

Geçiş Kanal ve Borularının Tasarımı

Prof. Dr. Mehmet ATILGAN
Yrd.Doç.Dr.Burçin DEDA ALTAN
Araş. Gör. Öner ATALAY

ÖZET

Geçiş boruları su ve hava tünellerinde, türbo makinelerde ve özellikle jet motorlarının giriş ağzında, kuvvet santralleri boru sistemlerinde, klima ve maden ocakları havalandırma sistemlerinde kullanılırlar. Geçiş borularının geometrisi üzerine, şimdiye kadar birçok tasarım önerilmiş fakat tasarımların çoğunda yapım güçlükleri ile karşılaşmıştır.

Bu çalışmada, genel olarak geçişler; giriş ve çıkış kesitlerinin çevreleri boyunca karşılıklı noktalar arasında bir doğru boyunca sağlandı. Bu yöntem pratikte kullanılan tüm kesit şekillerine(elipten dikdörtgen kesite, çokgenden dairesel kesite v.s.) uygulandı. Eksen boyunca alan değişiminin analitik çözümleri elde edildi.

Geçişler; eşdeğer kesit alanları arasında olduğu gibi, farklı kesit alanları(daralan veya genişleyen) arasında da olabilir. Öte yandan, kesit alanlarının uzun ve kısa eksenleri birbirine paralel olabileceği gibi, birbirine dik konumda da olabilirler. α ve β , giriş ve çıkıştaki kenar veya eksen oranlarını ve K alan oranını göstermek üzere ve ayrıca eksen boyunca boyutsuz uzunluk $\bar{x} = x/l$ olmak üzere, eksen boyunca boyutsuz alan değişimi, $\bar{A}_x = A_x / A_1 = 1 + f_1(\alpha, \beta, K) \cdot \bar{x} + f_2(\alpha, \beta, K) \cdot \bar{x}^2$ ile ifade edilmektedir. $f_1(\alpha, \beta, K)$ her bir geçiş borusu için farklı olup, $f_2(\alpha, \beta, K) = K - 1 - f_1(\alpha, \beta, K)$ şeklinde ifade edilmektedir. Bu ifade ile temsil edilen geçiş borularında alan değişimi ya lineer veya lineerden sapmalar şeklindedir. Farklı kesit alanları arasında kullanılan geçiş borularındaki lineerden sapmalar ya fıçı şeklinde veya trompet şeklinde olmaktadır. Dolayısıyla bu geçişlerin bir maksimum veya bir minimum durumları söz konusu olabilir.

Bu çalışmada; iki kesit arasındaki geçişteki alan değişimindeki lineerden sapmalarda bir maksimumdan geçiş söz konusu olduğu fakat bir minimumdan geçmediği görülmüştür. Aynı kesit alanları arasındaki geçişlerde ise her zaman bir maksimum olduğu ve bunun da geçiş borusunun ortasında meydana geldiği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Geçiş, tasarım, kanal ve borular

1. GİRİŞ

Geçiş boruları; su ve hava tünellerinde, akım makinelerinin giriş ve çıkışlarında, uçakların hava giriş kanallarında, klima ve maden ocaklarının havalandırma sistemlerinde olduğu gibi pratikçe birçok akış

Abstract:

Transition pipes are used in water and wind tunnels, turbomachinery, especially aircraft air intakes, power station ducting, air conditioning and mine ventilation systems. Upto now some methods are proposed for the design of such a transitions but it can be meet some difficulties in most of designs.

In the present investigations, transitions are generally best on straight line generators from a point at one hand to the corresponding at the other. This method was applied to all cross-sections(from ellips to rectangular, regular polygon to circular, etc.) which are used in practice. The variations of the cross-sectional area along the duct are obtained analytically.

Transition can be either between ducts of equal area or ducts of different cross-sectional area (gradually contraction and expansion). On the other hand; although short and long axis of the cross-sections at both ends are either parallel, or perpendicular. α and β , are described as aspect ratios at entry and outlet and K as area ratio and besides that $\bar{x} = x/l$ as normalized axial distance, nondimensionalised area variation can be defined as, $\bar{A}_x = A_x / A_1 = 1 + f_1(\alpha, \beta, K) \cdot \bar{x} + f_2(\alpha, \beta, K) \cdot \bar{x}^2$, $f_1(\alpha, \beta, K)$ is different for all transition $f_2(\alpha, \beta, K) = K - 1 - f_1(\alpha, \beta, K)$ can be defined as a functions of $f_1(\alpha, \beta, K)$ and K . The area variations of transitions according to this expressions can be either linear or deviates from linear, like barrel or trompet shape. Consequently, this transitions might have exramum positions at the certain cases.

In the present invastigation, it can be seen that, the deviation from the linear at the transition between two cross-sections might have maximum but not minimum at the described limits. The transition between ducts of equal area has always a maximum at mid-point of the duct.

Key Words:

Transition, design, channels and pipes

sisteminde kullanılır. Bu boruları; farklı alan ve farklı kesit şekillerine sahip kanalları (dikdörtgen, kare, elips, daire ve çokgen kesitli) birleştirmek gerektiğinde kullanmak zorunda kalırız. Geçiş borularındaki akış esnasında enerji kayıpları söz konusu olduğundan, bu boruların tasarımı son derece önemlidir.

Geçiş borusu boyunca alan değişimi lineer ve lineerden sapmalar şeklindedir. Geçiş borusu boyunca bu sapmalar geometrik koşullara bağlı olarak maksimum bir değer alabileceği fakat minimum bir değer almadığı görülmüştür.

