

Çamlıdere - İvedik İsale Hattında Su Darbesi Analizleri

Zafer BOZKUŞ*

ÖZ

Bu çalışmada, zamanla değişen akımların gerçekleştiği boru ve tünellerden oluşan kapalı sistemlerde yaygın olarak kullanılan ve Karakteristikler Metodu adı verilen matematiksel yöntem kullanılarak, Ankara'daki Çamlıdere Barajı - İvedik Arıtma Tesisi arasındaki isale hatları için su darbesi analizleri yapılmıştır. Birbirine paralel döşenmiş iki hat olan Çamlıdere-İvedik isale hatlarının her biri, gerek uzunluk, çap gerekse pürüzlülük olarak farklı tipte elemanların (beton kaplamalı tüneller, çelik borular, öngerilmeli beton boruların) seri olarak bağlanması ile oluşmuş hatlardır. Dolayısı ile bu farklı niteliklere sahip elemanların tüm bu yönlerini hesaba katmak gerektiğinden Karakteristikler Metodunun interpolasyon özelliklerine sahip denklemleri kullanılmıştır. Bu amaçla bir algoritma geliştirilmiş ve bu algoritmayı içeren FORTRAN bilgisayar dilinde geliştirilen bir program kullanılarak istenilen senaryolar altında su darbesi analizleri yapılmıştır. Bu analizler sonucunda hatlarda belirli kilometrelere yerleştirilmesi planlanan ve acil durumlarda otomatik olarak devreye girecek hat kırılma vanalarının sistemde aşırı basınçlara neden olmayacak kapanma süreleri önerilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Çamlıdere-İvedik isale hattı, su darbesi analizi, vana kapanma süreleri.

ABSTRACT

Waterhammer Analyses of the Camlıdere - Ivedik Pipeline

In the present study, a widely used mathematical method for unsteady flows in closed conduits such as pipes and/or tunnels, called *the Method of Characteristics (M.O.C.)* was employed to perform water-hammer analysis of the pipelines extending from the Çamlıdere dam to the Ivedik water treatment plant in Ankara. Both of the existing parallel pipe lines, are formed by various steel pipes, reinforced concrete pipes and concrete lined tunnels

Not: Bu yazı

- Yayın Kurulu'na 18.05.2007 günü ulaşmıştır.
- 30 Haziran 2008 gününe kadar tartışmaya açıktır.

* Orta Doğu Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Ankara - bozkus@metu.edu.tr

connected in series and having different material characteristics in roughness, diameters and lengths. To take into account all of these various characteristics of the pipelines, the unsteady flow equations consisting of the interpolation feature were used when employing the M.O.C. An algorithm was developed which was incorporated into an existing computer model, written in FORTAN language. By way of this program, the numerical simulations of water hammer problem under desired scenarios were performed. As a result, closure durations were recommended for the pipe fracture safety devices planned to be located at certain places and to be put into operation automatically in case of emergency, without causing excessive pressures in the lines.

Keywords: Çamlıdere-İvedik Pipeline, water hammer analysis, valve closure durations.

