



TTMD

TÜRK TESİSAT MÜHENDİSLERİ DERNEĞİ DERGİSİ

Temel Bilgiler, Tasarım ve Uygulama Eki

Sayı : 10

TTMD

Adına Sahibi
Bekir Erdinç Boz

Yazı İşleri Müdürü
Abdullah Bilgin

Genel Yayın Yönetmeni
Prof. Dr. T. Hikmet Karakoç

Yayın Kurulu
Gürkan Arı
İ. Zeki Aksu
Ali Rıza Dağlıoğlu
Abdullah Bilgin
Aytekin Çakır
Dr. İbrahim Çakmanus
Erbay Çerçioğlu
Orhan Gürson
Halim İman
Prof. Dr. T. Hikmet Karakoç
Selami Orhan
Fevzi Özel
E. Aybars Özer
Seden Çakıroğlu Özteker
Tayfun Sümbül
Yrd. Doç. Dr. Hüseyin Günerhan

Dergi Yayın Sorumlusu
Gülten Acar

İletişim
Bestekar Sk. Çimen Apt.
No: 15/2 06680 Kavaklıdere-Ankara
Tel: 0.312. 419 45 71 - 419 45 72
Faks: 0.312. 419 58 51
web: <http://www.ttmd.org.tr>
e-mail: ttmd@ttmd.org.tr

TTMD Yönetim Kurulu
Bekir Erdinç Boz (Başkan)
Abdullah Bilgin (Başkan Yrd.)
Halim İman (Başkan Yrd.)
Hüseyin Erdem (Başkan Yrd.)
İbrahim Çakmanus (Genel Sekreter)
C. Selçuk Bayer (Muhasip Üye)
İbrahim Akdemir (Üye)
Hirant Kalataş (Üye)
Prof. Dr. Abdurrahman Kılıç (Üye)
İ. Zeki Aksu (Üye)
Gökhan Özbek (Üye)
Cafer Ünlü (Üye)
Sarven Çilingiroğlu (Üye)

33. Sayının Ekidir

Mekanik Tesisat Sistemlerinde Kullanılan Borular

Dr. İbrahim Çakmanus, Mak. Yük. Müh., TTMD Üyesi
Halim İman, Mak. Müh., TTMD Üyesi

1. Giriş

Türkiye'de boruların kullanım yerlerini tarif eden fazla sayıda çalışma bulunmamakta ve boru seçiminde bir kargaşası gözlenmektedir. Diğer bir ifade ile hangi cins boru nerede kullanılmalıdır sorusuna her sektör kendi imalatına göre cevap verebilmektedir. Örneğin çelik boru, bakır boru ve plastik boru üreticileri belirli bir amaç için kendi üretimlerinin en uygun olduğunu söyleyebilmektedirler ki, bu bir dereceye kadar doğrudur. Ancak belirli bir amaca yönelik boru seçimini standartlar, ilk yatırım bedeli, işletme maliyetleri, işletme şartları ve emniyet kuralları gibi değişik faktörler etkileyebilmektedir. Bu nedenle kullanıcı ve/veya tasarımcı bu gibi kriterleri ve kişisel birikimini dikkate alarak uygun seçim yapmaktadır. Ayrıca Türkiye'de borularla ilgili bazıları ekte verilen TSE Standartları bulunmaktadır. Ancak bu standartlarda bazı eksiklikler de göze çarpmaktadır. Örneğin sıcak veya soğuk çekme dikişsiz - çelik çekme borulara ilişkin TSE bulunmamaktadır. Bu çalışmada tesisatta kullanılan ve temel yapı elemanlarından olan boruların (ve bağlantı elemanlarının) seçimi ve montajı ile ilgili hususlar, ASHRAE System and Equipment Handbook esas alınarak özetlenmiştir. Dolayısıyla standartlar ve semboller söz konusu kaynaktaki gibi kullanılmıştır. Ancak burada adı geçen malzemelerin, karşılıkları bulunanları için TSE standartları da dikkate alınmalıdır. Diğer yandan son derece geniş bir konu olan boruların böylesine kısıtlı bir çalışmada ele alınmasının güçlüğü ortadadır. Bu nedenle örneğin hidrolik hesap, boruların termal davranışı, yalıtım, korozyondan korunma, test ve işletme gibi hususlara değinilmemiştir; daha çok boru cinsleri, bunların kullanım yerleri ile muhavemete ilişkin kısa bilgi verilmeye çalışılmıştır.

2. Boru Cinsleri

Bina mekanik tesisat sistemlerinde kullanılan borular çelik borular, bakır borular ve plastik borular olarak üç gruba ayrılabilir. Türkiye'de tesisat sistemlerinde genelde çelik borular ile giderek artan oranda pazar payına sahip olmak üzere, plastik borular ve daha az oranda bakır borular kullanılmaktadır. Kullanım yerlerine göre gaz tesisatlarında, buhar tesisatlarında, kazanlarda, eşanjörlerde, yerden ısıtmada, yangın sistemlerinde, pis su ve temiz su sistemlerinde vb. kullanılan borular gibi sınıflara da ayrılabilir. Ancak bir grupta kullanılan bir boru cinsi basınç, sıcaklık ve korozyon dayanımı vb. uygun ise diğer alanlarda da kullanılabilir. Örneğin kalorifer tesisatları ve soğuk su tesisatları gibi yerlerde basınç ve sıcaklık sınıfı uymak kaydı ile çelik, bakır ve plastik borular kullanılabilir. Boru seçerken HVAC sisteminin tümü ve bazı koşullarda sistemin bölümleri, detaylı biçimde incelenmelidir. Örneğin yüksek katlı bir binada suyun statik basıncı, aşağı katlarda yukarı katlardakinden daha yüksek olduğu için dikey bölgeler boyunca farklı cins, mukavemet veya et

TEBA ISITMA SOĞUTMA KLİMA TEKNOLOJİLERİ SAN. ve TİC. A.Ş.'NİN KATKILARIYLA YAYINLANMAKTADIR

Uygulama	Boru Malzemesi	Tip	Birleştirme Tipi	Fittings		Sıcaklık °C	Sistem
				Sınıf	Malzeme		Verilen Sıcaklıkta ^(a) Maksimum Basınç kPa (ölçü)
Sirkülasyon suyu 50mm ve aşağısı	Çelik (CW)	Standart	Isıl işlem görmüş	125	Dökme Demir	120	860
	Bakır	Tip L	Bronz veya gümüş lehim ^(b)		Dövme Bakır	120	1030
	Sert PVC	Liste 80	Solvent	Liste 80	PVC	24	
	CPVC	Liste 80	Solvent	Liste 80	CPVC	65	
	PB	SDR - 11	Isıl füzyon		PB	70	
65 ila 300 mm arası	A53 B ERW Çelik	Standart	Kaynak	Standart	Dövme Çelik	120	2760
			Flanş	150	Dövme Çelik	120	1720
			Flanş	125	Dökme Demir	120	1200
			Flanş	250	Dökme Demir	120	2760
	PB	SDR-11	Yiv		MI Veya Ductil Demir	110	2070
Buhar ve Kondens 50 mm ve aşağısı	Çelik	Standart ^(c)	Isıl işlem görmüş	125	Dökme Demir		620
			Isıl işlem görmüş	150	Dövme Demir		620
	A53 B ERW Çelik	Standart ^(c)	Isıl işlem görmüş	125	Dökme Demir		690
			Isıl işlem görmüş	150	Dövme Demir		860
		XS	Isıl işlem görmüş	250	Dökme Demir		1380
65 ila 300 mm arası	A53 B ERW Çelik	XS	Isıl işlem görmüş	300	Dövme Demir		1720
			Kaynak	Standart	Dövme Çelik		1720
			Flanş	150	Dövme Çelik		1380
			Flanş	125	Dökme Çelik		690
			Kaynak	XS	Dövme Çelik		4830
Soğutucu Akışkan	Bakır, Sert A53 B SML Çelik	Tip Lve K Standart	Bronz		Dövme Bakır		
			Kaynak		Dökme Çelik		
			Bronz veya gümüş lehim ^(b)		Dövme Bakır	24	2410
			MJ	MJ	Dökme Demir	24	1720
	PB	SDR 9,11 SDR 7,11.5	Isıl füzyon		PB	24	
Kullanım Suyu Bina İçinde	Bakır, Sert Çelik, Galvanizli	Tip L Standart	Bronz veya gümüş lehim ^(b)		Dövme Bakır	24	2410
			Isıl işlem görmüş	125	Galv. Dökme Demir	24	860
				150	Galv. Dövme Demir	24	860
					PB	24	
	PB	SDR-11	Isıl füzyon		Metal	24	

^(a) Maksimum müsaade edilebilir işletme basıncı ayrıntılı verilmiştir.

Yüksek işletme basıncı düşük sıcaklıklarda ve küçük çaplarda kullanılabilir. Boru, fittings, birleşme yerleri ve vanalarda mutlaka dikkate alınmalıdır.

^(b) Kurşun ve antimon bazlı lehimler kullanım suyu sistemlerinde kullanılmamalı, bronz veya gümüş lehim kullanılmalıdır.

^(c) Yüksek korozyon riskine sahip kondens borularında ekstra mukavemetli boruların kullanılması önerilir.

Tablo 1. HVAC Sistemlerinde Kullanılan Borular, Fittingsler ve Vanalar.

kalınlığında boru kullanılabilir. (Binalarda bu tür problemler daha çok zonlama ile çözülebilmekle birlikte, ilk yatırım ve işletme maliyetleri de dikkate alınarak bu şekilde de tasarım yapılabilir). Boru malzemesi seçerken aşağıdaki faktörlerin göz önüne alınmasında yarar bulunmaktadır.

- * Yönetmelik ve standart gereklilikleri,
- * Borudan geçen akışkanın cinsi,
- * Borudan geçen akışkanın basıncı ve sıcaklığı,
- * Borunun dış ortamı,
- * İlk yatırım maliyeti,
- * İşletme maliyeti.

Basınç ve Sıcaklık

Tablo 1'de HVAC sistemlerinde kullanılacak boru cinsleri verilmektedir. Uygulamada seçim için basınç ve sıcaklık sınıfı

gibi parametreler dikkate alınmalıdır. Boru sistemlerinde boru armatür, flanş ve bağlantı parçalarının dayanabileceği en büyük çalışma basıncı anma basıncı olarak tanımlanmaktadır. Türkiye'de tesisat sistemlerinde borular için kullanılan anma basınçları 4-6-10-16-25-40 bardır. Ancak 25 bar ve üzeri basınçlara bina tesisat sistemlerinde nadiren rastlanır. Örneğin kalorifer sistemlerinde kullanılan boruların anma basıncı genellikle 10 bar'ı geçmez. (Çünkü bu sistemlerin basınç sınıfını borulardan ziyade radyatör ve serpantin gibi basınca daha az dayanıklı elemanlar belirlemektedir). Basınç sınıfında bir üst basınç sınıfına geçmek tesisatın ömrü ve işletme emniyeti bakımından yararlıdır, ancak bu durum ilk yatırım maliyetini önemli ölçüde artırabilmektedir. Bu nedenle basınç sınıfı uygun seçilmelidir. Ancak anma basınçları 20° C'deki akışkan için verildiğinden, buhar

gibi yüksek sıcaklıklarda kullanılacak boruların anma basınçları daha yüksek seçilmelidir.

Boru Et Kalınlığı

Boru seçiminde et kalınlığı en önemli parametrelerden birisidir. Et kalınlığını belirleyen temel faktörler, iç basınca bağlı çevresel gerilme ağırlık ve dış yüklere vb. bağlı uzunlamasına gerilmelerdir. Standart borular genellikle basınç ve ağırlıktan kaynaklanan gerilmeleri karşılayacak kadar et kalınlığına sahip olduğundan (veya kazan, radyatör serpantin gibi diğer ekipmanların basınç sınıflarının daha düşük olması halinde, veya zonlama yapıldığında), tesisat uygulamaları için nadiren ayrıntılı gerilme hesaplarına ihtiyaç duyulmaktadır. Ancak bu varsayım boru askılarının Tablo 2'de verilen aralıklarla yapıldığı kabulüne dayanır.

Nominal Dış Çap mm	Askı mesafesi, m		Çubuk Ölçüsü mm
	Standart Çelik Boru ^(a)	Bakır Boru	
	su	buhar	
15	2.1	2.4	6.4
20	2.1	2.7	6.4
25	2.1	2.7	6.4
40	2.7	3.7	10
50	3.0	4.0	10
65	3.4	4.3	10
80	3.7	4.6	10
100	4.3	5.2	13
150	5.2	6.4	13
200	5.8	7.3	16
250	6.1	7.9	19
300	7.0	9.1	22
350	7.6	9.8	25
400	8.2	10.7	25
450	8.5	11.3	32
500	9.1	11.9	32

Kaynak : MSS standart SP-69'dan uyarlanmıştır.