Burada; dirsek, T bağlantısı, birleşme ve ayrılma noktaları gibi enerji kaybına neden olan boru parçaları ile ilgilenmeyeceğiz. Genel olarak yukarıda bahsettiğimiz kullanım yerlerindeki boru ve kanal sistemlerinde kullanılan farklı veya eşdeğer alanlar arasında daralan, genişleyen boru parçalarının eksen boyunca alan değişimleri incelenecektir. Bu konularda yapılan incelemeler oldukça yaygın olup bir çok amprik formüllerde geliştirilmiştir [1,2,3,4,5]. Eşdeğer kesit alanına sahip dairesel kesit alanlı olmayan borulara ait sınırlı çalışma mevcuttur [5,6,7,8,9,10]. Değişik kesit şekline sahip farklı kesit alanlı boruları birleştiren geçiş borularına ait yük kayıpları ile ilgili çalışmalar oldukça sınırlıdır [1,2,3,11]. Bu tür boruların geometrisi ile ilgili çalışmalar bile son zamanlarda göz önüne alınmıştır [11,12,13,14,15,16,17]. Literatürde deneysel çalışmaların da sınırlı olduğu görülmektedir [11, 18, 19, 20, 21].

2. GEÇİŞ BORULARININ GEOMETRİSİ

Günümüzde geçiş borularının geometrik tasarımında iki yöntem uygulanmaktadır. Birincisi kesit alanı şekillerine bakmaksızın, farklı iki kesit arasında lineer bir alan değişimini sağlamak ve ikincisinde ise iki kesit alanı arasında doğrusal bir geçişi sağlamaktır. Bu tür çalışmalar çeşitli yayınlarda ayrıntılı olarak verilmiştir [2.11.12.13.14.15.16.17]. Bu konuda ilk çalışmalar 1980'li yıllarda yayınlanmış [12] ve değişken parametreler azaltılarak bu konuda daha gelişmiş çalışmalar yayınlanmıştır [17].

2.1. Geçiş Borularının Eksen Boyunca Alan Değişimi

Şu ana kadar geçiş borularının tasarımı ile ilgili olarak sürdürülen çalışmalar ve bunların yapım yöntemleri ve geliştirilen parametrik büyüklükler çeşitli kaynaklarda ayrıntılı olarak verilmiştir [11, 12, 13, 14, 15, 16, 17]. Atılğan [11] tarafından önerilen yöntem geçişsekellerine uygulandığında; boyutsuz eksenel uzunluk $\bar{x} = x/\ell$, giriş ve çıkış kesit alanları oranı K ile ifade edildiğinde, eksen boyunca alan değişiminin ikinci dereceden bir fonksiyon olduğu görülmüştür. Daha sonraki yıllarda bu yöntem özel kesit şekline sahip poligon kesit alandan dikdörtgen kesit alanına veya dairesel kesit alanına geçiş şeklinde incelenmiştir [16]. Ayrıca eksen boyunca lineer alan değişimini sağlayan koşullarda ayrıntılı olarak incelenmiştir [11,17].

Şekil 1'de görüldüğü gibi, giriş ve çıkış kesit geometrileri farklı olan boru sistemlerinde kullanılan geçiş borularının karşılıklı noktalar arasındaki geçiş doğrusal bir hat boyunca gerçekleştirilmek koşulu ile geçiş borusu eksenini boyunca herhangi bir x mesafesindeki alan değişimi boyutsuz olarak;

$$\bar{A}_x = \frac{A_x}{A_1} = 1 + f_1(\alpha, \beta, K) \cdot \bar{x} + f_2(\alpha, \beta, K) \cdot \bar{x}^2 \quad (1)$$

genel denklemi ile ifade edilmiştir [11]. Burada kullanılan parametreler, giriş ve çıkış kesitlerinin büyük kenar veya ekseninin konumuna yani paralel ve dik olmalarına göre farklı olarak ifade edilmiştir.

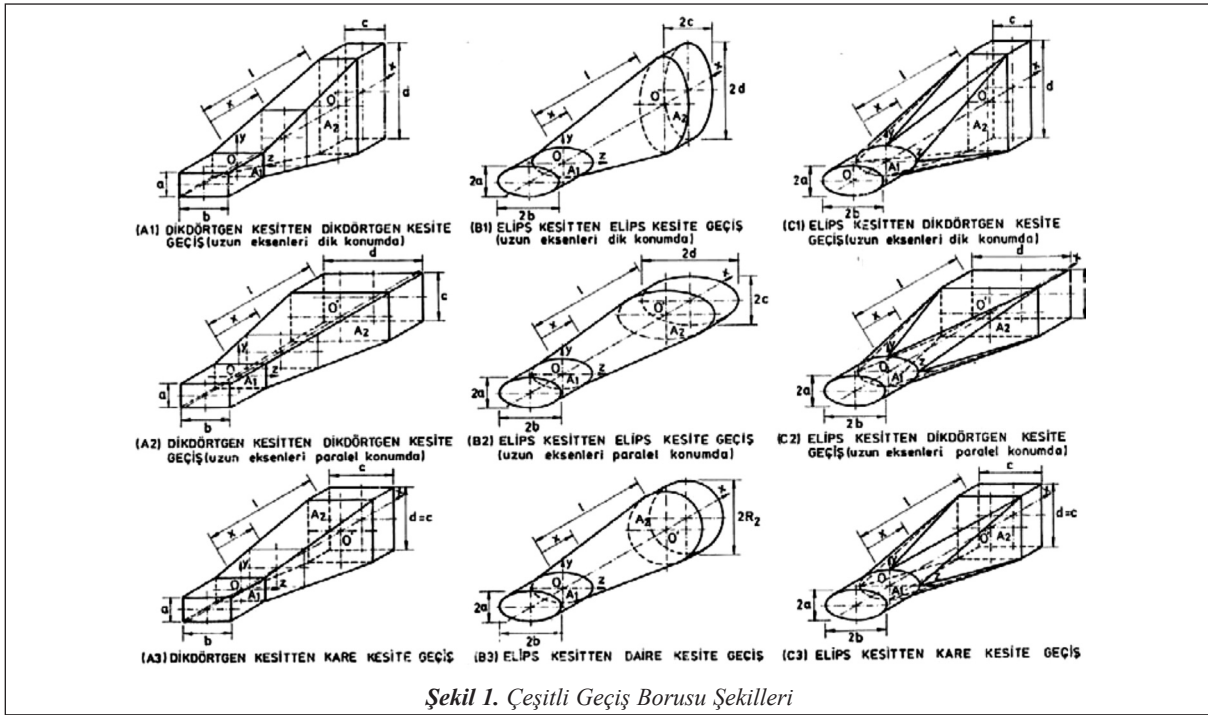
Giriş ve çıkış kesitlerinin uzun kenar veya eksenlerinin birbirine göre konumlarının dik veya paralel olmasına göre (1) denklemindeki $f_1(\alpha, \beta, K)$ parametresi Atılğan [11] tarafından geliştirilmiş ve Tablo 1'de gösterilmiştir. Öte yandan $f_2(\alpha, \beta, K)$ parametresi de $f_1(\alpha, \beta, K)$ ve K 'ya göre aşağıdaki gibi ifade edilmiştir.