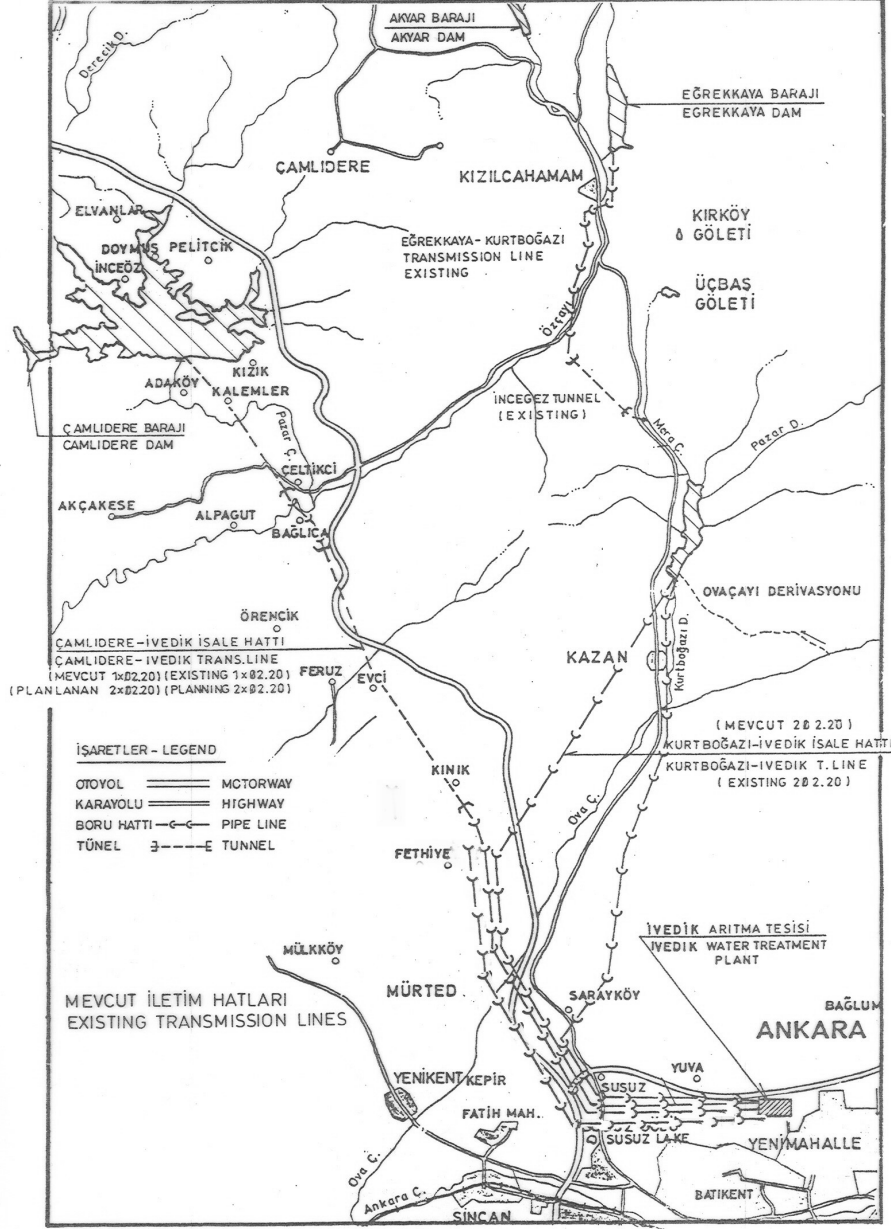
1. GİRİŞ

Çamlıdere barajı Ankara şehrinin içme suyu gereksiniminin önemli bir kısmını karşılayan bir baraj olup, ileride yapılması planlanan Işıklı sistemi de buna eklenecektir. Şekil 1.1 İvedik Arıtma tesisinin ve Ankara'ya su temininde kullanılan bazı önemli barajların ve mevcut isale hatlarının yerlerini göstermektedir. Çamlıdere barajı kaya dolgu bir baraj olup, 753 km² drenaj alanına sahiptir. Kret kotu 1002 m olan barajın talvegten yüksekliği 102 m dir. Kullanılabilir rezervuar hacmi 840 hm³ tür. İnşaatı 1976-1985 yılları arasında yapılan barajın ilk isale hattı 1988 yılından beri işletmededir. Çamlıdere barajının yıllık içme suyu kapasitesi 150 hm³ tür. Çamlıdere barajı rezervuarında depolanan ham su 60 kilometreyi aşan uzunlukta birbirine paralel giden iki isale hattı (Çamlıdere-1 ve Çamlıdere-2) ile İvedik Arıtma Tesisine taşınmakta ve orada arıtıldıktan sonra da Ankara şehrine verilmektedir, [1].

Bu isale hatlarının her biri 3500 mm çaplı 4277 m ve 2823 m uzunluklu iki kısa tünel (T1 ve T2) ve bu iki tünelin arasında yine aynı çapta 275 m'lik kısa bir çelik boru ve 3400 mm çaplı 16362 metrelik T3 tüneline (Kinik Tüneli) paylaşmaktadırlar. T2 ve T3 Tüneli arasındaki bölüm, her iki isale hattında da tünel giriş ve çıkışlarındaki pantolon yapılarına bağlanan 2200 mm çaplı çelik borudan imal edilmiştir. İki hattın arasındaki en büyük fark T3 tüneli çıkışı ile İvedik arıtma tesisi arasındadır. İlk yapılan hatta (Çamlıdere-1 hattında) bu kısım 30715 m uzunluğunda ön gerilmeli beton borulardan imal edilmiştir. İkinci hatta ise bu kısım tamamen 2200 mm çaplı çelikten yapılmıştır. Halen mevcut olan iki hat dönüşümlü olarak kullanımda olup, ileride bu hatlara paralel olarak üçüncü hattın inşaatı da Işıklı sisteminin devreye girmesinden sonra planlanmaktadır.

Mevcut iki hattın Çamlıdere-1'in inşaatı sırasında 1978 yılında Müşavirlik Firması Obermeyer Project Management, OPM'den [2] hidrolik danışmanlık hizmeti alınmış olup, anılan hizmette OPM, isale hattında olası maksimum hidrolik basınç dalgalanmalarını, hattın geçirebileceği pik debiyi, hattın hidrolik açıdan güvenlik sistemini ve su alma kulesi tasarımı gibi konular üzerinde çalışmışlardır. Bu çalışmalar sonucu şu bulgulara ulaşılmıştır.

“Boru ve tünellerde herhangi bir hasara yol açmamak için maksimum piyezometrik yükseklik kotu 970 m'yi aşmamalıdır. Bu kotun üzerindeki ek basınçlar ya girişte su alma yapısında veya en geç ikinci tünelin çıkışında söndürülmelidir.”

