



İçme Suyu Şebekelerinde Hesap Debilerinin Ölü Noktalar Yöntemi İle Şematik Çözümü

Yazışma yazarı:
Sadık ALASHAN,
sadikalashan@bingol.edu.tr

Sadık ALASHAN¹

¹ Bingöl Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, Bingöl,

Referans:

Alashan S., (2019), İçme Suyu Şebekelerinde Hesap Debilerinin Ölü Noktalar Yöntemi İle Şematik Çözümü, Su Kaynakları, 4, (2), 15-21

Makale Gönderimi : 22 EKİM 2019
Online Kabul : 23 EKİM 2019
Online Basım : 25 EKİM 2019

Özet Su insanoğlu için vazgeçilmez doğal kaynakların başında gelmektedir. Suyun doğal yollardan elde edilmesi ve yapay olarak pratikte üretilmemesi suyun önemini daha fazla artırmaktadır. Laboratuvar koşullarında suyun üretilmesi mümkün olmasına rağmen, hem çok yüksek sıcaklıklar altında oksijen ve hidrojenin birleşmesi sonucu maliyetinin yüksek olması, hem de elde edilecek saf suyun besleyici minerallerden yoksun olması suyun çok dikkatli kullanılmasını gerektirmektedir. Şehrin ana su deposuna gelen suyun dağıtımında içme suyu şebekeleri kullanılmaktadır. İçme suyu şebekelerinin hesap debilerinin belirlenmesinde Hardy-Cross, Eşdeğer borular ve İller Bankası yönetmeliğinde belirtilen Ölü Nokta yöntemi kullanılmaktadır. Ölü noktalar yönteminin kullanımı ülkemizde yaygın olmasına rağmen, söz konusu yöntemin çözümü hususunda özellikle yeni uygulayıcıların hata yapma olasılığı yüksektir. Bu hataları en az düzeye indirmek amacıyla söz konusu yöntem için şematik bir çözüm yolu geliştirilmiştir. Şematik çözüm yolunda suyun akış yolu ve miktarı görsel olarak sunulduğundan hata yapma oranının en alt seviyelere düşmesi beklenmektedir. Yöntemin uygulanmasında ana prensip boru bağlantılarının yatay ve su borularının dikey gösterilmesidir. Boru hatları boyunca hesap debileri hesaplandıktan sonra, enerji kaybını elde etmek için ise borularda eş hız değerleri kullanılmaya çalışılmıştır. Söz konusu yöntem bir uygulama problemi üzerinde denenmiş ve başarılı sonuç elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: İçme suyu şebekeleri, Ölü Nokta yöntemi, Hardy-Cross.

Title

Abstract Water is an indispensable source for human beings. The importance of water increases every day, because it is a natural resource and cannot be produced on quantity needed by artificial means. Water should be used with extreme caution, because it can only be produced by a combination of oxygen and hydrogen at high temperature and laboratory conditions, also this process is very costly and the pure water obtained is not nutritious. Drinking water networks are used to distribute the inlet flow of a city main tank. In order to determine flows in drinking water networks, the Hardy-Cross, equivalent pipe and Dead Point method recommended by regulation of İller Bank are used. Although the use of the Dead Point method is common, it is high probability that this method is incorrectly used by beginner users. The schematic approach is developed to minimize misuses of the method. It is expected that schematic approach minimizes misuse of Dead Point method as water flow paths are visually represented. The main point in application of this approach is to show pipes (pipe fittings) as horizontal (vertical) lines. After calculating the design flows along the pipelines, equivalent velocity lines are used to calculate the energy losses. This approach is tested on a sample problem and achieves successful results.

Keywords: Drinking water networks, Dead Point Method, Hardy-Cross.

1. Giriş

Yapım ve işletme maliyetlerini minimuma düşürmek için içme suyu şebekelerini en uygun şekilde tasarlamak gereklidir. Yapım maliyetini düşürmek için uygun boru çapı ve işletme maliyetini düşürmek minimum enerji kaybı ile içme suyu şebeke sistemini işletmek gerekir. Boru çapı ve enerji kaybı arasında ters orantılı bir ilişki vardır. Yani boru çapı düşüncü hız artar ve sonucunda enerji kayıpları yükselir ya da tam tersi durum geçerlidir. Bu durumda maliyeti en iyiye (optimuma) indirmek için en uygun yol boru maliyeti ve enerji kaybı için uygun bir çözüm bulmaktır.