$$f_2(\alpha, \beta, K) = K - 1 - f_1(\alpha, \beta, K) \quad (2)$$

1. Uzun kenarlar veya eksenleri dik konumda ise,

$$t = \alpha \cdot \beta \quad (0 \leq t \leq 1)$$

Makale



Şekil 1. Çeşitli Geçiş Borusu Şekilleri

2. Uzun kenarlar veya eksenleri paralel konumda ise,

$$t = a/\beta \quad (0 < t < \infty)$$

şeklinde tanımlanırsa;

$$f_1(t, K) = \frac{1+t}{\sqrt{t}} \cdot \sqrt{K} - 2$$

şeklinde ifade edilir ve (2) denklemi de:

$$f_2(t, K) = K - 1 - f_1(t, K)$$

şeklini alır.

Elips kesit alanından dikdörtgen kesit alanına geçişler için,

$$f_1(t, K) = 2 \left[\frac{1+t}{\sqrt{t \cdot \pi}} \cdot \sqrt{K} - 1 \right] \quad (4)$$

şeklinde ifade edilir. Bu durumda (1) denklemi;

$$\bar{A}_x = 1 + f_1(t, K) \cdot \bar{x} + f_2(t, K) \cdot \bar{x}^2 \quad (1a)$$

şeklinde ifade edilir.

Bazı özel geçiş boruları ile ilgili geliştirilmiş parametreler [16] nolu yayında verilmiştir. Burada, alan oranları $K = A_2/A_1$ ve dikdörtgen kesit alanının kenar oranları $\beta = c/d$ ve ayrıca daire içine çizilen düzgün çokgenin kenarı (4. n) olarak ifade edilirse;

$$(3) \quad \bar{A}_x = \frac{A_x}{A_1} = 1 + f_1(\beta, K, n) \cdot \bar{x} + f_2(\beta, K, n) \cdot \bar{x}^2 \quad (1b)$$

şeklinde ifade edilir. Aynı şekilde,

$$(2a) \quad f_2(\beta, K, n) = K - 1 - f_1(\beta, K, n) \quad (5)$$

genel ifadesi ile belirlenir.

Düğüen çokgen kesit alanından dairesel kesit alanına geçişte de benzer yaklaşımlar yapılmaktadır. Burada R_1 yarıçaplı daire için p kenarlı bir düğüen çokgenden R_2 yarıçaplı diğer dairesel kesite geçiş söz konusudur. Burada her iki geçiş durumunda iki farklı geçişşekli kullanılmıştır. Buradaki alan değışimi ise;

$$(1a) \quad \bar{A}_x = 1 + f_1(K, p) \cdot \bar{x} + f_2(K, p) \cdot \bar{x}^2 \quad (1c)$$

ve

Tablo1. Geçiş Borularının Kesit Şekilleri ve Konumlarına Bağlı Olarak Geçiş Parametrelerinin Tanımı

GEÇİŞ ŞEKİLLERİ	$f_1(\alpha, \beta, K)$	$f_1(t, K)$
 $\alpha = a/b, K = A_2/A_1, t = \alpha \cdot \beta, \beta = c/d$	$\frac{1 + \alpha \beta}{\sqrt{\alpha \cdot \beta}} \cdot \sqrt{K} - 2$	$\frac{1 + t}{\sqrt{t}} \cdot \sqrt{K} - 2$
 $\alpha = a/b, K = A_2/A_1, t = \alpha \cdot \beta, \beta = c/d$	$\frac{\alpha + \beta}{\sqrt{\alpha \cdot \beta}} \cdot \sqrt{K} - 2$	
 $\alpha = 2a/2b, t = \alpha \cdot \beta$ $\beta = c/d, K = A_2/A_1$	$2 \cdot \left[\frac{1 + \alpha \cdot \beta}{\sqrt{\alpha \cdot \beta \cdot \pi}} \cdot \sqrt{K} - 1 \right]$	$2 \cdot \left[\frac{1 + t}{\sqrt{t \cdot \pi}} \cdot \sqrt{K} - 1 \right]$
 $\alpha = 2a/2b, t = \alpha \cdot \beta$ $\beta = c/d, K = A_2/A_1$	$2 \cdot \left[\frac{\alpha + \beta}{\sqrt{\alpha \cdot \beta \cdot \pi}} \cdot \sqrt{K} - 1 \right]$	

$$f_2(K, p) = K - 1 - f_1(K, p) \quad (6)$$

şeklindedir. Ayrıntılı bilgi için [16] no'lu yayına başvurulabilir.

