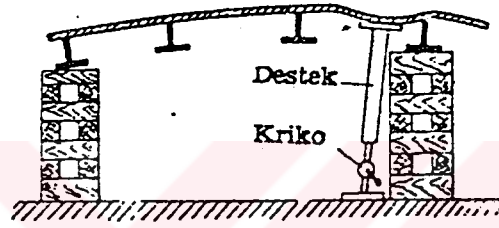
#### 4.4.8. Bölmeli bir kaplama sacının düzeltilmesi

Düzeltililecek parça şekil 4.49'da görüldüğü gibi uygun tarzda askıya alınır ve doğrultulacak kısmın altına da bir destek konur. Sonra bu kısım ısı

kaması ve nokta tarzında tavlانarak bir balyozla dövölerek düzeltilir.



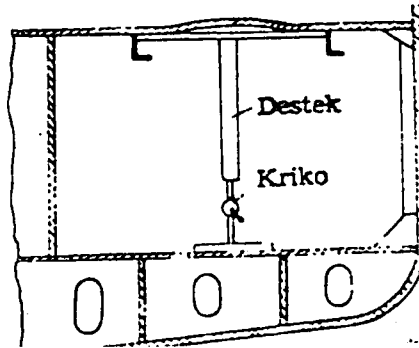
Şekil 4.48. Dışarıya doğru oluşan bir şişkinliğin giderilmesi



Şekil 4.49. Bir kaplama sacının düzeltilmesi

#### 4.4.9. Güverte sacının dışarıya doğru kabarması

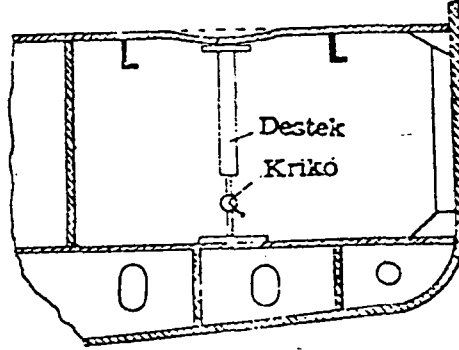
Güverte sacının dışarıya doğru kabaran kısmının altına uygun bir parça konduktan sonra bu kısım nokta tarzında tavlانır ve doğrultulur (Şekil 4.50).



Şekil 4.50. Bir güverte sacındaki dışa doğru kabaran kısmın düzeltilmesi

#### 4.4.10. Güverte sacının içeriye doğru kabarması

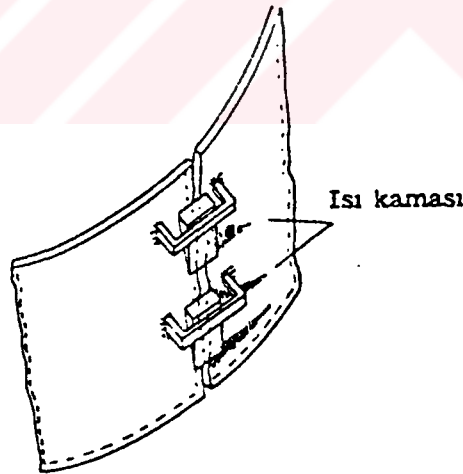
İçeriye doğru kaban güverte sacı iç taraftan tavlânır ve şekil 4.51’de görülen tarzda bir krikó ile yukarıya doğru bastırılır veya dövülür.



Şekil 4.51. Bir güverte sacındaki çökmenin düzeltilmesi

#### 4.4.11. Levha sonları

Şekil değişimine uğramış kaynaklı yapı elemanlarına ait levhaların sonları şekil 4.52’de görülen bir tespit tertibatı ve kama şeklindeki bir tavlama ile giderilir.

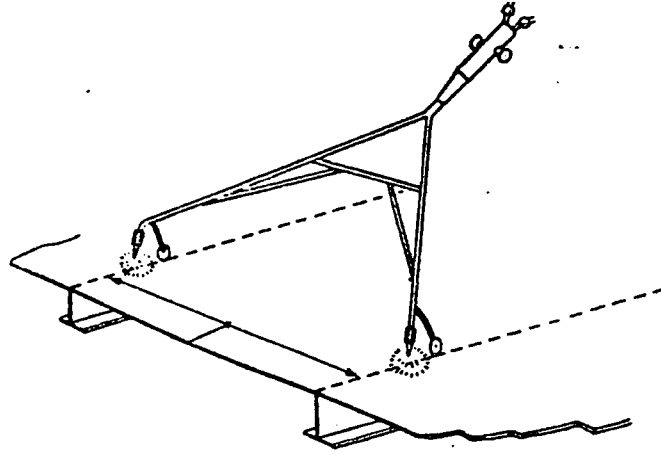


Şekil 4.52. Şekil değişimine uğrayan levha sonlarının düzeltilmesi

#### 4.4.12. Takviyeli bir saca takviyeli kısımların şekil değiştirmesi

Bir saca takviye profilleri kaynak yapıldıktan sonra meydana gelen açısal şekil değiştirmenin yok edilmesi için takviyelerin ters tarafında bir

tavlama uygulanarak karşı şekil değişimi sağlanır ve sac düzelmiş olur (Şekil 4.53).

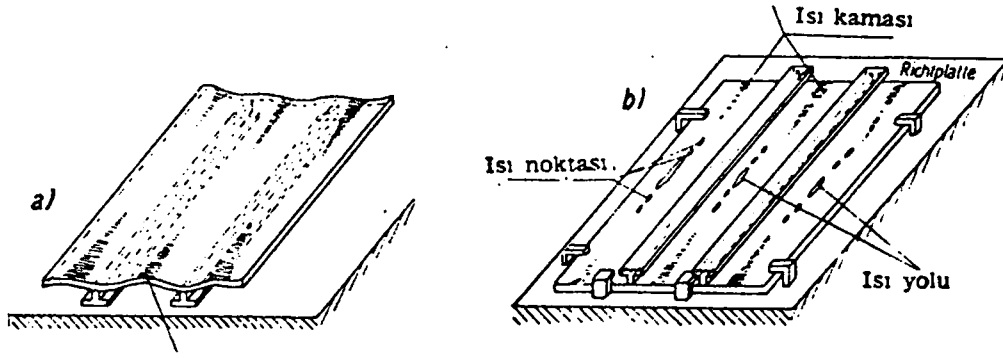


*Şekil 4.53. Karşı şekil değişimini temin için tavlama*

Çarpılmaların ölçüsüne bağlı olarak kesik veya devamlı şeritler uygulanır. Levha kenarlarından itibaren 200~300mm'lik bir kısımda tavlama yapılmaz. Bu işlemler çarpılmaların görüldüğü tüm takviyelerde birbiri ardı sıra yapılır.

#### **4.4.13. Dalgalı çarpılmaların düzeltilmesi**

Dalgalı çarpılmaya uğramış bir levha öncelikle takviyeleri alta gelecek şekilde kabaca düzeltilir (Şekil 4.54a). Sonra döndürülerek kenarlara sıkı bir şekilde sabitlenir. Şekil değişimine uğrayan kenarlardan başlayarak kabarık kısımlar tavllanır (Şekil 4.54b). Tavlama levha uçlarında ısı kaması ortalarında ısı yolu ve noktalama yöntemiyle yapılır. Tavlamayı takiben bir altlık üzerinde dövülür.

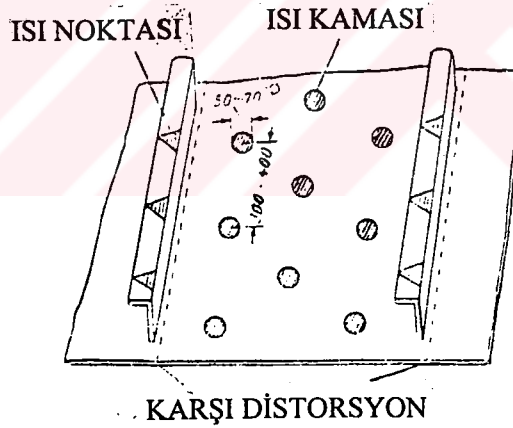


Şekil 4.54. Dalgalı çarpılmaya maruz kalmış bir levhanın düzeltilmesi

#### 4.4.14. Takviyeli bir levhanın düzeltilmesi

Düzeltilme işlemi üç aşamada yapılır (Şekil 4.55).

- Karşı şekil değişiminin temini
- Takviyelerin düzeltilmesi
- Mevzili kabarıklıkların düzeltilmesi



Şekil 4.55. Takviyeli bir levhanın düzeltilmesi

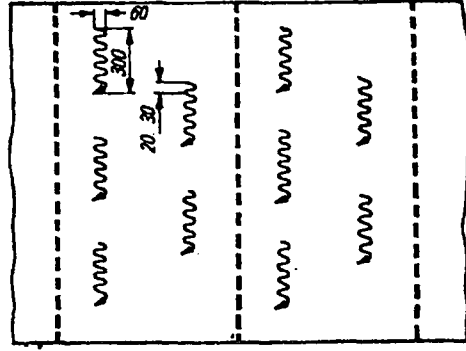
#### 4.4.15. İnce sacların düzeltilmesi

İnce saclarda (3-5 mm) ısı birkaç tavlama çizgisi üzerine konsantre edilir. Bu tavlama çizgileri yaklaşık 60 mm genişliğinde ve 300 mm uzunluğunda olup, dalgalı şekilde uygulanır (Şekil 4.56). Burada özellikle iki hususu gözönünde tutmak gerekir.

- Tavlama sırasında üfleç çabuk ve muntazam olarak bir doğrultuda

yürümelidir.

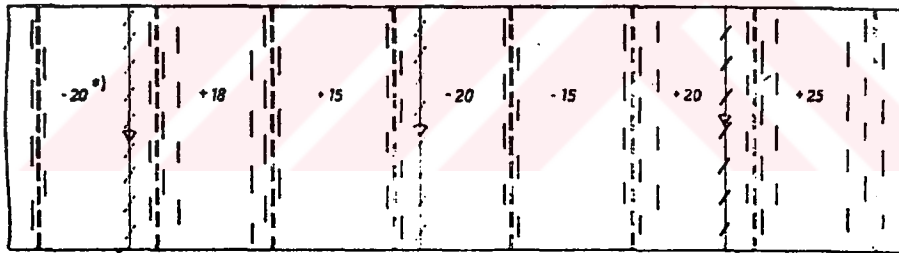
- Tavlanan kısımlarda yeni çarpılmalar meydana gelmemelidir.



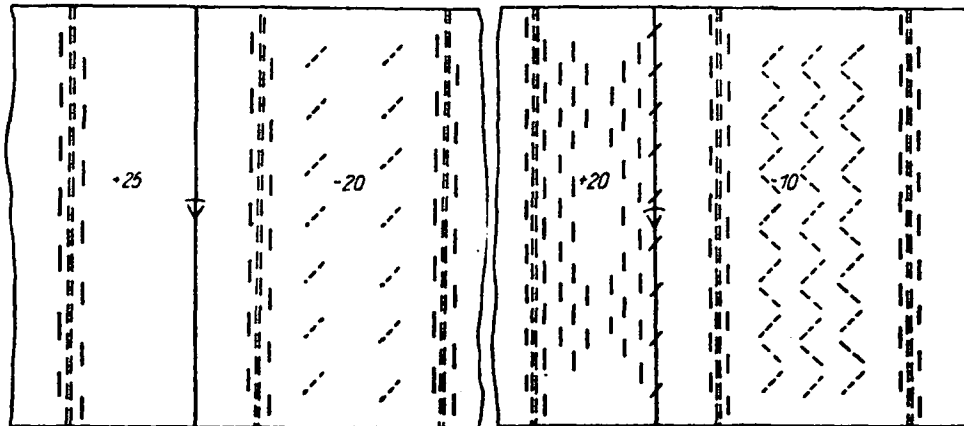
Şekil 4.56. İnce sacların düzeltilmesi

#### 4.4.16. Kalın levhaların düzeltilmesi

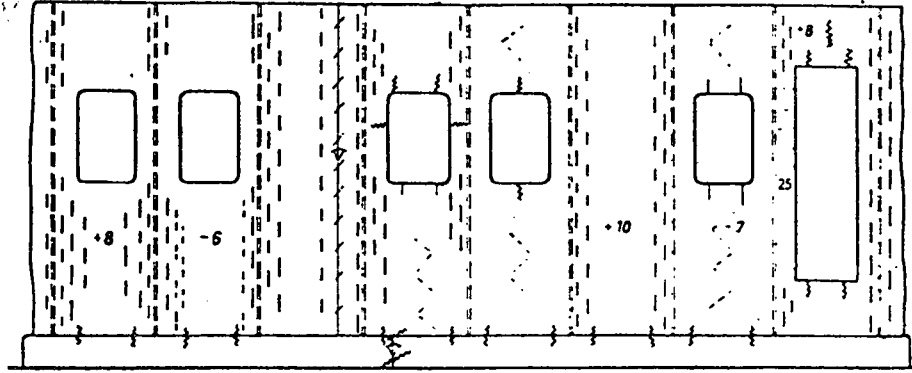
- 6 ile 15 mm arasındaki takviyeli levhaların düzeltilmesi (Şekil 4.57)
- 12 ile 20 mm arasındaki takviyeli levhaların düzeltilmesi (Şekil 4.58)
- Takviyeli ve pencere açılmış levhaların düzeltilmesi (Şekil 4.59)



Şekil 4.57. 6 ila 15 mm kalınlıktaki takviyeli levhaların düzeltilmesi



Şekil 4.58. 12 ila 20 mm kalınlıktaki takviyeli levhaların düzeltilmesi

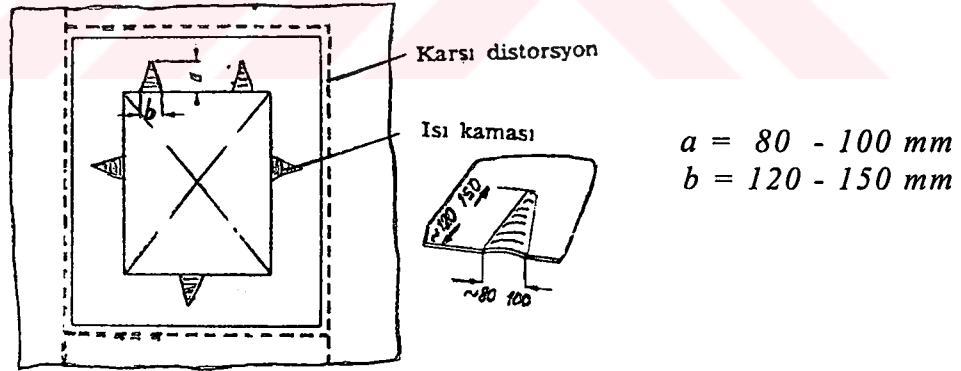


Şekil 4.59. Takviye ve pencere açılmış levhaların düzeltilmesi

Pencere açılan kısımların düzeltilmesi aşağıdaki yöntemlerle yapılır:

*Isı kaması yöntemi* (Şekil 4.60)

- karşı şekil değişimi
- kesilen levha kenarlarında meydana gelen lokal kabarıklıklar ısı kaması uygulanarak kaldırılır.



Şekil 4.60. Pencere açılmış kısmın ısı kaması ile düzeltilmesi

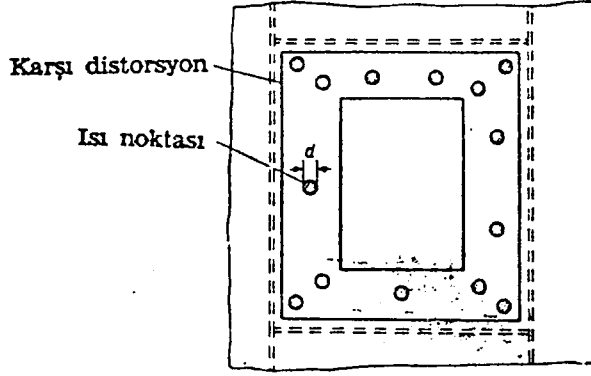
*Noktalama yöntemi* (Şekil 4.61)

- karşı şekil değişimi
- kesilen levha kenarlarında meydana gelen lokal kabarıklıklar noktalama yöntemiyle yok edilir. Sac kalınlığına göre nokta çapları şöyle seçilmelidir (Çizelge 4.7).



Çizelge 4.7. Sac kalınlığına bağı tavlama noktası çapı

| Sac kalınlığı (mm) | Tavlama noktasının çapı (mm) |
|--------------------|------------------------------|
| 1-3                | 10-20                        |
| 3-10               | 20-30                        |
| 10-20              | 50-60                        |



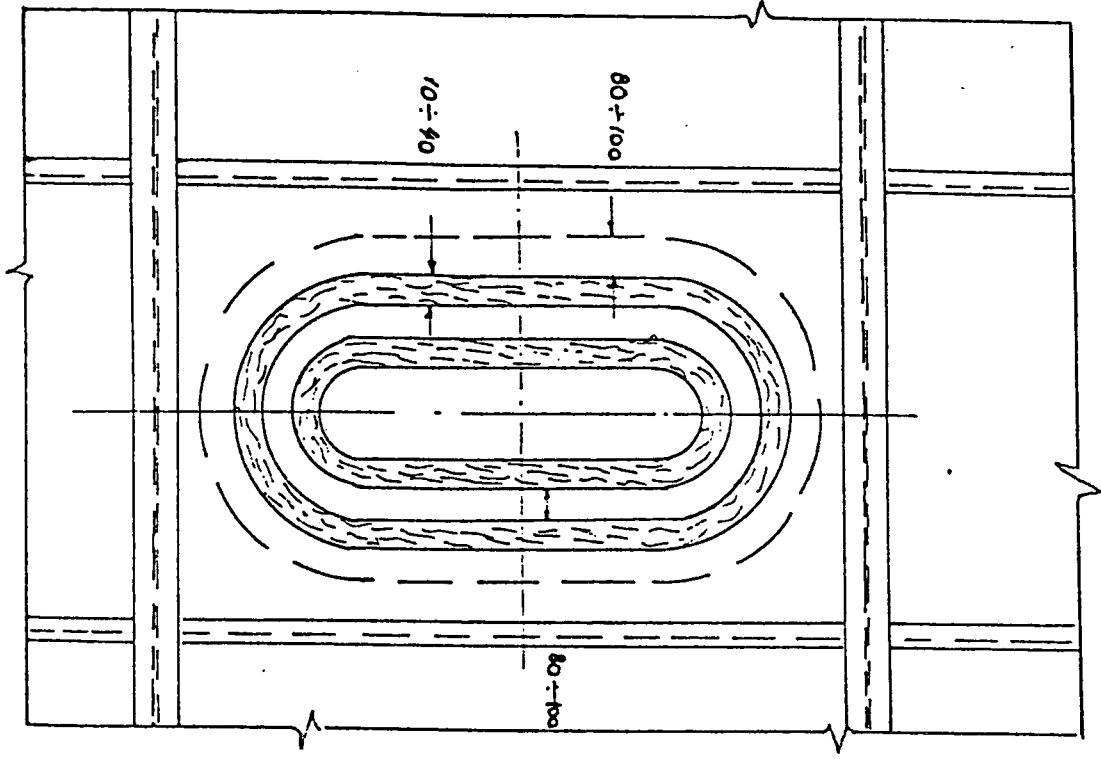
Şekil 4.61. Pencere açılmış kısımların noktalama yöntemiyle düzeltilmesi

#### 4.4.17. Konsantrik yatay hatlı şeritlerle tavlama

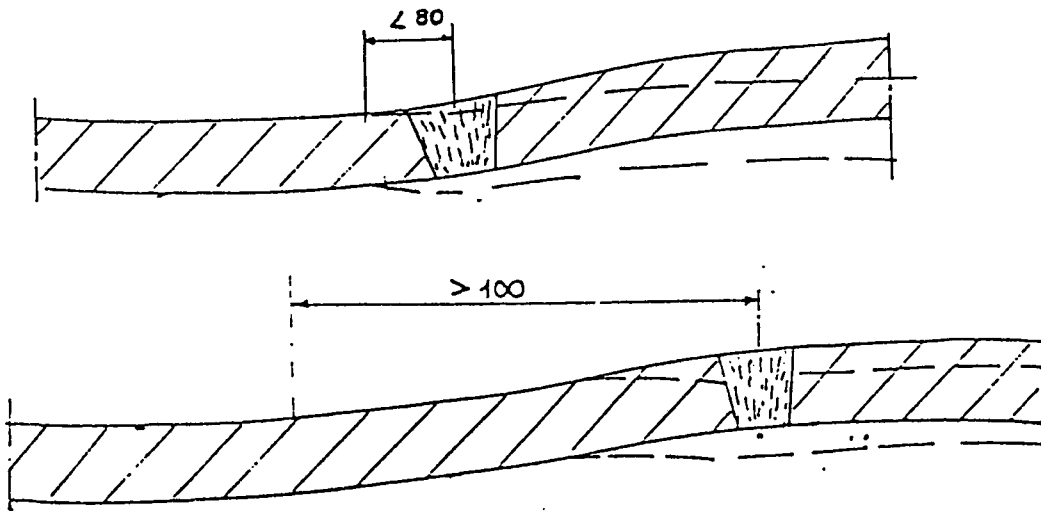
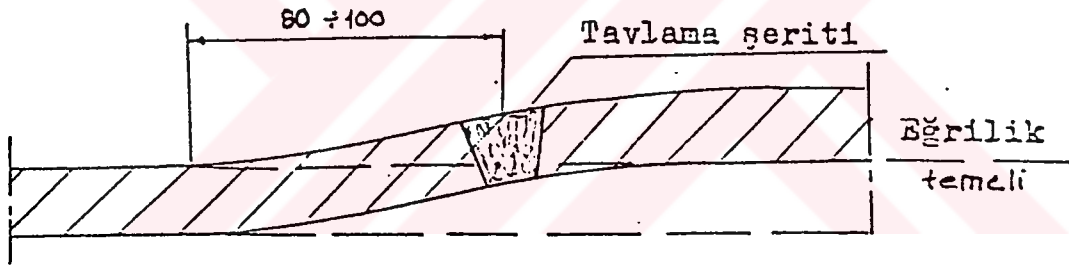
Bu metotta eğrilik tepe noktasından düzeltilmeye başlanılmaz. Metodun temeli eğriliğin eğimi ve şeklinde konsantrik tavlama şeritlerinin tertiplenmesidir. Eğriliğin sınırları markalandığında ilk tavlanaacak şerit yeri çizilecektir. Çoğu hallerde işlem eğrilik sınırından 80-100 mm içeriden başlatılacaktır (Şekil 4.62).

Büyük sehimli büyük eğrilikler olması halinde bir şerit tavlama eğriliğin düzelmesi için yeterli olmaz. İlk şeridin içine 80-100 mm aralıklı ikinci bir şerit tavlama yapılır. Levhalarda şeritler arası mesafe büyük şerit genişliği ise daha dardır. Böylece levha doğrultması için gerekecek daha çok sayıda şeritler tertiplenebilir.

İyi doğrultma sonuçları almak için ilk şerit yerinin seçiminin doğru yapılması çok önemlidir. Yerin eğrilik temeline olan mesafesi levha kalınlığına ve eğrilik sahimine bağlıdır. İlk şerit yerinin çok yakın veya çok



Şekil 4.62. Konsantrik tavlama şekilleri



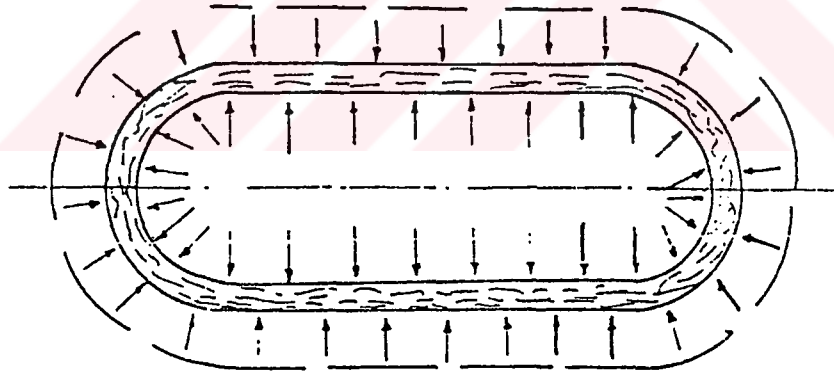
Şekil 4.63. Tavlama şeridi yerinin düzeltme sonucuna etkisi

uzak olması halinde doğrultma işlemi tatmin edici sonuç vermez. Doğru yer seçimi doğrultmadaki ustalığın getirdiği bir özelliktir ve tecrübe ile kazanılabilir. şekil 4.63’de çeşitli şerit yeri seçiminin doğrultmaya olan etkileri gösterilmektedir.

şayet eğrilik küçük sehimli ise devamlı tavlama şeritleri gerekli olmayabilir. Bu durumda kesikli olarak tertiplenecek tavlama şeritleri ölçüleri, ara mesafeleri vs. doğrultma etkileri göz önüne alınarak yapılacaktır.

#### 4.4.18. Düzeltme sırasında çekiçleme

İnce saclarda çekiçleme işi ağaç tokmak ile, kalın levhalarda ise uygun bir elik eki ile yapılır. 2 ile 5 mm kalınlıktaki sacların düzeltilmesinde tokmak ağırlığı 0.5 kg ile 1 kg arasında olmalıdır. Ayrıca düzeltme sırasında levha arka tarafına destekler konulması da tavsiye edilir. 5 mm’den daha kalın sacların ekilenmesinde takriben 3 kg ağırlığında eki kullanılır. ekileme çok kuvvetli olmamalı fakat sık sık olmalıdır.



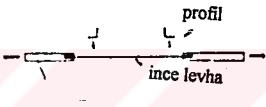
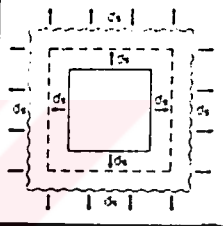
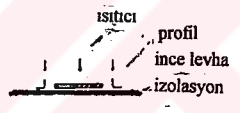
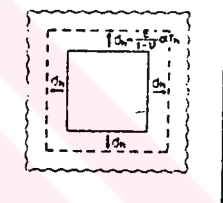
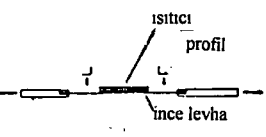
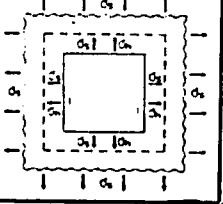
şekil 4.64. Levha düzeltmesinde çekiçleme yönleri

Tavlama sıcaklığı 500 °C’nin altına soğumadan tav şalumasının 100-200 mm gerisinde çekiçleme yapılacaktır. Belirtilen sıcaklığın altında çekiçleme yapılırsa metalin gevrekliği ve küçük olumsuz etkiler görülebilir. Levhaya elik eki ile direkt ve çok kuvvetli olarak vurulmamalı, çünkü küçük lokal homojensizlikler dolayısıyla levhada düzeltilmeyecek küçük hasarlar meydana gelir. ekileme eğriliğin bulunduğu taraftan önce eğrilik bölgesi çevresinde ve sonra tavlama şeridinde yapılır (şekil 4.64).

#### 4.4.19. SS, SH, SSH yöntemleri ile düzeltme

İnce levhalar kaynaklandığında kaynaktan uzak bölgelere basma gerilmeleri oluşur ve bu da bükülme şekil değişimine neden olur. Bu durumda kullanılmak üzere aşağıdaki yöntemler geliştirilmiştir (Şekil 4.65).

1. SS yöntemi : gererek düzeltme  
(straightening by stretching)
2. SH yöntemi : ısıtarak düzeltme  
(straightening by heating)
3. SSH yöntemi : hem gererek hem ısıtarak düzeltme  
(straightening by stretching and heating)

|                                           |                                                                                      |                                                                                       |
|-------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| 1) SS metodu<br>Germeyle düzeltme         |    |   |
| 2) SH metodu<br>Isıtmayla düzeltme        |  |  |
| 3) SSH metodu<br>Isıtma+germeyle düzeltme |  |  |

Şekil 4.65. SS, SH ve SSH yöntemlerinin temel ilkeleri

##### SS yöntemi :

SS yönteminde, panel mekanik olarak gerilme altına alınır ve profile (mukavemet elemanına) bu şekildeyken kaynaklanır. Kaynak sonrası germe yükü kaldırıldığında levha çeker ve küçük bir şekil değiştirme oluşur. Böylece çekme gerilmeleri levha (panel) içinde kalırken, basma gerilmeleri mukavemet elemanında kalır. Bu yöntem ince levhaların sabit yapılara kaynaklanmasında verimlidir.

*SH yöntemi :*

SH yönteminde levha mukavemet elemanına kaynatılmadan önce, önceden belirlenmiş bir sıcaklığa kadar ısıtılır. Diğer bir deyişle ön ısıtma ile levha gerdirilir. Mukavemet elemanı ısıtılmadığından levha kaynak sonrası daha çok çeker ve bu da levhanın şekil değişimini azaltır.

*SSH yöntemi :*

Bu yöntemde mekanik germe ve ön ısıtma işlemleri aynı anda yapılır. Şekil 4.66 çeşitli yapılarıdaki test sonuçlarını özetlemektedir.

|                          |     | Çekme gerilmesi (kg/mm <sup>2</sup> )                                               |                                                                                     |                                                                                     |                                                                                   |                                                                                   |                                                                                     |
|--------------------------|-----|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
|                          |     | 0                                                                                   | 10                                                                                  | 15                                                                                  | 20                                                                                | 25                                                                                | 30                                                                                  |
| Ön ısıtma sıcaklığı (°C) | 0   |    |    |    |  |  |  |
|                          | 25  |                                                                                     |    |    |  |                                                                                   |                                                                                     |
|                          | 50  |   |   |   |                                                                                   |                                                                                   |                                                                                     |
|                          | 75  |  |  |  |                                                                                   |                                                                                   |                                                                                     |
|                          | 100 |  |                                                                                     |                                                                                     |                                                                                   |                                                                                   |                                                                                     |
|                          | 125 |  |                                                                                     |                                                                                     |                                                                                   |                                                                                   |                                                                                     |
|                          | 150 |  |                                                                                     |                                                                                     |                                                                                   |                                                                                   |                                                                                     |

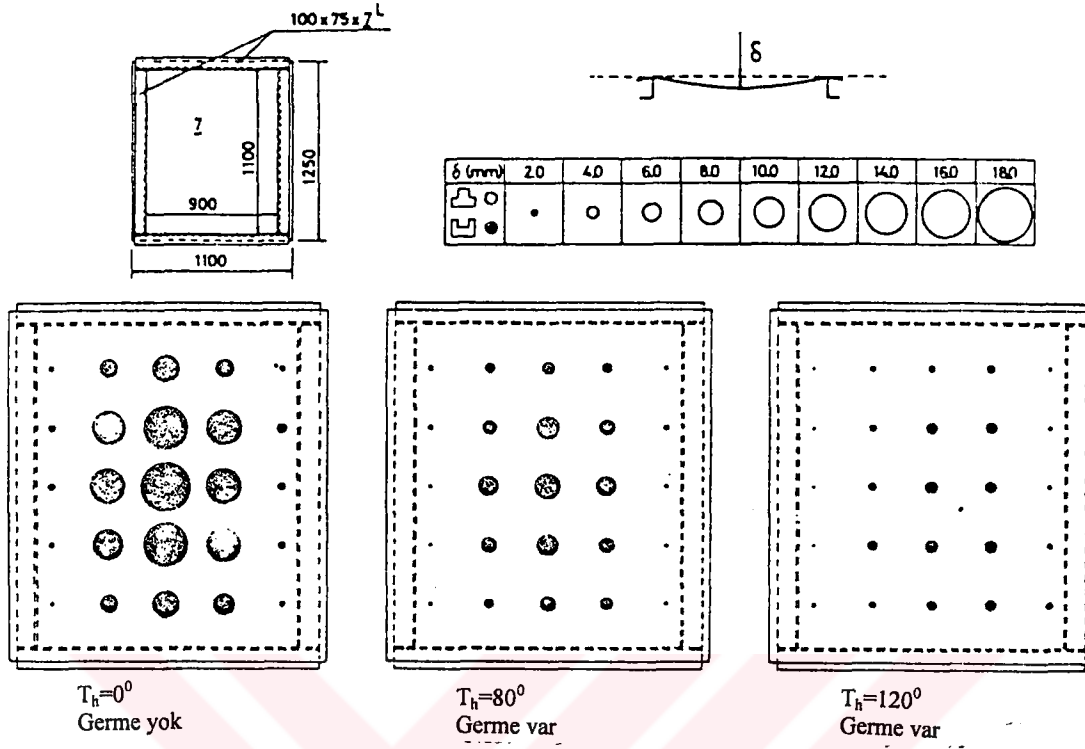
 küçük boyutlu test paneli     mükemmel  
 orta boyutlu test paneli     hemen hemen mükemmel  
 orta boyutlu test paneli (pencere)     iyi değil

Şekil 4.66. SS, SH ve SSH yöntemi kullanılan levhalardaki şekil değişimi test sonuçları

Bu yöntem Kawasaki Heavy Industry'de gemi yapımında başarıyla kullanılmıştır. Şekil 4.67 SSH yöntemi kullanılarak şekil değişimini nasıl azaltılacağını gösterir. Şekil değişimi aşağıdaki üç değişik durumda ölçülmüştür.

- ısıtma ve germe yok
- 80 °C ısıtma ve germe
- 120 °C ısıtma ve germe

Daireler şekil değişim miktarını gösterir. Merkez bölgedeki daireler, dolayısıyla şekil değişimi büyüktür.



Şekil 4.67. SSH yönteminin şekil değişimini azaltması

## 5. GEMİ İNŞAATINDA ŞEKİL DEĞİŞİMİNİN İNCELENMESİ

Kaynak işlemi gemi inşaatında temel işlemlerden birisidir. Gemi yapısında kapalı sistemlerde olduğu gibi farklı şekil ve büyüklükteki kaynaklı birleştirmeler birarada bulunurlar. Bu nedenle yapıda, yönleri ve büyüklükleri önceden bilinmeyen karmaşık gerilmeler meydana gelir.

Kaynak ağzı, kaynak sırası hataları, hatalı montaj veya sistem elemanlarının dikkatsizce birleştirilmeleri gibi hatalı kaynak işlemleri nedeniyle bu gerilmeler üst üste toplanabilir ve büyük şekil değişimlerine sebep olurlar. Kaynaklarda çatlamlar oluşabilir. Kaynak çatlakları meydana gelmese bile bu gerilmeler sistemin rijitliğini yenip sistemi deforme eder. İstenmeyen bu durumun önlenmesi ve kabul edilebilir limitler dahilinde kalması için gemide şekil değişiminin oluşumu, kontrolü ve düzeltilmesi ile şekil değişimine neden olan kaynak işleminin iyi tahlil edilmesi gerekmektedir.

### 5.1. Şekil Değişimi

Gemi inşaatında şekil değişimleri yalnızca estetik sebeplerden dolayı önem arz etmez. Her bir tekne bloğunun konstrüksiyon elemanları uniform mukavemet sistemine kaynak edildikten sonra aynı zamanlı olarak hareket etmeye başlarlar. Bu blok elemanları genel olarak konstrüksiyon mukavemet elemanı sayılırlar. Şayet bir levha belirli bir sistemin inşaatında kullanılmış ve eğilmişse diğer bir mukavemet sisteminde yeri olmayacak ve kuvvet iletmeyecektir.

Levha panellerinde sokra ile armuzların kaynatılması ve stifnerlerin levhalara kaynatılması sonucunda gerilmeler oluşur. Bu gerilmelerin sonucunda da gemide şekil değişimleri meydana gelir. En büyük levha eğilmeleri ince kalınlıktaki konstrüksiyonlarda meydana gelir. Şekil

değişiminin boyutu levha kalınlığının artmasıyla azalır. Bu da kesit rijitliği ile açıklanabilir. İç gerilmeler ince levhalara göre kalın levhalarda daha büyüktür.

Takviyelerin ve T şekilli profillerin bütün çeşitlerinin şekil değişimi genellikle boyuna eğrilme şeklinde görülürler. Ancak takviyelerin kaynatılmasında ve T şekilli profillerin alın laması kaynaklarında boyuna çekme kuvvetlerinden meydana gelen şekil değişimlerinin yanında, enine kaynak çekmesinin oluşturduğu açısall şekil değişimleri de oluşur.

Şekil değişimleri büyük boyutlu konstrüksiyonlarda ve hatta teknenin kendisinde dahi geçerlidir. Eğer derinliği fazla olmayan uzun bir elemanın (gemi gibi) üst tarafında kaynak işlemi yapılırsa her iki ucu yukarıya doğru kalkacaktır. Gemide baş ve kıç taraflarının omurga hattı kızak bloklarından yukarıya doğru kalktığı görülmüştür. Diğer taraftan eğer sistemin derinliği fazla ve sert ( yani tekne kızakta iken orta kısımlardaki blokların kaynağının büyük bir bölümü tamamlanmış ) ise baş ve kıç taraflarının yukarıya doğru kalkması olmayacaktır. Eğer bir üst blok yerine konur ve alttaki bloğun kaynatılmasından önce puntalanırsa, bu üst blok ek bir dayaklama oluşturacak ve daha fazla eğilmelerin önüne geçmiş olacaktır.

En uygun olanı, kaynak işlemi, birleştirilen blokların ortasından başlamalı, yukarı ve aşağı doğru simetrik olarak devam etmelidir. Bununla beraber, bu günkü gemi inşaatında çok büyük bloklar bir araya getirilebilmekte ve dolayısıyla gemi bütünlüğü açısından sarkma ve şekil değişimleri daha az olmaktadır.

Tekne inşaatı tamamlandıktan sonra teknenin alabileceği durum iki tiptedir.

- a) Tekne düşey düzlemde doğru veya kaçık olarak inşa edilmiştir.
- b) Tekne yatay düzlemde doğru veya kaçık olarak inşa edilmiştir.

Burada daha çok a şıkkı önem arz etmektedir. Yani teknenin düşey düzlemdeki sapması daha fazla olması muhtemeldir. Düşey düzlemdeki olabilecek durumlar aşağıda belirtilmiştir.



- 1) Tekne doğru (sıfır sehim) olarak inşa edilmiştir.
- 2) Teknenin baş ve kıç tarafı düşmüş, vasat kısmı yükselmiştir. Güvertede çekme tekne omurgasında basma kuvvetleri mevcuttur.
- 3) Teknenin baş ve kıç tarafı yükselmiş, vasat kısmı düşmüştür. Güvertede basma, omurgada ise çekme kuvvetleri mevcuttur.

Tekne inşaat kızağı üzerinde iken ölçülen sehimler, limitler dahilinde değilse teknede genel bir düzeltme yapılması gerekecektir.

## 5.2. Şekil Değişiminin Kontrolü

Bir gemi inşa edilirken, kaynak işlemlerinden dolayı şekil değişimlerinin olacağı muhakkaktır. Bu şekil değişimlerinin düzeltilmesi için daha önceki bölümlerde anlatılan çeşitli yöntemler vardır. Fakat bu yöntemler şekil değişimini azaltan koruyucu önlemlerden daha az istenir. Bu yüzden hem mümkün mertebe doğru bir inşaat elde etmek ve hem de en az işleme maliyetin düşürülebilmesi için şekil değişiminin kontrolü önem arz etmektedir.

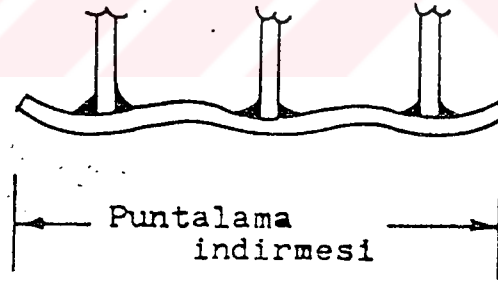
Şekil değişimini minimumda tutabilmek için dizayndan başlayarak gemi inşaatının sonuna kadar uygun malzeme ve yöntemlerin kullanılması gerekmektedir. Dizaynda, konstrüksiyonun mümkün olan en az kaynak işlemiyle inşa edilmesine dikkat edilmelidir. Bloklar ve tekne inşa edilirken, doğru montaj sırasına ve doğru kaynak yöntemi ile kaynak sırasına uyulmalıdır.

Geminin, istenilen boyutlar içinde tutabilmenin bir yolu da kaynak çekmelerine gerekli toleransların sağlanmasıdır. Çekmeyi karşılayacak şekilde boyda ve ende bırakılacak biraz fazla toleranslar sonuçta hakiki ölçülerin sağlanmasında faydalı olacaktır. Bu yöntem eğer eş parçalarda kesme, alıştırma ve punta kaynağı uniform bir şekilde yapılacak olursa çok iyi sonuç sağlar. Çizelge 5.1’de verilen kaynak çekme indirmeleri elde evvelce bilinen bir blok bulunmadığı zaman çok işe yarayabilir. Bununla birlikte burada verilen değerlerin dışında kalan durumlar da görülebilir.

Çizelge 5.1. Kaynak çekme indirmeleri

| Alın Kaynakları        |                              |
|------------------------|------------------------------|
| Enine                  |                              |
| Bütün kalınlıklar için | 1,6 mm - 2,4 mm              |
| Boyuna                 |                              |
| 12,5 mm'den kalın      | 0,8 mm (3 m boyda)           |
| 9,5-12,5 mm arası      | 0,8-1,6 mm (3 m boyda)       |
| 6,5-9,5 mm arası       | 1,6-2,4 mm (3 m boyda)       |
| 6,5 mm ve daha ince    | 1,6-3,2 mm (3 m boyda)       |
| Köşe Kaynakları        |                              |
| Puntalama indirilmesi  |                              |
| 12,5 mm'den kalın      | indirme istemez              |
| 9,5-12,5 mm kalınlıkta | 0,4 mm (herbir stifner için) |
| 6,5-9,5 mm kalınlıkta  | 0,8 mm (herbir stifner için) |
| 6,5 mm'den ince        | 1,6 mm (herbir stifner için) |

Puntalama indirilmesi burada devamlı kaynatılmış stifnerli düz levhalar için verilmiştir. Kaynak boyları ve aralıkları tekne yapımı kurallarına uygun olarak devamlı kaynatılmamış stifnerler için yukarıda çizelgede verilmiş olan değerlerin yarısı olarak alınmalıdır.



Bazı durumlarda şekil değişimlerine engel olmak için ön ayarlama ve önceden eğme yararlı olabilir. Elemanın kaynatılması bitirildiği zaman doğru ve istenilen şekli alması beklenir. Çekiçleme de çarpılmaların azaltılmasında ve istenilen boyutların sağlanmasında yararlı olabilir. Yine bazı durumlarda kaynaktan önce geçici takviyeler konularak şekil değişimi azaltılabilir.

### 5.3. Şekil Değişiminin Düzeltilmesi

Konstrüksiyon düzeltmesinin amacı kaynak süresince ısınan alanların çekmeleri sonucu meydana gelen malzeme iç gerilmelerinin serbest kalmasının sebep olduğu levha ve takviyelerin lokal şekil değişimlerini gidermektir. Düzeltme aralığı (kapsamı) blok imalatı kabul şartları ve gemi inşa normlarında verilen toleranslar ile belirlenir.

Ön montajdaki düzeltmeler belirli konstrüksiyon parçalarındaki kaynaklar tamamlandıktan sonra yapılır. İstisnai olarak bu elemanlar, küçük detay kaynağından veya nakilleri sırasında çarpılmalara uğramış ise kaynak edilmeden önce düzeltilir.

Gemideki düzeltme işleri, montaj işlerinin ilerlemesine paralel olarak ve aşağıdaki kuralları dikkate alarak yapılmalıdır.

1. Düzeltme yapılacak alandaki bütün yapı birleştirmeleri kaynatılmış olmalıdır.

2. Şayet düzeltme alanı içinde veya yakınında perçinli birleştirme işi varsa düzeltme perçinden önce yapılmalıdır.

3. Düzeltilecek yapı, yapılmakta olan kaynak işleri sınırları içerisinde bulunmamalı ve tamamen soğuk olmalıdır.

4. Yapının düzeltilmesi sızdırmazlık testinden önce yapılmalıdır.

5. İşçilik sarfiyatını azaltmak için düzeltmeye en rijit yapı elemanından başlanmalıdır. Eğer yapı elemanları aynı kesite sahipse küçük boyutlu olanı daha rijit kabul edilir. Örnek olarak aynı kesitli profillerden boyu kısa olanı daha rijit kabul edilir.

Blok imalatı safhasında elemanların düzeltme sırası ise aşağıdaki gibi olmalıdır:

1. Levha takviyelerinin düzeltilmesi
2. Kaynaklı takviyelerin sınırına kadar levha çarpılmalarının düzeltilmesi
3. Alın kaynakları sınırına kadar levha çarpılmalarının düzeltilmesi
4. Takviyeler arasındaki levha eğriliklerinin giderilmesi

5. Delik kenarlarındaki ve serbest kenarlardaki levha çarpılmalarının düzeltilmesi

Gemideki düzeltme sırası da aşağıdaki gibi olmalıdır:

1. Güverteler ve platformlar
2. Perdeler ve yan duvarlar
3. Üst binalar ve diğer kısımlar

Genel olarak da, kaynaklı gemi yapısındaki şekil değiştirmelerinin düzeltilmesi için işlem sırası aşağıdaki gibi olmalıdır.

1. Şekil değiştirmelerin gözle muayenesi
2. Şekil değiştirmiş alanın tebeşirle işaretlenmesi
3. Yatay ve düşey simetri eksenlerinin belirlenmesi
4. Sehimin ölçülmesi
5. Düzeltme yönteminin seçilmesi
6. İlk tavlama bölgesinin belirlenmesi
7. Tavlama şerit vs. yerlerinin belirlenmesi
8. Tavlanan bölgenin çekiçlenmesi
9. Düzeltme etkilerinin sonuçlarının ölçülmesi
10. İlave tavlama
11. Çekiçlemenin tamamlanması
12. Düzeltme etkilerinin kontrolü

Tekne ve bloklar için izin verilen toleranslar sağlandığında düzeltme işlemi bitirilmiş olur.

#### 5.4. Şekil Değişimi ve Kaynak

Kaynak işlemi sonucu oluşması muhtemel şekil değişimleri önceki bölümlerde anlatılmıştır. Kaynak sonucu oluşan şekil değişimlerini azaltmak maliyetin çok artmasına, montajın zorlaşmasına ve zaman kaybına sebep olmaktadır. Ayrıca yeni gerilmelerin oluşmasına da sebebiyet vermektedir. Örnek verecek olursak; Hiçbir önlem alınmadan imal edilen bir gemi perdesinde alın bağlantıları ve takviye kaynağı 22 saat sürmekte, bu perdedeki

şekil değişimlerini ve gerilmeleri yok etmek ise 21.5 saat sürmektedir. Yani düzeltme için harcanan zaman neredeyse imalat zamanına eşit olmaktadır.

Bu yüzden verimli bir işletme için daha kaynağa başlamadan şekil değişimini önlemeye yönelik önlemler alınması bir zorunluluktur. Tersaneler kendi bünyelerinde deneysel ve analitik incelemeler sonucunda şekil değişimini önleyen kaynak sırası ve kaynak planları üretmişlerdir. İyi bir kaynak planıyla imal edilen ürün en fazla kaynak süresinin % 10 - % 20'si kadar bir düzeltme süresi gerektirmelidir.

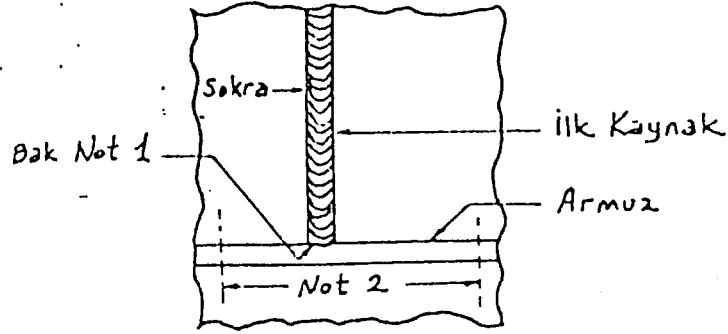
#### 5.4.1. Kaynak sırası

Genel olarak kaynak sırası, kaynak işlemi sonucu oluşacak şekil değişimlerinin azaltılması ve montajın kolaylaştırılması açısından birinci derecede düşünülmelidir. Kaynak sırası basit ve uygulaması kolay olmalıdır. Aynı şekilde, birçok sayıda kaynakçının birarada aynı zamanda çalışabileceği şekilde pratik olmalıdır.

Gemi inşaatında kaynak sırasının hatalı uygulanması, sistem elemanlarının dikkatsizce birleştirilmeleri yüzünden oluşabilecek gerilmeler üst üste toplanabilir ciddi blok çarpılmalarına neden olabilir. Kaynak çatlamları meydana gelmese bile bu gerilmeler sistemin rijitliğini yenip sistemi deforme eder.

Kaynak sırası, gemi inşaatı ve onarımında önemli bir yer tutar. Genel olarak kaynaklı bir yapıda kaynağa ortadan başlamalı ve her iki uca doğru simetrik uygulanmalıdır. Levha kaynağındaki en önemli nokta şekil 5.1'de gösterilen ana kurala sadık kalmaktır. Şekil 5.1'de gösterilen armuz ve sokra kesişmelerindeki doğru kaynak sırasıdır. Şekil 5.2'de yanlış kaynak sırası gösterilmiş olup ilk önce armuzun kaynatılması çatlamlara sebep olur. Bu ana kural levhalı bir yapıya uygulandığında kaynak sırası şekil 5.3'de gösterildiği gibi iki armuzla çevrilmiş bir sokra haline gelir. Şekil 5.4'de aynı kurala sadık kalınarak eldeki imalat programına göre aynı anda birden fazla kaynakçı kullanılabilir. Şekil 5.4'de gösterildiği gibi yalnız omurga saclarının

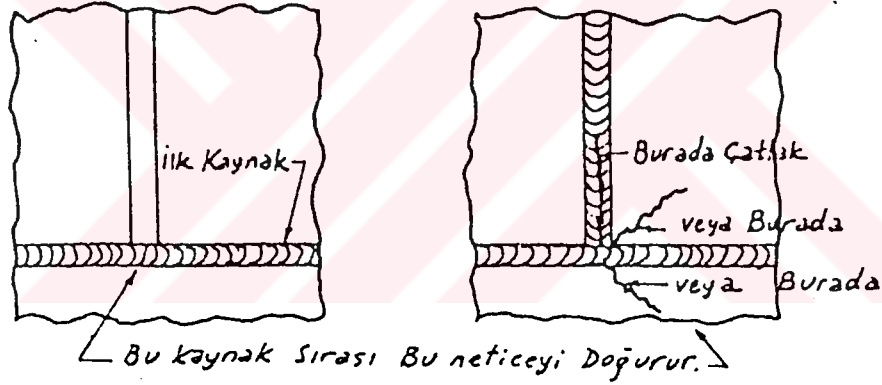
sokraları şaşırilırsa daha basit bir kaynak sırası elde edilir. Levha ve diğer elemanların birlikte kaynatılmasında ise şekil 5.5’de gösterilen kaynak sırası uygulanır.



