Teleskopik Çaplı Boru Hattında Su Darbesi

Yazan :
Prof. Albert SCHLAG
Çeviren :
Y. Müh. Münir ALPSOYLU

O

Bilindiği üzere su darbesi hâdisesinin etüdü Allievi'nin 1903 de tesis ettiği denklemlere istinaden yapılır. En çok kullanılan çözüm metodu da Bergeron'un grafik metodudur.

Allievi bir boru hattındaki akım hareketi üzerinde tesiri olan her türlü manevranın boru hattında basınç ve debi dalgaları meydana getirdiğini ve bunların boru hattını ses hızına eşit bir hızla katettiklerini ve özel noktalarda da (kesit değişimi, uç noktası, kavşak noktası) kısmen veya tamamen aksettiklerini göstermiştir.

Boru hattının herhangi bir kesidinde herhangi bir andaki (H) basıncı, su darbesi hâdisesi halinde, bu noktadaki (Ho) normal rejim basıncı ve aynı noktada boru hattının başlangıcına ve nihayetine doğru hareket halinde bulunan (F) ve (f) basınç dalgalarının cebirsel toplamına eşittir.

$$H = H_o + F + f$$

Bergeron metodundan çıkarmış olduğumuz cebirsel metotda ise, herhangi bir andaki (H) basıncı, bir an evvelki (H_1) basıncına o noktada o an dalganın husule getirdiği (h) basınç artması ilâve edilmek suretiyle hesaplanır.

Ele alınan bir kesitte ($t-\varepsilon$) anında basınç H_1 dir. (t) anında bir (h) dalgası geçerse, ($t+\varepsilon$) anında basınç :

$$H = H_1 + h \quad \text{olur.}$$

Dalganın (q) debisi ile (h) basıncının

$$h = -\alpha' q'$$

Bağıntısını gerçekledikleri isbat olunmuştur.

Bu formülde :

$$\alpha = \frac{a}{g.s}$$

a : dalga yayılma hızı
g : yer çekimi ivmesi
s : boru kesit alanı

Dalga yayılma hızı, su için aşağıdaki klasik formülle verilir :

$$a = \frac{9900}{\sqrt{48,3 + K.\frac{D}{e}}} \quad \text{(m/sec)}$$

D : boru iç çapı
e : boru cidarı kalınlığı
K : boru malzemesine bağlı olup :
Demir ve çelik için : 0,5
Font için : 1,0
Beton ve kurşun için : 5,0 dir.

(+) : debilerin normal rejimde gidiş yönünde yayılan dalgalar için
(—) : Aksi yönde yayılanlar için kullanılır.

Şayet ($t-\varepsilon$) anında ele alınan kesitte basınç, debi durumu $H_{t-\varepsilon}$, $Q_{t-\varepsilon}$ ise ve t anında mezkûr kesitten bir (h, q) dalgası geçerse, ($t+\varepsilon$) anında basınç ve debi:

$$H_{t+\varepsilon} = H_{t-\varepsilon} + h$$

$$Q_{t+\varepsilon} = Q_{t+\varepsilon} + q$$

denklemleriyle verilir.

Ele alınan kesit boru hattının dalganın kısmen veya tamamen aksetmesine yol açacak bir özel noktası olabilir. (Şekil : 1).

ŞEKİL : 1 — Bir noktada dalganın aksetmesi

Bu halde : gelen (i) dalgası iki yeni dalga, (e) ve (é) dalgalarını meydana getirir. Biri (i) nin yönünde, diğeri aksi yönde hareket eder. Bu şekilde; A kesitinin solunda :

$$Q(t+\varepsilon)_g = Q(t-\varepsilon)_g + q_i + q_e$$

$$H(t+\varepsilon)_g = H(t-\varepsilon)_g + h_i + h_e$$

$$h_i = \pm \alpha q_i \qquad h_e = \mp \alpha q_e$$

bağıntıları, A kesitinin sağında :

$$Q_{(t+\varepsilon)d} = Q(t-\varepsilon)d + q'_{é}$$

$$H_{(t+\varepsilon)d} = H_{(t-\varepsilon)d} + h'_{é}$$

$$h_{é} = -\alpha' q'_{é}$$

bağıntıları yazılabilir. Ayrıca A noktasında özel noktanın cinsine uygun olarak :

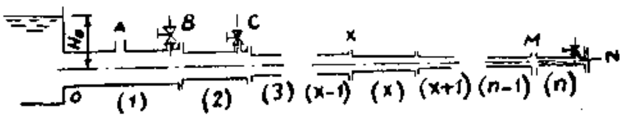
(Q), (H) ve (t) arasında :

q (Q, H, t) = 0 bağıntısı vardır.