2.2. Eksen Boyunca Lineer Alan Değişim Koşulları

(1) ve (2) denklemlerindeki f_1 ve f_2 'deki parametreler göz önüne alınmadan genel ifadeler kullanılırsa, bu denklemler aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$\bar{A}_x = 1 + f_1 \cdot \bar{x} + f_2 \cdot \bar{x}^2 \quad (1d)$$

$$f_2 = K - 1 - f_1 \quad (7)$$

(1d) denkleminin lineer olabilmesi için x^2 'li ifadesinin katsayısı f_2 'nin her geçiş durumu için, 0 olması gerekir. O halde (7) denkleminde $f_2 = 0$ konulursa f_1 için aşağıdaki denklem elde edilir.

$$f_1 = K - 1 \quad (8)$$

denklemi K ne olursa olsun lineer geçiş için genel şarttır. Buna göre eksen boyunca lineer alan değişimi;

$$\bar{A}_x = 1 + f_1 \cdot (\bar{x} - \bar{x}^2) \quad (1e)$$

şeklinde ifade edilir.

Herhangi bir geçiş durumu için, geliştirilmiş; örneğin (3) veya (4) denklemi (8) denkleminde yerine konarak, yapılan düzenlemeyle t veya K'ya göre çözüm yapılırsa elde edilen ifade lineer geçiş koşullarını verecektir. Bu konudaki ayrıntılı çalışma [11,17] no'lu yayınlarda mevcuttur.

3. GEÇİŞ DURUMLARININ MAKSİMUM VE MİNİMUMLARININ İNCELENMESİ

(1d) no'lu denklemin \bar{x} 'e göre türevini alırsak;

$$\frac{d\bar{A}_x}{d\bar{x}} = f_1 + 2 \cdot f_2 \cdot \bar{x}_E = 0$$

$$\bar{x}_E = -\frac{f_1}{2 \cdot f_2} \quad (9)$$

elde edilir. \bar{A}_x alan değişiminin ekstremlerini bulmak için \bar{A}_x 'in ikinci dereceden türevi alınır. O halde;

$$\frac{d^2\bar{A}_x}{d\bar{x}^2} = 2 \cdot f_2 \quad (10)$$

elde edilir. Eğer $f_2 < 0$ ise \bar{A}_x maksimumdan geçer.

(1e) Eğer $f_2 > 0$ ise \bar{A}_x minimumdan geçer.

Örnek olarak; eşdeğer alanlar arasındaki geçişi göz önüne alırsak;

Makale

$f_2 = K - 1 - f_1$ ifadesinde $K=1$ konursa,

$f_2 = -f_1$ eşitliği elde edilir.

(9) denkleminde yerine konursa $\bar{x}_E=0,5$ elde edilir. Zaten bu geçiş durumu için \bar{A}_x 'in her zaman $\bar{x}_E = 0,5$ 'te maksimumdan geçtiği daha önce belirtilmiştir [11,17].

(10) denkleminde aynı şekilde $f_2=-f_1$ yerine konursa;

$\frac{d^2\bar{A}_x}{d\bar{x}^2} = 2.(-f_1) = -2f_1$ elde edilir. Burada $f_1>0$ olduğundan belirlenen sınırlarda ($0 < \bar{x} < 1$); \bar{A}_x 'in bir maksimum değer aldığı görülür.

Şimdi genel olarak geçiş durumlarının ekstramum değerlerini (9) denklemini göz önüne alarak, Şekil 2'deki grafikte görüldüğü gibi x_E 'nin f_1 'e göre değişimi $K>1$ ve $K<1$ durumlarına için irdelemesi aşağıdaki gibi yapılır.

(9) denkleminde (7) denklemini yerine konursa;

$$\bar{x}_E = \frac{0.5}{1 - \frac{(K-1)}{f_1}} \quad (11)$$

ve

$$f_1 = 2.(K-1) \cdot \frac{1}{2 - \frac{1}{\bar{x}_E}} \quad (12)$$

şeklinde ifade edilir. (7) ve (12) denklemlerine göre K alan oranının çeşitli değerleri için \bar{x}_E ekstramum değerlerinin f_1 'e göre değişimleri Şekil 2'de genel olarak gösterilmiştir. Ekstramum değerlerinin maksimum mu yoksa minimum mu olduğunu belirlemek için aşağıdaki tablolar oluşturulmuştur.

Tablo 2'den $K>1$ durumu için, \bar{A}_x alan değişiminin $\bar{x}<0,5$ değerleri için minimum ve $\bar{x}>0,5$ değerleri için maksimum olabileceği görülmektedir.

Tablo 3'den görüldüğü gibi $K<1$ durumunda \bar{A}_x alan değişiminin $\bar{x}<0,5$ değerleri için maksimum ve $\bar{x}>0,5$ değerleri için minimum olabileceği görülmektedir.