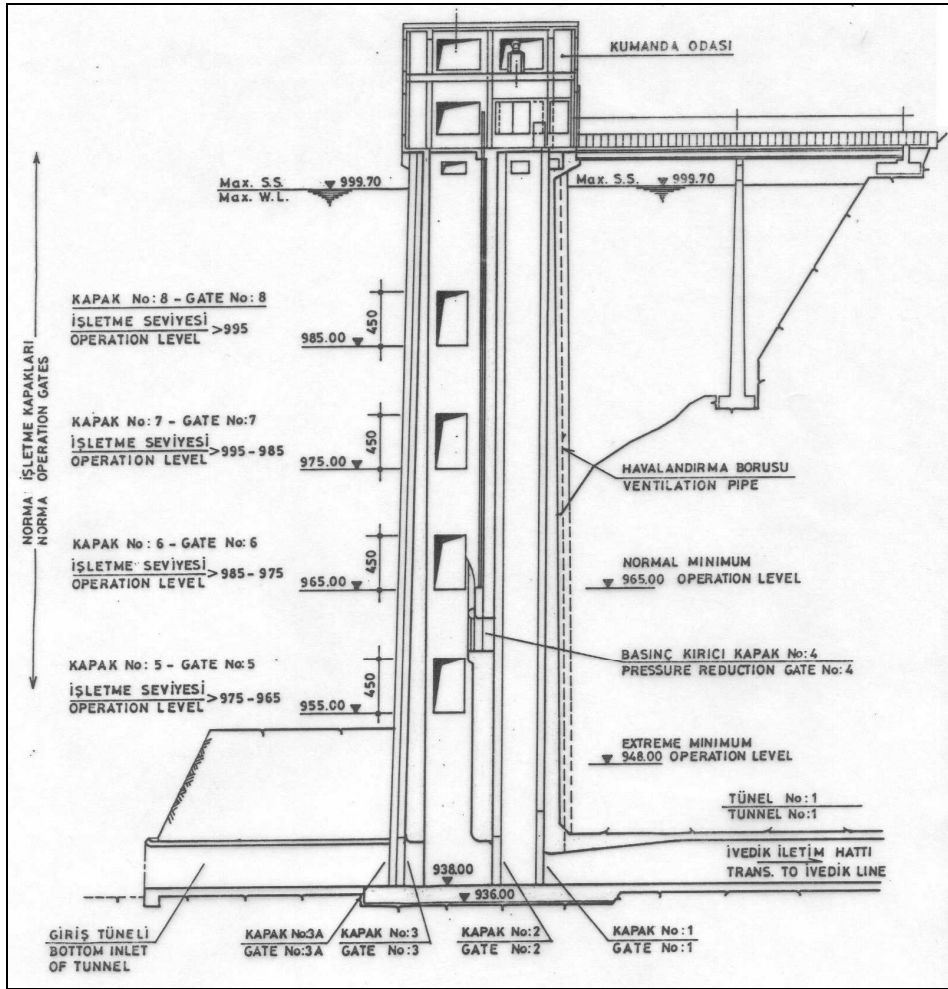


Şekil 1.1: Ankara'ya Su Temin Eden İsale Hatları

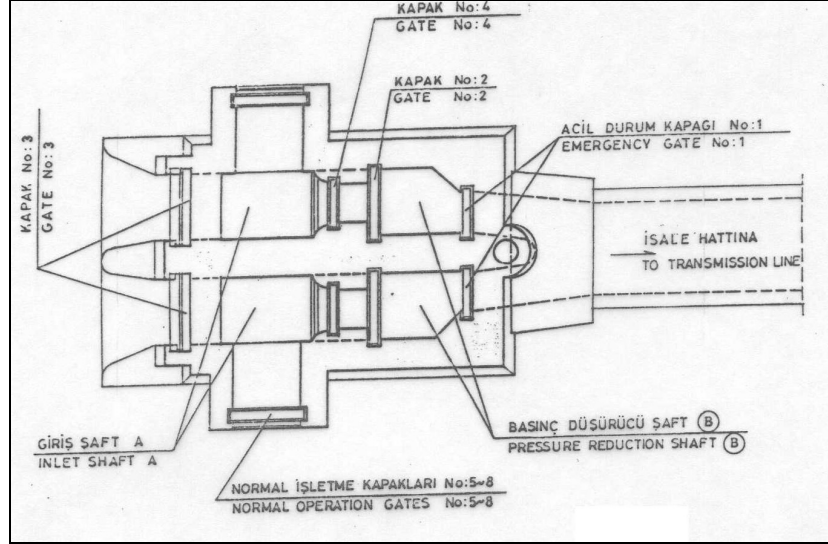
Şekil 1.2 su alma yapısının yandan görünüşünü, Şekil 1.3 ise üstten enkesitini vermektedir. Su alma yapısı bir kule şeklinde olup içinde 2 adet düşey şaft bulunmaktadır. Bu şaftlardan, Şaft A baraj gölünden çeşitli kotlardan su alma yapısına su girişini sağlamak için, diğeri

Çamlıdere - İvedik İsale Hattında Su Darbesi Analizleri

yani Şaft B ise fazla basınç yükünü kırmak için tasarlanmışlardır. İki şaft arasında basınç kırıcı olarak tasarlanan bir kapak bulunmaktadır. 4 nolu kapak olarak adlandırılan bu kapak kırılacak basınç yüküne ve sistemden geçmesi arzu edilen debiye bağlı olarak kısmi açıklıklarda çalışacak şekilde tasarlanmıştır. Basınç kırıcı şaft olarak kullanılan şaft B’de maksimum su seviyesinin 965 m kotunu aşmaması öngörülmüştür. Boru hattının güvenliğini sağlamak amacı ile hat boyunca 4 yerde elektronik kontrollü güvenlik vanalarının yerleştirilmesi tavsiye edilmekle birlikte, uygulamada bu vanalar o zaman (1978’de) konulmamıştır. Fakat çok daha sonra bu vanaların üç tanesi, 2005 yılında Çamlıdere-1 ve Çamlıdere-2 hatlarına yerleştirilmiştir. Bu çalışmanın ana konusu bu vanaların acil durumlarda sistemde aşırı basınçlara yol açmadan kapanma sürelerini belirlemektir.



Şekil 1.2: Çamlıdere Su Alma Yapısının Yandan Görünüşü



Şekil 1.3: Çamlidere Su Alma Yapısı Enkesiti

2. ÇAMLIDERE-İVEDİK SU İLETİM SİSTEMİ

2.1 İsale Hatlarının Temel Karakteristikleri

İsale hatları; iç çapı 3.50 m ve toplam uzunluğu 7195 m olan 2 tüneli, iç çapı 3.40 m ve uzunluğu 16312 m olan bir başka tüneli, 2.20 m iç çaplı öngerilmeli betonarme borular ve yine 2.20 m iç çaplı çelik borulardan oluşan kompozit bir yapıya sahiptir. İsale hattından geçen debi her bir hatta İvedik girişindeki 1000x685x1000 mm boyutlarında iki adet Larner Johnson tipi iğne uçlu vanalarla kontrol edilmektedir, Şekil 2.1.