Bu başlangıçtan sonra asıl probleme geçelim. Bir şehir içme suyu şebekesinde veya bir bina dahili tesisatında su darbesinin hesabı için yapılacak hesaplar veya epürler zor olmamakla beraber yapılması gerekli işlemlerin çokluğu dolayısiyle pratik olmaktan çıkar, hattâ imkânsızlaşır.

Bu sebeple problem ancak basitleştirilerek ele alınabilir. Bunun için şebekenin, (ai), (li), (Si) değerleri aynı çap için sabit kalan, teleskopik bir boru hattı şeklinde olduğunu kabul edeceğiz. (a) değeri bir tronsondan ötekine çok değişmiyeceğinden (α) çaplar küçüldükçe büyüyen değerler alacaktır. Ayrıca yük kayıplarını ihmâl ve B, C, ... N branşmanlarının da kapalı bulunduklarını kabul edeceğiz.

Bu suretle problem en basit şekline irca edilmiş ve değişken çaplı, (artan veya azalan), bir boru hattındaki su darbesi hâdisesinin etüdü olur. (Şekil : 2).



ŞEKİL : 2 — Değişken çaplı boruda durum

A noktasında bir vana vardır. Sırasıyla iki durumu inceliyeceğiz.

1 — Vana açık iken âni olarak kapatılmaktadır.

2 — Vana kapalı iken anî olarak açılmaktadır.

A ile 0 arasında, dağıtım şebekesini depoya veya bina tesisatında, tesisatı şebekeye bağlıyan boru hattı vardır ve normal durumda (Ho) basıncına maruzdur.

Şematik şebekemiz görüldüğü üzere 3 çeşit özel nokta arzetmektedir.

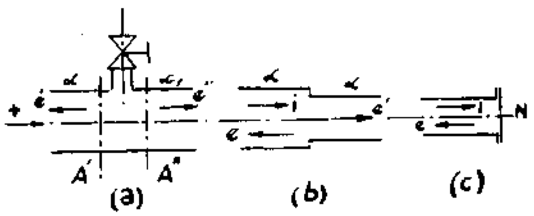
A : Su darbesi hâdisesine sebep olan manevranın yapıldığı yer.

B, C ...., N : Kesit değişme yerleri.

N : Boru hattının kapalı ucu.

Şimdi su darbesi halinde bu özel noktalardaki durumu sırasıyla etüd edelim.

1 — A Vanasının ani olarak kapatılması (Şekil 3)



ŞEKİL : 3 — Vananın ani olarak kapatılması

Normal rejim halinde A' ve A" kesitlerinde, yük kayıpları ihmâl edildiğine göre, basınç (Ho) dır. A' daki debi vananın debisine eşit A" de ise sıfırdır. Vananın kapatılmasıyla su darbesi hâdisesi ve A' den sola doğru bir (h' , q') ve A" den de sağa doğru bir (h" , q") dalga hareketi başlar.

Debiler soldan sağa doğru pozitif kabul edilir ve yukarıda verilen denklemler tatbik olunursa aşağıdaki bağıntılar elde olunur.

$$h' = -\alpha\, q' \qquad h'' = \alpha_1\, q''$$

A' de basınç ve debi : $Q' = Qo + q'$ $\quad H' = Ho + h'$

A" de basınç ve debi : $Q'' = 0 + q''$ $\quad H'' = Ho + h''$

A branşmanında vananın kapanmasını müteakip debi sıfır olduğundan :

$$Q' = Q'' \text{ ve } H' = H'' \text{ olur}$$

Yukarıdaki denklemlerin çözümü aşağıdaki su ... besi bağlantılarını verir :

$$h' = h'' = h$$

$$q' = -Qo \cdot \frac{\alpha_1}{\alpha + \alpha_1} \qquad Qo = h\left(\frac{1}{\alpha} + \frac{1}{\alpha_1}\right)$$

$$q'' = Qo \cdot \frac{\alpha}{\alpha + \alpha_1}$$

Bu değerler A' ve A" kesitlerindeki debi ve bas... değerlerini veren denklemlerde yerlerine konuldukta ...

