



Destekleyici Şebeke Tasarımı

Sadık ALASHAN*

Bingöl Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Bingöl

sadikalashan@bingol.edu.tr ORCID: 0000-0003-1769-4590, Tel: (426) 216 00 12 (1952)

Geliş: 17.06.2017, Kabul Tarihi: 17.08.2017

Öz

Suyun elde edilmesi kadar, mevcut suyun kullanım alanına kadar taşınması da büyük önem arz etmektedir. Kaynağından alınan temiz ve yeterli miktardaki su mümkün mertebe aynı miktarda ve kalitede kullanım alanına ulaşmalıdır. Bu amaca ulaşmak için şebeke hatlarının basınç ve hız değerlerine uygun boru malzemesi ve boru çapı ile taşınması gerekir. Boru şebekelerinin hesap debilerinin tasarımında dal ve şebeke ağ yöntemleri kullanılmaktadır. Dal yönteminde her düğüm noktasına yalnız bir borudan (yönden) debi gelir. Dal sisteminde tek borudan beslenme olduğu için taşıyıcı boruda meydana gelen herhangi bir arıza borunun mansabında bulunan tüm düğüm nokta/noktalarında suyun kesilmesine neden olur. Şebeke ağ sisteminde bazı düğüm noktalarına iki veya daha fazla borudan debi beslemesi mevcuttur. Borulardan birinde meydana gelen arızadan dolayı diğer yönden besleyen boru şebekeyi uygun tasarlanırsa limit su hızı değerleri içinde besleyebilir. Ancak literatürde şebekenin bu avantajından faydalanılmıyorsa şebeke ekonomik tasarlanmaya çalışılır. Eğer ekonomik tasarlanmak isteniyorsa tek yönden besleme olduğundan dal sistemi en ekonomik çözümdür. Bu çalışmada şebeke ağ sisteminin destekleyici özelliğini yitirmeden en ergonomik tasarımının nasıl yapılacağı üzerinde durulmuş ve destekleyici şebeke ağ yöntemine göre tasarım yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Su şebekeleri, ağ sistemi, dal sistemi, destekleyici tasarım.

* Yazışmaların yapılacağı yazar

Giriş

Dünya üzerinde su miktarı nispeten çok daha fazla olmasına rağmen içilebilir yani tatlı su miktarı sınırlıdır. Kullanılabilir tatlı su miktarı ise çok daha azdır. Tatlı suyun önemli bir kısmı buzullarda katı halde ve diğer önemli bir kısmı da yeraltında olduğundan elde edilmesi için su kuyusu sondajlarına ve kuyu içinden yukarı çekilmesi için pompalara ve elektrik enerjisine ihtiyaç vardır. Böylesine zor koşullarda elde edilen kullanılabilir suyun dağıtımında çok itinalı davranmak gerekir. Bu durum şebeke sistemlerinin daha doğru tasarlanmasını gerekir. Özellikle, yüksek basınçlı tasarlanan şebekelerde büyük kayıp kaçak miktarı ve yüksek hızlarla tasarlanan borularda yüksek enerji kaybı ve aşınma meydana gelebilmektedir.

Şebeke tasarımlarında Hardy-Cross, Eşdeğer Borular ve Ölü Nokta gibi yöntemler mevcuttur (Cross, 1936; Tung et al., 1961; Muslu, 2005). Bu yöntemler birçok yerli literatürde kullanılmıştır (Sarıcaoğlu ve Büyükgüngör, 1998; Şirin ve Demir, 2007; Akbulut ve diğ., 2011; Selçuk, 2014; Günal ve diğ., 2005). Söz konusu yöntemlerden Hardy-Cross ve Eşdeğer Borular yöntemi sadece düğüm noktalarından beslenmeye göre tasarlanırken, Ölü Nokta yöntemi boru içinde beslemeyi de desteklemekte ve boru içindeki debi değişken kabul edilmektedir. Bu farklılıklarına rağmen şebekeler dal sistemindeki gibi minimum enerji kaybı göz önüne alınarak hız ve basınç tasarım limitleri içinde tasarlanır. Bu durum şebekenin arızalı olmaması durumunda geçerlidir, ancak şebekenin herhangi bir elemanında aksaklık meydana geldiği zaman şebekenin diğer elemanları arızalı kısmı beslemeye çalışacağından değişecektir.

Sağlam durumda tasarım koşullarını sağlayan şebeke arızalı durumuna geçtiğinde artık tasarım koşullarını karşılamayacaktır. Böylece sağlıklı bir şekilde düğüm noktalarının iki farklı yönden beslenmesi miktarını gösterir. Ancak 4 numaralı düğüm noktasında özel durum mevcut olup, burada

söz konusu olmayacaktır. Arıza onarılan kadar belki de tüketim bölgesi susuz kalacaktır. Suyun temizleyici ve besleyici özelliği düşünüldüğünde susuz kalan bölgelerin sağlık koşullarında bozulmaların meydana geleceği açıktır.