^(a) Gerilme yığılması olan yerlerde (örneğin yoğun vana, pislik tutucu, çek valf, flanş vb. olan yerler) bu aralıklar kullanılmamalıdır.

Tablo 2. Boru Askı Mesafeleri ve Düz Borular İçin Askı Çubuğu Ebatları.

Diğer yandan eğer boru dış yüklerle de maruz kalacaksa (örneğin yol geçişleri), kılıf boru kullanımı, et kalınlığının bu bölgelerde artırılması gibi ilave önlemler alınmalıdır.

Gerilme ve Basınç Dayanımı

Yukarıda belirtildiği üzere tesisat sistemlerinde gerilme (stress) hesaplarına nadiren ihtiyaç duyulmakla birlikte, bu hususun açıklanmasında yarar bulunmaktadır. Gerilme analizinde dikkate alınması gereken başlıca hususlar; (1) İç basınçtan kaynaklanan radyal gerilme, (2) İç basınç ve ağırlıktan kaynaklanan uzunlamasına gerilme, (3) Genleşme ve büzüşmeden kaynaklanan gerilmelerdir. Dış yükler altında borunun davranışı ilave hesaplar gerektirir, ancak burada bu konu üzerinde durulmamıştır.

3. Çelik Borular

Çelik borular için burada ASME B31 (ABD) standardı esas alınmış olmakla birlikte, bunların bir kısmının TSE karşılıkları bulunmaktadır. Malzemenin minimum gerilme direncinin dörtte birine denk gelen müsaade edilebilir gerilme (S) boru et kalınlığının hesaplanmasında kullanılır.

İç basıncın sebep olduğu çevresel gerilme, tasarıma esas olan gerilmedir. Bazı şekillendirme yöntemleri ana malzemenin daha zayıf dikiş oluşturabileceği için ASME Standardı B31.9, birleşme yeri verimlilik faktörü (E) tanımlamıştır. Bu faktör, müsaade edilebilir maksimum gerilme ile çarpıldığında basınç altında maksimum müsaade edilebilir gerilme değerini (S_E) verir. Bir çok uygulamada birleşme yeri verimlilik faktörü çok önemlidir. Dikişsiz borunun birleşme yeri verimlilik faktörü 1 iken dikişli vb borularda bu değer çok daha küçüktür. Örneğin alın kaynaklı borunun birleşme yeri verimlilik faktörü 0.60'dır ve maksimum müsaade edilebilir gerilme sınırı bu değere düşürülür (S_E = 0.6S).

Denklem (1), belli bir iç basınç için minimum et kalınlığını, Denklem (2) ise belli bir et kalınlığı için izin verilen maksimum basıncı belirler.

$$t_m = \frac{PD}{2 S_E} + A$$

$$P = \frac{2 S_E (t_m - A)}{D}$$

Burada,

t_m = Minimum gerekli et kalınlığı, mm
S_E = Maksimum izin verilebilir gerilme, kPa
D = Boru dış çapı, mm
A = İmalat toleransı, dış ve yiv açma veya korozyon için emniyet payı, mm
P = İç basınç, kPa'dır.

Her iki denklem de imalat toleransları, dış ya da yiv açma ve korozyonla kaybolan malzemeleri karşılamak üzere bir emniyet payı (A) içerir. HVAC sistemlerinde yaygın olarak kullanılan dikişsiz, alın kaynaklı ve elektrik direnci kaynaklı (ERW) dikişli borular için et kalınlığı %12.5'lik bir tolerans uygulanabilir.

Tablo 3, çelik borular için çalışma basıncında %12.5'lik bir tolerans, dış derinliği için bir emniyet payı ile 66 mm ve üzeri borular için 1.65 mm, 500 mm ve aşağısı borular için 0.64 mm'lik bir korozyon payı kullanılarak hesaplanır. Korozyonun daha fazla ya da daha az olduğu durumlarda basınç sınıfı denklem (2) kullanılarak yeniden hesaplanabilir.

100 mm ve aşağı çapta sürekli kaynaklı (CW) boruların yerine ERW ya da dikişsiz boru, 125 mm ve yukarı çaptaki için ERW borularının yerine dikişsiz boru kullanarak (daha yüksek birleşme yeri verimlilik faktörleri nedeniyle) ya da daha kalın etli boru kullanılarak Tablo 3'de gösterilen yüksek basınç sınıflarına geçilebilir.

Basınç, ağırlık ve diğer kuvvetlerden kaynaklanan uzunlamasına gerilmelerin toplamı sistemin çalışacağı en yüksek sıcaklıkta izin maksimum müsaade edilebilir gerilmeyi (S) aşmamalıdır. Basınçtan kaynaklanan uzunlamasına gerilme, iç basıncın sebep olduğu çevresel gerilmenin yaklaşık yarısına eşittir. Genleşme ve büzüşmeden kaynaklanan gerilmeler dinamik nitelikte olup, denklem (3)'deki gibi hesaplanabilir. Borular için maksimum müsaade edilebilir gerilmeler, daha sonra, Tablo 10'da, gösterilmiştir.

$$S_A = 1.25 S_c + 0.25 S_h \quad (3)$$

Burada,

S_A = İzin verilebilir gerilme, kPa
S_c = Sistemin maruz kalacağı en düşük sıcaklıktaki müsaade edilebilir gerilme, kPa
S_h = Sistemin maruz kalacağı en yüksek sıcaklıkta müsaade edilebilir gerilme, kPa

3.1. Dikişli Veya Dikişsiz Çelik Borular

Çelik borular çeşitli proseslerde üretilir; delme ya da kalıp çekme yoluyla imal edilen dikişsiz boruda uzunlamasına dikiş yoktur.

ABD	SI	Yüzey alanı						Kesit		Ağırlık		İşletme basıncı ^(c) ASTM A 53 B 200 °C		
Nominal Çap, in	Nominal Çap, mm	Liste ^(a)	Et kalınlığı t, mm	İç çap d, mm	Dış m ² /m	İç m ² /m	Metal alanı mm ²	Akış alanı mm ²	Boru kg/m	Su kg/m	Kaynak prosesi	Birleşme Tipi ^(b)	kPa (ölçü)	
1/4	8	40 ST	2.24	9.25	0.043	0.029	80.6	67.1	0.631	0.067	CW	T	1296	
		80 XS	3.02	7.67	0.043	0.024	101.5	46.2	0.796	0.046	CW	T	6006	
3/8	10	40 ST	2.31	12.52	0.054	0.039	107.7	123.2	0.844	0.123	CW	T	1400	
		80 XS	3.20	10.74	0.054	0.034	140.2	90.7	1.098	0.091	CW	T	5654	
1/2	15	40 ST	2.77	15.80	0.067	0.050	161.5	196.0	1.265	0.196	CW	T	1476	
		80 XS	3.73	13.87	0.067	0.044	206.5	151.1	1.618	0.151	CW	T	5192	
3/4	20	40 ST	2.87	20.93	0.084	0.066	214.6	344.0	1.68	0.344	CW	T	1496	
		80 XS	3.91	18.85	0.084	0.059	279.7	279.0	2.19	0.279	CW	T	4695	
1	25	40 ST	3.38	26.64	0.105	0.084	318.6	557.6	2.50	0.558	CW	T	1558	
		80 XS	4.55	24.31	0.105	0.076	412.1	464.1	3.23	0.464	CW	T	4427	
1-1/4	32	40 ST	3.56	35.05	0.132	0.110	431.3	965.0	3.38	0.965	CW	T	1579	
		80 XS	4.85	32.46	0.132	0.102	568.7	827.6	4.45	0.828	CW	T	4096	
1-1/2	40	40 ST	3.68	40.89	0.152	0.128	515.5	1 313	4.05	1.313	CW	T	1593	
		80 XS	5.08	38.10	0.152	0.120	689.0	1 140	5.40	1.140	CW	T	3972	
2	50	40 ST	3.91	52.50	0.190	0.165	690.3	2 165	5.43	2.165	CW	T	1586	
		80 XS	5.54	49.25	0.190	0.155	953	1 905	7.47	1.905	CW	T	3799	
2 -1/2	65	40 ST	5.16	62.71	0.229	0.197	1 099	3 089	8.62	3.089	CW	W	3675	
		80 XS	7.01	59.00	0.229	0.185	1 454	2 734	11.40	2.734	CW	W	5757	
3	80	40 ST	5.49	77.93	0.279	0.245	1 438	4 769	11.27	4.769	CW	W	3323	
		80 XS	7.62	73.66	0.279	0.231	1 946	4 261	15.25	4.261	CW	W	5288	
4	100	40 ST	6.02	102.26	0.359	0.321	2 048	8 213	16.04	8.213	CW	W	2965	
		80 XS	8.56	97.18	0.359	0.305	2 844	7 417	22.28	7.417	CW	W	4792	
6	150	40 ST	7.11	154.05	0.529	0.484	3 601	18 639	28.22	18.64	ERW	W	4799	
		80 XS	10.97	146.33	0.529	0.460	5 423	16 817	42.49	16.82	ERW	W	8336	
8	200	30	7.04	205.0	0.688	0.644	4 687	33 000	36.73	33.01	ERW	W	3627	
		40 ST	8.18	202.7	0.688	0.637	5 419	32 280	42.46	32.28	ERW	W	4433	
		80 XS	12.70	193.7	0.688	0.608	8 234	29 460	64.51	29.46	ERW	W	7626	
10	250	30	7.80	257.5	0.858	0.809	6 498	52 060	50.91	52.06	ERW	W	3344	
		40 ST	9.27	254.5	0.858	0.800	7 683	50 870	60.20	50.87	ERW	W	4178	
		XS	12.70	247.7	0.858	0.778	10 388	48 170	81.39	48.17	ERW	W	6116	
		80	15.06	242.9	0.858	0.763	12 208	46 350	95.66	46.35	ERW	W	7453	
		30	8.38	307.1	1.017	0.965	8 307	74 060	65.09	74.06	ERW	W	3096	
12	300	ST	9.53	304.8	1.017	0.958	9 406	72 970	73.70	72.97	ERW	W	3641	
		40	10.31	303.2	1.017	0.953	10 158	72 190	79.59	72.21	ERW	W	4020	
		XS	12.70	298.5	1.017	0.938	12 414	69 940	97.28	69.96	ERW	W	5157	
		80	17.45	289.0	1.017	0.908	16 797	65 550	131.62	65.57	ERW	W	7419	
14	350	30 ST	9.53	336.6	1.117	1.057	10 356	88 970	81.15	88.96	ERW	W	3316	
		40	11.10	333.4	1.117	1.047	12 013	87 290	94.13	87.30	ERW	W	3999	
		XS	12.70	330.2	1.117	1.037	13 681	85 610	107.21	85.63	ERW	W	4695	
		80	19.05	317.5	1.117	0.997	20 142	79 160	157.82	79.17	ERW	W	7453	
16	400	30 ST	9.53	387.4	1.277	1.217	11 876	117 800	93.06	117.8	ERW	W	2903	
		40 XS	12.70	381.0	1.277	1.197	15 708	114 000	123.09	114.0	ERW	W	4109	
18	450	ST	9.53	438.2	1.436	1.376	13 396	150 800	104.98	150.8	ERW	W	2579	
		30	11.10	435.0	1.436	1.367	15 556	148 600	121.90	148.6	ERW	W	3110	
		XS	12.70	431.8	1.436	1.357	17 735	146 450	138.97	146.4	ERW	W	3654	
		40	14.27	428.7	1.436	1.347	19 863	144 300	155.65	144.3	ERW	W	4185	
20	500	20 ST	9.53	489.0	1.596	1.536	14 916	187 700	116.88	187.4	ERW	W	2324	
		30 XS	12.70	482.6	1.596	1.516	19 762	182 900	154.85	182.9	ERW	W	3289	
		40	15.06	477.9	1.596	1.501	23 325	179 400	182.78	179.4	ERW	W	4006	

^(a) Numaralar ve liste numaraları ASME standardı B36.10 M; ST = Standart; XS = ekstra mukavim.

^(b) T= Isıl işlem görmüş, W= Kaynaklı.

^(c) ASME B31.9 standardı için işletme basıncı, 100 mm'ye kadar sürekli kaynak (CW), bundan sonra elektrik direnç kaynağına göre besaplanmıştır.

Tablo 3. Çelik Borulara Ait Bazı Değerler.