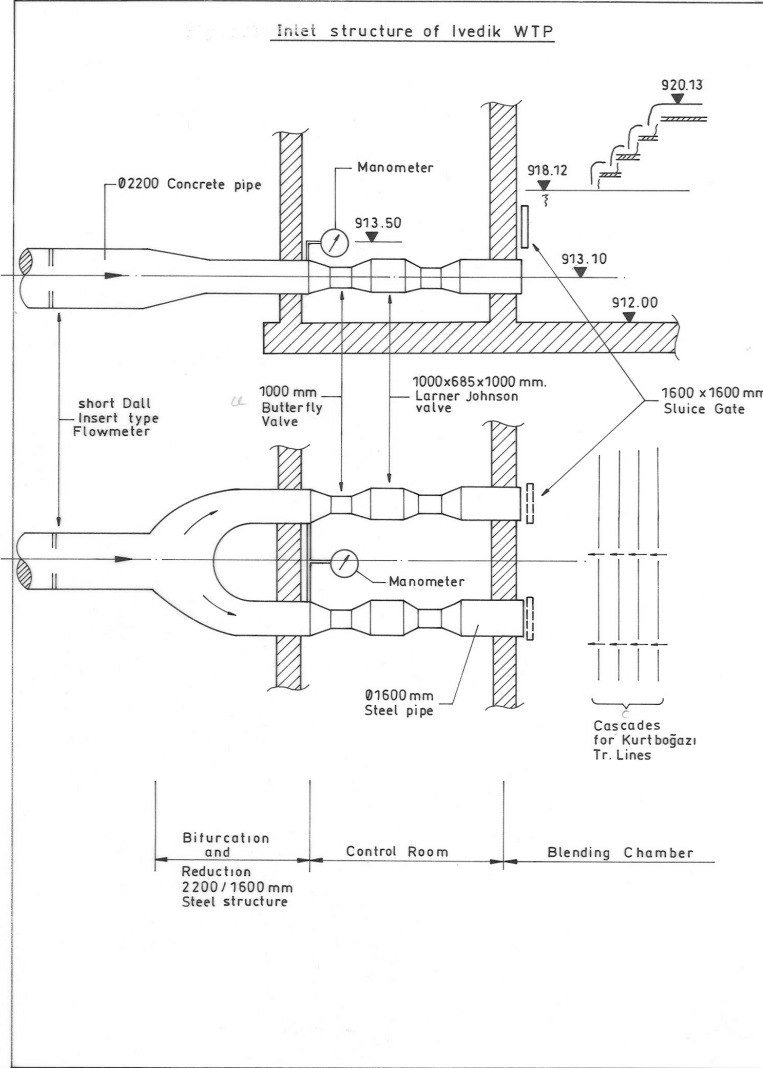
2.2 İsale Hattındaki Hidrolik Kayıplar

İsale hattındaki hidrolik kayıplar boru çeperindeki sürtünmeden ve yerel kayıplardan (geometrinin değiştiği yerler, kurlar, kesit genişlemeleri veya daralmaları, vanalar, giriş ve çıkışlar, vs.) oluşmaktadır. İsale hattı oldukça uzun olduğundan (60 km'nin üstünde) hakim kayıplar sürtünme kayıplarıdır. Fakat yerel kayıpların Larner-Johnson tipi vanalarda ve hattın ikili, üçlü hale geldiği branşmanlarda ihmal edilemeyecek mertebelerde olduğu da görülmektedir. Hatlardaki debilerin belirlenmesine yönelik önceki bir çalışmada göz önüne alınan yerel kayıplar aşağıda verilmiştir, [1].

- Su alma yapısındaki giriş kayıpları
- T1 tünelinin çıkışındaki daralmadan kaynaklanan kayıplar, genişleme ve kurlardaki kayıplar.
- Paralel iki veya üç hat düşünülmesi durumunda branşman kayıpları

Çamlidere - İvedik İsale Hattında Su Darbesi Analizleri

- Kelebek vana kayıpları
- Larner-Johnson vana kayıpları
- İsale hattının İvedik çıkışındaki kayıplar



Şekil 2.1: İvedik Arıtma Tesisi Girişindeki Kontrol Vanaları

3. SU DARBESİ ANALİZLERİ

3.1 Su Darbesi Analizlerinde Kullanılan Matematiksel Model

Bu çalışmada, zamanla değişen akımların gerçekleştiği boru ve tünellerden oluşan kapalı sistemlerde yaygın olarak kullanılan ve Karakteristikler Metodu (Method of Characteristics) adı verilen matematiksel yöntem kullanılmıştır, [3]. Bu metod dünyada hemen hemen tüm bilim ve mühendislik çevrelerince benimsenmiş en güvenilir matematiksel metod olarak bilinmektedir. Bu bölümde kısaca söz konusu metodun Çamlıdere-İvedik isale hatlarına nasıl uyarlandığından bahsedilecektir. Çamlıdere-İvedik isale hatlarının her biri, gerek geometrik (uzunluk, çap) gerekse pürüzlülük (farklı malzeme dolayısı ile farklı sürtünme katsayıları) olarak farklı tipte elemanların (beton kaplamalı tüneller, çelik borular, öngerilmeli beton boruların) seri olarak bağlanması ile oluşmuş hatlardır. Dolayısı ile bu farklı niteliklere sahip elemanların tüm bu yönlerini hesaba katmak gerektiğinden Karakteristikler Metodunun interpolasyon özelliklerine sahip olan ve aşağıda verilen denklemleri kullanılmıştır.

