

ISI DEĞİŞTİRİCİLER

Bölüm 2

Kaynaklar

1. Genceli, O.F., Isı Değiştiricileri, Birsen Yayınevi, 1999.
 2. Dağsöz, A. K., Isı Değiştiricileri, 1985.
 3. Kakaç, S. and Liu, H., Selection, Rating and Thermal Design of Heat Exchangers, CRC Press, Florida, ABD.
-

BÖLÜM 2

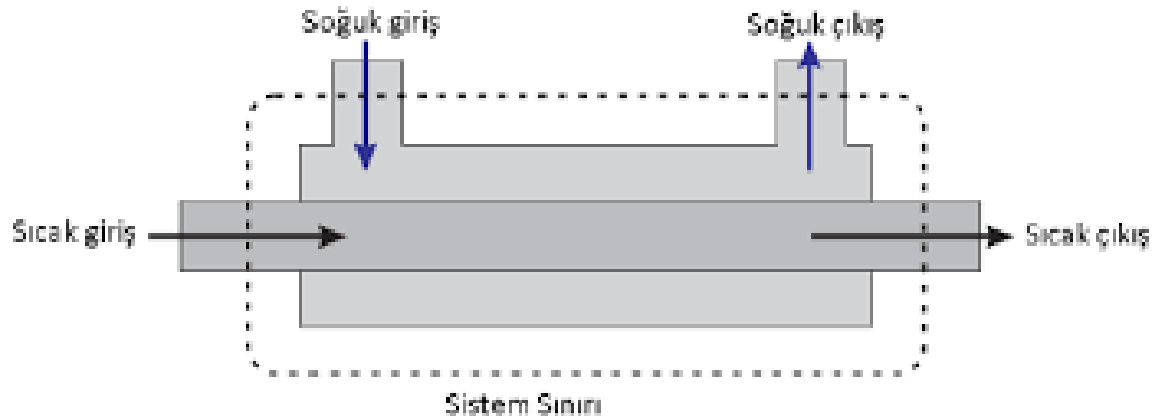
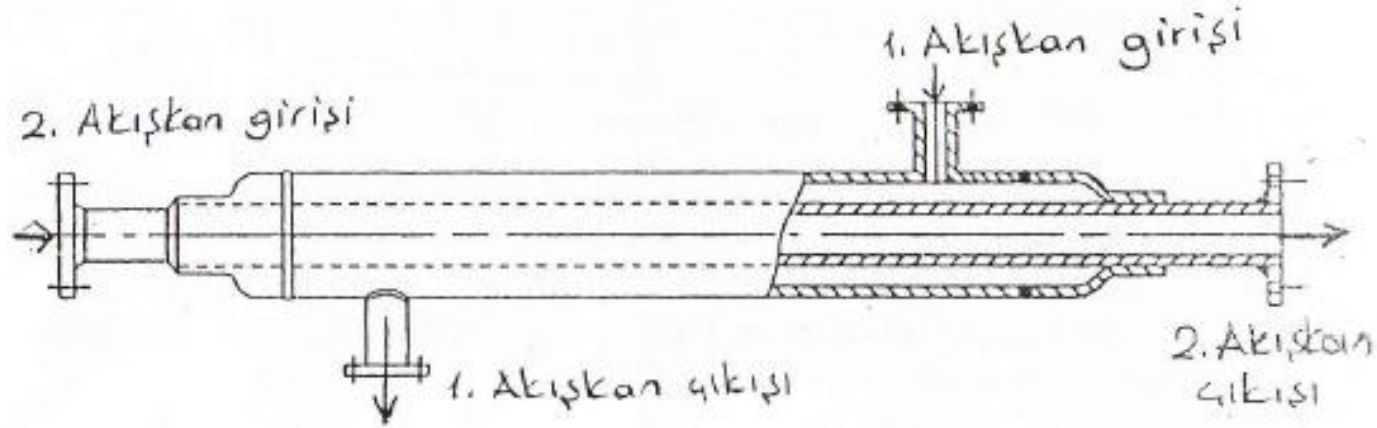
KONSTRÜKSİYON ÖZELLİKLERİNE GÖRE ISI DEĞİŞTİRİCİLERİ

2. Borulu Isı Değiştiricileri

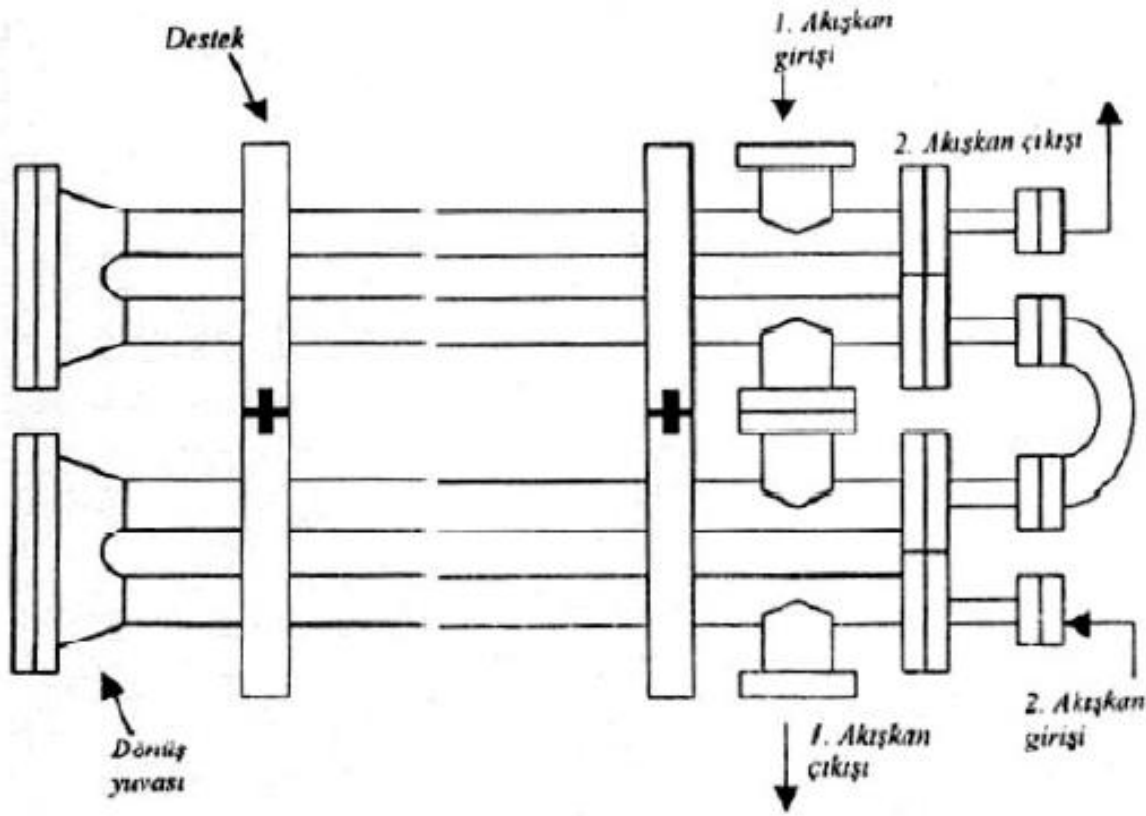
- Bu tip ısı değiştiricilerinde eliptik, dikdörtgen ve genellikle de dairesel kesitli borular kullanılır.
- Boru çapının, boyunun ve düzenlemesinin kolayca değiştirilebilmesi nedeniyle projelendirmede büyük kolaylıklar sağlar.
- Ayrıca dairesel kesitli boruların, diğer geometrik şekillere göre yüksek basınçlara dayanabilmeleri nedeniyle, bu tip ısı değiştiricileri yüksek basınçlarda rahatlıkla kullanılabilir.
- İşletmede kolaylıkları ile geniş bir çalışma basıncı aralığına sahip olması nedeniyle kullanım sahaları oldukça geniştir.

2.1.1 Düz borulu ısı değiştiricileri

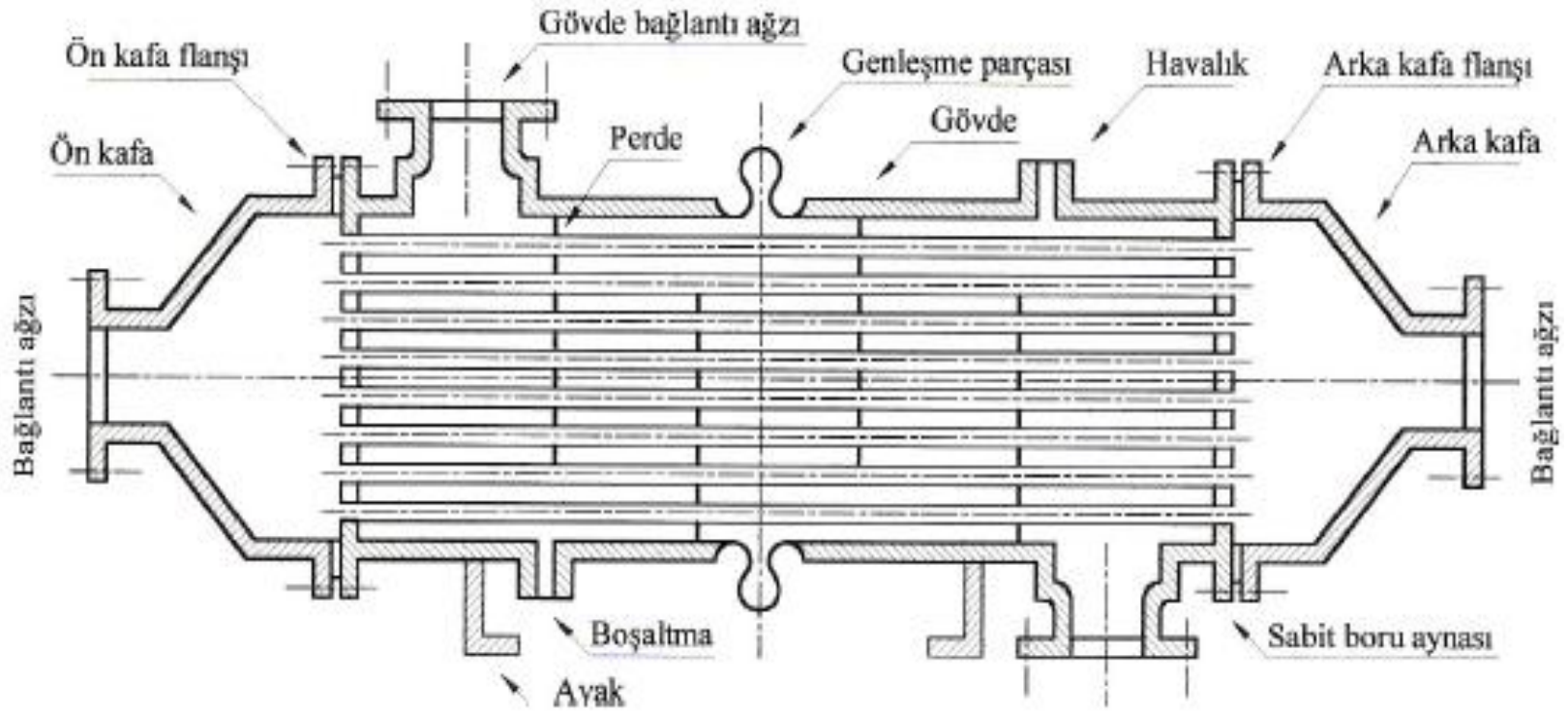
- Pratikte çift borulu olanların yanı sıra, boru demetinden yapılmış çeşitlerine de rastlanır.



a) Çift boru prensip şeması



b) Seri halde bağlanmış çift boru



Şekil 2.2. Çift (düz) borulu ısı değiştirici

- Bu tip ısı değıştiricilerinin teorik analizleri çok basittir.
- Isı değıştiricinin temizlenmesi kolaydır.
-
- Akışkanların ısı değıştirici içinde dağıtılmasında bir zorluk yoktur, değıştirici içinde ölü bölgeler yoktur.
-
- Boru çaplarının küçük olması halinde, çok yüksek basınçlara çıkılabilir.
- β kompaktlık (yüzey alanı yoğunluğu) değeriinin küçük olması en büyük sakıncasıdır.
- Yatırım masraflarının artması nedeniyle, toplam ısıtma yüzeyi 20 m² değeriinden daha büyük yapılmaz.

Özellikleri:

Maksimum basınç: Gövde tarafında 350 bar (mutlak), boru tarafında 1400 bar(mutlak)

Sıcaklık Aralığı: (-200 °C) ile (600 °C) arasında değişir. Özel malzemeler ile bu sıcaklık aralığı genişleyebilir.

- Tek bir ünite için tipik yüzey alanı 0.25–200 m² arasında değişir.
- Maksimum etkinlik: $\epsilon = 0,9$
- Minimum $\Delta T = 5$ K
- Genellikle çoklu üniteler kullanılır.
- Mümkün olduğu zaman karbon çeliğinden yapılır.
- Esas kullanım alanı, küçük ısı transfer alanlarının (50 m²'ye kadar) gerektiği proses akışkanlarının duyulur ısıtılması ve soğutulması içindir.