ABD Nominal Çap, in	Et Tip	Et kalınlığı t, mm	Çap		Yüzey Alanı		Kesit		Ağırlık		İşletme basıncı (a,b,c) ASTM B88 120 °C	
			Dış D, mm	İç d, mm	Dış m ² /m	İç m ² /m	Metal alanı mm ²	Akış alanı mm ²	Boru kg/m	Su kg/m	MPa (ölçü)	
											yenı	eski
1/4	K	0.89	9.53	7.75	0.030	0.0244	24	47	0.216	0.047	5.868	11.004
	L	0.76	9.53	8.00	0.030	0.0250	21	50	0.188	0.050	5.033	9.432
3/8	K	1.24	12.70	10.21	0.040	0.0320	45	82	0.400	0.082	6.164	11.556
	L	0.89	12.70	10.92	0.040	0.0344	33	94	0.295	0.094	4.399	8.253
1/2	M	0.64	12.70	11.43	0.040	0.0360	24	103	0.216	0.103	3.144	5.895
	K	1.24	15.88	13.39	0.050	0.0421	57	141	0.512	0.141	4.930	9.246
	L	1.02	15.88	13.84	0.050	0.0436	48	151	0.424	0.151	4.027	7.543
	M	0.71	15.88	14.45	0.050	0.0454	34	164	0.302	0.164	2.820	5.282
5/8	K	1.24	19.05	16.56	0.060	0.0521	70	215	0.622	0.215	4.109	7.702
	L	1.07	19.05	16.92	0.060	0.0530	60	225	0.539	0.225	3.523	6.605
3/4	K	1.65	22.23	18.92	0.070	0.0594	106	281	0.954	0.281	4.668	8.757
	L	1.14	22.23	19.94	0.070	0.0628	75	312	0.677	0.312	3.234	6.061
1	M	0.81	22.23	20.60	0.070	0.0646	55	333	0.488	0.333	2.303	4.309
	K	1.65	28.58	25.27	0.090	0.0792	139	502	1.249	0.502	3.634	6.812
	L	1.27	28.58	26.04	0.090	0.0817	109	532	0.973	0.532	2.792	5.240
	M	0.89	28.58	26.80	0.090	0.0841	77	564	0.691	0.564	1.958	3.668
1-1/4	K	1.65	34.93	31.62	0.110	0.0994	173	785	1.543	0.785	2.972	5.571
	L	1.40	34.93	32.13	0.110	0.1009	147	811	1.316	0.811	2.517	4.716
1-1/2	M	1.07	34.93	32.79	0.110	0.1030	114	845	1.015	0.845	1.924	3.599
	DWV	1.02	34.93	32.89	0.110	0.1033	108	850	0.967	0.850	1.827	3.427
	K	1.83	41.28	37.62	0.130	0.1183	226	1 111	2.025	1.111	2.786	5.226
	L	1.52	41.28	38.23	0.130	0.1201	190	1 148	1.701	1.148	2.324	4.351
2	M	1.24	41.28	38.79	0.130	0.1219	157	1 181	1.399	1.182	1.896	3.558
	DWV	1.07	41.28	39.14	0.130	0.1228	135	1 203	1.204	1.203	1.627	3.048
2-1/2	K	2.11	53.98	49.76	0.170	0.1564	343	1 945	3.070	1.945	2.455	4.606
	L	1.78	53.98	50.42	0.170	0.1585	292	1 997	2.606	1.997	2.069	3.951
	M	1.47	53.98	51.03	0.170	0.1603	243	2 045	2.171	2.045	1.717	3.220
	DWV	1.07	53.98	51.84	0.170	0.1628	177	2 111	1.585	2.111	1.241	2.331
3	K	2.41	66.68	61.85	0.209	0.1942	487	3 004	4.35	3.004	2.275	4.268
	L	2.03	66.68	62.61	0.209	0.1966	413	3 079	3.69	3.079	1.917	3.592
	M	1.65	66.68	63.37	0.209	0.1990	337	3 154	3.02	3.154	1.558	2.917
	DWV	1.14	66.68	63.79	0.209	0.2014	281	3 239	2.51	3.239	1.241	2.331
3-1/2	K	2.77	79.38	73.84	0.249	0.2320	666	4 282	5.96	4.282	2.193	4.109
	L	2.29	79.38	74.80	0.249	0.2350	554	4 395	4.95	4.395	1.813	3.392
	M	1.83	79.38	75.72	0.249	0.2378	446	4 503	3.98	4.503	1.448	2.717
	DWV	1.14	79.38	77.09	0.249	0.2423	281	4 667	2.51	4.667	0.903	1.696
4	K	3.05	92.08	85.98	0.289	0.2701	852	5 806	7.62	5.806	2.082	3.903
	L	2.54	92.08	87.00	0.289	0.2733	714	5 944	6.39	5.944	1.738	3.254
	M	2.11	92.08	87.86	0.289	0.2761	596	6 063	5.33	6.063	1.441	2.703
	DWV	1.47	92.08	89.19	0.289	0.2815	478	6 247	4.27	6.247	1.083	2.003
5	K	3.40	104.78	97.97	0.329	0.3078	1084	7 538	9.69	7.538	2.041	3.827
	L	2.79	104.78	99.19	0.329	0.3115	895	7 727	8.00	7.727	1.675	3.144
	M	2.41	104.78	99.95	0.329	0.3139	776	7 846	6.94	7.846	1.448	2.717
	DWV	1.47	104.78	101.83	0.329	0.3200	478	8 144	4.27	8.144	0.883	1.655
6	K	4.06	130.18	122.05	0.409	0.3834	1610	11 699	14.39	11.70	1.965	3.682
	L	3.18	130.18	123.83	0.409	0.3889	1266	12 042	11.32	12.04	1.531	2.875
	M	2.77	130.18	124.64	0.409	0.3917	1108	12 201	9.91	12.20	1.338	2.510
	DWV	1.83	130.18	126.52	0.409	0.3975	737	12 572	6.59	12.57	0.883	1.655
8	K	4.88	155.58	145.82	0.489	0.4581	2309	16 701	20.64	16.70	1.972	3.696
	L	3.56	155.58	148.46	0.489	0.4663	1698	17 311	15.18	17.31	1.434	2.696
	M	3.10	155.58	149.38	0.489	0.4694	1484	17 525	13.27	17.53	1.255	2.351
	DWV	2.11	155.58	151.36	0.489	0.4755	1016	17 993	9.09	17.99	0.855	1.600
10	K	6.88	206.38	192.61	0.648	0.6050	4314	29 137	38.56	29.14	2.096	3.930
	L	5.08	206.38	196.22	0.648	0.6163	3212	30 238	28.71	30.24	1.544	2.903
	M	4.32	206.38	197.74	0.648	0.6212	2741	30 710	24.50	30.71	1.317	2.468
	DWV	2.77	206.38	200.84	0.648	0.6309	1771	31 680	15.83	31.62	0.841	1.579
12	K	8.59	257.18	240.00	0.808	0.7541	6705	45 241	59.93	45.15	2.096	3.937
	L	6.35	257.18	244.48	0.808	0.7681	5004	46 942	44.73	46.94	1.551	2.910
	M	5.38	257.18	246.41	0.808	0.7742	4259	47 686	38.07	47.69	1.317	2.468
	DWV	3.10	257.18	250.00	0.808	0.7803	2741	48 430	24.50	48.43	0.841	1.579

(a) Bağlantılarda lehim kullanılırsa basınç sınırlandırılmamıştır.

(b) İşletme basıncı ASME B31.9'a göre hesaplanmıştır. %5 korozyon payı (A) et kalınlığına ilave edilmiştir.

(c) Lehimli fittings kullanılmıyorsa yeni değerler kullanılmalıdır.

Tablo 4. Bakır Borulara Ait Bazı Değerler.

Ekleme yerleri için kullanılan alaşım	İşletme Sıcaklığı (°C)	İç işletme basıncı, kPa						
		Su ve korozif olmayan akışkan ve gazlar ^(a)						Doymuş buhar ve kondens
		Nominal boru ölçüsü (tipler K, L, M), mm						
		8 ila 25	32 ila 50	65 ila 100	125 ila 200	250 ila 300	8 ila 200	
50-50 kurşun alaşımı ^(b) (ASTM B32 Gr 50A)		38	1380	1210	1030	900	690	-
		66	1030	860	690	620	480	-
		93	690	620	520	480	350	-
		120	590	520	350	310	280	100
Antimuan geçme ^(c) (ASTM B32 Gr 50TA)		38	3450	2760	270	1860	1030	-
		66	2760	2410	1900	1720	1030	-
		93	2070	1720	1380	1240	970	-
		120	1380	1200	1030	930	760	100
540 °C üstünde eriyen ^(c) bronz alaşımlar		38 ila 93	(d)	(d)	(d)	(d)	(d)	-
		120	2070	1450	1170	1030	1030	-
		175	1860	1310	1030	1030	1030	830

Kaynak: ASME standart B31.9, bina içi borulama

⁽¹⁾ Yanıcı veya toksit gaz veya sıvılar

⁽²⁾ Gaz, buhar veya sıkıştırılmış hava (100mm üzeri çaplarda eğer basınç 140 kPa'yi geçmiyorsa).

^(a) Lebim bağlantı kullanılamaz.

^(b) Kullanım sırasında kurşun lebim kullanılamaz.

^(c) Bazı durumlarda antimuan lebim kullanılabilir.

^(d) İşletme sıcaklığı 93 °C'ye kadar olan durumlarda kullanılır.

Tablo 5. Bakır Boru Bağlantıları İçin İç İşletme Basınçları.

(Daha önce verildiği üzere dikiş faktörü 1'dir). Diğer imalat yöntemlerinde ise bir çelik şeridi ya da sacı bir silindire sarılır, dairesel hale getirildikten sonra uzunlamasına veya spiral olarak dikiş kaynağı ile birleştirilir. Sürekli (CW) alın kaynağı sürecinde yüksek sacın yüksek sıcaklıkta kenarları bir araya getirilip birleştirir.

Çelik borular standartlarda tanımlanan et kalınlıklarında imal edilirler. Çizelge numaraları ile sınıf gösterimleri birbirleriyle bağlantılı olsa da tüm boru ebatları için bunlar sabit değildir. ABD Standardı Çizelge 40 boruları, 250 mm'ye kadar aynı et kalınlığına sahiptir. 300 mm ve üzeri boru için et kalınlığı 100 mm'de sabit kalır. Aynı durum 200 mm'ye kadar yüksek mukavemetli (XS) borularla Çizelge 80 borularda da bulunmaktadır. 200 mm'den sonra (XS) boru 12.7 mm'lik bir et kalınlığına sahiptir. (Bazı çelik boruların özellikleri Tablo 3'de, örnek olarak verilmiştir).

Çelik borularda birleştirme; kaynakla, dişli, flanşlı veya yivli bağlantı elemanları kullanılarak yapılır. Diğer yandan takviyesiz kaynaklı T, dirsek vb. çatal bağlantıları ana boru hattını zayıflatır. Bu nedenle hem ana borunun hem de çatallanan boruların et kalınlığı, işletme basıncını karşılamaya yeterli değilse ilave takviye gerekebilir. ASME Standardı B31.1'de takviyenin gerekli olup olmadığını tespiti yönelik ifadeler verilmektedir. Ancak HVAC uygulamalarında 2.1 MPa'da (21 bar) 500 mm çapa kadar borular ve bransman elemanları herhangi bir takviye gerektirmez ve bu nedenle et kalınlığı hesaplarına nadiren ihtiyaç duyulur.

3.2. Dökme Demir ve Ductile Borular

Dökme demir boru Sınıf 4000 serisi olarak da bilinmektedir. Bu borular genellikle pis

su tesisatlarında kullanılırlar. Basınç dayanımı ve birleşim yerleri uygun olmadığı için bu borular basınç altında kullanılamazlar. Günümüzde pik boruların yerini savurma döküm basınçlı kelepçeli duktıl borular; font döküm boruların yerini ise kelepçeli basınçsız ductile borular almıştır. Duktıl boruların darbe ve basınç dayanımı pik borulara göre çok daha yüksektir. Bu borular daha az gevrek ve korozyon direnci açısından dökme demir borulara benzer niteliktedir. Yaygın olarak toprağa gömülen basınçlı su ana hatlarında, iç veya dış korozyonun önemli olduğu yerlerde bu borular kullanılabilir.

Duktıl borular farklı işletme koşulları için yedi farklı et kalınlığında imal edilirler. AWWA Standardı C150/A21.50 duktıl boruların kalınlıkları ve boru sınıfları ile boruların uygun seçimini kapsamaktadır.

3.3. Özel Sistemlere Ait Borular

Bazı boru sistemleri için ayrı yönetmelik ve standartlar geçerlidir. Bu borulardan bazıları aşağıda özetlenmiştir.