$$H_P - H_R + \frac{a_R}{gA}(Q_P - Q_R) + \frac{a_R f}{2gDA^2} Q_R |Q_R| (t_P - t_R) = 0 \quad (1)$$

$$x_P - x_R = (V_R + a_R)(t_P - t_R) \quad (2)$$

$$H_P - H_S - \frac{a_S}{gA}(Q_P - Q_S) - \frac{a_S f}{2gDA^2} Q_S |Q_S| (t_P - t_S) = 0 \quad (3)$$

$$x_P - x_S = (V_S - a_S)(t_P - t_S) \quad (4)$$

$$Q_R = \frac{Q_C - \zeta_R(Q_C - Q_A)}{1 + \frac{\theta}{A}(Q_C - Q_A)} \quad (5)$$

$$Q_S = \frac{Q_C - \zeta_S(Q_C - Q_B)}{1 - \frac{\theta}{A}(Q_C - Q_B)} \quad (6)$$

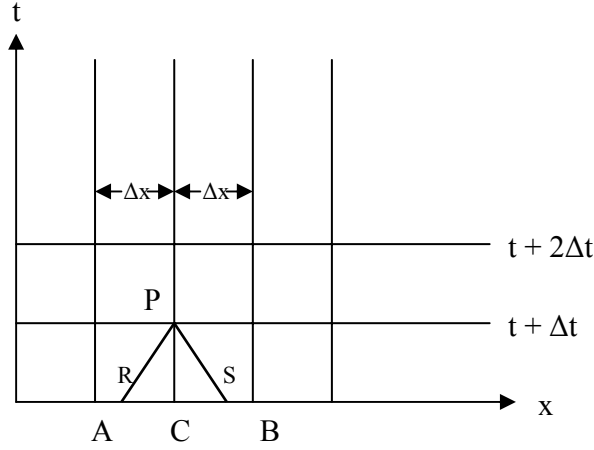
$$H_R = H_C - \left(\frac{Q_R \theta}{A} + \zeta_R \right) (H_C - H_A) \quad (7)$$

$$H_S = H_C + \left(\frac{Q_S \theta}{A} - \zeta_S \right) (H_C - H_B) \quad (8)$$

Yukarıdaki denklemlerde, H piyezometrik basınç yüksekliğini, Q debiyi, A boru enkesit alanını, a sudaki ses hızını, f sürtünme katsayısını, D boru çapını, g yerçekimi ivmesini, t zamanı, x mesafeyi göstermektedir. Ayrıca bu denklemlerde, $\theta = \Delta t / \Delta x$ olarak verilmektedir ve ζ interpolasyon miktarının ölçüsü olup, $\zeta = (\Delta t / \Delta x) a = \theta a$ dır ve değişim aralığı $0 < \zeta \leq 1$ dir. Δt hesaplarda kullanılan zaman aralığını, Δx ise mesafe aralığını göstermektedir. Hesaplamalarda sapmalar olmaması için Courant koşulu sağlanmak zorundadır ve bu koşul Denklem (9) da verilmiştir.

$$\Delta t (V + a) \leq \Delta x \quad (9)$$

Yukarıdaki denklemlerde P indisi H ve Q değerlerinin herhangi bir t anında hesaplandığı noktayı göstermekte olup, A , B ve C indisleri x - t doğrularının birleşim noktalarındaki H ve Q değerlerinin önceden başlangıç değerleri olarak bilinen veya bir önceki zaman adımında hesaplanmış değerlerine işaret etmekte ve R ve S indisleri ise benzer şekilde interpolasyon yapılan noktalardaki H ve Q değerlerine ve diğer fiziksel büyüklüklere atıfta bulunmaktadır. Şekil 3.1 bu indislerin x - t hesaplama düzlemindeki yerlerini göstermektedir.



Şekil 3.1: $x - t$ Hesap Düzlemi

Bu denklemlerin çözülebilmesi amacı ile mevcut bir algoritma üzerinde bazı eklemeler yapılarak FORTRAN bilgisayar dilinde bir program yazılmış olup, tüm analizler bu program kullanılarak yapılmıştır. Söz konusu algorithmada Çamlıdere-İvedik İsale hatlarının 4 ana parçadan oluştuğu kabul edilmiştir. Bunlar, Çamlıdere-1 hattı için: (1) 3500 mm çaplı T1+T2 Tüneli, (2) 2200 mm çaplı T2-T3 Arası Çelik Boru, (3) 3400 mm çaplı T3 Tüneli, (4) 2200 mm çaplı Öngerilmeli Betonarme Boru şeklindedir. Çamlıdere-2 hattında tek fark ise, dördüncü parça 2200 mm çaplı çelik borudan oluşmaktadır. Hatlar bu şekilde dört parçaya bölündükten sonra, her parçanın çap, uzunluk, sürtünme katsayısı, sesin suda yayılma hızı gibi analizlerde kullanılacak tüm büyüklükler belirlenmiştir. Daha sonraki aşamada ise su darbesi analizleri için yapılan öneriler ve senaryolar değerlendirilmiştir.

3.2 Su Darbesi Analizlerinde Kullanılan Senaryolar ve Kriterler

Ankara Su ve Kanalizasyon İdaresi (ASKİ) için yapılan önceki bir çalışmada [4], Su Darbesi Analizlerinde dikkate alınması gereken senaryolar, söz konusu çalışma sonucu hazırlanan raporun Bölüm 3.4.7 kısmından aynen alınarak aşağıda verilmiştir.

“(a) Bölüm 3.4.3’te açıklanan isale hatları hidrolik analiz senaryolarından (B) maddesi altındaki 18 işletme alternatifinden 1 (Çamlıdere 1), 2 (Çamlıdere 2), 3 (Çamlıdere 1+2), 9 (T2-T3 arası Çamlıdere 1+2, T3-Aritma Tesisi arasında Çamlıdere 1), ve 10 (T2-T3 arası Çamlıdere 1+2, T3-Aritma Tesisi arasında Çamlıdere 2) alternatifleri için su darbesi hesapları, Aritma Tesisi girişindeki hat vanalarının 30 dakikada kapanacağı dikkate alınarak yapılacaktır.