Avantajları:

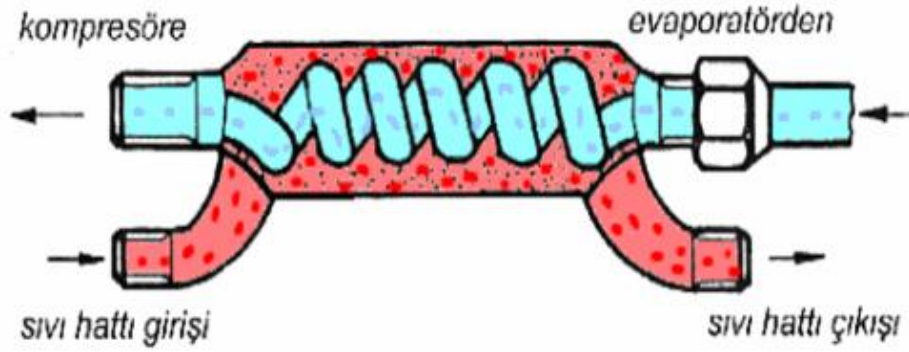
- Isıl kapasiteyi ve ısı geçiş yüzey alanını artırmak için seri hâlde montajları yapılabilir.
- Karşıt akış elde etmek kolaydır.
- Yüksek basınçlara dayanabilir.
- Standart modüler konstrüksiyona sahiptir.
- Bakımı ve tamiri kolaydır.
- Temizlenmesi kolay olduğundan, özellikle kirletici akışkanlar için uygundur.
- Piyasadan kolay şekilde bulunabilir.
- Birçok metal ile imal edilebildiğinden akışkan sınırlaması çok azdır.

Dezavantajları:

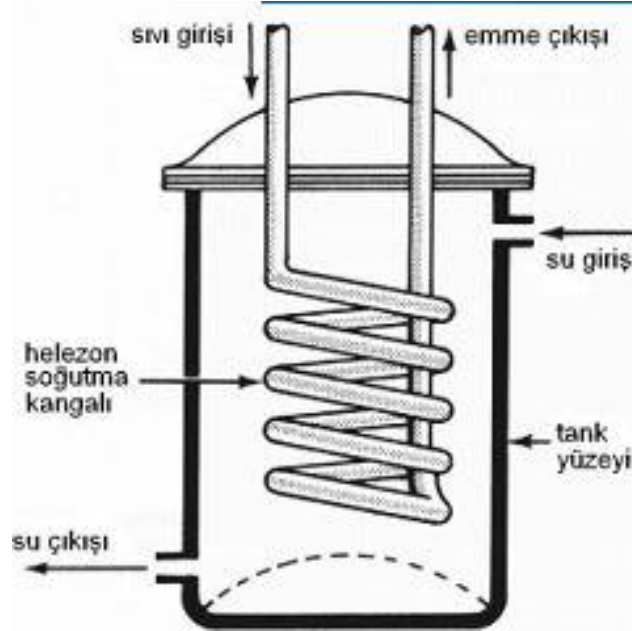
- Özellikle küçük kapasiteler için uygundur.
- Yüksek ısıl kapasiteler (1 MW'dan daha fazla) için pahalıdır.

2.1.2 Spiral borulu ısı değiştiricileri

- Bir veya daha fazla borudan spiral ile bu spiralin dışındaki bir depodan meydana gelir.
-
- Basit ve ucuz bir şekilde elde edilebilen bu ısı değiştiricileri genellikle havuz ve depolardaki akışkanların sıcaklık kontrolünde kullanılabilir.
-
- Spiral borunun dış yüzeyi ve depo kolaylıkla mekanik olarak temizlenebilirken, boru iç yüzeyi kolayca temizlenemez.
- Bu tip ısı değiştiricilerin depo tarafındaki debi ve akışkan hızları küçük olması nedeniyle, bu taraftaki ısıl kapasite debileri küçüktür.



Şekil Serpantinli (spiral borulu) eşanjör kesit



Şekil. Depo içine yerleştirilmiş spiral borulu ısı değiştirici

Özellikleri:

- Temizleme hemen hemen imkânsız olduğundan, temiz akışkanlar için uygundur.
- Soğutma sistemlerinde kullanılan kondenserler ve eş-eksenli evaporatörler olarak dizayn edilirler.

Avantajları:

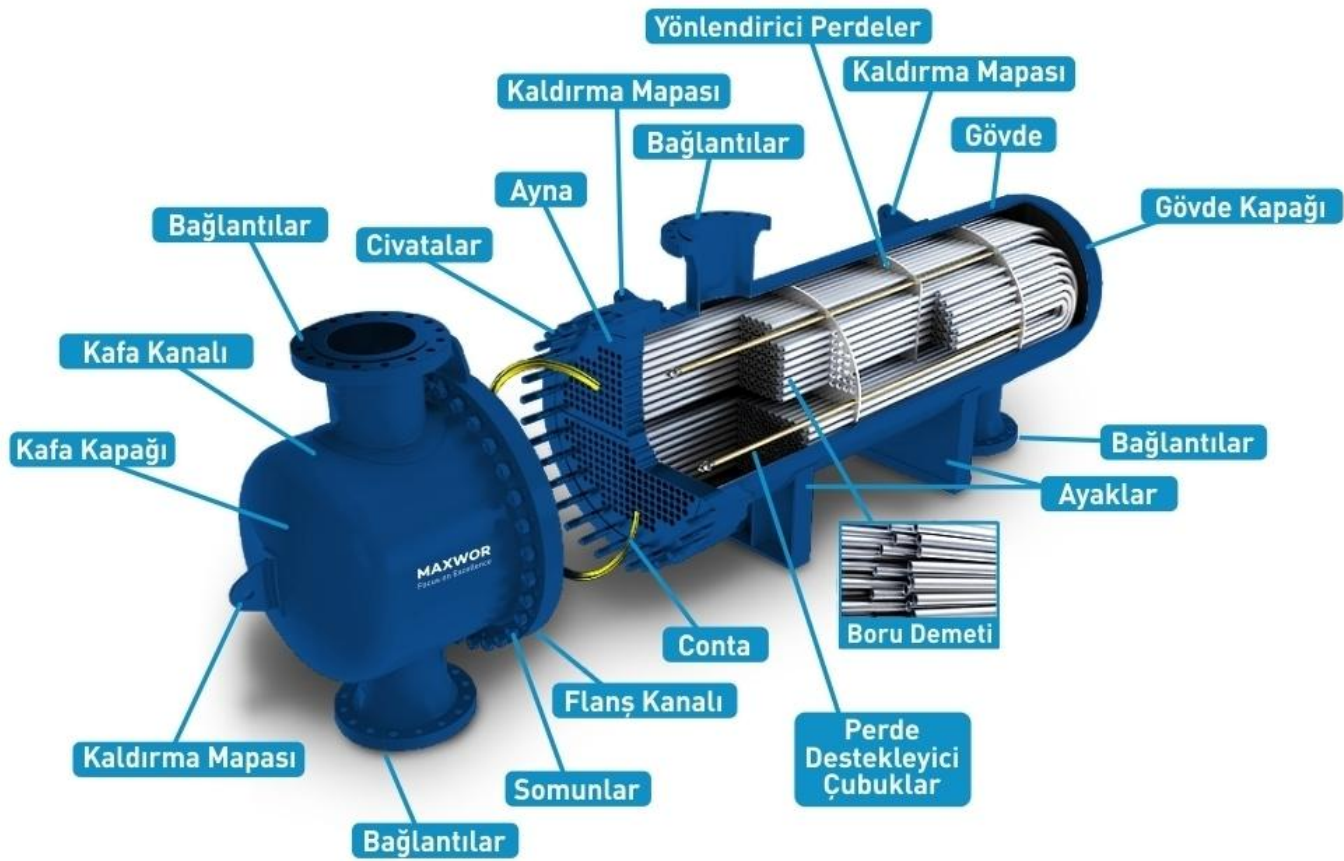
- Basit ve ucuz bir şekilde elde edilebilir.
- Isıl genişlemenin oluşturduğu gerilme problemleri yoktur.
- Spiral borunun dış yüzeyi ve depo kolaylıkla mekanik olarak temizlenebilir

Dezavantajları:

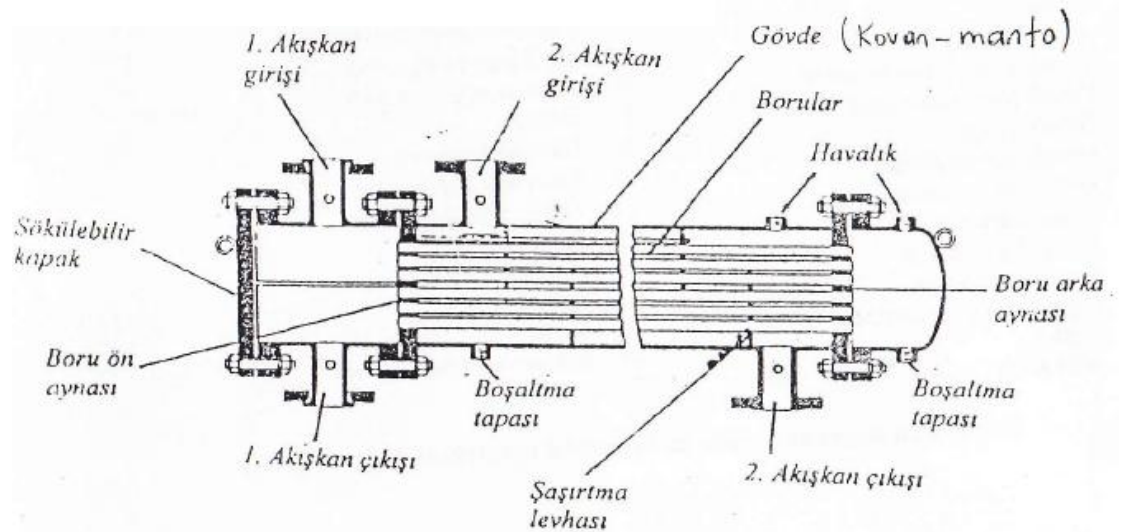
- Spiral borunun iç yüzeyi mekanik olarak kolay bir şekilde temizlenemez.

2.1.3 Gövde borulu ısı değiştiricileri

- Bu ısı değiştirici, silindirik gövde ile bu gövde içine yerleştirilen birbirine paralel borulardan meydana gelir.
- Akışkanlardan birisi boruların içinden, diğeri ise gövde içinden akar.
- Petrol rafinerilerinde, termik santrallerinde, kimya endüstrisinde çok fazla uygulama alanı vardır.
- Bu tip ısı değiştiricilerininin gövde ve borularında kullanılan akışkanlar için önerilen standart anma basınçlar, genel olarak, 2, 5, 6, 10, 16, 25 ve 40 bar değerlerindedir.



a) Prensip şeması
(Borulu ısı değiştirici)





b) Isı değiştirici resmi

Özellikleri:

Maksimum basınç: Gövde tarafında 350 bar (mutlak), boru tarafında 1400 bar (mutlak).

Sıcaklık Aralığı: (-200 - 600 °C) arasında değişir. Özel malzemeler ile bu sıcaklık aralığı genişleyebilir.

- Tek bir ünite için tipik yüzey alanı 10 – 1000 m² arasında değişir.

Maksimum etkinlik: $\eta = 0,9$ (çok geçişli ünitelerde etkinlik daha küçüktür).

Etkinlik; akışkandaki sıcaklık yükselmesinin teorik olarak mümkün olan maksimum sıcaklık yükselmesine oranı olarak tanımlanır.

- Minimum $\Delta T = 5$ K
- Mümkün olduğu zaman karbon çeliğinden yapılır.