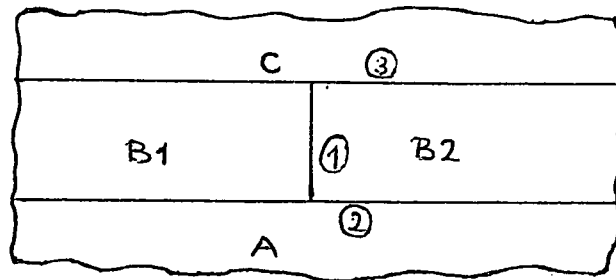
Not 1 : Tamamen bitir ve bu uçta kaynak ağzı aç

Not 2 : Armuz boyunca devamlı kaynak ağzı aç

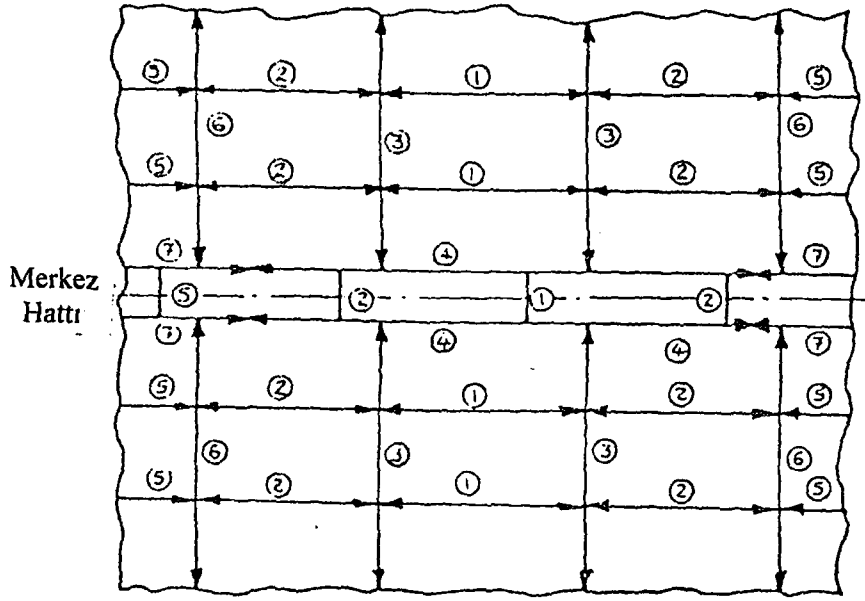
Şekil 5.1. Armuz ve sokra birleştirmesinde doğru kaynak sırası



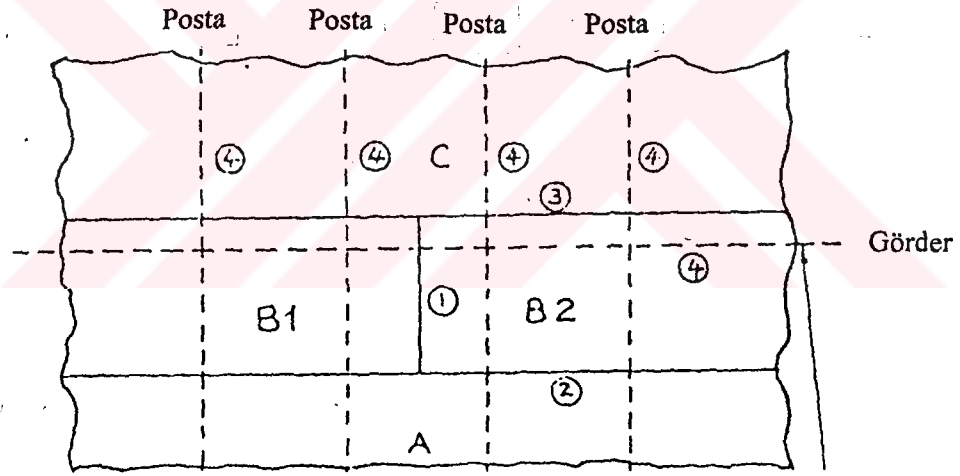
Şekil 5.2. Bir T kesişmesindeki kaynak detayı



Şekil 5.3. Levhalı bir yapıdaki kaynak sırasının ana prensibi



Şekil 5.4. Tekne alt saclarının yalnız omurga sokraları şaşmış durumda kaynak sırası



Şekil 5.5. Levha bağlantılarında kaynak sırası

Birbirine bitişik panellerde aşağıda belirtilen kaynak sırası uygulanır. Daha sonra bu paneller birleştirilir. Paneller arasındaki sokralar kaynatıldıktan sonra dahili elemanların panel uçlarında kaynatılmadan bekleyen 30 cm'lik kısımlar kaynatılır.

1. Postalar ve görderler levhalara, kaynak edilmemiş sokra ve armuzlara 30 cm kalıncaya kadar kaynatılır.

2. Sokra tamamen kaynatılır.
3. Görderin sokra etrafında kaynak edilmemiş kısmı (yani 60 cm) kaynatılır.
4. Teknenin merkezine bakan armuzun kaynağı tamamlanır.
5. Bu armuz civarındaki postaların bitmemiş kaynağı tamamlanır.
6. Teknenin bordasına bakan armuzun kaynağı tamamlanır.

Blok inşaatında da benzer kurallar uygulanır.

Levhalar, stifner kısımları yukarı gelecek şekilde yerleştirilir. Levhaları kaydattıktan sonra stifner ve postalar ayarlanır, kaynağı yapılır. Bir tarafın kaynağı bittikten sonra blok ters çevrilir, diğer taraftan kaynak ağzı açılır ve kaynağı yapılır. Blokların gerçek ölçülerine uygun olmasının temini için iki yöntem tatbik edilebilir.

1. Kaynaktan önce levhalar tam ölçüsüne göre kesilir. Bu halde kaynak nedeniyle meydana gelecek olan büzülme payını hesap etmek lazımdır.
2. Levhalı panelin dış kenarlarında 25 - 50 mm'lik bir fazlalık bırakılır. Kaynak işlemi tamamlandıktan sonra gerçek ölçülere göre kesilir. Bu kesme işlemi atelyede veya teknede yerine montaj zamanında yapılabilir.

Genellikle herhangi bir montaj işleminde levhalardaki sokralarda yalnız bir taraftaki levhayı keserek işlemi tamamlamak iyi bir uygulamadır. Ekleniecek yerdeki sokrada buluşacak levhalardan biri atelyede kaynak ağzı açılarak hazırlanır ve diğeri ise montaj esnasında ölçülere en uygun şekilde kesilerek işlem tamamlanır.

Kızak üzerinde bir geminin en uygun kaynak sırası merkez omurgadan, ortadan başlayarak ve sancak/iskele eşit olarak uygulayarak aynı anda başa ve kıça gitmektir. Dikine yönde ise dipten başlayarak sintine dönümüne doğru ilerlenir.

Tamirat işlerinde uygulanacak kaynak sırası da önemlidir. Tamir işi mevcut ve daha rijit bir bünyeye yeni bir malzemenin eklenmesi gibi



düşünülebilir. Bu durum kaynaktan dolayı meydana gelecek çekmeleri çok fazla sınırlar. Sokraların kaynağının daha uygun bir şekilde yapılabilmesi için yeni malzemenin konulacağı bütün armuzları 300mm'ye kadar açmak gerekir.

Kaynak işlemi önce merkezi bir yerden başlamalı ve simetrik olarak uçlara doğru ilerlenmelidir. Yöntemin uygulanma sırası ise şöyledir:

1. Sokraları kaynatmak için mevcut malzemenin armuz kaynakları 300 mm kadar kesilir.
2. Gerilmeleri en az değere düşürmek için mevcut yapıdaki herhangi bir posta kaynağı 300 mm kadar serbest bırakılır.
3. Postalar, kaynatılmamış bütün armuz ve sokralara 300 mm kalıncaya kadar kaynatılır.
4. Sokralar tamamen kaynatılır.
5. Sokraların etrafındaki bitmemiş posta kaynakları tamamlanır.
6. Armuzlar kaynatılır.
7. Armuzların etrafındaki bitmemiş posta kaynakları tamamlanır.

#### 5.4.2. Kaynak planları

Kaynak planları, kaynak tekniği ile ilgili bütün bilgilere dayandırılarak yapılır ve işletme için iş talimatı niteliğini taşırlar. İşletmeyle ilgili tüm planlama ve hesaplamalar gözönünde bulundurulur.

Bir kaynak planında aşağıdaki hususların bulunmasına özellikle dikkat edilmelidir.

1. Parça listelerindeki pozisyon sıralarına göre sırasıyla bütün kaynak yapılacak parçalar
2. Kaynak yapılacak parçaların malzemesi
3. Kullanılacak kaynak yöntemi
4. Kaynak ağzının şekli
5. Kaynak dikişinin kalınlığı
6. Kaynağın yapılacağı kaynak pozisyonu

7. Kaynak pasolarının sayısı
8. Kaynak dikişlerinin boyu
9. Aynı özelliğe sahip kaynak dikişlerinin sayısı
10. Aynı özelliğe sahip kaynak dikişlerinin toplam uzunluğu
11. Elektrotların tipi ve çapı
12. Her çap ve her tip için kullanılacak elektrotların miktarı
13. Birim kaynak zamanı
14. Toplam kaynak zamanı
15. Ücret grubu
16. Ek notlar

#### 5.4.3. Kaynak sırası planları

Kaynak sırası planları kaynak edilecek parçaların kaynak dikişleri ve pasolarının nasıl düzenlenip uygulanacağı ve sıralarının nasıl olacağını ayrı ayrı içerir. Bu sıralar önemlidir ve mutlaka uyulması gerekir. Aksi takdirde büyük çarpılmalar ve gerilmeler meydana gelir.

Kaynak sırası planı kaynak mühendisleri tarafından hazırlanır ve aşağıdaki bilgileri içerir:

1. Kaynak tekniği esaslarına göre hazırlanan ve gerekli bütün teknik bilgiyi taşıyan teknik resimler
2. Montaj resimleri
3. Kaynak yöntemi
4. Gerekli kaynak alet ve tertibatları
5. Kaynak sırası
6. Gerekli imalat süresi

Bir kaynak sırası planı üç bölümden oluşur:

1. Yazılı bölüm
  - a) Malzeme
  - b) Kaynak yöntemi

- c) Elektrot
- d) Kaynakçının sertifikası ve sınav
- e) Kaynak konstrüksiyonunun boyutu
- f) Kaynakçı sayısı
- g) Sorumlu kaynak mühendisi

## 2. İş sırası listesi

- a) İş sırası
- b) Kaynak ağzının şekli
- c) Kaynak sıraları
- d) Ek notlar (ısıt işlemler, gerekli kaynak tertibatları, kontrol edilecek kaynak dikişleri vs.)

## 3. Resimler

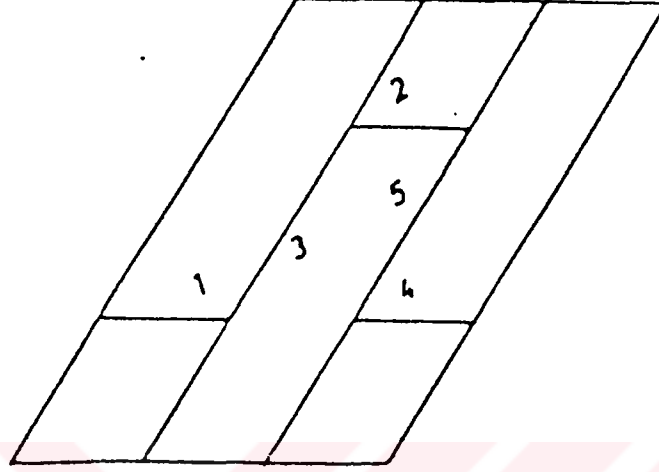
- a) Üzerinde kaynak dikişlerine ait bütün ayrıntıların bulunduğu krokiler
- b) Kaynağın yapılış yönleri
- c) Kaynakçıların sayısı
- d) Her kaynakçı tarafından yapılacak dikişlerin numaralanmış dikiş sırası

Hazırlanan kaynak planları varsa gerekli düzeltme ve eklentilerin yapılabilmesi için işletme mühendisliğine ve oradan da imalat şubesine gönderilir. Düzeltmeler için tekrar kaynak mühendisine başvurulur ve onların düşünceleri sorulur. Plandaki herhangi bir değişiklik ancak kaynak mühendisinin izni ile yapılabilir.

Kaynak sırası planları hazırlanırken aşağıdaki hususların da dikkate alınması gerekir :

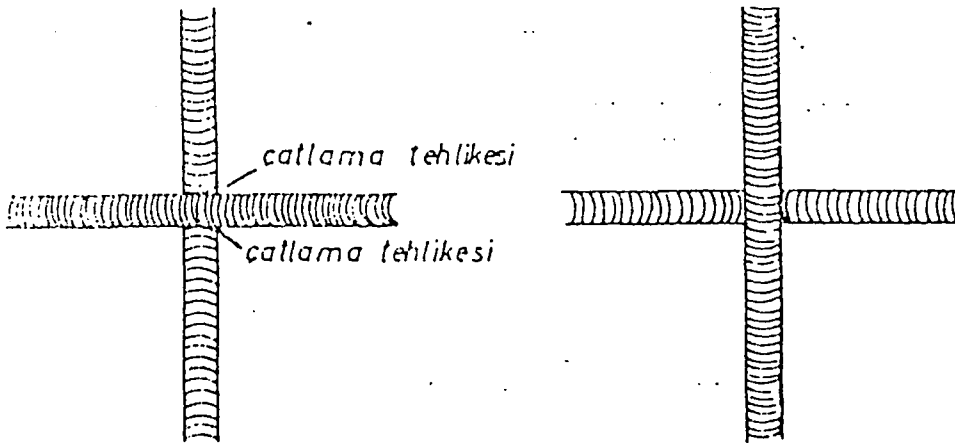
1. Kaynak sıralarının tespitinde genel olarak münferit parçaların şekil değişimini serbest bırakabilmesi hesaba alınır. Konstrüksiyonda en küçük bir şekil değişimine uğrayacak ve sabit bir bağlantı sağlayacak dikişler mümkün oldukça en son kaynak edilmelidir.

Bir kostrüksiyonda münferit elemanlarda oluşan çarpılmalar montajdan önce düzeltilmelidir. Boylamasına ve enlemesine dikişlerin birbiriyle karşılaşması halinde karşılaşan dikişler daima devamlı dikişten önce kaynatılmalıdır (Şekil 5.6).



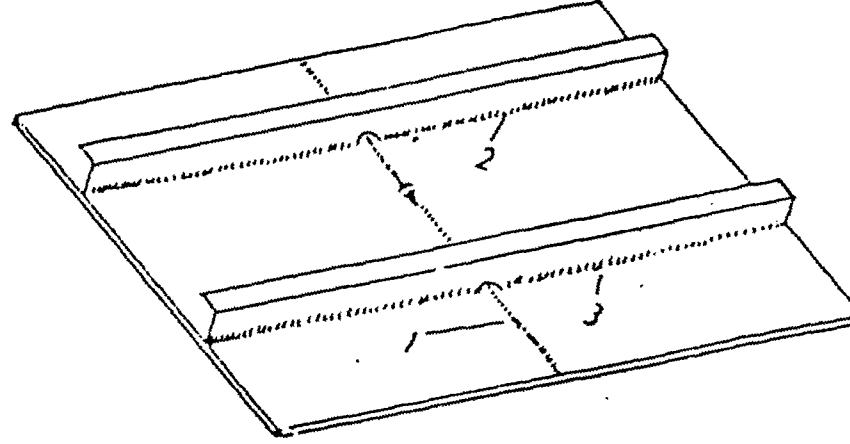
Şekil 5.6. Bir yapıda boylamasına dikişin enlemesine dikişle karşılaşması hali

2. İki alın kaynak dikişinin birbirini kesmesi halinde çekme gerilmesine maruz kalan bölümün devamlı kaynak edilmesi zorunluluğu vardır (Şekil 5.7). Aksi takdirde zorlanmaya maruz kalan dikişin kraterlerinde çatlamlar oluşur.



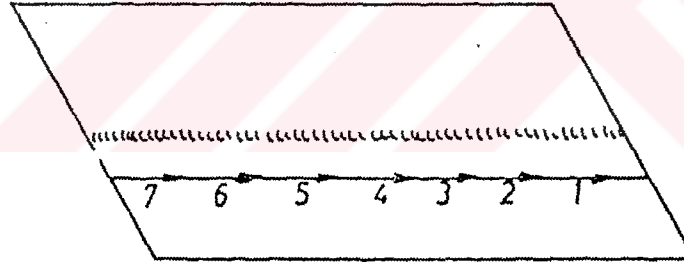
Şekil 5.7. Alın dikişlerinin birbirlerini kesmesi hali

3. Bir alın dikişi ile iç köşe dikişinin birbirini kesmesi durumunda, önce alın dikiş kaynak edilir (Şekil 5.8).



Şekil 5.8. Bir alın dikişiyle bir iç köşe dikişinin birbirini kesmesi hali

4. Uzun kaynak dikişlerine ait kök pasolarının back-step (geri adım) yöntemiyle çekilmesi, dikiş boyunca muntazam bir enine çarpılmanın oluşmasını önleme bakımından uygun kabul edilir (Şekil 5.9).



Şekil 5.9. Uzun dikişlere ait kök pasolarının geri adım yöntemiyle kaynağı

5. Kaynağa daima konstrüksiyonun ağırlık merkezinden başlanarak düzgün bir şekilde dışa doğru gidilmelidir.

6. Birbirinin tam simetriğine düşen dikişler, büyük çarpılma momentleri meydana getireceğinden, bunların aynı anda iki kaynakçı tarafından kaynak edilmesi gereklidir.

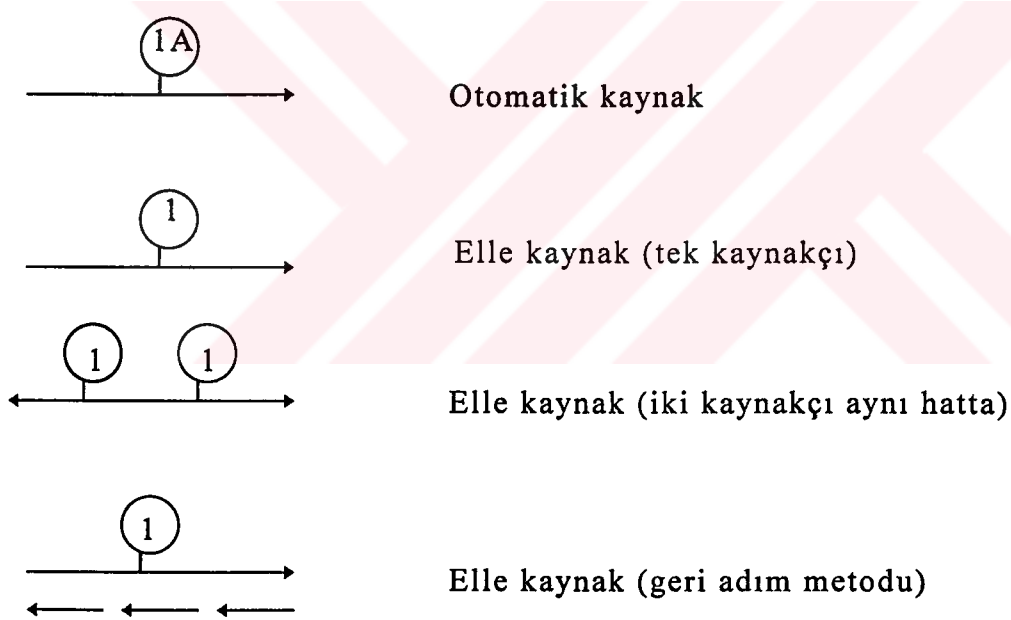
7. Çeşitli sac kalınlıklarına sahip bir konstrüksiyonun simetrik kaynak dikişlerindeki enine çarpılma kuvvetlerini dengelemek için imkan nispetinde

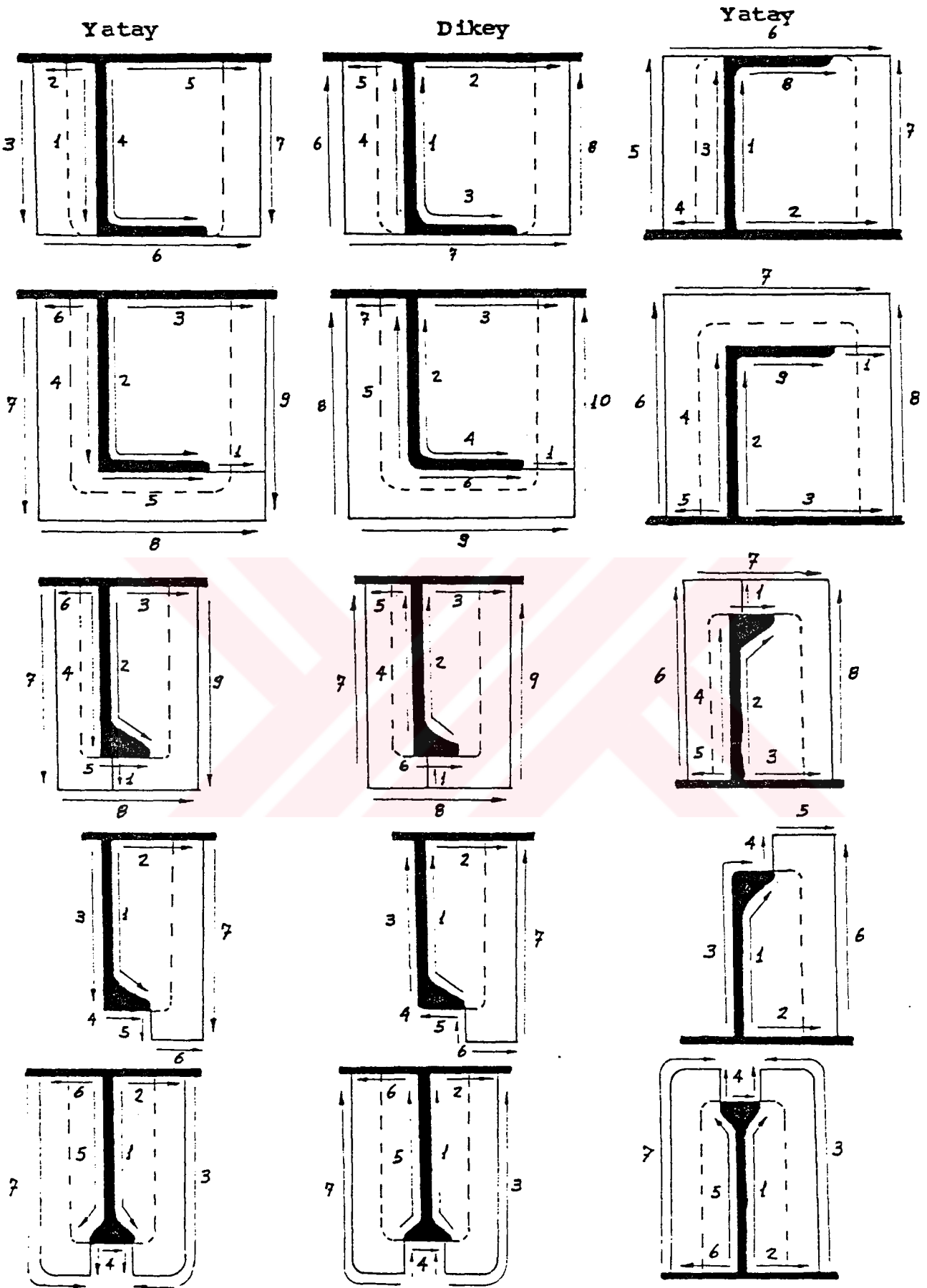
dikişlerin kesiti birbirine eşit yapılmalıdır. Bu da ince saclarda ağız açısını veya iki sac arasındaki mesafeyi büyötmekle temin edilir.

#### 5.4.4. Kaynak sırası örnekleri

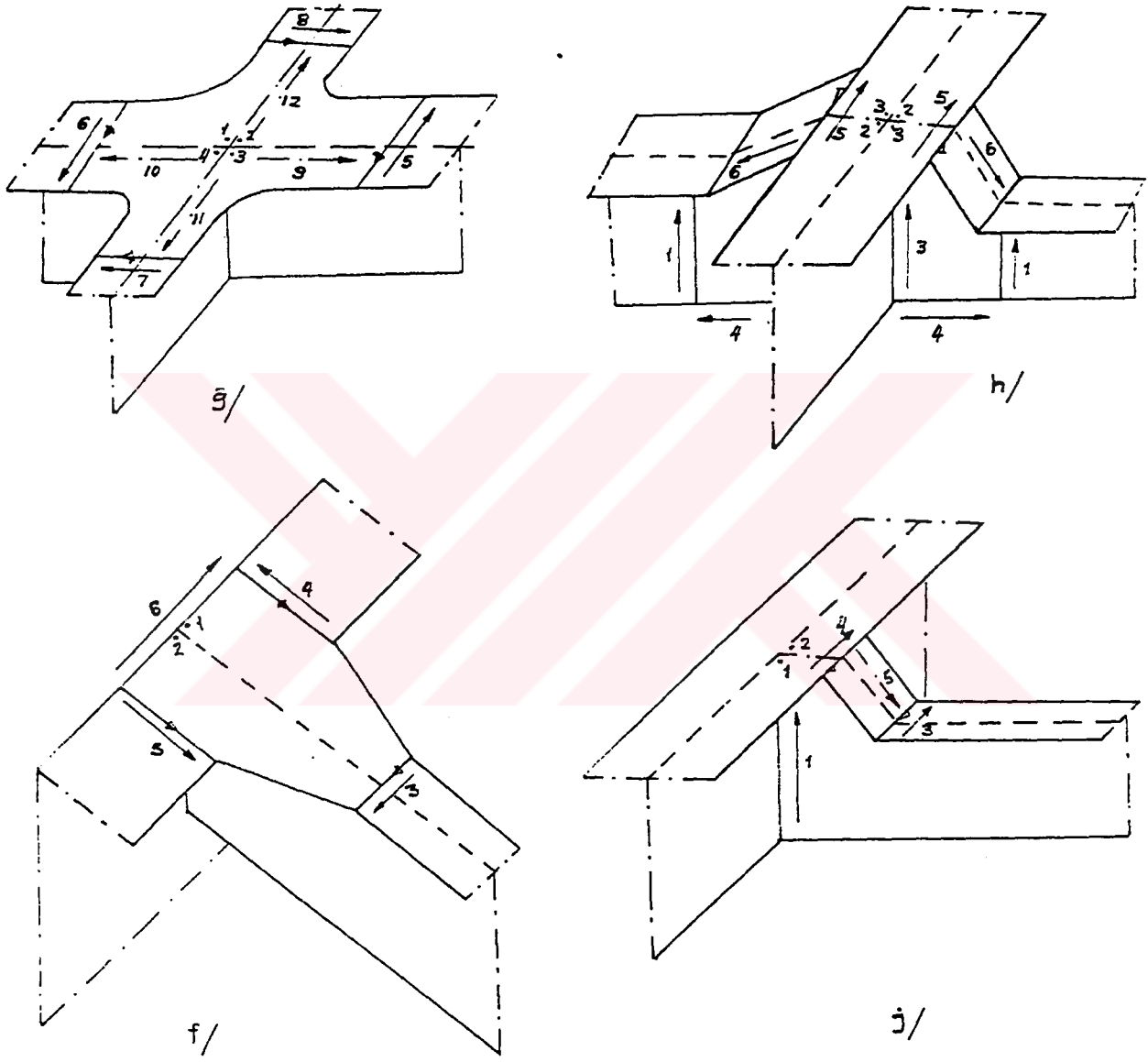
Gemi inşaatında kaynak sırası şekil değışimleri açısından çok önemlidir. Kaynak tekniğı ve kaynak sırasına uygun olarak yapılan kaynak işlemleri kaliteli bir gemi inşaatı sağlar.

Burada, hazırlanmış tipik konstrüksiyonların kaynak sıralarına örnekler verilmiştir (Şekil 5.10- Şekil 5.46). Şekillerde kullanılan simgeler aşağıdadır.



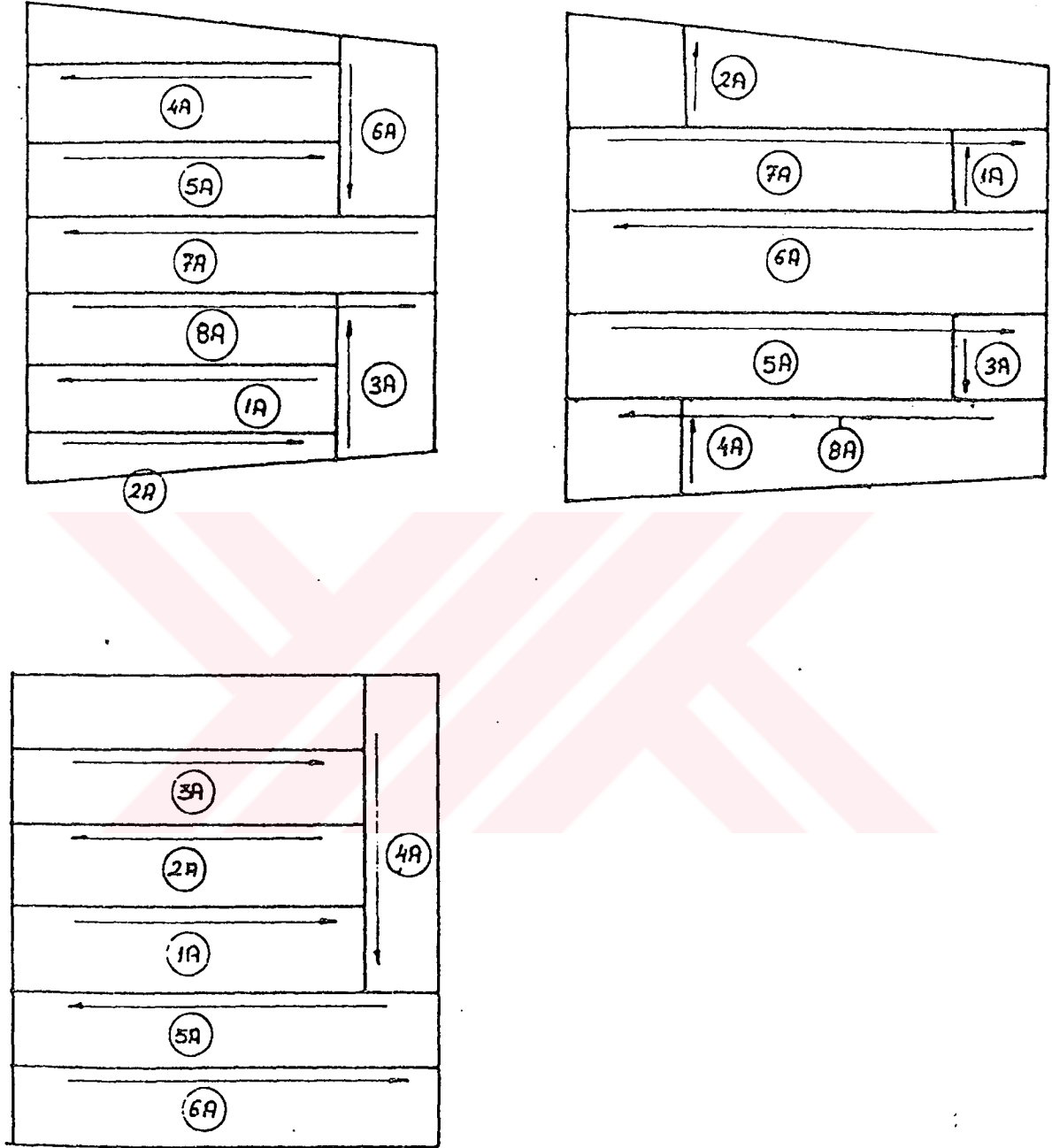


Şekil 5.10. Posta, tülani, kemere kapatma saclarının kaynağı

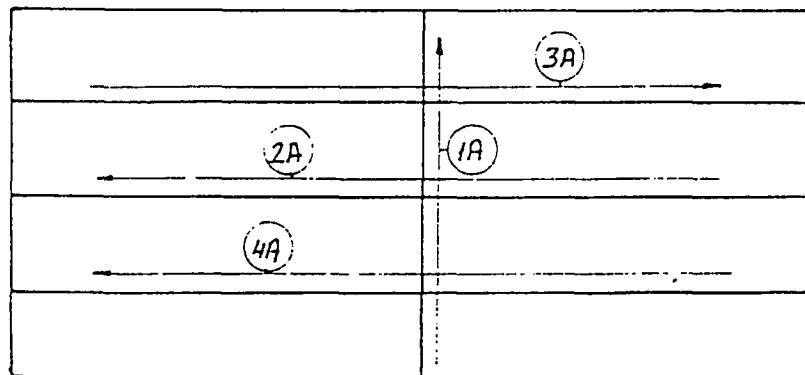
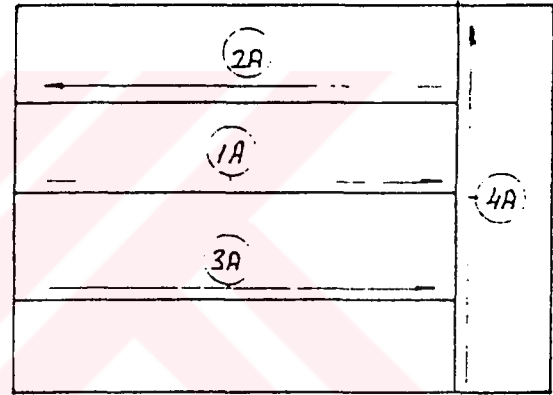
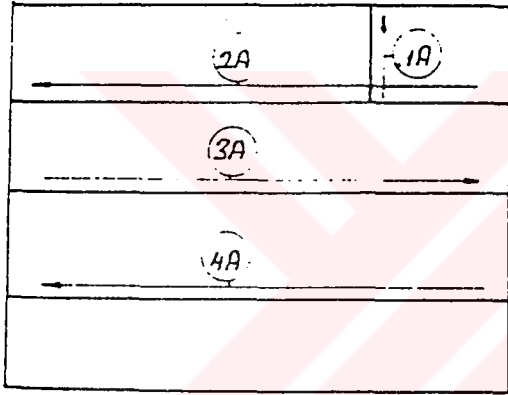
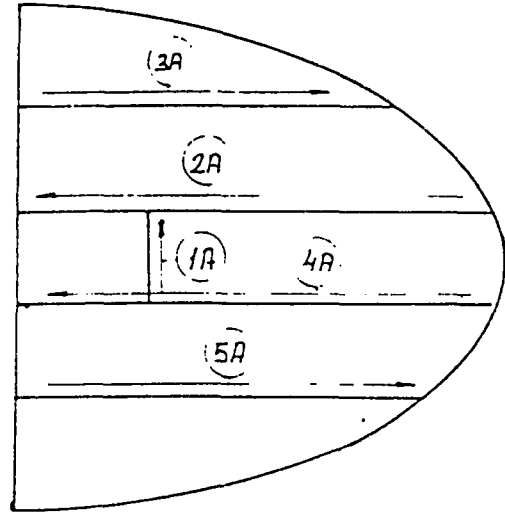
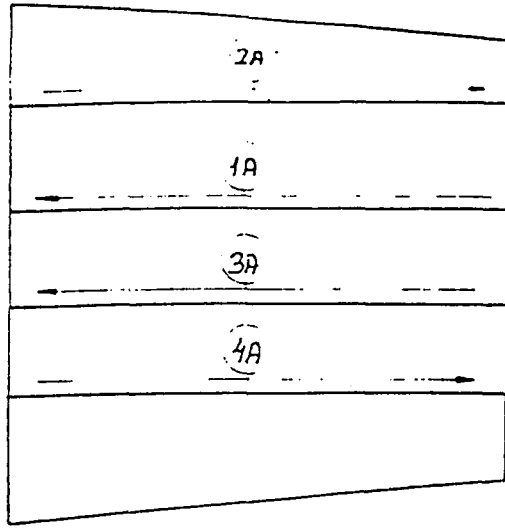


Şekil 5.11. Tülani takviyelerinin ve stifnerlerin kaynağı

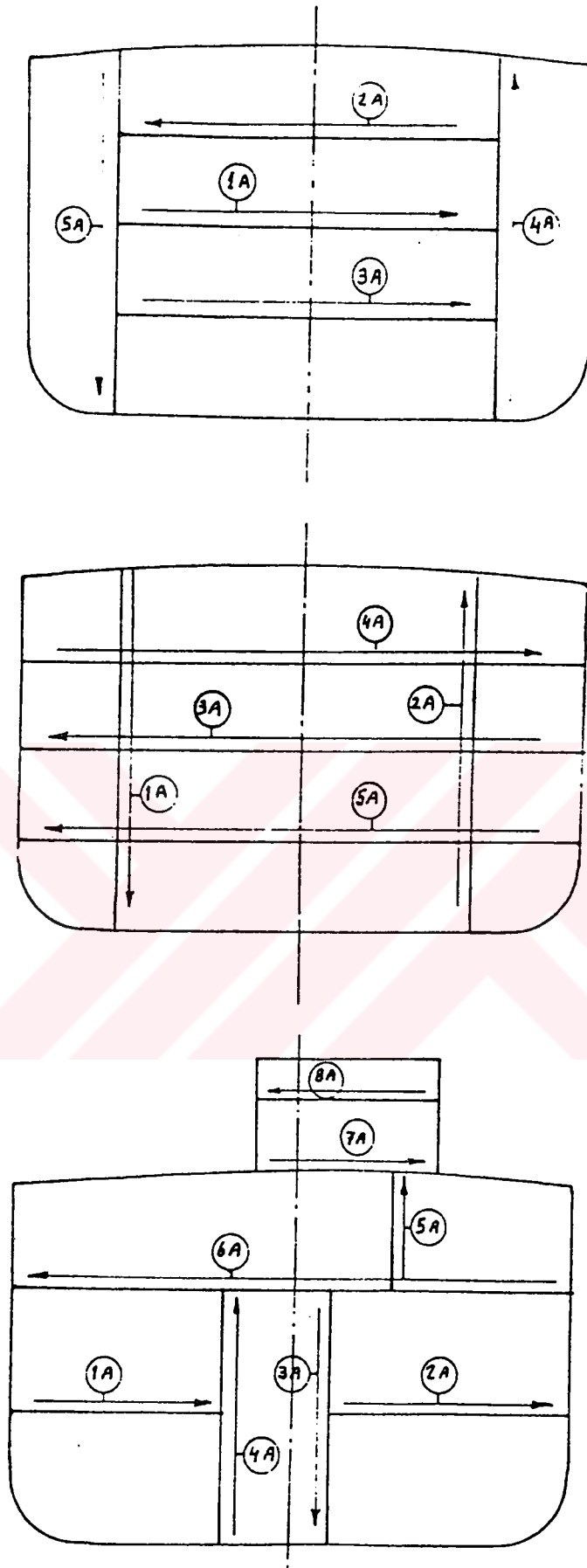




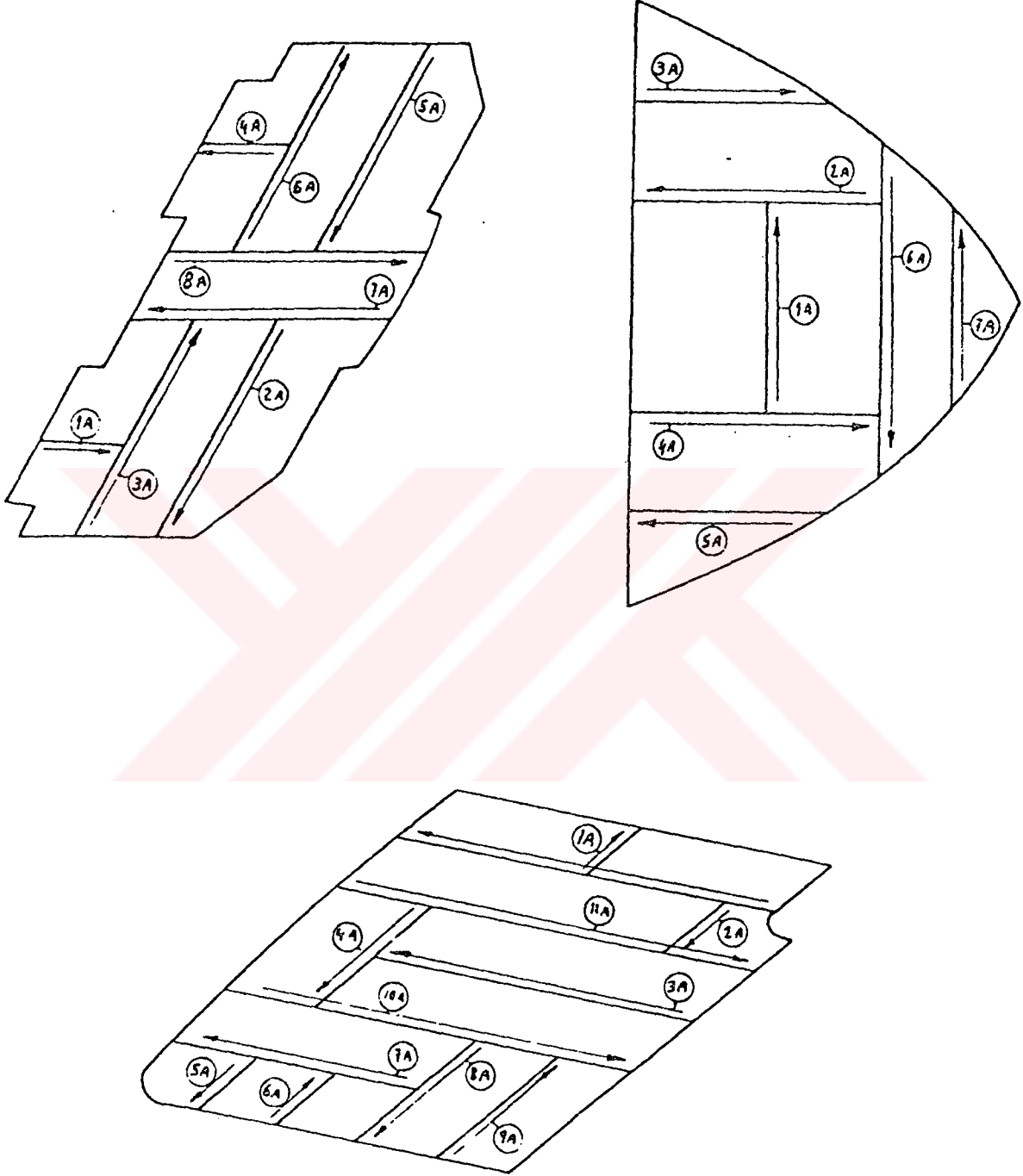
Şekil 5.12. Hazırlanmış sacların kaynağı



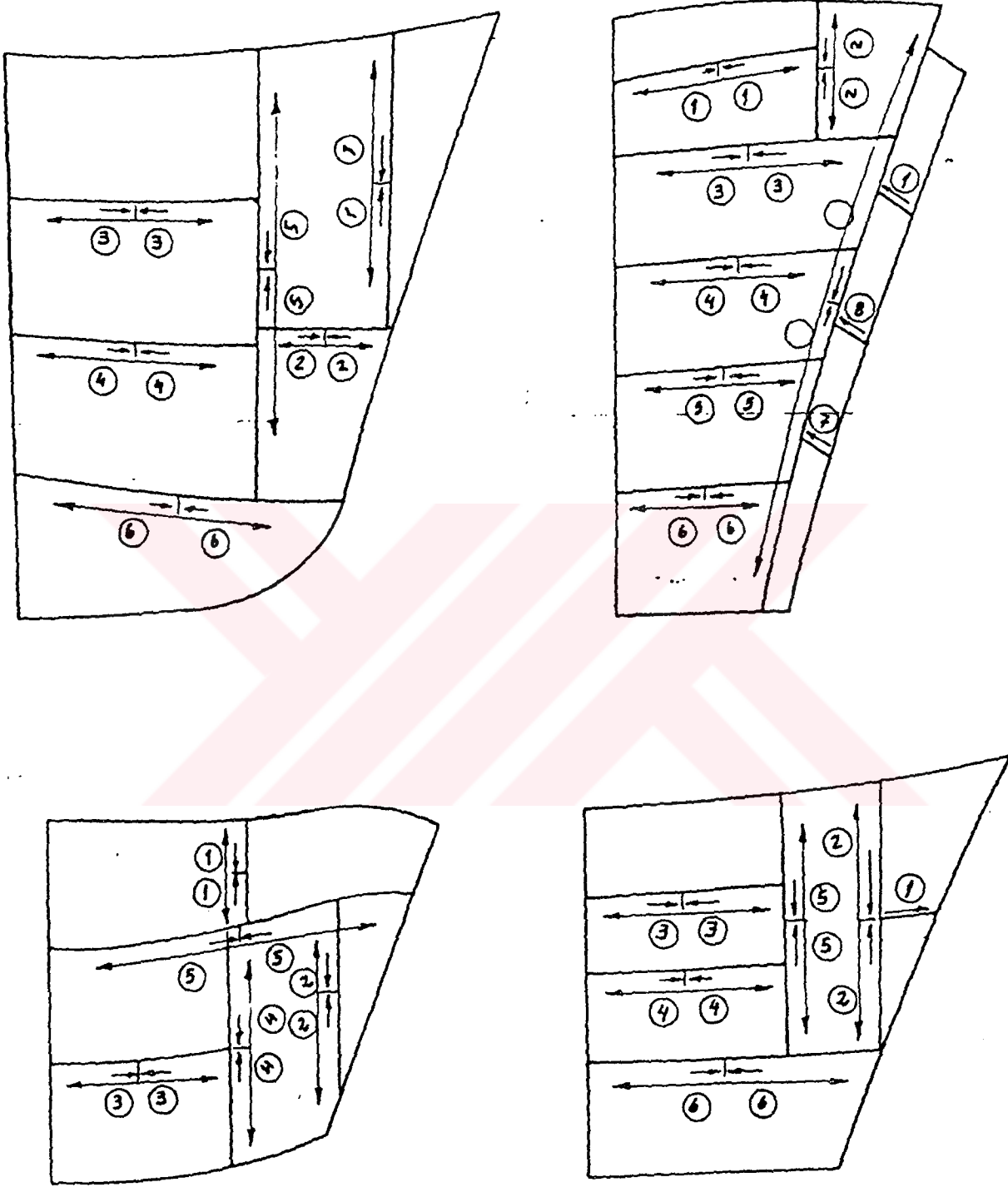
Şekil 5.13. Hazırlanmış sacların kaynağı



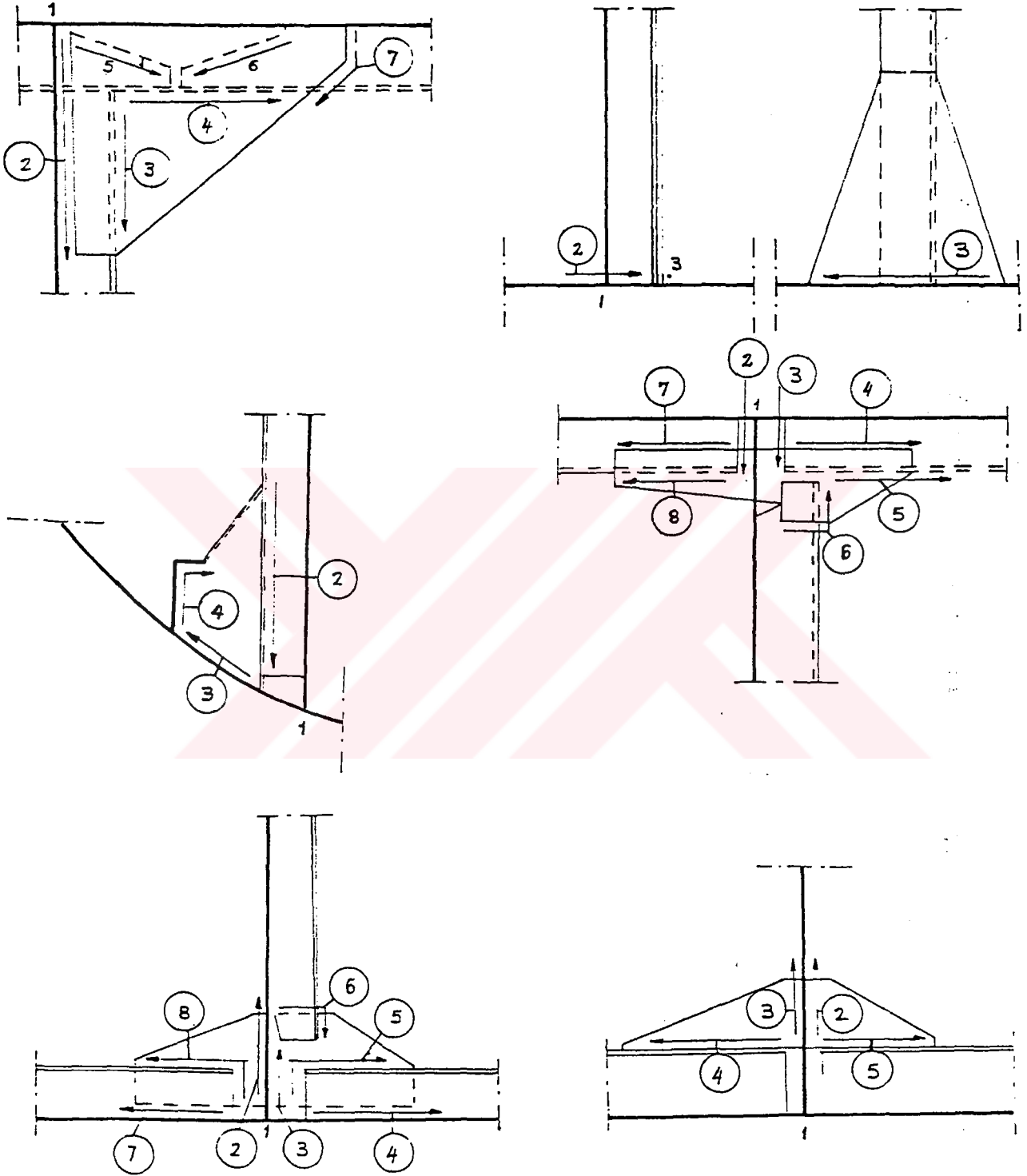
Şekil 5.14. Hazırlanmış sacların kaynağı