(b) Yapılan analizler sonucunda en fazla aşırı basınç oluşan alternatifin analizleri T2 tüneli üzerinde yer alan maslak ve T3 tüneli üzerindeki baca olmadan tekrarlanacak ve bu yapıların aşırı basınçları çözümlendirmedeki etkisi irdelenecektir.

(c) (a) paragrafında yapılan analizler, T2 ve T3 tüneli çıkışındaki ve T3 tüneli girişindeki vanaların da arıtma tesisi girişindeki vanaların kapanmaya başlanmasından 5 dakika sonra kapanmaya başlayarak 25 dakikada kapanacakları dikkate alınarak yapılacaktır.”

(B) maddesi su alma yapısındaki su kotunun 960.00 m, Arıtma Tesisi giriş basıncının 12-15 mss olması durumuna karşı gelmektedir. Ayrıca (A) maddesi aynı alternatiflerin 965.00 m su kotuna karşı geldiği durumdur ki bu kot için su darbesi analizleri önerilmemiştir. Raporun değerlendirme bölümünde, “...su alma kotu sürekli 960 m kotuna yakın tutulmalı ve hiçbir şekilde 965 kotunu geçmesine izin verilmemelidir. İsale hatlarındaki hidrolik yük çizgisi, oluşan yük kayıpları nedeniyle 970 m kotunun altında da kalsa sistemin başında yer alan T1 ve T2 tünellerinin projelendirmesine esas olan basınç 970 m su kotunda oluşan basınçtır. Bu nedenle su kotunun 970 m kotunu aşması, boru hatlarına hidrolik yük kayıpları nedeniyle zarar vermiyor şeklinde değerlendirilmemeli ve bu kotun, sistemin aşırı basınçlar dahil, üst sınırı olduğu unutulmamalıdır.” denilmektedir.

3.3 Su Darbesi Analizleri Sonuçları

Gerek hatların tümü için gerekse hatların bir bölümü için yapılan tüm su darbesi analizlerinde ek basınçları tetikleyen unsur hep söz konusu hat veya bölümün profilinin sonunda bulunan vana operasyonlarıdır. Dolayısı ile vana kapanma biçimi ve vana kapanma süreleri, analizleri yapılan hat veya bölümlerdeki ek basınçların şiddetini kontrol etmektedir. Bu çalışmada yapılan su darbesi analizlerine ait detaylı sonuçlar Bozkuş tarafından hazırlanan bir raporda, [5] sunulmuştur. Toplam 54 adet analiz yapılmıştır. Bu çalışmada anılan analizlerden sadece çözüm önerilerinin yapılmasında kullanılan son 12 analizin (Analiz No: 43 – 54 arası) sonuçları Tablo-1’de verilmiştir.

Tablo 1 : Su Darbesi Analizleri Kısmi Sonuçları

Analiz No	Çamlıdere - T2 Tüneli Çıkışı Başlangıç Koşulları				T2 Çıkışında Hesaplanan		
	Su Alma Yapısı Su Kotu, m	T2 Çıkışında Basınç, mss	T2 Çıkışında Basınç Kotu, m	Başlangıç Debisi, m ³ /s	Pik Basınç Kotu, m	Pik Basınç Zamanı, s	Debi Q, m ³ /s
43	960.00	19.78	958.58	5.50	960.65	12	5.429
44	960.00	19.27	958.07	6.50	960.64	12	6.418
45	960.00	19.53	958.33	6.00	960.65	12	5.923
46	960.00	18.95	957.75	7.05	960.61	12	6.962
	Çamlıdere - T3 Tüneli Girişi Başlangıç Koşulları				T3 Girişinde Hesaplanan		
	Su Alma Yapısı Su Kotu, m	T3 Girişinde Basınç, mss	T3 Girişinde Basınç Kotu, m	Başlangıç Debisi, m ³ /s	Pik Basınç Kotu, m	Pik Basınç Zamanı, s	Debi Q, m ³ /s
47	960.00	22.98	951.93	5.50	961.30	588	1.735
48	960.00	22.07	951.02	6.50	961.38	594	2.006
49	960.00	27.48	956.43	6.00	961.35	600	1.805
50	960.00	26.24	955.19	7.05	961.48	600	2.122
	Çamlıdere - T3 Tüneli Çıkışı Başlangıç Koşulları				T3 Çıkışında Hesaplanan		
	Su Alma Yapısı Su Kotu, m	T3 Çıkışında Basınç, mss	T3 Çıkışında Basınç Kotu, m	Başlangıç Debisi, m ³ /s	Pik Basınç Kotu, m	Pik Basınç Zamanı, s	Debi Q, m ³ /s
51	960.00	21.36	950.12	5.50	962.18	600	1.660
52	960.00	19.78	948.54	6.50	962.47	600	1.964
53	960.00	25.54	954.30	6.00	962.37	600	1.808
54	960.00	23.56	952.32	7.05	962.63	600	2.126