Yöntem

Destekleyici Şebeke Tasarım (DŞT) yöntemi diğer yöntemlerin tümünde bulunan kütle ve enerji süreklilik denklemlerini kullanmaktadır. Kütle korunumu denklemi hesap debilerinin elde edilmesinde kullanılır (Denklem 1). Burada, Q , debi, (m^3/s); V , hız, (m/s) ve A ise enkesit alanını, (m^2), ifade etmektedir. Şekil 1 'den görüleceği üzere, gelen debi 1 numaralı düğüm noktasından (DN_1) geçen debiye, DN_2 ve DN_3 ' ten geçen debilerin toplamına ve DN_4 ' ten geçen debi miktarına eşit olacaktır. Matematik olarak ifade edecek olursak Denklem 2 elde edilir.

$$Q = VA \quad (1)$$

$$Q_{DN1} = Q_{DN2} + Q_{DN3} = Q_{DN4} \quad (2)$$

Enerji korunumu denklemi ise düğüm noktalarında bulunan debinin mevcut enerjisini ve düğüm noktaları arasında meydana gelen enerji kaybını hesaplamak için Bernoulli denklemi ile kullanılır (Denklem 3). Burada, E , enerji yüksekliğini (m); V , hızı (m/s); g , yerçekimi ivmesini ($9.81 m/s^2$); P , basıncı, (kN/m^2); γ , suyun özgül ağırlığını ($9.81 kN/m^3$) ve h , geometrik yüksekliği (m) gösterir. Şebekeye gelen debinin miktarı, basıncı ve yüksekliği bilindiğine göre Denklem 1 ve 3 kullanılarak enerji yüksekliği hesaplanabilir.

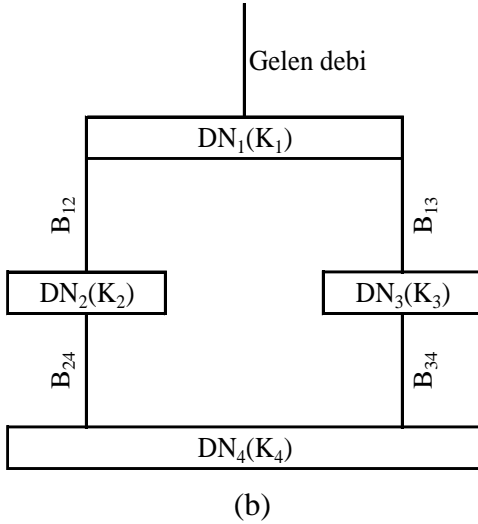
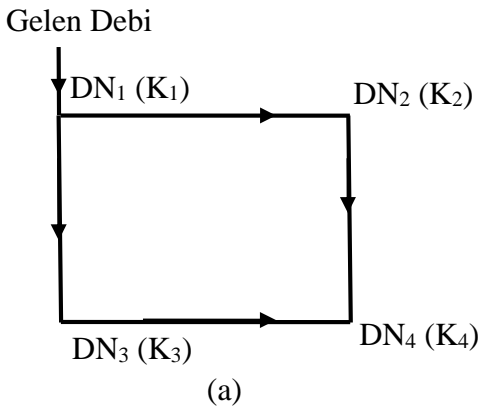
$$E = \frac{v^2}{2g} + \frac{P}{\gamma} + h \quad (3)$$

Gelen debinin enerjisi hesaplandıktan sonra diğer düğüm noktalarındaki enerji yüksekliği, borularda meydana gelen enerji kaybı hesaplanarak bulunabilir (Denklem 4). Burada Denklem 3' den farklı olarak $hk_{(B12)}$ (m) ifadesi 1 ve 2 düğüm noktasını birbirine bağlayan boruda meydana gelen enerji kaybı

DN₁-DN₂ ve DN₂-DN₄ arasında B₁₂ ve B₂₄ borularında meydana gelen toplam enerji kaybı, DN₁-DN₃ ve DN₃-DN₄ arasında B₁₃ ve B₃₄ borularında meydana gelen toplam enerji kaybına eşit olmalıdır (Denklem 5).

$$\frac{V_{DN1}^2}{2g} + \frac{P_{DN1}}{\gamma} + h_{DN1} = \frac{V_{DN2}^2}{2g} + \frac{P_{DN2}}{\gamma} + h_{DN2} + h_k^{B12} = \frac{V_{DN3}^2}{2g} + \frac{P_{DN3}}{\gamma} + h_{DN3} + h_k^{B13} \quad (4)$$

$$h_k^{B12} + h_k^{B24} = h_k^{B13} + h_k^{B34} \quad (5)$$



Şekil 1. a) Tipik bir şebeke ağı. b) Şematik gösterim.