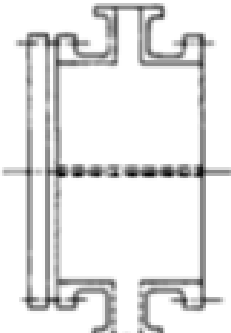
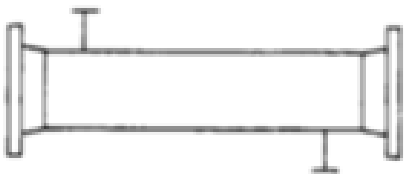
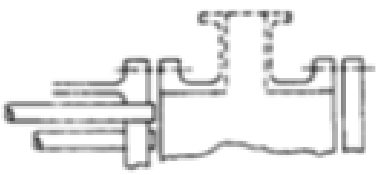
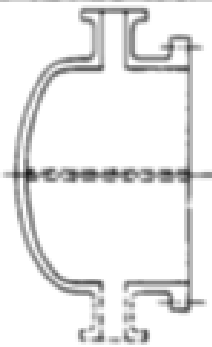
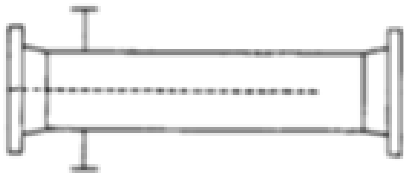
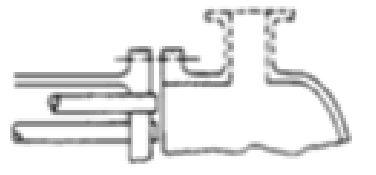
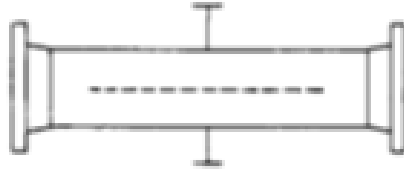
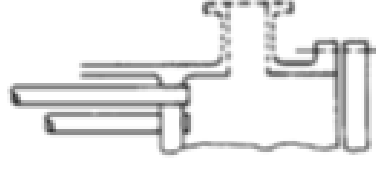
Avantajları:

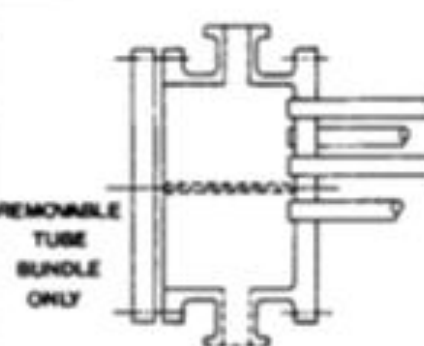
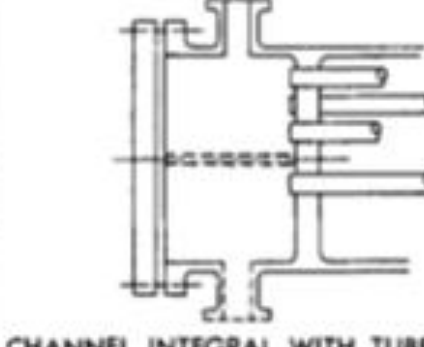
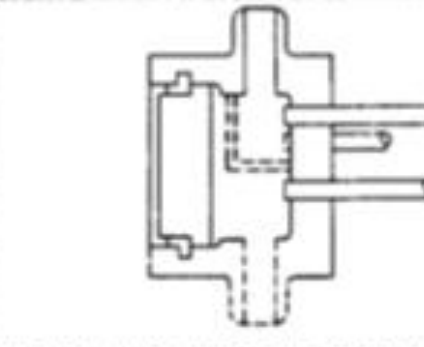
- Hemen hemen tüm uygulamalar için kullanılabilir; örneğin petrol rafinerileri, termik santraller, kimya endüstrisi vs.
- Son derece esnek ve sağlam dizayna sahiptir.
- Temizleme için demonte edilebilecek, sökülebilecek şekilde dizayn edilebilir.
- Bakımı ve tamiri kolaydır.
- Piyasadan çok kolay bir şekilde bulunabilir.
- Bu ısı değiştiricilerini sağlayan firma sayısı oldukça fazladır.
- Çoklu üniteleri yapmak kolaydır.
- Birçok metal ile imal edilebildiğinden akışkan sınırlaması çok azdır.

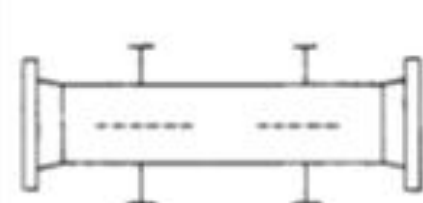
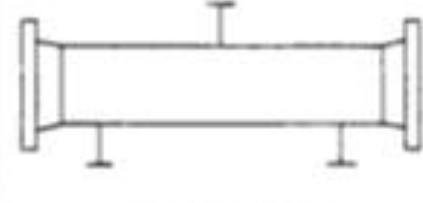
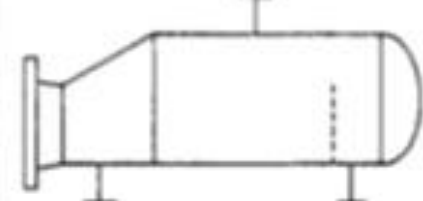
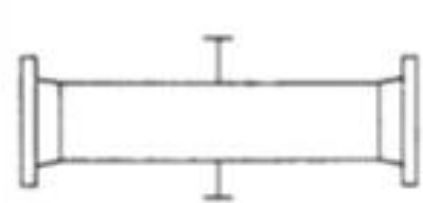
Dezavantajları:

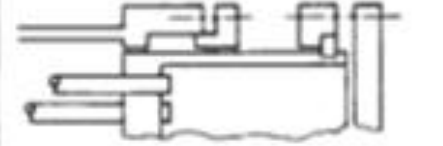
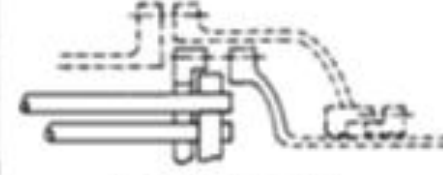
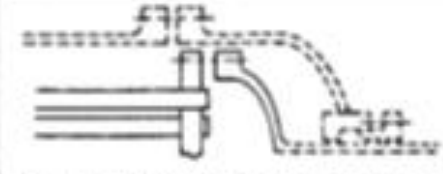
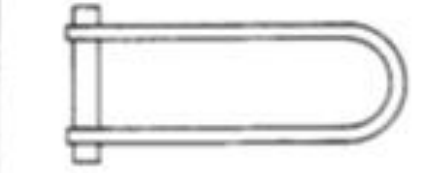
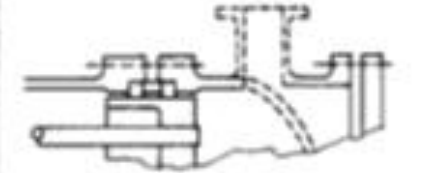
- Yüksek plan alanı gerektirir. Bunun yanında demeti sökebilmek için ekstra alana gereksinim vardır.
- 16 bar basınç ve 200 °C sıcaklığın altındaki koşullarda plakalı ısı değiştiricileri daha ucuz olabilir.

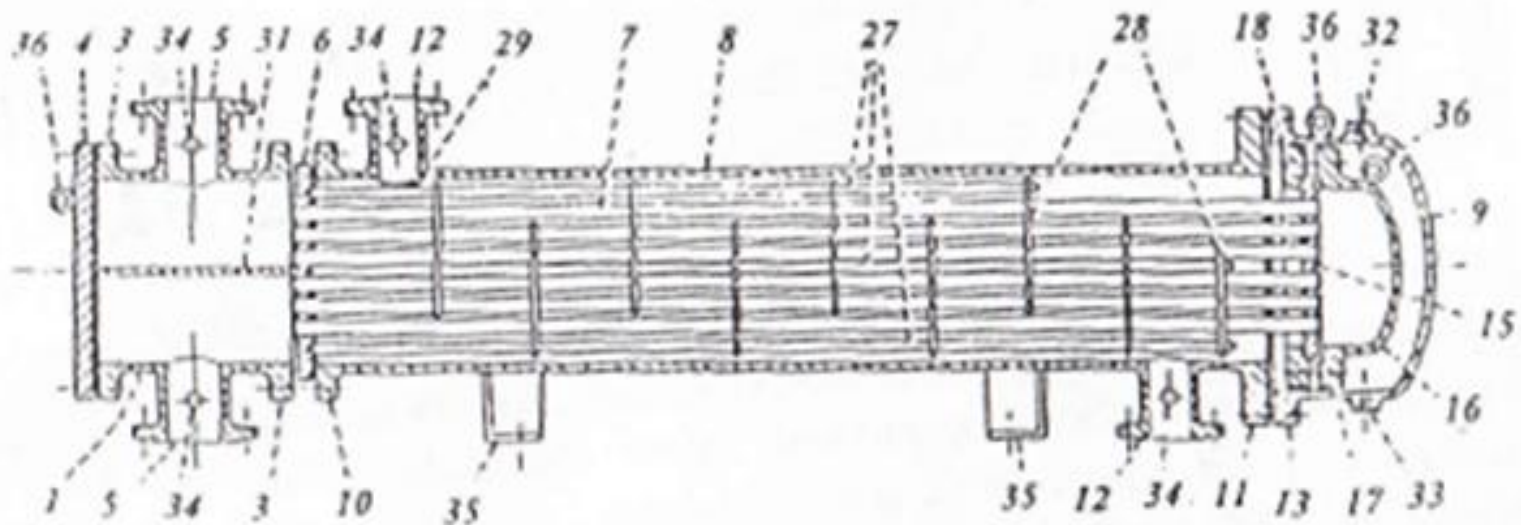
Tablo 2.1. TEMA (Tubular Exchanger Manufacture Association)
tarafından hazırlanan standart gövde tipleri ve arka kafalar [8, 14]

FRONT END STATIONARY HEAD TYPES		SHELL TYPES		REAR END HEAD TYPES	
A		E		L	
	CHANNEL AND REMOVABLE COVER		ONE PASS SHELL		FIXED TUBESHEET LIKE "A" STATIONARY HEAD
B		F		M	
	BONNET (INTEGRAL COVER)		TWO PASS SHELL WITH LONGITUDINAL BAFFLE		FIXED TUBESHEET LIKE "B" STATIONARY HEAD
		G		N	
			SPLIT FLOW		FIXED TUBESHEET LIKE "N" STATIONARY HEAD

C	 REMOVABLE TUBE BUNDLE ONLY CHANNEL INTEGRAL WITH TUBE-SHEET AND REMOVABLE COVER
N	 CHANNEL INTEGRAL WITH TUBE-SHEET AND REMOVABLE COVER
D	 SPECIAL HIGH PRESSURE CLOSURE

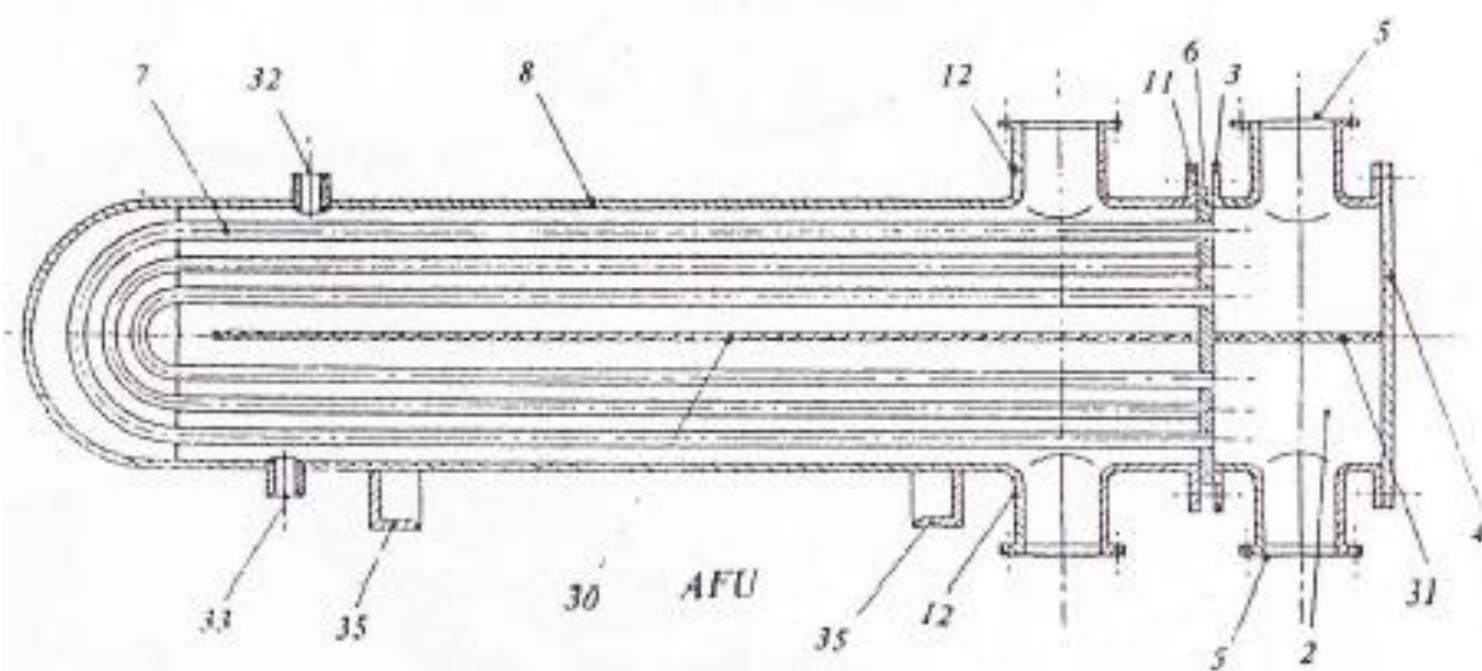
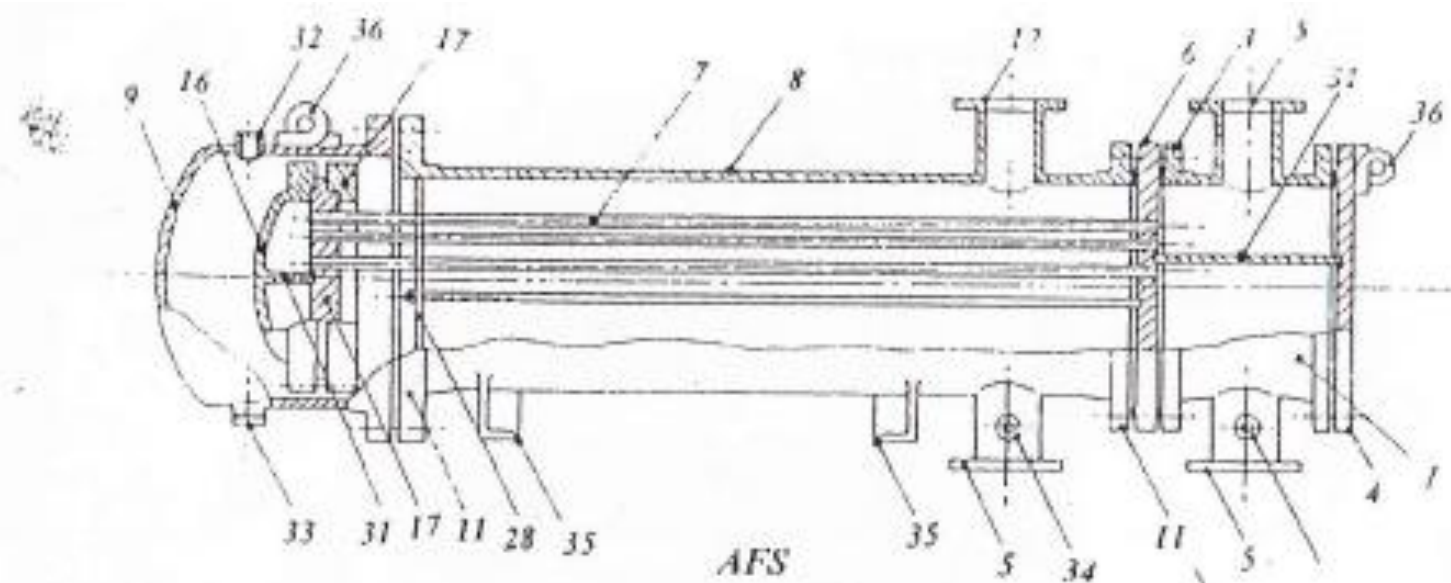
H	 DOUBLE SPLIT FLOW
J	 DIVIDED FLOW
K	 KETTLE TYPE REBOILER
X	 CROSS FLOW