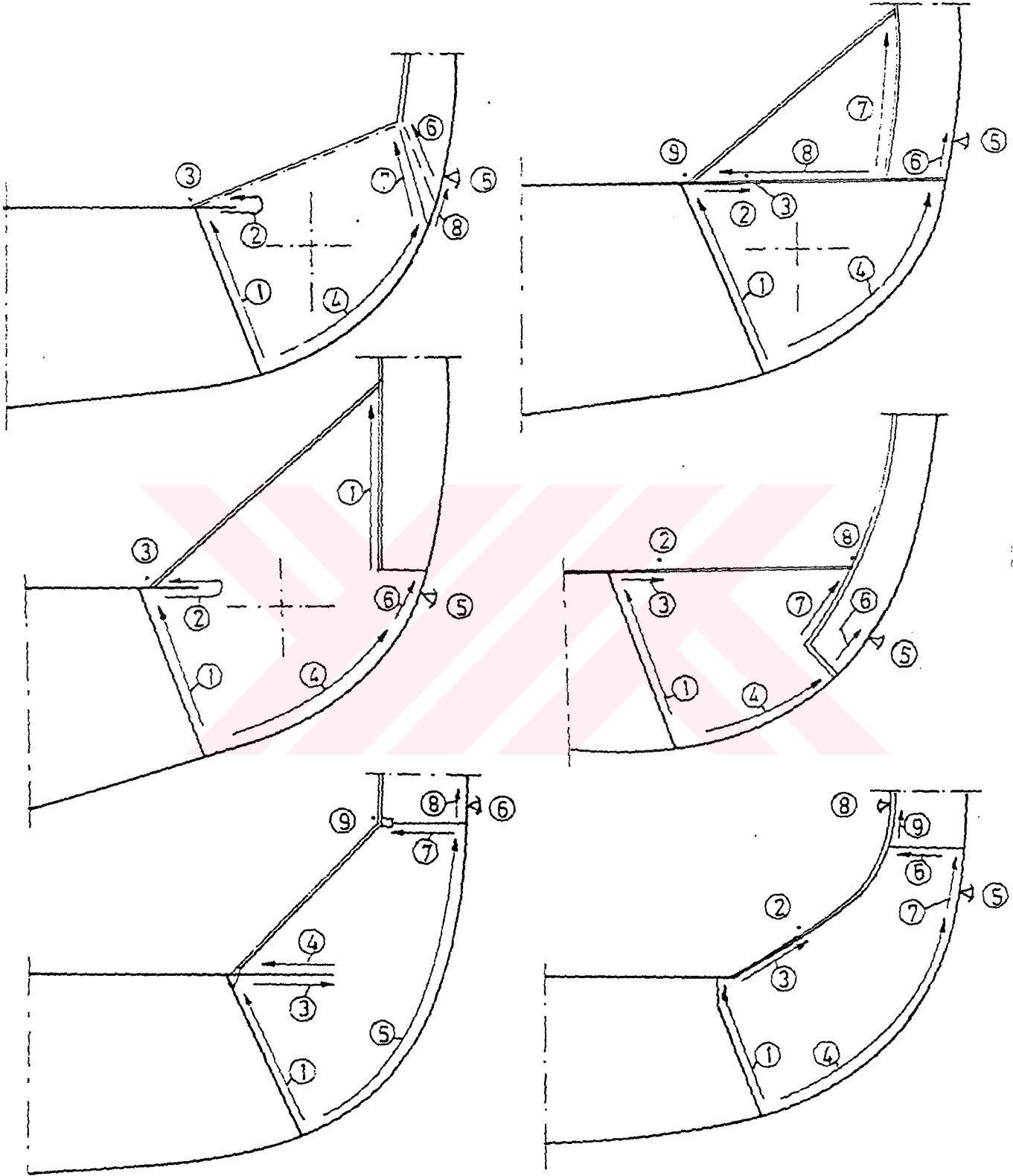
Şekil 5.15. Hazırlanmış sacların kaynağı



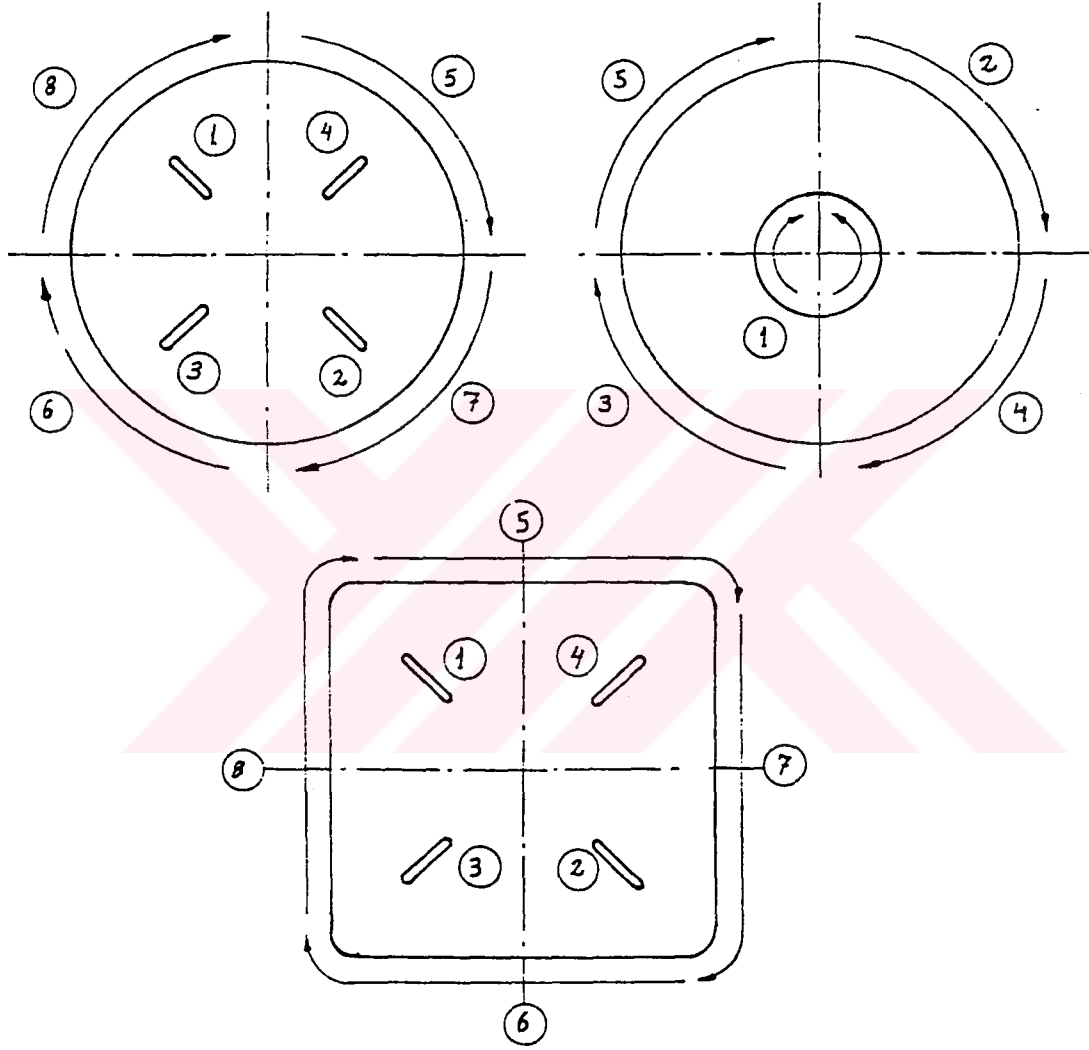
Şekil 5.16. Hazırlanmış sacların kaynağı



Şekil 5.17. Güverte, perde ve dip bağlantı konstrüksiyonları

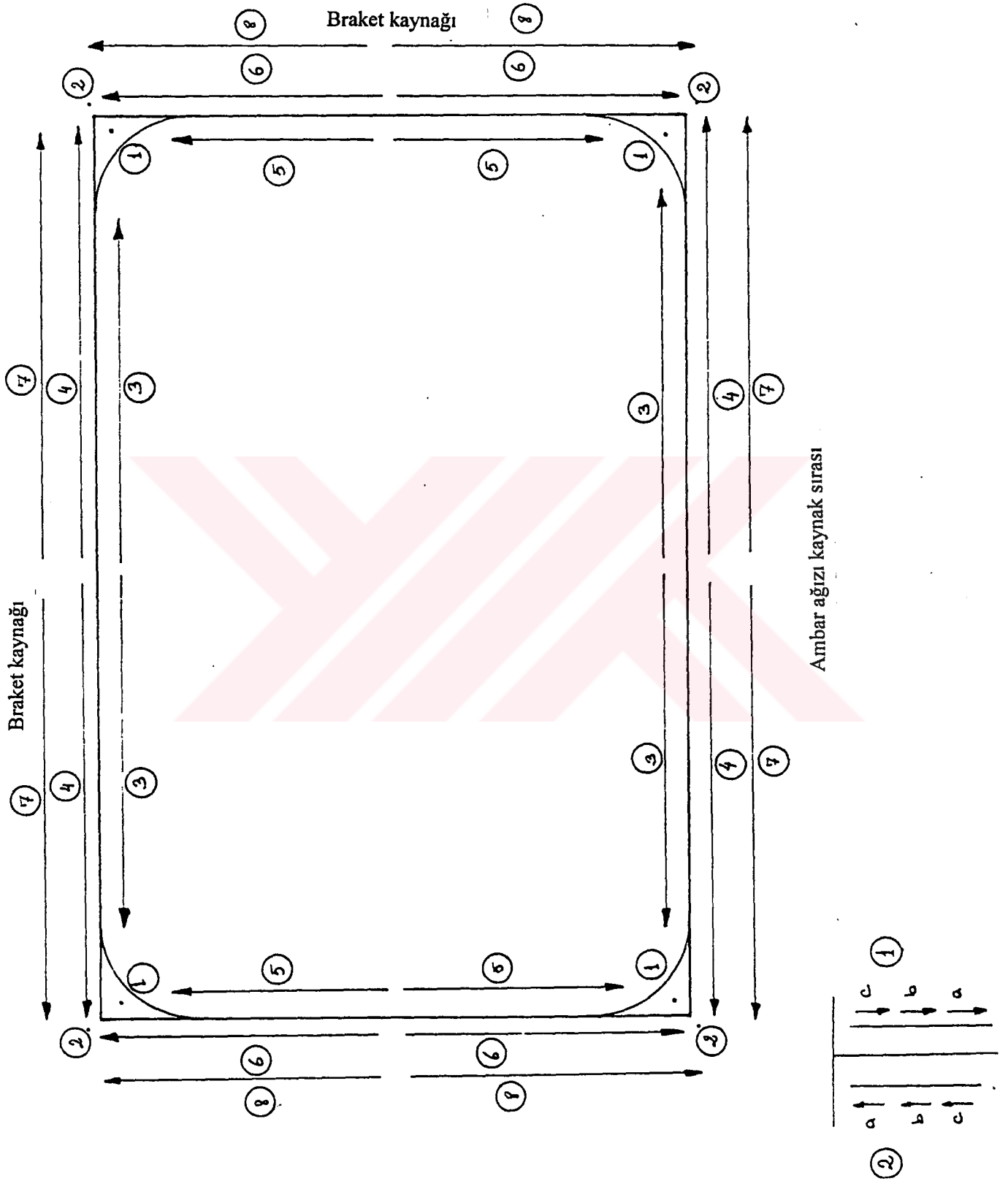


Şekil 5.18. Çift dip ile dış kaplama kaynakları

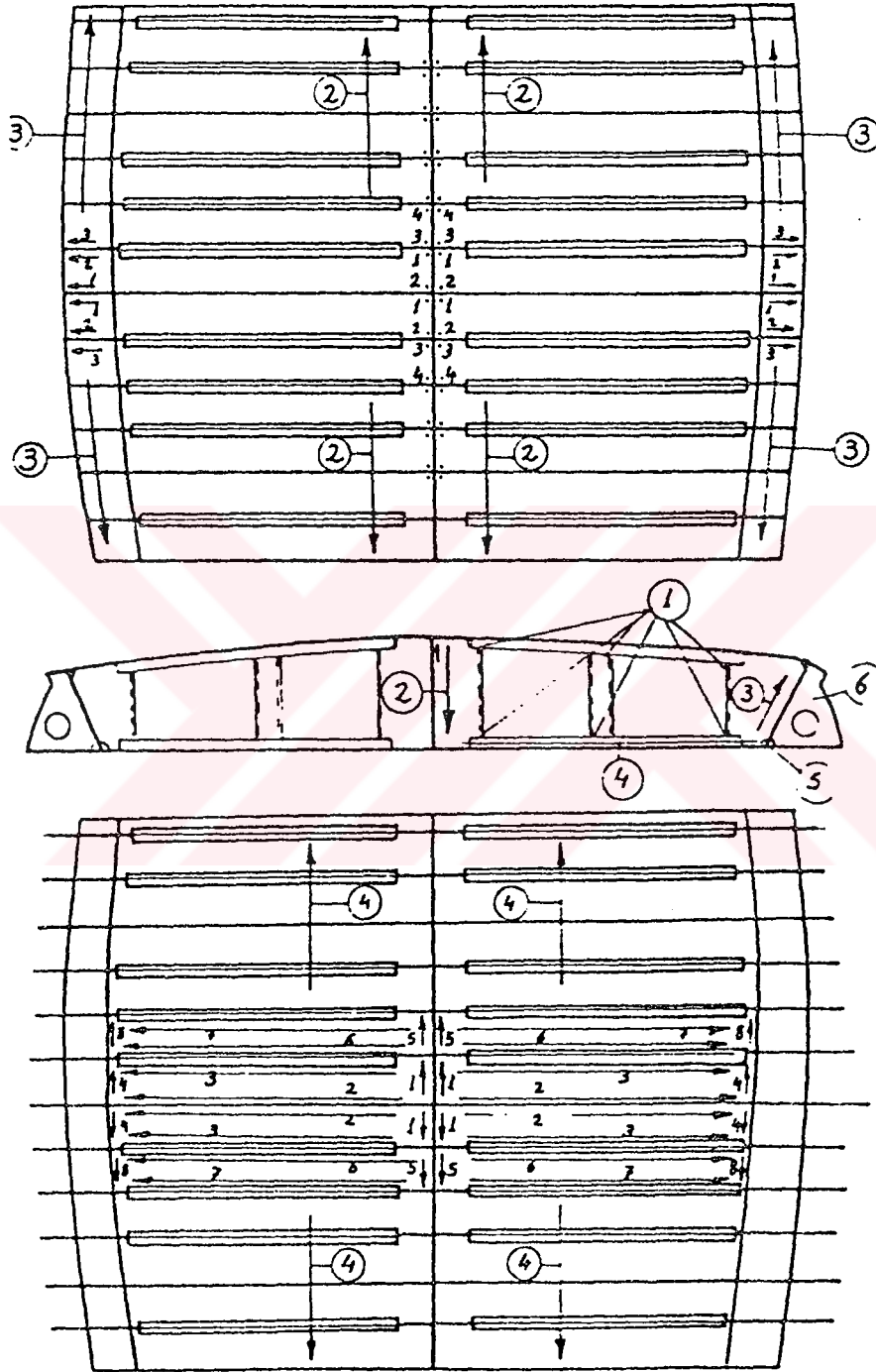


Şekil 5.19. Dablin saclarının kaynağı

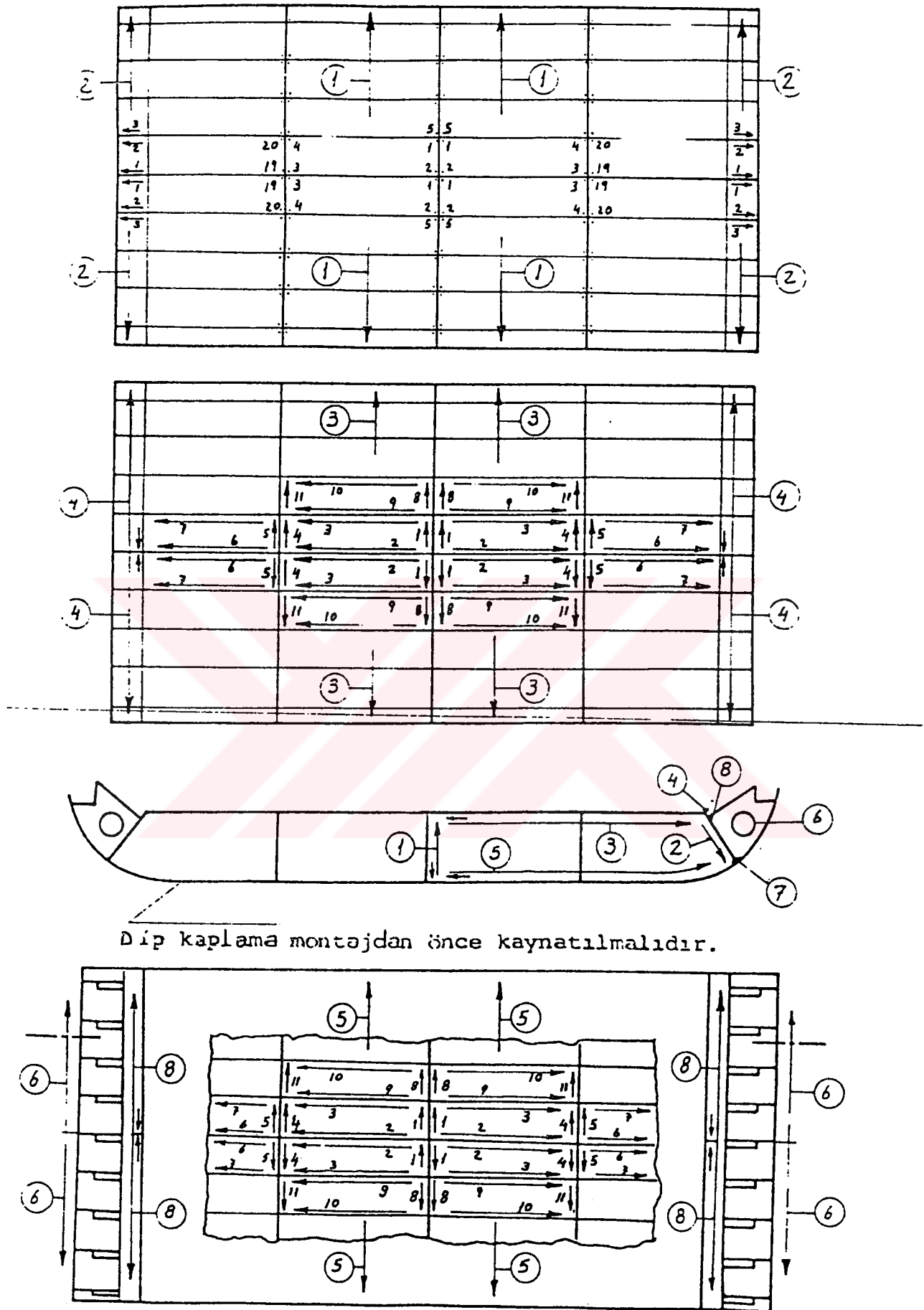




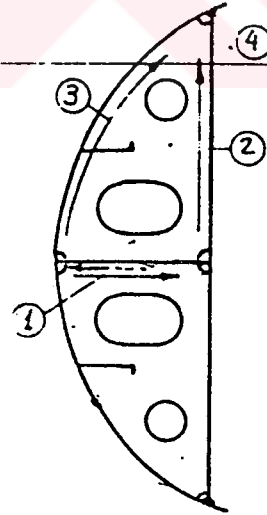
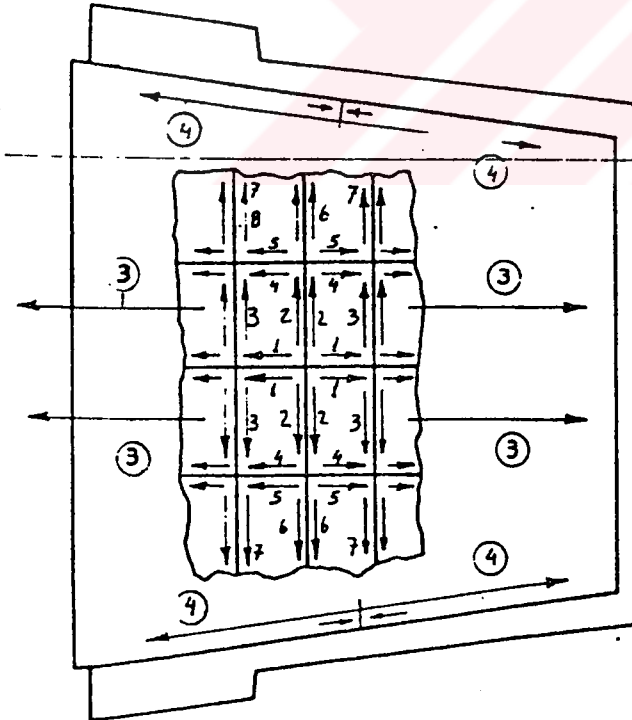
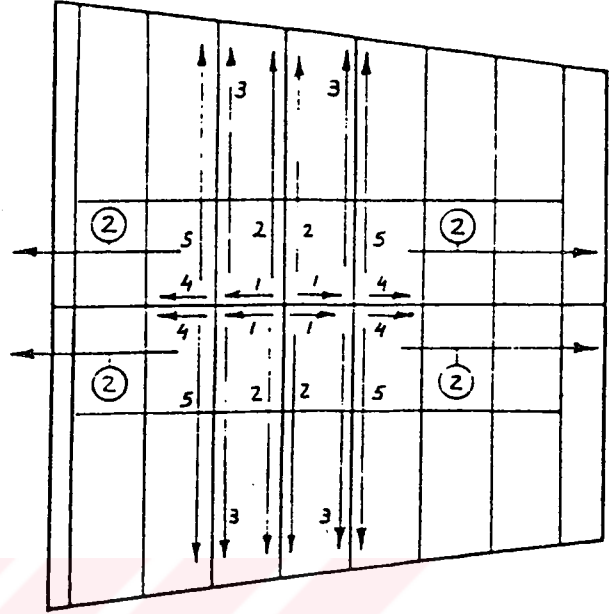
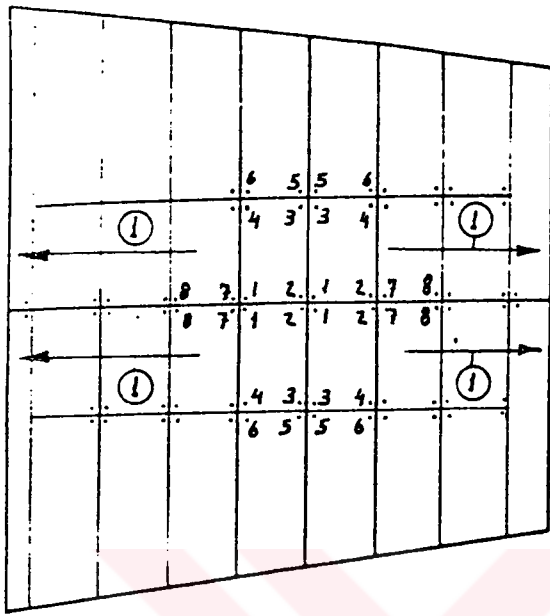
Şekil 5.20. Ambar mezarnalarının kaynağı



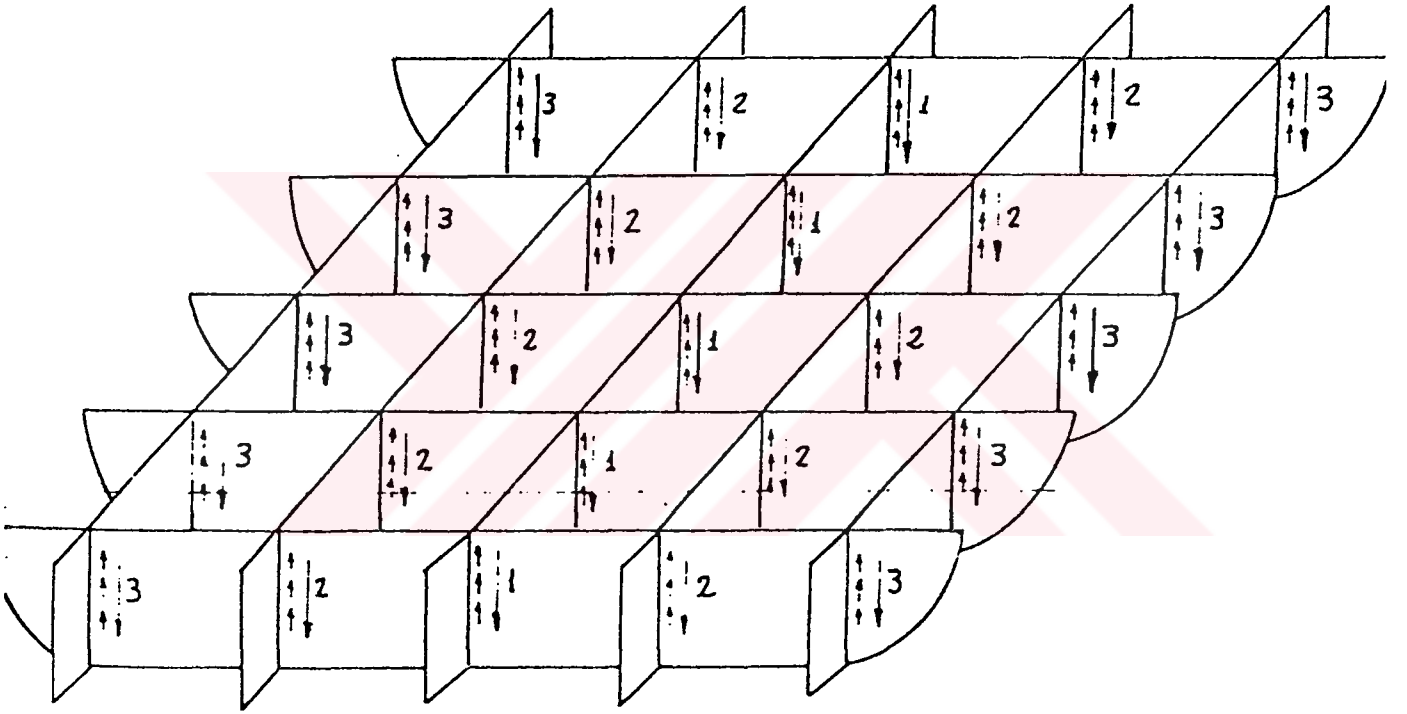
Şekil 5.21. Hazırlanmış çift dip saclarının kaynağı



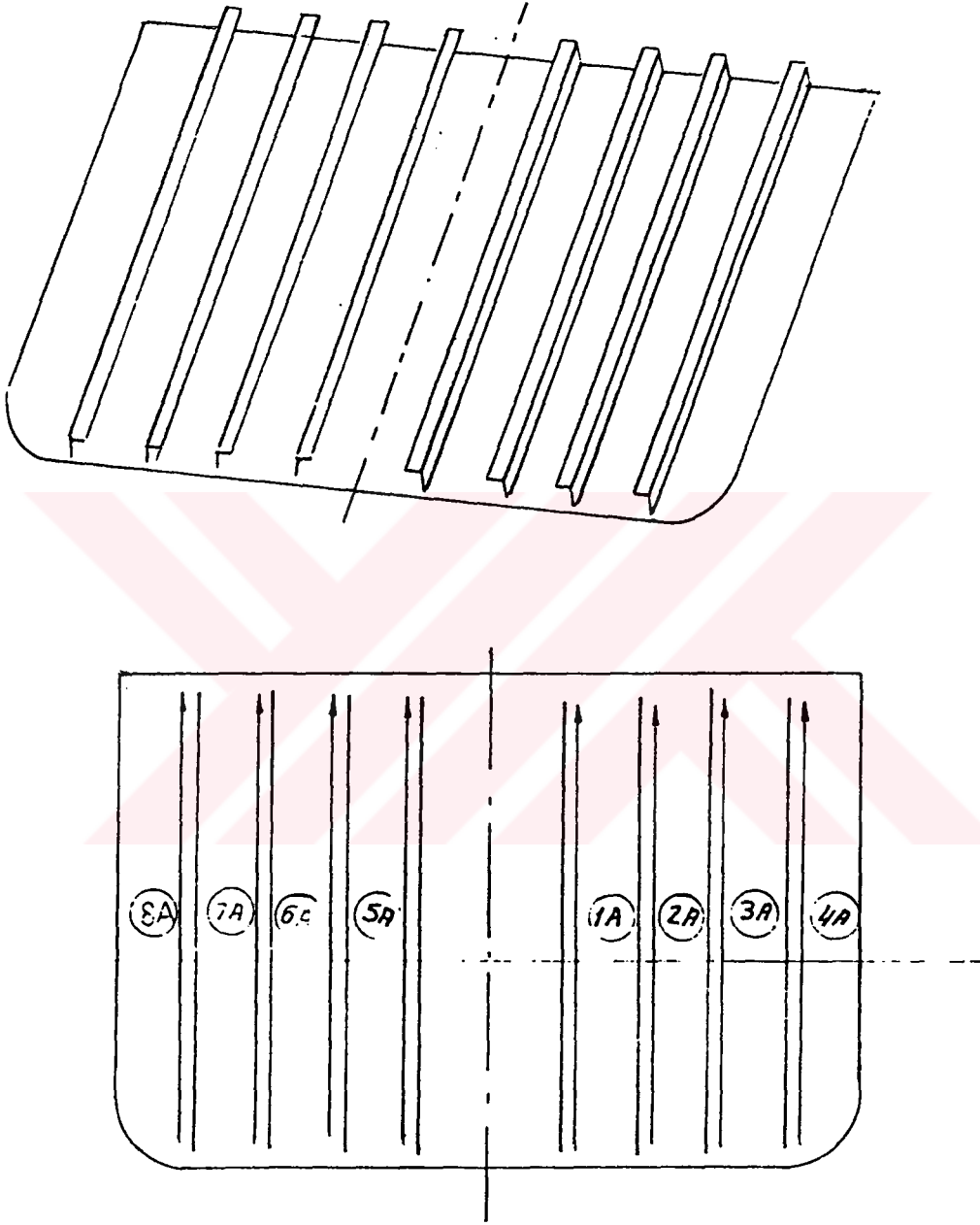
*Şekil 5.22. Hazırlanmış çift dip saçlarının kaynağı*



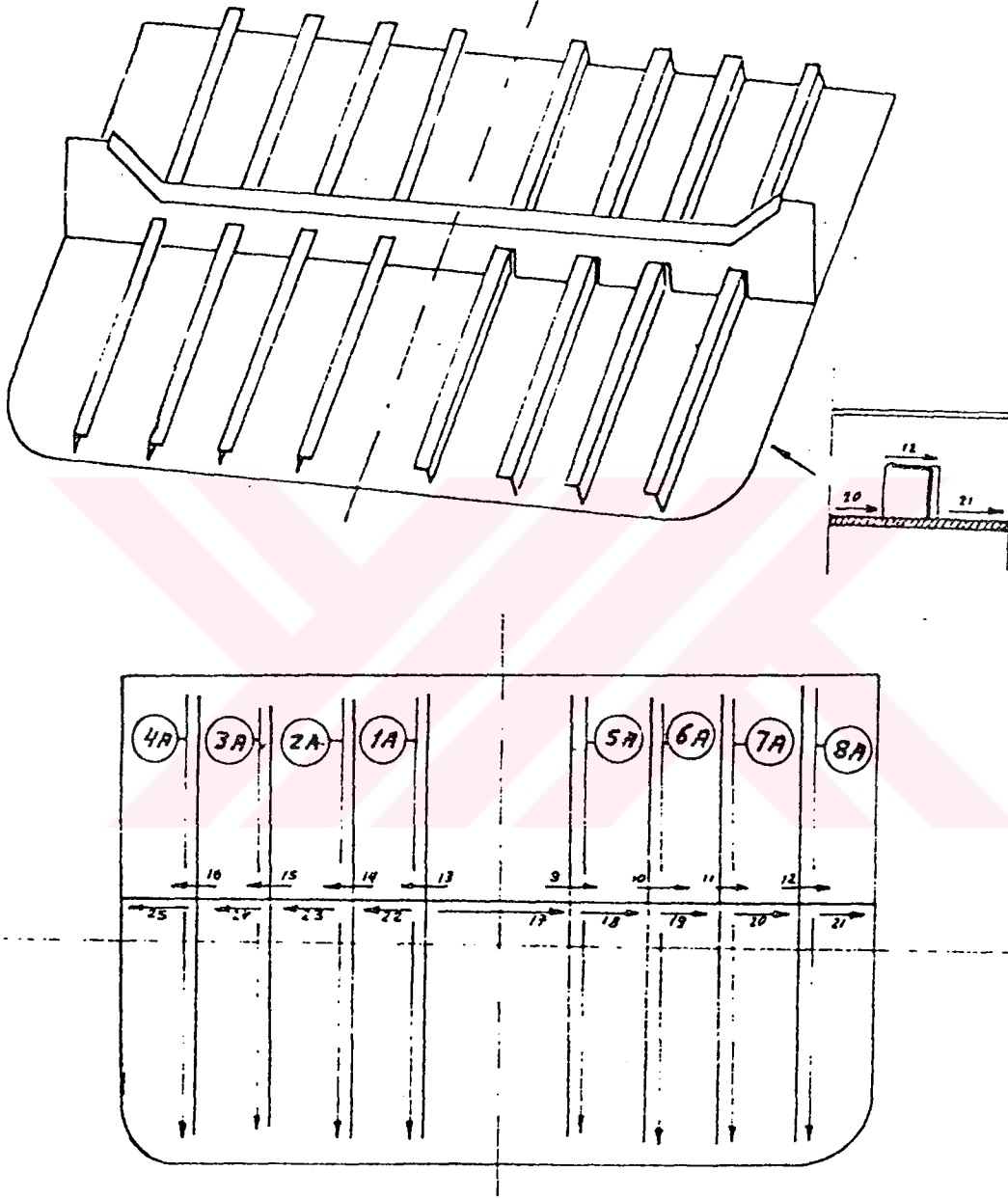
Şekil 5.23. Hazırlanmış çift dip saclarının kaynağı



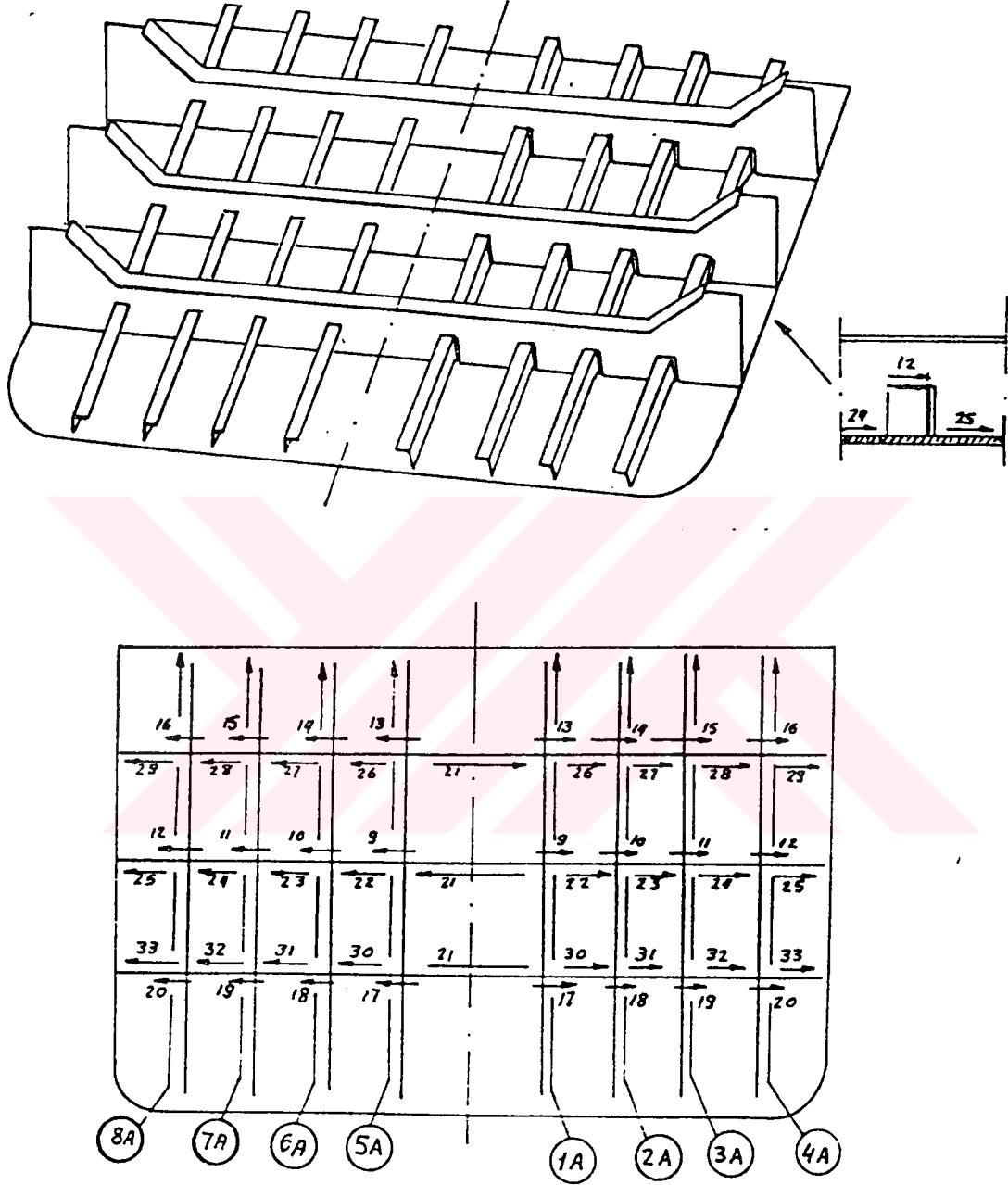
Şekil 5.24. Hazırlanmış çift dip saclarının kaynağı



Şekil 5.25. Hazırlanmış perde kaynağı

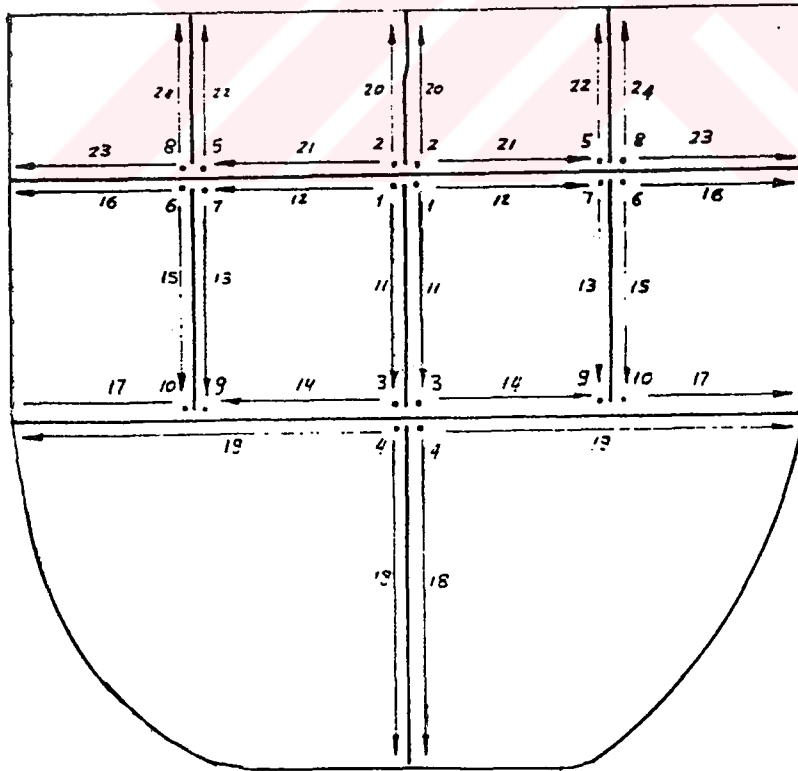
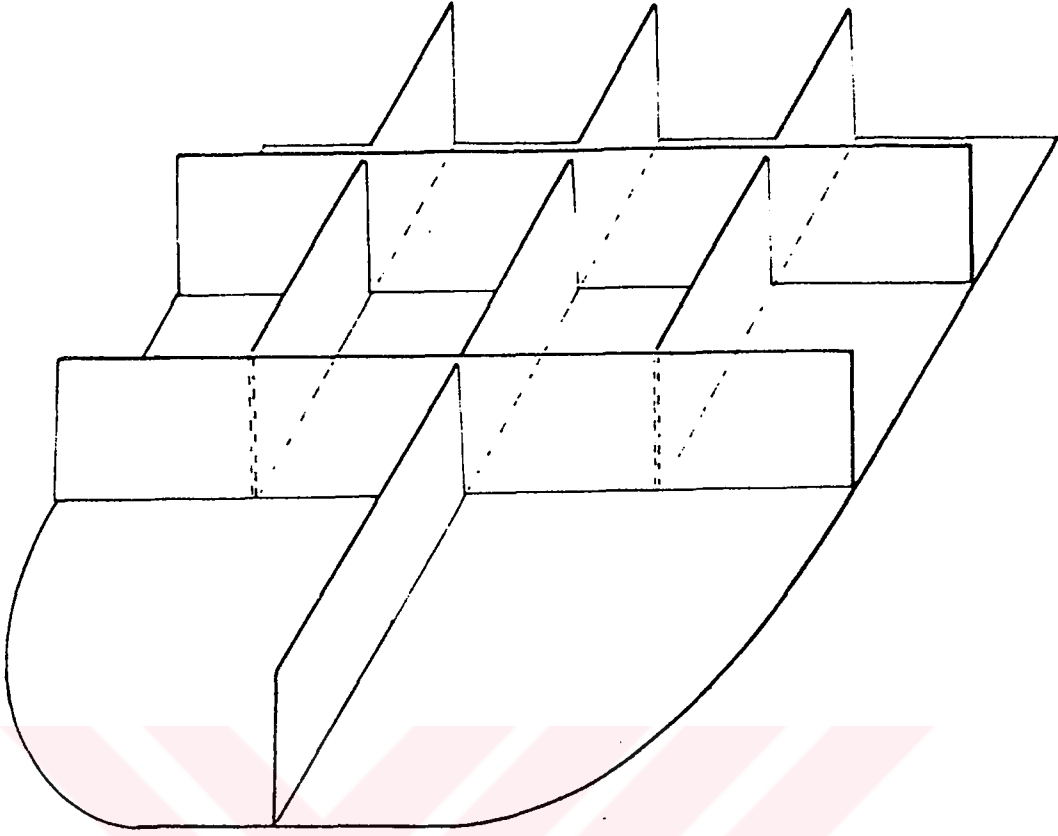


Şekil 5.26. Hazırlanmış perde kaynağı

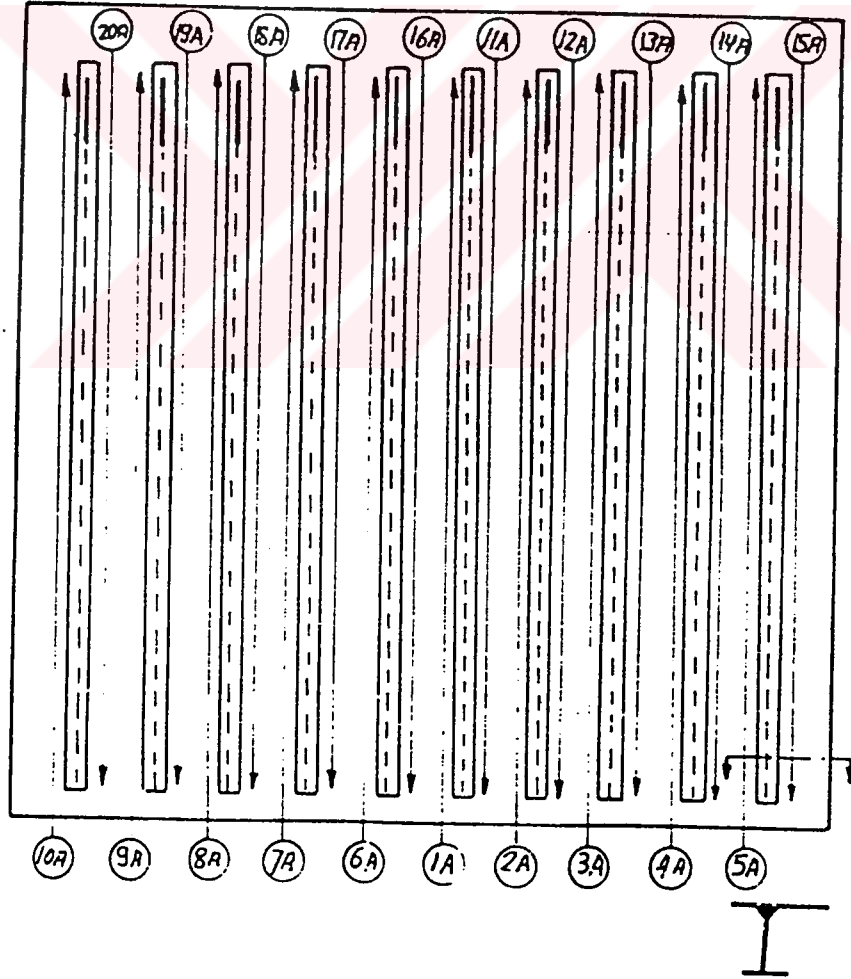
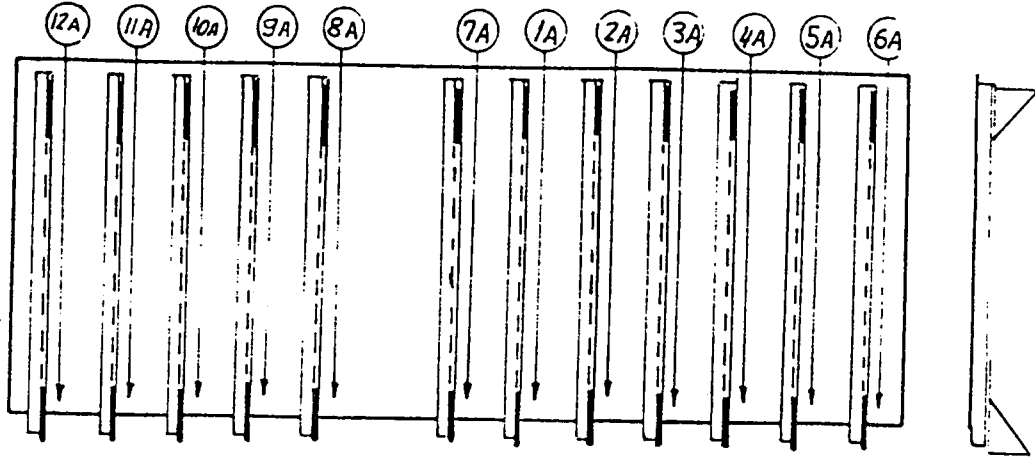