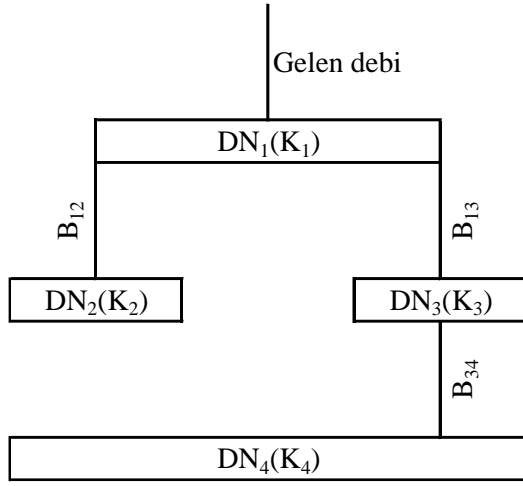
Bu durum bir düğüm noktasında sadece tek enerji değerinin bulunabilmesinden kaynaklanır. Söz konusu düğüm noktasında meydana gelen enerji farklı olsa bile sağdan ve soldan gelen akışkanın enerjileri eşitlenene kadar enerji alışverişi sağlanır.

Enerji kaybını h_k , hesaplamak için Darcy-Weisbach (Denklem 6) veya William- Hazen (Denklem 7) formülleri literatürde kullanılmaktadır. Burada; f ve C , boru cinsine bağlı katsayı; L , boru boyu (m); D , boru çapı (m); Q , debi (m³/s) ve diğer parametreler daha önce açıklanmıştır.

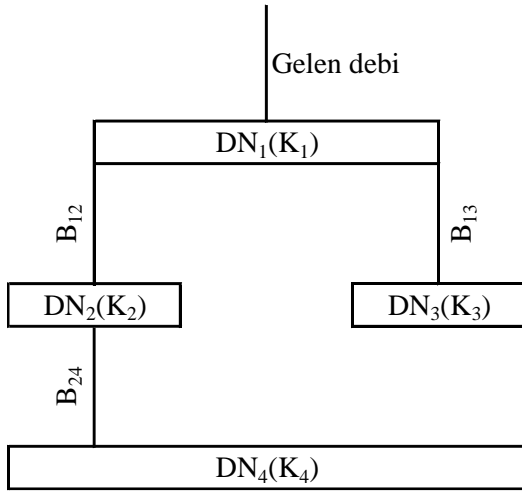
$$h_k = \frac{f V^2}{D 2g} L \quad (6)$$

$$h_k = L \left(\frac{Q}{0.279CD^{2.63}} \right)^{1.85} \quad (7)$$

Şebekenin tüm elemanları sağlam olduğunda debi akışı Şekil 1b' deki gibi gerçekleşecektir. Şebeke üzerinde herhangi bir borunun kırılması durumunda debi akışı tamamen değişecek ve tasarlanan boru çapları yetersiz kalabilecektir. Değişik boru kırılması durumlarına göre şebeke akış şemaları Şekil 2' de verilmiştir. Şebekenin destekleyici tasarımı ancak sağlam ve 1 adet borunun arızalı olmasına göre tasarlanması durumunda sağlanacaktır. Şebekelerde debi dağılımı hazneden uç noktaya doğru kümülatif olarak dağıldığından baştaki borular kendinden sonra gelen borunun yükünü taşımaktadır. Bu durum baştaki boruların kendinden sonra gelen borulara göre daha büyük çapta tasarlanmasını zorunlu hale getirmektedir. Arıza durumunda büyük çapta tasarlanan önceki borular kendinden sonra gelen küçük çaptaki boruların yükünü doğru tasarlandığı zaman limit durumlar içinde taşıyabilmektedir. Ancak şebekede bulunan herhangi bir boru kendinden önce gelen ve aynı zamanda kendi debi yükünü taşıyan bir borunun yükünü taşıyamamaktadır. Bundan dolayı şebekelerde debi akışı her zaman tek yönde ilerlemektedir. Bir şebeke gözünde, verilen hız ve basınç değerlerinin sınırlar arasında kalması için 1 sağlam (Şekil 2) ve 2 arıza (B₂₄ ve B₃₄) durumu olan 3 tasarım durumuna göre şebeke borularının tasarlanması gerekir. Böyle bir tasarım durumu, arıza durumunda bile şebekede su sürekliliğini sağlar.