Farklı araştırmacılar tarafından şebekelerin en iyi tasarımı hesaplanmaya çalışılmıştır. Bu yöntemler arasında Hardy-Cross, Eşdeğer Boru ve Ölü Nokta yöntemlerini gösterebiliriz (Cross, 1936; Tung ve diğ., 1961; İller Bankası Yönetmeliği; Topacık ve San, 1985)

Bu makalede genellikle Ölü Nokta (ÖN) yöntemi üzerinde durulacaktır. ÖN yöntemi ile alakalı literatürde çeşitli çalışmalar mevcuttur. Günel ve diğ., ÖN yöntemine göre tasarımı yapılan içme suyu

şebekesini Hardy-Cross (HC) yöntemine göre tekrar tasarlayıp iki yöntemi kıyaslamıştır. Söz konusu çalışmada aynı boru çapları kullanılmasına rağmen Hardy-Cross yönteminin ÖN yöntemine göre %12 daha az enerji kaybı oluşturduğu belirtilmiştir. Ancak borularda hesaplanan debilerin ÖN yöntemine göre farklılık gösterdiğini belirtmiştir. Bu durumun esas nedeni HC yönteminde hesap debisi sadece düğüm noktalarında çekilirken ÖN yönteminde ise hesap debisi tüm boru boyunca çekilmekte ve borular değişken debilere göre tasarlanmaktadır. Selçuk (2014), Ankara'nın Çubuk ilçesine ait içme suyu şebekesinin bir bölümünü ÖN (isuCAD) ve HC (WATERCAD, msSU, EPANET) yöntemine göre bilgisayar programları kullanarak tasarlamıştır. Boru çapları değişken alınan söz konusu çalışmada ÖN ve HC yöntemlerinin kullanımının tasarımı etkilemediği belirtilmiştir. Sarıcaoğlu ve Büyükgüngör (1998), ÖN yöntemini esas alarak açıklanmalı bir bilgisayar programı geliştirdi. Programın çözüm aşamalarında ÖN yöntemini detaylı anlatarak, programın öğrenilmesinde öğrencilere faydalı olacağını ifade etmiştir. Şirin ve Demir (2007), Çarşamba Ovası sol sahilinde bulunan köylerin içme suyu şebekelerinin yeterliliğini ÖN yöntemini kullanarak incelemiştir. Köylerin %76'sında içme suyu şebekelerinin yetersiz olduğunu belirtmiştir.

2. Yöntem

ÖN yönteminde kullanılan esas mantık, su şebekesinin durumuna göre şebekede debinin sıfır olacağı bir veya daha fazla düğüm noktası veya noktalarına göre hesap debisinin belirlenmesine dayanır. İhtiyaç debisi diğer yöntemlerin aksine sadece düğüm noktalarında değil şebeke borusu boyunca da temin edilir. Bu nedenle şebeke boruları içinde ihtiyaç debisi değişkendir.

Su şebekesinin hesap debisini ÖN yöntemine göre belirlemek için aşağıdaki adımlar izlenir.

- Şebeke borularının durumuna göre bir veya daha fazla ölü düğüm noktası seçilir.
- Şebeke toplam dağıtım debisi, Q_D , hesaplanır.
- Nüfus yoğunluğuna göre her bir boruya yoğunluk katsayısı, k , verilir.
- Şebekedeki her bir boru için gerçek boru boyu, L , ve yoğunluk katsayısı, k , çarpılarak itibari boru boyu, L_i bulunur.

$$L_i = Lk \quad (1)$$

- Birim boyda dağıtılan debi, q , hesaplanır.

$$q = \frac{Q_D}{\sum L_i} \quad (2)$$

- Her bir boruda dağıtılan debi, Q_d , bulunur.