Kazan boruları: ASME Standardı B31.1 ve ASME Kazan ve Basınçlı Kap Yönetmeliği (Kısım 1) buhar ile 100 kPa'nın üzerinde çalışan veya su ile 1.1 MPa veya 120°C'nin üzerinde çalışan kazanlardaki borulardır. Bu yönetmelikler ayrıca üreticiler ve yüklenicilerin bu tür işler için belgelendirilmiş olmasını şart koşmaktadır. (Türkiye'de de işletmede tehlike arzeden buhar kazanları ve yüksek basınçlı su kazanları atölye çalışmaları devam ederken Türk Loydu tarafından görevlendirilen denetçiler tarafından denetlenirler).

Soğutma boruları: ASME Standardı B31.5 Soğutucu Boruları ve ASHRAE Standardı

15, Mekanik Soğutma için Standart Güvenlik Yönetmeliği, soğutucu borularının özelliklerini kapsamaktadır.

Gaz boruları: NFPA Standardı 70/ANSI Z223.1 ve Ulusal Yakacak Gazı Yönetmeliği binalardaki gaz borularının özelliklerini kapsamaktadır.

4. Bakır Borular

Korozyona karşı dirençli olduklarından ve montajları kolay yapılabildiklerinden bakır ve bakır alaşımları HVAC sistemlerinde kullanılabilir. Ancak Türkiye'de bakır boruların kullanım oranı düşüktür ve genellikle küçük ölçekli tesislerde kullanılırlar. Bunun nedeni çelik ve plastik borulara göre çok daha pahalı olmasıdır. Bakır boruların iki ana sınıfı bulunmaktadır. ASTM Standardı B88 su ve drenaj sistemleri için K, L, M ve DWV tiplerini; ASTM Standardı B280 ise soğutma sistemleri için (ACR) tiplerini içermektedir.

Tablo 4 K, L, M ve DWV tipleri bakır borular için azalan et kalınlıklarını gösterir. Bakır borular lehimleme, pirinçleme, dövme ya da dökme bakır kılcal soket-uçlu bağlantı elemanları ile birleştirilebilir.

Tablo 5'te lehimlenmiş ve pirinçlenmiş birleşim yerlerinin basınç-sıcaklık sınıfı gösterilmiştir. Küçük bakır borular ayrıca kıvrıma ya da sıkıştırma elemanlarıyla da birleştirilebilir. Sert çekilmiş borular, tavlannmış borulardan daha yüksek mücadele edilebilir gerilme dayanımına sahiptir.

Pirinç ve bakır borular, dış açma amacıyla boru et kalınlığında da imal edilebilir. Ancak yüksek maliyet, bu malzemeleri, özel uygulamalar hariç piyasadan uzaklaştırmaktadır. HVAC sistemlerinde genel olarak L ve M

Malzeme			Çekme Gerilmesi MPa (23°C'de)	Hidrostatik test gerilmesi ^(b) MPa (23°C'de)		Üst sıcaklık limiti, °C		HDS üst limit ^(b) MPa	Yoğunluk, kg/m ³	Çarpma gerilmesi N (23°C'de)	Elastiklik modülü GPa (23°C'de)	Genleşme katsayısı (µm/m.K)	Isıl İletkenlik W/(m.K)	Bağlı boru maliyeti ^(c)
Tasarım	Tip ve Grade	Liste No.		Mfr.	ASME B31	Mfr.	ASME B31							
Termoplastikler														
PVC 1120	TI,G1	12454-B	52	14	14	60	66	3.0	1400	43	2.90	54	0.159	1.0
PVC 1200	TI,G2	12454-C			14		66				2.83	63		
PVC 2120	TII,G1	14333-D			14		66					54		
CPVC 4120	TIV,G1	23447-B	55	14	14	99	99	2.2	1550	80	2.92	63	0.137	2.9
PB 2110	TII, G1		33	7	7	82	82	3.4	930		0.26	130	0.26	2.9
PE 2306	Gr.P23				4.3		60				0.62	144		
PE 3306	Gr. P34				4.3		70				0.90	126		
PE 3406	Gr. P33				4.3		82				1.03	108		
HDPE 3408	Gr. P34	355434-C	34	11	5.5	60	82	5.5	960	640	0.76	216	0.389	1.1
PP			34	4.9		100	99		910	70	0.83	108	0.187	2.9
ABS	Duroplastlar	6-3-3	38			80			1060	450	1.65	101	0.245	3.4
ABS 1210	TI,G2	5-2-2			7		82	4.4			1.72	99		
ABS 1316	TI,G3	3-5-5			11		82	6.9			2.34	72		
ABS 2112	TII, G1	4-4-5			8.6		82	5.5				72		
PVDF			48	8.8		138	135	2.1	1780	200	0.86	142	0.115	28.0
Termosetler														
Epoksi Sınıf	RTRP -11AF		303	55		99		48		6.90	16 ila 23	0.418		
Polyester Sınıf	RTRP -12EF		303	62		93		34			6.90	6 ila 20	0.187	
Karşılaştırma için														
Çelik	A 53 B	ERW	413		88		427	63	7800	1600	190	11.4	49.6	1.3
Bakır	Tip L	Soğuk çekilmiş	248		62		204	56	8900		117	17.1		3.5

(a) Listeler belirli plastik malzemeleri içindir. Farklı malzemeler için imalatçıların görüşü alınarak seçim yapılmalıdır.

Buradaki değerler karşılaştırma amaçlıdır.

(b) Hidrostatik Tasarım Gerilmesi (HDS) müsaade edilebilir gerilmeye eşittir.

(c) Boru maliyetine nakliye, fittingsler, askılar ve işçilik dahil değildir.

(d) İşletme sıcaklığı 93 °C'ye kadar olan durumlarda kullanılır.

Tablo 6. Plastik Borulara Ait Bazı Özellikler.

tipi bakır borular kullanılır. Bunların bağlantı elemanlarında kullanılan lehim birleşme yerlerinden daha yüksek dış çalışma basıncı vardır. K tipi, yüksek basınç-sıcaklık gereklilikleri için kullanılabilir. M tipi, fazla dış yüklere maruz kaldığı durumlarda dikkatle kullanılmalıdır. Diğer yandan bakır ve pirinç borular amonyaklı soğutucu sistemlerde kullanılmaması tavsiye edilir.

5. Plastik Borular

Plastik borular HVAC sistemlerinde (özellikle yerden ısıtma sistemlerinde) ve sıhhi tesisat sistemlerinde giderek artan oranda kullanılmaktadır. Plastik borular çelik ve bakır borulara göre daha hafiftir, ucuzdur, montajı kolaydır ve korozyona dayanıklıdır. Ayrıca plastik boruların daha düşük sürtünme kayıp katsayısı ("C" faktörü) vardır. Bu durum pompa gücünün daha düşük seçilmesine ve/veya boru çapının daha küçük olmasına yardımcı olur. Çoğu durumda plastik borular 450 mm çapın altında diğer borularla rekabet edebilir niteliktedir. Buna karşın plastik boruların ana dezavantajları çevre sıcaklığından yüksek sıcaklıklarda dayanıklılığın hızlı şekilde kaybolması (genel olarak 80 °C'yi aşan sıcaklıklarda kullanılmamalıdır), darbe ve basınç dayanımının düşük olması, yüksek doğrusal genleşme katsayısına sahip olması, elastiklik modülünün düşük olmasıdır. Bu gibi sebeplerden dolayı plastik borular daha çok basıncın ve sıcaklığın düşük olduğu yerden ısıtma ve kombi ile ısıtma sistemleri, temiz su, pis su sistemleri gibi yerlerde

kullanılır. Ancak bu sistemlerde kullanılan plastik boruların (sistemdeki çelik aksam kısa zamanda korozyona uğrayabileceğinden) oksijen bariyerli olması tavsiye edilir ve bu husus projenin durumuna göre dikkate alınmalıdır. Ayrıca yangında zehirli ürünler yaydığı için bazı yerlerde, bazı cins plastiklerin kullanılması yasaklanmıştır.

Ancak (Türkiye Yangından Koruma Yönetmeliği'nde B2 sınıfına giren - normal alevlenici - plastik boruların tesisat sistemlerinde kullanımına kesin bir sınırlama getirilmemiştir). Ayrıca plastik borularla ilgili olarak zaman zaman hijyenle ilgili sorunlar gündeme gelmektedir.

Plastik boru malzemeleri termoplastikler ve termosetler olarak iki ana kategoriye ayrılır. Termoplastikler erir ve kalıptan çekme ya da kalıba dökme yoluyla yeniden şekillendirilebilirler. Çoğunlukla takviye edici filamanlar olmadan kullanılabilirler. Termosetler ise sertleşir ve yeniden şekillendirilemezler. Normal olarak cam lif takviye filamanları ile birlikte kullanılırlar. HVAC sistemlerinde kullanılan termoset borulara (1) takviyeli termoset reçinesi (RTR) ve (2) fiberglas takviyeli plastik (FRP) denir. RTR ve FRP birbiri yerine kullanılabilir ve genelde (1) fiberglas takviyeli epoksi reçinesi (2) fiberglas takviyeli vinil esteri ve (3) fiberglas takviyeli polyesterden yapılmış boru ve bağlantı elemanlarını kapsar. Epoksi reçinesinden yapılan boru ve bağlantı elemanları

genel olarak polyester ya da vinil esterinden yapılanlardan daha dayanıklıdır ve yüksek sıcaklıklarda çalışabilir. Bu nedenle HVAC sistemlerinde daha fazla kullanılırlar. Tablo 6'da plastik boru malzemelerinin özellikleri verilmiştir. Bu tablodaki çelik ve bakıra ilişkin değerler ise karşılaştırma amacıyla verilmiştir.

Genelde plastik boruların hepsi soğuk su için uygundur. Ancak sıcaklık ve/veya basınç arttıkça seçimde çok dikkatli davranılmalıdır. Plastik borular gevreklik tehlikesi olan malzemeden yapılmış sıkıştırılmış gaz veya hava için kullanılmamalıdır. Diğer sıvılar ve kimyasal maddeler için plastik boru imalatçıları tarafından verilen değerlere bakılmalıdır. Tablo 7'de bazı plastiklerin kullanım yerlerine ilişkin bilgiler verilmiştir. Tablo 6 ve 7'de yer alan bazı plastik malzemelerin özellikleri ve kullanım alanları aşağıda özetlenmiştir (Burada belirtilen durumların dışındaki kullanım için imalatçılardan onay alınmalıdır).

PVC (Polivinil Klorit): En düşük maliyete, en iyi özellik yelpazesine sahip olduğu için en yaygın kullanılan plastik cinsidir. Solvent çimentolama, dış açma ya da flanş kullanılarak birleştirilir. Büyük ebatlarda contalı tak çalıştır birleşme yerleri de yapılabilir. Ancak PVC borular 0°C'nin altında kırılabilir, 60°C'lere kadar kullanılabilir ve bu nedenle ısıtma tesisatında kullanılmamalıdır.

	PVC	CPVC	PB	HDPE	PP	ABS	PVDF	RTRP
Soğuk Su	R	R	R	R	R	R	R	R
Sıcak Su (60°C)	N	R	R	R	R	R	R	R
Kullanım Suyu	R	R	R	R	R	R	R	R
Yağmur, Pissu Sistemleri	R	R	N	-	R	R	-	-
Saf Su	R	R	-	-	R	R	R	-
Deiyonize Su	R	R	-	-	R	R	R	R
Tuzlu Su	R	R	R	R	R	R	-	R
Isıtma (93°C) Sıcak Suyu	N	N	N	N	N	N	-	N
Doğalgaz	N	N	N	R	N	N	-	-
Sıkıştırılmış Hava	N	N	-	R	N	R	-	-
Güneş ve Harici Hava Direnci	N	N	N	R	-	R	R	R
Yeraltı Sistemleri	R	R	R	R	R	R	-	R
Yiyecek Nakli	R	R	-	-	R	R	R	R

R= Tavsiye edilir N= Tavsiye edilmez - = Yeterli bilgi yok

^a seçim yapmadan önce uygun fittings birleştirme yerleri gibi hususlarda göz önünde tutulmalıdır.

Tablo 7. Plastik Boruların Kullanım Yerlerine İlişkin Bazı Tavsiyeler.

CPVC (Klorlu Polivinil Klorit): PVC ile aynı özelliklere sahiptir, ancak mukavemetini kaybetmeden önce daha yüksek sıcaklıklarda kullanılabilir. PVC'deki yöntemlerle birleştirilir.

PB (Polibütilen): Hafif ve esnek bir malzeme olup, 99°C'ye kadar kullanılabilir. Hem sıcak hem de soğuk sıhhi tesisat su borularında kullanılabilir. Isıl füzyon ya da mekanik yöntemlerle birleştirilir, 10 çaplık bir yarıçapa bükülebilir ve sargılar halinde temin edilebilir.