Gerçekte incelediğimiz geçiş durumları için Tablo 2 ve Tablo 3'den elde edilen sonuçların irdelenmesinde dikdörtgenden dikdörtgene ve elipsten dikdörtgene geçişler için, geliştirilen (3) ve (4) denklemleri tekrar düzenlenirse;

$$f_1(t, K) = \frac{\sqrt{K} \cdot (1 - \sqrt{t})^2 + 2 \cdot \sqrt{t} \cdot (\sqrt{K} - 1)}{\sqrt{t}} \quad (3a)$$

Tablo 2. $K>1$ İçin Ekstramumların İncelenmesi

\bar{x}_E	$-\infty$	-1	0	$0,25$	$0,5$	$0,75$	1	$+\infty$	
$f_1 = 2.(K-1) \cdot \frac{1}{2 - \frac{1}{\bar{x}_E}}$	$(K-1)$	$\frac{2}{3} \cdot (K-1)$	0	$-(K-1)$	$-\infty$	$+\infty$	$3.(K-1)$	$2.(K-1)$	$(K-1)$
$f_2 = K - 1 - f_1$	0	$\frac{1}{3} \cdot (K-1)$	$(K-1)$	$2.(K-1)$	$+\infty$	$-\infty$	$-2.(K-1)$	$-(K-1)$	0
<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;"> <p>Minimum ←</p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>→ Maksimum</p> </div> </div> <div style="display: flex; justify-content: center; margin-top: 10px;"> <div style="text-align: center;"> <p>←</p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>incelenen aralık</p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>→</p> </div> </div>									

Tablo 3. $K < 1$ İçin Ekstramumların İncelenmesi

\bar{x}_E	$-\infty$	-1	0	0,25	0,5	0,75	1	$+\infty$	
$f_1 = 2.(K-1) \cdot \frac{1}{2 - \frac{1}{x_E}}$	$(K-1) \frac{2}{3}$	$(K-1) \frac{2}{3}$	0	$-(K-1)$	$+(K-1)$	$-\infty$	$3.(K-1)$	$2.(K-1)$	$(K-1)$
$f_2 = K-1-f_1$	0	$\frac{1}{3}.(K-1)$	$(K-1)$	$2.(K-1)$	$-\infty$	$+\infty$	$-2.(K-1)$	$-(K-1)$	0

Maksimum ← → Minimum
 ← → incelenen aralık →

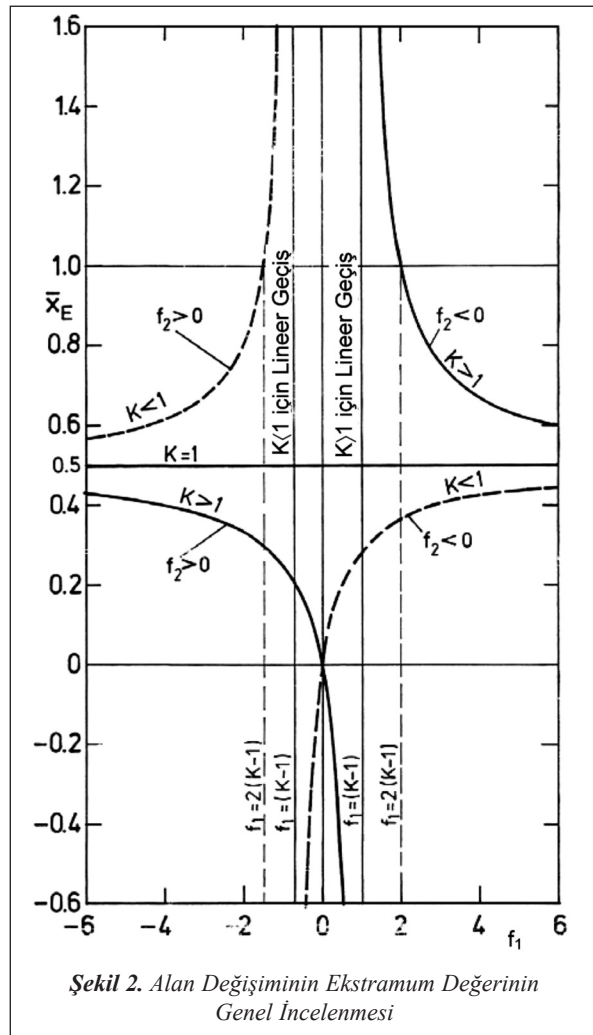
$$f_1(t, K) = 2 \cdot \frac{\sqrt{K} \cdot (1 - \sqrt{t})^2 + \sqrt{t} \cdot (2 \cdot \sqrt{K} - \sqrt{\pi})}{\sqrt{t \cdot \pi}} \quad (4a)$$

şeklinde yazabiliriz. $t > 0$ olduğundan (3a) ve (4a) denkleminde $K > 1$ için daima pozitifdir.

Şekil 2'de görüldüğü gibi \bar{A}_x alan değişiminin ekstramum değerleri, K alan oranları için f_1 parametresine göre değişimi görülmektedir. Burada (9a) denklemi ile belirlenen \bar{x}_E değerinin hangi aralıkta kaldığının belirlenmesi gerekir. Şimdi bu durumları inceleyelim;

a) $K > 1$ olması durumunda $f_1 > 0$ 'dır.

- 1) Eğer $f_1 \geq 2.(K-1)$ ise $f_2 < 0$ 'dır. Bu durumda $0,5 < \bar{x} \leq 1$ aralığında alan değişimi bir maksimumdan geçer.
- 2) $2.(K-1) \geq f_1 > (K-1)$ aralığında ise yine $f_2 < 0$ 'dır. Fakat $\bar{x} > 1$ 'de bir maksimumdan geçer. Bu da alan değişiminin $0 \leq \bar{x} \leq 1$ aralığında lineer konuma göre pozitif bir sapmasını gösterir. Maksimum değer $\bar{x} > 1$ 'de olduğu için, incelediğimiz aralığın dışındadır.
- 3) $f_1 = K-1$ ise $f_2 = 0$ 'dır. Bu durumda lineer geçiş koşulunu sağlar.
- 4) $0 < f_1 < (K-1)$ aralığında ise $f_2 > 0$ 'dır. Bu durumda alan değişimi $\bar{x} < 0$ değerlerinde minimumdan