$$Q_d = qL_i \quad (3)$$

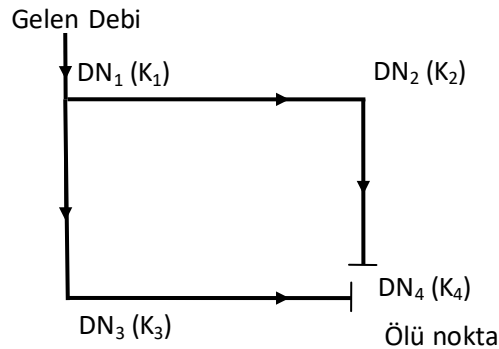
- Borunun içindeki debinin üçgen ($k_d=0.577$) veya yamuk (trapez) ($k_d=0.55$) olma durumuna göre iletim debisi, Q_i , hesaplanır. Burada k_d , dağıtım katsayısını gösterir.

$$Q_i = k_d Q_d \quad (4)$$

- İletilen debi, Q_i , varsa yangın debisi, Q_y , özel debi, Q_o ve uç debisi, Q_u ile toplanarak boru hesap debisi hesaplanır.

$$Q_h = Q_i + Q_u + Q_y + Q_o \quad (5)$$

- Her bir boru için hesap debisine göre boru çapları ve takiben enerji kayıpları hesaplanır.
- Şebeke üzerinde ölü düğüm noktasına olası geliş durumuna göre (sağdan veya soldan) enerji kayıpları arasındaki fark 1 m'den az ise boru tasarımı kabul edilebilir.

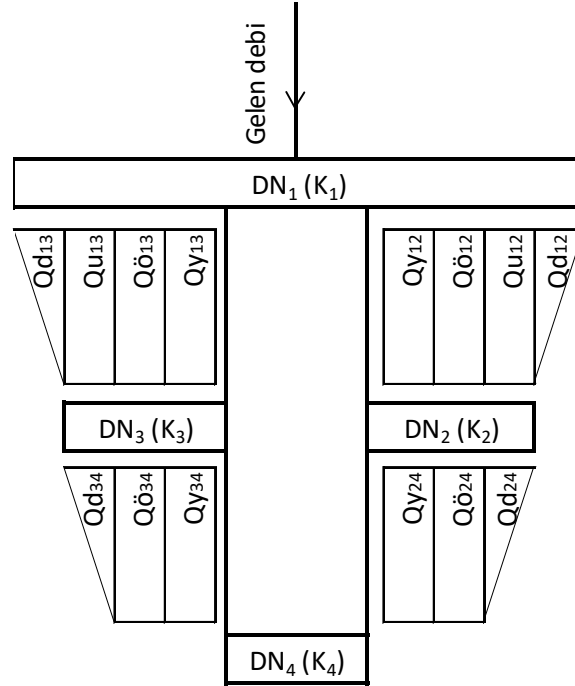


Şekil 1. Tipik şebeke gözü çizimi.

Olası geliş durumunu açıklayacak olursak, Şekil 1'den görüleceği üzere gelen debinin bir kısmı düğüm noktaları olan DN₁-DN₂-DN₃-DN₄ yolunu diğer kalan kısmı ise DN₁-DN₃-DN₄ yolunu takip edecektir. Parantez içindeki K harfi söz konusu düğüm noktasının kotunu belirtmektedir.

Bu makalede ÖN yönteminin şematik çözümü üzerinde çalışılmıştır (Şekil 2). Söz konusu yöntemde düğüm noktaları yatay, borular ve içerisinden geçen debiler düşey olarak çizilmiştir. Boru içerisinden geçen debiler seçilen ölü noktadan (DN₄) başlamak üzere birbirine eklenerek sonunda gelen debi miktarına ulaşılır. DN₄ düğüm noktası ölü nokta olduğu için burada debi sıfırdır. Düğüm noktalarında hesap debilerini hesaplamak için, düğüm noktalarının altındaki tüm debi değerleri toplanır. Uç debi,

düğüm noktasının altındaki borunun baş debisi olarak alınır. Dağıtım debisi, nüfus yoğunluğuna göre hesaplanır. Yangın ve özel debi projede verilir. Eğer verilmezse sıfır olarak alınır.



Şekil 2. Şematik ÖN yöntemi tipik şebeke gözü çizimi.