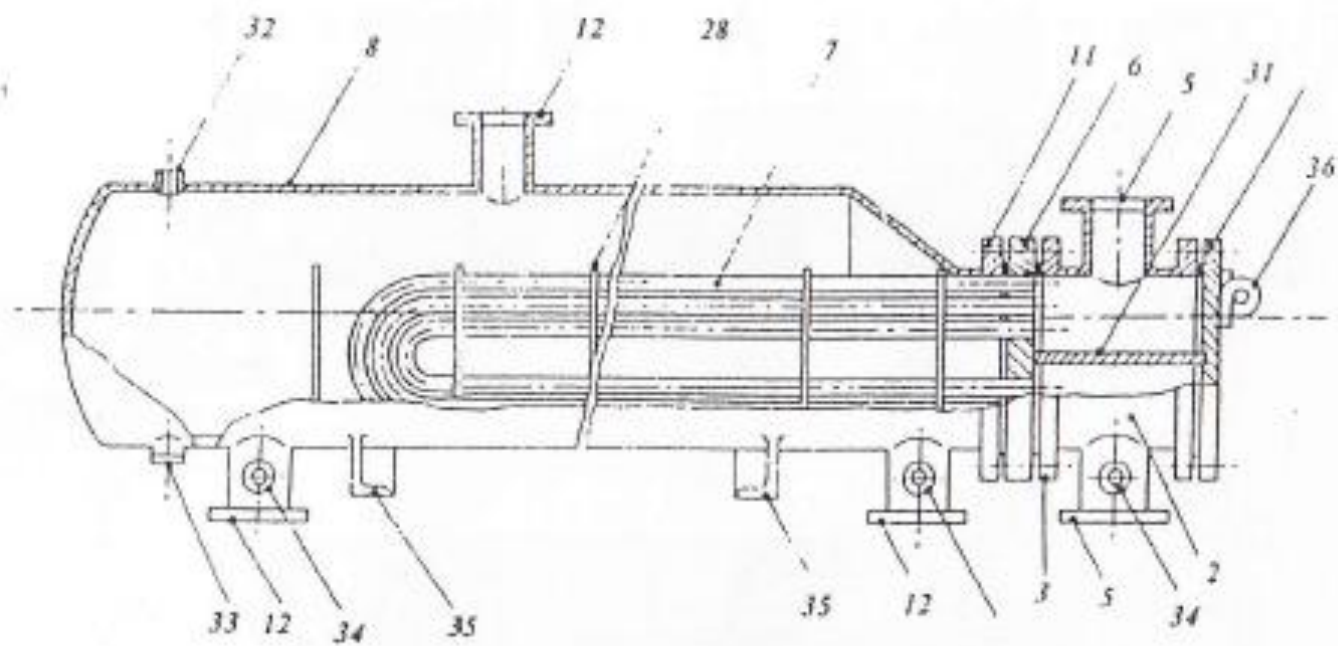
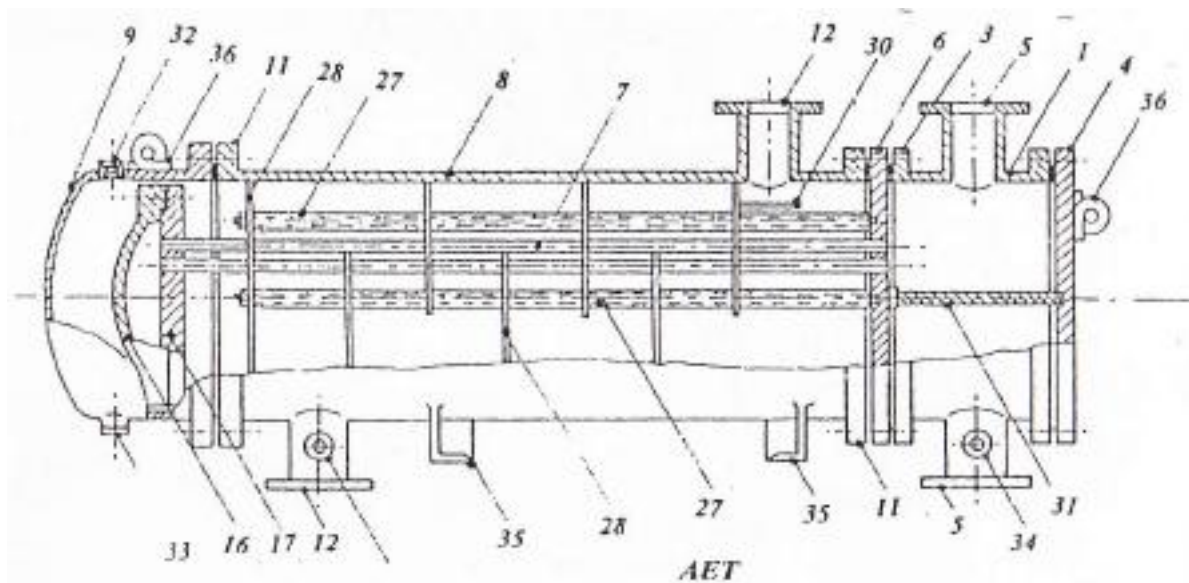
P	 OUTSIDE PACKED FLOATING HEAD
S	 FLOATING HEAD WITH BACKING DEVICE
T	 PULL THROUGH FLOATING HEAD
U	 U-TUBE BUNDLE
W	 EXTERNALLY SEALED FLOATING TUBESHEET



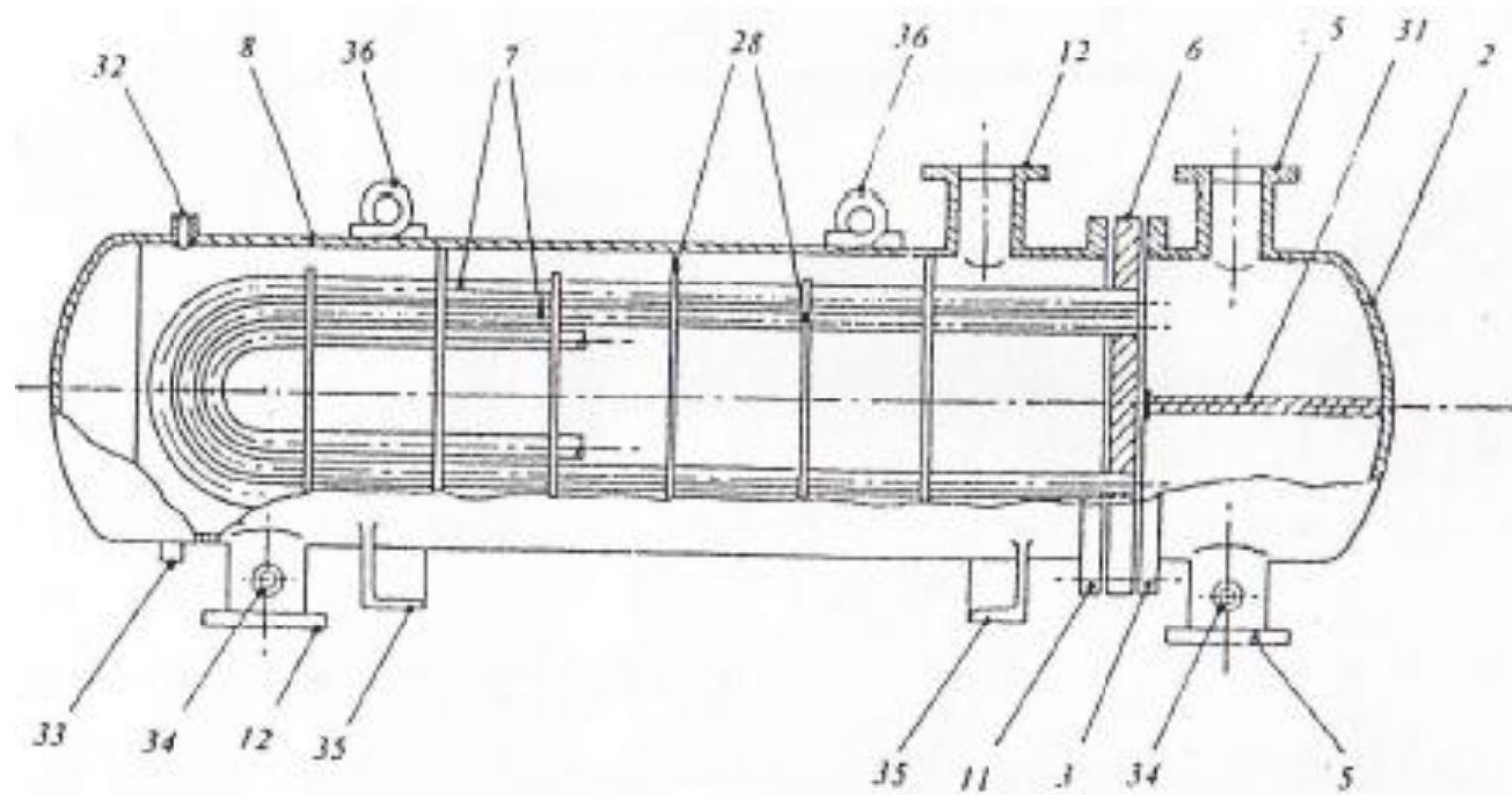
AES

- | | |
|--|------------------------------------|
| 1. Sabit kafa-kanal | 21. Kayar kafa kapağı-dış |
| 2. Sabit kafa-başlık | 22. Kayar boru aynası gömleği |
| 3. Sabit kafa, flanşlı-kanal veya başlık | 23. Salmastra kutusu flanşı |
| 4. Kanal kapağı | 24. Salmastra |
| 5. Sabit kafa girişi | 25. Salmastra baskı halkası |
| 6. Sabit boru aynası | 26. Fener halkası |
| 7. Borular | 27. Bağlama çubukları ve boşluklar |
| 8. Gövde | 28. Şaşırtma veya destek levhaları |
| 9. Gövde kapağı | 29. Giriş şaşırtma levhası |
| 10. Gövde flanşı-sabit ön taraf | 30. Boyuna şaşırtma levhası |
| 11. Gövde flanşı-arka taraf | 31. Bölme |
| 12. Gövde girişi | 32. Havalık bağlantısı |
| 13. Gövde kapağı flanşı | 33. Bozaltma bağlantısı |
| 14. Genleşme bağlantısı | 34. Ölçme aleti bağlantısı |
| 15. Kayar boru aynası | 35. Destek |
| 16. Kayar kafa kapağı | 36. Kaldırma halkası |
| 17. Kayar kafa flanşı | 37. Destek |
| 18. Kayar kafa arka tertibatı | 38. Savak |
| 19. Segman | 39. Sıvı seviyesi bağlantısı |
| 20. Arka flanş | |