(a)



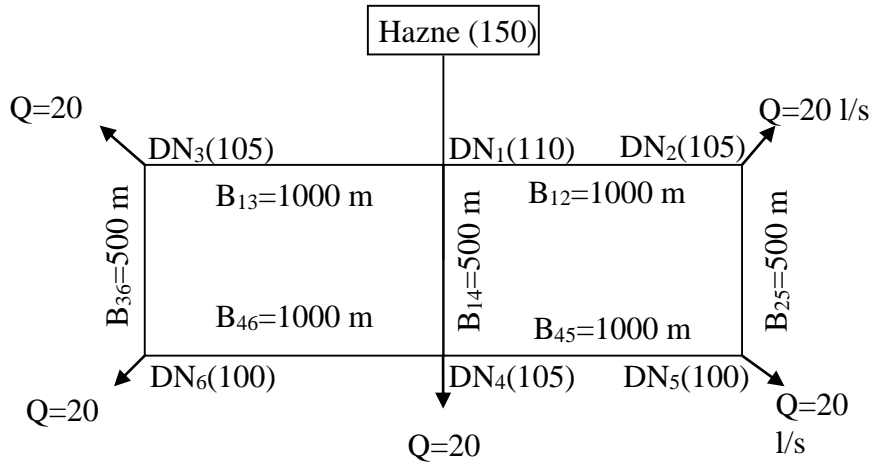
(b)

Şekil 2. Boruların arıza durumunda akış şemaları a) B24arızalı. b) B34arızalı.

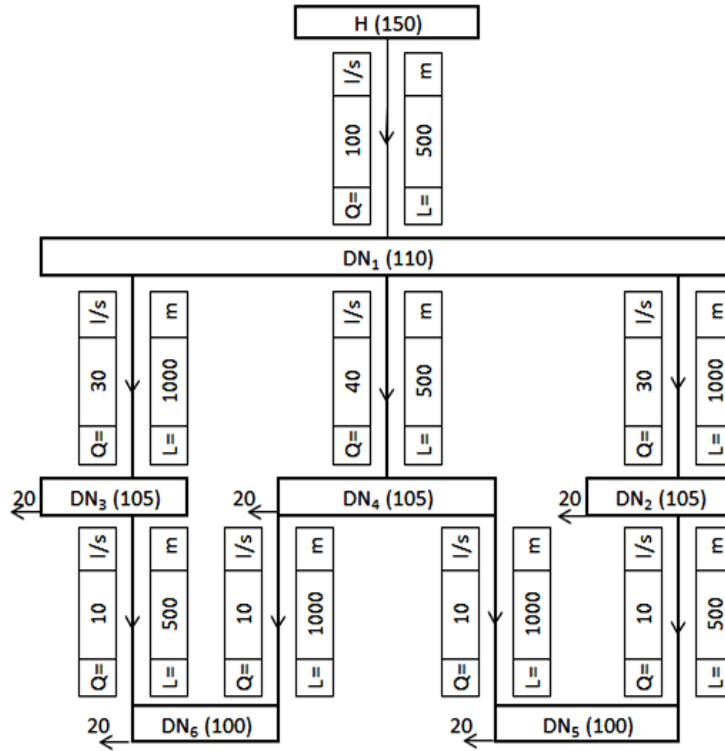
Uygulama

DŞT yöntemini uygulamak üzere iki gözlü bir şebeke Şekil 3' de verilmiştir. Şebeke üzerinde her bir düğüm noktasından çekilen debiler, düğüm noktalarının ve haznenin geometrik kotu ve boru uzunlukları görülmektedir.

Boru cinsi olarak son zamanlarda kolay işçilik, düşük pürüzlülük dolayısıyla enerji kaybı az ve korozyona uğramayan (Yüksek yoğunluklu polietilen) HDPE boru varsayımı yapılmıştır. Enerji kayıpları William-Hazen denklemi ile hesaplanmış ve C katsayısı HDPE boru için 150 olarak alınmıştır. Söz konusu iki gözlü şebeke öncelikle kusursuz yani tüm elemanlarının sağlam olduğu durum için tasarlanmıştır ve daha sonra şebeke borularının arıza vermesi durumuna göre tekrar incelenmiştir. Boru hesap debilerinin belirlenmesinde tek yönden beslenme durumu (DN₁, DN₂, DN₃ ve DN₄) için en kısa mesafeden düğüm noktalarının beslenmesi sağlanmış, iki yönden beslenme durumunda (DN₅ ve DN₆) şebeke ağı üzerinde üniform debi dağılımı sağlamak için her iki yönden birim boru boyu için eşit debi çekilmiştir (Şekil 4). Örneğin DN₆ düğüm noktası için soldan ve sağdan beslenme debisi aşağıdaki gibi hesaplanabilir.



Şekil 3. İki gözlü örnek şebeke.



Şekil 4. Şebeke debi tasarımı (Sağlam durum).