A' de debi $= Qo\,\dfrac{\alpha}{\alpha+\alpha_1}$

Basınç $= Ho + Qo\,\dfrac{\alpha\alpha_1}{\alpha+\alpha_1}$

A" de debi $= Qo\,\dfrac{\alpha}{\alpha+\alpha_1}$

Basınç $= Ho + Qo\,\dfrac{\alpha\alpha_1}{\alpha+\alpha_1}$

değerleri elde olunur. Görüldüğü üzere $\alpha = \alpha_1$ ...

$$Q' = Q'' = \frac{Qo}{2} \text{ dir.}$$

2 — A Vanasının ani olarak açılması :

Vana debisinin A daki basıncın kare köküyle o... tılı olduğunu kabul edelim. Vana açılmasından e... A' ve A" de debiler sıfır ve basınç (Ho) dır. V... manevrası 1 de olduğu gibi sudarbesi hâdisesini ba... tır, dalgalar husule gelir.

A' de basınç ve debi : $Q' = 0 + q'$ $\quad H' = Ho +$ ...

A" de basınç ve debi : $Q'' = 0 + q''$ $\quad H'' = Ho +$ ...

olur. Diğer taraftan :

$H' = H'' = H \quad h' = h'' = h \quad$ ve $Q' - Q'' = k$ ...

veya : $q' - q'' = k \sqrt{Ho + h}$

dır. Bu denklemler çözüldüğünde :

$$h' = h'' = h = \frac{c - \sqrt{c\,(c + 4ho)}}{2}$$

ve $\quad c = \left(\dfrac{K\alpha\alpha_1}{\alpha+\alpha_1}\right)^2$ değeri

yerine konulduğunda :

$$q' = -\frac{h}{\alpha} = Q'$$

$$q'' = +\frac{h}{\alpha_1} = Q'' \quad \text{bulunur.}$$

Görüldüğü üzere $\alpha = \alpha_1$ olduğunda Q' ve Q'' mutlak değer bakımından eşit ve ters işaretli olurlar. Bu vananın açılmasını müteakip iki taraftan beslendiğini gösterir.

3 — Anî kesit değişmelerindeki durum :

Gelen (i) dalgası iki dalga hasıl eder (é) ve (e'')

$$h_i = \pm \alpha q_i \qquad h_e = \mp \alpha q_e \qquad h'_e = \pm \alpha' q'_e$$

(i) dalgasının gelişinden evvel değişme kesitinin her iki tarafında debi ve basınç aynıdır. (i) dalgasının gelişinden sonra da bu durum devam eder, yalnız debi ve basınç değerleri değişir.

$$q_i + q_e = q'_e \qquad h_i + h_e = h'_e$$

olur. Bu denklemlerden :

$$h_e = -\frac{\alpha-\alpha'}{\alpha+\alpha'} . h_i \qquad q_e = \frac{\alpha-\alpha'}{\alpha+\alpha'} . q_i$$

$$h'_e = \frac{2\alpha'}{\alpha+\alpha'} . h_i \qquad q_e = \frac{2\alpha}{\alpha+\alpha'} . q_i$$

değerleri çıkarılır.

4 — Kapalı N ucundaki durum :

Gelen (i) dalgası akseder ve (e) dalgası teşekkül eder.

$$h_e = h_i \qquad q_e = -q_i$$

dir. N uc noktasında basınç ve debi durumu :

$$H + h_i + h_e = H + 2h_i$$

$$0 + q_i - q_e = 0$$

bağlantılarıyla verilir.

Şimdi özel noktalardaki durum böylelikle tesbit olunduktan sonra çapları azalarak giden tronsonlardan müteşekkil (teleskopik) bir boru hattı ile şematize ettiğimiz şebekemizi ele alalım. (1) ve (2) de yapılan hesaplar, A dan N istikametinde, vana açılması ve kapanmasında husule gelerek harekete geçen dalgaların basınç ve debi değerlerini vermektedir. Husule gelen ilk dalgada, A daki manevraya ve katsayısına bağlıdır. Bu dalga B noktasına geldiğinde biri A ya doğru akseden ve burada etüd etmiyeceğimiz ve öteki de C ye doğru hareket eden ve (h_2 , q_2) değerleriyle karakterize edeceğimiz iki dalga hâsıl eder. Yukarıda görüldüğü üzere bu dalganın (h_2) basıncı :

$$h_2 = \frac{2\alpha_1}{\alpha_1+\alpha_2} . h_1$$

denklemi ile h_1 cinsinden belirlidir.