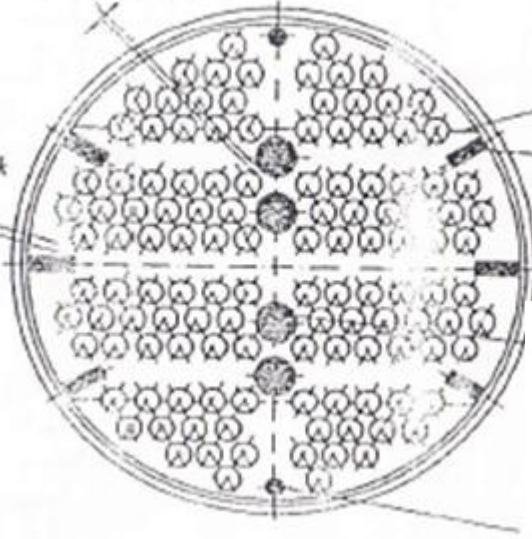


AKU



BEU

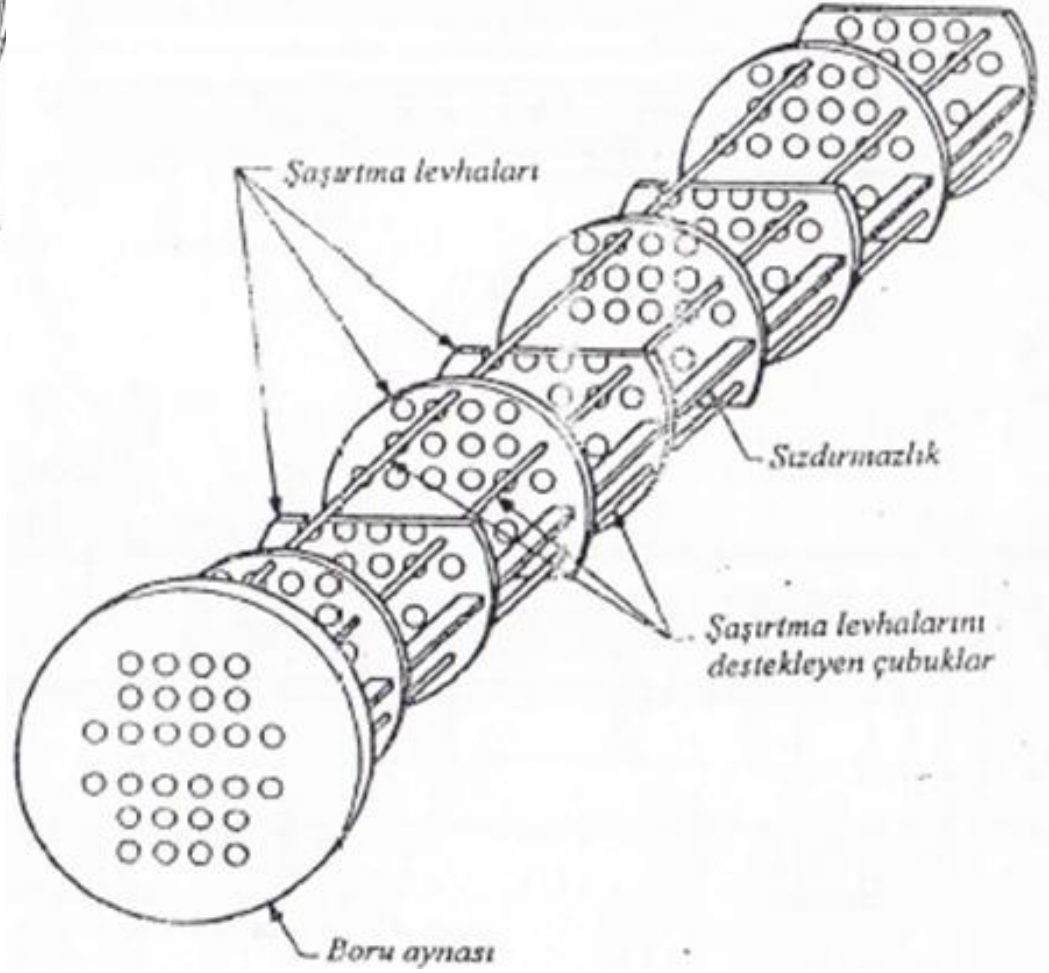
3-5 mm aralık



Şaşırtma
levhası kenarı

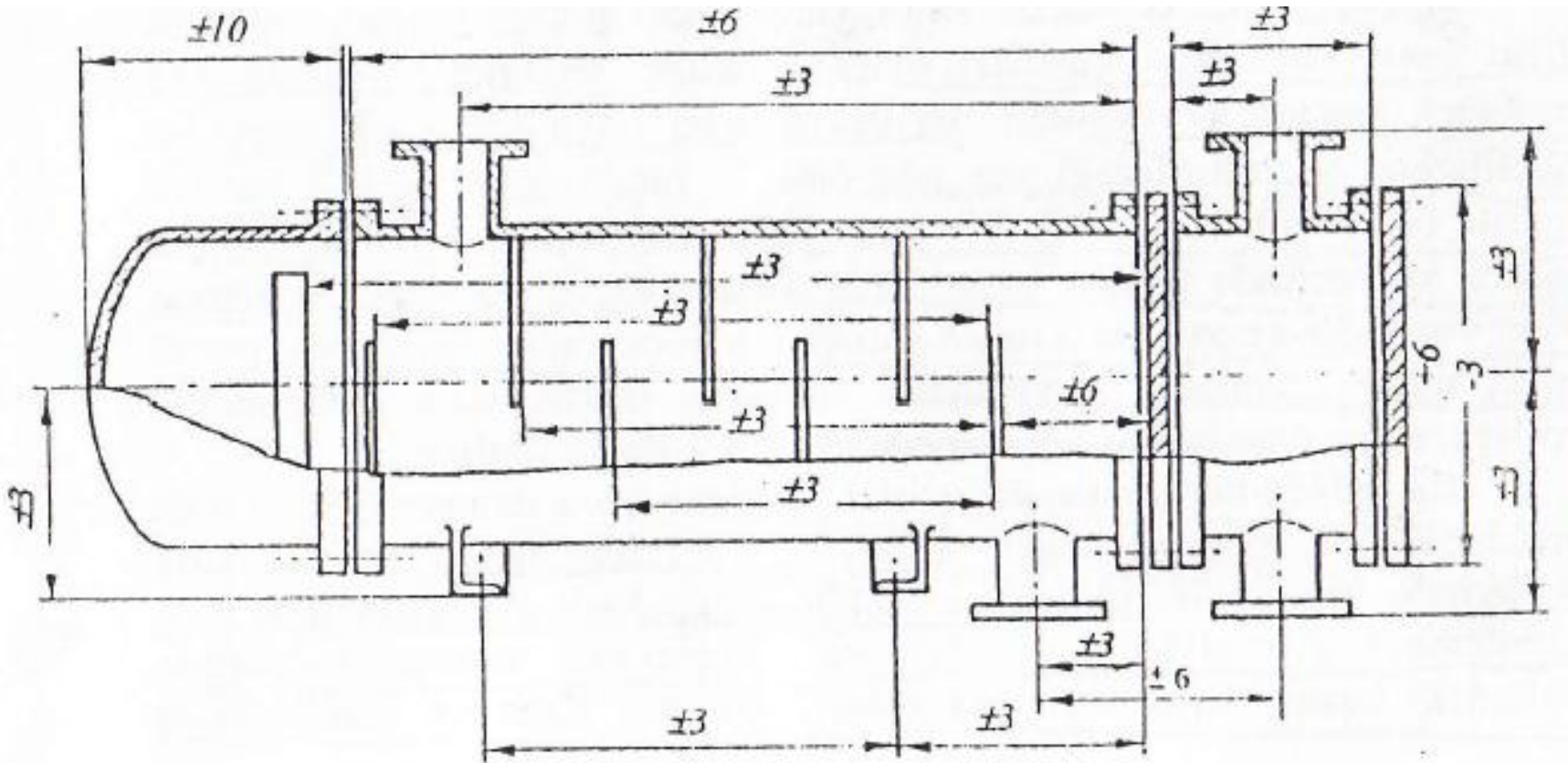
Sızdırmazlık
elemanı

3-5 mm aralık



Tablo 2.2 Gövde borulu ısı değiştiricilerde önerilen hızlar ve basınç düşümleri.

Boru içinde sıvı akışkanların hızları :	<i>1,5 – 2,5 m/s</i> <i>Bakır borularda max. 2 m/s</i> <i>Çelik borularda max. 3 – 4 m/s</i> <i>Paslanmaz çelik borularda max. 4 – 5 m/s</i>
Gövde içinde sıvı akışkan hızları :	<i>0,3 – 1 m/s</i>
Boru veya gövdede gaz hızları :	<i>Vakum : 50 – 70 m/s</i> <i>Atmosferik basınç : 10 – 30 m/s</i> <i>Yüksek basınç : 5 – 10 m/s</i>
Boru veya gövdede sıvı basınç düşümü :	<i>Viskozitesi az : 35 kPa</i> <i>Viskozitesi çok : 50 – 70 kPa</i>
Boru veya gövdede gaz halinde basınç düşümü:	<i>Yüksek vakum : 0,4 – 0,8 kPa</i> <i>Orta vakum : 0,1 × (mutlak basınç)</i> <i>1 ila 2 bar : 0,5 × (sistemin eff. basıncı)</i> <i>10 bar üstü : 0,1 × (sistemin eff. basıncı)</i>

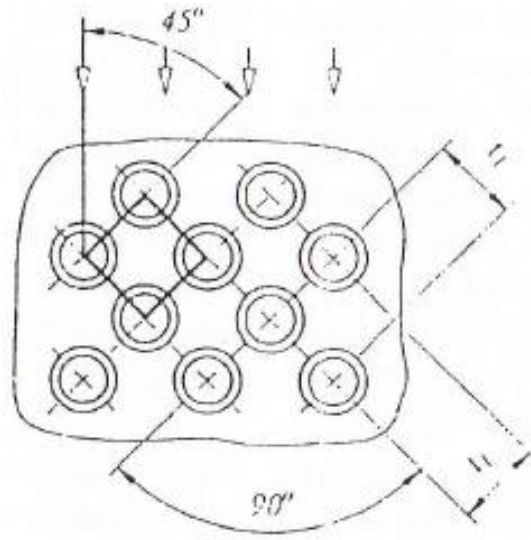


Şekil 2.5a Gövde-borulu ısı değiştirici imalat toleransları [14]

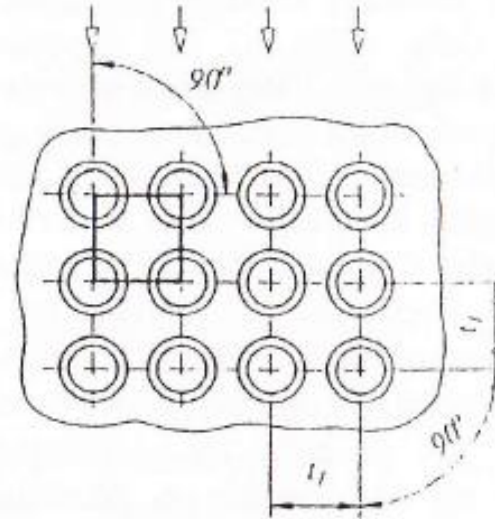
Tablo 2.3 pratikte mümkün olabilen gövde borulu ısı değiştirici tipleri

AEL	AEM	AEN	AEP	ES	AET	AEU	AEW
AFL	AFM	AFN	AFP	FS	AFT	AFU	AFW
AGL	AGM	AGN	AGP	GS	AGT	AGU	AGW
AHL	AHM	AHN	AHP	HA	AHT	AHU	AHW
AJL	AJM	AJN	AJP	JA	AJT	AJU	AJW
AKL	AKM	AKN		KS	AKT	AKU	
AXL	AXM	AXN	AXP	XS	AXT	AXU	AXW
BEL	BEM	BEN	BEP	BES	BET	BEU	BEW
BFL	BFM	BFN	BFP	BFS	BFT	BFU	BFW
BGL	BGM	BGN	BGP	BS	BGT	BGU	BGW
BHL	BHM	BHN	BHP	BS	BHT	BHU	BHW
BJL	BJM	BJN	BJP	BS	BJT	BJU	BJW
BKL	BKM	BKN		BS	BKT	BKU	
BXL	BXM	BXN	BXP	BS	BXT	BXU	BXW
			CEP	CS	CET	CEU	CEW
			CFP	CS	CFT	CEU	CEW
			CGP	CS	CGT	CGU	CGW
			CHP	CS	CHT	CHU	CHW
			CJP	CS	CJT	CJU	CJW
			CKP	CS	CKT	CKU	CKW
			CXP	CS	CXT	CXU	CXW
NEL	NEM	NEN	NEP	NS	NET	NEU	NEW
NFL	NFM	NFN	NFP	NS	NFT	NGU	NFW
NGL	NGM	NGN	NGP	NS	NGT	NGU	NGW
NJL	NJM	NJN	NJP	NS	NJT	NJU	NJW
NKL	NKM	NKN		NS	NKT	NKU	
DED				DS	DET	DEU	
DFD				DS	DFT	DFU	
DGD				DS	DGT	DGU	
DHD				DS	DHT	DHU	
DJD				DS	DJT	DJU	
DKD				DS	DKT	DKU	
DXD				DS	DXT	DXU	