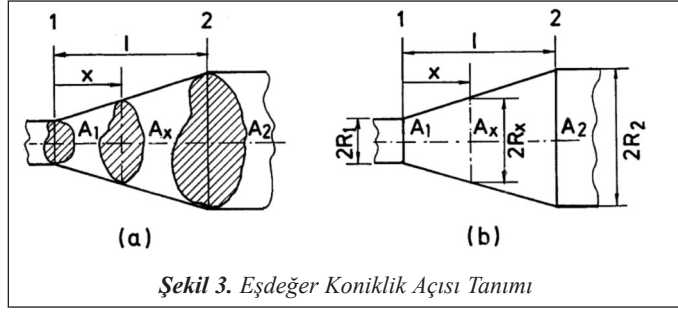
Makale

gececektir. O halde $0 \leq \bar{x} \leq 1$ aralığında alan değişimi lineer konuma göre bir sapma gösterecektir. Çünkü $\bar{x} \rightarrow \infty$ 'dan gelip $\bar{x} = 0$ 'da bir minimum değer alabilir. $\bar{x} ; f_1 = 0$ 'dan itibaren azalarak $f_1 = K - 1$ 'e asimptot olmaktadır. Bu da incelediğimiz sınırın dışına çıkmaktadır. Yani $\bar{x} < 0$ olmaktadır.

- 5) İncelenen geçiş durumları için (3a) ve (4a) denklemlerinden $K > 1$ için $f_1 > 0$ olduğundan $f_1 = 0$ 'da bir ekstramum değeri bulunması mümkündür. Bu da $\bar{x} = 1$ noktasına tekabül eder.
- b) $K < 1$ olması durumunda (3a) ve (4a) denklemleri $f_1 \geq 0$ veya $f_1 < 0$ değerleri alabilir.
 - 1) Eğer $f_1 \geq 0$ ise $f_2 < 0$ olacağından (9a) denklemden belirlenen \bar{x}_E değeri için alan değişimi $0 \leq \bar{x} < 0,5$ aralığında bir maksimumdan geçer.
 - 2) $0 \geq f_1 > (K - 1)$ aralığında ise $f_1 < 0$ ve $f_2 < 0$ 'dır. Bu durumda alan değişimi $\bar{x} < 0$ değerlerinde maksimumdan geçer ve böylece $0 \leq \bar{x} \leq 1$ aralığında lineer konuma göre pozitif bir sapma gösterir.
 - 3) $f_1 = K - 1$ ise $f_1 = 0$ 'dır. Bu durumda lineer geçiş koşulunu sağlar.
 - 4) $2(K-1) < f_1 < (K - 1)$ aralığında ise $f_1 < 0$ ve $f_2 > 0$ dır. Alan değişimi $\bar{x} > 1$ değerlerinde minimum değer alır. Bu durumda alan değişiminde lineer konuma göre azalan bir sapma görülür.
 - 5) (3a) ve (4a) denklemlerinden görüldüğü gibi $K < 1$ değerlerinde $f_1 = 0$ değeri alabilir. Bu durumda $f_2 < 0$ olacağından alan değişiminin maksimum değer alabileceği görülür. Bu durumda; $\bar{x} = 0$ 'da maksimum değer alabilir. $\bar{x} = 0$ 'dan itibaren $f_1 = K - 1$ 'e asimptot olur. Bu da incelediğimiz sınırın dışına çıkar ($\bar{x} < 0$).
 - 6) $K < 1$ için daima $f_1 > 2.(K - 1)$ değerleri aldığı görülür. O halde burada incelenen geçiş durumları için $0 \leq \bar{x} \leq 1$ aralığında alan değişiminin bir minimumdan geçmesi söz konusu değildir.

4. EŞDEĞER KONİKLİK AÇISI

Giriş ve çıkış kesit alanları ve kesit şekilleri farklı geçiş boruları ve kanallarını tanımlamada kullanılan en uygun parametrelerden biri eşdeğer koniklik açısıdır. Şekil 3'te şematik olarak gösterilen böyle bir geçiş borusu boyunca kesit alanlarını dairesel gibi düşünersek; tanımlanan eşdeğer yarıçaplardan yararlanarak eşdeğer koniklik açısı belirlendi[11, 12, 17].



Şekil 3. Eşdeğer Koniklik Açısı Tanımı

Buna göre; geçiş borusu eksenini boyunca bir x mesafesindeki yarı eşdeğer koniklik açısı değişimi:

- (a) Kesit geometrisi düzgün olmayan geçiş borusu.
- (b) Eksen boyunca alan değişimi (a)'daki geçişe eşdeğer olan konik geçiş borusu;

$$\tan \Phi_e = \frac{dR_x}{d_x} = \left(\frac{R_1}{2l} \right) \cdot \frac{f_1(\alpha, \beta, K) + 2 \cdot f_2(\alpha, \beta, K) \cdot \bar{x}}{\sqrt{A_x}} \quad (13a)$$

veya

$$\tan \Phi_e = \frac{dR_x}{d_x} = \left(\frac{R_1}{2l} \right) \cdot \frac{f_1(t, K) + 2 \cdot f_2(t, K) \cdot \bar{x}}{\sqrt{A_x}} \quad (13b)$$

şeklinde ifade edilir. Burada;

$$R_1 = A_1/\pi \text{ ve } R_2 = A_2/\pi \quad \text{eşdeğer yarıçaplar.}$$

Φ_e : Yarı eşdeğer koniklik açısı.