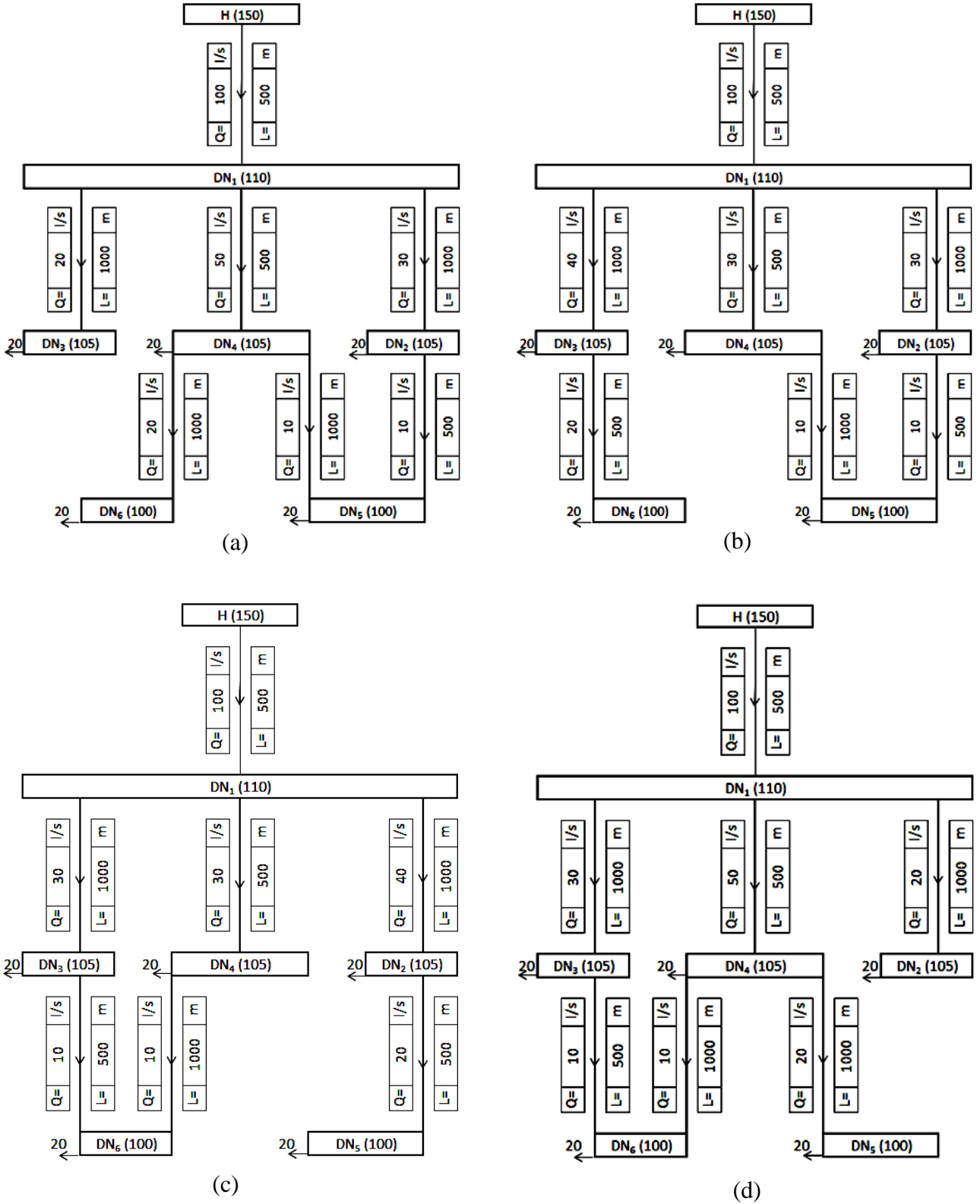
$$Q_{(DN3-DN6)} = \frac{(L_{B36}+L_{B13}) \cdot Q_{DN6}}{(L_{B36}+L_{B13}+L_{B46}+L_{B14})} = \frac{(500+1000) \cdot 20}{(500+1000+500+1000)} = 10 \text{ l/s} \quad (8)$$