Düğüm noktalarındaki hesap debilerini denklemlerle ifade edecek olursak;

$$Q_h(DN_4 K_4) = 0 \rightarrow \text{ölü nokta} \quad (5)$$

$$Q_h(DN_3 K_3) = Q_{d34} + Q_{ö34} + Q_{y34} \quad (6)$$

$$Q_h(DN_2 K_2) = Q_{u13} \quad (7)$$

Borular için hesap debisi hesaplanırken aynı mantıkla, özel, yangın ve iletim debisi toplanarak hesap debisi elde edilir. Daha önceden de değinildiği üzere, boru içerisinde dağıtım debisi değişik olduğu için hesap debisi hesaplanırken iki durum söz konusudur. Boru içerisinde özel debi mevcut değil ve dolayısıyla boru içerisindeki debi değişimi üçgen şeklinde ise dağıtım katsayısı $k_d=0.577$ olarak, trapez şeklinde ise $k_d=0.55$ olarak alınır ve dağıtım debisi ile çarpılır. Mesela boru içerisindeki hesap debisinin denklemini 3 ve 4 numaralı düğüm noktasını bağlayan 34 borusu (B34) için yazarsak;

$$Q_h(B_{34}) = k_d Q_{d34} + Q_{y34} + Q_{ö34} \quad (8)$$

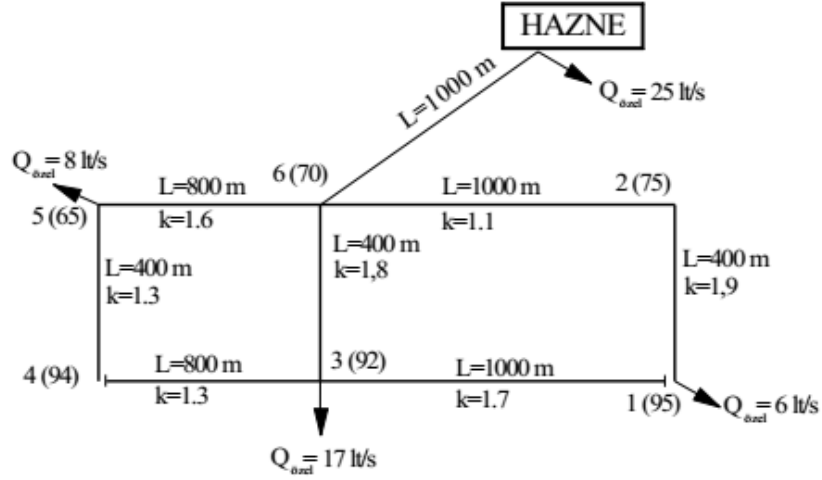
Her bir düğüm noktası, tek bir enerji değerine sahip olacağından, farklı geliş yollarına sahip olan düğüm noktalarında (DN_4) olası geliş hatlarında enerji kaybı eşit olmalıdır. Yani DN_1 - DN_3 - DN_4 hattında meydana gelen enerji kaybı DN_1 - DN_2 - DN_4 hattında meydana gelen enerji kaybına eşit olmalıdır (Şekil 2). Bu durumu sağlamak için boru içerisindeki debi için uygun çap seçilerek elde edilen akış hızı değerlerine göre yaklaşık aynı enerji kaybı miktarına ulaşılır. Bilindiği üzere enerji kaybı Darcy-Weisbach (Denklemler 9) ve William-Hazen (Denklemler 10) formüllerine göre hesaplanabilir. Burada; h_k , enerji kaybı; f ve C , sürtünme katsayısı; D , boru çapı, V , boru içerisindeki suyun hızı; g , yerçekimi ivmesi; L , boru boyu ve Q_h , hesap debisi olarak ifade edilmektedir.

$$h_k = \frac{f V^2}{D} L \quad (9)$$

$$h_k = L \left(\frac{Q_h}{0.279 C D^{2.63}} \right)^{1.85} \quad (10)$$

3. Uygulama

ÖN yönteminin şematik çözümünü gerçekleştirmek için, Emiroğlu (2014) tarafından verilen iki gözlü örnek şebeke kullanılacaktır (Şekil 3).



Şekil.3 İki gözlü örnek şebeke.