PE (Polietilen): Hafif ve yüksek yoğunluklu olmak üzere iki cinsi vardır. PE borular sıhhi tesisat sistemlerinde en sık kullanılan borulardır. Müsade edilen sıcaklık 80-85 °C civarındadır.

Düşük yoğunluklu polietilen (LDPE): Düşük sıcaklıklarda iyi kullanım özelliklerine sahip olan esnek ve hafif bir borudur. Yiyecek ve içecek sanayinde kullanılır. Sıkıştırma elemanları ya da tak çalıştır birleştirme parçaları veya kenetler yardımıyla birleştirilir.

Yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE): Olumsuz hava koşullarına dayanıklı bir malzemedir. Büyük ebatlarda ısıl füzyon yoluyla, küçük ebatlarda ise kıvrırma, sıkıştırma ya da geçme bağlantı elemanları yardımıyla birleştirilir.

PP (Polipropilen): Basıncılı uygulamalarda kullanılan hafif bir plastiktir. Isıl füzyon

yoluyla kolayca birleştirilir. Çok sayıda kimyasal maddeye karşı asal olduğundan kimyasal atık hatları için de uygundur. Sürekli çalışma basıncı 10 barı, sürekli çalışma sıcaklığı 60 °C'yi geçmemelidir. Kısa süreli çalışma sıcaklığı için 95 °C'ye kadar izin verilebilmektedir.

ABS (Akrilonitril Bütadiyen Stiren): Darbelere ve hava koşullarına karşı son derece dirençli bir malzemedir. Yiyecek ve içecek sanayinde ve bazı formülasyonları da sıkıştırılmış hava için kullanılabilir. Değişik bağlantı elemanları mevcuttur; solvent çimentolama, dış açma veya flanş yardımıyla birleştirilir.

PVDF (Poliviniliden Florit): Saf su sistemlerinde ve farmasötik sanayinde yaygın şekilde kullanılır. Geniş bir sıcaklık kullanım aralığına sahiptir. Ancak örneğin PVC'den 20 kat daha pahalıdır. Isıl füzyon yoluyla birleştirilir, daha küçük ebatlarda mekanik birleşme yerleri kullanılabilir.

Hem termoplastiklerin hem de termosetlerin, hidrostatik kaynaklı gerilmeden (HDS) türeyen bir müsade edilebilir gerilme değeri vardır. HDS, termoplastikler için ASTM Standardı D2837 ve fiber takviyeli termoset reçineleri için ASTM Standardı D2992'de belirtildiği üzere, statik ve dinamik yırtılma testi ile belirlenir. Bazı imalatçılar tarafından tavsiye edilen HDS değerleri Tablo 6'da verilmiştir. Plastik boruların et kalınlığı, daha önce

verildiği üzere müsade edilebilir gerilme değerleri ile,

$$t = \frac{PD}{2S} + A \quad (4)$$

Denklemleri kullanılarak hesaplanabilir. Burada, t = Et kalınlığı, mm
p = İç tasarım basıncı, kPa
D = Boru dış çapı, mm
A = emniyet payı, mm
S = Emniyet gerilmesi, kPa

Gerekli minimum et kalınlığı, hesaplanan tasarım et kalınlığına dış açma, yiv açma, erozyon ve korozyon için bir emniyet payı eklenerek bulunabilir.

Plastik boru malzemeleri için kullanılan polimerlerin çok sayıda formülasyonu ve her biri için farklı birleştirme yöntemi olduğu için imalatçıların tavsiyelerine uymak gerekmektedir. Birçok katalog, malzemenin dayanaacağı maksimum noktaya kadar çeşitli sıcaklıklarda boru ve bağlantı elemanları için basınç sınıflandırmalarını vermektedir.

6. Metalik Borularda Bağlantı ve Destek Elemanları

6.1. Bağlantı Elemanları

Bağlantı elemanları ve flanşların boyutları ve basınç sınıfları için standartlara ve imalatçı kataloglarına başvurulabilir (Burada verilen bağlantı elemanları plastik borularda da kullanıldığından bu konuya ayrıca değinilmemiştir).

Diş Açma: Küçük çaplı çelik ya da pirinç boruların birleştirilmesinde en yaygın yöntem diş açmadır. Ancak standarttan daha az et kalınlığı olan borulara diş açılmamalıdır.

Lehimleme ve Pirinçleme: Bakır borular çoğunlukla lehimleme ya da pirinçleme soket uçlu bağlantı elemanları ile birleştirilir. Pirinçleme malzemeleri 540°C'nin üzerinde erir ve lehimden daha güçlü bir birleşme sağlar. Tablo 5'te lehimlenen ve pirinçlenen bakır boru birleşimlerine ilişkin değerler verilmektedir. Diğer yandan sağlıkla ilgili sorunlar ortaya çıkabileceği endişesiyle birçok yerde içme suyu sistemlerinde boruların birleştirilmesinde kurşun içeren lehimleri yasaklamıştır.

Kıvrırma ve Sıkıştırmalı Birleştirme: Bakır, çelik, paslanmaz çelik ve alüminyum boruları birleştirmek için kıvrırma ve sıkıştırma vb. bağlantı elemanları kullanılabilir. Uygun sınıftaki bağlantı elemanları, birleşme yerlerini borunun kendisine yakın bir mukavemette tutabilir.

Çubuk Çapı mm	Çubuğun çekirdek kesit alanı mm ²	Maksimum yük ^(a) N
6.4	17.4	1070
10	43.9	2720
13	81.3	5030
16	130.3	8060
19	194.8	12100
22	270.3	16800
25	356.1	22100
32	573.5	35600

^(a) ASME standart B 31.1 ve MSS standart SP-58 gereğince çekirdek kesit için müsaade edilebilir gerilmeler %25 azaltılmıştır.

Tablo 8. Çelik Askı Çubuklarının Yük Taşıma Kapasiteleri.

Flanşlı birleştirme: Flanşlar genelde büyük çaplı çelik borularda kullanılmaktadır. Pompa vana gibi ekipmanlara bağlantı yapmak Flanşlı bağlantılar pompa ve armatürlerin montaj ve demontajı için uygun bağlantı türleridir. Çelik borular için 17 MPa'ya kadar basınç sınıfına sahip flanşlar bulunabilmektedir. Ancak yüksek basınçlı flanşlı birleşme yerleri için yüksek gerilme değeri olan civatalar kullanılmaktadır.

Dökme demir ve yüksek eğilme gerilmelerini kaldıramayan malzemelerle en yaygın olarak tam baskılı conta ve yassı baskılı flanşlar kullanılır. Çelik borularda ise halka conta kalkık baskılı flanşlar tercih edilir. Çünkü bunlar conta üzerindeki sızdırmazlık basıncını artırarak sızıntıları önlemeye yardımcı olur. Özel uygulamalar için O-ring halkası ve halka birleşme yeri gibi başka baskılar da kullanılabilmektedir. Yassı baskılı, kalkık baskılı flanşlarda eşleşen flanş yüzeyleri arasında conta kullanılmak zorundadır. Contalar; kauçuk, sentetik elastomerler, mantar, lif, plastik, teflon, metal ya da bunların birleşiminden imal edilirler. Contanın, akışkana ve sistemin çalıştığı sıcaklık ve basınca uygun seçilmesi gerekir.

Kaynaklı birleştirme: Çelik boruların kaynaklanmış birleşme yerlerinin avantajları aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- * Contalı birleşme yerleri gibi yaşlanmaz, kurumaz ya da bozulmaz.
- * Contalı sistemlerle karşılaştırıldığında daha yüksek basınç, vibrasyon ve sıcaklıklara dayanabilir.
- * Kritik hizmetler için radyografi ve ultrason gibi tahribatsız kontrol yöntemleriyle test edilebilir.
- * Uzun vadeli güvenilirlik sağlar.

ASME Standardı B31 serisi ve ASME Kazan ve Basınçlı Kap Yönetmeliğinin ilgili kısımları kaynak konusunda kuralları getir-

mektedir. ASTM Standardı B31, tüm kaynakçıların ve kaynak prosedürü şartnamelerinin belgeli (kalifiye) olmasını şart koşturur. (Aynı durum Türkiye'de EPD Yönetmeliklerinde gaz hatları için de vardır) Kalifikasyon testleri ve ayrı prosedür gerektiren işler ASME Kazan ve Basınçlı Kap Yönetmeliği, Kısım IX'de belirtilmiştir. İmalatçı ya da yüklenici, kaynak prosedürü ve kaynakçılardan sorumludur. ASME Standardı B31.9, kaynakların gözle kontrolünü gerekli kılmakta ve kabul edilebilirlik limitlerini sıralamaktadır. HVAC sistemlerinde aşağıdaki kaynak süreçleri sıklıkla kullanılır:

SMAW - Muhafazalı metal çubuk ark kaynağı. Burada erimiş kaynak metali, elektrot kaplamasının buharlaşmasıyla muhafaza edilir.

GMAW - Gaz metal ark kaynağı, MIG olarak da adlandırılır. Elektrot, sürekli olarak beslenen bir teldir ve kaynak tabancası nozulundan gelen argon ya da karbon dioksit gazı ile korunur.

GTAW - Gaz tungsten ark kaynağı, TIG ya da Heliarc olarak da adlandırılır. Bu süreçte bir koruyucu gaz tarafından çevrelenmiş tungsten elektrot kullanılır. Kaynak malzemesi, kaplanmamış çubukla temin edilebilir.

Yivli birleştirme: Yivli birleşme yerleri, özel yivli bağlantı elemanlarını ve bir yivin boru ucuna geçirilmesini ya da kıvrılmasını gerektirir. Bu tip birleşme yerleri, çelik, dökme demir, duktıl demir, bakır ve plastik borularda kullanılabilir. Burada segmanlı bir kenet, yivlere ve iç basınç contayı sıkıştıracak şekilde tasarlanmış özel bir contaya geçirilir. Bazı kenetler, yanlış hizalanmayı ve termal hareketleri telafi edecek şekilde dil ile yiv arasında açıklık olacak biçiminde tasarlanmıştır. İmalatçıların verilerinde sıcaklık ve basınç sınırları bulunabilmektedir.

Manşonlu birleştirme: Başka bir mekanik birleşme biçimi ise borunun dış çapından daha büyük olan bir manşondur. Boru uçları, manşona sokulur ve contalar, boru ile kuplaj arasındaki halka şeklindeki yere kalafatlanarak tespit halkalarıyla yerinde tutulur. Bu birleşme yeri türü, bir dereceye kadar eksenel kaçık hizalanmaya izin verebilir. Ancak eksenel çekiş ya da yanal hareketi önleyecek şekilde tespit ya da sınırlanması gereklidir.

Kelepçe ile birleştirme: Duktıl demir boru, bir conta ve tespit halkası için adapte edilmiş bir kelepçe ile birleştirilir.

Virtualite birleştirme: Burada bir manşon boruların birleşme ağızlarının kenarına açılan yivlere oturtularak birleşme sağlanır. Bu birleşme şekli ile iki farklı cins (örneğin çelik ve plastik iki boru) boru kolayca birleştirilebilir.

Spigot/socket birleştirme: Burada birleşecek borunun birisinin ağzı genişletilir ve bu genişletilen ağıza diğer boru sokulur ve araya conta konularak sızdırmazlık sağlanır. Bu birleşme şekli ile iki farklı cins (örneğin çelik ve plastik iki boru) boru kolayca birleştirilebilir.

Viking-Thomson kaplinli birleştirme: Burada birleşecek borular alın altına getirilir, dış kısma bir manşon ve bilezik konulur ve sıkılarak konik geçme şeklinde birleşme ve sızdırmazlık sağlanır.

Takviyeli bağlantı elemanları: Takviyeli bağlantı elemanları, çatallanma ve ayrılma bağlantılarında kullanılır. Ek bir takviye olmaksızın doğrudan boruya kaynak yapılmasına izin verecek şekilde tasarlanır. Dişli, soketli ya da alın kaynaklı bağlantı elemanları mevcuttur.