$$Q_{(DN4-DN6)} = Q_{DN6} - Q_{(DN6-DN3)} = 10 \text{ l/s} \quad (9)$$

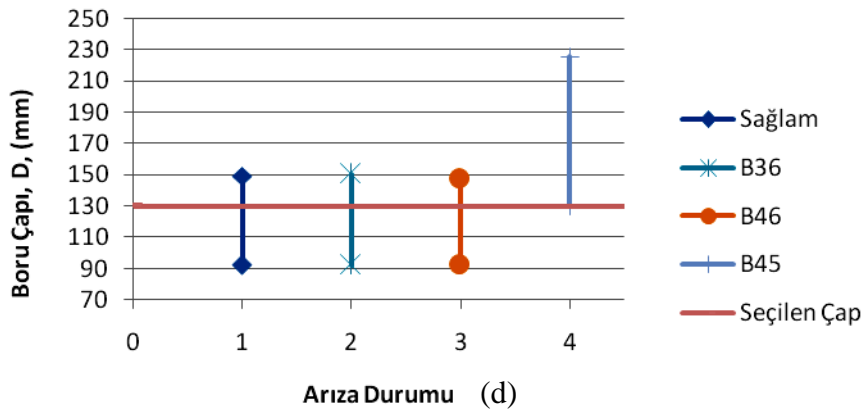
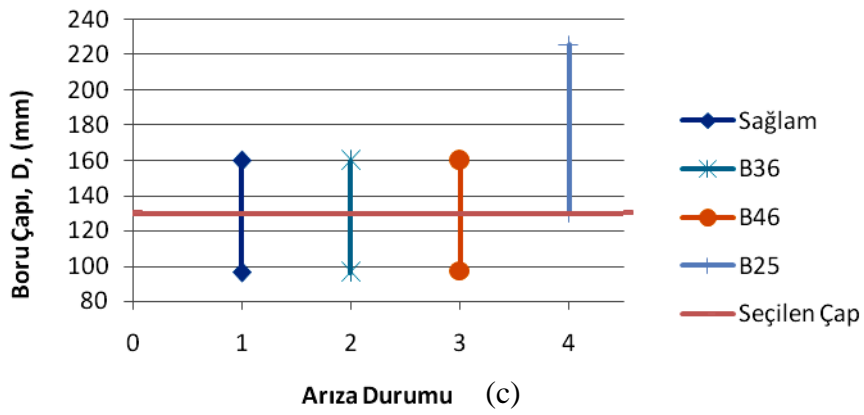
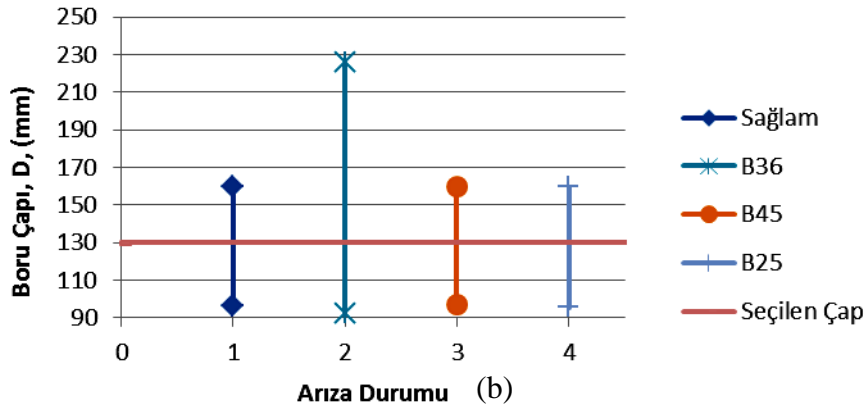
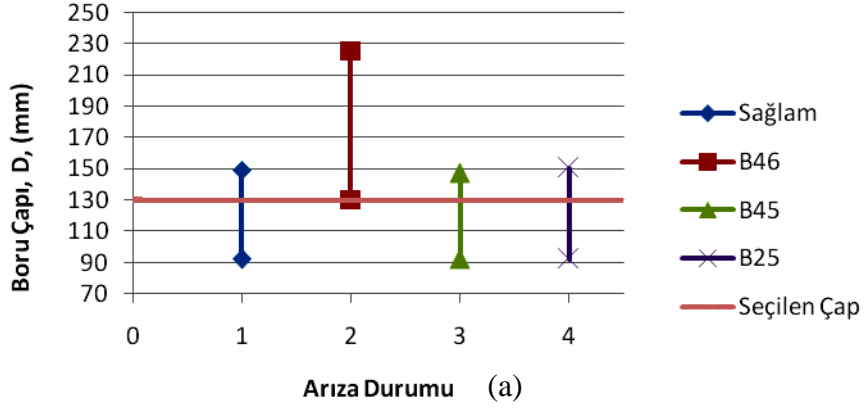
Arıza durumunda şebeke borularından geçen debinin dağılımı değişmektedir. Değişen duruma göre debinin değişimi Şekil 5' de verilmiştir. Debinin tek yönde ilerlemesi durumunda DN₁, DN₂, DN₃ ve DN₄ düğüm noktaları tek yönden beslendiğinden B₁₂, B₁₃ ve B₁₄ borularında arıza olması durumunda bu düğüm noktaları istenen debileri tasarım sınırları dâhilinde yeterince karşılayamayacaktır. DN₅ ve DN₆ düğüm noktaları iki yönden beslendiğinden herhangi bir boruda (B₃₆, B₄₆, B₄₅ ve B₂₅) arıza olması durumunda şebekede bulunan diğer borular bu düğüm noktalarını besleyecektir. Arıza esnasında değişen debi durumuna göre 1 sağlam