Şekil 5.27. Hazırlanmış perde kaynağı

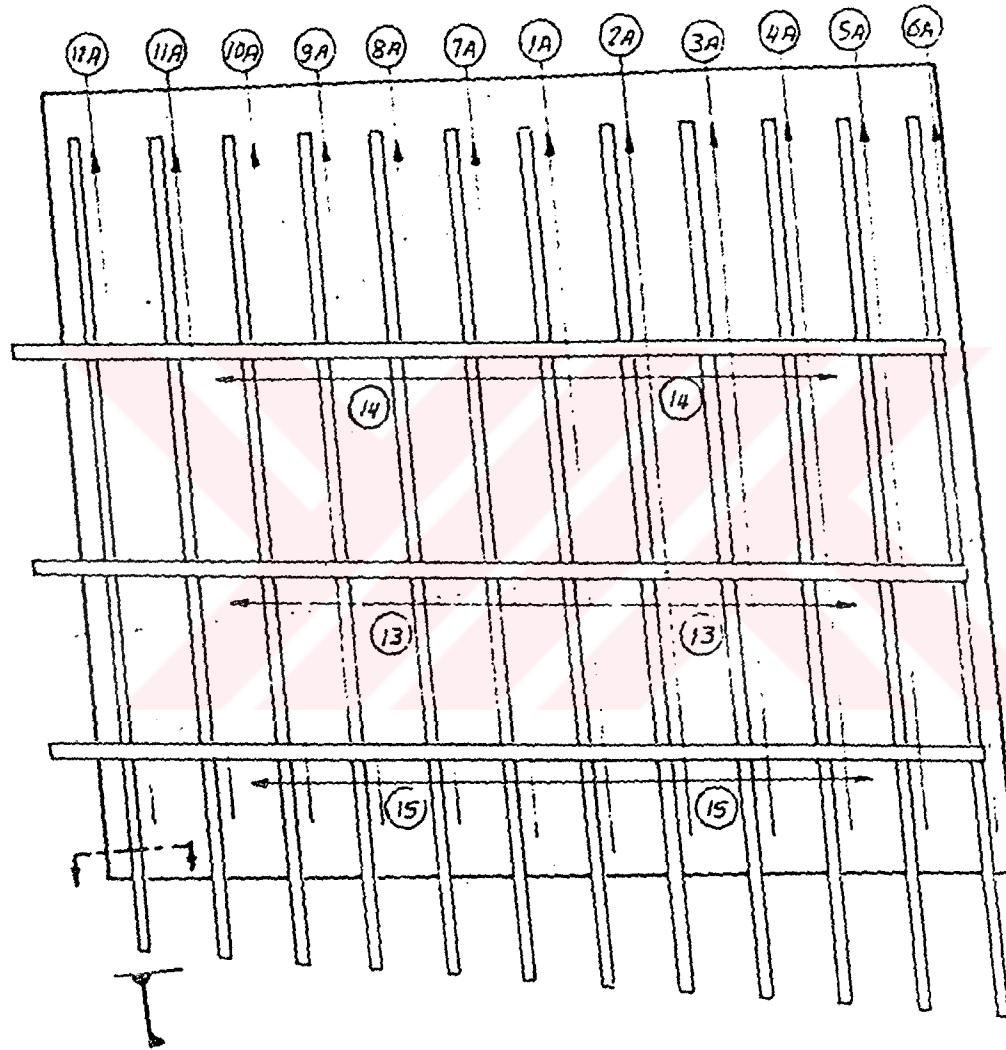




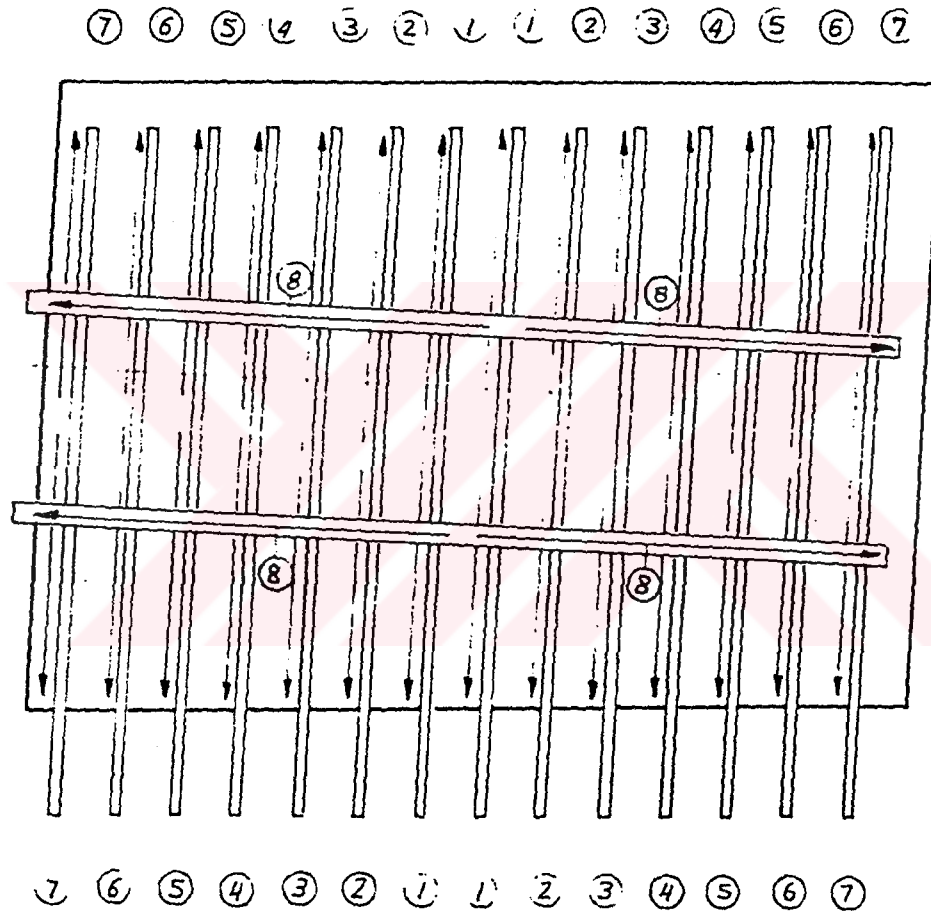
Şekil 5.28. Hazırlanmış perde kaynağı



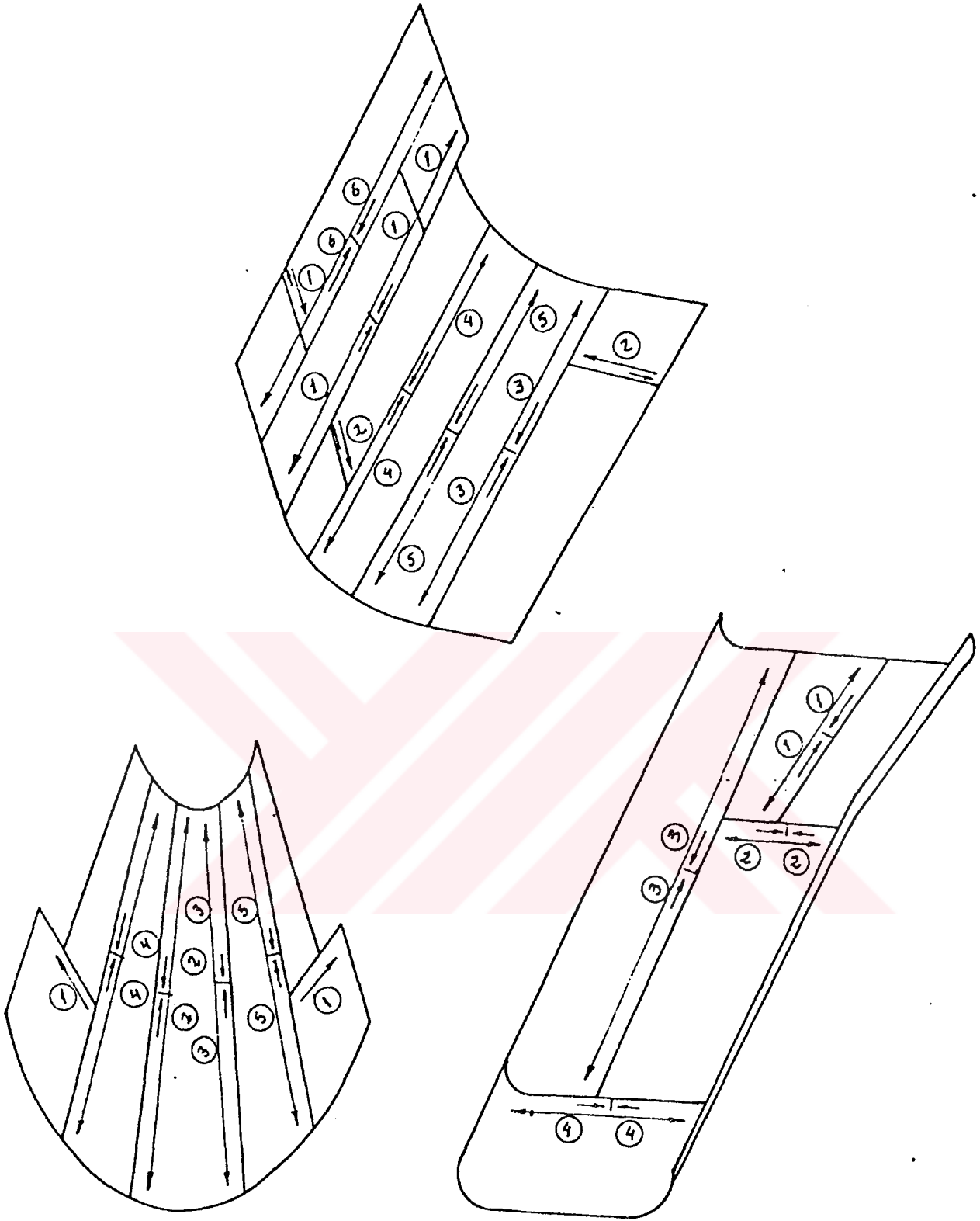
Şekil 5.29. Hazırlanmış dış kaplama saclarının kaynağı



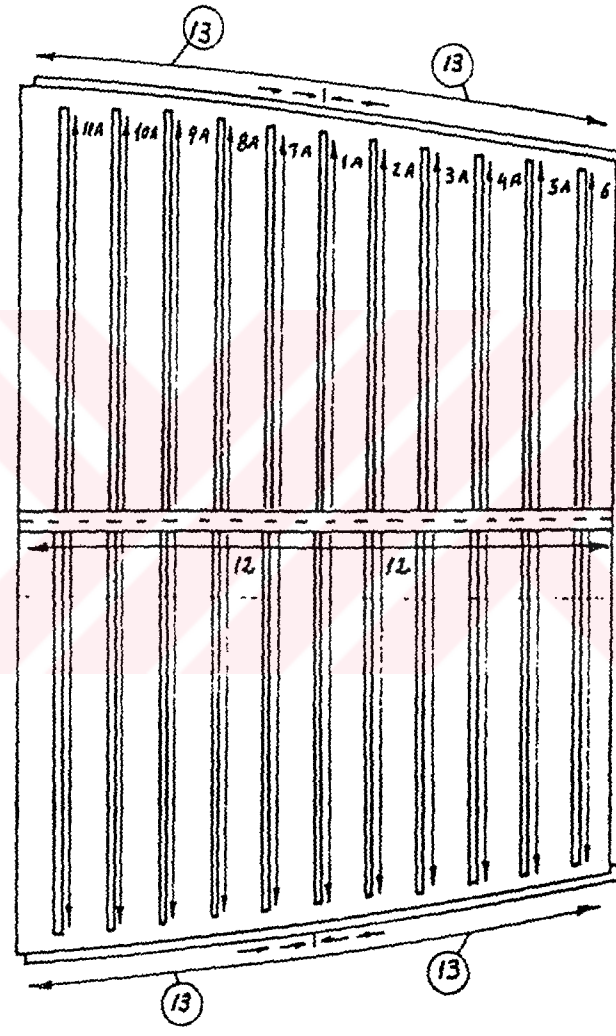
Şekil 5.30. Hazırlanmış dış kaplama saclarının kaynağı



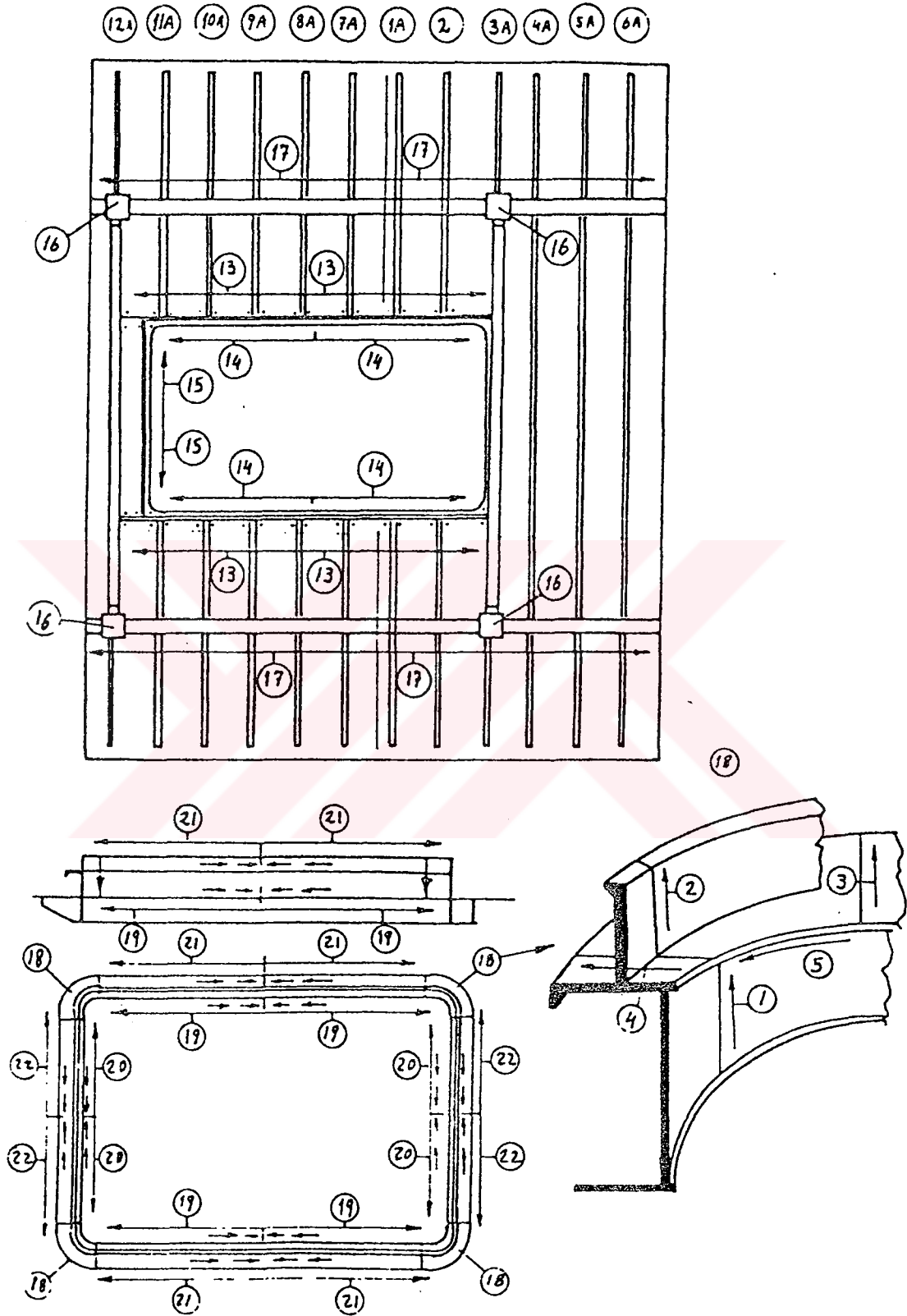
Şekil 5.31. Hazırlanmış dış kaplama saclarının kaynağı



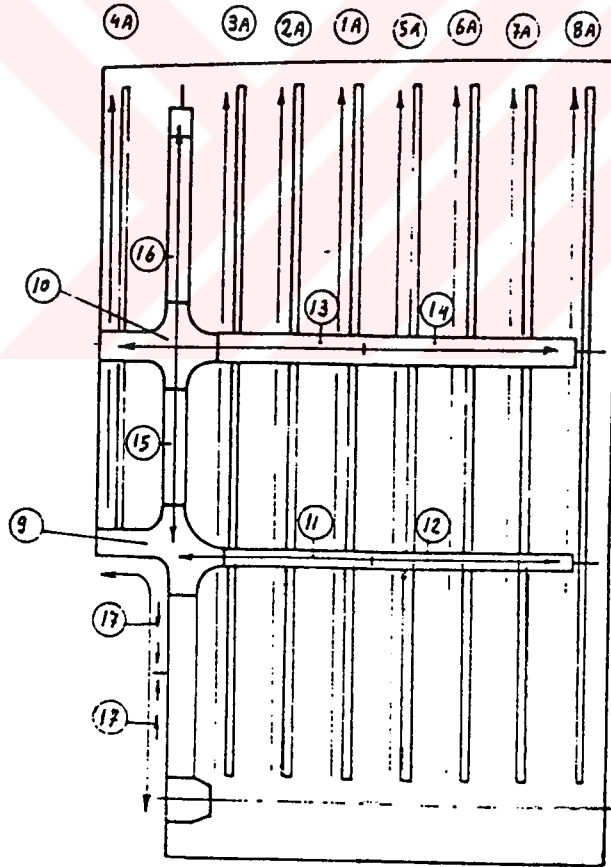
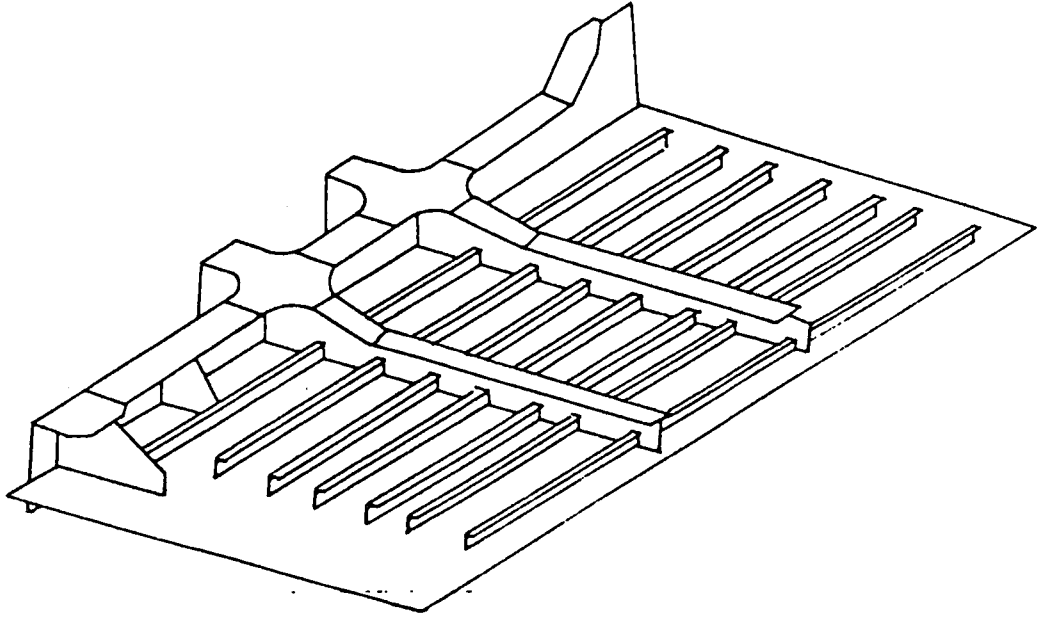
Şekil 5.32. Hazırlanmış dış kaplama saclarının kaynağı



Şekil 5.33. Hazırlanmış güverte saclarının kaynağı

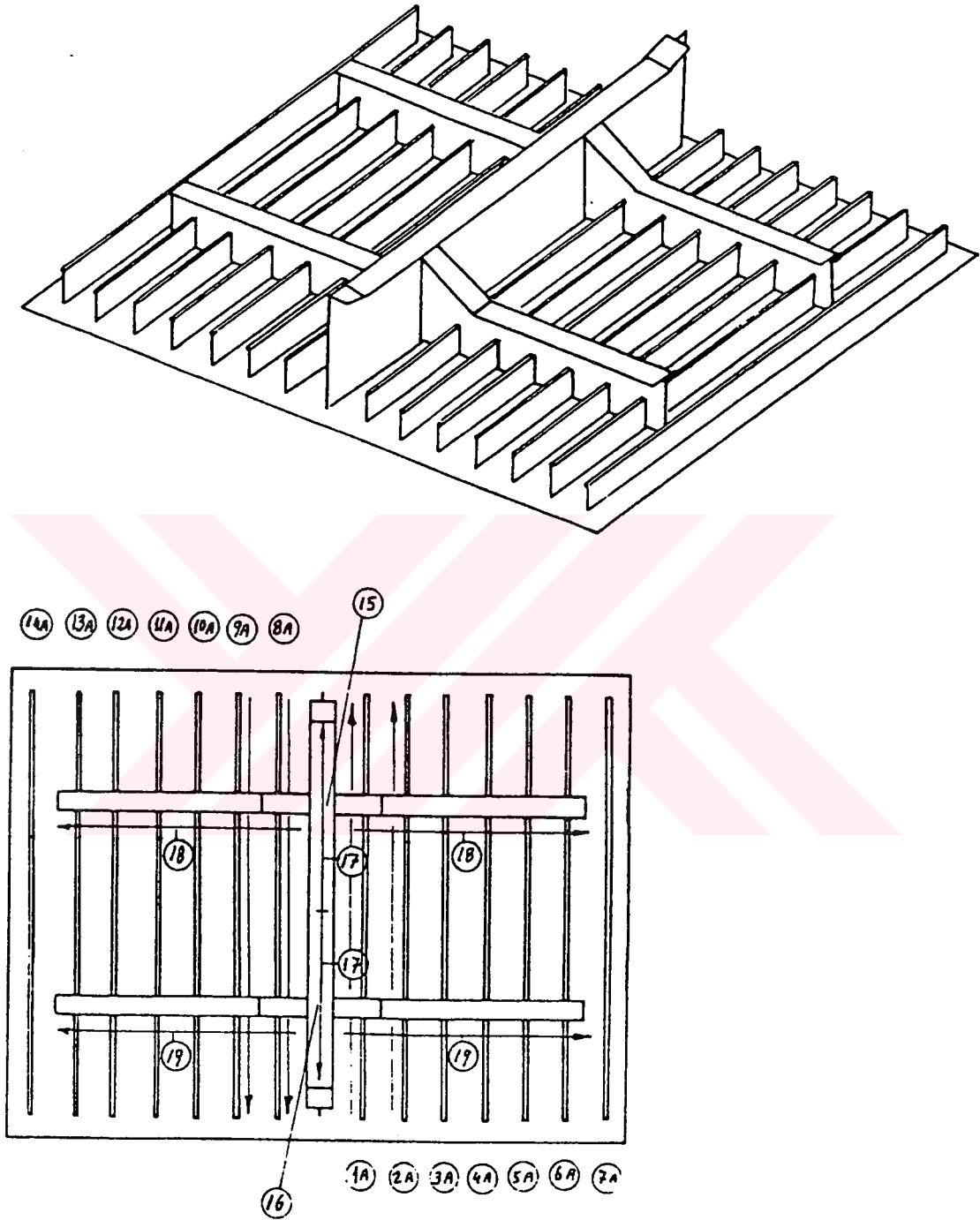


Şekil 5.34. Hazırlanmış güverte saclarının kaynağı

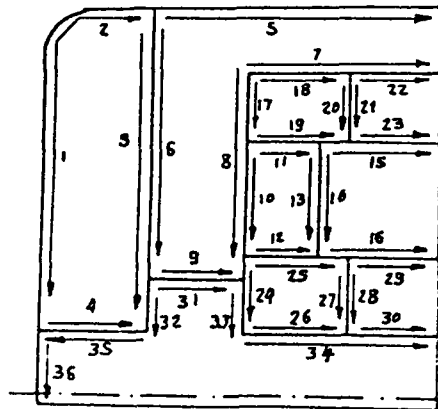
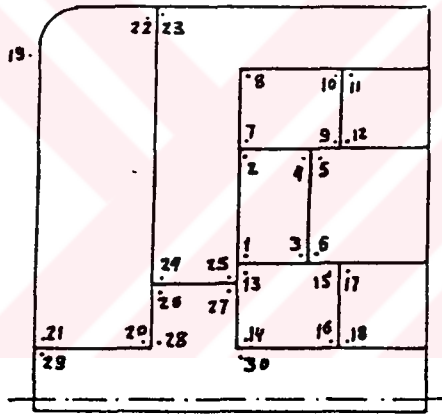
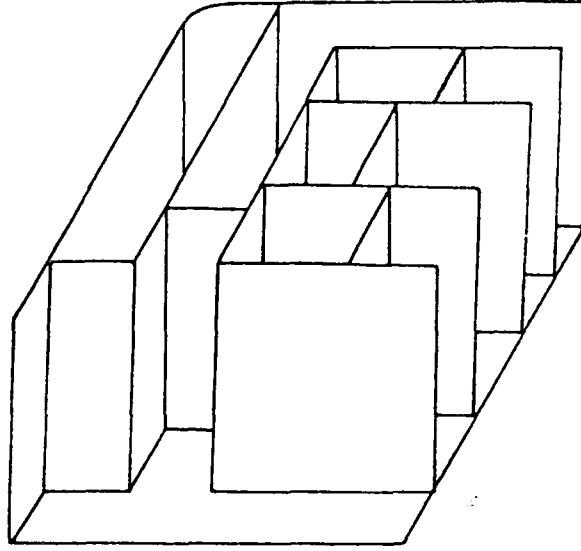


Şekil 5.35. Hazırlanmış güverte saclarının kaynağı

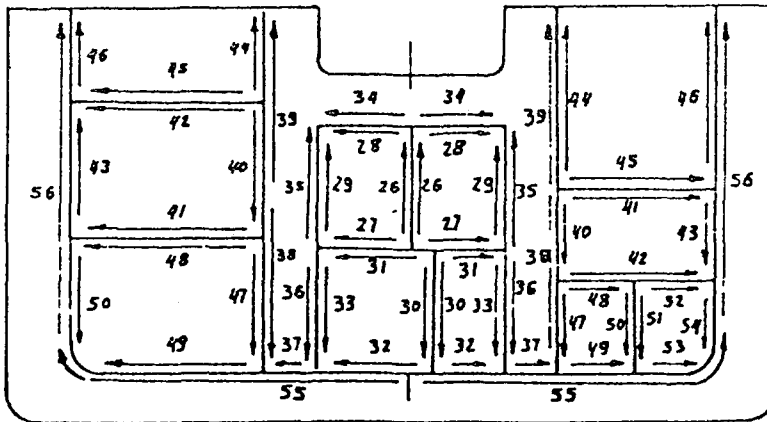
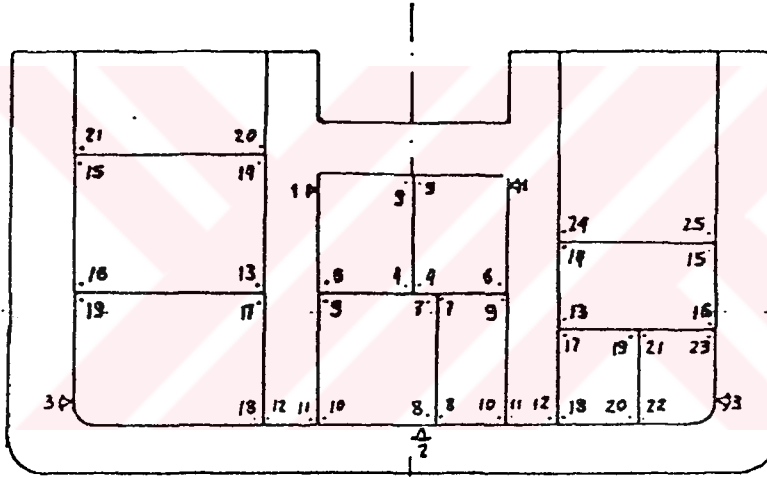
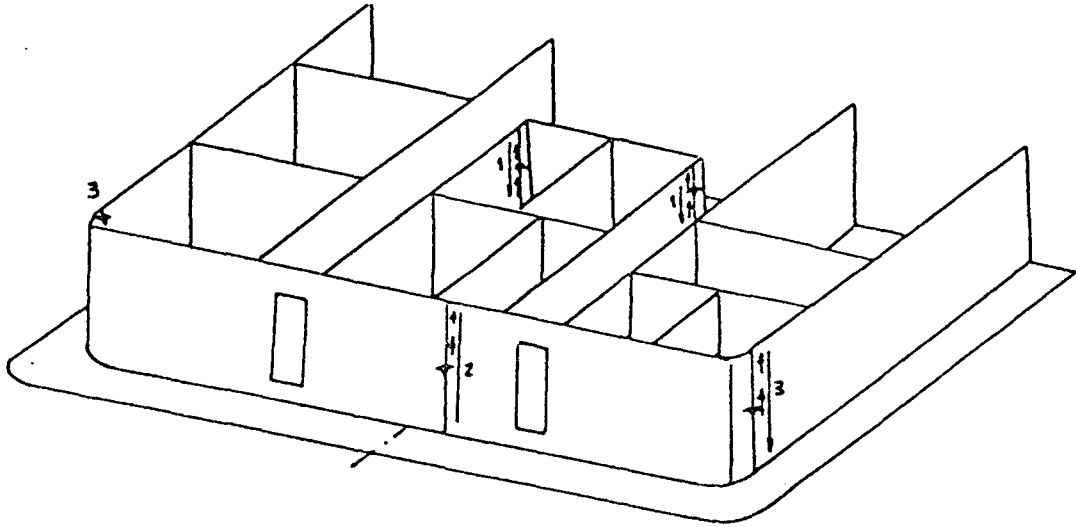




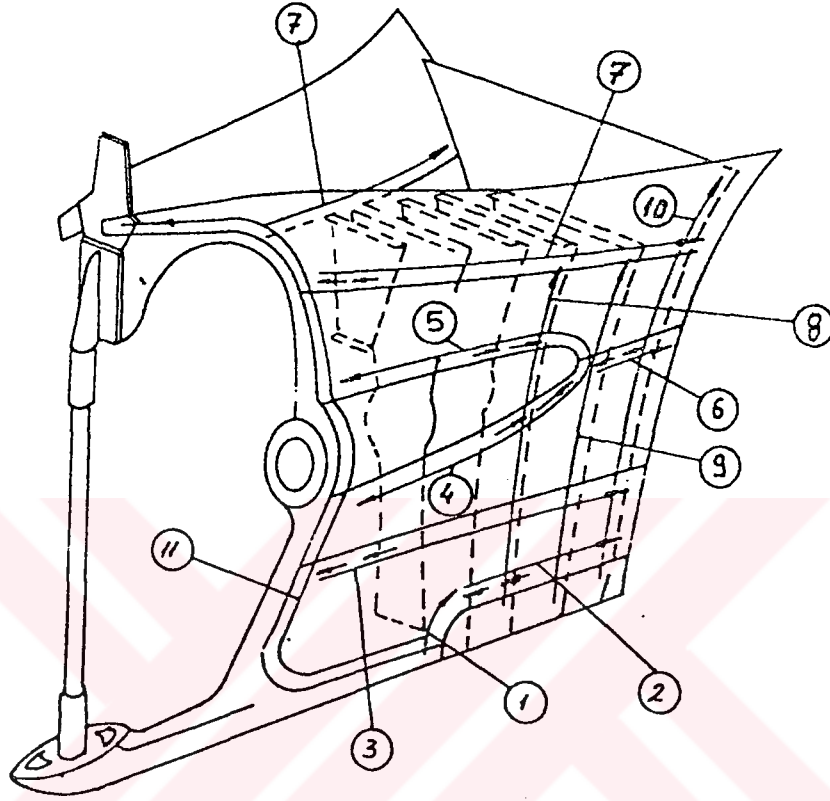
Şekil 5.36. Hazırlanmış güverte saclarının kaynağı



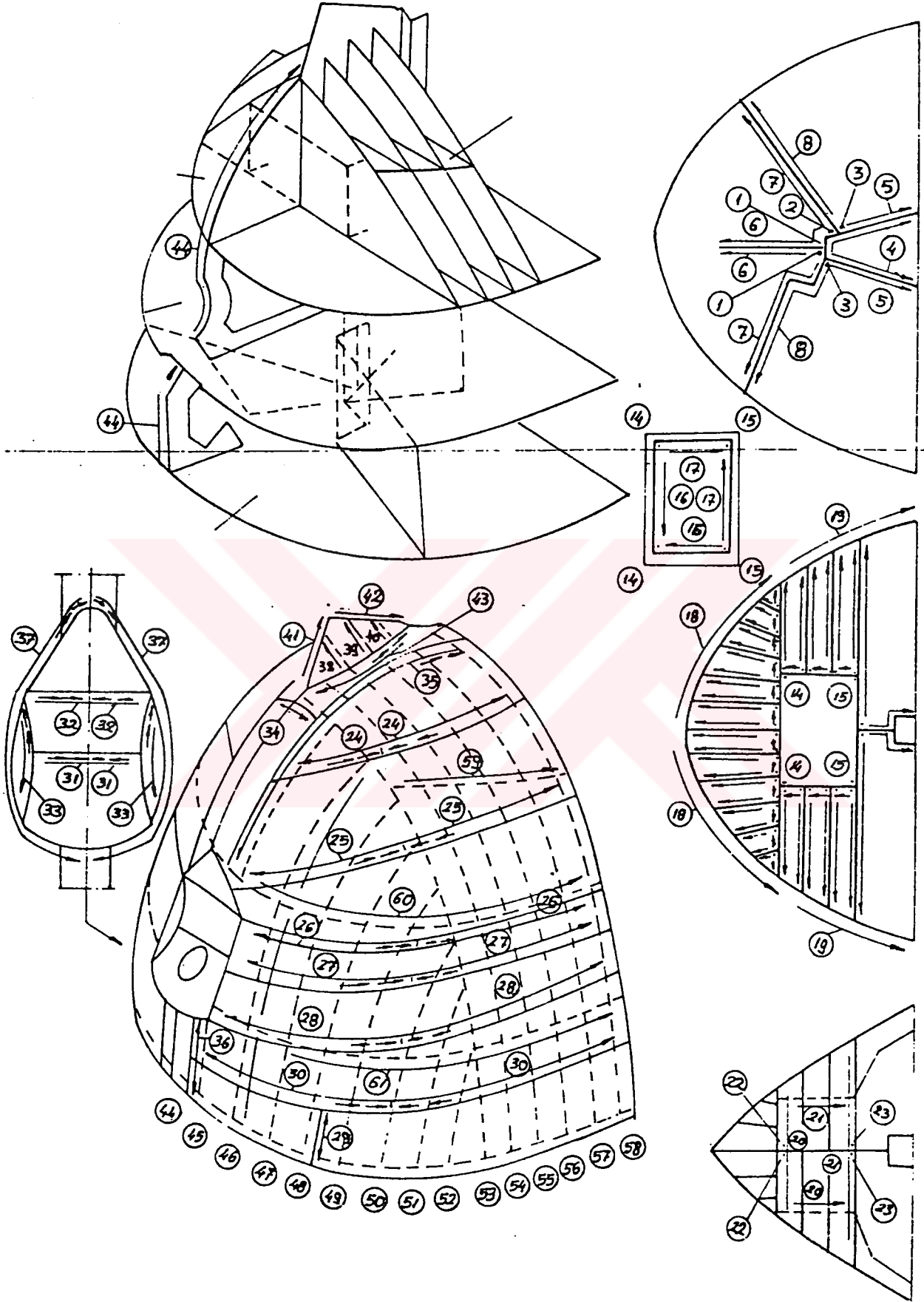
Şekil 5.37. Üst binaların hazırlanmış sacların kaynağı



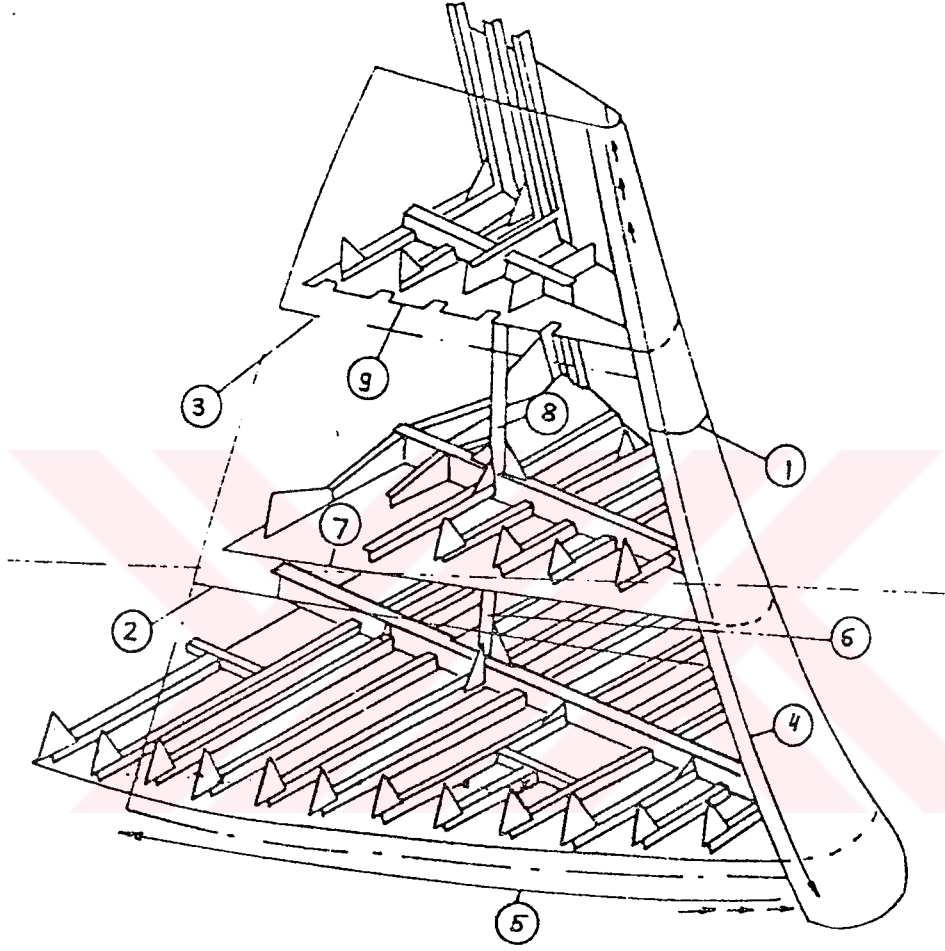
Şekil 5.38. Üst binaların hazırlanmış sacların kaynağı



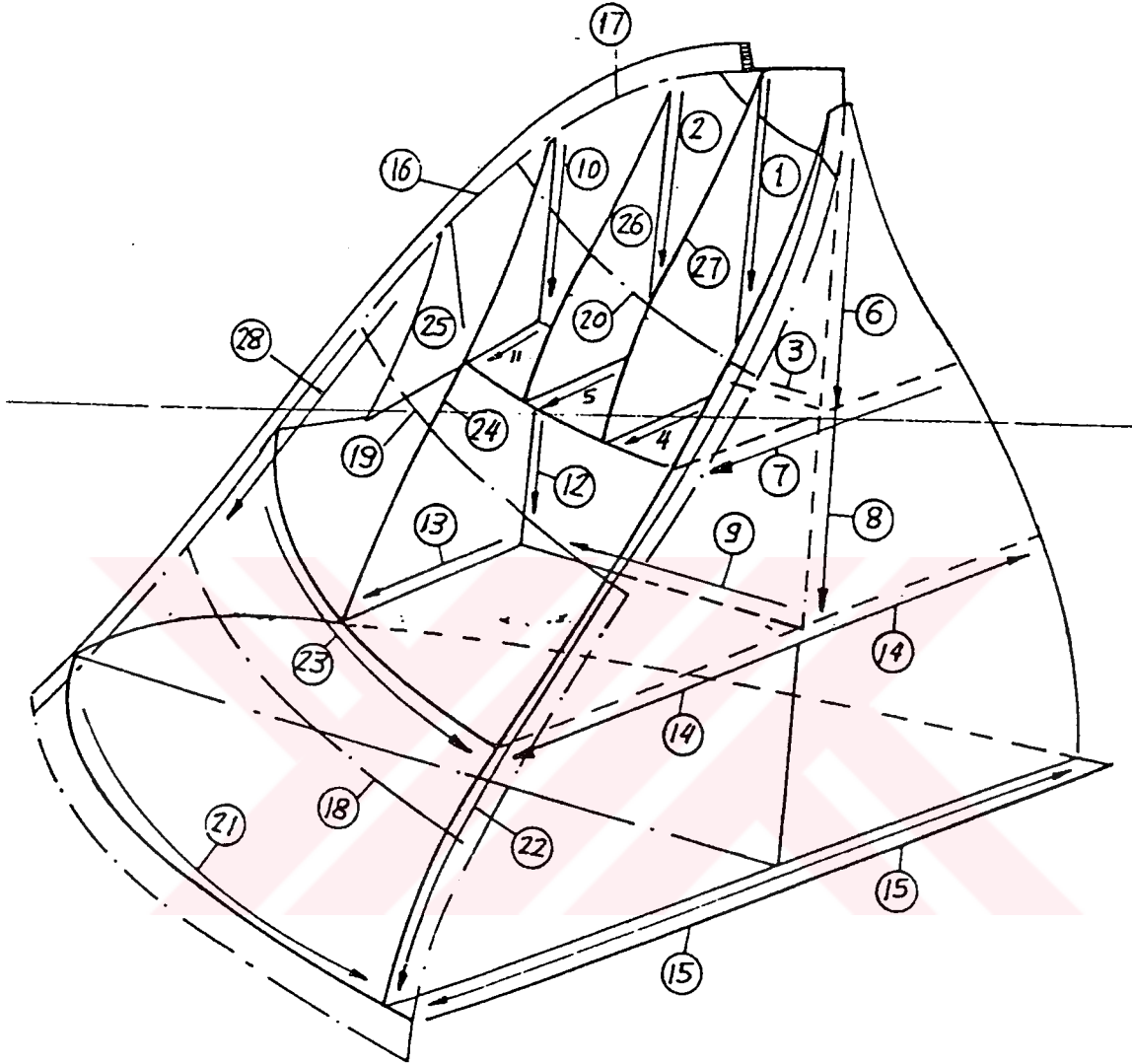
Şekil 5.39. Kıç konstrüksiyon kaynağı



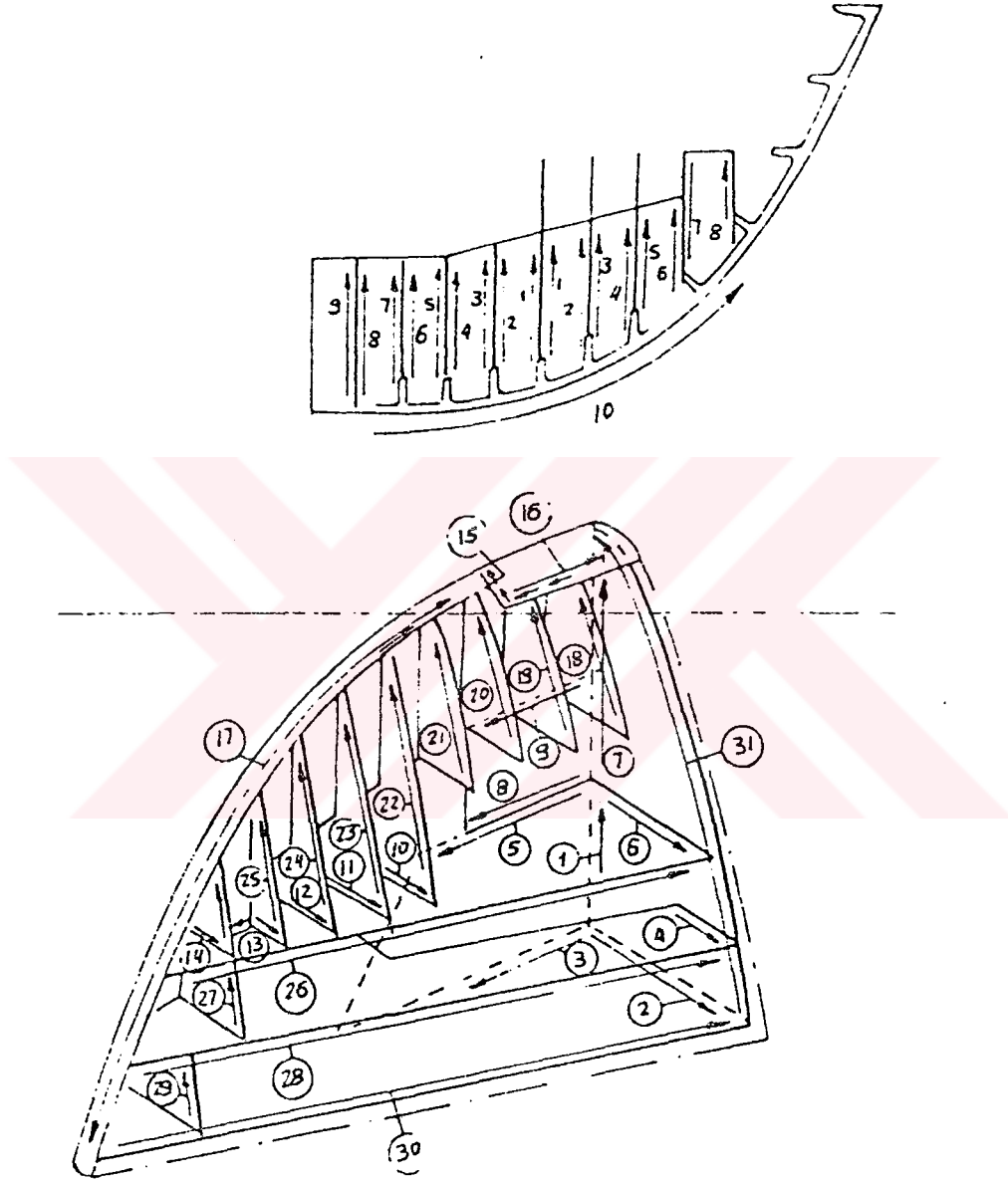
Şekil 5.40. Kış konstrüksiyon kaynağı



Şekil 5.41. Baş tarafın kaynağı

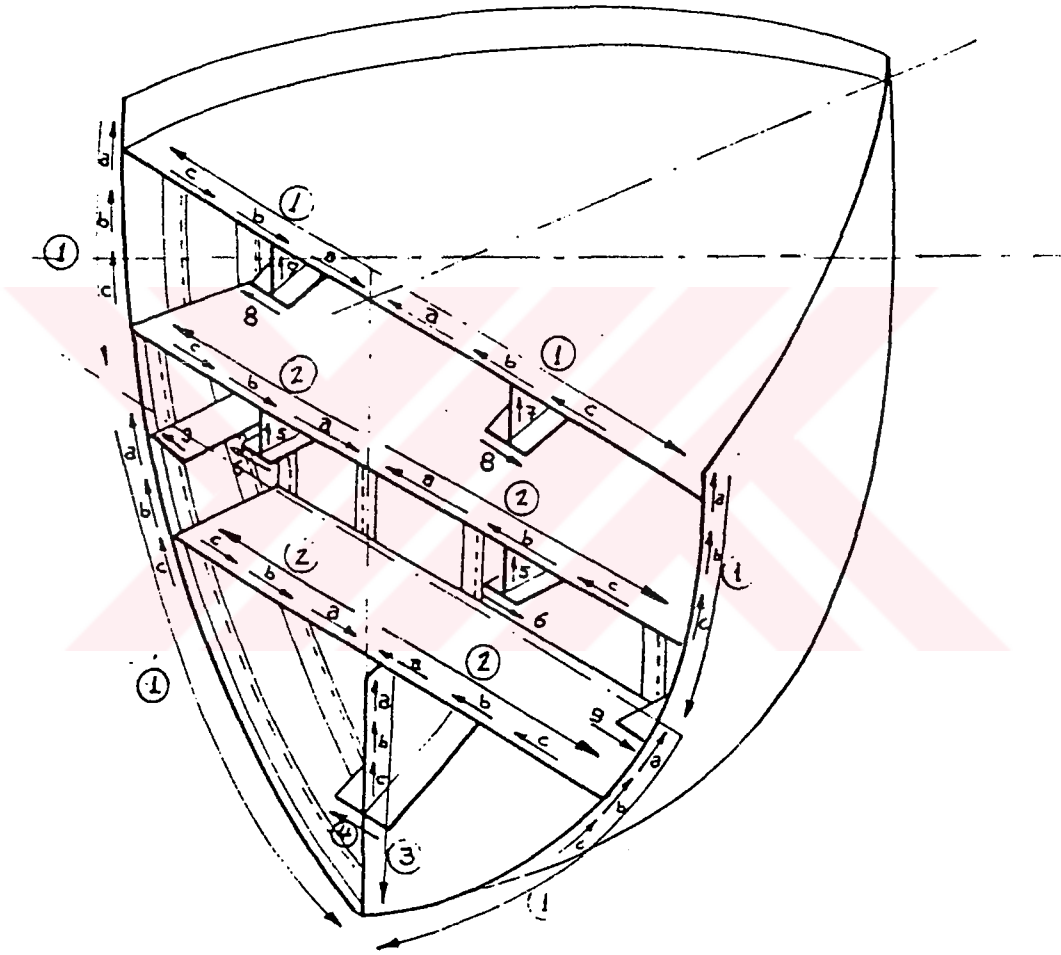


Şekil 5.42. Baş tarafın kaynağı

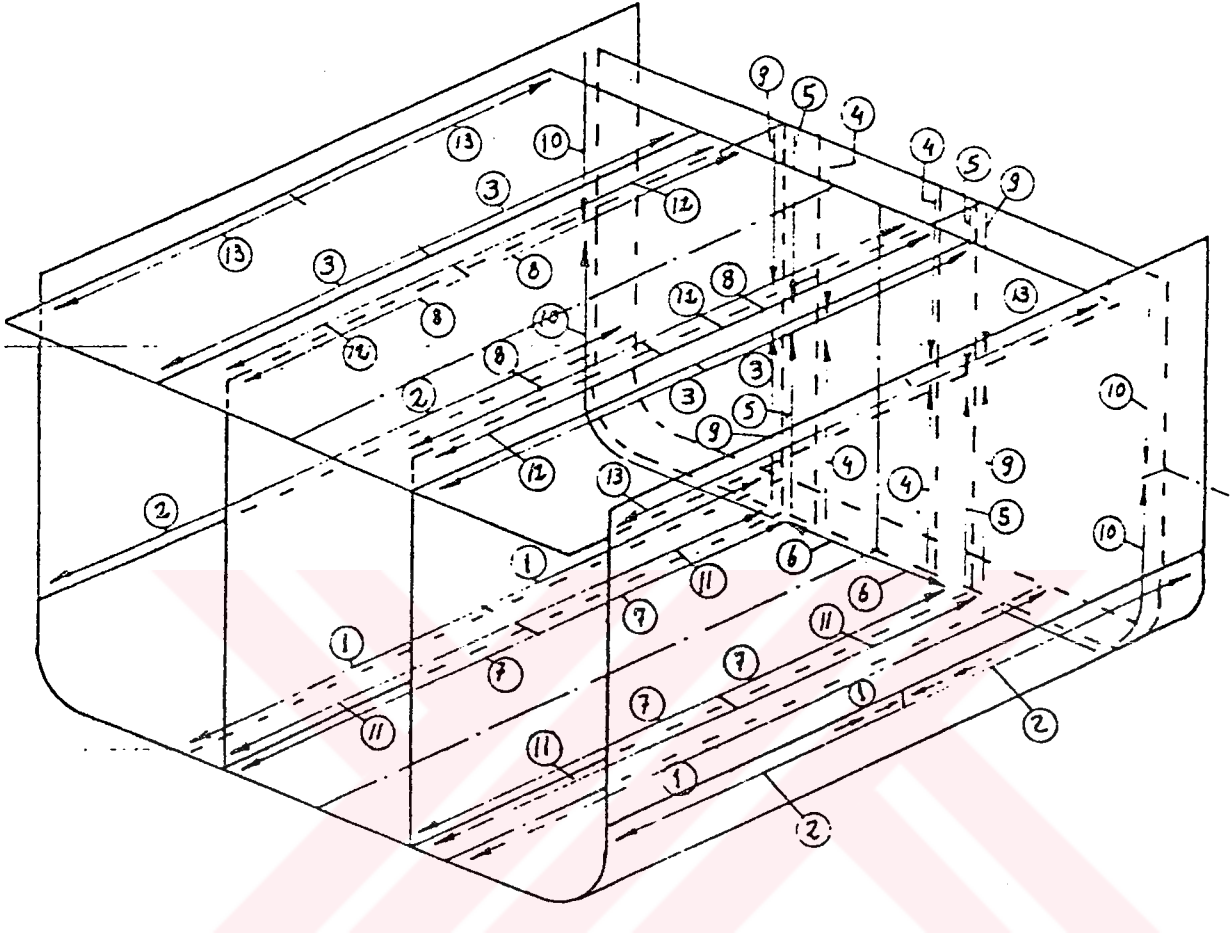


Şekil 5.43. Baş tarafın kaynağı

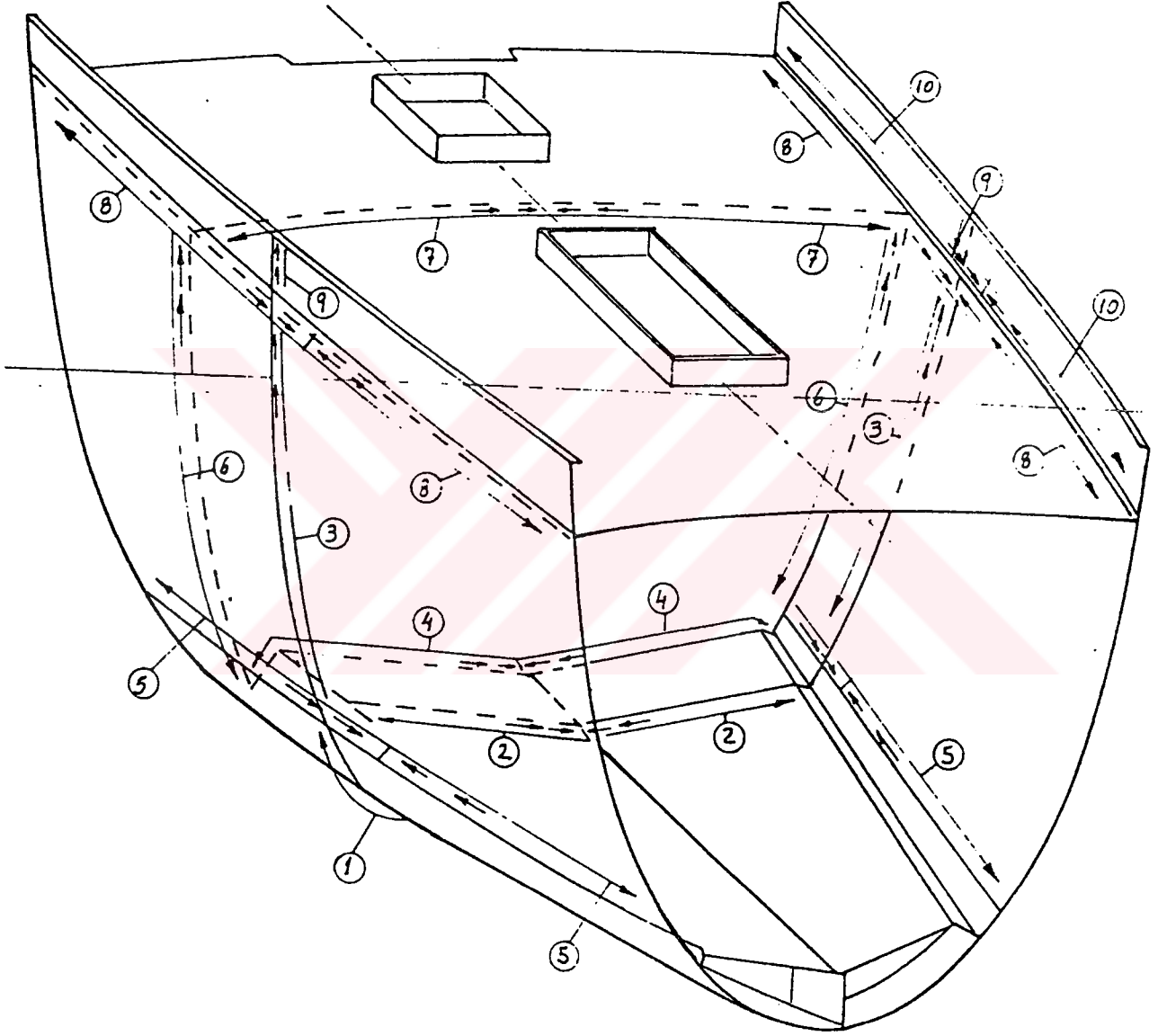




Şekil 5.44. Baş tarafın kaynağı



Şekil 5.45. Blokların kaynağı



Şekil 5.46. Blokların kaynağı

## 6. GEMİ İNŞAATINDA TOLERANSLAR

Bir gemi inşa edilirken, dizayndan başlayarak inşaatın bitimine kadar her aşamada azami dikkat sarf edilerek en uygun ve doğru yöntemler kullanılmış olsada, neticede gemi bünyesinde şekil değişimleri meydana gelecektir. Önemli olan, meydana gelen bu şekil değişimlerinin belirlenmiş olan toleranslar dahilinde olmasıdır. Eğer şekil değişimleri toleranslar dışında ise düzeltme işlemi gerekecektir.