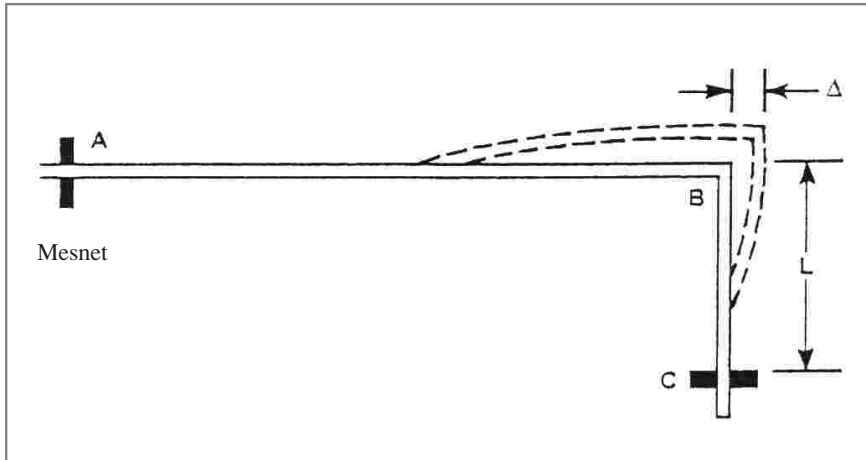
Ek elemanları: Ek elemanları, dişli boru sistemlerinin sökülüp takılmasını mümkün kılar. Ek elemanları, boru uçlarının dişlerine geçen iki eleman üzerinde eşleşen işlenmiş taşıma yüzeyi olan üç bileşenli bağlantı elemanlarıdır. Burada dişli bir kilitleme halkası iki ucu sıkıca bir arada tutar. Bir ek eleman, dişli borunun, ekipmanın iki elemanını birleştiren son birleşme yerinde döndürülmesine de izin verir.

6.2. Destek Elemanları

Boru destekleme elemanları; (1) yukarıdan destek veren askılar, (2) yükü aşağıdan kaldıran destekler, (3) saplamalar ve kılavuzlar gibi hareketi sınırlandırıp yönlendiren ve yüklere destek olan elemanlardan oluşur.

Doymuş buhar basıncı kPa (ölçü)	Sıcaklık °C	Doğrusal Isıl Genleşme, mm/m		
		Karbon çeliği	304 kalite paslanmaz çelik	Bakır
Vakum	-34	-0.16	-0.25	-0.27
	-29	-0.10	-0.17	-0.18
	-23	-0.05	-0.08	-0.09
	-18	0	0	0
	-12	0.07	0.09	0.10
	-7	0.13	0.18	0.20
	-100.7	0	0.20	0.31
	-100.7	4	0.25	0.38
	-100.0	10	0.32	0.47
	-99.3	16	0.38	0.57
	-98.6	21	0.44	0.66
	-97.9	27	0.51	0.75
	-96.5	32	0.57	0.85
	-94.5	38	0.63	0.94
	-89.6	49	0.76	1.14
	-81.4	60	0.88	1.33
	-69.0	71	1.02	1.50
	-49.6	82	1.14	1.71
	-22.1	93	1.27	1.92
	0	100	1.35	2.03
	17.2	104	1.41	2.10
	71.0	116	1.54	2.30
	142.7	127	1.68	2.49
	238.6	138	1.82	2.68
	360.6	149	1.96	2.88
	517.1	160	2.11	3.08
	712.3	171	2.25	3.28
	953.6	182	2.40	3.48
	1249	193	2.54	3.68
	1604	204	2.69	4.06
	9039	304	4.11	5.77
		404	5.67	7.72
		504	7.31	9.76

Tablo 9. Metal Borularda Isıl Genleşme.



Şekil 1. L Tipi Genleşme Parçası.

Boru destek sistemleri aşağıdakiler de dahil, statik ve dinamik yüklere karşı direnç göstermelidir.

- * Borunun, bağlantı elemanlarının, izolasyonun ve boru içindeki sıvının ağırlığı,
- * Buz, rüzgar ve sismik faktörler gibi zaman zaman ortaya çıkan dış yükler.
- * Boru dirsek ve döngülerinin termal genişmesi veya büzülmesinin sebep olduğu kuvvetler.
- * Sistemdeki birleşme yerlerinden kaynaklanan sürtünme ve basınç itki kuvvetleri,
- * Kılavuz ve desteklerin sürtünme kuvvetleri.
- * Su darbesi, vibrasyon ve boşaltma vanalarının vb. kuvvetleri ve yükleri.
- * Test basıncı ve kuvvetleri.

Boru destekleme elemanları, boruya bağlantı noktasındaki gerilme ve bina yapısı bakımından da değerlendirilmelidir. Boruya bağlantı noktasındaki gerilme, taban dirseği ve yatak destekler için özellikle önemlidir. Çünkü sınırlandırıcı ve kontrol edici parametre çoğunlukla yapısal ögenin dayanıklılığı değil, yerel gerilmeler ve boruya bağlantı noktasının durumudur.

ASME B31 standardı, boru destekleme elemanlarının tasarımına yönelik kriterleri belirlemektedir. Vana ve Bağlantı Elemanları Sanayi İmalatçılar Standardizasyon Derneği (MSS) boru askı ve desteklerinin tasarım, imalat, seçim ve montajına yönelik standartları belirlemiştir.

MSS Standardı SP-69 ve birçok imalatçının kataloğu, çeşitli askıları ve aksamalarını tanımlamakta ve farklı boru sistemlerinde kullanılacak türler hakkında bilgi vermektedir. Tavsiye edilen boru desteği mesafeleri daha önce, Tablo 2'de verilmiştir. Tablo 8'de ise çelik çubuklar için güvenli yük değerleri gösterilmektedir.

HVAC sistemlerinde çoğu boru destekleme elemanının üzerindeki yükler orta düzeydedir. Bu nedenle imalatçının katalog verilerine uygun şekilde güvenli biçimde seçilebilir. Bununla birlikte, birleşme yerlerinde yüksek işletme basıncında kullanıldığı durumlarda (özellikle çok katlı binalarda ve büyük çaplı borularda) yük ve kuvvetler çok fazla olabilir. Dolayısıyla tüm sapsamalar ve boru destek elemanları aşağıdakine benzer durumlarda daha dikkatli tasarlanmalıdır.

- * 100 kPa'nın üzerinde çalışan buhar sistemleri.
- * 1.1 MPa ya da 120 °C'nin üzerinde çalışan hidronik sistemler.
- * 10 kat ya da 30 m'nin üzerindeki binalar,

ASTM spesifikasyon	Grade	Tip	İmalat yöntemi	Bulunabilen ölçü, mm	Minimum çekme gerilmesi ^(a) MPa	Temel mücade edilebilir gerilme S, MPa	Birleşme verim faktörü E	Mücade edilebilir gerilme ^(b) S _E , MPa	Mücade edilebilir gerilme aralığı ^(c) S _A , MPa
A53 Çelik	-	F	Sürekli kaynak	15-100	310	77.5	0.6	46.5	117
A53 Çelik	B	B	Dikişsiz	15-660	413	103	1.0	103	155
A53 Çelik	B	E	ERW	50-500	413	103	0.85	87.6	155
A106 Çelik	B	S	Dikişsiz	15-660	413	103	1.0	103	155
B88 Çelik	-	-	Soğuk çekme	8-300	248	62	1.0	62	93.1

(a) Listedeki gerilmeler çelik borular için 340 °C'ye kadardır. (Tip F için 205°C) ve bakır borular için 120 °C'dir

(b) İç basınçtan kaynaklanan gerilmeler için denklem (1) ve (2) kullanılır.

(c) Flexibilite hesapları için denklem (3) ve (4) kullanılır.

Tablo 10. Metal Borular İçin Mücade Edilebilir Gerilme.

- * Genişletme birleşme yerleri olan sistemleri, özellikle 80 mm ya da daha büyük çaptaki borular.
- * 300 mm'den büyük çaplı borular.
- * 44 kN'den daha büyük saplama yükleri.
- * Boru ya da yapı üzerinde 1.5 kNm'yi aşan moment hali.

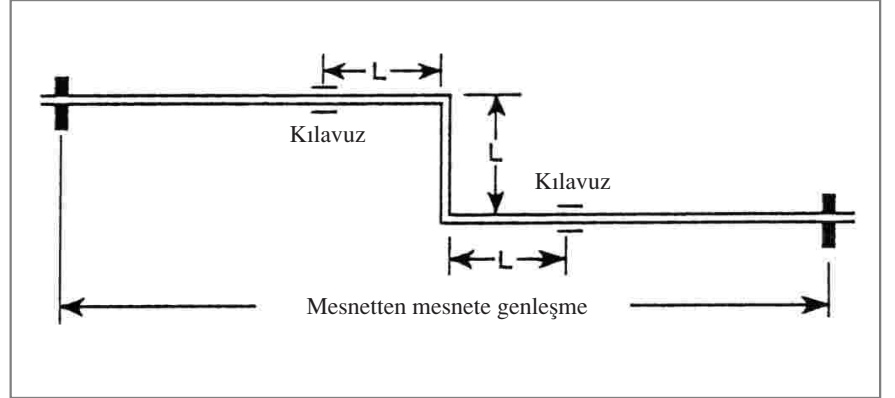
Ayrıca boru sistemlerinde (özellikle yangın sistemleri) boru askıları depreme karşı gerekli güvenliği sağlayacak nitelikte ve dört yönlü askı şeklinde olmalıdır. (Bu konuda Türkiye Yangından Korunma Yönetmeliğine de bakılmalıdır).

7. Borularda Genleşme

Sıcaklıklardaki değişiklikler borularda boyutsal değişikliklere yol açar. Tablo 9, HVAC sistemlerinde yaygın olarak kullanılan metal boruların ısı genleşme miktarlarını göstermektedir. Buhar ve sıcak su gibi yüksek sıcaklıklarda çalışan sistemlerde genleşme fazla olup, önlem alınmadığı takdirde önemli problemler meydana gelebilir. Buna karşın 5 ila 40°C aralığında çalışan sulu sistemler için genleşme oranları düşük kalmakla beraber, uzun boru hatlarında ve yüksek binalarda meydana gelebilir. Bu nedenle basınç, sıcaklık, ağırlık ve diğer yüklere ilişkin tasarım ihtiyaçlarına ek olarak, boru sistemleri örneğin aşağıdaki gibi problemleri önlemek amacıyla termal ve diğer hareketleri karşılaması gerekir.

- * Boru ve desteklerinin aşırı gerilme ve yorgunluktan dolayı arıza yapması.
- * Birleşme yerlerinden sızıntı meydana gelmesi.
- * Bağlı ekipmanlarda yıkıcı kuvvetler ve gerilmeler meydana gelmesi.

Ucu sınırlandırılmamış bir boru en düşük gerilme seviyesinde çalışır. Ancak boru ağırlığını desteklemek ve ekipman bağlantılarını korumak için sapsamalar ve sınırlayıcılara ihtiyaç duyulur. Burada, mümkün olduğunca uzun ve düz borunun her iki ucu genleşmeyi engelleyecek şekilde sabitlenmelidir. Diğer bir ifade ile boruların termal değişikliklere bağlı olarak genleşmesine veya



Şekil 2. Z Tipi Genleşme Parçası.

büzüşmesine izin verilmelidir. Bunun için dirsekler ve döngüler tasarlanarak veya birleşme yerleri kullanılarak yeterli esneklik sağlanmalıdır.

Pompa gibi dönen ekipmanlara aktarılan mesnet reaksiyonları ekipman kaidesini bozabilir, yanlış hizalanmaya ve sonuçta aksamın arızalanmasına sebep olabilir. Dolayısıyla cihazlara binebilecek kuvvetler ve oluşabilecek hareketler hakkındaki imalatçı tavsiyelerine uyulmalıdır.

8. Dirsekler ve Yön Değiştirmeler

Ayrıntılı gerilme incelemesi matematiksel analizler yapılmasını gerektirebilir. Günümüzde artık bu işlemler bilgisayar programlarıyla yapılmaktadır. Bununla birlikte, böylesi analizlere çoğu bina mekanik tesisat sistemleri için gerek yoktur. Çünkü boru düzenlemeleri ve bunların çalıştığı sıcaklık aralıkları kolaylıkla tablolar vb yardımcı ile düzenlenebilir. Borulardaki genleşmeyi karşılamak için çeşitli esnek mesnet ve yön değiştirme elemanları kullanılabilenekte olup bunlardan bazıları aşağıda verilmiştir. Bunlar L dirsekler, Z dirsekler, boru döngüleri, çatallanma bağlantıları ve bazı karmaşık boru konfigürasyonlarıdır.