Söz konusu şebeke tabloyla ve şematik olarak çözülmüştür. Şekil 3 incelendiği zaman, şekil üzerinde özel debiler gözükmemekte olup, yangın debisi ana boru için 10 l/s ve tali borular için 5 l/s değerlerinin alınması tavsiye edilmiştir. Şebeke üzerinde düğüm noktalarında görülen değerler DN(K) olarak ifade edilmektedir. DN, düğüm numarasını ve K ise geometrik kotu (karşılaştırma düzleminden yüksekliği) göstermektedir. Yani 6(70) ifadesi 6 numaralı düğüm noktasının kotunun 70 m olduğunu belirtmektedir. Daha öncede değinildiği üzere, L, boru boyunu ve k, yoğunluk katsayısını ifade etmektedir. Toplam dağıtılacak debi, QD, 133 l/s olarak verilmiştir.

Söz konusu şebekenin tablo ile çözümü Tablo 1'de verilmiştir. Tablo 1 incelendiği zaman, 22 adet kolondan meydana geldiği görülmektedir. 1, 2 ve 3 numaralı kolonlar Şekil 3'de görülen boru numarası, boru uzunluğu ve yoğunluk katsayılarını göstermektedir. 4 numaralı kolon itibari boru boyunu gösterir ve Denklem 1 ile elde edilir. 5 numaralı kolon dağıtım debisini gösterir ve Denklem 2 ve 3 ile elde edilir. 6 ve 7 numaralı kolonlar boru içerisindeki iletilecek debiyi gösterir ve debinin sırasıyla üçgen ve trapez olma durumuna göre dağıtım debisinin 0.577 ve 0.55 katsayısı ile çarpılmasıyla bulunur. 8 numaralı kolon alt düğüm noktasından borunun ucundan alınan debiyi gösterir. 9 numaralı kolon borunun baş debisini göstermektedir ve uç debiye dağıtım debisinin eklenmesi ile bulunur. 10 numaralı kolon bir ara işlemdir. 11 numaralı kolon yangın debisini göstermektedir ve projede verilir. 12 numaralı kolon hesap debisini göstermektedir ve yangın debisi, iletim debisi ve uç debinin toplanmasıyla elde edilir. 13 numaralı kolon boru çapını gösterir ve hesap debisinin büyüklüğüne göre uygulamacı tarafından seçilir. 14 numaralı kolon süreklilik denklemine göre hesaplanır. 15 numaralı kolon Darcy-Weisbach ya da William-Hazen denklemlerinden elde edilir. 16 numaralı kolon enerji kaybını gösterir ve hidrolik eğim ile boru boyunun çarpımından elde edilir. 17 ve 18 numaralı kolonlar borunun iki ucundaki geometrik kotu gösterir ve Şekil 3'den okunur. 19 ve 20 numaralı kolonlar sırasıyla borunun ucundaki ve sonundaki piyezometrik kotu gösterir ve hazneden gelen suyun enerjisinin enerji kaybı çıktıktan sonra kalan miktarını gösterir. Şebekede hız yüksekliği ($V^2/2g$) basınç yüksekliği (P/γ) yanında çok küçük olduğundan ihmal edilebilir. 21 ve 22 numaralı kolonlar suyun boru içindeki basıncını gösterir ve piyezometre kotundan geometrik kotun çıkarılmasıyla bulunur.