Tablo-1 incelenirken şu noktaların dikkate alınması faydalı olacaktır. Tabloda üç farklı sütun grubu vardır. Birinci grup sütun, tek sütundan oluşmakta ve analiz numaralarını göstermektedir. İkinci grup sütunlar o analizin hatlar üzerinde hangi iki nokta arasında yapıldığını gösteren ve o analizde kullanılan hidrolik büyüklüklerin başlangıç değerlerini veren dört sütundan oluşmaktadır. Son ve üçüncü grup sütunlar ise üç sütundan oluşmakta ve analizlerde hesaplanan pik basınç değerinin kotunu, bu değer oluşma zamanını ve bu zamanda söz konusu yerden geçen debiyi vermektedirler. Pik basınç değeri her zaman vana

hareketlerinin yapıldığı yerdeki basınç değeridir. Tablo 1'deki analizler, İvedik'teki vanalardan bağımsız olarak hatlardan birinde patlama durumu olması durumunda Tünel giriş ve çıkışlarına konulan hat kırılma emniyet vanalarının ayrı ayrı kapanma durumları için yapılmıştır. Vana kapanma süreleri de aynı olup, 30 dakikadır (1800 s). Yalnız bu analizlerde vana açıklığının %100'den %30'a 600 saniyede düştüğü kabul edilmiştir. Geri kalan 1200 saniyede de vana tamamen kapanmaktadır. Özetle, [4]'te önerilen ve Çamlıdere'deki su alma yapısındaki su yüzeyi kotunun 960 m civarında olduğu tüm senaryolar, sistemde denge bacası ve diğer hava bacaları olmadan, yani en olumsuz koşullar için yapılmış olup, Çamlıdere-İvedik İsale hatlarında söz konusu senaryolar için verilen vana kapanma sürelerinin hassasiyetle uygulanması durumunda oluşacak ek basınçların sistemin dayanım gücünü aşmayacağı belirlenmiştir. Bu durum Tablo-1'de Pik Basınç Kotu sütunundaki değerlerin incelenmesinden de görülmektedir. Bu sütundaki hiç bir pik basınç kotu 970 m'nin üstünde değildir.

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

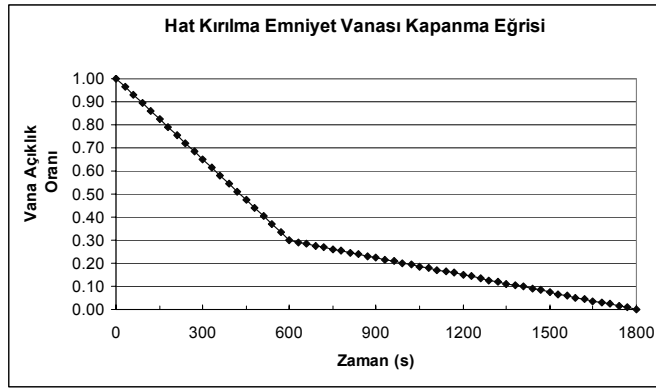
Çamlıdere 1 ve 2 hatlarında T2 tüneli çıkışında ve T3 tüneli giriş ve çıkışlarına konulan hat kırılma emniyet vanalarının İvedik Arıtma Tesisi girişindeki vanaların kapanmaya başlamasından 5 dakika sonra kapatılmaları durumu için yapılan analizler sonucunda OPM'nin 1978 yılında sunduğu raporunda, [2], bu tür vanaların kapanmasına yönelik önerileri uygun bulunmuştur. Bunlar:

- Km:7+15'te (T2 Tüneli Çıkışında) Vana Kapanma süresi: 450 saniye. İlk aşamada, bu sürenin %40'ına karşı gelen ilk 180 saniyede, vana tam açıklığının %40'ına kadar doğrusal (linear) olarak kapatılacak olup, daha sonraki ikinci aşamada toplam kapanma süresinin %60'ına rast gelen 270 saniyede ise geriye kalan vana açıklığı tamamen kapatılacaktır.
- Km:13+89'da (T3 Tüneli Girişi) Vana Kapanma süresi: 1500 saniye. İlk aşamada, bu sürenin %40'ına karşı gelen ilk 600 saniyede, vana tam açıklığının %25'ine kadar doğrusal (linear) olarak kapatılacak olup, daha sonraki ikinci aşamada toplam kapanma süresinin %60'ına rast gelen 900 saniyede ise geriye kalan vana açıklığı tamamen kapatılacaktır.
- Km:29+64'de (T3 Tüneli Çıkışı) Vana Kapanma süresi: 1200 saniye. İlk aşamada, bu sürenin %35'ine karşı gelen ilk 420 saniyede, vana tam açıklığının %25'ine kadar doğrusal (linear) olarak kapatılacak olup, daha sonraki ikinci aşamada toplam kapanma süresinin %65'ine rast gelen 780 saniyede ise geriye kalan vana açıklığı tamamen kapatılacaktır.

Diğer taraftan, bu vanaların her birinin farklı kapanma süresinin olması uygulamada bazı sorunlar yaratabilir. Bu nedenle, hat kırılma emniyet vanalarının tümü için standart olarak aynı kapanma ayarının yapılması işletme açısından tercih edilebilir. Bu ayar için Tablo 1'deki analizler için kullanılan iki aşamalı ayar önerilmektedir. Bu vanalar iki hareketle kapanmaktadır. Birinci harekette vana %100 açıklıktan %30 açıklığa getirilmek zorunda olup, bu hareketin gerçekleşmesi 45 – 700 saniye aralığında ayarlanabilmektedir. Vananın ikinci hareketinde ise %30 açıklık konumundan tamamen kapalı konuma geçiş gerçekleşmektedir. Bu hareketin süresi ise 140 – 2000 saniye aralığında seçilebilmektedir.

Çamlıdere - İvedik İsale Hattında Su Darbesi Analizleri

Çamlıdere-İvedik hatlarında hat kırılma emniyet vanalarının kapanma biçimine yönelik öneri: İlk aşamada vana açıklığı %100 açık konumdan %30 açık konuma 600 saniyede gelecek şekilde ayarlanmalı, ikinci aşamada %30 açık konumdan tamamen kapalı konuma ise 1200 saniyede gelecek şekilde ayar yapılmalıdır. Bu kapanma biçimi Şekil 4.1’de grafik olarak, Tablo-2’de ise sayısal olarak verilmiştir. Hatlara yerleştirilen Erhardt (DN 2200 PN 10) tipi kelebek vanalar yukarıda belirtildiği gibi bu ayarların yapılmasına uygun olarak tasarımılandırılmışlardır.