L Dirsekler: Denklem (5), Şekil 1'de gösterilen AB bacasının termal genleşmesi ya da büzüşmesini telafi etmek üzere ihtiyaç duyulan BC bacasının uzunluğunu hesaplamakta kullanılabilir.

$$L = \sqrt{\frac{3 D E}{S_A}}$$

Burada,

L = AB parçasının termal genişlemesini karşılayacak BC parçasının uzunluğu, mm

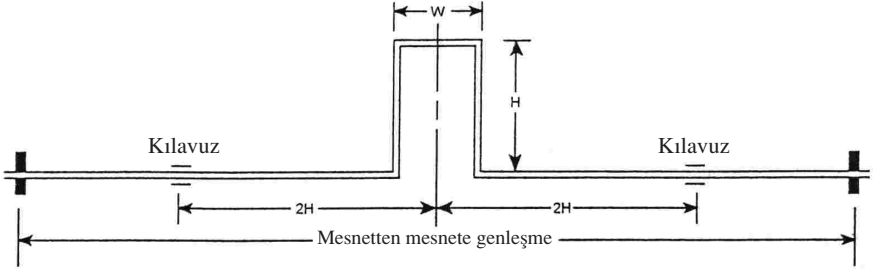
Δ = AB parçasının termal genleşme ya da büzüşmesi, mm

D = Boru dış çapı, mm

E = Elastiklik modülü, kPa

S_A = Mücade edilebilir gerilme aralığı, kPa

Yaygın olarak kullanılan A53 Sınıf B dikişsiz ya da ERW kaynaklı çelik boru için 155 MPa'ya kadar bir izin verilebilir gerilme (S_A) (bakınız Tablo 10) boruya aşırı gerilme bindirmeksizin kullanılabilir. Ancak bu, özellikle büyük çaplı borularda yüksek mesnet reaksiyonlarına sebep olabilir. 103 MPa'lık bir gerilme aralığı (S_A) tasarlanırsa ve E = 193 GPa olduğu kabul edilirse, Denklem (5), Denklem (6)'ya indirgenebilir. Denklem (5) ayrıca



Mesnetten mesnete genişleme

Boru dış çapı, mm	50		100		150		200		250		300	
	W	H	W	H	W	H	W	H	W	H	W	H
25	0.6	1.2	0.9	1.8	1.1	2.1	1.2	2.4	1.4	2.7	1.5	3.0
50	0.9	1.8	1.2	2.4	1.5	3.0	1.7	3.4	1.8	3.7	2.1	4.3
80	1.1	2.1	1.5	3.0	1.8	3.7	2.0	4.0	2.3	4.6	2.4	4.9
100	1.2	2.4	1.7	3.4	2.0	4.0	2.3	4.6	2.6	5.2	2.7	5.5
150	1.5	3.0	2.0	4.0	2.4	4.9	2.7	5.5	3.0	6.1	3.4	6.7
200	1.7	3.4	2.3	4.6	2.7	5.5	3.2	6.4	3.7	7.3	4.0	7.9
250	1.8	3.7	2.6	5.2	3.0	6.1	3.5	7.0	4.0	7.9	4.3	8.5
300	2.0	4.0	2.7	5.5	3.4	6.7	3.8	7.6	4.3	8.5	4.7	9.4
350	2.1	4.3	2.9	5.8	3.5	7.0	4.0	7.9	4.6	9.1	4.9	9.8
400	2.3	4.6	3.0	6.1	3.8	7.6	4.3	8.5	4.9	9.8	5.3	10.7
450	2.4	4.9	3.4	6.7	4.0	7.9	4.6	9.1	5.2	10.4	5.6	11.3
500	2.6	5.2	3.5	7.0	4.3	8.5	4.9	9.8	5.5	11.0	5.9	11.9
600	2.7	5.5	3.8	7.6	4.4	8.8	5.3	10.7	5.9	11.9	6.4	12.8

Notlar : W ve H boyutlar, m; L Denklem (4)'den hesaplanır
 $W = L/5$, $H = 2W$, $2H+W=L$

Tablo 11. A53 Grade B Karbon Çelik Boru İçin 200 °C Sıcaklığa Kadar Genleşme Alma Örneği.

A53 standardı alın kaynaklı boru ve B88 çekme bakır boru için de kullanılabilir. Dolayısıyla, A53 sürekli (alın) kaynaklı, dikişsiz ve BRW borular ve B88 çekme bakır borular için,

$$L = 75 \sqrt{AD} \quad (6)$$

eşitliği yazılabilir. L dirsekleri tasarım herhangi bir sınırlama öngörmez. Bu nedenle borunun desteklenmesi konusunda dikkat etmek gerekir. Yatay L dirsekleri için genelde B noktasının (bakınız Şekil 1) yakınına bir destek yerleştirmek gerekir. Ayrıca A ve C noktaları arasındaki destekler boru hareketine minimal direnç göstermelidir. Bu ise askı aksamaları en fazla 4° bir salınmaya izin verecek şekilde seçilerek, yeterli uzunlukta sürgü plakaları ya da askı çubukları kullanılarak yapılabilir.

Hem dikey hem de yatay parça içeren L dirsekleri için yatay bölüm üzerindeki destekler, maksimum %25'lik bir yük değişimi ile normal işletme sıcaklığında borunun tam ağırlığını destekleyecek şekilde tasarlanmış yaylı askılar olmalıdır.

Bir L dirseğinde ortaya çıkan ve saplama ya da bağlı ekipman ile taşınması gereken kuvvet,

$$F = \frac{12 E_c I \Delta}{10^6 L^3}$$

Denklemleri ile belirlenebilir. Burada,
F = Kuvvet, kN
 E_c = Elastiklik modülü, kPa
I = Eylemsizlik momenti, mm⁴
L = Mesnetler arası uzunluk, mm
 Δ = Çubuk sehim, mm

Denklem (6)'yı kullanmak yerine 25 mm ya da daha fazla bir genleşme için Denklem (5)'e göre tasarlanan L dirsekleri için, her mm çap başına emniyetli kuvvet 90 N olarak alınabilir. Bunun anlamı örneğin 75 mm'lik bir borunun 6750 N'luk bir kuvvet geliştireceğidir.

Z Dirsekler: Şekil 2'de görülen Z dirsekler boru hareketlerini karşılamada son derece etkilidir. Z dirseklerini boyutlandırmanın basit yöntemi, Denklem (5)'teki bir L dirseği

için kullanılan değerlerin %65'i olacak şekilde tasarlamaktır. Bu ise,

$$L = 48.7 \sqrt{AD}$$

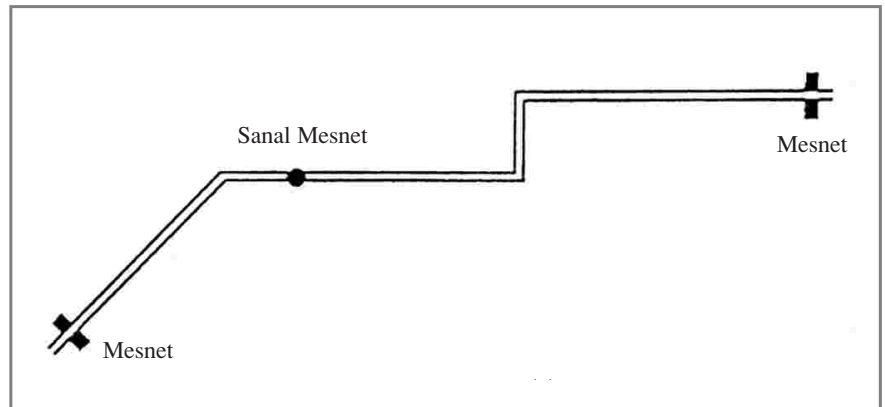
Sonucunu verir. Burada,
L = Uzunluk, mm

Δ = Mesnetten mesnete olan genleşme, mm
D = Boru dış çapı, mm

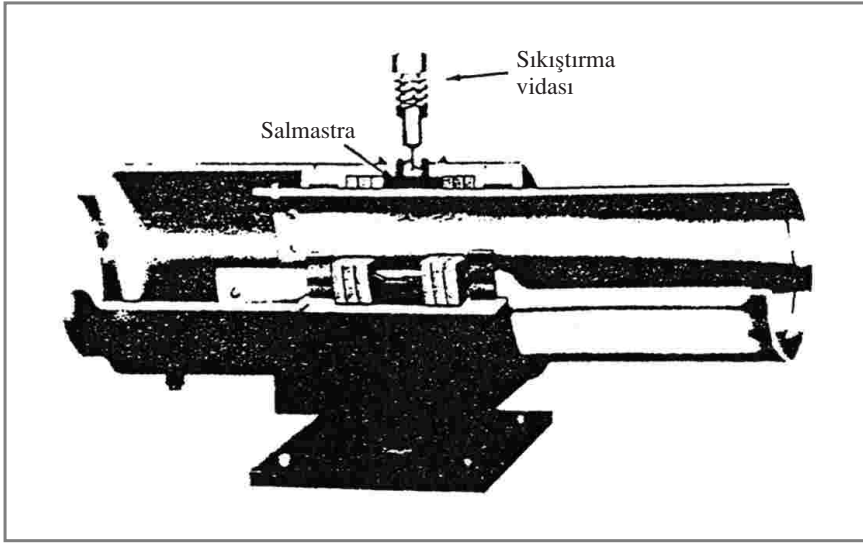
Bir Z dirseğinde gelişen kuvvet kabul edilebilir bir doğrulukla aşağıdaki gibi hesaplanabilir:

$$F = C_1 \Delta \left(\frac{D}{L} \right)^2 \quad (9)$$

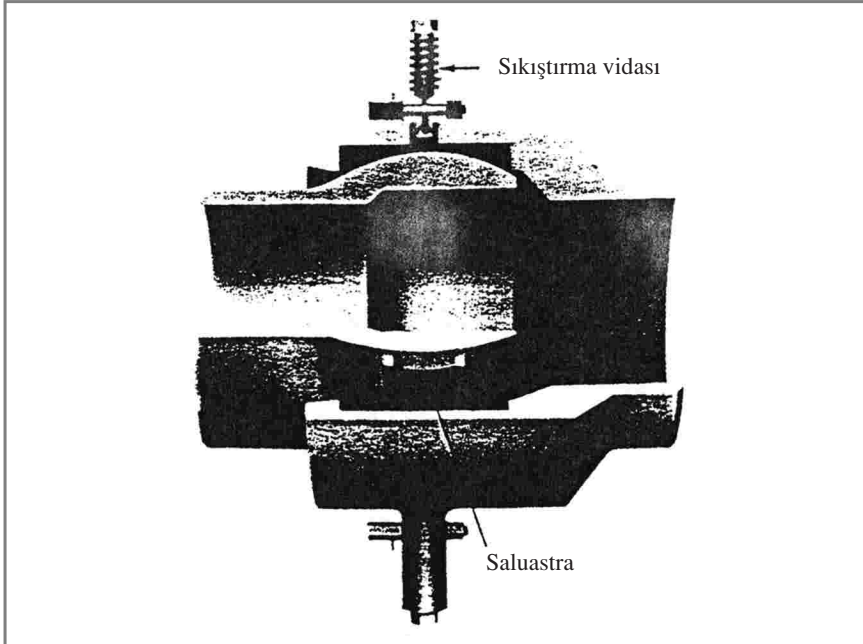
Burada,
 $C_1 = 101$ kN/mm
F = Kuvvet, kN



Şekil 3. Çoklu Tip Genleşme Alma Parçası.



Şekil 4. Salmastralı Kayar Genleşme Noktası.



Şekil 5. Esnek Küresel Birleşme Noktası.

D = Boru dış çapı, mm

L = Uzunluk, mm

Δ = Mesnetler arasındaki genleşme, mm

U Dirsekleri (Omega vb.) ve Boru Döngüleri: Boru döngüleri ya da U dirsekleri, uzun borularda yaygın olarak kullanılır. Boru döngülerini tasarlanmanın basit yöntemi, saplama saplamaya genleşmeyi hesaplamak ve Denklem (5)'i kullanarak bu hareketi karşılayacak uzunluğu (L) tespit etmektir. Boru döngüsü boyutları, $W = L/5$ ve $H = 2W$ kullanılarak tespit edilebilir.

Borunun kılavuzlar arasındaki uzunluğu, maksimum müsaade edilebilir askı mesafesini aştığı zaman L dirsekler hakkındaki bölümde anlatıldığı üzere kılavuzların, döngünün yüksekliğinin iki katından daha yakına yerleştirilmemesi ve kılavuzlar arasındaki boruların desteklenmesi gereklidir.

Tablo 11'de 25 mm ila 600 mm arasındaki boru çapları için boru döngüsü boyutları ile saplama saplamaya genleşme (veya büzüşme) verilmektedir.

Boru döngüsü kuvvetini hesaplamak üzere basit bir yöntem geliştirilmiş değildir. Bununla birlikte bu kuvvetin genel olarak düşük olduğu bilinmektedir. Emniyetli bir tahmin olarak milimetre başına 35 N kuvvet alınabilir. Yani 50 mm'lik bir boru 1.75 kN'luk, 300 mm'lik bir boru ise 10.5 kN'luk bir kuvvet geliştirecektir.