Mezkûr (h_2 , q_2) dalgası C noktasına geldiğinde aynı şekilde iki dalga meydana getirir: A ya doğru akseden dalga ile D ye doğru hareket eden (h_3 , q_3) dalgası. Bu sonuncu dalganın basınç değeri de :

$$h_3 = \frac{2\alpha_3}{\alpha_2+\alpha_3} . h_2$$

denklemi ile (h_2) cinsinden belirtilebilir.

Aynı şekilde : Herhangi bir X kesit değişme noktasında husule gelen (h_x q_x) dalgasının (h_x) basınç değeri yazılabilir.

$$h_x = \frac{2\alpha_x}{\alpha_{x-1}+\alpha_x} . h_{x-1}$$

Sonuç olarak : M den N'e giden dalga N noktasına bir (h_n) basıncı intikal ettirir.

$$h_n = \frac{2\alpha_n}{\alpha_{n-1}+\alpha_n} . h_{n-1}$$

Hattın kapalı ucu olan N kesidinde bu (h_n) dalgası akseder ve bu aksediş sonucu N de basınç :

$$Ho + 2h_n$$

olur.

Görüldüğü üzere anî vana açılması veya kapanması sonucu kapalı uçlarda $\xi = 2h_n$ 'e eşit bir süpresyon veya depresyon hâsıl olmaktadır.

Yukarıdaki denklemler kullanıldığında, ξ için :

$$\xi = 2 . \frac{2\alpha_2}{\alpha_1+\alpha_2} . \frac{2\alpha_3}{\alpha_2+\alpha_3} \ldots\ldots \frac{2\alpha_x}{\alpha_{x-1}+\alpha_x} \ldots\ldots \frac{2\alpha_n}{\alpha_{n-1}+\alpha_n} . h_1$$

değeri bulunur.

Eğer boru hattı aynı malzemeden imal edilmiş ve (a = St) sabit çaplı bir boru hattı olsa idi A da yapılan manevra sonucu meydana gelen(h_1) dalgası başka özel nokta olmadığından sadece N noktasında aksedecek ve $(\xi) = 2h_1$ değerinde bir süpresyon veya depresyon meydana getirecekti. (h_1) basınç değeri ise teleskopik boru hattında α_1 karakteristikli başlangıç transonunda teşekkül eden dalga basınç değerinin aynıdır.

Şimdi : Sabit çaplı ve α_1 karakteristikli boru hattı ile teleskopik boru hattı kapalı uç noktalarında anî vana açılması veya kapanmasında husule gelen süpresyon ve depresyon değerlerini mukayese edelim.

$$\frac{\xi}{(\xi)} = \frac{2\alpha_1}{\alpha_1+\alpha_1} . \frac{2\alpha_3}{\alpha_2+\alpha_3} \ldots \frac{2\alpha_x}{\alpha_{x-1}+\alpha_x} \ldots \frac{2\alpha_n}{\alpha_{n-1}+\alpha_n} \text{ dir.}$$

Hipotezimiz gereğince boru hattını teşkil eden tronsonlarımızın çapları azalarak gittiğinden (α) değerleri de A dan N ye artarak gider. Dolayısıyla $\xi/(\xi)$ orantısının her terimi

$$\frac{2\alpha x}{\alpha x - 1 + \alpha x} = \frac{2}{1 + \frac{\alpha x - 1}{\alpha x}} > 1$$

bağıntısını gerçekler. Bu sebeple

$/\xi/ > /(\xi)/$ dir.

Bu etüdden çıkarılan sonuç mühimdir : «Eş manevralar halinde : teleskopik bir boru hattının kapalı uç noktasında husule gelen süpresyon ve depresyon değerleri, teleskopik boru hattı başlangıç tronsonu çapında olan sabit çaplı bir boru hattında husule gelenlerden mutlak değer itibariyle büyüktür.»

Dikkat edileceği üzere : Boru hatlarının uzunlukları sonuca tesir etmemektedir. Uzunlukları sadece dalgaların muhtelif kesitlere varış müddetlerine tesir eder.

$\xi/(\xi)$ orantısı da keza (Şekil : 4 ten) görüldüğü üzere (α) karakteristiklerinin izafi değerlerine bağlıdır. Bu hususu daha açık bir şekilde etüd için 3 tronsondan müteşekkil bir boru hattı alalım. Bu halde :

$$\frac{\xi}{\xi} = \frac{2\alpha_2}{\alpha_1+\alpha_2} \cdot \frac{2\alpha_3}{\alpha_2+\alpha_3}$$

bağıntısı vardır.

$$\frac{\xi}{(\xi)} = \frac{2\left(\frac{\alpha_2}{\alpha_1}\right)}{+1+\left(\frac{\alpha_2}{\alpha_1}\right)} \cdot \frac{2\left(\frac{\alpha_3}{\alpha_1}\right)}{\left(\frac{\alpha_2}{\alpha_1}\right)+\left(\frac{\alpha_3}{\alpha_1}\right)}$$

Şeklinde de gösterilebilir.