Bu nedenle, yapılan inşaatın doğruluğu, şekil değişiminin tespiti ve düzeltme işleminin neticesini belirlemek için toleransların bilinmesi gerekmektedir. Bu toleranslar siparişi verene ve yapana üretim, kalite kontrol ve teslimatta gerekli şartları yerine getirmek için esas teşkil edecektir.

Bu bölümde metal gemiler için genel toleranslar verilmektedir. Burada verilen toleranslar dizayn ve işçilik resimlerinde ayrıca belirtilmeyen ölçüler, form ve durum sapmaları için geçerlidir. Örneğin, gemi bünyesinde sık sık inşa edilen su geçmez perde, güverte ve çeşitli çift dip gibi. Burada adı geçen tanımlar aşağıdadır :

Ölçü toleransı : Açı ve uzunluk ölçülerindeki, azami ve asgari ölçüler arasındaki fark.

Form toleransı : Bir elemanın geometrik ideal formundaki sapmaları sınırlar.

Durum toleransı : İki yada daha çok elemanın geometrik ideal durumundaki sapmaları sınırlar.

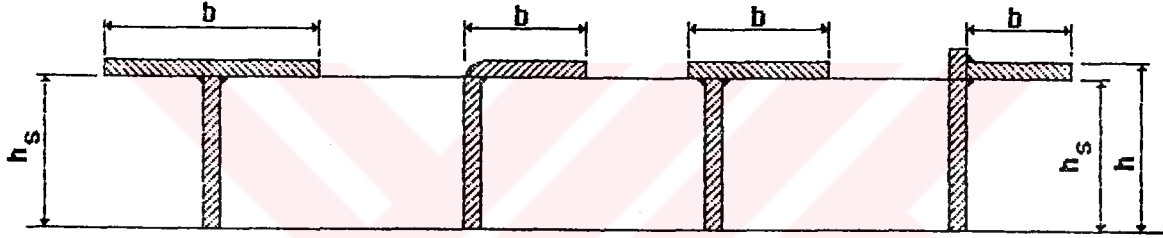
N derecesinde hassasiyet (Normal) : Verilen nominal değerlerden, mukavemet, rijitlik ve görünüm bakımından sapmalar olan yapı elemanları için kullanılır.

S derecesinde hassasiyet (Özel kalite) : Mukavemet, rijitlik ve görünüm itibariyle özel şartlar gerektiren yapı elemanlarında kullanılır.

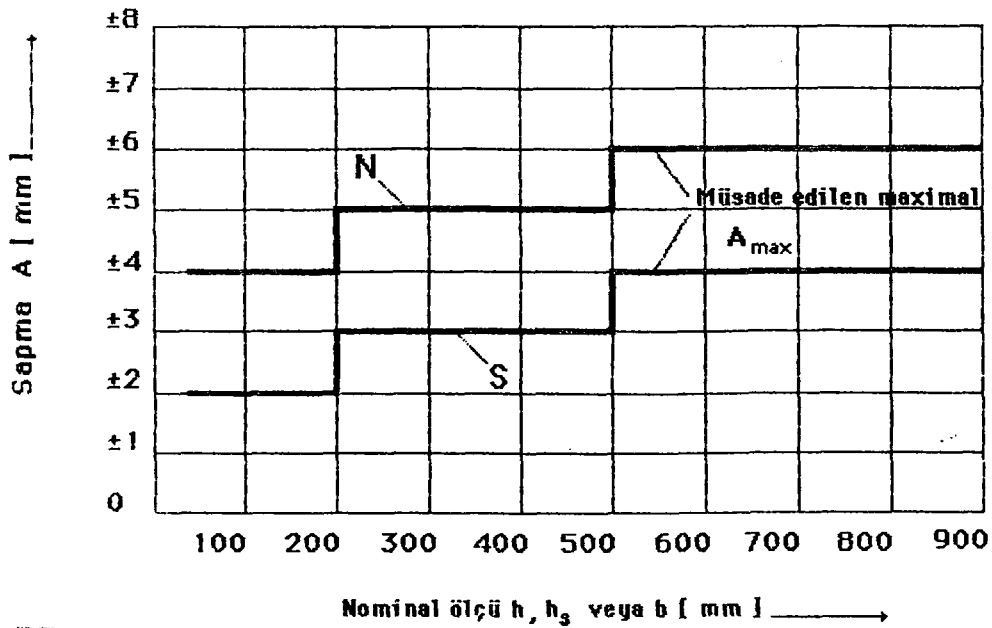
Burada verilen toleranslardaki sapmalar, özel bir isteği zorunlu kılacak yapı elemanları için ayrıca tespit edilerek resimlerde belirtilmelidir. Önemli yapı elemanlarının toleransları özellikle kontrol edilmeli ve daha küçük toleransların gerekli olup olmadığı araştırılmalıdır.

### 6.1. Profildeki Gövdenin Yüksekliği ve Alın Lamasının Genişliği

Profildeki gövdenin yüksekliği ve alın levhasının genişliği (Şekil 6.1) için geçerli olan toleranslar şekil 6.2’de verilmiştir. Müsaade edilen maksimal sapma ( $A_{\max}$ ) basamak çizgileri olarak görülmektedir. Basamak çizgilerinin dışında kalan sapmalar geçersizdir. Profilin düzeltilmesi, düzeltilemiyorsa yeniden imali gerekir.



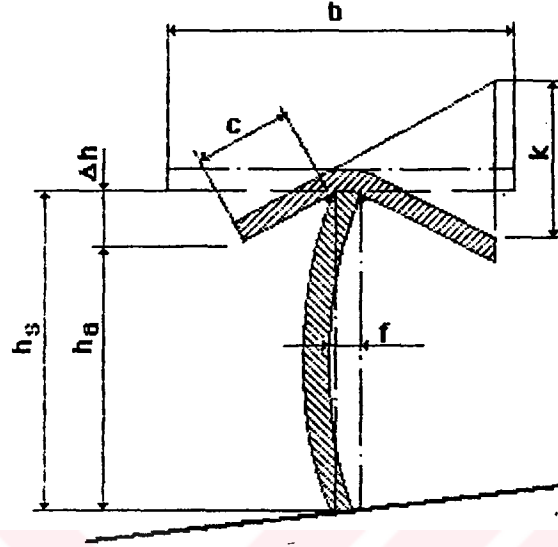
Şekil 6.1. Profiller



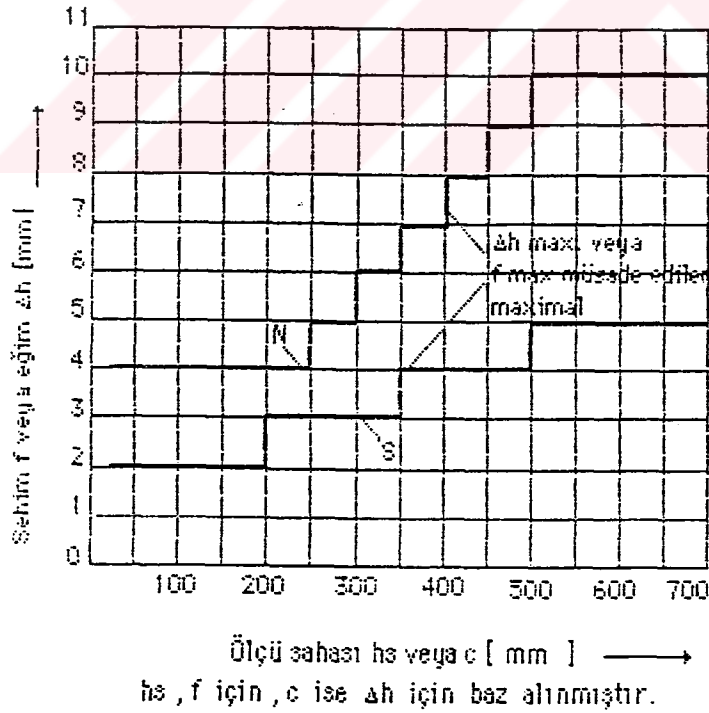
Şekil 6.2. Profildeki gövdenin yüksekliği ve alın levhasının genişliği için toleranslar

## 6.2. Profil Gövde Sehimi, Alın Lamasının Eğimi ve Köşe Kasılması

Profilin (Şekil 6.1 ve Şekil 6.3) gövdesinin sehimi ve alın lamasının eğimi şekil 6.4'de verilmiştir. Köşe kasılması sadece T profili (Şekil 6.3) için geçerli olup şekil 6.5'de verilmiştir.

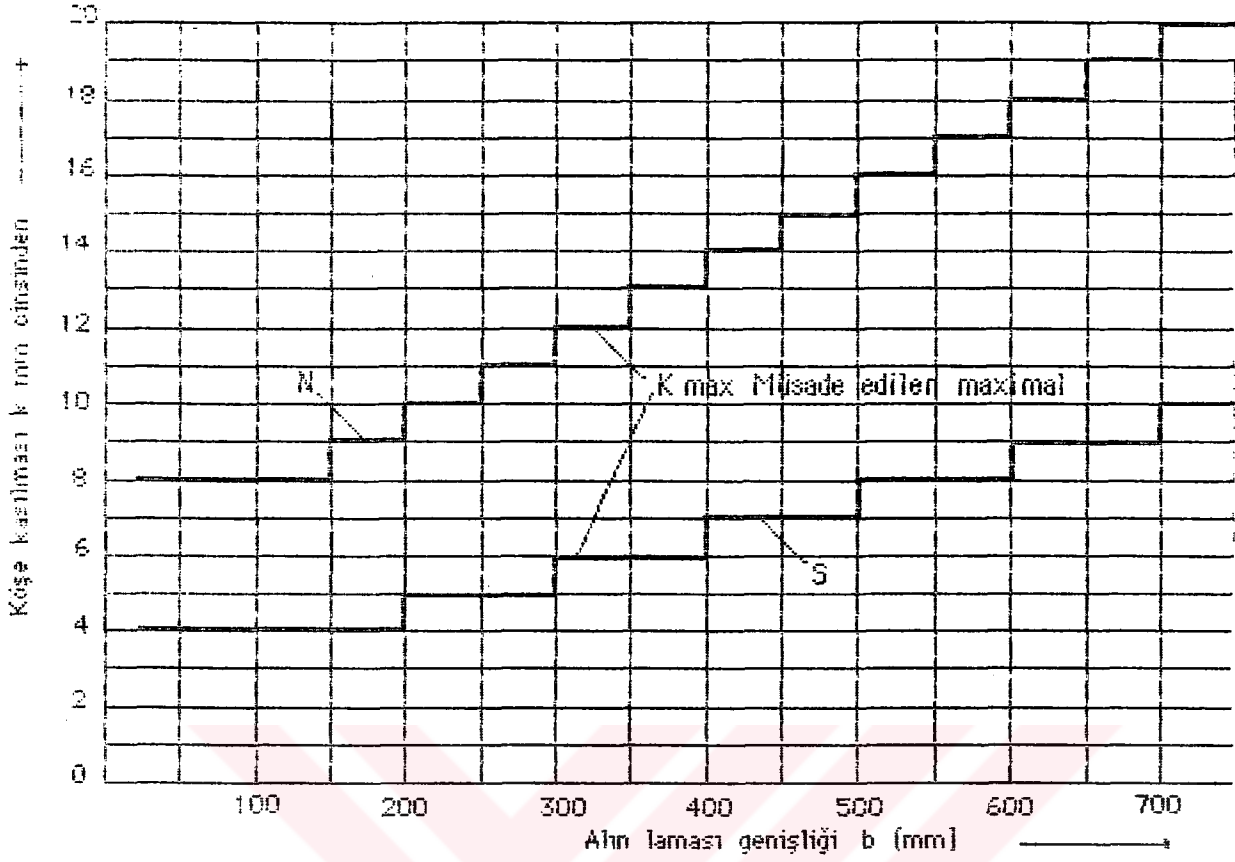


Şekil 6.3. T profil



- $f$  : profil gövde sehimi  
 $\Delta h$  : alın lamasının eğimi

Şekil 6.4. Profil gövdenin sehimi ve alın lamasının eğimi



k : köşe kasılması

Şekil 6.5. Alın lamasının köşe kasılması

### 6.3. Simetrik T Profillerdeki Alın Laması Durumu

Simetrik T profilin (Şekil 6.6) alın lamasının durum toleransı şekil 6.7’de verilmiştir.

### 6.4. Sabit Bağlanan Taşıyıcı ve Desteklerin Düzgünlüğü

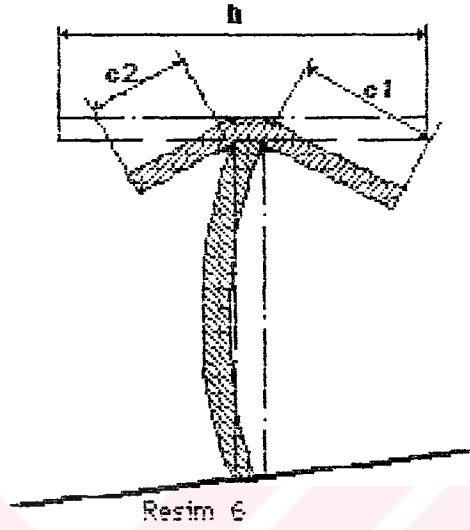
Sabit bağlanan taşıyıcı ve desteklerin (Şekil 6.8) düzgünlüğü şekil 6.9’da verilmiştir.

l : iki nokta arasında serbest ölçülebilen uzunluk

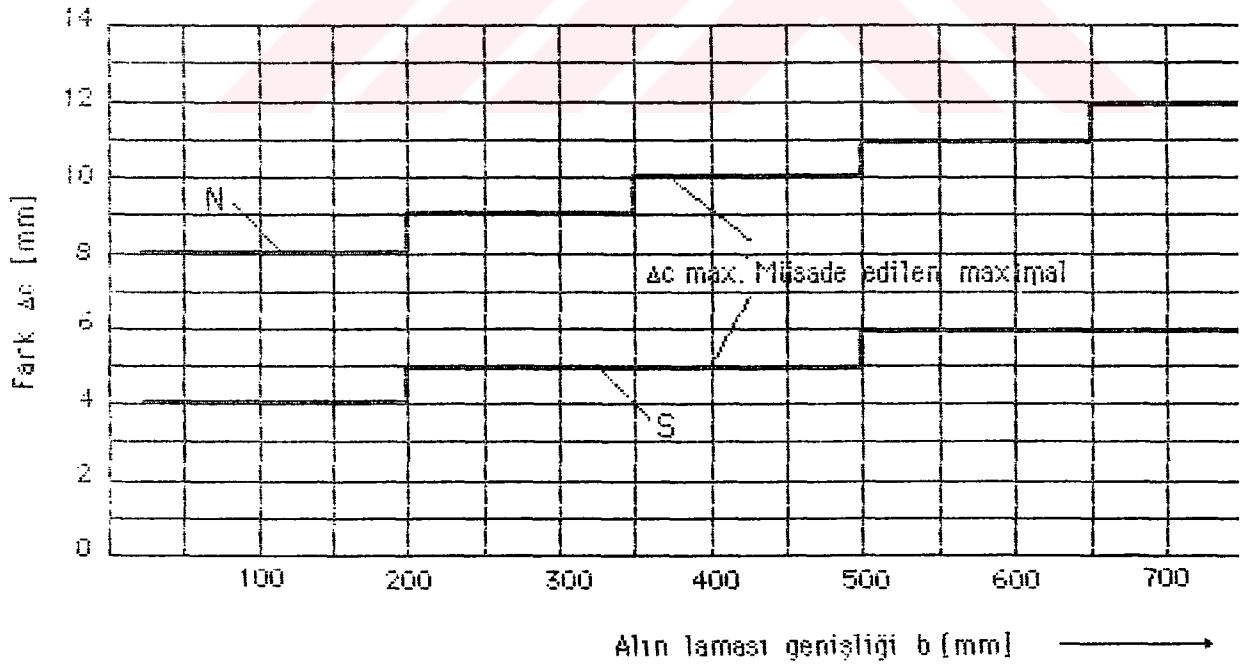
q : yumulma derinliği

### 6.5. Levha Üzerindeki Stifnerler

Levha üzerindeki stifnerlerin (Şekil 6.10) durum sapması şekil 6.11’de ve eğimi şekil 6.12’de verilmiştir.

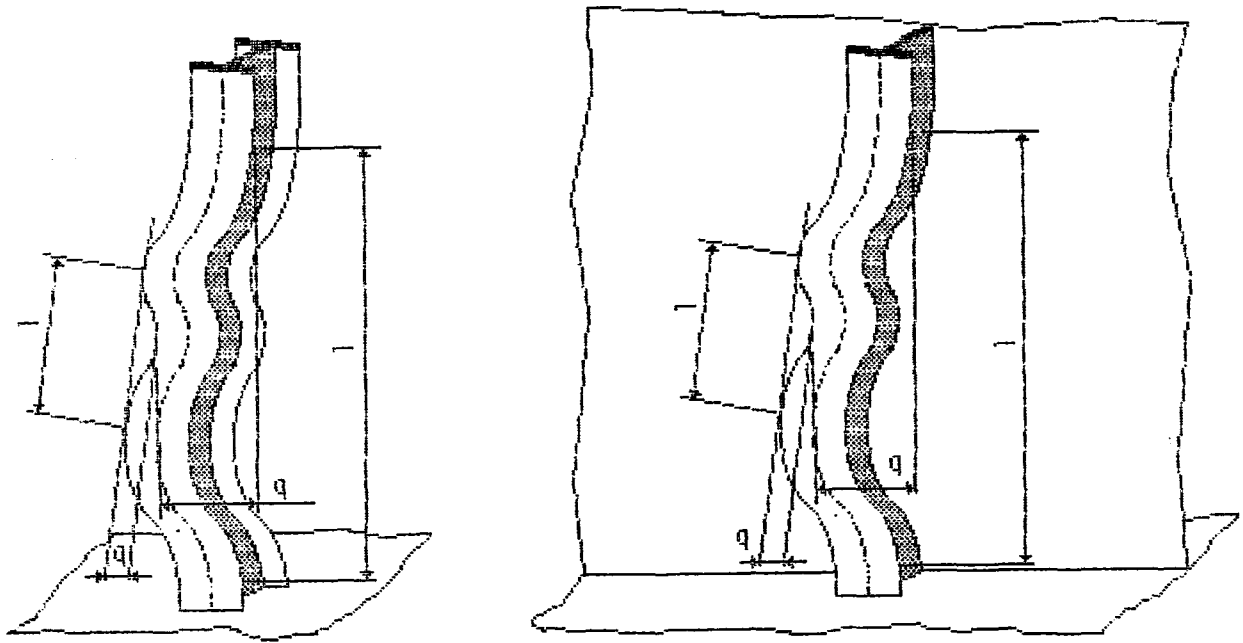


Şekil 6.6. Simetrik T profil



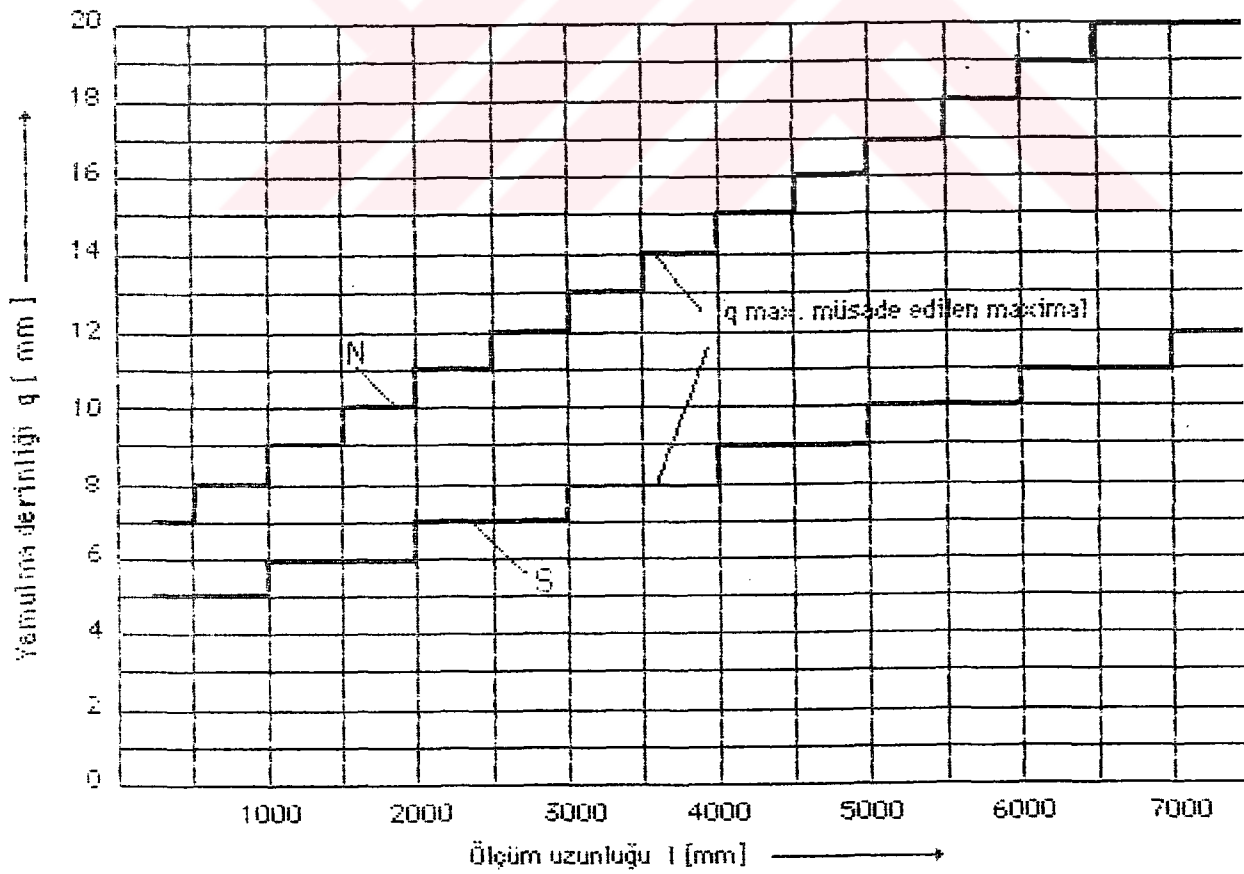
Şekil 6.7. Alın lamasının durum toleransı



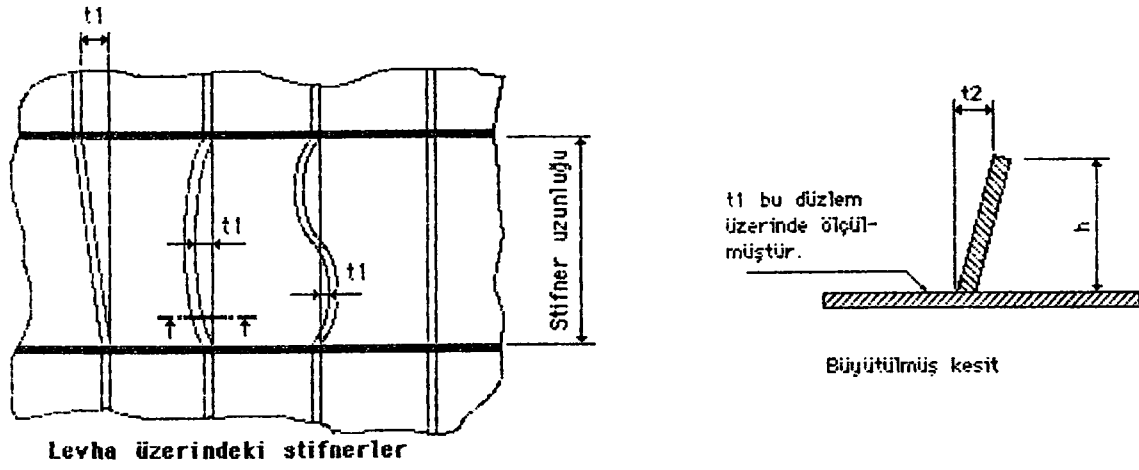


$l$ =iki ölçü noktası arasında serbest seçilebilen uzunluk

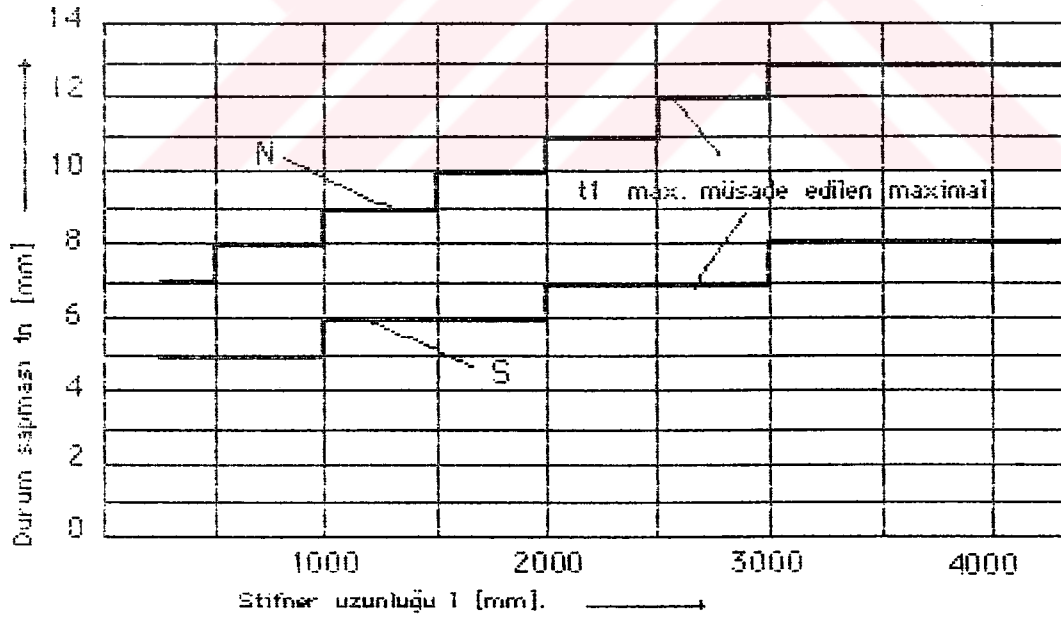
Şekil 6.8. Taşıyıcı veya destek



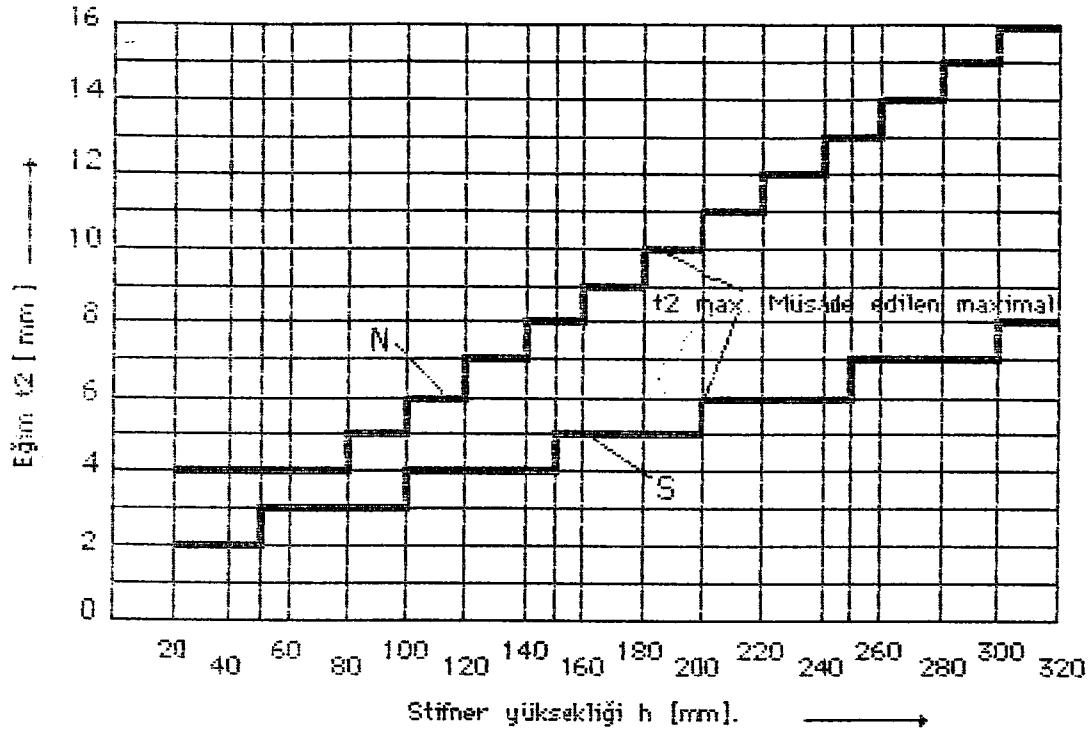
Şekil 6.9. Taşıyıcı ve desteklerin düzgünlüğü



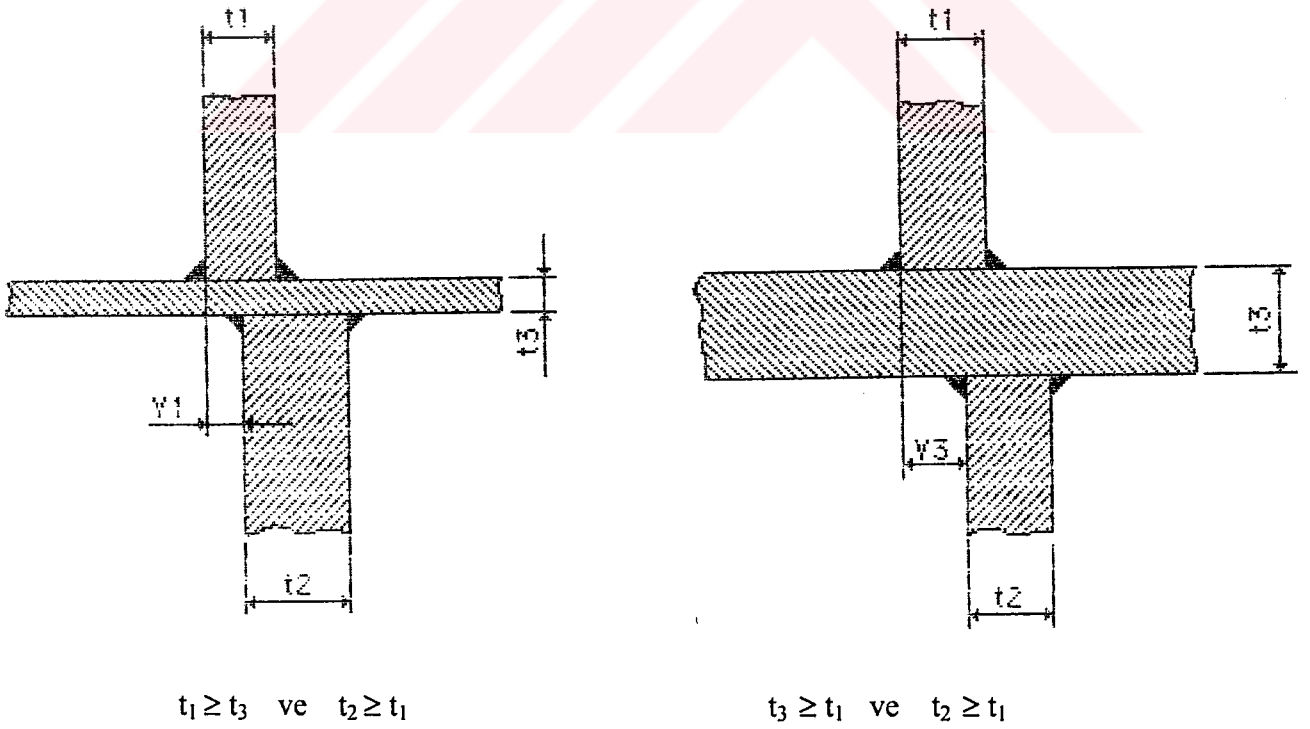
Şekil 6.10. Levha üzerindeki stifnerler



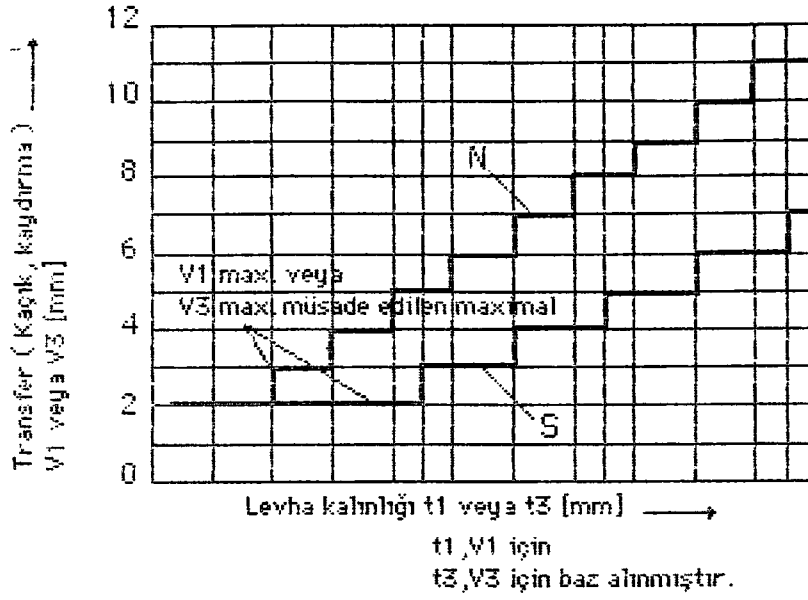
Şekil 6.11. Stifnerlerin durum sapmaları



Şekil 6.12. Stifner eğimi



Şekil 6.13. Birbirini kesen yapı elemanları



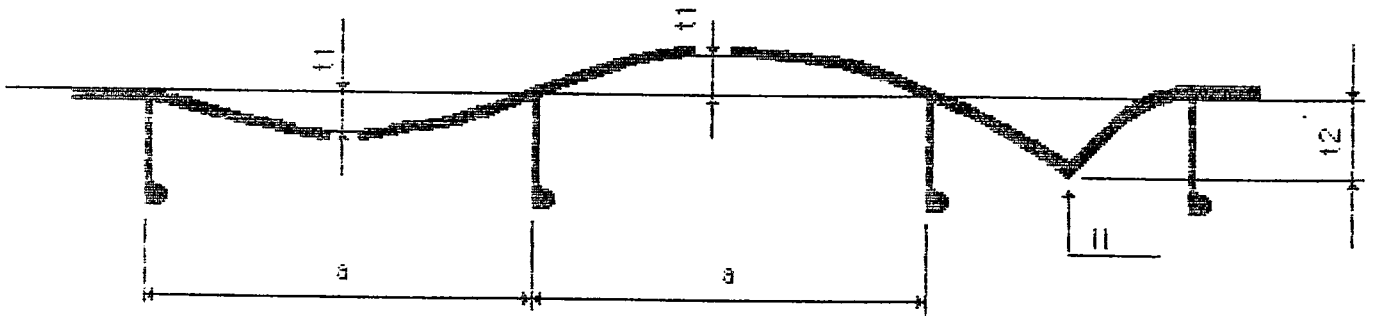
Şekil 6.14. Levha kaydırması

#### 6.6. Birbirini Kesen Elemanlarının Kaydırılması

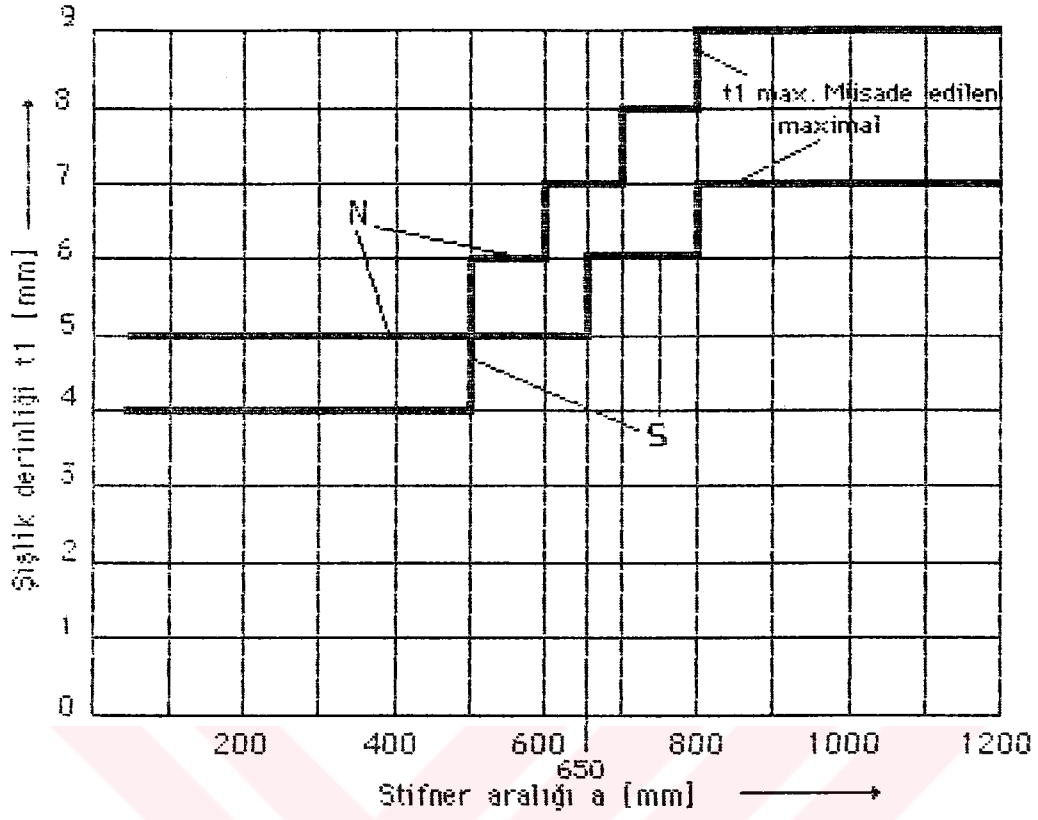
Birbirini kesen yapı elemanlarının (Şekil 6.13) kaynağında levha kaydırması şekil 6.14’de verilmiştir.

#### 6.7. Levhadaki Şişlikler ve Kaynak Dikişinin Çökmesi

Levhadaki şişlikler ve kaynak dikişinin (Şekil 6.15) çökmesi şekil 6.16’da verilmiştir.



Şekil 6.15. Levhadaki şişlikler ve kaynak çökmesi

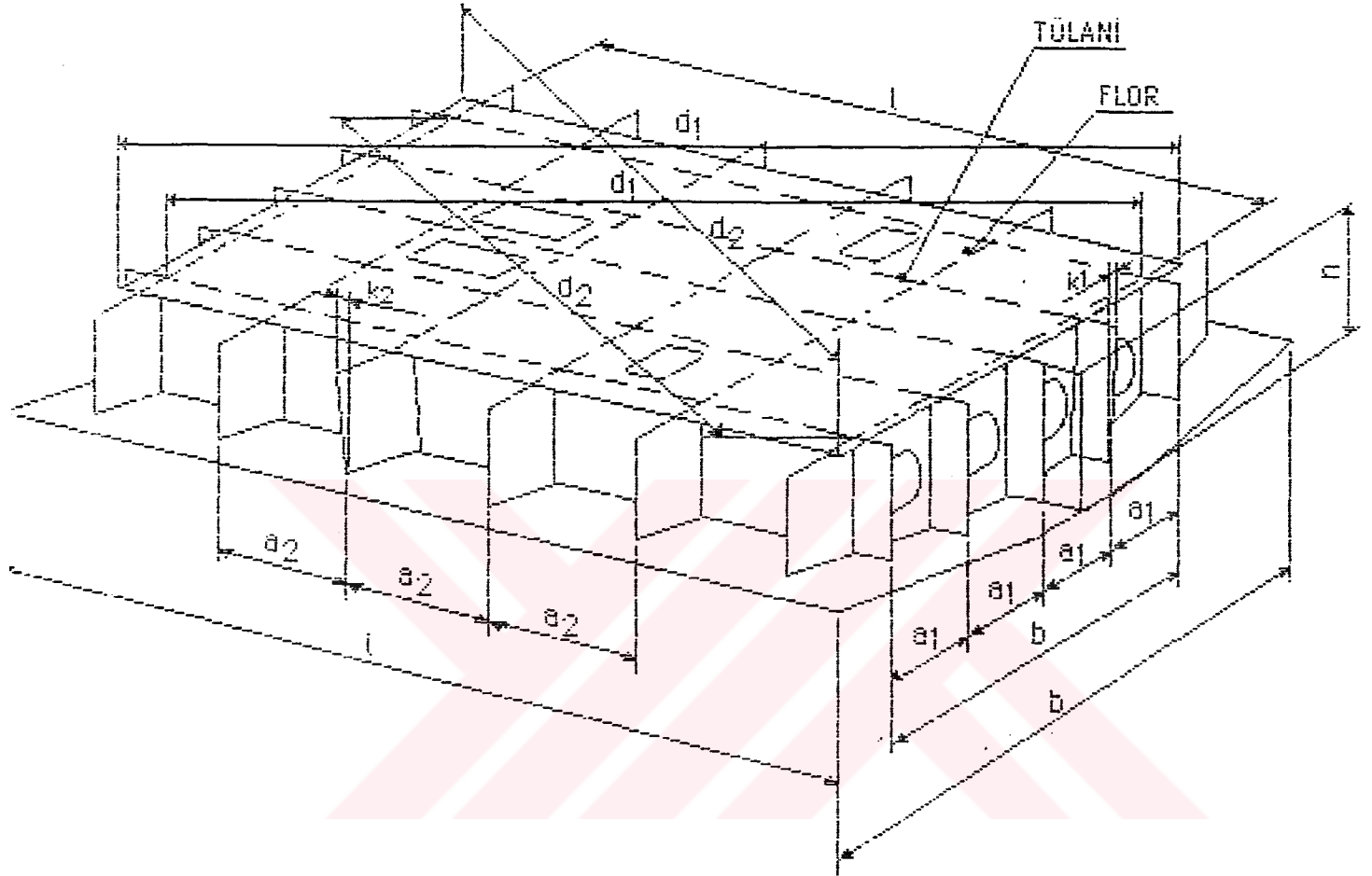


$$t_2 = t_1 + 3 \text{ mm}$$

Şekil 6.16. Şişlik derinliği ve kaynak dikişi çökme toleransı

### 6.8. Taban Blokları

Taban blokları (Şekil 6.17) toleransları çizelge 6.1'de verilmiştir.



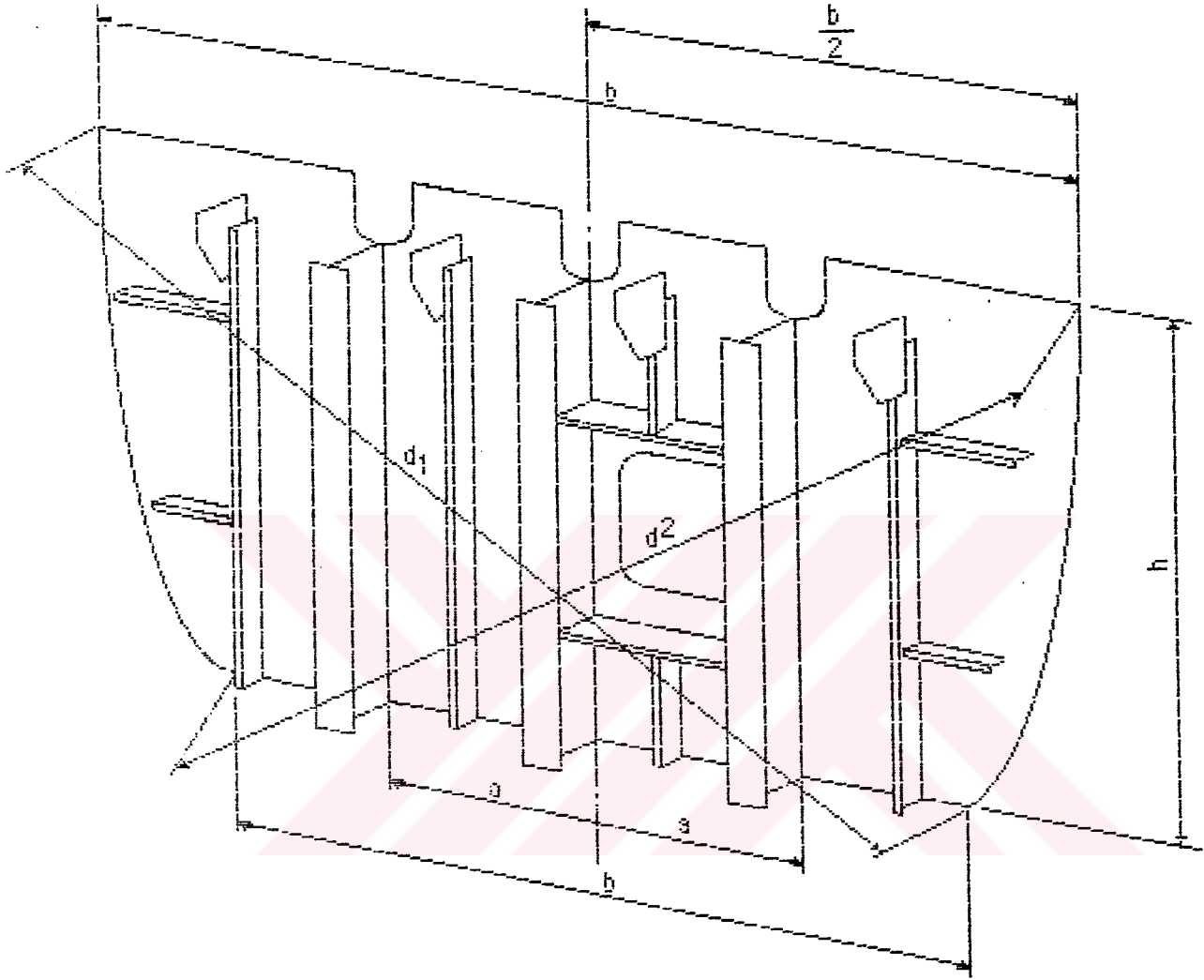
Şekil 6.17. Taban dip blok

Çizelge 6.1. Taban blok toleransları

| TABAN BLOK TOLERANSLARI                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                |                                                   |               |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|---------------------------------------------------|---------------|
| Tolere Edilmiş Özellikler                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | Ölçü           | Ölçüm Aralığı (mm)                                | Tolerans (mm) |
| Blokların uzunluğu, genişliği, yüksekliği                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | l<br>b<br>h    | 2000'e kadar                                      | ± 5           |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                | 2000'den 6000'a kadar                             | ± 8           |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                | 6000'dan 12000'e kadar                            | ± 12          |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                | 12000'den yukarı                                  | ± 15          |
| Çapraz ölçüler<br>d <sub>1</sub> ve d <sub>2</sub> arasındaki fark                                                                                                                                                                                                                                                                                       | Δd             | 2000'e kadar olan                                 | 5             |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                | 2000'den 6000'e kadar                             | 10            |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                | 6000'den 12000'e kadar                            | 15            |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                | 12000'den yukarı                                  | 20            |
| Görder aralıkları                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | a <sub>1</sub> | 2000'e kadar                                      | ± 7           |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                | 2000'den 6000'e kadar                             | ± 12          |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                | 6000'den yukarı                                   | ± 15          |
| Posta aralıkları                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | a <sub>2</sub> | 1000'e kadar                                      | ± 7           |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                | 1000'den 3000'e kadar                             | ± 12          |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                | 3000'den yukarı                                   | ± 15          |
| Görderlerin eğimi                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | k <sub>1</sub> | 1000'e kadar olan h                               | 12            |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                | 1000'den 2000'e kadar                             | 20            |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                | 2000'den yukarı olan h                            | 25            |
| Postaların eğimi                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | k <sub>2</sub> | 1000'e kadar olan h                               | 12            |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                | 1000'den 2000'e kadar                             | 20            |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                | 2000'den yukarı olan h                            | 25            |
| İki paralel yüzey arasındaki aralık (sehim)                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | t              | lxb 50 m <sup>2</sup> 'ye kadar                   | 15            |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                | lxb 50 m <sup>2</sup> 'den 100 m <sup>2</sup> 'ye | 20            |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                | lxb 100 m <sup>2</sup> 'den yukarı                | 25            |
| Eğer blokların levhalarla kaplanmasında ilave işçilik gözönünde tutulmamışsa (levhalar bir daha işlem görmeyecek şekilde tam ölçülerinde monte edilmiş ise) l, b, d <sub>1</sub> , d <sub>2</sub> ölçüleri için levha kaplamalardan referans alınır. Aksi takdirde bu ölçüler için boyuna tulanilerin veya ilk flordan son flora aralık referans alınır. |                |                                                   |               |

### 6.9. Su Geçmez Perdeler

Su geçmez perde (Şekil 6.18) toleransları çizelge 6.2’de verilmiştir.