Mevcut boru konfigürasyonlarının incelenmesi: Boru sistemleri, en iyi bilgisayar gerilme analizi programları kullanılarak incelenebilir. Bu programlar gerilme, hareket ve yük gibi tüm verileri dikkate alarak analiz yapabilirler. Bununla birlikte, daha önce de belirtildiği üzere birçok HVAC sistemlerinde ayrıntılı analiz yapılmasına gerek yoktur. Tek ve çok düzlemliler için basit, ama tatmin edici bir yöntem, gerçek ya da varsayılan saplamalara sahip sistemi (Şekil 3'te gösterildiği üzere) L ve Z dirsekleri olarak değerlendirilebilecek tek düzlemliler birimlere bölmektir.

9. Borularda Esnek Genleşme Birleşme Yerleri ve Genleşme Parçaları

Boruların esnekliğini mümkün olduğunca kullanmak gerekli olmakla beraber, boru dirsekleri ya da döngüleriyle telafi edilemeyecek kadar büyük hareketler söz konusu olduğunda ya da yeterli ebatta bir döngü oluşturmak için yeterli yer bulunmadığında birleşme yerleri kullanılabilir. Yüksek binalarda düşeyde giden borular, büyük termal hareketlerin söz konusu olduğu buhar ve sıcak su boruları verilebilir. Esnek birleşme yerleri ve genleşme telafi edici düzenekler; eksenel ya da yanal hareketi karşılamakta (telafi etmekte) kullanılır. Hareketin karşılanmasına ilişkin eksenel yöntemde genleşme birleşme yeri düz bir hat parçasında mesnetler arasına monte edilir ve sadece eksenel hareketi karşılar. Her durumda genleşme birleşme yerlerinin, imalatçıların tavsiyelerine uygun olarak monte edilmesi, tespit edilmesi ve kılavuzlanması gereklidir.

Salmastralı genleşmeli birleşme yerleri: Sadece eksenel hareketi karşılamak üzere tasarlanmış iç içe geçme düzeneklerdir (bakınız Şekil 4). Birçok imalatçı aksi talep edilmedikçe asbest bazlı kalafat kullanır. Talaş granit gibi asbestsiz kalafatlar da mevcuttur. Daha pahalı olsalar da sağlık yönünden asbest içeren ürünlerin yerine bunların şart koşulmasında yarar bulunmaktadır.

Standart kaymalı genleşme birleşme yerleri, 40 ila 910 mm ebatlar, 2.1 MPa'ya varan basınçlar ve 425 °C'ye ulaşan sıcaklıklar için kaynak ya da flanş uçlarla karbon çelikten imalar edilirler. Daha büyük ebat, sıcaklık ve basınç için tasarlanan sistemler de mevcuttur.

Esnek küresel birleşme yerleri: Bu birleşme yerleri yanal ya da ofset hareketi telafi etmek için çiftler halinde kullanılırlar ve beklenen harekete dik bir bacağa monte edilirler. Yukarıda açıklanan kayma genleşme birleşme yerinin kalafatlama teknolojisi, esnek bilyalı birleşme yeri tasarımında da kullanılmaktadır (bakınız Şekil 5).

Standart esnek bilyalı birleşme yerleri, 32 ila 760 mm arasında ebatlarda dişli (32 ila 50 mm), kaynaklı ve flanşlı uçlar, 2.1 MPa'ya varan basınçlar ve 400 °C'ye ulaşan sıcaklıklar için elverişlidir. Ancak daha büyük boyut, sıcaklık ve basınç aralıklarında esnek bilyalı birleşme yerleri de vardır.

Metal körük genleşme birleşme yerleri: Bu genleşme birleşme yerlerinde hareketi bükülme ya da eğilme yoluyla telafi eden bir kalın etli sarmal bölüm vardır. Körük malzemesi genelde 304, 316 ya da 321 tip paslanmaz çeliktir, ancak işletme koşullarına göre başka malzemeler de yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu tip genleşme birleşme yerlerine HVAC sistemlerinde yaygın olarak rastlanır.

Aşırı basınç, yanlış kılavuzlama ve başka faktörler körük elemanını saptırabilir. Düşük basınçlı uygulamalarda bu saptırma, sarmalın geometrisi ya da körük malzemesinin kalınlığı ile kontrol edilebilir. Diğer yandan yüksek basınca tabi tutulan birleşme yerlerinin takviye edilmesi gerekebilir.

Tekli ve çiftli körük genleşme birleşme yerleri, kalafatlı kayma genleşme birleşme

yerlerine benzer şekilde, esasında eksenel hareketi telafi ederler. Körük genleşme birleşme yerlerinin bir dereceye kadar yanal hareketi karşılamasına karşın, körük genleşme birleşme yeri, büyük ölçüde yanal hareket telafi eder. Bu düzenek büyük ölçüde bir çift esnek bilyalı birleşme yeri gibi çalışır, tek fark esnek bilya elemanları yerine körük elemanları kullanılır.

Kauçuk genleşme birleşme yerleri: Tekli metal körük genleşme birleşme yerlerine benzer olarak kauçuk genleşme birleşme yerleri, metalik olmayan elastomerik bir körük eleman içerir. Genelde daha katı sıcaklık ve basınç kısıtlamalarına sahiptir. Her ne kadar kauçuk genleşme birleşme yerleri boruların genleşme ve büzüşmesini telafi etmekte kullanılabilirse de temel olarak ses ve vibrasyonu izole etmek ve ekipmanlardaki gerilmeleri gidermek amacıyla kullanılırlar.

Esnek hortum: Bu tür hortum takviye ve sınırlama amacına yönelik olarak dış bir örgüye sahip elastomerik malzeme ya da oluklu metalden imal edilebilirler. Esnek hortum temelde ses ve vibrasyonu izole etmek ve gerilmeleri gidermek için kullanılırlar.

BASINÇ DÖNÜŞÜMLERİ

1 Pa=1 N/m²
1 bar=1.0x10⁵ Pa
1 kPa=10³ Pa
1 MPa=10⁶ Pa
1 GPa=10⁹ Pa□

SEMBOLLER

A = İmalat toleransı, dış açma, yiv açma ve korozyon için iemniyet payı, mm
ASME= Amerikan Makina Mühendisleri Odası
ASHRAE=ABD Isıtma, Soğutma ve Klima Mühendisleri Derneği
AWWA= ABD Su Mühendisleri Derneği
C₁ = 101 kN/mm

W= Kaynak
CW = Sürekli kaynak
ERW=Elektrik ark kaynağı
D = Boru dış çapı, mm
E = Elastiklik modülü, kPa
F = Kuvvet, kN
L = Uzunluk, mm
P = İç basınç, kPa
S = Tasarım gerilmesi (HDS), kPa
S_E = Maksimum mücade edilebilir gerilme, kPa
S_c = Sistemin maruz kalacağı en soğuk sıcaklıkta mücade edilebilir gerilme, kPa
S_h = Sistemin maruz kalacağı en sıcak sıcaklıkta mücade edilebilir gerilme, kPa
S_A =Mücade edilebilir gerilme kPa
MSS= Vana ve Bağlantı Elemanları İmalatçıları Derneği,
HDS: Hidrostatik test gerilmesi,
T= Sıcaklık , °C, K
t = Et kalınlığı, mm
Liste = Schedule
Δ= Termal genleşme veya büzüşme, mm
PVC = Polivinil klorit
CPVC = Klorlu polivinil klorit
PB = Polibütilen
PE = Polietilen
PP = Polipropilen
ABS = Akrilonitril bütadiyen stiren
PVDF = Poliviniliden florit

KAYNAKLAR

- [1] ASHRAE HVAC Systems and Equipment Handbook 1998, Pipes, Tubes, and Fittings, Part 41.
- [2] Recknagel, Isıtma ve Klima El Kitabı, Oldenburg Verlag (TTMD Yayını No: 13), 1998 Edition.
- [3] Isıtma Tesisatı, Isısan Çalışmaları No: 265.
- [4] B. E. Boz, 2001, Tesisat Mühendisliği Uygulama Kitabı, TTMD Yayını No:9, İstanbul
- [5] M.L. Maynar, 1973, Piping Handbook, Mc Graw Hill Co., New York.

EK - BORULARLA İLGİLİ BAZI TÜRK STANDARTLARI

TSE NO □ STANDARDIN ADI

7903	Politetrafloretilen borular, ince etli
3	PVC borular ve bağlantı elemanları
6	Borular ve bağlantı parçaları, pis su için dökme demir
14	Borular ve bağlantı parçaları ve kapakları-lamel grafitli, basınçlı su şebekeleri için
5441	Polipropilen borular-müsade edilebilir gerilmelerin zaman ve sıcaklığa bağlı değişimi
5443	Alışkan taşınması için termoplastik borular, Kısım I
5444	Alışkan taşınması için termoplastik borular, Kısım II
5451	Polietilen borular
8843	Çelik borular-dikişli, ısı değiştiriciler için

EK - BORULARLA İLGİLİ BAZI TÜRK STANDARTLARI (14. sayfadan devam)

TSE NO	□ STANDARDIN ADI
8844	Çelik borular-dikişsiz, ısı değıştiriciler için
5572	Borular-Polietilen (PE)-Taşıma ve depolama kuralları
201	Plastik Borular-Sert PVC-Genel kurallar
8084	Termoplastik borular -Et kalınlığı çizelgesi
1997	Borular-Düz, spiral kaynaklı, alaşımsız, çelik, plastik borular- Sert PVC
274	Borular-Çelik, vidalı, dikişli, dikişsiz
5987	Cam takviyeli termoset plastik CTP borular
8555	Doğal gaz servis hattı-çelik borular
302	Borular (hasas, dikişsiz, çelik)
2169	Yer altında kullanılan çelik boruların krozyondan korunma kuralları
2170	Su ve gaz borularının yer altında yerleştirilmesi kuralları
346	Borular-dikişsiz, çelik, alaşımsız, özel amaçlar için
380	Borular-Bakır, dikişsiz, genel amaçlar için
381	Borular-Dikişsiz, çelik, sıcaklığa ve basınca dayanıklı
8260	Yer altına döşenen sert PVC borular, gaz yakıtlar için
416	Borular-Çelik dikişli, genel amaçlar için
417	Borular-Biçimlenebilir bakır-Çinko alaşımdan, dikişsiz, genel amaçlar için
418	PE Borular
2218	Rakorlar-Çelik borular için
4356	Çelik borular- Korozyona karşı koruma-Bitüm esaslı
8324	Yoğuşturucu ve buharlaştırıcılar için bakır borular
6438	Borular, çok hassas, dikişli, çelik
9128	Borular- Alüminyum ve alüminyum alaşımdan
2296	Rakorlar-Bakır borular için
9872	Bakır borular-su ve dogalgaz hatlarında kullanılan
6831	Termoplastik boruların yer altında döşeme kuralları
6954	PTFE Borular-Kalın etli, (t = 10mm, 20mm)
9937	Plastik borular(PP) Genel amaçlı
10105	Borular Klorlanmış PVC (CPVC) plastik borular
4	Borular- Çelik su nakil hatlarında kullanılan
10597	Borular-CPVC'den, sıcak ve soğuk su dağıtım sistemleri tasarım kuralları
10762	Plastik borular-Çapraz bağlı polietilen (PEX)
10827	Borular-Polietilen (PE)-Gaz yakıtları için
11004	Çelik Borular-Elektrik basınç kaynaklı, yüksek sıcaklık borular
12182-2	Plastik boru sistemler-sıcak ve soğuk su için
598	Ductile demir boruları ve bağlantı parçaları
2	Borular-Parçalanmaz çelik
10208-2+AC	Çelik borular-Yanıcı ve sıvı boru hatları için merkezi ısıtma sistemi boruları,ön yalıtım borular

Yazarlar,

Dr. İbrahim Çakmanus,

1960 Giresun doğumlu İbrahim ÇAKMANUS, Makina Mühendisliği bölümlerinde olmak üzere KTÜ'de lisans, ODTÜ'de yüksek lisans, Gazi Üniversitesi'nde doktora yapmıştır. Halen Merkez Bankası'nda çalışmakta ve TTMD Genel Sekreterliği yapmaktadır. Evli ve iki kızı vardır.

Halim İman,

1950 yılında Çankırı'da doğdu. 1974 yılında O.D.T.Ü. Makina Mühendisliği Bölümü'nü tamamladı. 1974-1978 yılları arasında Ereğli Demir Çelik Fabrikalarında 2. Tesisat Mak. Müh., 1980-1984 yılları arasında Sezai Türkeş, Fevzi Akkaya MS, AS Suudi Arabistan Elektromekanik Şefliği görevinde bulundu. 1984-1987 yılları arasında Suudi Arabistan'da serbest çalıştı. 1987'den itibaren Rusya ve Türkiye'de serbest çalışmaktadır.