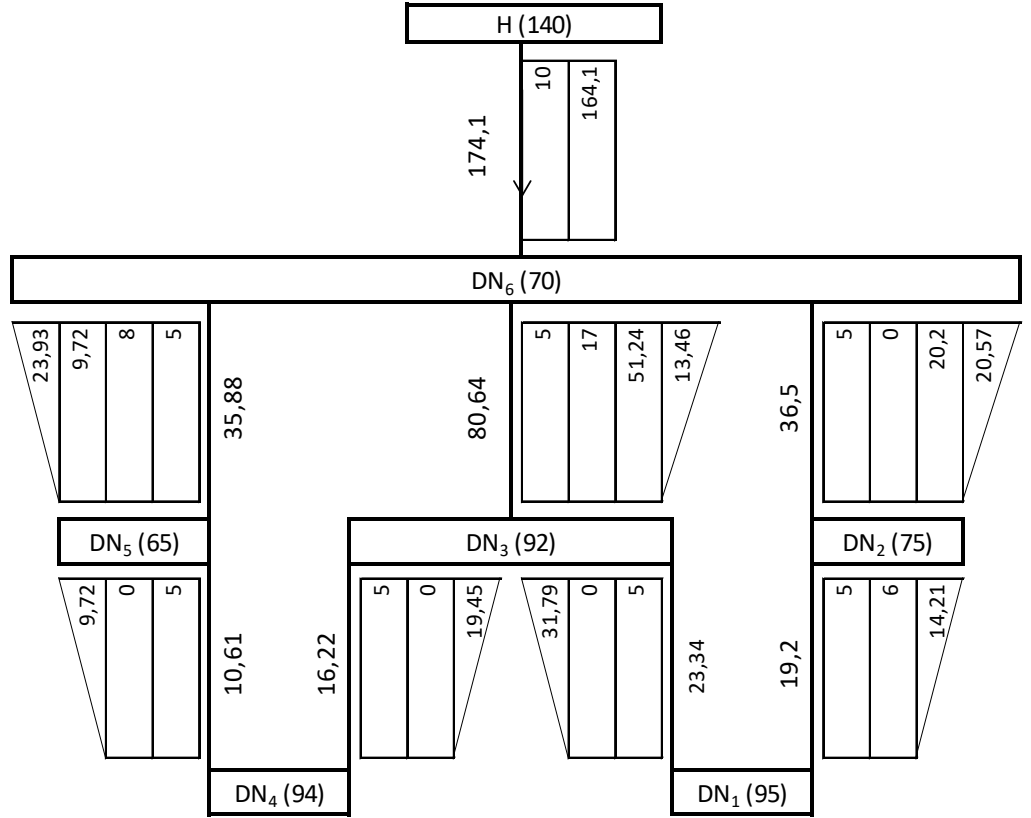
Bu ifadelerden de anlaşılacağı üzere, söz konusu yöntem teknik açıdan uygun olmasına rağmen anlaşılması yeni uygulayıcılar için zor olabilmektedir. Bu maksatla aynı yöntemin şematik çözümü Şekil 4'de verilmiştir. Şekil 4 incelendiği zaman, düğüm noktalarının yatay ve boruların düşey olarak tasarlandığı görülecektir.

Tablo 1. İki gözlü şebekenin tabloyla çözümü (Emiroğlu, 2014).

Boru No	L	k	Li	Qd	P05/0=Q	P05/5=Q	Qu	Qb	c=Qu+Qi	Qy	Qh=c+Qy	D	v	J	jxl	Boru Eksen Kotu		Piyezometre Kotu		Su Basıncı	
																B	S	B	S	B	S
-	m	-	m	lt/s	lt/s	lt/s	lt/s	lt/s	lt/s	lt/s	lt/s	mm	m/s	mss/km	m	m	m	m	m	m	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
21	400	1,9	760	14,21	-	8,20	6	20,21	14,20	5	19,20	200	0,61	2,427	0,97	75	95	135,65	134,68	60,65	39,68
62	1000	1,1	1100	20,57	11,31	-	20,21	40,78	31,52	5	36,52	250	0,74	2,730	2,73	70	75	138,38	135,65	68,38	60,65
31	1000	1,7	1700	31,79	-	18,34	0	31,79	18,34	5	23,34	200	0,75	3,669	3,67	92	95	137,94	134,27	45,94	39,27
34	800	1,3	1040	19,45	-	11,22	0	19,45	11,22	5	16,22	200	0,52	1,784	1,43	92	94	137,94	136,51	45,94	42,51
54	400	1,3	520	9,72	-	5,61	0	9,72	5,61	5	10,61	150	0,60	3,377	1,35	65	94	137,54	136,19	72,54	42,19
65	800	1,6	1280	23,93	13,16	-	17,72	41,65	30,88	5	35,88	300	0,51	1,053	0,84	70	65	138,38	137,54	68,38	72,54
63	400	1,8	720	13,46	7,40	-	68,24	81,70	75,64	5	80,64	400	0,65	1,088	0,44	70	92	138,38	137,94	68,38	45,94
H6	1000	-	-	-	-	-	-	-	-	10	174,13	500	0,89	1,615	1,62	-	70	140	138,38	-	68,38

Toplam=7120

30-80 mss
arasında uygun



Şekil 4. İki gözlü şebekenin şematik ÖN yöntemi ile çözülmesi.