ve 4 arıza (B₃₆, B₄₆, B₄₅ ve B₂₅) durumuna göre şebeke boruları içerisinde hız 0.5 ile 1.5 m/s ve basınç yüksekliği 30 ile 60 m arasında kalacak şekilde şebeke boruları tasarlanmış ve boru çap aralıkları Şekil 6 üzerinde görülmektedir. Söz konusu şekil üzerinde yatay eksen olası arıza durumlarını dikey eksen ise bu durumlara karşılık gelen boru çaplarını göstermektedir.

İki yönden beslenme imkânına sahip olan B₃₆, B₄₆, B₄₅ ve B₂₅ borularının çapları DŞT yöntemine göre belirlendikten sonra artık tek yönden beslenme durumuna sahip olan B₁₂, B₁₃ ve B₁₄ borularının çapları hesaplanabilir. Hesaplanan şebeke borularının debisi, hızı, basıncı ve bunlar için gerekli boru çapı Çizelge 1'de verilmiştir. Söz konusu çizelge incelendiği zaman hız ve basınç değerlerinin sınırlar dâhilinde kaldığı görülmektedir. Ayrıca DN₅ için enerji yüksekliği 153.1 (B₂₅ son) ve 153.2 (B₄₅ son) değerleriyle birbirine oldukça yakın görülmektedir. Bu fark 1 m'nin altında ise tasarım kabul edilebilir (Muslu, 2005). Söz konusu durum DN₆ için de geçerlidir.



Şekil 5. Şebeke debi tasarımı a) B36 arızalı b) B46 arızalı c) B45 arızalı d) B25 arızalı.



Şekil 6. Şebeke tasarımı a) B36 arızalı b) B46 arızalı c) B45 arızalı a) B25 arızalı.

Tablo 1. Şebeke elemanlarının hidrolik hesap değerleri.

Eleman	Debi (l/s)	Hız (m/s)	Çap (mm)	Seçilen Çap	Uzunluk (m)	C	Enerji Kaybı (m)	Enerji Yük. (m)		Kot (m)		Basınç Yük. (m)	
								Baş	Son	Baş	Son	Baş	Son
B _{H1}	100	1,00	357	360	500	150	1,02	160,0	159,0	120	110	40,00	48,98
B ₁₃	30	1,00	195	200	1000	150	3,83	159,0	155,2	110	105	48,98	50,15
B ₁₄	40	1,00	226	230	500	150	1,65	159,0	157,3	110	105	48,98	52,33
B ₁₂	30	1,00	195	200	1000	150	3,83	159,0	155,2	110	105	48,98	50,15
B ₃₆	10	0,75	130	130	500	150	2,04	155,2	153,1	105	100	50,15	53,11
B ₄₆	10	0,75	130	130	1000	150	4,08	157,3	153,2	105	100	52,33	53,25
B ₄₅	10	0,75	130	130	1000	150	4,08	157,3	153,2	105	100	52,33	53,25
B ₂₅	10	0,75	130	130	500	150	2,04	155,2	153,1	105	100	50,15	53,11

Sonuçlar

Destekleyici Şebeke Tasarım yöntemi arıza durumunda dahi şebeke borularının debiyi tasarım sınırları dâhilinde iletmeye olanak sağlar. Bu durum suyun besleyici ve temizleyici özelliği göz önüne alındığında halk sağlığının korunması açısından çok büyük önem arz etmektedir. Arıza durumunda, arızalı boruların yanı sıra sağlam boruların içerisinde de oluşacak yüksek basınç ve hız nedeniyle kayıp kaçak oranı artmaktadır. İçilebilir su miktarının kısıtlı olmasından ötürü suyun ziyan olmasını engelleyecek bu tasarım yönteminin fayda sağlayacağı umulmaktadır.