Bu son denklem : $\frac{\xi}{(\xi)}$, $\left(\frac{\alpha_2}{\alpha_1}\right)$, $\left(\frac{\alpha_3}{\alpha_1}\right)$

değişkenleri arasındaki bir bağıntıyı gösterir. (Şekil : 4 de α_2/α_1 değerleri absis ekseninde α_3/α_1 değerleri ordone ekseninde alındığında $\xi/(\xi)$'nin muhtelif 5 değeri için elde olunan eğriler gösterilmiş bulunmaktadır.

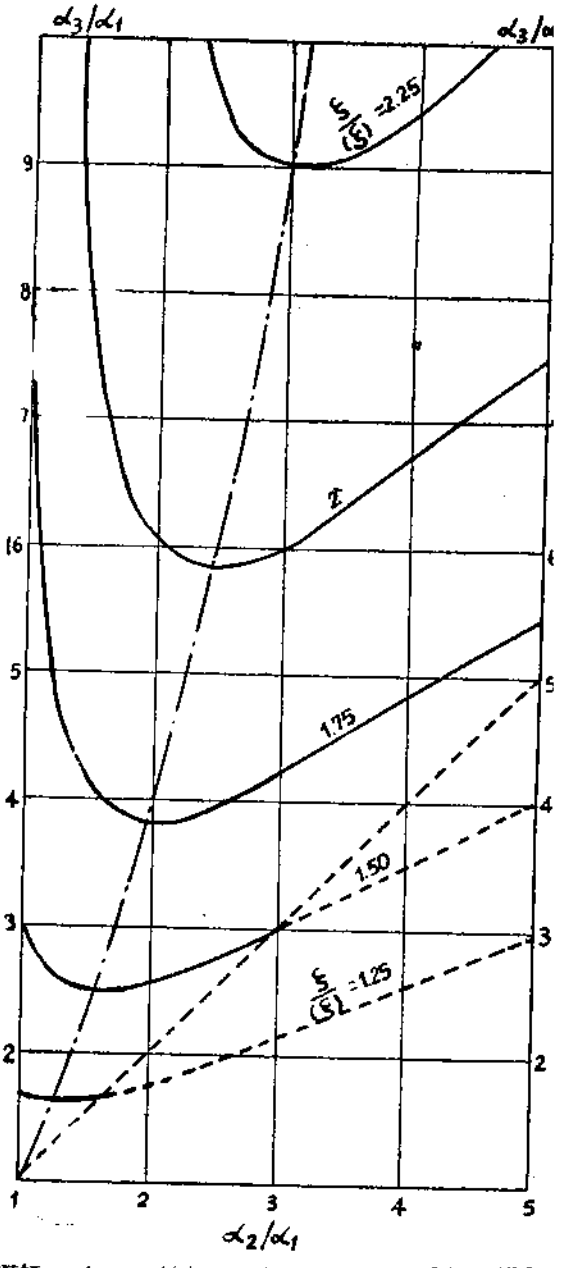
45° eğimli doğrunun altında kalan eğri parçaları bu kısımda $\alpha_3 < \alpha_2$ olduğundan, dolayısıyla hipotezimize aykırı bulunduğundan muteber değildir.

Bu eğrilerden de boru hattının başlangıç ve uç tronsonlarının α_1 , α_3 karakteristikleri verildiğinde (α_2/α_1) nin dolayısıyla α_2 nin muayyen bir değerinin uç noktasındaki surpresyon ve depresyonunu max yaptığı görülür.

Su darbesi tesirlerini max. yapan α_2/α_1 değerl nin (muhtelif $\xi/(\xi) = C^{te}$ hallerinde) geometrik ; $\xi/(\xi) = C^{te}$ eğrilerinin minimum noktalarından çen bir eğri olup denklemi :

$$\frac{\alpha_3}{\alpha_1} = \left(\frac{\alpha_2}{\alpha_1}\right)^2$$

dir.



ŞEKİL : 4 — $\xi/(\xi)$ orantısının α karakteristikler göre değişmesi