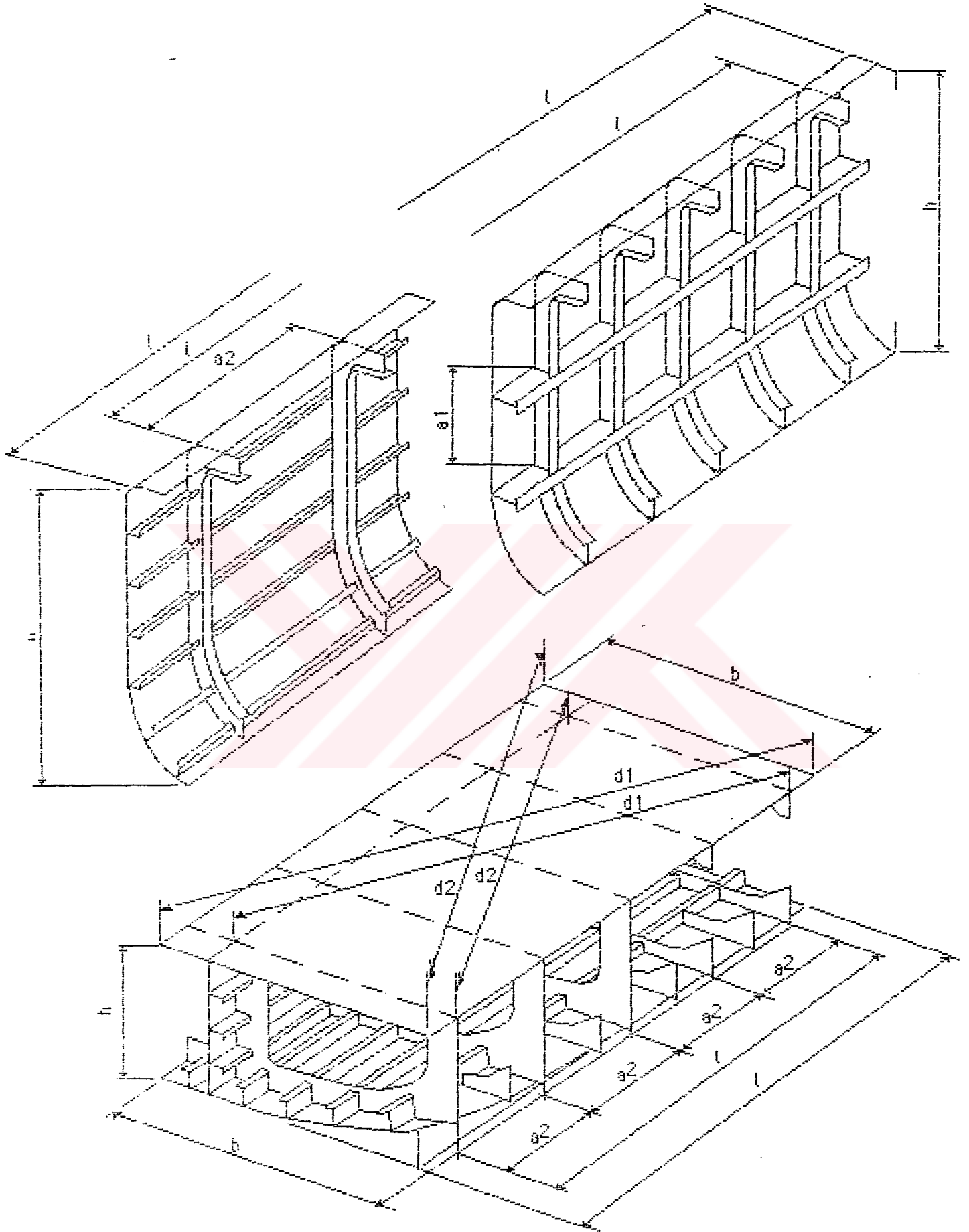


Şekil 6.18. Su geçmez perde



Çizelge 6.2. Su geçirmez perde toleransları

| SU GEÇİRMEZ PERDE TOLERANSLARI                   |            |                        |               |
|--------------------------------------------------|------------|------------------------|---------------|
| Tolere Edilmiş Özellikler                        | Ölçü       | Ölçüm Aralığı (mm)     | Tolerans (mm) |
| Blokların genişliği<br>ve yüksekliği             | b<br>h     | 5000'e kadar           | $\pm 8$       |
|                                                  |            | 5000'den 10000'e kadar | $\pm 12$      |
|                                                  |            | 10000'den yukarı       | $\pm 15$      |
| Çapraz ölçüler<br>$d_1$ ve $d_2$ arasındaki fark | $\Delta d$ | 5000'e kadar olan      | 10            |
|                                                  |            | 5000'den 10000'e kadar | 15            |
|                                                  |            | 10000'den yukarı       | 20            |
| Ana elemanlar<br>arasındaki aralıklar            | a          | 2000'e kadar olan      | $\pm 7$       |
|                                                  |            | 2000'den 6000'e kadar  | $\pm 12$      |
|                                                  |            | 6000'den yukarı olan   | $\pm 15$      |
| Yarı blok genişliği                              | b/2        | 5000'e kadar olan      | $\pm 5$       |
|                                                  |            | 5000'den 10000'e kadar | $\pm 7$       |
|                                                  |            | 10000'den yukarı olan  | $\pm 10$      |



Şekil 6.19. Sintine dönümü ve borda bloğu

### 6.10. Sintine Dönümü ve Borda Blokları

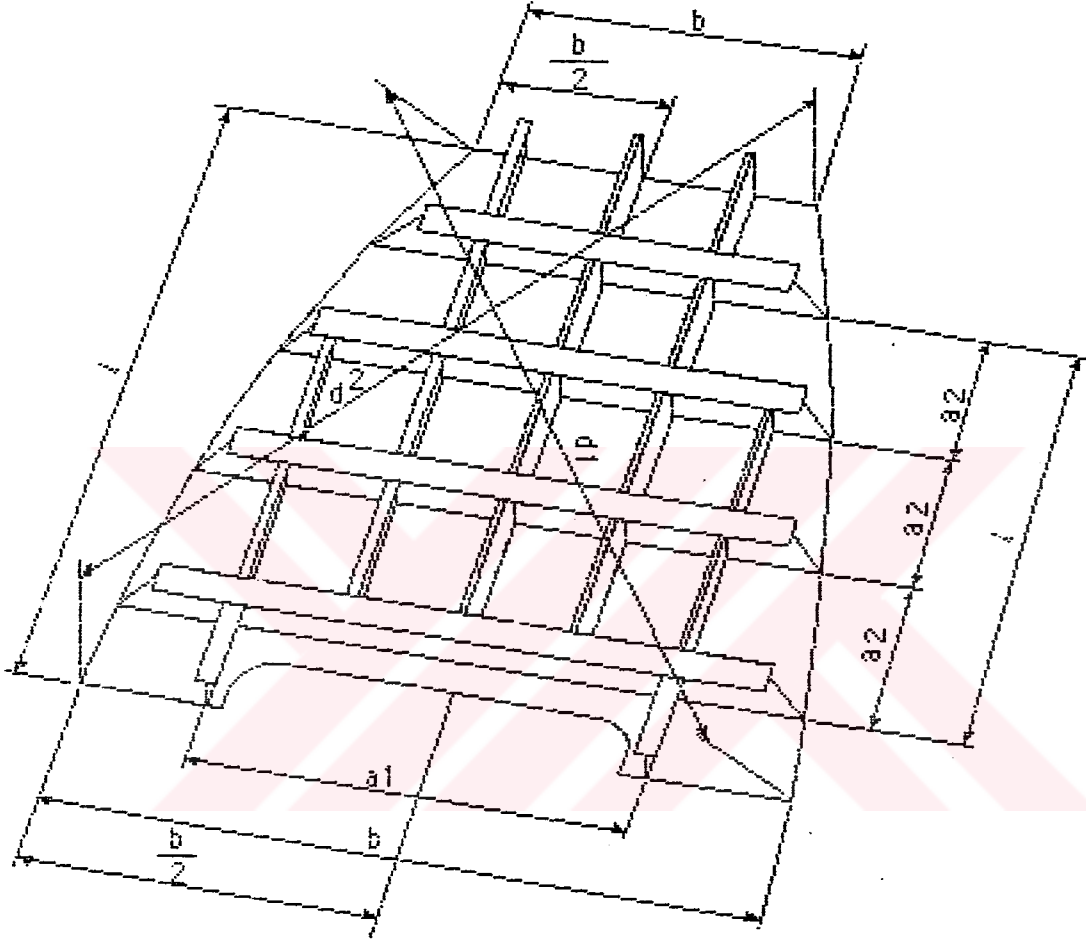
Sintine dönümü ve borda blokları (Şekil 6.19) toleransları çizelge 6.3'te verilmiştir.

Çizelge 6.3. Sintine dönümü ve borda blok toleransları

| SİNTİNE DÖNÜMÜ ve BORDA BLOK TOLERANSLARI                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                |                                                   |               |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|---------------------------------------------------|---------------|
| Tolere Edilmiş Özellikler                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | Ölçü (mm)      | Ölçüm Aralığı (mm)                                | Tolerans (mm) |
| Blokların uzunluğu, genişliği, yüksekliği                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | l<br>b<br>h    | 2000'e kadar                                      | ± 5           |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                | 2000'den 6000'a kadar                             | ± 8           |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                | 6000'dan 12000'e kadar                            | ± 12          |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                | 12000'den yukarı                                  | ± 15          |
| Çapraz ölçüler<br>d <sub>1</sub> ve d <sub>2</sub> arasındaki fark                                                                                                                                                                                                                                                                                       | Δd             | 2000'e kadar olan                                 | 5             |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                | 2000'den 6000'e kadar                             | 10            |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                | 6000'den 12000'e kadar                            | 15            |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                | 12000'den yukarı                                  | 20            |
| Enine postaların aralıkları                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | a <sub>2</sub> | 1000'e kadar                                      | ± 7           |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                | 1000'den 3000'e kadar                             | ± 12          |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                | 3000'den yukarı                                   | ± 15          |
| Stringerlerin aralıkları                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | a <sub>1</sub> | 2000'e kadar                                      | ± 7           |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                | 2000'den 6000'e kadar                             | ± 12          |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                | 6000'den yukarı                                   | ± 15          |
| İki paralel yüzey arasındaki aralık (sehim)                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | t              | lxb 50 m <sup>2</sup> 'ye kadar                   | 15            |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                | lxb 50 m <sup>2</sup> 'den 100 m <sup>2</sup> 'ye | 20            |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                | lxb 100 m <sup>2</sup> 'den yukarı                | 25            |
| Eğer blokların levhalarla kaplanmasında ilave işçilik gözönünde tutulmamışsa (levhalar bir daha işlem görmeyecek şekilde tam ölçülerinde monte edilmiş ise) l, b, d <sub>1</sub> , d <sub>2</sub> ölçüleri için levha kaplamalardan referans alınır. Aksi takdirde bu ölçüler için birinci enine postadan son enine postaya olan mesafe referans alınır. |                |                                                   |               |

### 6.11. Güverte Blokları

Güverte blokları (Şekil 6.20) toleransları çizelge 6.4’de verilmiştir.



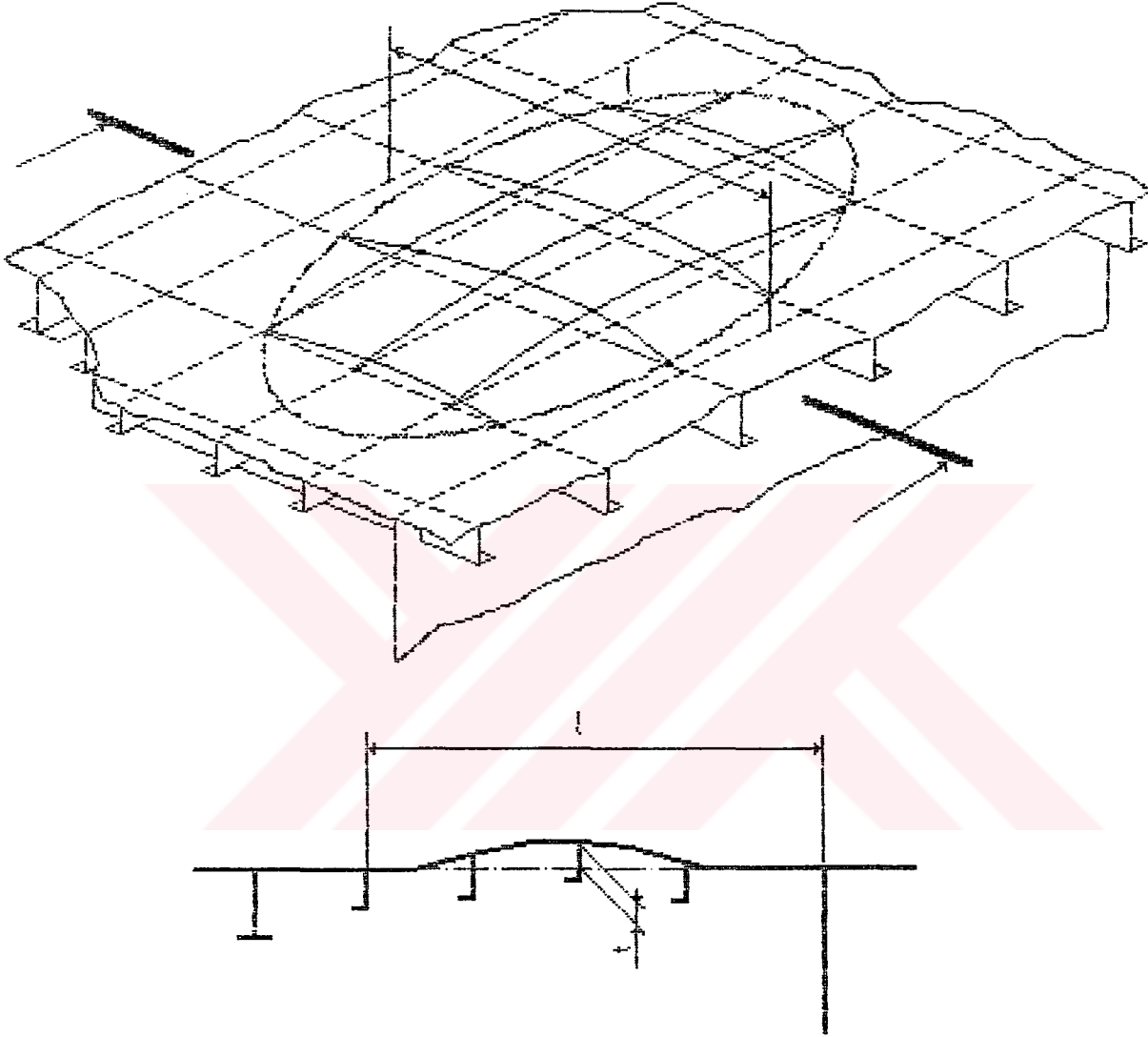
Şekil 6.20. Güverte bloğu

Çizelge 6.4. Güverte blok toleransları

| GÜVERTE BLOK TOLERANSLARI                                                                                                                                                                                                                                                               |                |                        |               |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|------------------------|---------------|
| Tolere Edilmiş Özellikler                                                                                                                                                                                                                                                               | Ölçü           | Ölçüm Aralığı (mm)     | Tolerans (mm) |
| Blokların genişliği<br>ve uzunluğu                                                                                                                                                                                                                                                      | l<br>b         | 2000'e kadar           | ± 5           |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                | 2000'den 6000'e kadar  | ± 8           |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                | 6000'den 12000'e kadar | ± 12          |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                | 12000'den yukarı       | ± 15          |
| Çapraz ölçüler<br>d <sub>1</sub> ve d <sub>2</sub> arasındaki fark                                                                                                                                                                                                                      | Δd             | 2000'e kadar           | 5             |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                | 2000'den 6000'e kadar  | 10            |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                | 6000'den 12000'e kadar | 15            |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                | 12000'den yukarı       | 20            |
| Ana görder<br>aralıkları                                                                                                                                                                                                                                                                | a <sub>1</sub> | 2000'e kadar olan      | ± 7           |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                | 2000'den 6000'e kadar  | ± 12          |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                | 6000'den yukarı olan   | ± 15          |
| Kemere aralıkları                                                                                                                                                                                                                                                                       | a <sub>2</sub> | 1000'e kadar olan      | ± 7           |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                | 1000'den 3000'e kadar  | ± 12          |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                | 3000'den yukarı olan   | ± 15          |
| Yarım blok genişliği                                                                                                                                                                                                                                                                    | b/2            | 5000'e kadar olan      | ± 5           |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                | 5000'den 10000'e kadar | ± 7           |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                | 10000'den yukarı olan  | ± 10          |
| Eğer levhalarla kaplamada ilave işçilik gözönünde tutulmamışsa (eğer levhalar bir daha işlem görmeyecek şekilde tam ölçülerinde monte edilmiş ise) l, b ölçüleri levha kaplamalardan referans alınır. Aksi takdirde bu ölçüler için birinci ile son güverte girişinden referans alınır. |                |                        |               |

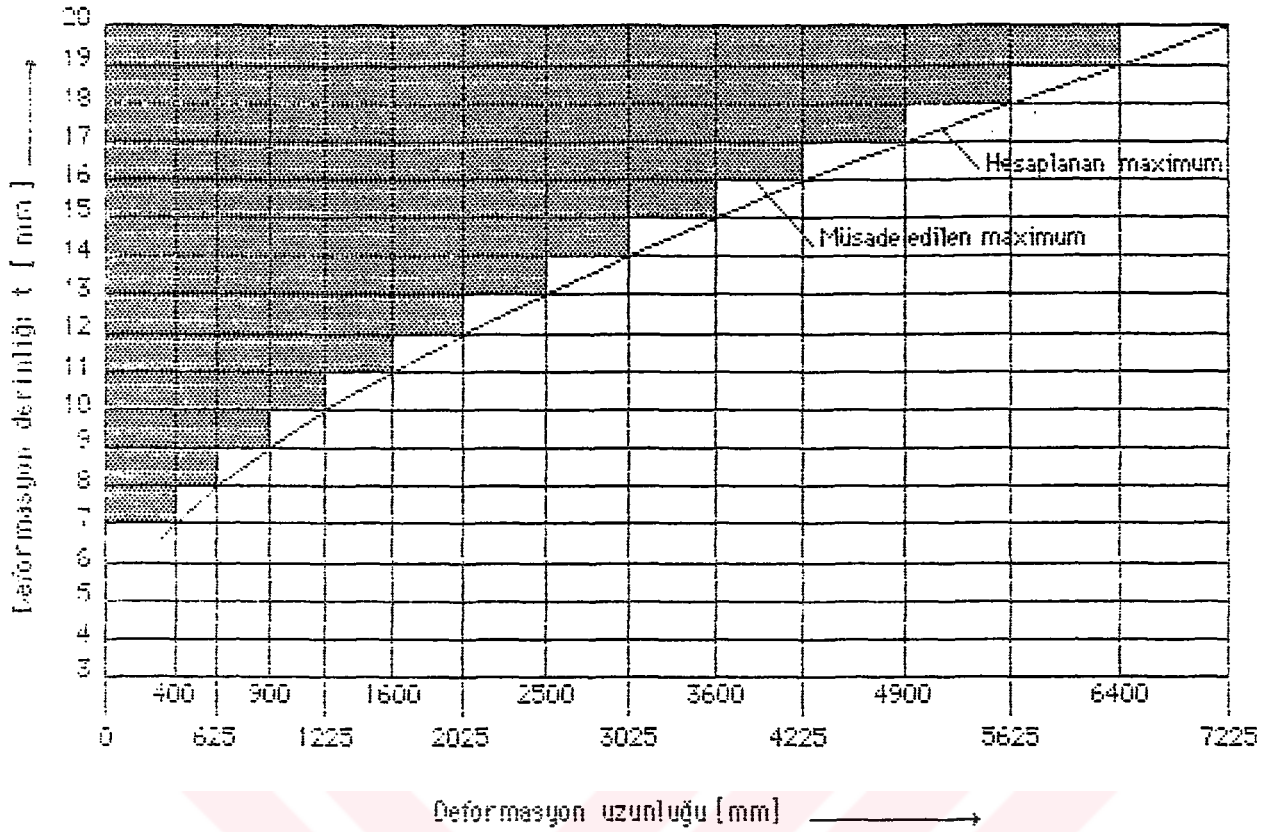
### 6.12. Borda, Karina ve Güverte Levhalarının Form Toleransı

Borda, karina ve güverte levhalarının (Şekil 6.21) form toleransları şekil 6.22’de verilmiştir.



L : Şekil değiştirmemiş en kısa destek aralığı

Şekil 6.21. Borda, karina ve güverte levhalarının şekil değişimi

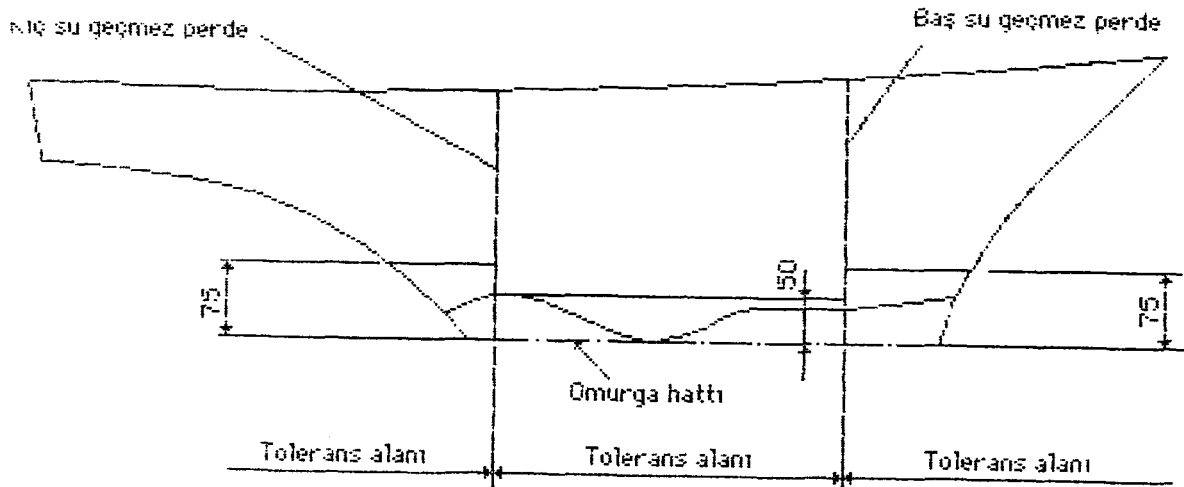


$$t_{\max} = 0,2 \sqrt{L} + 3$$

Şekil 6.22. Borda, karina ve güverte levhalarının şekil değişim toleransı

### 6.13. Omurganın Form Toleransı

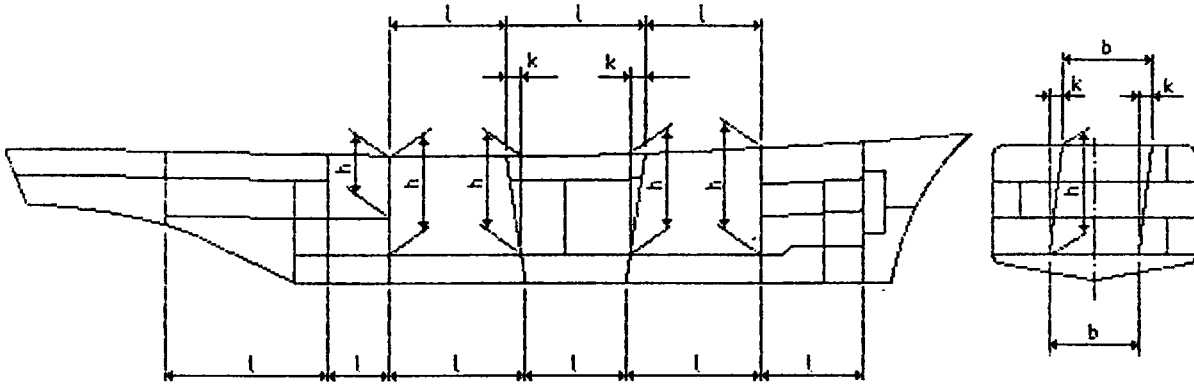
Omurganın form toleransı Şekil 6.23'de verilmiştir. Bu toleranslar, geminin kızkakta iken omurganın geometrik ideal formundaki dikey sapmaları için geçerlidir.



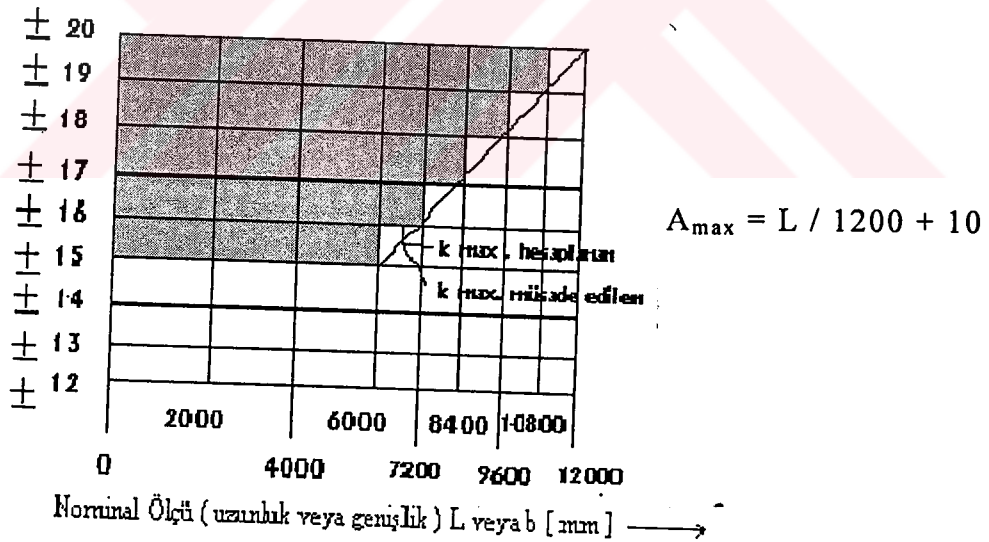
Şekil 6.23. Omurganın form toleransı

### 6.14. Kamaraların, Koridorların Uzunluk ve Genişlikleri

Kamaraların, koridorların (şekil 6.24) uzunluk ve genişlik toleransları şekil 6.25’de verilmiştir.



Şekil 6.24. Kamaralar ve koridorlar

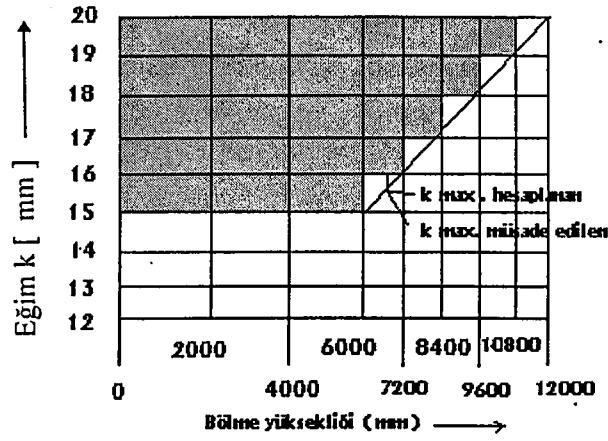


Şekil 6.25. Kamara ve koridor toleransları

### 6.15. Enine ve Boyuna Perde Eğimi

Enine ve boyuna perde (Şekil 6.24) eğimi için şekil 6.26’da verilmiştir.



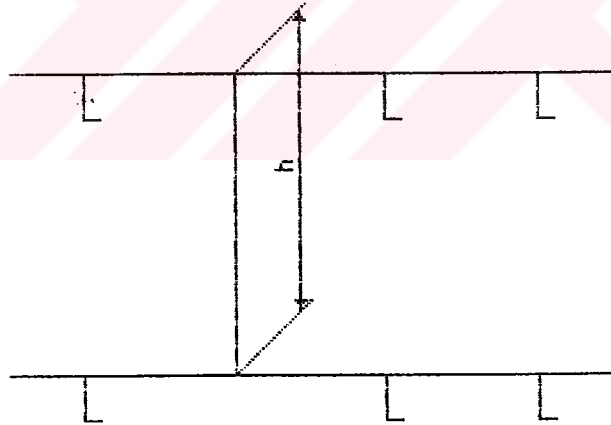


$$k_{\max} = h / 1200 + 10$$

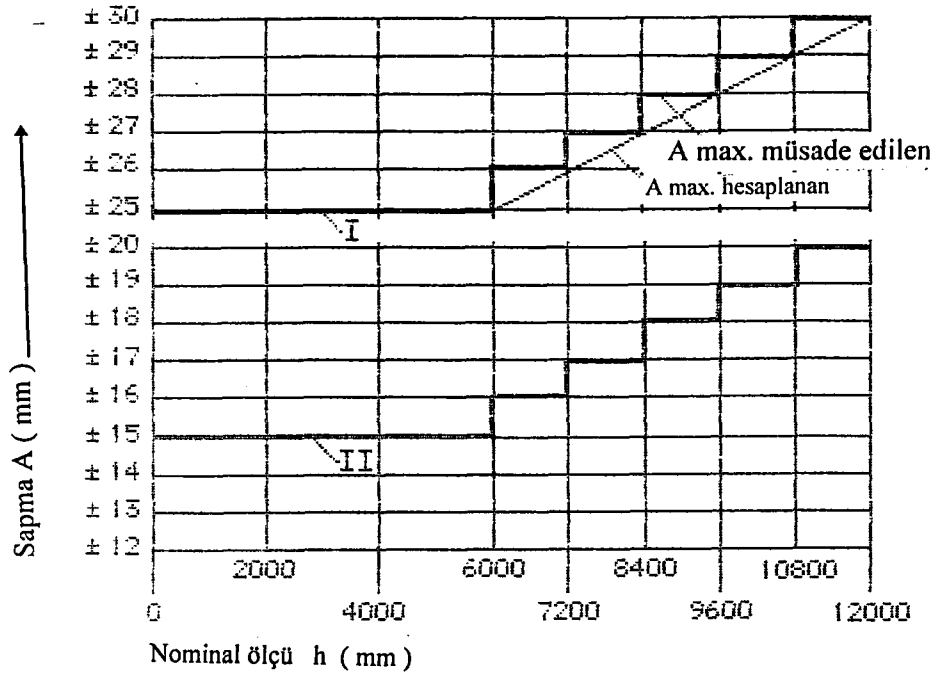
Şekil 6.26. Perdelerin eğim toleransları

### 6.16. Güverte Yükseklikleri

Güverte yükseklikleri (Şekil 6.27) için toleranslar şekil 6.28'de verilmiştir.



Şekil 6.27. Güverte yüksekliği



$$A_{\max} = h / 1200 + 10$$

I eğrisi için  $b = 20$  mm

II eğrisi için  $b = 10$  mm

Eğri I : Tank tavanından veya çift dip üst sacından yükseklik

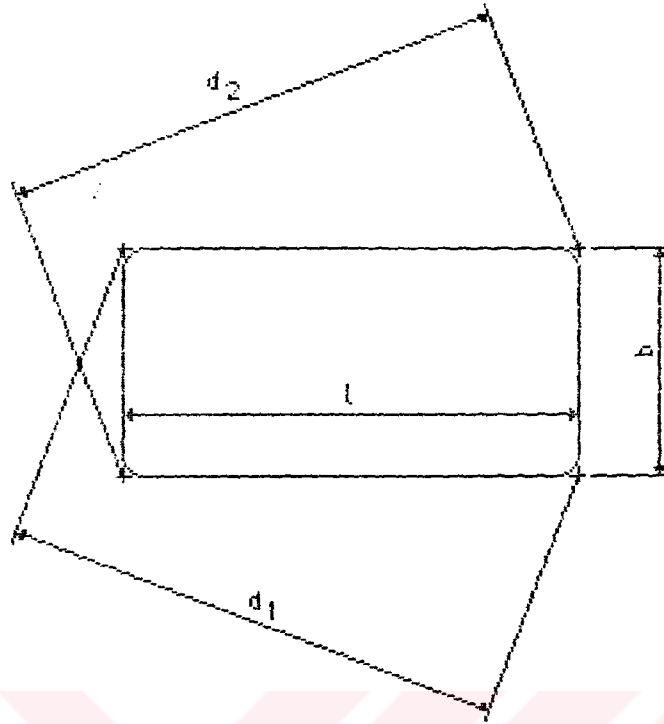
Eğri II : Diğer güverte yükseklikleri

Toleranslar sadece bağlantı yerlerindeki ölçüleri kapsar

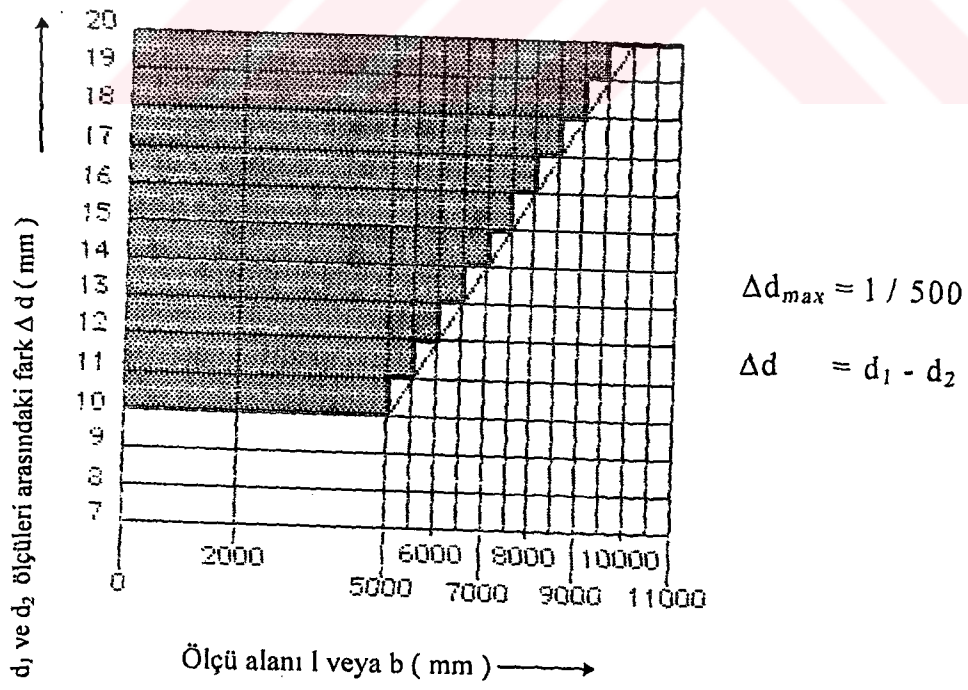
Şekil 6.28. Güverte yükseklik toleransları

### 6.17. Güverte Menhollerinin Büyüklük ve Köşe Diklikleri

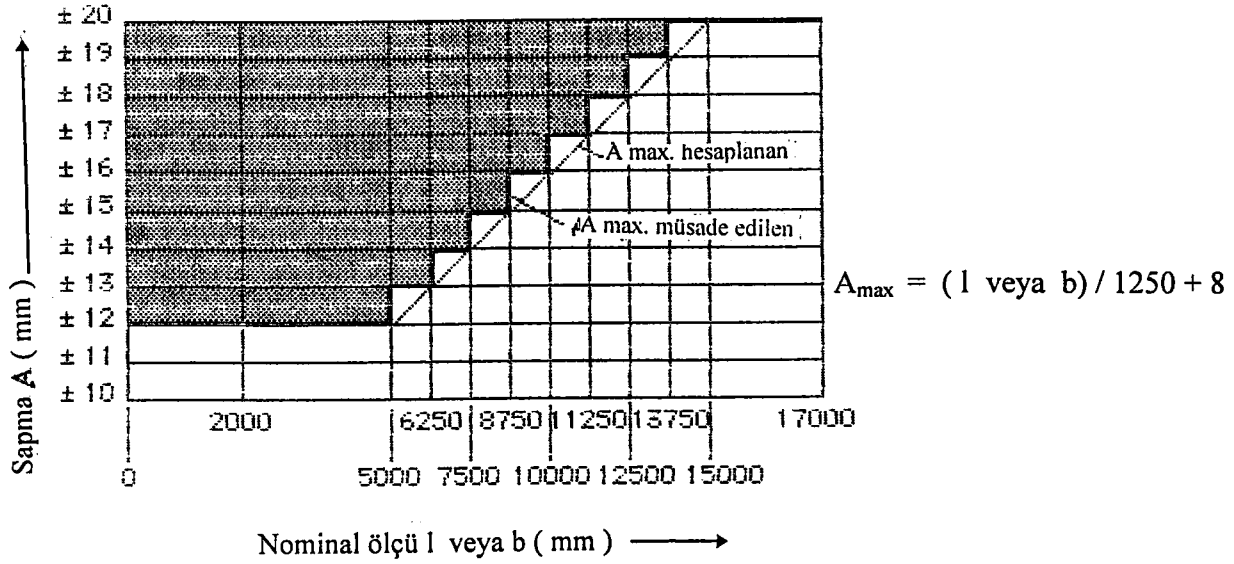
Güverte menhollerinin (Şekil 6.29) köşe diklik toleransları şekil 6.30'da, büyüklük toleransları şekil 6.31'de verilmiştir.



Şekil 6.29. Güverte menholleri



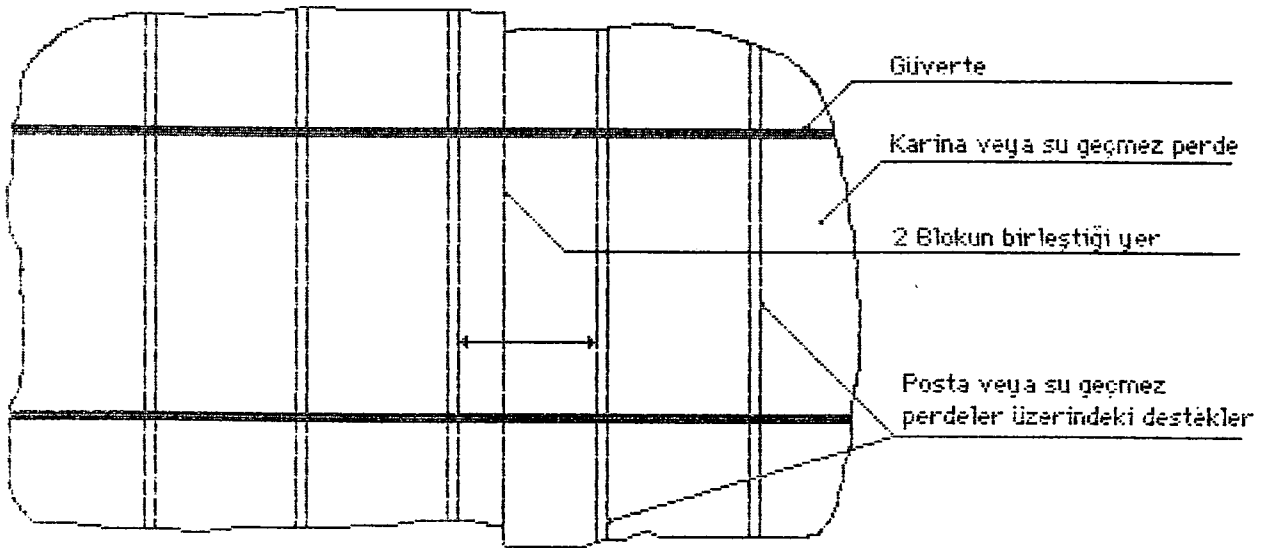
Şekil 6.30. Menhol dikliği,  $\Delta d$



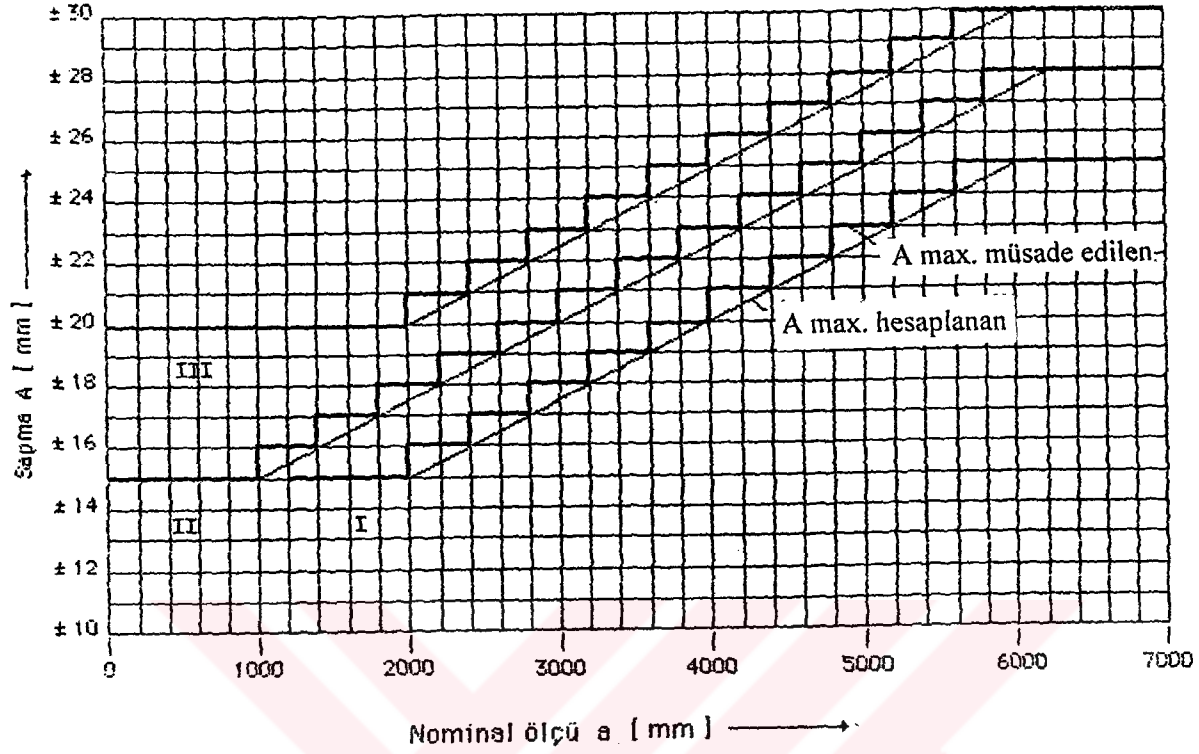
Şekil 6.31. Menhol büyüklük ( l, b ) toleransları

#### 6.18. Blok Birleştirmelerinde Toleranslar

Blok birleştirmeleri (Şekil 6.32) için toleranslar şekil 6.33'de verilmiştir.



Şekil 6.32. Blok birleştirmeleri



$$A_{\max} = a / 400 + b$$

|          |             |
|----------|-------------|
| I için   | b : 10 mm   |
| II için  | b : 12.5 mm |
| III için | b : 15 mm   |

Eğri I : Dipteki boyuna tulanilerin, perdelerdeki derin stifnerlerin ve derin görderlerin arasındaki tolerans

Eğri II : Flor, derin posta ve derin kemereler arasındaki tolerans

Eğri III : Stringerler arasındaki tolerans

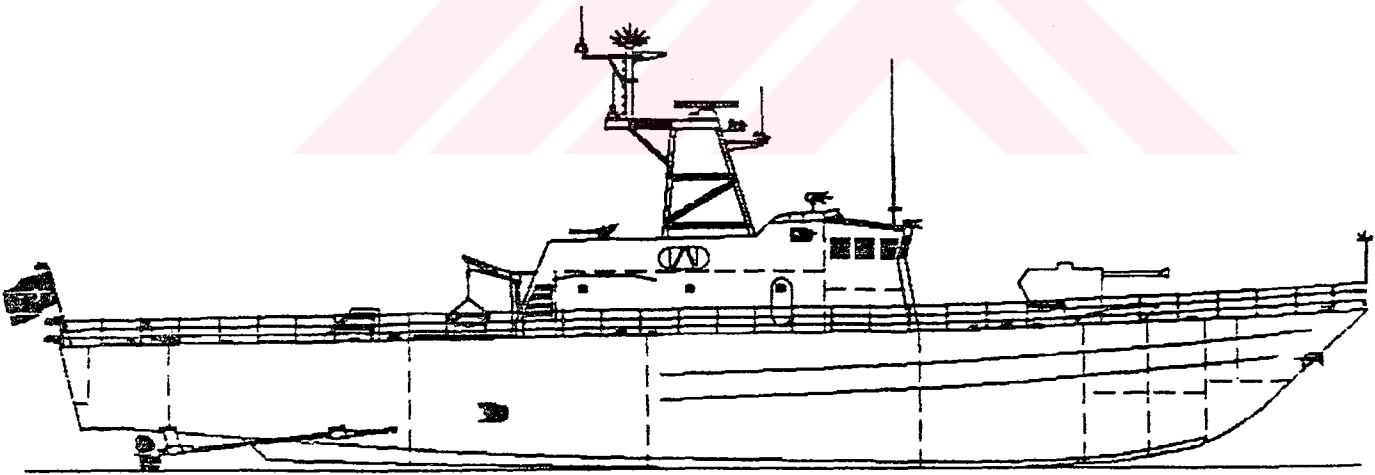
Şekil 6.33. Blok birleştirmelerinde toleranslar

## 7. İNŞAATI YAPILAN BİR GEMİNİN İNCELENMESİ

İnşaatı yapılan bir gemi, inşa aşamasında incelenmiştir. Geminin adına “A” dersek, A gemisi Marmara, Ege, Akdeniz ve Karadeniz’de seyir yapabilecek denizcilik özelliklerine sahip ve 5 kuvvetinde deniz şartlarında seyir yapabilecek şekilde dizayn ve inşa edilmiştir (Şekil 7.1).

Tekne malzemesi olarak St 42 kalitesinde gemi inşa çeliği, üst bina için ise denize dayanıklı AlMg4.5Mn Alüminyum alaşımı kullanılarak ve tamamen kaynaklı konstrüksiyon olarak inşa edilmiştir. Teknenin konstrüksiyon dizaynı Türk loydu tarafından onaylanmıştır.

Tekne formu yuvarlak kesitli yarı deplasman tipidir. Teknede vasattan başa doğru çene bulunmakta olup, iki makina, iki pervane ve iki dümen yelpazesi vardır.



Şekil 7.1. “A” Gemisi

### 7.1. Geminin Ana Özellikleri

|               |         |
|---------------|---------|
| Tam Boy       | 40.75 m |
| Su Hattı Boyu | 37.00 m |
| Genişlik      | 7.05 m  |

|                |           |
|----------------|-----------|
| Draft          | 2.13 m    |
| Deplasman      | 182.4 ton |
| Devamlı Sürat  | 25 knot   |
| Maksimum Sürat | 27 knot   |
| Ekonomik Sürat | 20 knot   |

## 7.2. Malzeme

Teknenin inşaatında St 42 gemi inşa çeliği kullanılmıştır.

*Levhalar :*

3mm'den 20 mm'ye kadar kalınlıkta sac levha

*Profiller :*

4-5-6 mm kalınlıkta standart L köşebent profil

*Kaynak Malzemesi :*

Elektrot  $\Phi$  2,5 - 4.0 mm

Gazaltı kaynak teli SG2  $\Phi$  1 mm

Üst bina inşaatında denize dayanıklı AlMg4.5Mn Alüminyum alaşımı kullanılmıştır.

*Levhalar :*

3 mm'den 8 mm'ye kadar kalınlıkta alüminyum levha

*Profiller :*

4 mm kalınlığında standart L köşebent profil

*Kaynak Malzemesi :*

Ara bağlantı parçası (Al-Çelik) 26 x 20 mm

Al. Elektrot 1,2 mm

### 7.3. Kaynak ve Düzeltme Yöntemleri

| <u>Kaynak Yöntemi</u> | <u>Kullanılan Yerler</u>                                 |
|-----------------------|----------------------------------------------------------|
| Elle elektrik ark     | Blok birleştirmeleri, faundeyşın montajları              |
| MIG                   | Alüminyum malzemenin kaynağında                          |
| MAG                   | Posta, görder, flor, perde, harici kaplama kaynaklarında |
| TIG - WIG             | Boru kaynağında                                          |
| Oksi-asetilen         | İnce parçaların kaynağında                               |
| Punta                 | Dolap ve eçhizelerin kaynağında                          |

| <u>Düzeltme Yöntemi</u> | <u>Kullanılan Yerler</u>                      |
|-------------------------|-----------------------------------------------|
| Tavlama                 | Şekil değışimi olan ve gerilme taşıyan yerler |
| Mekanik                 | Şekil değışimi olan yerler                    |

### 7.4. İnşa Yöntemi

Gemi derin posta ve perdelerle taşınan tülani sistemle tamamen kaynaklı konstrüksiyon olarak inşa edilmiştir. İnşa yöntemi olarak jig üzerinde ters blok yöntemi (balık sırtı) kullanılmıştır.

Bu yöntemde geminin güverte jigi hazırlanarak, tekne bu jig üzerinde güverte sacından başlayarak ters olarak bloklar halinde inşa edilmiştir.

### 7.5. İnşa Sonunda Yapılan Ölçümler

İnşa aşamalarında gerekli ölçümler yapılmış, tolerans dışı olan şekil değışimleri düzeltilmiştir. Tolerans dahilinde olan son ölçümler hazırlanan formatlarda verilmektedir.