Kaynaklar

- Akbulut, T., Kurt, O., ve Ekinci, Ö. (2011), "Su Dağıtım Şebekelerinin Tasarımı İçin CBS Modülü", TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası, 13. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, 18-22 Nisan 2011, Ankara.
- Cross, Hardy (1936). "Analysis of Flow in Networks of Conduits or Conductors." Bulletin No.286, University of Illinois, Engineering Experimental Section, Urbana, III.
- Günel, M., Bulut, S., Günel, A.Y. "İçmesuyu Şebekelerinde Hardy-Cross ve Ölü Nokta Metotlarının Karşılaştırılması", Antalya Yöresinin İnşaat Mühendisliği Sorunları Kongresi, Bildiriler Kitabı, Cilt 2, 100-106, Antalya, 2005.
- Muslu, Yılmaz (2005) "Çözümlü Problemlerle Su Temini ve Çevre Sağlığı", Su Vakfı Yayınları
- Sarıcaoğlu, K. ve Büyükgüngör, H., (1998), "İçme Suyu Şebekelerinin Hesabında Bilgisayar Kullanımı", PÜ. Mühendislik Bilimleri Dergisi, 4, (3), 767-775.
- Selçuk, A., (2014), "İçmesuyu Şebekelerine ait Tasarım Metotlarının (Ölü Nokta ve Hardy-Cross) Bilgisayar Programları Kullanılarak Karşılaştırılması", 08.04.2017 tarihinde <http://www.ankisoft.com.tr> adresinden ulaşıldı.
- Şirin, G., Demir, Y. (2007), "Çarşamba Ovası Sol Sahilindeki Bazı Köylerde İçme Ve Kullanma Suyu Problemleri Ve Çözümüne İlişkin Öneriler", ÖMÜ Zir. Fak. Dergisi, 22, (3), 248-259.
- Tung, A.L., et al. (1961), "Analysis of Distribution Networks by Balancing Equivalent Pipe Lengths", Journal of AWWA.

Supporter Network Design

Extended abstract

Although there is a lot of water in the oceans and seas, fresh water is rare in the world. Not all fresh water is drinkable. An important part of drinking water is groundwater and it is difficult to reach it because of the need for wells, hydro mechanical equipment and energy. The drinking water is carefully distributed for these reasons. Drinking water distribution is important in water supply systems. It is necessary to provide enough quantity and quality water flows that must be distributed to consumption field as soon as possible. Due to the cleansing and nutritious properties of the water it is necessary if public health is considered. For this aim, network flows should be designed with appropriate pipe diameters and materials.

Branch and Network Grid methods are used to calculate flow amounts in the pipe systems. Flow runs to a node only from one way in the Branch method. Each breakdown in a contact pipe gives rise to dry up water flows on all nodes in downstream direction of the pipe system due to one way flow in the Branch method. But, flow runs to a node from two or more ways in the Network Grid method. If a pipe is broken the other pipes can provide necessity water flow to the node within design limits. However, network pipes are designed economically in order to benefit from this advantage. Only in terms of energy consumption and pipe cost, economic design requires minimum or maximum limits of design criteria. When the network is undamaged, design boundaries are provided. However, when the network is damaged, the flow in the pipes is changing and the design criteria are not met. These pipes eroded by high flow velocity so the network damages. Economic feasibility is simply provided by energy and pipeline costs in these methods. Economic estimates can be changed if public health and the other expenditures are considered.

In this study, Supporter Network Design (SND) method is used to design network pipes without losing supporter characters of network grids as ergonomic. The continuity equation derived from mass conservation ($Q = V.A$) is used to calculate the flows in the nodes. The flow is distributed according to the length of the unit pipe to obtain a homogeneous and minimum flow path. Energy

conservation is applied these nodes and energy amounts are calculated by Bernoulli equation. Energy losses are calculated by William-Hazen and Darcy-Weisbach equations in the literature. The energy loss between the two nodes is the same even if they are fed by two or more pipes with different locations. Because in different quantities the energy is balanced by the energy interaction between water molecules flowing in different paths in a node. This allows calculating the amount of energy in the node.

A two-compartment water network was selected to apply the SND method. High density polyethylene (HDPE) pipe is selected. HDPE pipe is a long-lived pipe and doesn't corrosion. For this reason, it's using is useful for public health if it is not exposed to high air temperature with sufficient excavation level. It also has small friction and energy loss values. The William-Hazen equation is used in this study to calculate energy losses due to friction in pipelines. For HDPE pipes it is assumed that C coefficient is 150. Design limits are accepted as 0.5-1.5 m/s for water velocity and 30-60 m for pressure height.

The two-compartment network is analyzed for undamaged and damaged conditions. In the undamaged case, all the pipelines in a node are working on the network. A pipe in a node fed in two or more ways is selected as broken at the node as a damaged condition. Hydraulic calculations are made for damaged and undamaged conditions in the network. Pipe diameters are calculated for all cases and pipe diameters are selected to support each other in damaged conditions. For this reason, the method is named as Supporter Network Design.

The aim is to maintain flow continuity, even in the event of damage to the network. Flow continuity of networks is important for public health. As a result, cholera, typhoid, dysentery and other waterborne diseases can be prevented to some extent by the SND method. In total, the SND method can be a more economical solution than other methods.

Keywords: Network Grid method, Branch method, Supporter Network Design, Pipeline.