Şekil 4.1: Hat Kırılma Emniyet Vanası Kapanma Eğrisi

Çamlıdere barajında rezervuar su seviyesi ne olursa olsun su alma yapısındaki 4 nolu kapak yardımcı ile fazla basınç kırılarak hatta su almak için kullanılan şafttaki su kotunun mümkünse hiç bir zaman 960 m'nin üstüne çıkılmasına izin verilmemelidir. Bu nedenle 4 nolu kapağın her zaman çalışır durumda olması çok önem taşımaktadır. İleride inşaatı düşünülen üçüncü hattın proje kriterleri ve doneleri belli olduktan sonra tüm isale hatlarının su darbesi analizlerinin çok daha geniş bir spektrumda yaptırılması, söz konusu hatların emniyetli bir şekilde çalıştırılması açısından çok yerinde olacaktır. Bu çalışmada yapılan bütün analizlerde tüm vanaların tam açık pozisyondan kapanmaya başladığı varsayımı kullanılmıştır. Bu varsayım hat kırılma emniyet vanaları için doğrudur. Çünkü bu vanalar her zaman tam açıklıkta bulundurulacaktır. Kapanmaları gerektiğinde, ki bu acil durum demektir, tam açık pozisyondan tam kapalı pozisyona getirileceklerdir. Halbuki, İvedik girişindeki vanalar tamamen kapatılmaları gerektiğinde her zaman tam açık pozisyonda olmayabilirler. İleride yaptırılacak çalışmalarda bu vanaların kısmi açıklıklardan da kapatılmaya başlanabileceği dikkate alınarak analizlerin yaptırılması faydalı olacaktır.

Tablo 2: Çamlıdere-İvedik İsale Hattında Hat Kırılma Emniyet Vanalarının Kapanma Sürelerine İlişkin Veriler

İlk 600 saniyede vana %100 açıklıktan %30' açıklığa kadar kapanıyor. Toplam kapanma süresi 1800 saniyedir.						
1.Kısım TAU = -(0.70/600) t + 1			0 ≤ t ≤ 600 s			
2.Kısım TAU = -(0.30/1200) t + (540/1200)			600 s ≤ t ≤ 1800 s			
No.	t (s)	TAU	No.	t (s)	TAU	
1	0	1.0000	31	900	0.2250	
2	30	0.9650	32	930	0.2175	
3	60	0.9300	33	960	0.2100	
4	90	0.8950	34	990	0.2025	
5	120	0.8600	35	1020	0.1950	
6	150	0.8250	36	1050	0.1875	
7	180	0.7900	37	1080	0.1800	
8	210	0.7550	38	1110	0.1725	
9	240	0.7200	39	1140	0.1650	
10	270	0.6850	40	1170	0.1575	
11	300	0.6500	41	1200	0.1500	
12	330	0.6150	42	1230	0.1425	
13	360	0.5800	43	1260	0.1350	
14	390	0.5450	44	1290	0.1275	
15	420	0.5100	45	1320	0.1200	
16	450	0.4750	46	1350	0.1125	
17	480	0.4400	47	1380	0.1050	
18	510	0.4050	48	1410	0.0975	
19	540	0.3700	49	1440	0.0900	
20	570	0.3350	50	1470	0.0825	
21	600	0.3000	51	1500	0.0750	
22	630	0.2925	52	1530	0.0675	
23	660	0.2850	53	1560	0.0600	
24	690	0.2775	54	1590	0.0525	
25	720	0.2700	55	1620	0.0450	
26	750	0.2625	56	1650	0.0375	
27	780	0.2550	57	1680	0.0300	
28	810	0.2475	58	1710	0.0225	
29	840	0.2400	59	1740	0.0150	
30	870	0.2325	60	1770	0.0075	
			61	1800	0.0000	

Çamlıdere - İvedik İsale Hattında Su Darbesi Analizleri

Semboller

a	Sudaki ses hızı (m/s)
A	Boru en kesit alanı (m ²)
D	Boru çapı (m)
f	Sürtünme katsayısı
g	Yerçekimi ivmesi (9.81 m/s ²)
H	Piyezometrik basınç yüksekliği (m)
Q	Borudaki debi (m ³ /s)
TAU	Vana açıklık oranı
t	Zaman (s)
V	Boru enkesitindeki ortalama hız (m/s)
x	Akım yönündeki mesafe (m)
ζ	İnterpolasyon miktarının ölçüsü
Δt	Zaman aralığı (s)
Δx	Mesafe aralığı (m)

Kaynaklar

- [1] Bozkuş, Z., “Çamlıdere Barajı Su Alma Yapısında Basınç Kırıcı Kapak ve İsale Hattının Çeşitli Hidrolik Koşullarda Tahkiki”, Kesin Rapor, ODTÜ, Mayıs 1996.
- [2] (OPM), Obermeyer Project Management, Drinking – Water Conveyance Line, Çamlıdere-Ankara, Hydraulic Consultancy, Final Report, , Munich, January 1978.
- [3] Wylie, E. Benjamin and Streeter, L. Victor, “Fluid Transients in Systems”, Prentice Hall, 1993.
- [4] Yüksel Proje-Kesin Rapor ve Ekleri: “Çamlıdere Barajı – İvedik Arıtma tesisleri Arası İçmesuyu Sistemlerinin Etüdü ve İşletme Prensiplerinin Belirlenmesi İşİ”, Yüksel Proje Uluslararası A.Ş., Ankara, 2004.
- [5] Bozkuş, Z., “Çamlıdere Barajı-İvedik Arıtma Tesisleri İsale Hattında Çeşitli Hidrolik Koşullarda Su Darbesi Analizleri”, Kesin Rapor, ODTÜ, Ocak 2006.