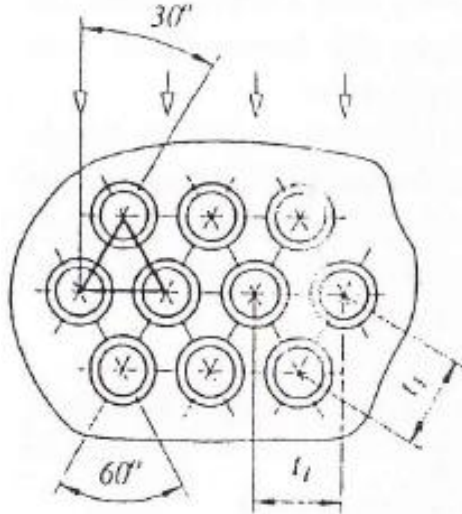
- Bir gövde borulu ısı değıştiricisindeki boru demeti eşkenar üçgen, kare veya döndürölmüş üçgen ve kare şekillerinde yapılabilir.
-
- Üçgen ve döndürölmüş kare düzenlemeleri, kare düzenlemeye göre daha büyük ısı geçiş katsayıları vermesine karşılık, bunlardaki basınç kayıpları biraz daha büyüktür.
-
- Kare ve döndürölmüş düzenlemeler, özellikle kirletici akışkanlar için uygundur.
-
- Her tip düzenlemede boru eksenleri arasındaki uzaklığın boru dış çapının 1,25 katı seçilmesi önerilir.
- Temizlik kolaylığı istenen durumlarda, karesel düzenlemede borular arasında en az 6-7 mm boşluk olması istenir.



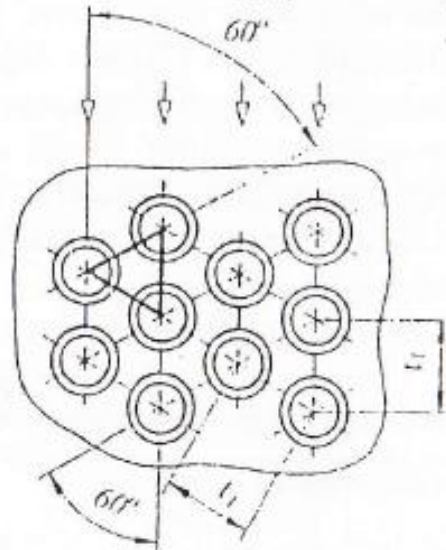
Döndürülmüş kare



Kare



Üçgen



Döndürülmüş üçgen

Şekil 2.6 Boru demeti düzenlemeleri

Boruların oluşturduğu demetin çapı, boruların sayısı ile boru geçiş sayılarına ve aralardaki boşluğa da bağlıdır. Boru demeti çapı,

$$D_{demet} = d_0 \left(\frac{n_b}{C} \right)^{1/n}$$

Boru demetindeki boru sayısı ise,

$$n_b = C \left(\frac{D_{demet}}{d_0} \right)^n$$

Deneyssel bağıntılarından yaklaşık olarak tespit edilebilir. Bu bağıntılarda,

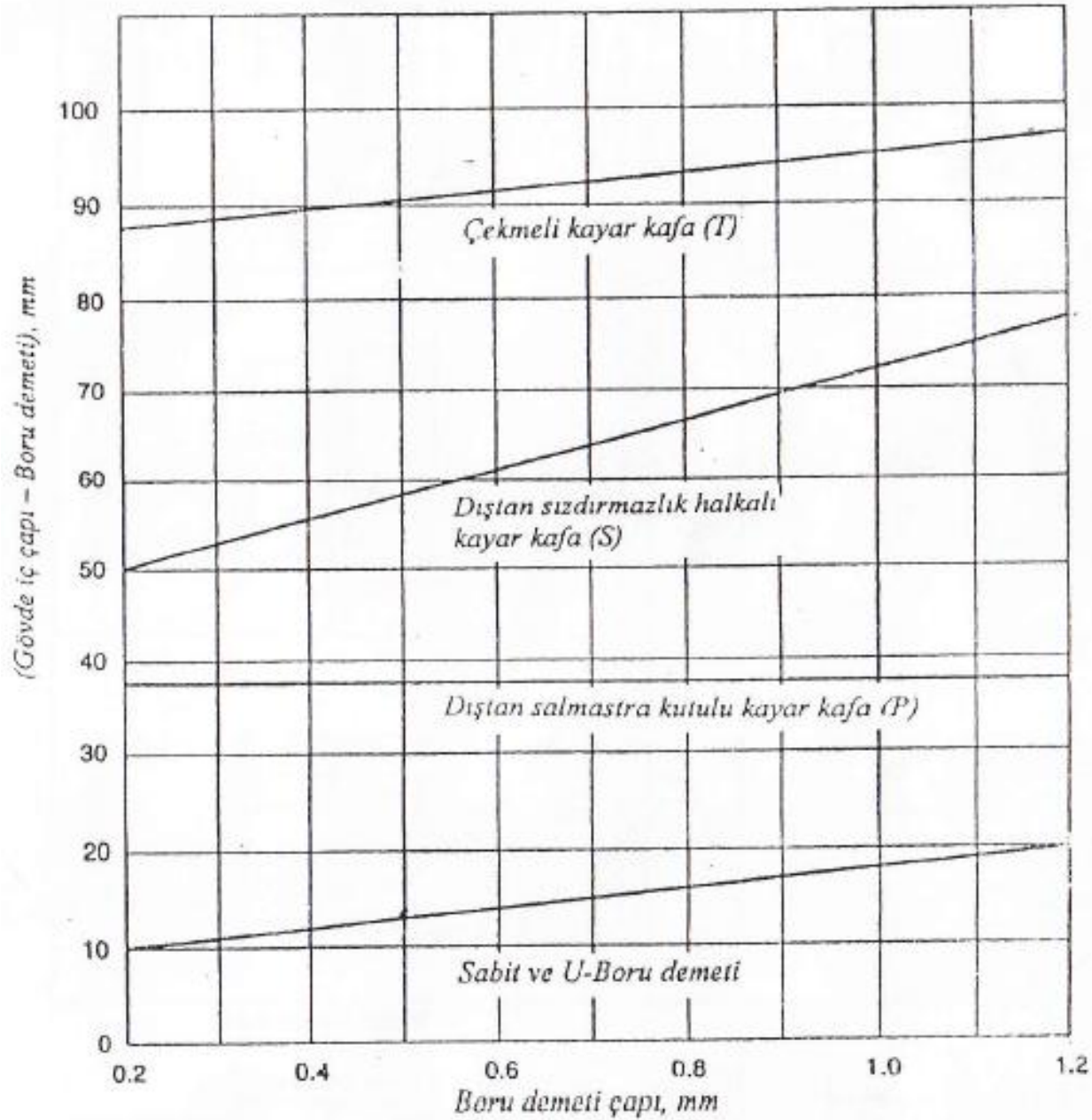
D_{demet} =boru demeti çapı, mm

d_0 =boru dış çapı, mm

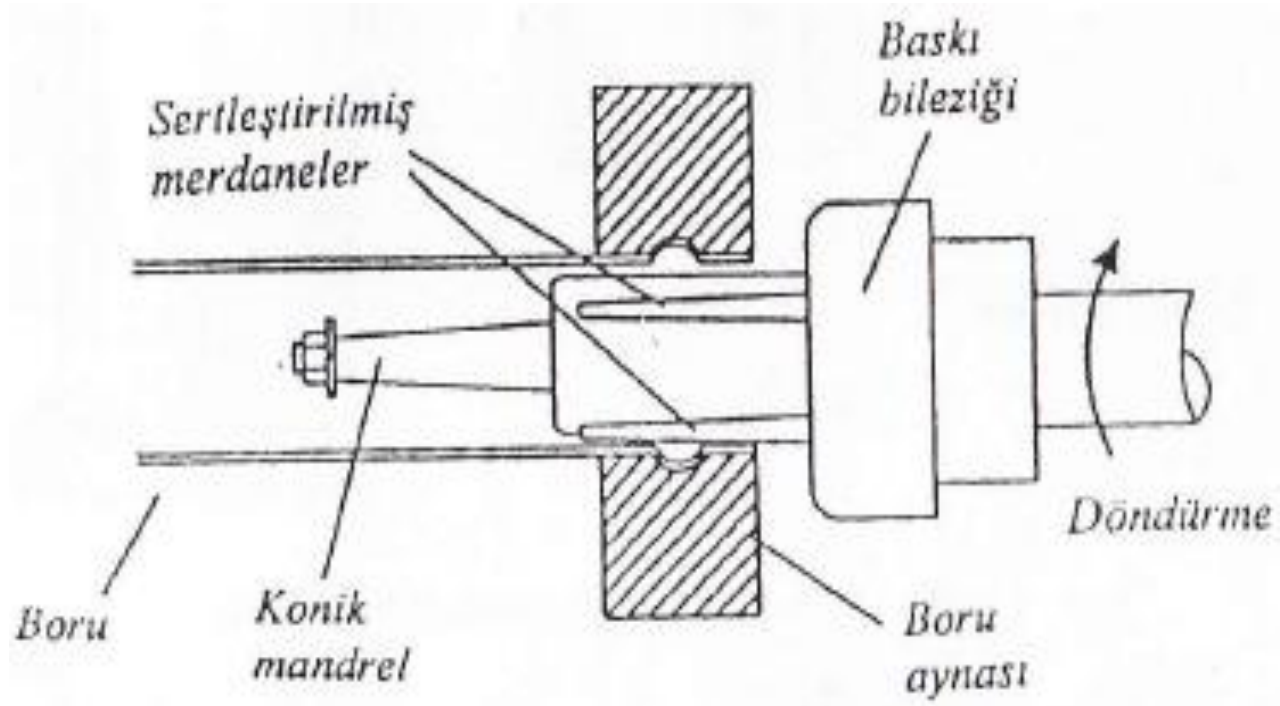
n_b =boru sayısı

Tablo 2.4 Denklemlerde verilen C ve n katsayıları

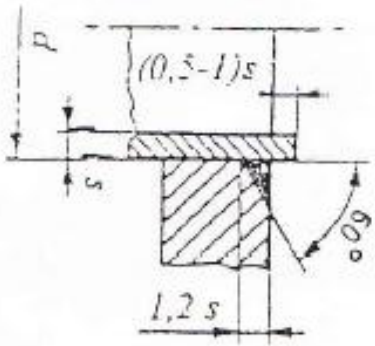
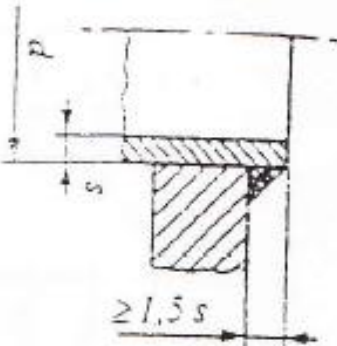
Boruların üçgen düzenlenişi, $t_1=1,25d_0$					
Geçiş sayısı	1	2	4	6	8
C	0,319	0,249	0,175	0,0743	0,0365
n	2,142	2,207	2,285	2,499	2,675
Boruların kare düzenlenişi $t_1=1,25d_0$					
	1	2	4	6	8
C	0,215	0,156	0,158	0,0402	0,0331
n	2,207	2,291	2,263	2,617	2,643

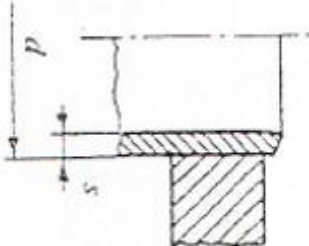
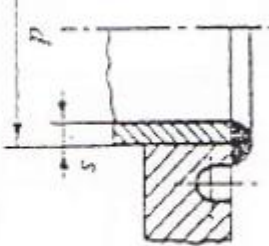