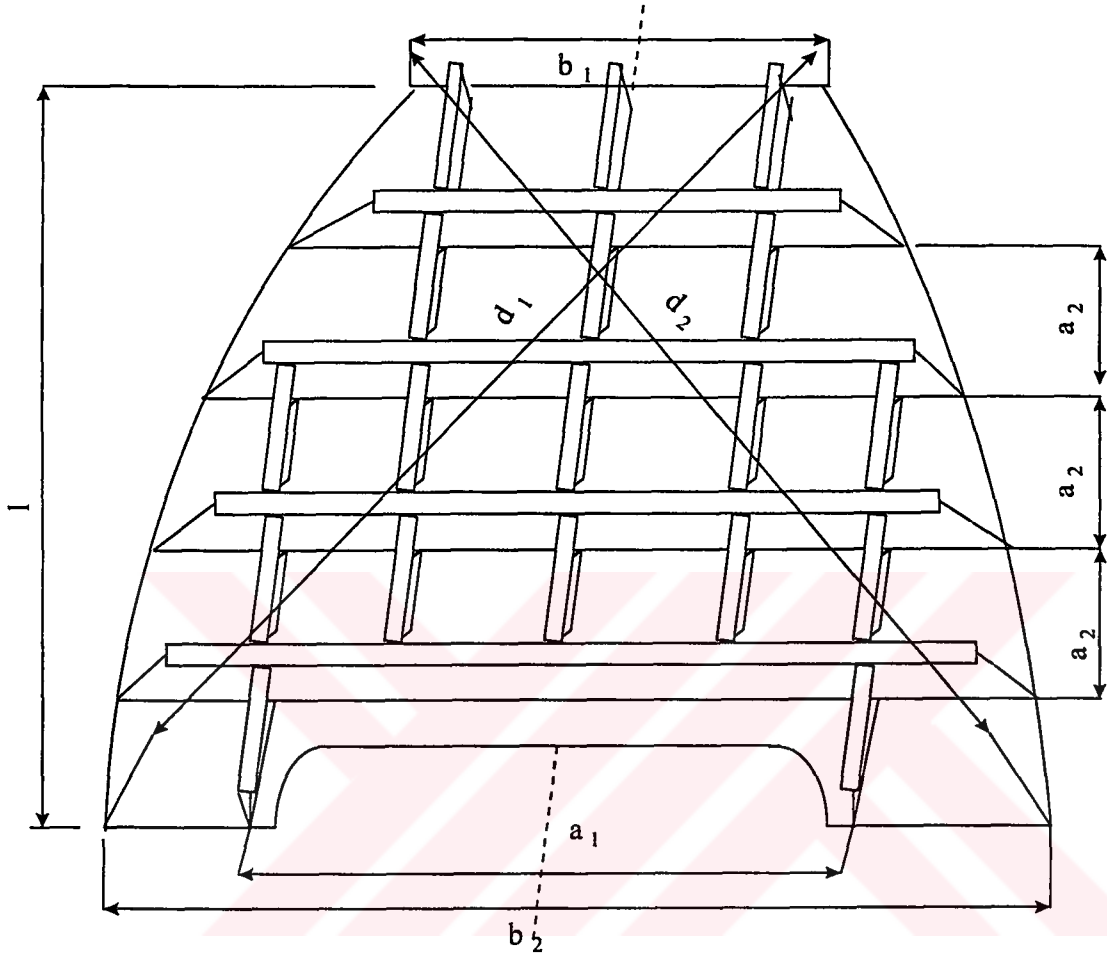
## GÜVERTE BLOKLARI

GEMİ ADI

A GEMİSİ

BLOK NO

1



| BOYUTLAR        |       | ENDAZE<br>ÖLÇÜMÜ | YAPILAN<br>ÖLÇÜM | FARK<br>± | TOLERANS<br>± | UYGUNLUK |
|-----------------|-------|------------------|------------------|-----------|---------------|----------|
| BLOK GENİŞLİĞİ  | $b_1$ | 6510             | 6505             | 5         | 12            | UYGUN    |
|                 | $b_2$ | 6740             | 6735             | 5         | 12            | “        |
| BLOK UZUNLUĞU   | $l$   | 10675            | 10671            | 4         | 12            | “        |
| ÇAPRAZ ÖLÇÜLER  | $d_1$ | 12538            | 12530            | 8         | 20            | “        |
|                 | $d_2$ | 12538            | 12533            | 5         | 20            | “        |
| POSTALAR ARASI  | $a_2$ | 500              | 500              | 0         | 5             | “        |
| GÖRDERLER ARASI | $a_1$ | 1775             | 1775             | 0         | 5             | “        |

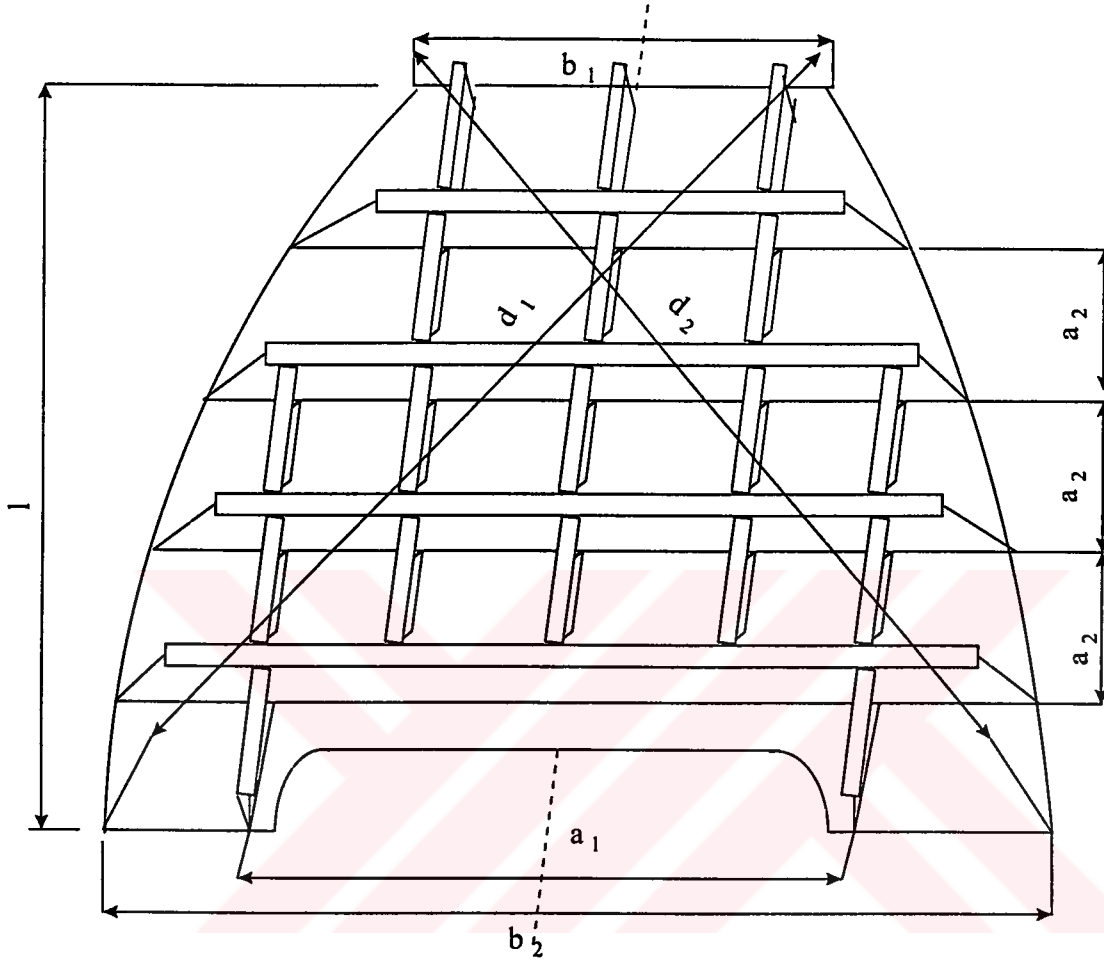
## GÜVERTE BLOKLARI

GEMİ ADI

A GEMİSİ

BLOK NO

2



| BOYUTLAR        |                | ENDAZE<br>ÖLÇÜMÜ | YAPILAN<br>ÖLÇÜM | FARK<br>± | TOLERANS<br>± | UYGUNLUK |
|-----------------|----------------|------------------|------------------|-----------|---------------|----------|
| BLOK GENİŞLİĞİ  | b <sub>1</sub> | 6740             | 6735             | 5         | 12            | UYGUN    |
|                 | b <sub>2</sub> | 6850             | 6845             | 5         | 12            | “        |
| BLOK UZUNLUĞU   | l              | 8000             | 7990             | 10        | 12            | “        |
| ÇAPRAZ ÖLÇÜLER  | d <sub>1</sub> | 10495            | 10488            | 7         | 15            | “        |
|                 | d <sub>2</sub> | 10495            | 10490            | 5         | 15            | “        |
| POSTALAR ARASI  | a <sub>2</sub> | 500              | 500              | 0         | 5             | “        |
| GÖRDERLER ARASI | a <sub>1</sub> | 1775             | 1775             | 0         | 5             | “        |

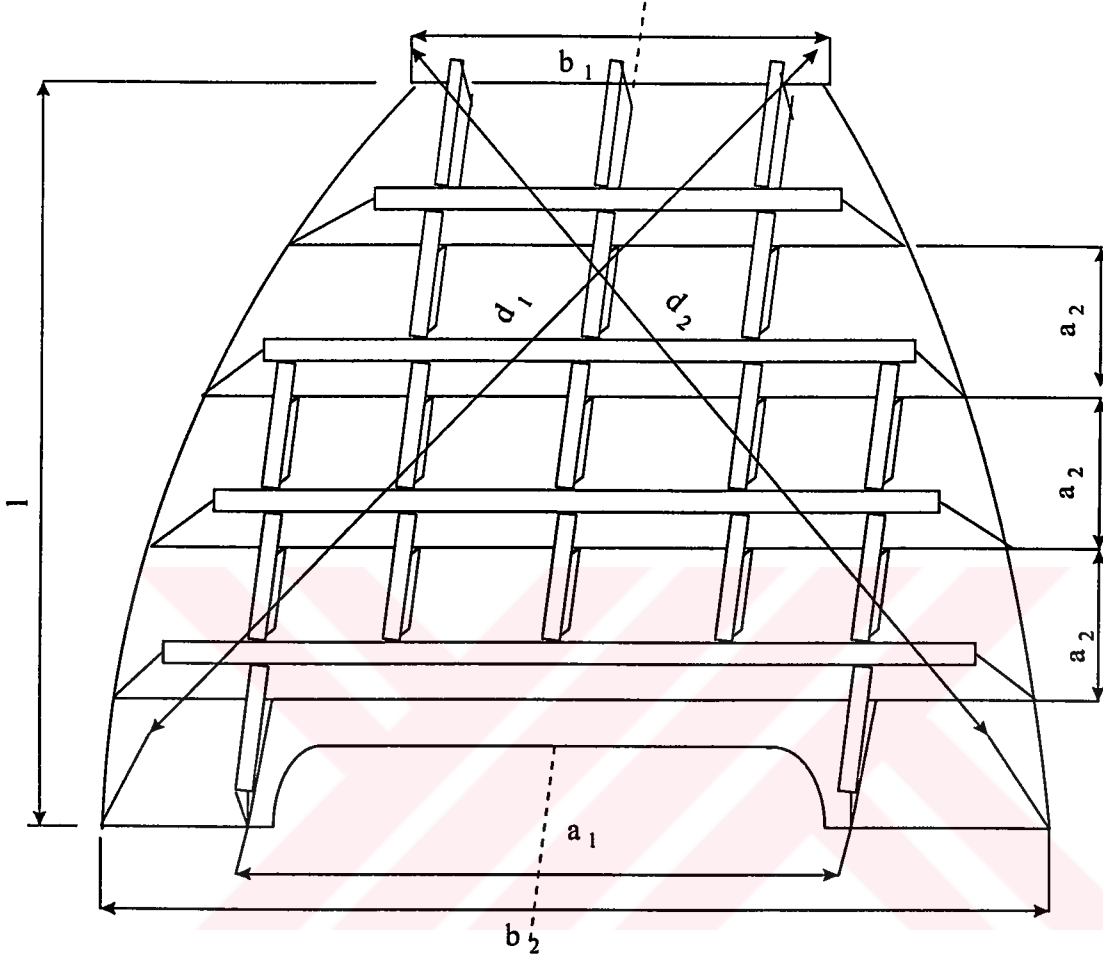
## GÜVERTE BLOKLARI

GEMİ ADI

A GEMİSİ

BLOK NO

3



| BOYUTLAR        |       | ENDAZE<br>ÖLÇÜMÜ | YAPILAN<br>ÖLÇÜM | FARK<br>± | TOLERANS<br>± | UYGUNLUK |
|-----------------|-------|------------------|------------------|-----------|---------------|----------|
| BLOK GENİŞLİĞİ  | $b_1$ | 6850             | 6847             | 3         | 12            | UYGUN    |
|                 | $b_2$ | 6756             | 6753             | 3         | 12            | “        |
| BLOK UZUNLUĞU   | $l$   | 8000             | 7993             | 7         | 12            | “        |
| ÇAPRAZ ÖLÇÜLER  | $d_1$ | 10500            | 10490            | 10        | 15            | “        |
|                 | $d_2$ | 10500            | 10491            | 9         | 15            | “        |
| POSTALAR ARASI  | $a_2$ | 500              | 500              | 0         | 5             | “        |
| GÖRDERLER ARASI | $a_1$ | 1775             | 1775             | 0         | 5             | “        |

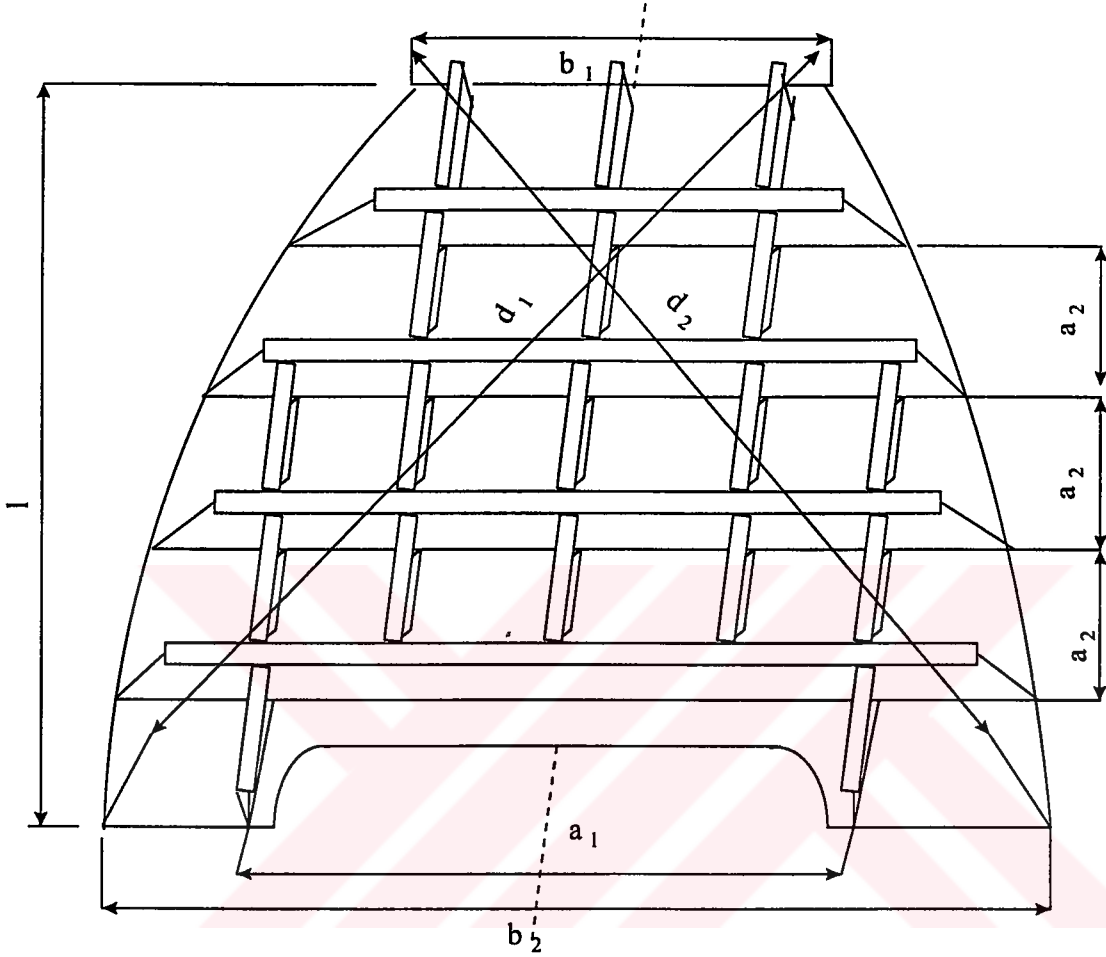
## GÜVERTE BLOKLARI

GEMİ ADI

A GEMİSİ

BLOK NO

4



| BOYUTLAR        |       | ENDAZE<br>ÖLÇÜMÜ | YAPILAN<br>ÖLÇÜM | FARK<br>± | TOLERANS<br>± | UYGUNLUK |
|-----------------|-------|------------------|------------------|-----------|---------------|----------|
| BLOK GENİŞLİĞİ  | $b_1$ | 6756             | 6750             | 6         | 12            | UYGUN    |
|                 | $b_2$ | 1704             | 1700             | 4         | 5             | “        |
| BLOK UZUNLUĞU   | $l$   | 13932            | 13922            | 10        | 15            | “        |
| ÇAPRAZ ÖLÇÜLER  | $d_1$ | 13905            | 13895            | 10        | 20            | “        |
|                 | $d_2$ | 13905            | 13897            | 8         | 20            | “        |
| POSTALAR ARASI  | $a_2$ | 500              | 500              | 0         | 5             | “        |
| GÖRDERLER ARASI | $a_1$ | 1775             | 1775             | 0         | 5             | “        |

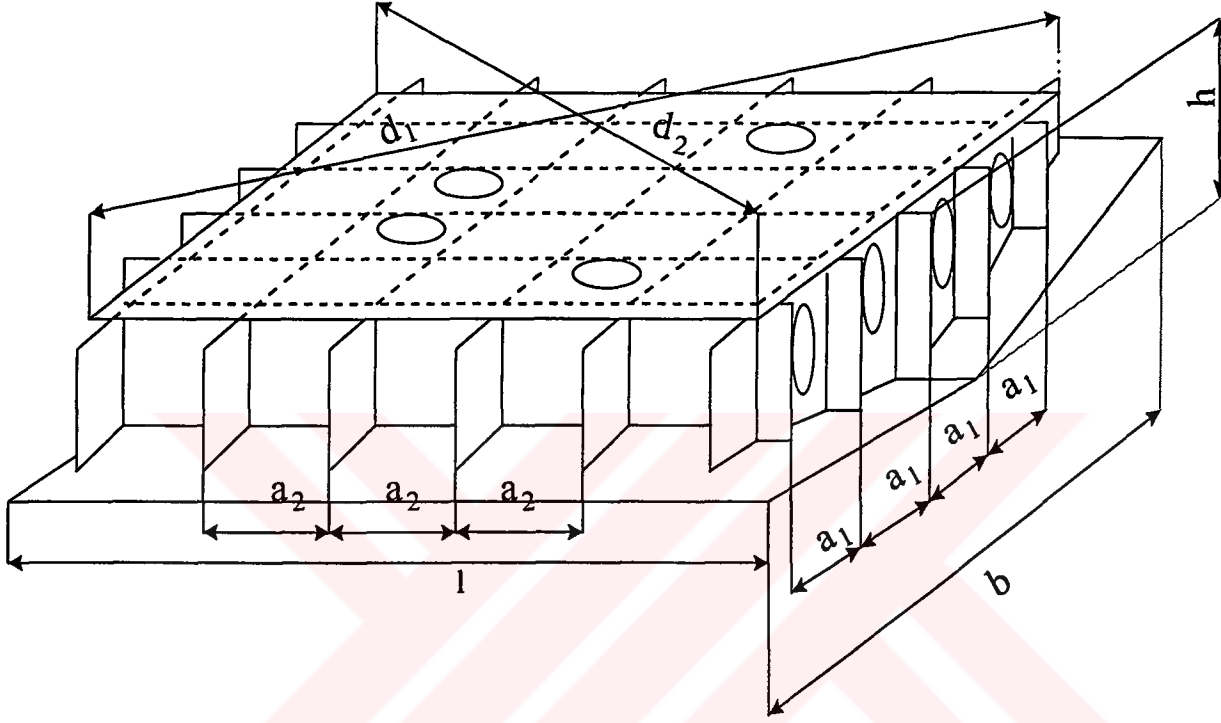
## TABAN BLOKLARI

GEMİ ADI

A GEMİSİ

BLOK NO

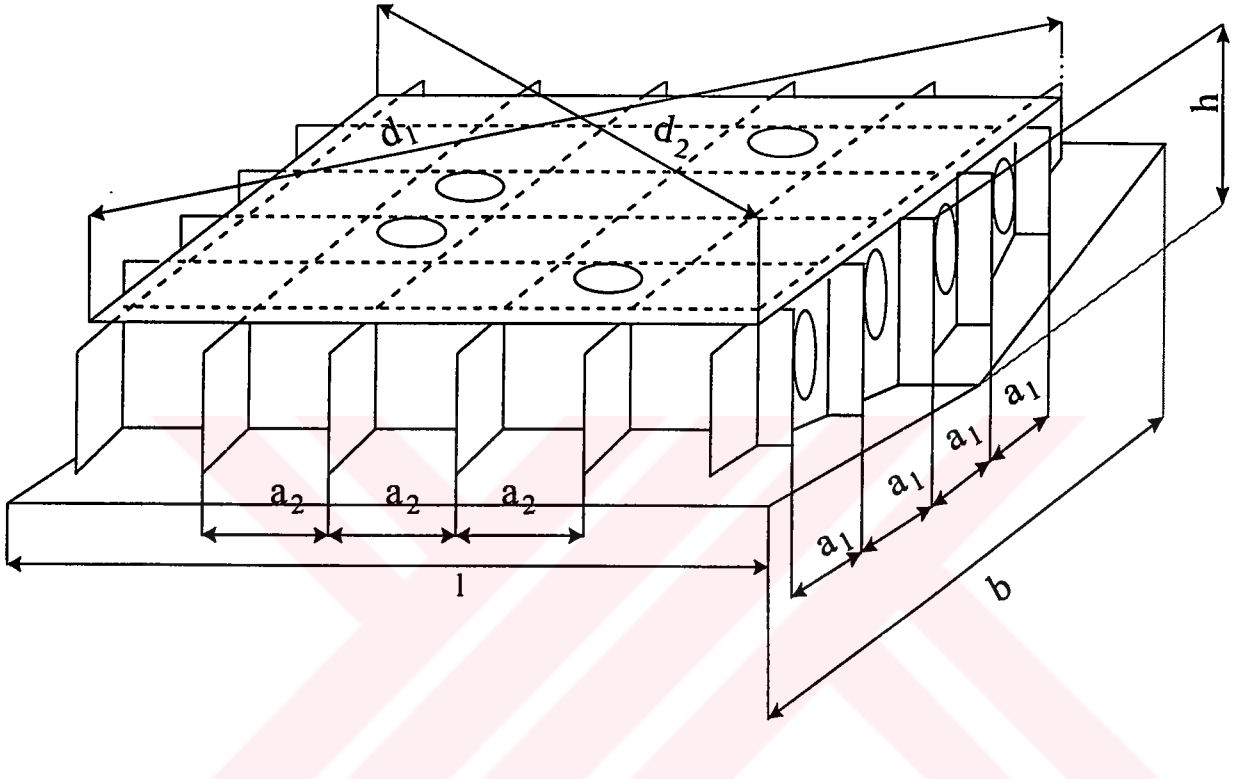
1



| BOYUTLAR               |                | ENDAZE<br>ÖLÇÜMÜ | YAPILAN<br>ÖLÇÜM | FARK<br>± | TOLERANS<br>± | UYGUNLUK |
|------------------------|----------------|------------------|------------------|-----------|---------------|----------|
| BLOK GENİŞLİĞİ         | b              | 6104             | 6102             | 2         | 12            | UYGUN    |
| BLOK BOYU              | l              | 10231            | 10224            | 7         | 12            | "        |
| ÇAPRAZ ÖLÇÜLER         | d <sub>1</sub> | 11231            | 11225            | 6         | 15            | "        |
|                        | d <sub>2</sub> | 11231            | 11226            | 5         | 15            | "        |
| PLATFORM<br>YÜKSEKLİĞİ | h              | 1900             | 1898             | 2         | 5             | "        |
| GÖRDERLER ARASI        | a <sub>1</sub> | 1800             | 1800             | 0         | 7             | "        |
| POSTALAR ARASI         | a <sub>2</sub> | 500              | 500              | 0         | 7             | "        |

## TABAN BLOKLARI

|          |          |         |   |
|----------|----------|---------|---|
| GEMİ ADI | A GEMİSİ | BLOK NO | 2 |
|----------|----------|---------|---|



| BOYUTLAR               |                | ENDAZE<br>ÖLÇÜMÜ | YAPILAN<br>ÖLÇÜM | FARK<br>± | TOLERANS<br>± | UYGUNLUK |
|------------------------|----------------|------------------|------------------|-----------|---------------|----------|
| BLOK GENİŞLİĞİ         | b              | 6042             | 6040             | 2         | 12            | UYGUN    |
| BLOK BOYU              | l              | 8000             | 7997             | 3         | 12            | “        |
| ÇAPRAZ ÖLÇÜLER         | d <sub>1</sub> | 9030             | 9020             | 10        | 15            | “        |
|                        | d <sub>2</sub> | 9030             | 9025             | 5         | 15            | “        |
| PLATFORM<br>YÜKSEKLİĞİ | h              | 1400             | 1398             | 2         | 5             | “        |
| GÖRDERLER ARASI        | a <sub>1</sub> | 1800             | 1800             | 0         | 7             | “        |
| POSTALAR ARASI         | a <sub>2</sub> | 500              | 500              | 0         | 7             | “        |

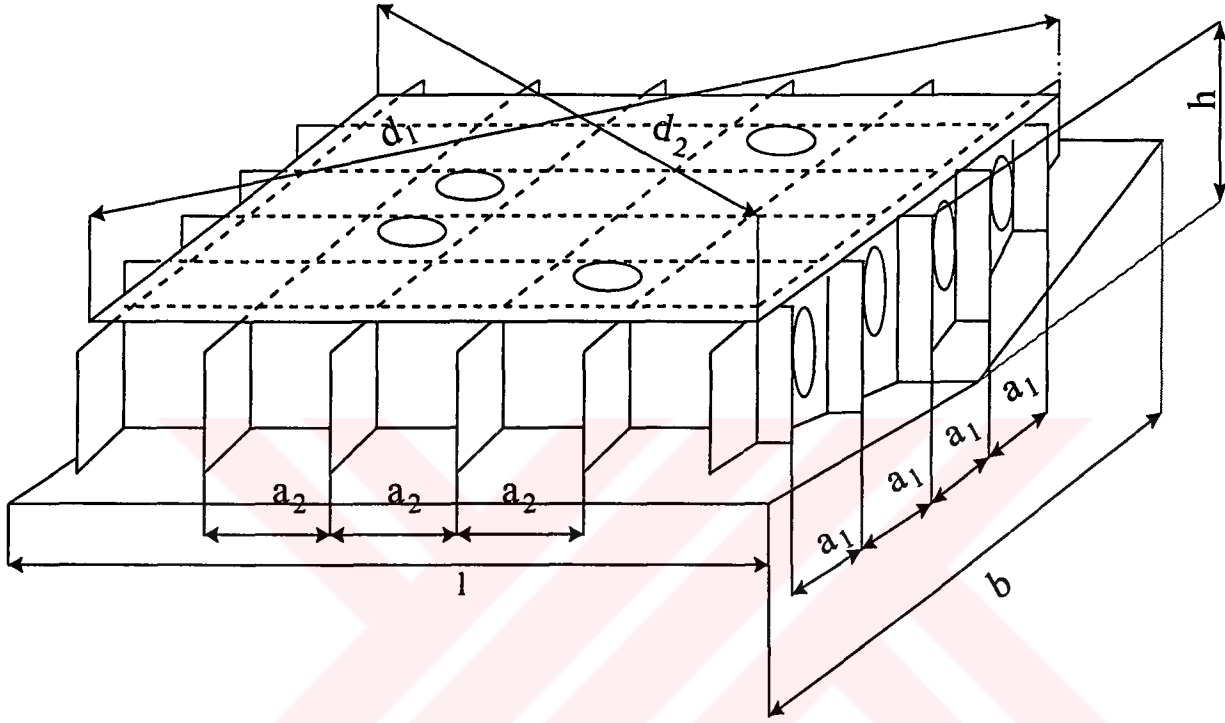
## TABAN BLOKLARI

GEMİ ADI

A GEMİSİ

BLOK NO

3



| BOYUTLAR               |                | ENDAZE<br>ÖLÇÜMÜ | YAPILAN<br>ÖLÇÜM | FARK<br>± | TOLERANS<br>± | UYGUNLUK |
|------------------------|----------------|------------------|------------------|-----------|---------------|----------|
| BLOK GENİŞLİĞİ         | b              | 5892             | 5890             | 2         | 8             | UYGUN    |
| BLOK BOYU              | l              | 8000             | 7994             | 6         | 12            | "        |
| ÇAPRAZ ÖLÇÜLER         | d <sub>1</sub> | 9142             | 9138             | 4         | 15            | "        |
|                        | d <sub>2</sub> | 9142             | 9132             | 10        | 15            | "        |
| PLATFORM<br>YÜKSEKLİĞİ | h              | 1900             | 1897             | 3         | 5             | "        |
| GÖRDERLER ARASI        | a <sub>1</sub> | 1800             | 1800             | 0         | 7             | "        |
| POSTALAR ARASI         | a <sub>2</sub> | 500              | 500              | 0         | 7             | "        |

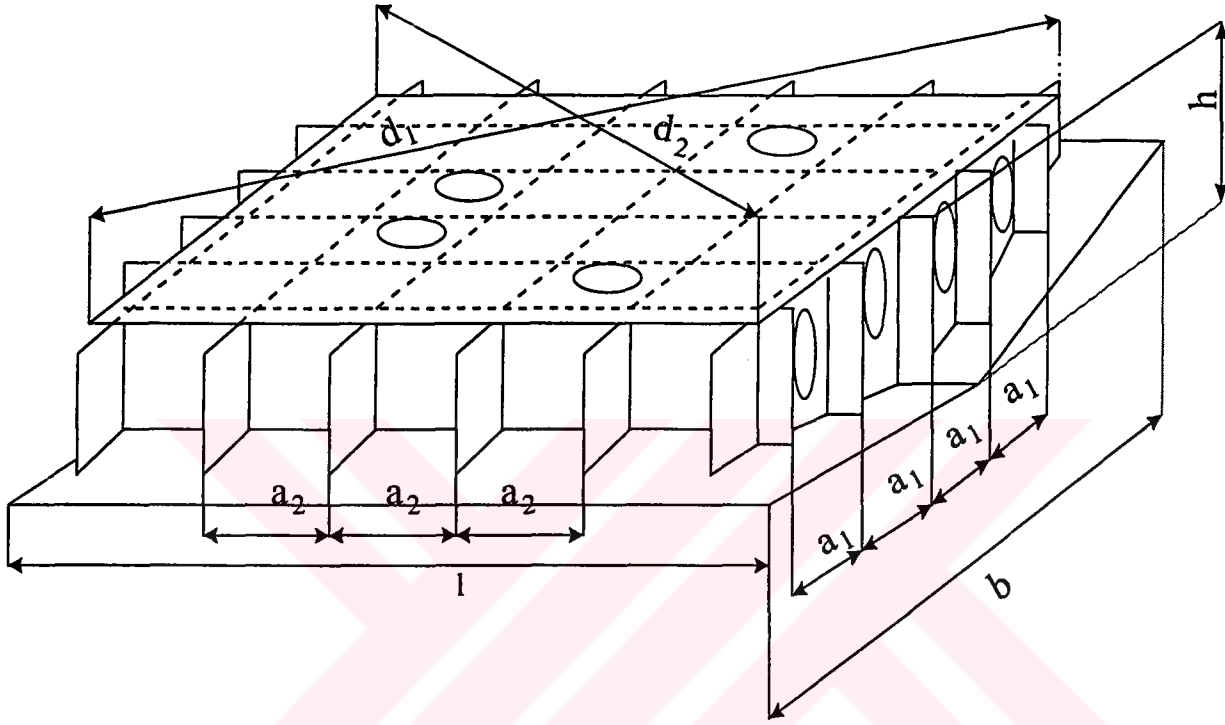
## TABAN BLOKLARI

GEMİ ADI

A GEMİSİ

BLOK NO

4

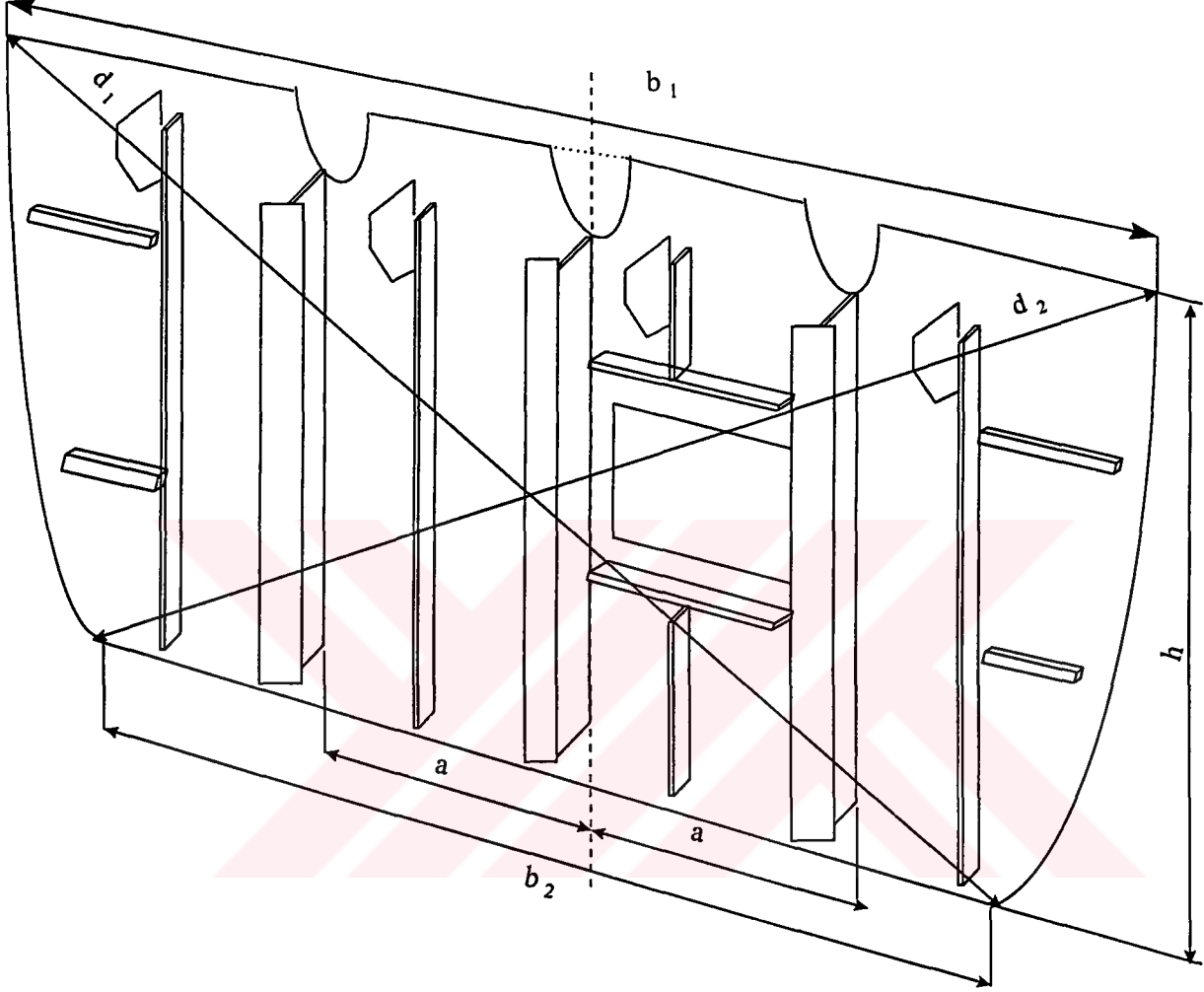


| BOYUTLAR               |                | ENDAZE<br>ÖLÇÜMÜ | YAPILAN<br>ÖLÇÜM | FARK<br>± | TOLERANS<br>± | UYGUNLUK |
|------------------------|----------------|------------------|------------------|-----------|---------------|----------|
| BLOK GENİŞLİĞİ         | b              | 4416             | 4420             | 4         | 8             | UYGUN    |
| BLOK BOYU              | l              | 10575            | 10570            | 5         | 12            | "        |
| ÇAPRAZ ÖLÇÜLER         | d <sub>1</sub> | 10263            | 10260            | 3         | 15            | "        |
|                        | d <sub>2</sub> | 10263            | 10258            | 5         | 15            | "        |
| PLATFORM<br>YÜKSEKLİĞİ | h              | 1900             | 1900             | 0         | 5             | "        |
| GÖRDERLER ARASI        | a <sub>1</sub> | 1800             | 1800             | 0         | 7             | "        |
| POSTALAR ARASI         | a <sub>2</sub> | 500              | 500              | 0         | 7             | "        |



## PERDELER

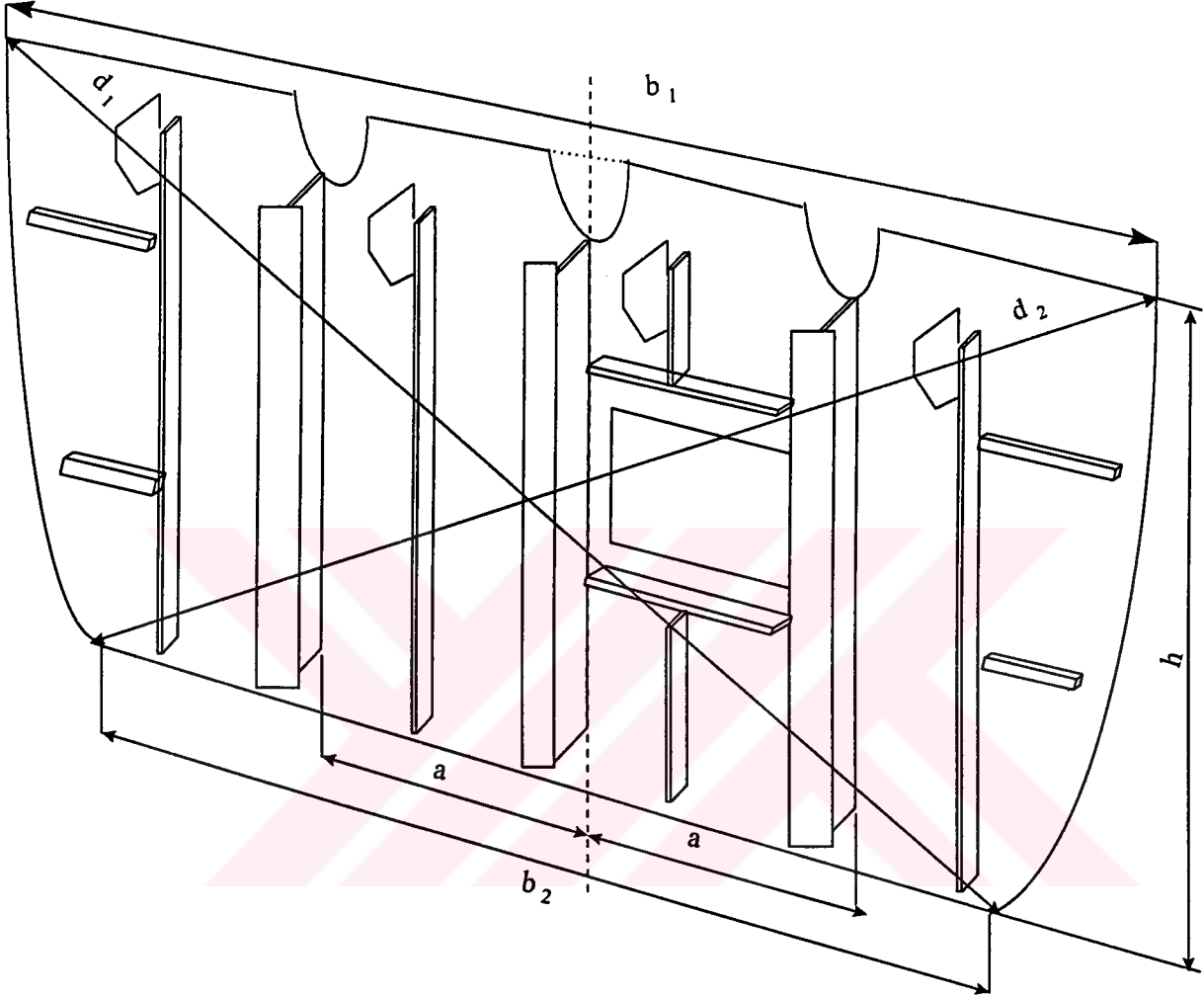
|          |          |         |   |
|----------|----------|---------|---|
| GEMİ ADI | A GEMİSİ | BLOK NO | 1 |
|----------|----------|---------|---|



| BOYUTLAR            |                | ENDAZE<br>ÖLÇÜMÜ | YAPILAN<br>ÖLÇÜM | FARK<br>± | TOLERANS<br>± | UYGUNLUK |
|---------------------|----------------|------------------|------------------|-----------|---------------|----------|
| BLOK GENİŞLİĞİ      | b <sub>1</sub> | 6712             | 6711             | 1         | 12            | UYGUN    |
|                     | b <sub>2</sub> | 6175             | 6173             | 2         | 12            | “        |
| BLOK YÜKSEKLİĞİ     | h              | 2985             | 2983             | 2         | 8             | “        |
| ÇAPRAZ ÖLÇÜLER      | d <sub>1</sub> | 3823             | 3820             | 3         | 10            | “        |
|                     | d <sub>2</sub> | 3974             | 3972             | 2         | 10            | “        |
| ANA ELEMAN<br>ARASI | a              | 1775             | 1775             | 0         | 5             | “        |

## PERDELER

|          |          |         |   |
|----------|----------|---------|---|
| GEMİ ADI | A GEMİSİ | BLOK NO | 2 |
|----------|----------|---------|---|



| BOYUTLAR            |                | ENDAZE<br>ÖLÇÜMÜ | YAPILAN<br>ÖLÇÜM | FARK<br>± | TOLERANS<br>± | UYGUNLUK |
|---------------------|----------------|------------------|------------------|-----------|---------------|----------|
| BLOK GENİŞLİĞİ      | b <sub>1</sub> | 6792             | 6790             | 2         | 12            | UYGUN    |
|                     | b <sub>2</sub> | 5962             | 5960             | 2         | 8             | “        |
| BLOK YÜKSEKLİĞİ     | h              | 3120             | 3120             | 0         | 8             | “        |
| ÇAPRAZ ÖLÇÜLER      | d <sub>1</sub> | 3946             | 3944             | 2         | 10            | “        |
|                     | d <sub>2</sub> | 4188             | 4187             | 1         | 10            | “        |
| ANA ELEMAN<br>ARASI | a              | 1775             | 1775             | 0         | 8             | “        |

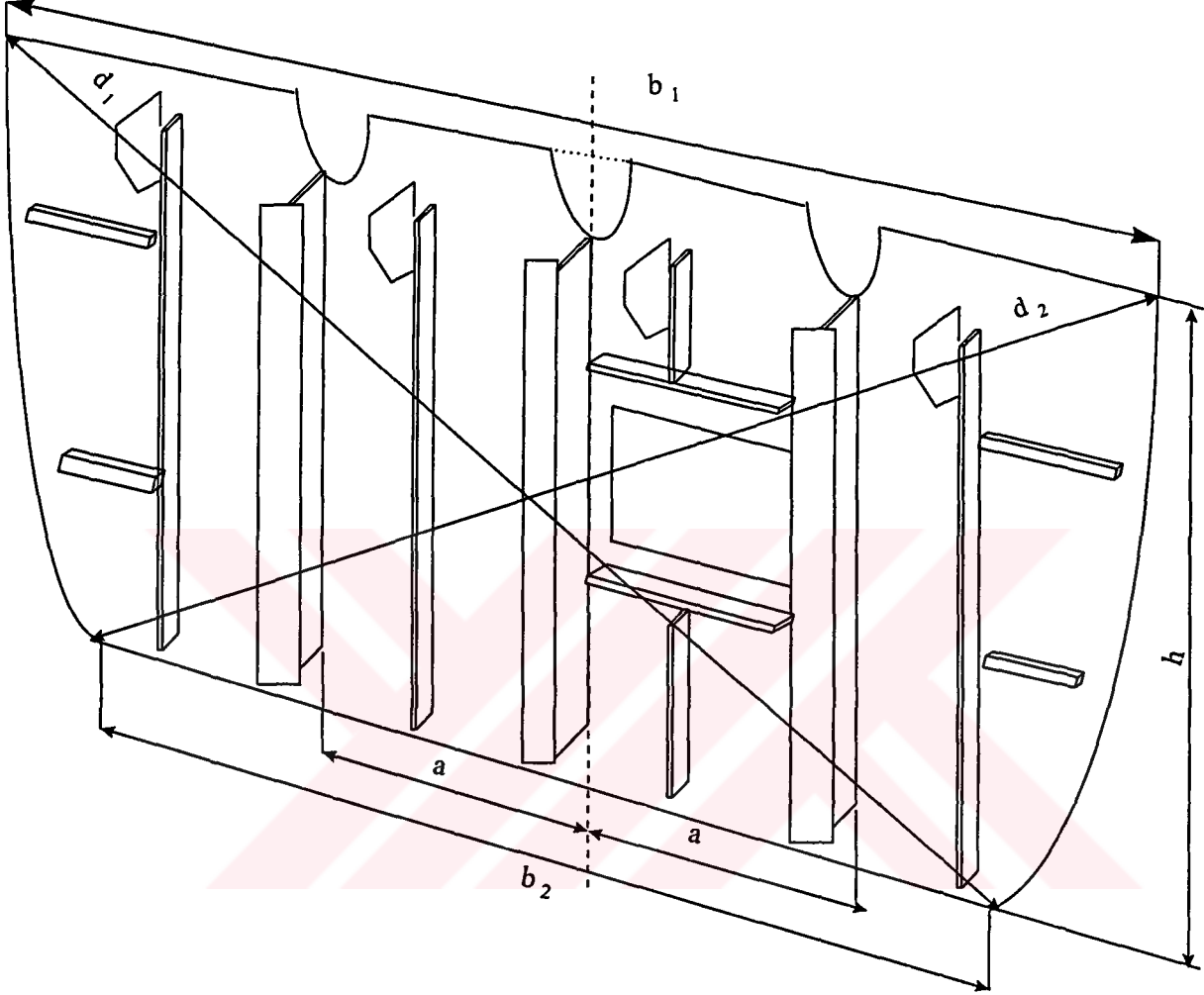
## PERDELER

GEMİ ADI

A GEMİSİ

BLOK NO

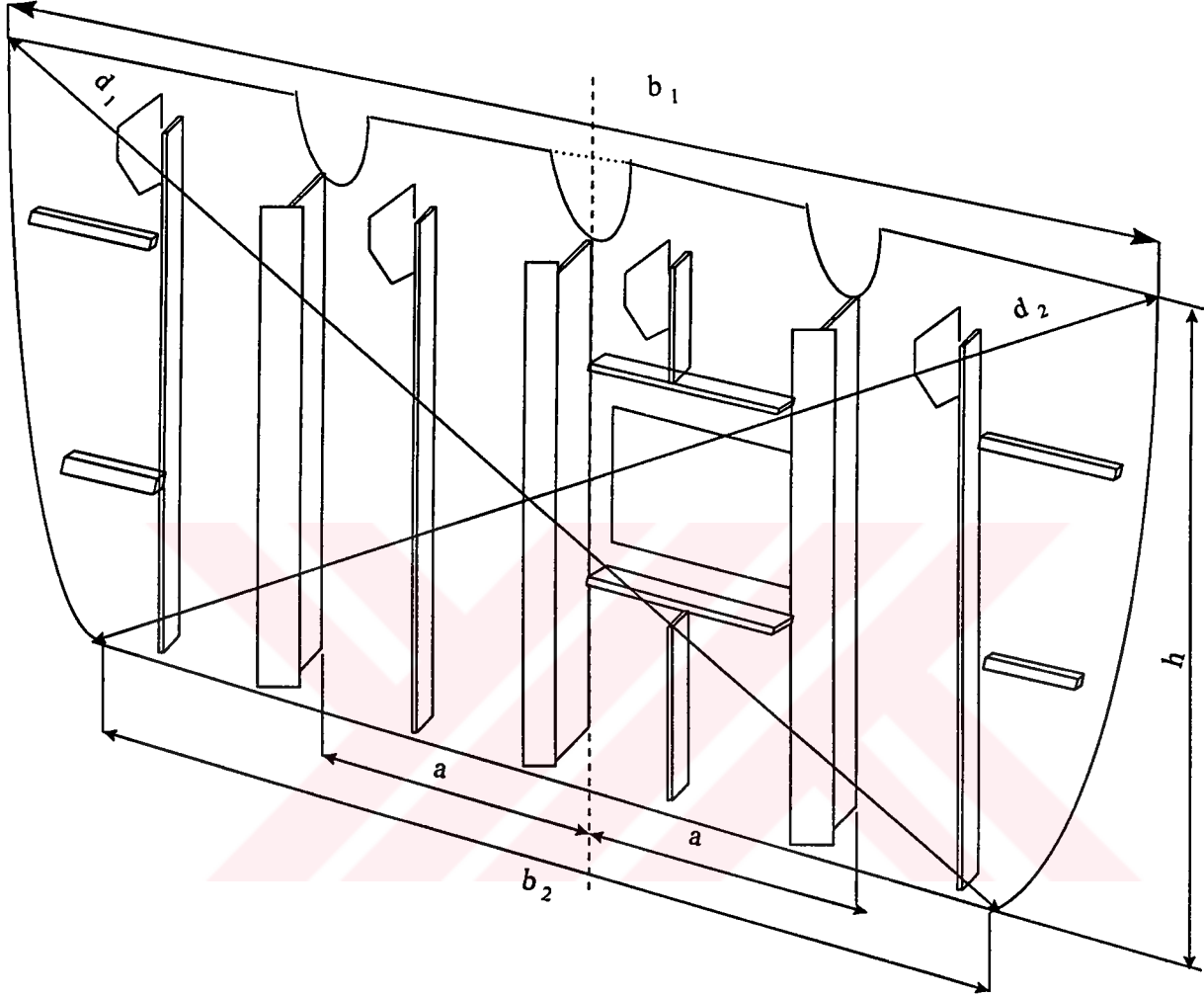
3



| BOYUTLAR            |                | ENDAZE<br>ÖLÇÜMÜ | YAPILAN<br>ÖLÇÜM | FARK<br>± | TOLERANS<br>± | UYGUNLUK |
|---------------------|----------------|------------------|------------------|-----------|---------------|----------|
| BLOK GENİŞLİĞİ      | b <sub>1</sub> | 6948             | 6944             | 4         | 12            | UYGUN    |
|                     | b <sub>2</sub> | 6100             | 6100             | 0         | 12            | "        |
| BLOK YÜKSEKLİĞİ     | h              | 2695             | 2693             | 2         | 8             | "        |
| ÇAPRAZ ÖLÇÜLER      | d <sub>1</sub> | 4071             | 4065             | 6         | 10            | "        |
|                     | d <sub>2</sub> | 4312             | 4309             | 3         | 10            | "        |
| ANA ELEMAN<br>ARASI | a              | 1775             | 1775             | 0         | 8             | "        |

## PERDELER

|          |          |         |   |
|----------|----------|---------|---|
| GEMİ ADI | A GEMİSİ | BLOK NO | 4 |
|----------|----------|---------|---|



| BOYUTLAR            |       | ENDAZE<br>ÖLÇÜMÜ | YAPILAN<br>ÖLÇÜM | FARK<br>± | TOLERANS<br>± | UYGUNLUK |
|---------------------|-------|------------------|------------------|-----------|---------------|----------|
| BLOK GENİŞLİĞİ      | $b_1$ | 7050             | 7048             | 2         | 12            | UYGUN    |
|                     | $b_2$ | 5926             | 5925             | 1         | 8             | “        |
| BLOK YÜKSEKLİĞİ     | $h$   | 2844             | 2842             | 2         | 8             | “        |
| ÇAPRAZ ÖLÇÜLER      | $d_1$ | 4105             | 4103             | 2         | 10            | “        |
|                     | $d_2$ | 4438             | 4436             | 2         | 10            | “        |
| ANA ELEMAN<br>ARASI | $a$   | 1775             | 1775             | 0         | 5             | “        |