Düğüm noktalarını temsil eden yatay kutucuklar içinde düğüm noktasının adı ve geometrik kotu verilmektedir. Boruları temsil eden düşey çizginin sağında sırasıyla, yangın, özel, uç ve dağıtım debileri gösterilmektedir, solunda ise borunun içindeki iletim debisi yani yangın debisi, özel debi ve iletim debisi değerinin (Denklemler 7) toplamı gösterilmektedir.

Her bir düğüm noktasından geçen debi ise bir altındaki tüm debi değerlerinin toplamına eşittir. Hesap debileri bu şekilde çok kolay hesaplanır ve her bir boru için hesaplandıktan sonra boru çapları seçilir ve seçilen boru çapları için enerji kayıpları Denklem 8 ve 9 kullanılarak rahatlıkla hesaplanabilir. Burada önemli olan DN4 ve DN1 gibi birden fazla yoldan beslenen düğüm noktalarında enerji yüksekliğinin aynı olmasına dikkat etmektir. Bunun için pratik yol öncelikle boru içerisinde 0.8 m/s ve 2.0 m/s arasında, ideal olarak 1 m/s hız ile herhangi bir besleme hattına göre düğüm noktasının enerji yüksekliğini hesaplamak ve diğer besleme hattını bu enerji miktarına göre tasarlamaktır. Yani DN1 için tasarım yapacak olursak, sağdan gelen H-DN6-DN2-DN1 besleme hattında hız değerini 1 m/s alarak boru çapları seçilir ve DN1 noktasının enerji yüksekliği hesaplanır. Bu durumda soldan gelen besleme hattı için H-DN6 arası tasarlanmıştır. DN6-DN3 arası tekrar ideal 1 m/s hız ile tasarlanır. Artık DN3 ve DN1 noktalarının enerji yüksekliği bilindiğine göre aradaki enerji farkına göre bu kısımda boru çapı seçilir ve tasarım tamamlanır. Burada önemli nokta sağdan ve soldan birlikte beslemelerde her iki uçtaki enerji farkının 1 m enerji yüksekliği değerinden az olmasıdır. Şebekenin diğer kısımları da aynı mantıkla tasarlanabilir. Son aşamada tüm düğüm noktaları için basınç yüksekliği kontrolü yapılarak işlem tamamlanır. Basınç yüksekliği yaklaşık olarak enerji yüksekliğinden geometrik yükseklik çıkarılarak bulunur ve 30-80 m arasında olması gerekir. Boru çapları, basınç ve enerji yükseklikleri Tablo 1'de görülmektedir. Görüntü karışıklığını önlemek adına Şekil 4'de gösterilmemiştir. İstenirse aynı mantıkla enerji şeması da çizilebilir.

4. Sonuçlar

Su şebekelerinde hesap debilerinin elde edilmesi, yeni öğrenen ve uygulamada yeni olanlar için su şebeke sisteminin hafızada canlanması zor olduğundan, birtakım zorluklar taşımaktadır. Bu zorlukların üstesinden gelmek adına su şebeke sistemine görsel bir karakter katılmaya çalışılmıştır. Bu durum hem sistemin daha detaylı tasarlanmasını sağlayacak, hem de görsel olduğundan hata yapma olasılığını azaltacak ve hem de ilk öğrenenlerinin konuyu daha kolay kavramasına yardımcı olacaktır.

5. 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 Illionis, Engineering Experimental Section, Urbana, Ill.
- Emiroğlu, M.E. (2014), "Su Temini ve Uzaklaştırılması Ders Notları", yayınlanmamış.
- Günel, M., Bulut, B. ve Günel, A.Y., "İçmesuyu şebekelerinde Hardy-Cross ve Ölü Nokta Metodlarının Karşılaştırılması" 08.04.2017 tarihinde <http://www.imo.org.tr/resimler/ekutuphane/pdf/11130.pdf> adresinden ulaşıldı.
- 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 Metodlarının (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.
- Goswami, B. N., V. Venugopal, D. Sengupta, M. S. Madhusoodan, and P. K. Xavier (2006), Increasing trends of extreme rain events over India in a warming environment, Science, 314, 1442–1445, doi:10.1126/science.1132027.