Geçiş borusu ve kanalı $0 \leq \bar{x} \leq 1$ aralığında olduğundan eşdeğer koniklik açısı $\bar{x} = 0$ ve $\bar{x} = 1$ 'de sınır değerlere sahip olacaktır. Tasarımda bu sınır değerler esas alınmalıdır. Eksen boyunca alan değişimi incelendiğinde; bu sınır değerleri arasında $K > 1$, $K = 1$ ve $K < 1$ olması durumlarında alan değişiminin nasıl bir davranış gösterdiğini bundan önceki bölümde inceledik.

$K > 1$ ise, $f_2 \neq 0$ olması durumunda alan değişimi lineer konuma göre bir sapma göstereceğinden eşdeğer koniklik açısının da belirli bir değerinden sonra da akışta cidarlardan ayrılmalara söz konusu olacaktır. Dolayısıyla bu değerlerin üzerinde kayıplar artacağından tasarımda bu değerler göz önünde bulundurulmalıdır. $K < 1$ ise, genel olarak eksen boyunca geçiş borusu alanında bir daralma meydana gelecek-

tir. Fakat $\bar{x} = 0$ ve $\bar{x} = 1$ 'deki sınır değerlerinde Φ açıları büyüyebilir. Bu durumda cidardan ayrılmalar meydana gelebilir. $K=1$ durumunda $\bar{x} = 0$ ve $\bar{x} = 1$ 'de eşdeğer koniklik açıları aynı olup ters işaretlidir.

Geçiş borularında alan değişimi genişleyen ve daralan bir değişim gösterdiğinden burada geçiş borusunu bir yayıcı ve daralan bir boru gibi ele alabiliriz. Literatürde yayıcı ve sürekli daralan borulara ait ampirik değerlerden yararlanarak tasarımı gerçekleştirmek daha kolay olacaktır. Örneğin yayıcılarda toplam eşdeğer konikli açısı 10° 'nin üzerine çıktığında kayıpların arttığı ve sürekli daralan borularda 40° ile 60° 'nin üzerine çıkıldığında çıkışta akışta bir daralma söz konusu olduğundan geçişi bir ani daralma şeklinde yapmak daha ekonomik olacaktır.

5. SONUÇLAR

1. Geçiş borusu boyunca elde edilen alan değişiminin ekstramumlarının tam analitik çözümü geçiş borularının genel durumuna uyarlandı.
2. İncelenen aralıkta ($0 \leq \bar{x} \leq 1$) alan değişimi; eşdeğer kesit alanları arasındaki geçişler için $\bar{x}=0,5$ 'te daima bir maksimumdan geçer, fakat farklı kesit alanları arasındaki geçişlerde ise lineer veya lineer konumdan sapmalar şeklindedir. Belirli K değerlerinde maksimum değer aldığı halde belirlenen sınırlar arasında bu değişimin minimum bir değer almadığı belirlendi.
Fakat $K < 1$ durumu için $\bar{x} = 1$ 'de $f_1=2.(K-1)$ değerinde bir minimumdan geçebileceği ve aynı şekilde $K < 1$ durumu için $\bar{x} = 0$ 'da $f_1 = 0$ değerinde bir minimumdan geçebileceği görülmüştür.
3. K 'nın farklı değerlerinde \bar{A}_x alan değişimi bir ekstramura sahip olacaktır. Fakat burada önemli olan bunun $0 \leq \bar{x} \leq 1$ aralığında olup olmadığıdır. Eğer değilse $f_1=(K-1)$ veya $f_2 = 0$ durumuna tekbül eden lineer değişime göre, azalan veya artan sapmalar bu aralıkta meydana gelir.
4. Yukarıda irdeleme yapılırken $K > 1$ değerleri için $f_2 > 1$ durumunda $\bar{x} = 0$ ve $f_1 = 0$ için bir minimum değer alabileceğinden bahsettik. Bu nedenle K 'nın belirli bir değeri için bu durumun gerçekleşebileceği fakat diğer K değerleri için alan değişiminin $0 \leq \bar{x} \leq 0,5$ aralığında lineer konuma göre

azalan bir değişim gösterir. Diğer yandan $K < 1$ ve $f_2 > 0$ durumu için $\bar{x}=1$ ve $f_1=0$ için bir minimum değer alabilir. Yine aynı şekilde bu durum için K 'nın belirli bir değerinde gerçekleşir. Fakat diğer K değerleri için \bar{A}_x alan değişiminde $0,5 > \bar{x} \geq 1$ aralığında lineer konuma göre azalan bir değişim gösterir.

5. \bar{x}_E , f_1 ve f_2 'nin; K 'ya, n 'ye veya p 'ye göre değişimleri aynı grafik üzerine taşınması durumunda irdeleme belki de daha kolay yapılabilir. Fakat bu durum çalışmamız kapsamının alınmamıştır.
6. Eşdeğer koniklik açısı tanımı ile geçiş borularının tasarımını daha sistematik bir şekilde yapabiliriz. Burada önemli olan sınır eşdeğer koniklik açılarının belirlenmesidir.
7. Metin içinde de belirttiğimiz gibi burada tasarım üzerinde durduk. Öte yandan akışla ilgili direnç ve yersel kayıplar da büyük önem taşımaktadır. Bununla ilgili ampirik formüllerden yararlanılabilir. Bu konuda deneysel çalışmalar çok yaygın olmamakla beraber literatürde bu bilgilere ulaşılabilir[2, 3, 4, 7, 9, 11, 18, 19, 20, 21].
8. Ayrıca ampirik formüllerle yapılan hesapların sayısal akışkanlar mekaniği (CFD) ile karşılaştırılması düz borular ve ani daralma durumu için yapılmıştır[22]. Çeşitli geçiş boru tipleri için daha geniş çalışmaların yapılmasında büyük yarar vardır.