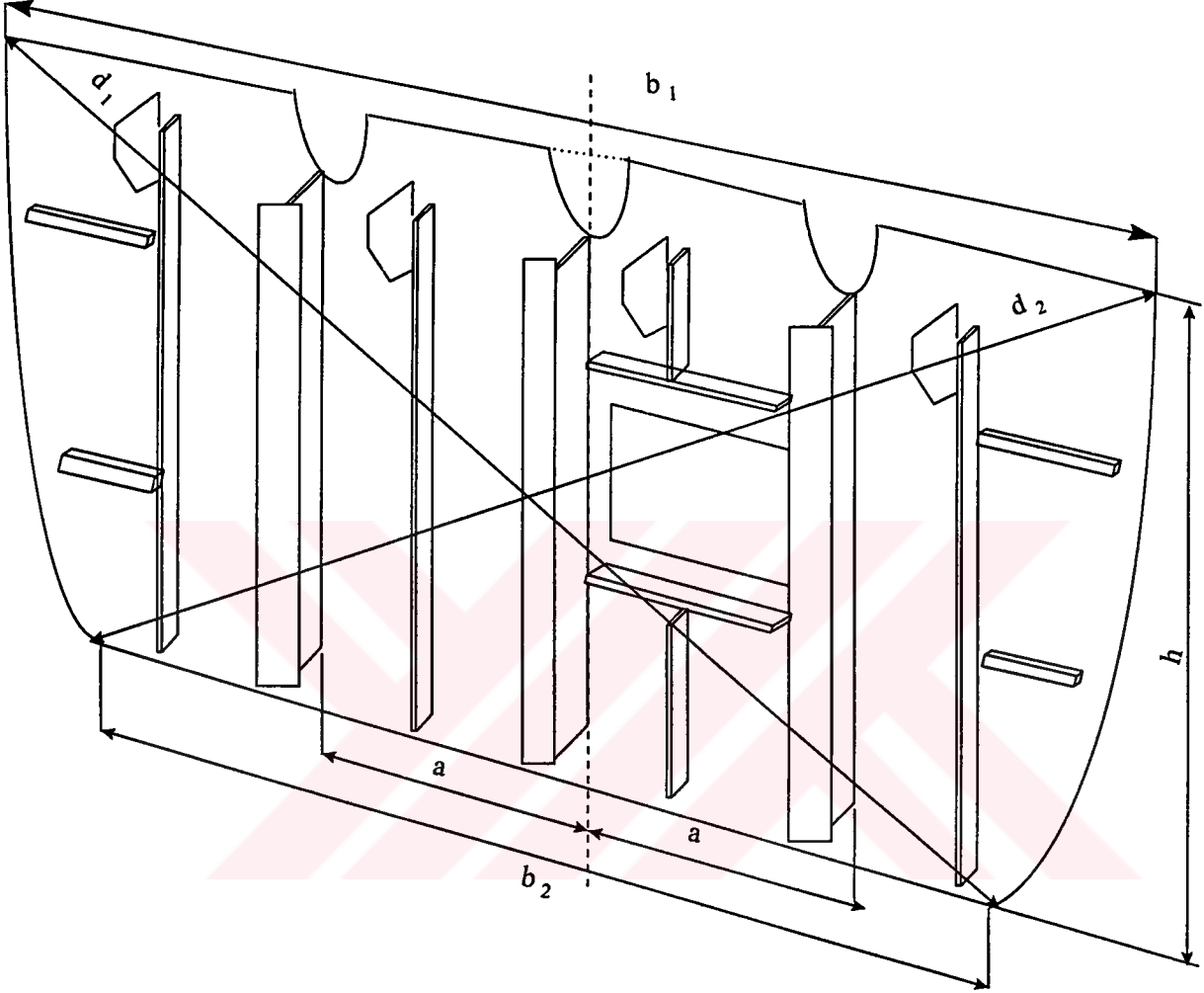
## PERDELER

GEMİ ADI

A GEMİSİ

BLOK NO

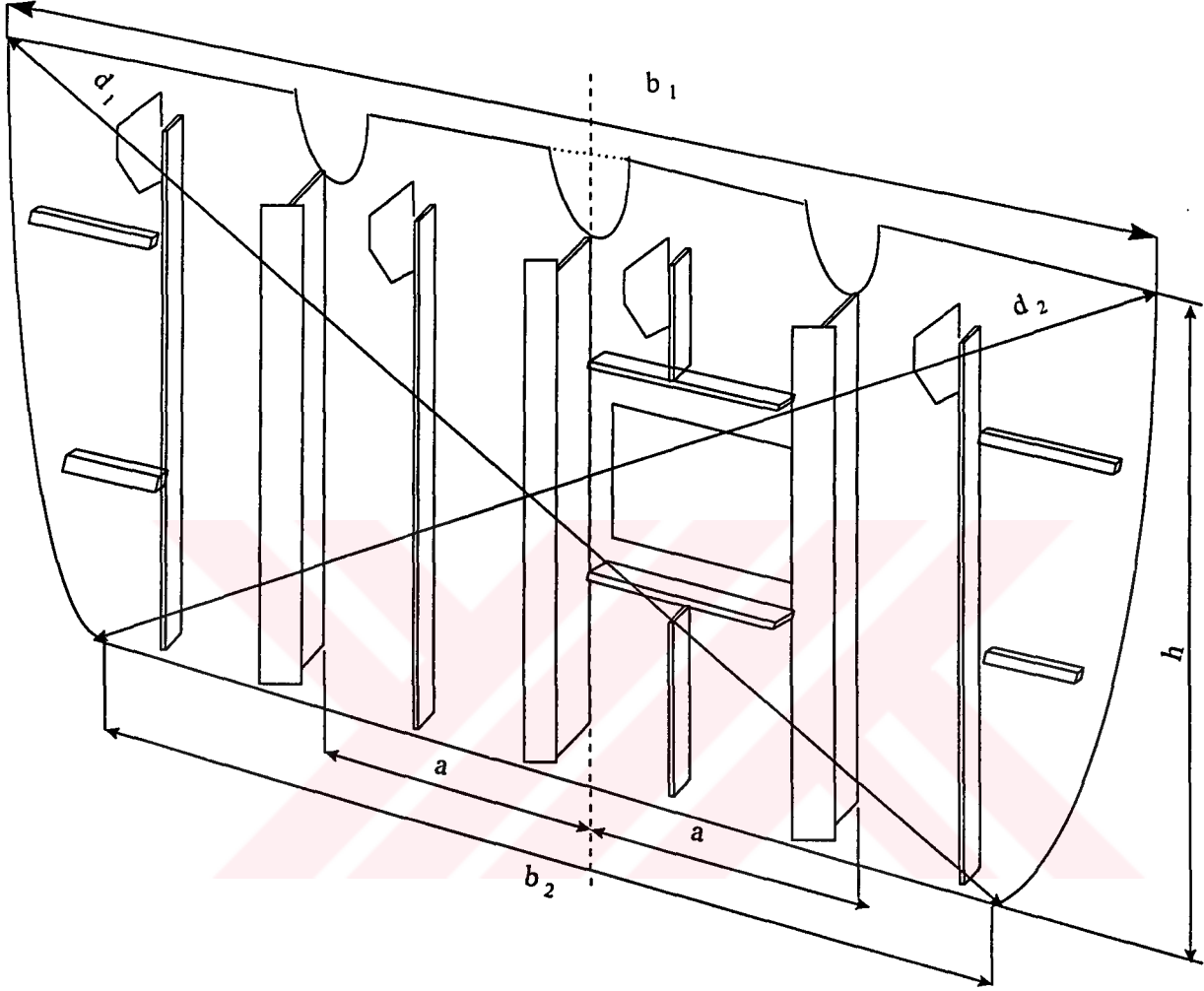
5



| BOYUTLAR            |                | ENDAZE<br>ÖLÇÜMÜ | YAPILAN<br>ÖLÇÜM | FARK<br>± | TOLERANS<br>± | UYGUNLUK |
|---------------------|----------------|------------------|------------------|-----------|---------------|----------|
| BLOK GENİŞLİĞİ      | b <sub>1</sub> | 6940             | 6936             | 4         | 12            | UYGUN    |
|                     | b <sub>2</sub> | 4416             | 4414             | 2         | 8             | “        |
| BLOK YÜKSEKLİĞİ     | h              | 3073             | 3071             | 2         | 8             | “        |
| ÇAPRAZ ÖLÇÜLER      | d <sub>1</sub> | 3784             | 3781             | 3         | 10            | “        |
|                     | d <sub>2</sub> | 4542             | 4540             | 2         | 10            | “        |
| ANA ELEMAN<br>ARASI | a              | 1775             | 1775             | 0         | 5             | “        |

## PERDELER

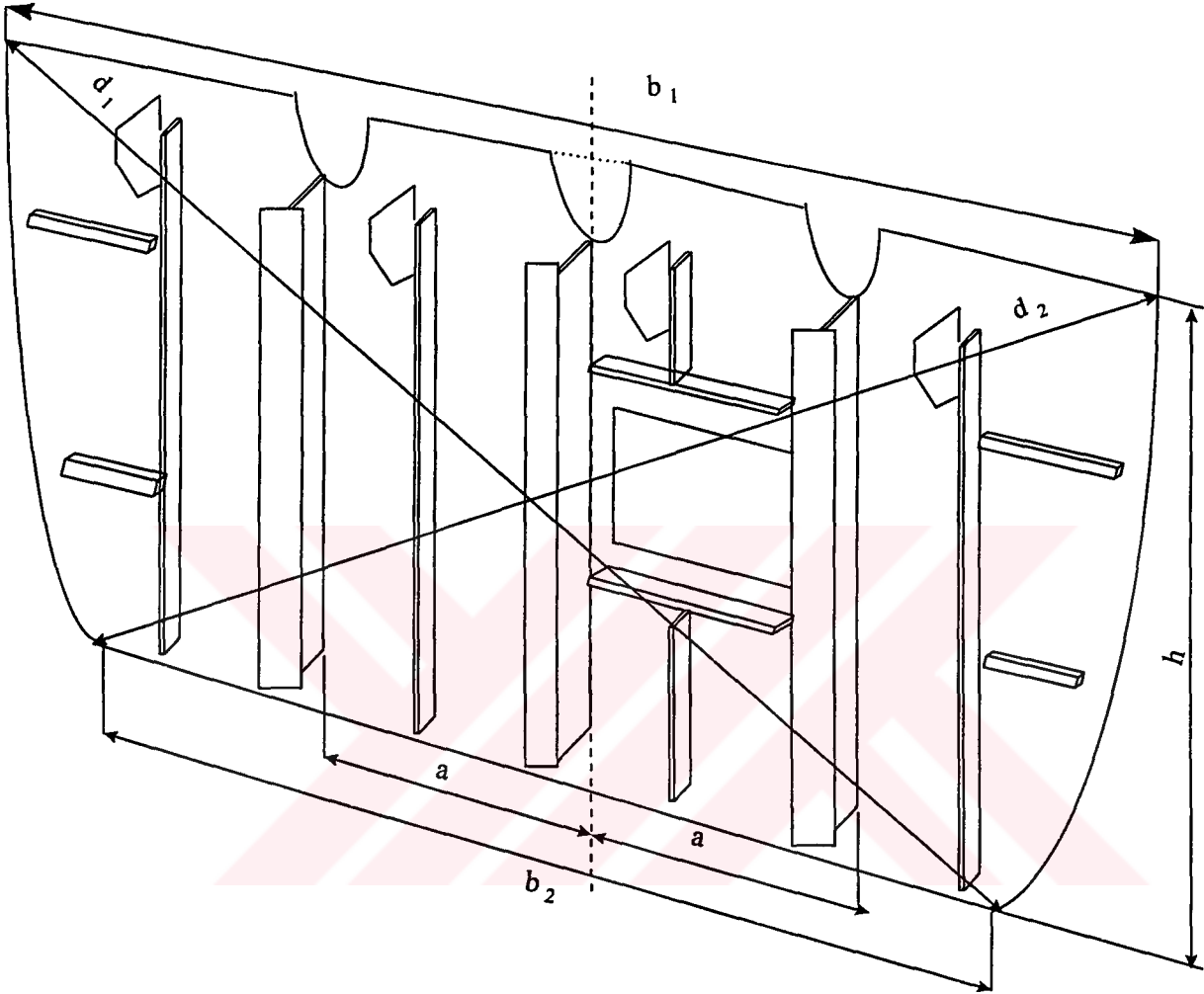
|          |          |         |   |
|----------|----------|---------|---|
| GEMİ ADI | A GEMİSİ | BLOK NO | 6 |
|----------|----------|---------|---|



| BOYUTLAR            |                | ENDAZE<br>ÖLÇÜMÜ | YAPILAN<br>ÖLÇÜM | FARK<br>± | TOLERANS<br>± | UYGUNLUK |
|---------------------|----------------|------------------|------------------|-----------|---------------|----------|
| BLOK GENİŞLİĞİ      | b <sub>1</sub> | 6336             | 6332             | 4         | 12            | UYGUN    |
|                     | b <sub>2</sub> | 2850             | 2847             | 3         | 8             | “        |
| BLOK YÜKSEKLİĞİ     | h              | 3210             | 3209             | 1         | 8             | “        |
| ÇAPRAZ ÖLÇÜLER      | d <sub>1</sub> | 3511             | 3509             | 2         | 10            | “        |
|                     | d <sub>2</sub> | 4428             | 4426             | 2         | 10            | “        |
| ANA ELEMAN<br>ARASI | a              | 1534             | 1534             | 0         | 5             | “        |

## PERDELER

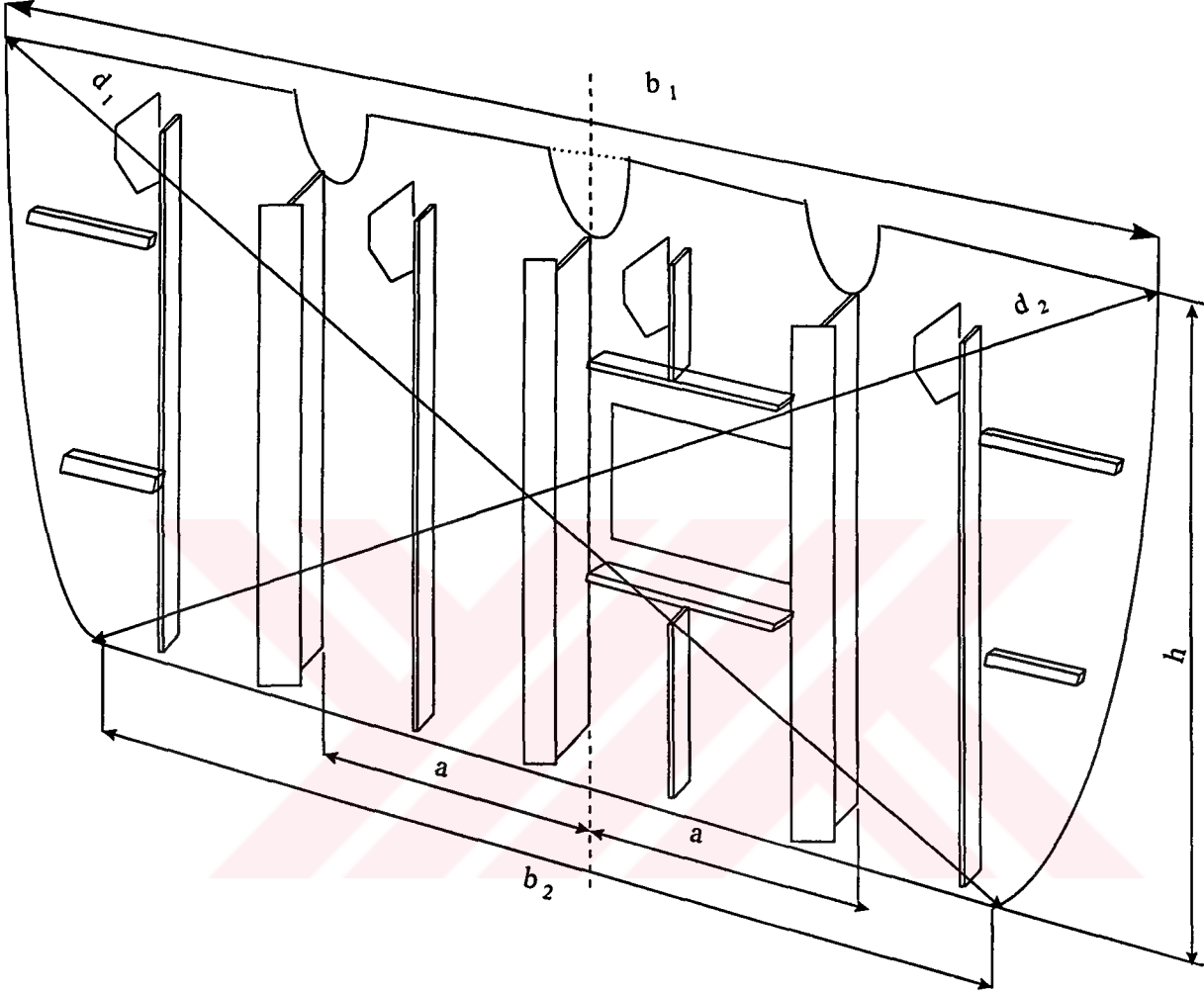
| GEMİ ADI | A GEMİSİ | BLOK NO | 7 |
|----------|----------|---------|---|
|----------|----------|---------|---|



| BOYUTLAR            |                | ENDAZE<br>ÖLÇÜMÜ | YAPILAN<br>ÖLÇÜM | FARK<br>± | TOLERANS<br>± | UYGUNLUK |
|---------------------|----------------|------------------|------------------|-----------|---------------|----------|
| BLOK GENİŞLİĞİ      | b <sub>1</sub> | 5390             | 5388             | 2         | 8             | UYGUN    |
|                     | b <sub>2</sub> | 1840             | 1840             | 0         | 5             | "        |
| BLOK YÜKSEKLİĞİ     | h              | 3065             | 3064             | 1         | 8             | "        |
| ÇAPRAZ ÖLÇÜLER      | d <sub>1</sub> | 3200             | 3198             | 2         | 10            | "        |
|                     | d <sub>2</sub> | 4016             | 4015             | 1         | 10            | "        |
| ANA ELEMAN<br>ARASI | a              | 1348             | 1348             | 0         | 8             | "        |

## PERDELER

|          |          |         |   |
|----------|----------|---------|---|
| GEMİ ADI | A GEMİSİ | BLOK NO | 8 |
|----------|----------|---------|---|

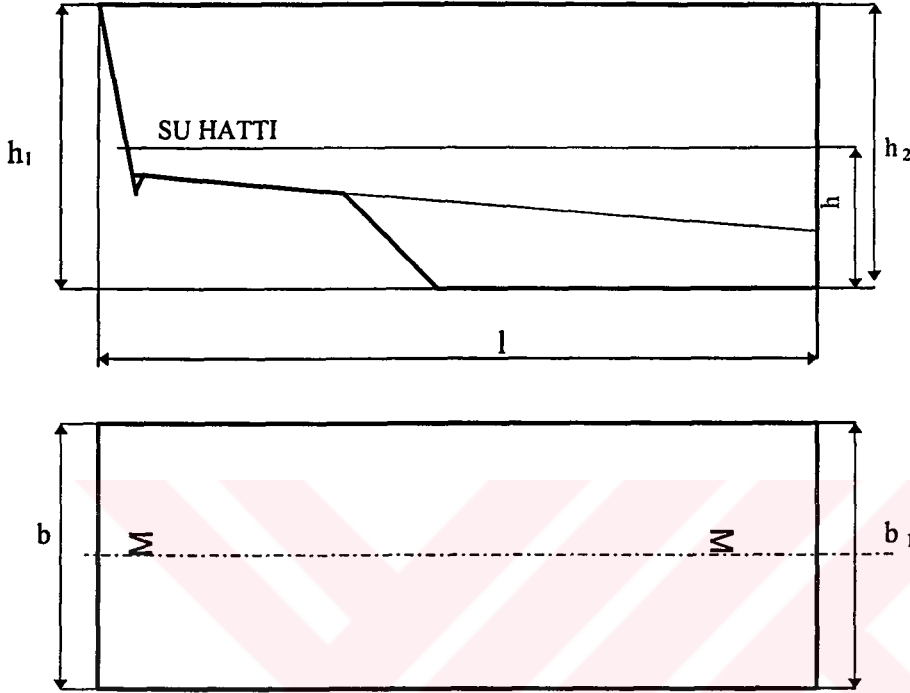


| BOYUTLAR            |                | ENDAZE<br>ÖLÇÜMÜ | YAPILAN<br>ÖLÇÜM | FARK<br>± | TOLERANS<br>± | UYGUNLUK |
|---------------------|----------------|------------------|------------------|-----------|---------------|----------|
| BLOK GENİŞLİĞİ      | b <sub>1</sub> | 4608             | 4607             | 1         | 8             | UYGUN    |
|                     | b <sub>2</sub> | 1512             | 1510             | 2         | 5             | “        |
| BLOK YÜKSEKLİĞİ     | h              | 2621             | 2620             | 1         | 8             | “        |
| ÇAPRAZ ÖLÇÜLER      | d <sub>1</sub> | 2730             | 2728             | 2         | 10            | “        |
|                     | d <sub>2</sub> | 3442             | 3441             | 1         | 10            | “        |
| ANA ELEMAN<br>ARASI | a              | 1248             | 1248             | 0         | 5             | “        |



## BLOKLAR

|          |          |         |   |
|----------|----------|---------|---|
| GEMİ ADI | A GEMİSİ | BLOK NO | 1 |
|----------|----------|---------|---|



| BOYUTLAR                           |                | ENDAZE<br>ÖLÇÜMÜ | YAPILAN<br>ÖLÇÜM | FARK<br>± | TOLERANS<br>± | UYGUNLUK |
|------------------------------------|----------------|------------------|------------------|-----------|---------------|----------|
| BLOK GENİŞLİĞİ                     | b              | 6726             | 6728             | 2         | 12            | UYGUN    |
|                                    | b <sub>1</sub> | 6940             | 6937             | 3         | 12            | “        |
| BLOK TAM BOYU                      | l              | 10650            | 10645            | 5         | 12            | “        |
| SU HATTI YÜK.<br>(Kaide hattından) | h              | 2100             | 2102             | 2         | 8             | “        |
| BLOK KİÇ YÜK.<br>(Kaide hattından) | h <sub>1</sub> | 4436             | 4433             | 3         | 8             | “        |
| BLOK BAŞ YÜK.<br>(Kaide hattından) | h <sub>2</sub> | 4587             | 4585             | 2         | 8             | “        |

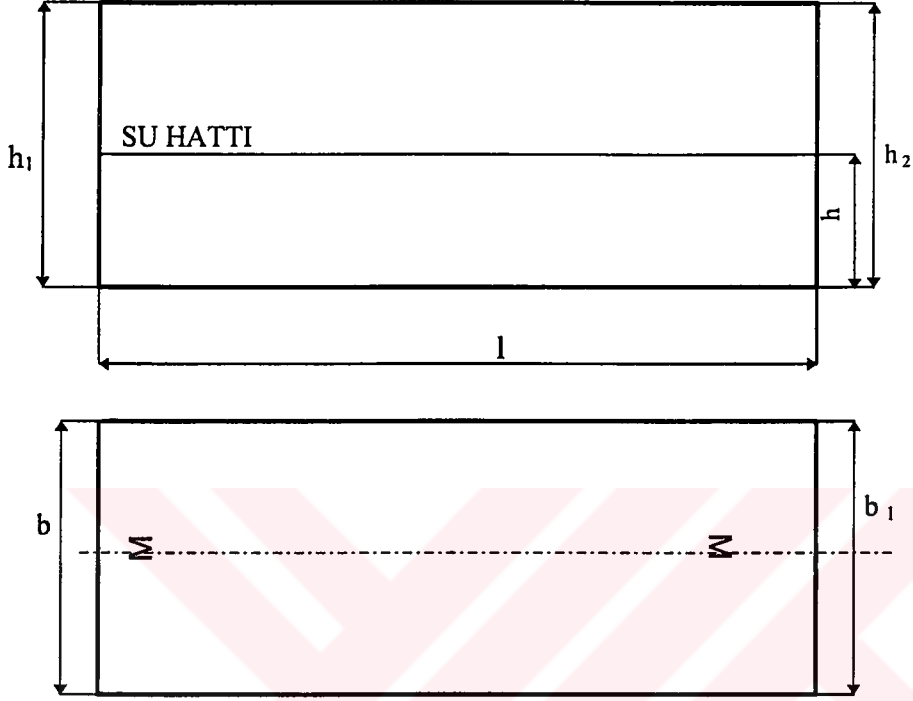
## BLOKLAR

GEMİ ADI

A GEMİSİ

BLOK NO

2



| BOYUTLAR                           |                | ENDAZE<br>ÖLÇÜMÜ | YAPILAN<br>ÖLÇÜM | FARK<br>± | TOLERANS<br>± | UYGUNLUK |
|------------------------------------|----------------|------------------|------------------|-----------|---------------|----------|
| BLOK GENİŞLİĞİ                     | b              | 6950             | 6946             | 4         | 12            | UYGUN    |
|                                    | b <sub>1</sub> | 7050             | 7048             | 2         | 12            | “        |
| BLOK TAM BOYU                      | l              | 8000             | 7997             | 3         | 12            | “        |
| SU HATTI YÜK.<br>(Kaide hattından) | h              | 2100             | 2101             | 1         | 8             | “        |
| BLOK KİÇ YÜK.<br>(Kaide hattından) | h <sub>1</sub> | 4596             | 4598             | 2         | 8             | “        |
| BLOK BAŞ YÜK.<br>(Kaide hattından) | h <sub>2</sub> | 4743             | 4740             | 3         | 8             | “        |

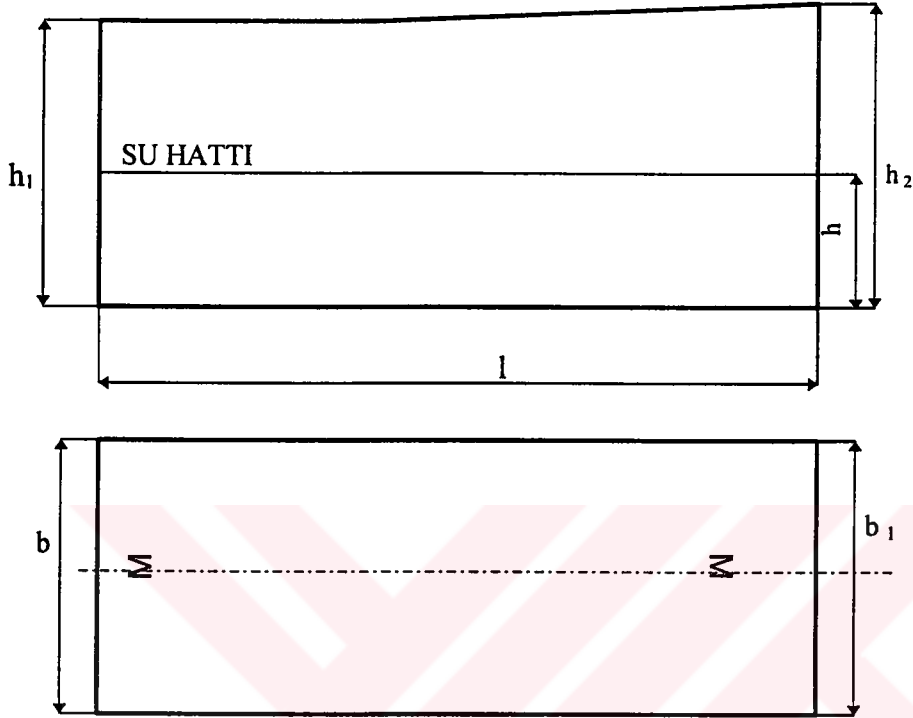
## BLOKLAR

GEMİ ADI

A GEMİSİ

BLOK NO

3



| BOYUTLAR                           |       | ENDAZE<br>ÖLÇÜMÜ | YAPILAN<br>ÖLÇÜM | FARK<br>$\pm$ | TOLERANS<br>$\pm$ | UYGUNLUK |
|------------------------------------|-------|------------------|------------------|---------------|-------------------|----------|
| BLOK GENİŞLİĞİ                     | b     | 7050             | 7047             | 3             | 12                | UYGUN    |
|                                    | $b_1$ | 6974             | 6972             | 2             | 12                | "        |
| BLOK TAM BOYU                      | l     | 8000             | 7994             | 6             | 12                | "        |
| SU HATTI YÜK.<br>(Kaide hattından) | h     | 2100             | 2098             | 2             | 8                 | "        |
| BLOK KIÇ YÜK.<br>(Kaide hattından) | $h_1$ | 4756             | 4753             | 3             | 8                 | "        |
| BLOK BAŞ YÜK.<br>(Kaide hattından) | $h_2$ | 4956             | 4954             | 2             | 8                 | "        |

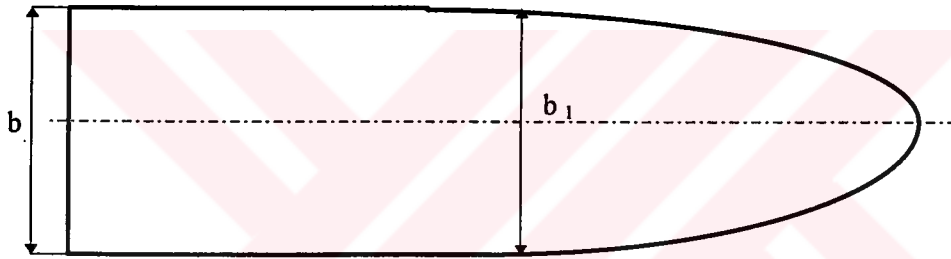
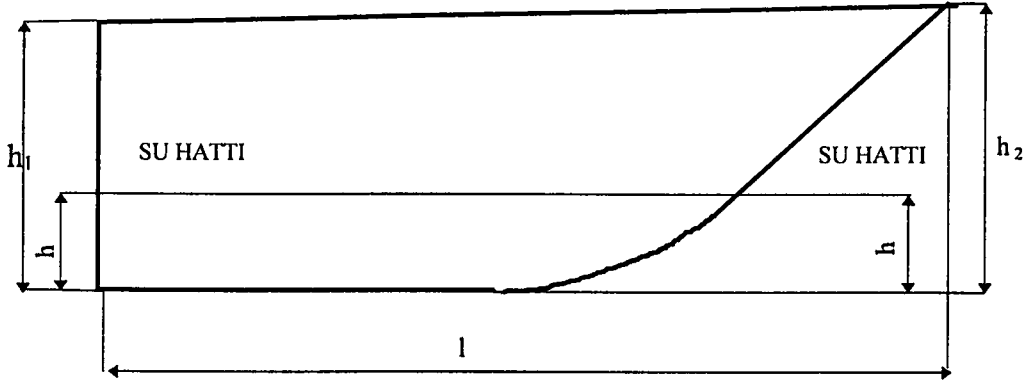
## BLOKLAR

GEMİ ADI

A GEMİSİ

BLOK NO

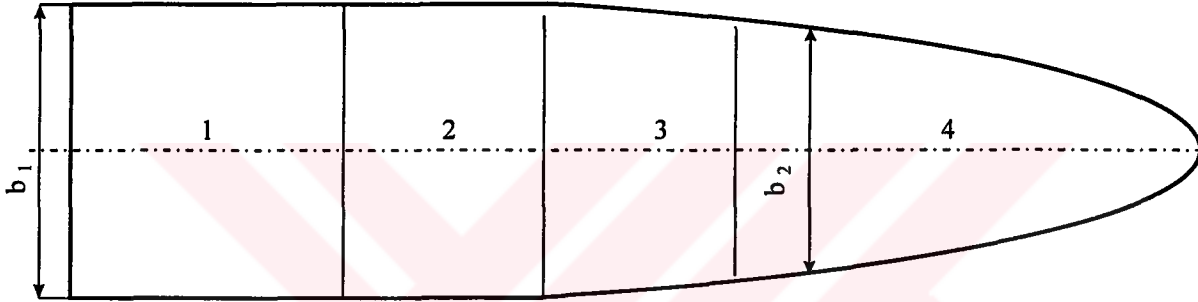
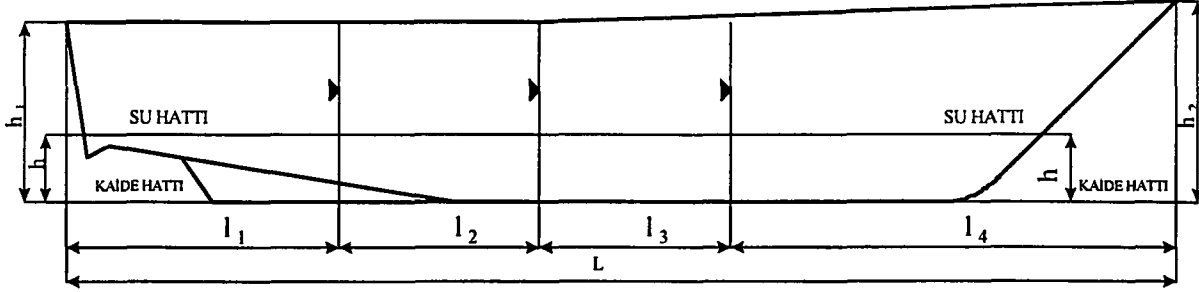
4



| BOYUTLAR                           |                | ENDAZE<br>ÖLÇÜMÜ | YAPILAN<br>ÖLÇÜM | FARK<br>± | TOLERANS<br>± | UYGUNLUK |
|------------------------------------|----------------|------------------|------------------|-----------|---------------|----------|
| BLOK BOYU                          | l              | 6934             | 6936             | 2         | 12            | UYGUN    |
| BLOK GENİŞLİĞİ                     | b              | 1896             | 1895             | 1         | 5             | "        |
|                                    | b <sub>1</sub> | 14100            | 14106            | 6         | 15            | "        |
| SU HATTI YÜK.<br>(Kaide hattından) | h              | 2100             | 2097             | 3         | 8             | "        |
| BLOK KIÇ YÜK.<br>(Kaide hattından) | h <sub>1</sub> | 4972             | 4970             | 2         | 8             | "        |
| BLOK BAŞ YÜK.<br>(Kaide hattından) | h <sub>2</sub> | 5430             | 5427             | 3         | 8             | "        |

## GEMİ

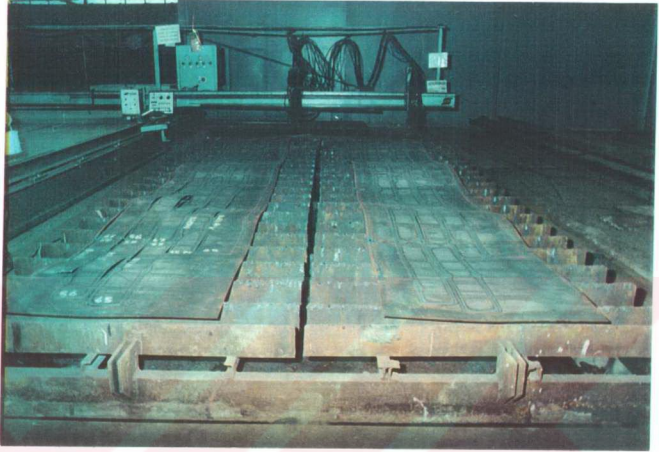
| GEMİ ADI | A GEMİSİ | BLOK NO |  |
|----------|----------|---------|--|
|----------|----------|---------|--|



| BOYUTLAR                           |       | ENDAZE<br>ÖLÇÜMÜ | YAPILAN<br>ÖLÇÜM | FARK<br>± | TOLERANS<br>± | UYGUNLUK |
|------------------------------------|-------|------------------|------------------|-----------|---------------|----------|
| BLOK<br>BOYLARI                    | $l_1$ | 10650            | 10645            | 5         | 12            | UYGUN    |
|                                    | $l_2$ | 8000             | 7997             | 3         | 12            | "        |
|                                    | $l_3$ | 8000             | 7994             | 6         | 12            | "        |
|                                    | $l_4$ | 14100            | 14106            | 6         | 15            | "        |
| GEMİ TAM BOYU                      | $l$   | 40750            | 40724            | 26        | 45            | "        |
| SU HATTI YÜK.<br>(Kaide hattından) | $h$   | 2100             | 2100             | 0         | 8             | "        |
| GEMİ KİÇ YÜK.<br>(Kaide hattından) | $h_1$ | 4436             | 4432             | 4         | 8             | "        |
| GEMİ BAŞ YÜK.<br>(Kaide hattından) | $h_2$ | 5430             | 5426             | 4         | 8             | "        |
| GEMİ GENİŞLİĞİ                     | $b_1$ | 6726             | 6728             | 2         | 12            | "        |
|                                    | $b_2$ | 1896             | 1895             | 1         | 5             | "        |

## 7.6. İnşa Aşamaları

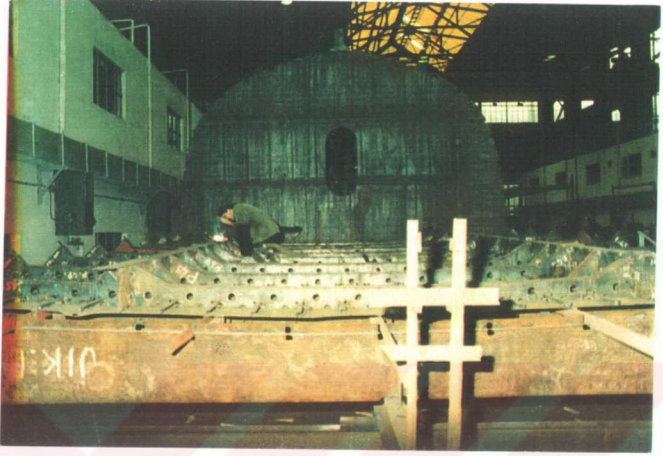
İnşa aşamalarından örnekler Şekil 7.2-15'te verilmektedir.



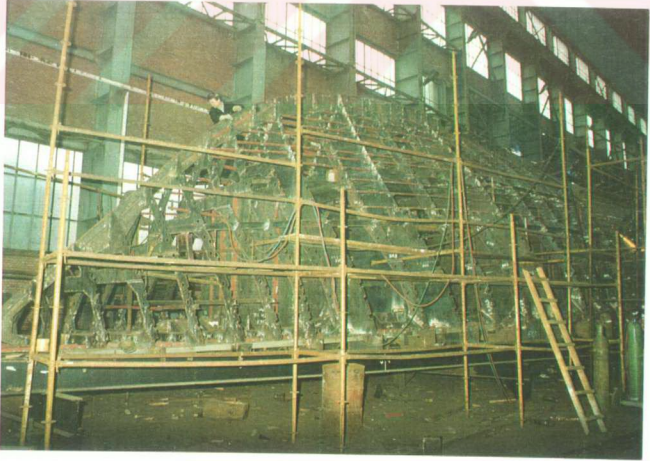
Şekil 7.2. Optik kesme sonucu şekil değişimleri



Şekil 7.3. İmal edilmiş perdeler



Şekil 7.4. Jig üzerinde güverte imali ve perde montajı



Şekil 7.5. Güverte jigi üzerinde baş blok imali





*Şekil 7.6. Güverte jigi üzerinde blok imali*



*Şekil 7.7. Güverte jigi üzerinde blok imali*

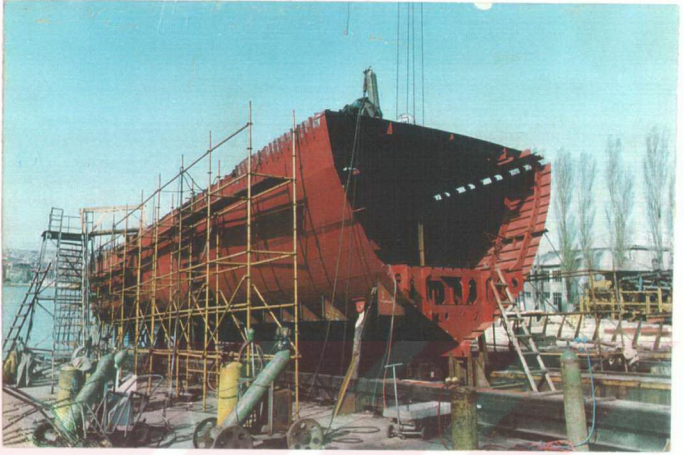




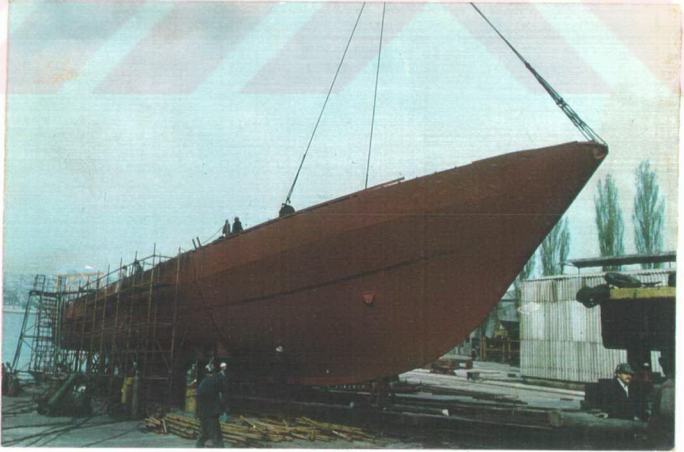
Şekil 7.8. Raspa ve astar boyası yapılmış, montaja hazır kış blok



Şekil 7.9. Raspa ve astar boyası yapılmış, montaja hazır üst bina



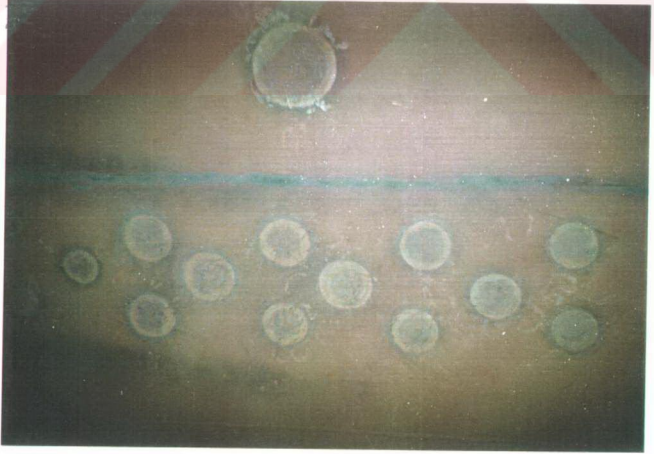
Şekil 7.10. Kızak üzerinde montajı yapılan bloklar



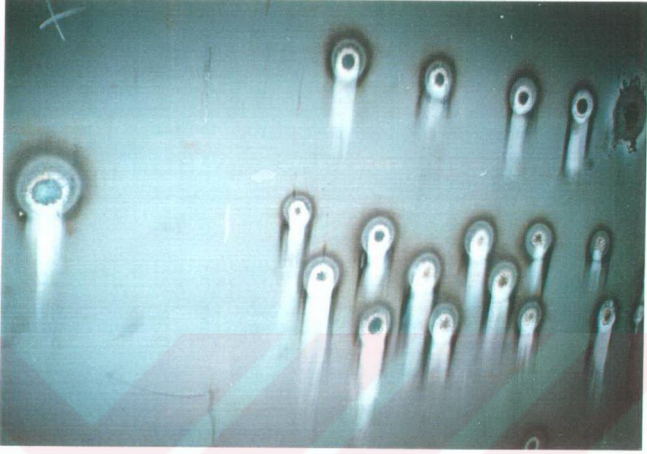
Şekil 7.11. Kızak üzerinde baş blok montajı



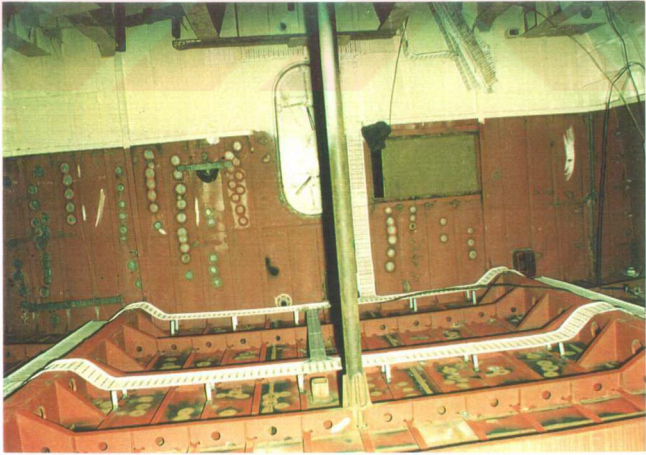
Şekil 7.12. Kızak üzerinde blok ve üst bina montajı tamamlanmış tekne



Şekil 7.13. Güverte sacında yapılan düzeltme işlemi



Şekil 7.14. Üst bina yan duvarında yapılan düzeltme işlemi



Şekil 7.15. Bölme perdesi ve platform üzerinde yapılan düzeltmeler



## 8. SONUÇLAR

Kaynak işlemi lokal bir ısıtma işlemidir. Uniform olmayan bu ısıtma nedeniyle kaynaklanmış parçalarda farklı büyüklükte ısı alanları ve bunun sonucunda da farklı uzamalar oluşur. Bu da gerilmelere ve şekil değişimlerine neden olur.

Gemi inşaatında kaynak işlemi temel işlemlerden biridir. Gemi yapısında farklı büyüklükteki kaynaklı birleştirmeler birarada bulunurlar. Kaynak sırası hataları, kaynak ağzının yanlış hazırlanması, hatalı montaj ve sistem elemanlarının dikkatsizce birleştirilmeleri sonucu gerilmeler üst üste toplanabilir, şekil değişimleri artar, çatlamlar oluşabilir. Eğer ek takviyelerle sistem çarpılmaları engellenirse çeşitli yer ve boyutta gerilmeler artabilir.

Gerilme ve şekil değiştirmeyi azaltmak için kaynak öncesi uygulanması gereken yöntemler vardır. Bunlardan biri dizayndır. En iyi dizayn az parça ile minimum kaynak işlemi içeren ve şekil değişimini azaltan dizayndır. Kaynak ağzı dizaynı da gerilme ve şekil değişimini etkiler. Kaynak miktarının fazla olmasından da kaçınmak gerekir.

Eleman montajında, şekil değişimini azaltıcı iki yöntem uygulanabilir. Bunlardan birincisi şekil değişim miktarını önceden tahmin edip, elemanı ona göre farklı pozisyonda yerleştirmektir. Diğerisi ise elemanı tespit altında almaktır. Basit imalatlarda birinci yöntem etkili olmakla birlikte gemi gibi kompleks kaynaklı yapılarda son kaynaklar tespit altında yapılmak zorundadır. Tespit yöntemi yüksek gerilmeler barındırır ancak şekil değişimi daha azdır. Kaynak öncesi elastik şekil verme ve ön ısıtma da gerilme ve şekil değişimini azaltıcı yöntemlerdir.

Kaynak sırası, kaynak işlemi sonucu oluşacak şekil değişimlerinin azaltılması ve montajın kolaylaştırılması açısından etkili bir yöntemdir.

Kaynak sırası basit ve uygulaması kolay olmalıdır. Ayrıca birçok kaynakçının bir arada çalışacağı şekilde pratik olmalıdır.

Kaynak öncesi ve kaynak sırasında gerilme ve şekil değişimini azaltan yöntemler titizlikle uygulansa bile kaynak sonucunda gerilme ve şekil değişimi oluşur. Bu oluşan gerilme ve şekil değişimi de kaynak sonrası ısıl ve mekanik yöntemlerle giderilir.

Isıl yöntemde kaynaklı parçanın tamamı veya bir bölümü belli bir sıcaklığa kadar ısıtılır. Bu yöntemde sıcak düzeltme yöntemi, uygulama biçimlerine de tavlama yöntemleri denir. Uygulanması tecrübe gerektirir. Mekanik yöntemlerin başında çekiçleme gelir. Bu yöntem bilimsel verilerden çok görüşler üzerine kurulmuştur. Çekiçleme her pasoda uygulandığında daha etkili olur. İlk ve son pasolarda çekiçleme yapılmaz. Diğer bir yöntem de titreşimle gerilme kaldırmadır.

Gemi inşaatında doğru ve kaliteli bir inşaat için toleransların bilinmesi gereklidir. Böylece oluşan şekil değişimlerinin mertebesi değerlendirilebilir ve kontrolü mümkün olur.

## KAYNAKLAR

- Adams, C.M., (1976), "Fundamentals of Welding-Heat Flow in Welding", Welding Handbook-Chapter 3, University of Cincinnati.
- Anık, S., (1969), Kaynak Tekniği Cilt I, İstanbul Teknik Üniversitesi Matbaası, İstanbul.
- Anık, S., (1983), Kaynak Teknolojisi El Kitabı, Ergör Matbaası, İstanbul.
- Fujita, Y., Matsui, S., ve Nomoto, T., (1990), Prevention of Welding Deformation in Thin Skin Welded Structures, The Science University of Tokyo, Tokyo.
- Gültekin, N., (1991), Kaynak Tekniği, Engin Ofset, İstanbul.
- Kaynak Talimatı, (1994), Taşkızak Tersanesi Komutanlığı Yayını, İstanbul.
- Kou, S., (1987a), "Heat Flow During Welding", Welding Metalurgy-Chapter 2, University of Wisconsin.
- Kou, S., (1987b), "Weld Residual Stresses, Distorsion, and Fatigue", Welding Metalurgy-Chapter 5, University of Wisconsin.
- Masubuchi, K., Matsui, S., ve Ross, F.P., (1981), "Residual Stresses and Distortion", Welding Handbook-Volume 1, Chapter 7, American Welding Society.
- Metal Gemiler İçin Genel Toleranslar, (1993), Taşkızak Tersanesi Komutanlığı Yayını, İstanbul.
- Montaj Atölyesinde Tipik Konstrüksiyonların Kaynak Tekniği ve Kaynak Sıraları, (1995), Taşkızak Tersanesi Komutanlığı Yayını, İstanbul.
- Oğuz, B., (1987), Karbonlu ve Alaşımli Çeliklerin Kaynağı, Divit Matbaacılık ve Yayıncılık A.Ş., İstanbul.
- Oğuz, B., (1989), Ark Kaynağı, Erdini Basım ve Yayınevi, İstanbul.
- Radaj, D., (1992), Heat Effects of Welding, Springer-Verlag, New York.
- Toyoda, M., (1985), Practical Fracture Mechanics & Welding Mechanics, Osaka University, Osaka.
- Tuğlan, B., (1983), "Çelik Tekne Kaynağı İçin Yararlı Bilgiler", TMMOB Gemi Mühendisleri Odası Yayın No:9, İstanbul.