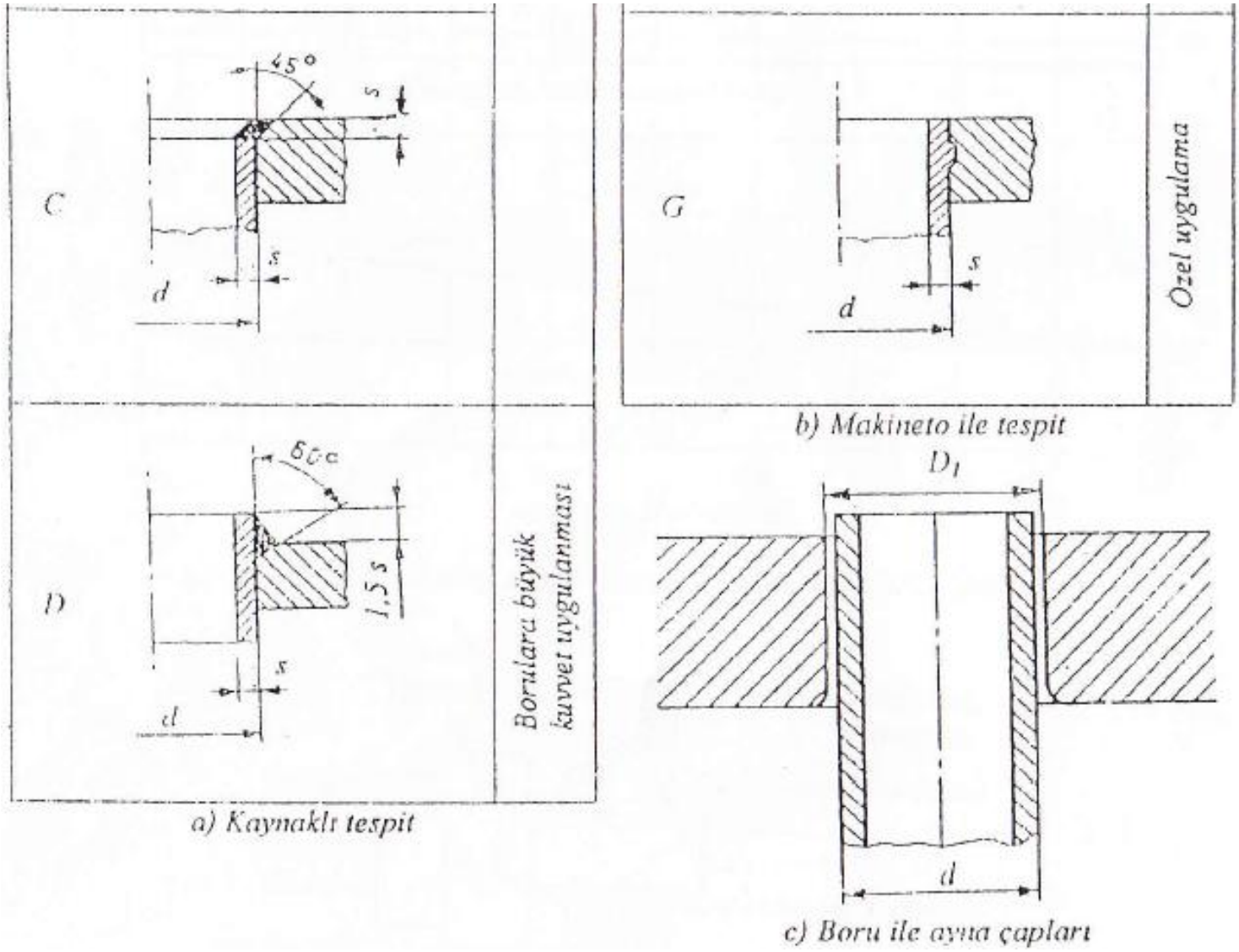
Şekil 2.7 Gövde ile boru demeti arasındaki boşluk



Şekil 2.8 Makineto işlemi

D 	E 
Normal uygulama	Özel uygulama

F 	G 
Normal uygulama	Özel uygulama



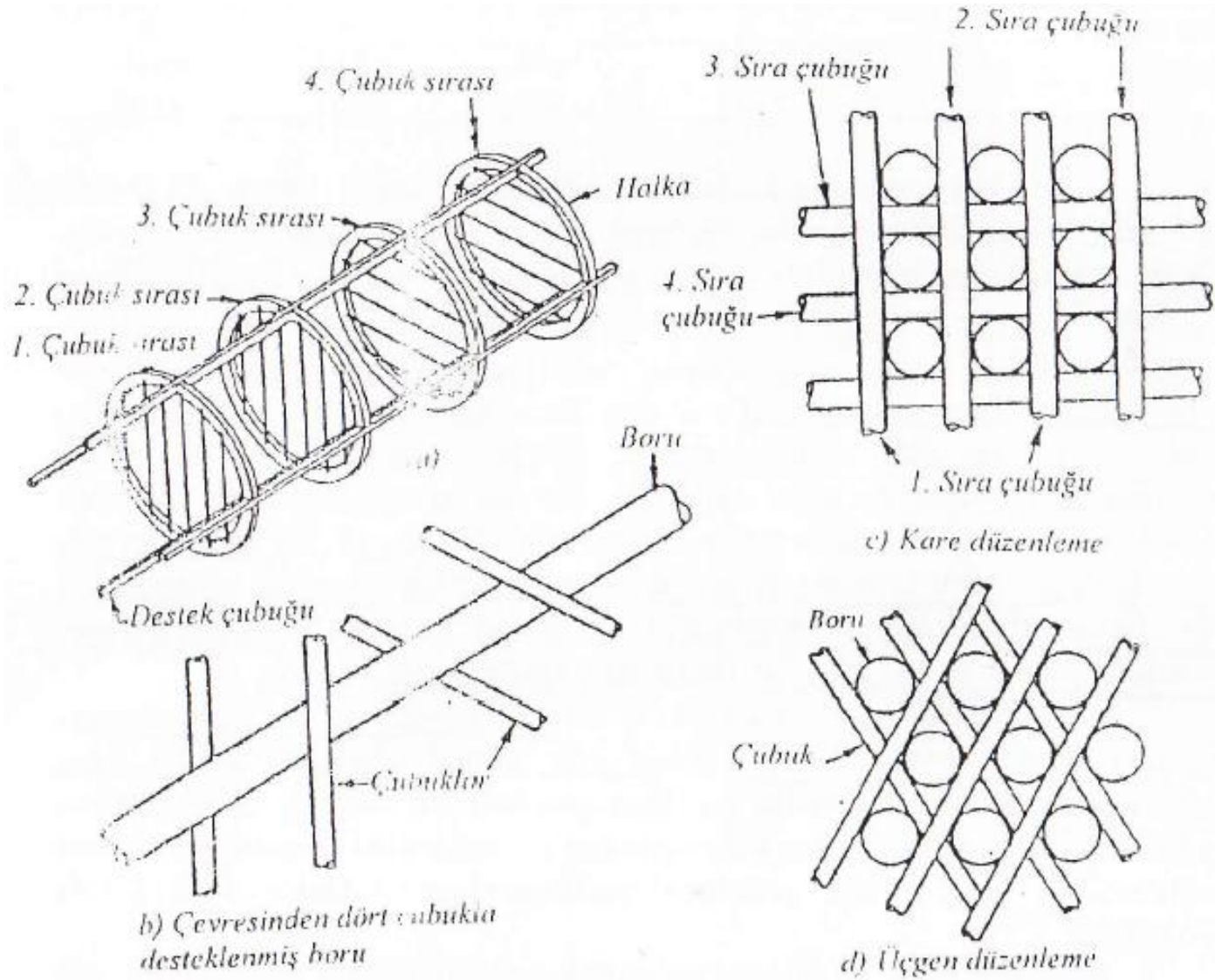
Şekil 2.9 Boruların boru aynasına tespiti [14]

Boruların aynalara tespiti üç şekilde yapılır. Bunlar; kaynak, makineto ve vidalamadır.

Kaynak: Mükemmel sızdırmazlık sağlarken tamiratları sökme ve yeniden takma imkanı yoktur.

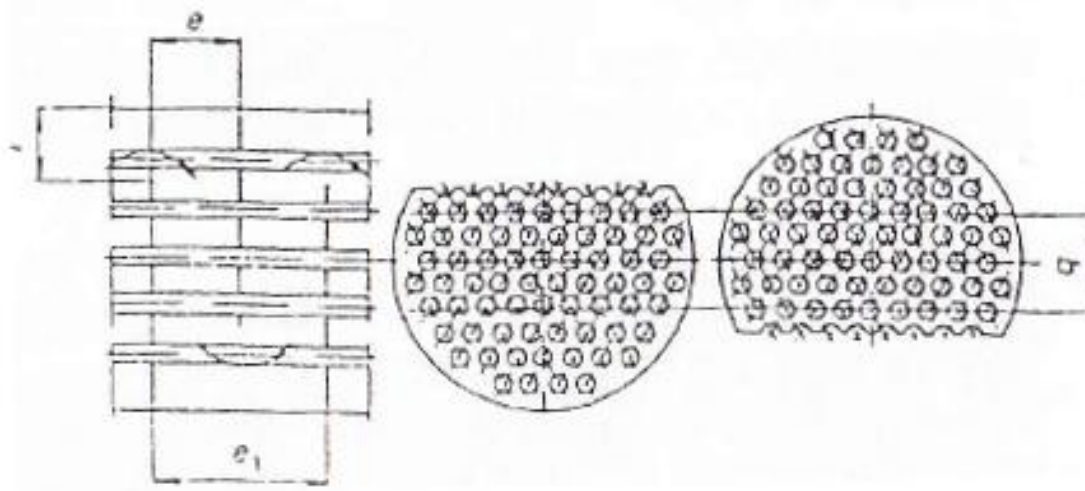
Makineto: Ucuz, fakat yüksek sıcaklıklarda ve basınçlarda sızdırmazlık özelliği zayıftır.

Vidalama: Arızalarda, tamirat gerekli olduğunda boruların çabuk ve kolay değiştirilmeleri isteniyorsa vidalama ile tespit en uygun yoldur.

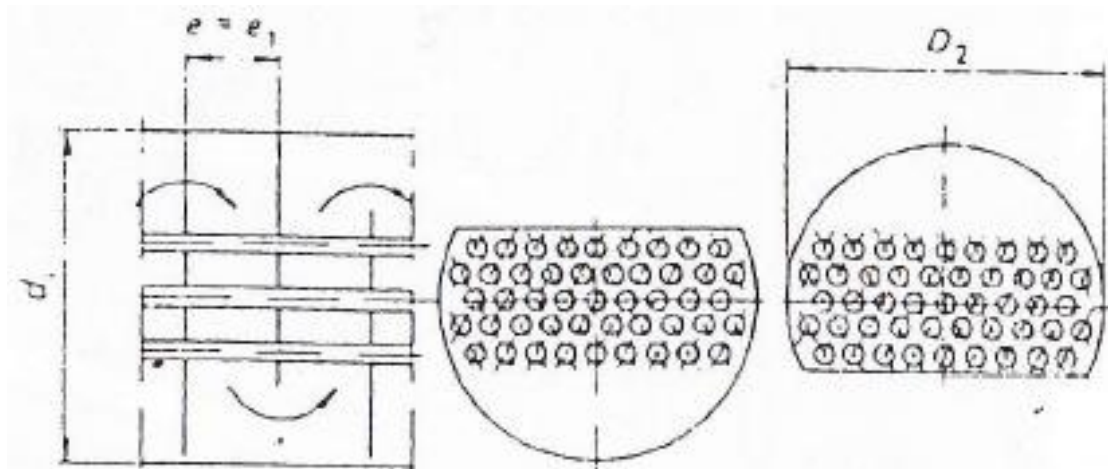


- Şaşırtma elemanları akış kesitini %15 ila 45 arasında keser.
- Pratik açıdan %20 ile 25 arasında bir değer, iyi bir ısı geçiş katsayısı yanı sıra, fazla bir basınç kaybı oluşturmaz. Akışkanın kısa devre yapabilmesi nedeniyle, bu elemanlar ile gövde arasındaki aralık belirli değerleri aşmamalıdır.