SEMBOLLER

A_1	: Giriş kesit alanı
A_2	: Çıkış kesit alanı
A_x	: x apsisine ait kesit alanı
\bar{A}_x	: Boyutsuz kesit alanı
a,b	: Dikdörtgen kesitin kısa ve uzun kenarları
2a,2b	: Elips kesitin küçük ve büyük eksenleri
c,d	: Dikdörtgen kesitin kısa ve uzun kenarları
2c,2d	: Elips kesitin küçük ve büyük eksenleri
f_1, f_2	: α, β ve K veya t ve K 'ya bağlı büyüklükler
K	: Çıkış kesit alanının giriş kesit alanına oranı
l	: Geçiş borusunun uzunluğu
R_x	: x apsisine ait eşdeğer yarıçap
R_1, R_2	: Giriş ve çıkış kesiti yarıçapı ve eşdeğer yarıçaplar
x	: Eksenel koordinat

Makale

\bar{x}	: Boyutsuz aksenal uzunluk
\bar{x}_E	: Ekstramum değerin apsisi
α	: Girişteki kenar ve eksen oranları
β	: Çıkıştaki kenar ve eksen oranları
Φ_e	: Yarı eşdeğer koniklik açısı
t	: Giriş ve çıkıştaki kenar ve eksen oranlarının çarpımı veya bölümü

KAYNAKLAR

- [1] IDEL'CHİK, I.E., "Handbook Of Hydraulic Resistance: Coefficients of Local Resistance and of Friction", 517 pp, Jerusalem Israel Program for Scientific Translations, 1966.
- [2] MİLLER, D.S., "A Guide to Losses In Pipe and Duct Systems", The British Hydromechanics Research Association, 1971.
- [3] MİLLER, D.S., "Internal Flow Systems", The British Hydromechanics Research Association, 1978.
- [4] "Flow of Fluids Through Valves, Fittings and Pipe", Crane Co. Tech. Pap 410 M, London 1977.
- [5] WHITE, F.M., "Fluid Mechanics", Mc. Graw-Hill Inc, 1979.
- [6] GERHART P.M., GROSS, R.J. ve HOCHSTEIN, J.I., "Fundamentals of Fluid Mechanics", Addison-Wesley Publishing Company, 1993.
- [7] ZANKER, K.J. ve BARRATT, G.M., Data on Correlation of Pressure Losses in Straight Non-Circular Pipes Flowing Full, The British Hydromechanics Research Association", TN 909, 1968.
- [8] JONES O.C., An Improvement in the Calculation of Turbulent Friction in Rectangular Ducts, pp. 173-181, Trans. of ASME Journal of Fluids Engineering, Vol. 98, 2, June 1976.
- [9] ZARLİNG, J.P. An Analysis of Laminar Flow and Pressure Drop in Complex Shaped Ducts, pp 702-706, Trans. of ASME Journal of Fluids Engineering, Vol. 98, 4, December 1976.
- [10] GESSNER, F.B. ve EMERY A.F., A Length-Scale Model for Developing Turbulent Flow in a Rectangular Duct, pp 347-355, Trans. of ASME Journal of Fluids Engineering, Vol. 99, 2, June 1977.
- [11] ATILGAN, M., "Geçiş Borularının Geometrisi ve Bu Borulardaki Akışın İncelenmesi", K.T.Ü. Makine ve Elektrik Fakültesi Doçentlik Tezi, Mart 1982.
- [12] ATILGAN M., ve CALVERT J.R., Geometry of Transition Sections Between Ducts of Equal Area, pp. 25-37, Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 6, 1980.
- [13] DEKAM E.I ve CALVERT, J.R., Area Distribution Along General Transition Geometries, pp. 275-286, Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 18, 1985.
- [14] DEKAM E.I ve CALVERT, J.R., Geometry of Transitional Diffusers, pp 43-57, Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 22, 1986.
- [15] DEKAM E.I ve CALVERT, J.R., Design of Transition Sections Between Ducts of Equal Area, pp 117-127, Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 24, 1986.
- [16] ATILGAN, M. Bazı Özel Geçiş Borularının Tasarım Yöntemleri, pp. 514-522, Isı Bilim ve Tekniği 7. Ulusal Kongresi, Güneş Enerjisi Enstitüsü, Ege Üniversitesi, İzmir, 26-28 Eylül 1989.
- [17] ATILGAN M. Geçiş Borularının Tasarım Yöntemleri, pp. 432-441, Tübitak Doğa-Tr., J. of Engineering and Environmental Sciences, 14, 1990.
- [18] DEKAM E.I ve CALVERT, J.R., Pressure Losses on Transitions Between Square and Rectangular Ducts of the Same Cross-Sectional Area, pp 212-216, Int. J. Heat and Fluid Flow, 6, 3, 1985.
- [19] MALKOÇ, T., "Geçiş Borularındaki Akışın Deneysel Olarak İncelenmesi", K.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Haziran 1986.
- [20] ŞEN, S., "Geçiş Borularında Farklı Kesit Geometrileri ve Boru Boylarının Akışa olan Etkilerinin Deneysel Olarak İncelenmesi", K.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Mayıs 1987.
- [21] BİLGİN, A. "Farklı Kesit Şekline ve Eşdeğer Koniklik Açısına Sahip Geçiş Borularının Deneysel Olarak İncelenmesi", K.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Ocak 1988.
- [22] ATILGAN M., ÖZTÜRK H.K., "Borularda, Boru Bağlantı Elemanlarında ve Geçiş Borularında Enerji Kayıpları", IV. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi ve Sergisi, Sy. 547-560, İzmir, 4-7 Kasım 1999.