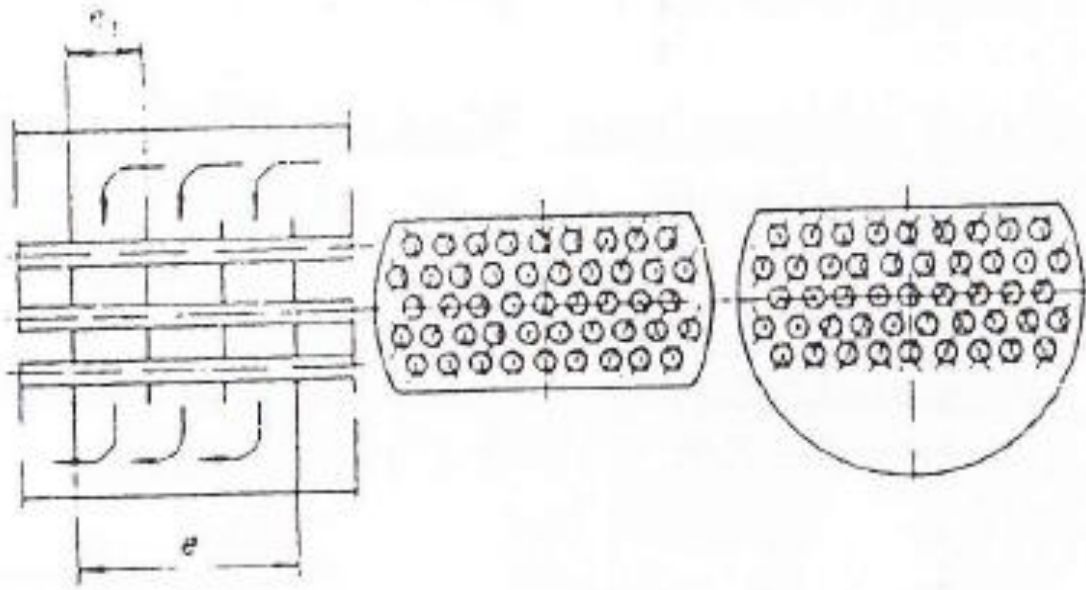
Şekil 2.10 Çubuk tipi şaşırtma ve destek elemanları



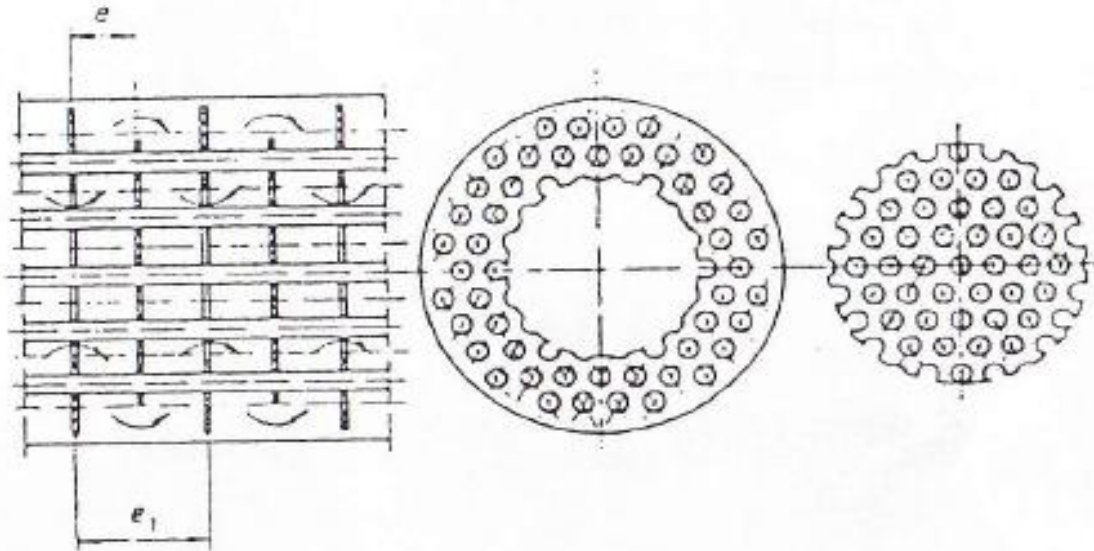
a) Boruların şaşırtma levhalarını tamamen doldurduğu tip



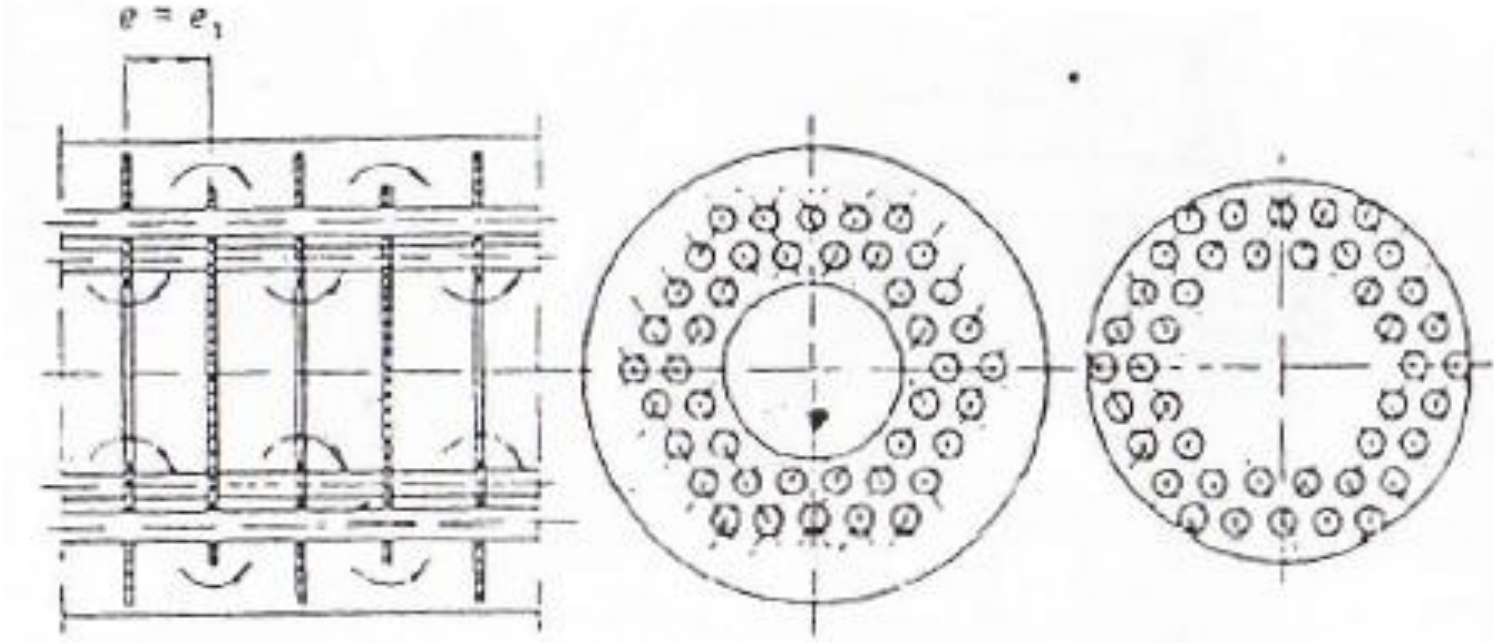
b) Boruların şaşırtma levhalarını kısmen doldurduğu tip



c) Akışı saptırıcıli şaşırtma levhaları

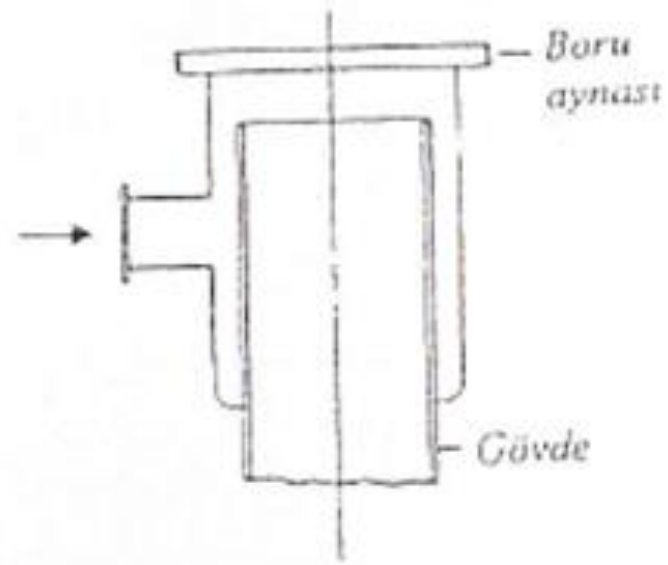
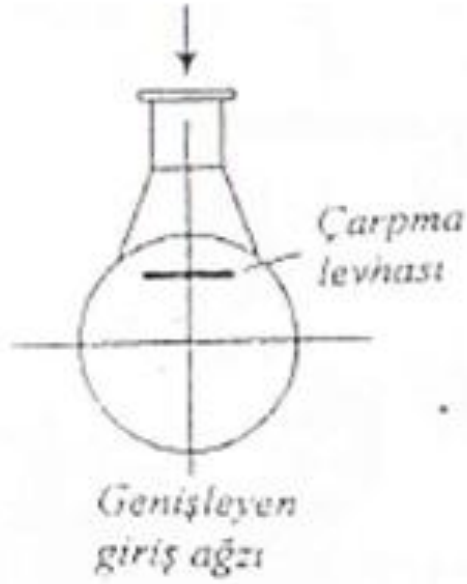


d) Boruların tamamen doldurduğu disk ve simit tipi şaşırtma levhaları

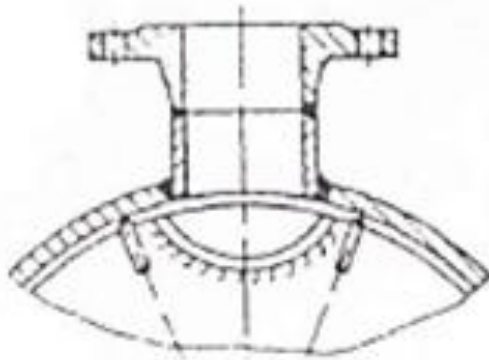


e) Ortada ve çevrede serbest geçişin olduğu (boruların bulunmadığı) dik ve simit tipi şaşırtma levhaları

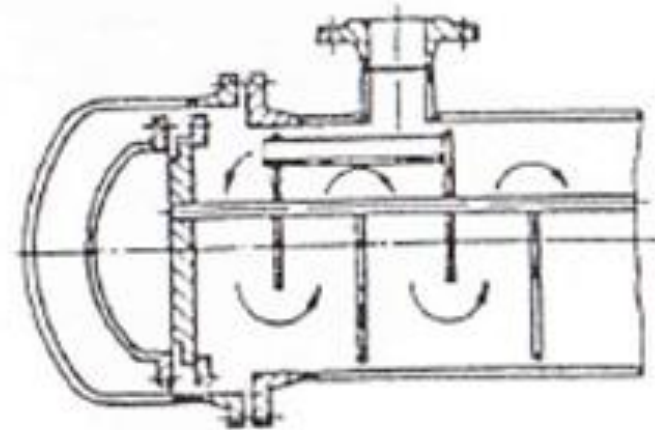
- Akışkanın gövdeye giriş ve çıkış ağzları, standart boru çapında olmalıdır.
- Gövde akışkanın giriş ve çıkışında aşırı bir basınç kaybı borularda ses ve titreşim olmamalı, düzgün bir akış sağlanmalıdır.
- Uygun giriş ve çıkış ağzlarını yerleştirebilmek için, gerekiyor ise boru demetinden bazı sıralar çıkarılmalı, akışkanın borulara doğrudan çarpması önlenmelidir.



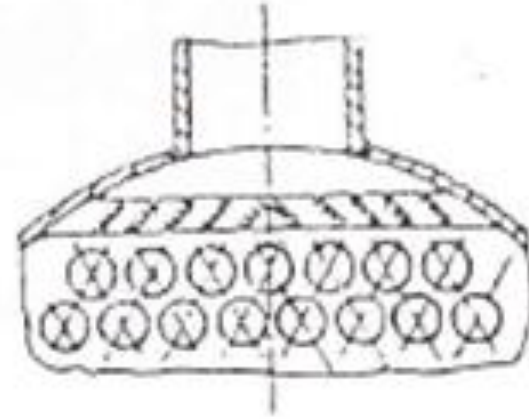
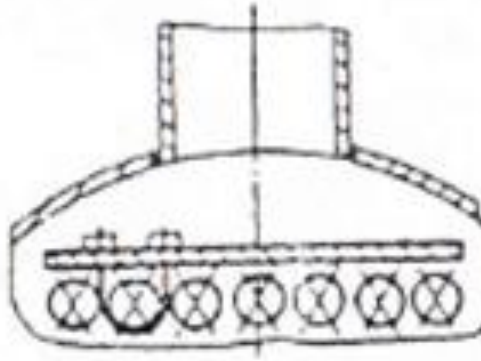
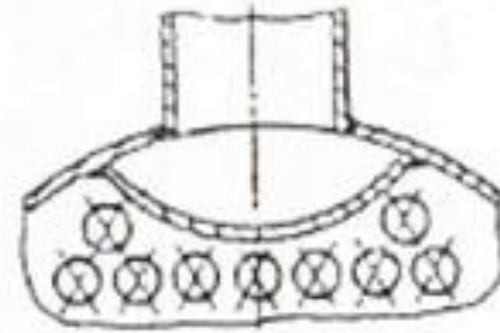
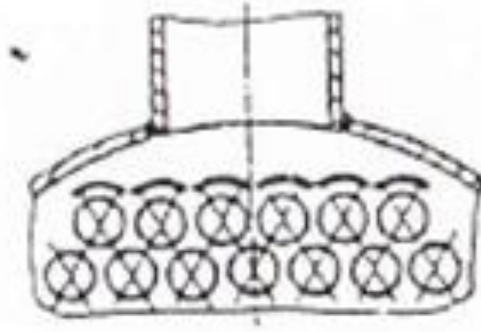
a) Giriş ağzının gövdeye bağlanış prensibi



b) Girişte dağıtıcı levha



c) Girişte ölü bölgeleri azaltan şaşırtma levhası



d) Giriş ağzında çarpma plaklarına ait örnekler

Şekil 2.12 Giriş ve çıkış ağzlarının gövdeye bağlantısı