SERBEST YÜZEYLİ AKIMLARDA PÜRÜZLÜLÜK KATSAYISININ BELİRLENMESİ

Atıl BULU (*), Ertan YILMAZ (**)

ÖZET

Serbest yüzeyli akımlarda kanaldaki ortalama akım hızını ve debiyi bulmak için kullanılan Manning formülü 1889 yılında İrlandalı Robert Manning adlı bir mühendis tarafından önerilmiştir. Bu evrensel hız formülü halen de geçerliliğini korumakta ve kullanılmaktadır. Manning formülündeki n pürüzlülük katsayısı değerleri kanalın geçtiği zemin özelliklerine bağlı olarak Tablolar halinde hazırlanarak su mühendisliği kitaplarında verilmiştir. Bu değerler çeşitli deneysel çalışmalar sonunda elde edilen değerlerdir. Uygulamadaki mühendis doğal veya yapay kanalın geçtiği zemin özelliğine bağlı olarak bir n değeri seçer. Bu seçim mühendisin bilgi, görgü ve deneyimine çok bağlıdır. Bu çalışmada, pürüzlülüğün oluşmasına neden olan bir çok etkenler göz önünde tutularak n Manning katsayısı hesabı için bir yöntem verilmiştir.

1. GİRİŞ

Serbest yüzeyli akımlarda kanaldan geçen akımın hızının ve debisinin belirlenmesinde kullanılan evrensel formül Manning formülüdür. Kesit karakteristikleri belli olan bir akımda kanaldan geçen akımın hızını bulurken,

$$V = \frac{1}{n} \times R^{2/3} \times I_o^{1/2} \qquad (1)$$

Manning formülü kullanılmaktadır. Bu denklemde I_0 = Kanalın taban eğimi, R = Kanalın şekli ve su derinliğine bağlı olan hidrolik yarıçap, n = Manning pürüzlülük katsayısıdır. Bu üç büyüklük de kanalı karakterize eden fiziksel özelliklerdir. Kanal taban eğimi ve hidrolik yarıçap ölçümlerle kolaylıkla belirlenebilir. Pürüzlülük katsayısı ise doğal veya yapay kanalın bir çok özelliğine bağlı olarak hazır tablolardan alınan bir katsayıdır [1].

Pürüzlülük katsayısının seçimi, seçimi yapan mühendisin bilgi, deneyim ve öngörme yetisine çok bağlıdır. Bu çalışmada n pürüzlülük katsayısının seçiminde göz önünde tutulması etkenler ve elde edilmesine yardımcı olacak bilgiler verilmeye çalışılacaktır.

(*)Prof.Dr., (**)İnş.Müh.,İTÜ İnşaat Fakültesi, İstanbul

2. MANNING PÜRÜZLÜLÜK KATSAYISINA ETKİ EDEN FAKTÖRLER

Yapay ve doğal kanalların hızını ve debisini bulurken kanal en kesitinin R hidrolik yarıçapı ve kanal eğimi bulunduktan sonra n Manning katsayısı seçilerek hesaplar yapılır. Yapay kanallarda bu seçim nispeten kolaydır. Kanal kaplamasına bağlı olarak alışıla gelen değerlerden biri seçilebilir. Doğal ırmakların ve derelerin hız ve debisini bulurken de aynı şekilde bir n katsayısı seçilir. Bu seçim genelde oldukça kaba ve kanal boyunca değişmediği kabul edilerek yapılır. n katsayısının seçiminde aşağıdaki etkenlerin etkisini de göz önünde tutmak gerekir.

a) Yüzeyin Pürüzlülüğü

Yüzey pürüzlülüğü ıslak çevreyi oluşturan malzeme danelerinin boyut ve şeklini ifade eder ve akımı yavaşlatıcı etki oluşturur. Genellikle pürüzlülük katsayısının seçiminde tek etken olarak düşünülse de belli başlı etkenlerden sadece birisidir. Genellikle ince daneli malzemelerde n katsayısı düşük, iri daneli çeper malzemesinde n katsayısı yüksek bir değerdedir. Eğer çeper malzemesi ince daneli ise, su seviyesindeki değişimlerde n katsayısı değişmez. Çeper malzemesi çakıl ve kayalardan oluşuyorsa, düşük su seviyelerinde n pürüzlülük katsayısı aynı kesit için daha büyük, yüksek su seviyelerinde bu kesit için daha ufak bir değerdedir. Genel olarak doğal kanallarda n seçiminde bu durum göz önünde tutulmaz.

b) Bitki Örtüsü

Kanal içindeki bitki örtüsü de pürüzlülük katsayısı seçiminde önemli bir etkendir. Yapay kanallarda seçilen pürüzlülük katsayısı kanal içinde hiçbir bitki örtüsü olmadığı düşünülen durum için yapılır. Zamanla çeperde oluşan çeşitli bitki gelişimi akımın hareketine engel oluşturur, yani n pürüzlülük katsayısını arttırır. Doğal akım yataklarında bu durum çok daha belirgindir. Bir kesitten akan bir debi yaz ve kış aylarında farklı oluşan bitki örtüsünden dolayı farklı derinlik ve hızlarda geçer. Yani n pürüzlülük katsayısı aynı kesit için yaz ve kış aylarında çok farklı değerler almaktadır. Bitki örtüsünün değişiminin kanalın geçirimliliğine etkisinin çarpıcı bir örneği aşağıda bir uygulama olarak verilecektir.

c) Kanal Düzensizliği

Kanal düzensizliği, kanal boyunca kesit, boyut ve şekildeki değişimleri ve ıslak çevredeki düzensizlikleri kapsar. Doğal kanallarda bu tip düzensizlikler kanal yatağında oluşmuş kum yığınları, tümsekler, çukurlar ve boşluklardır. Bu düzensizlikler yüzey pürüzlülüğünü arttırır.

d) Kanal Eğriliği

Kanal ekseninin akım boyunca eğriliği n pürüzlülük katsayısına etki eder. Eksendeki bu kıvrımlar süründü malzemesi birikimine neden olarak n pürüzlülük katsayısını da arttırır. Eğer akım hızı az ise, n katsayısının kıvrımlı kanallarda çok değişmediği kabul edilebilir.

e) Birikim ve Aşınma

Kanal yatağında biriken alüvyonlar düzensiz bir kanalı pürüzlülüğü azaltarak, n katsayısını düşürerek, düzenli bir duruma getirebilir. Aşınma durumunda ise n katsayısı artar. Yatakta oluşan birikimin nasıl oluştuğu da önemlidir. Eğer birikimler kum tepecikleri şeklindeyse bu durumda pürüzlülük artar. Kanal yatak malzemesi birikim ve aşınmada önemli bir etkendir.

f) Engeller

Yatakta biriken kütükler, köprü ayakları ve benzeri engeller n pürüzlülük katsayısını arttırır. Artışın miktarı engelin cinsine, şekline, sayısına ve dağılımına bağlıdır.

g) Kanal Enkesitinin Boyut ve Şekli

Kanalın boyut ve şeklinin n katsayısına etkisinin olmadığı kabul edilebilir. Yalnız, hidrolik yarıçaptaki değişim kanalın şekline bağlı olarak n katsayısını arttırabilir veya azaltabilir.

h) Seviye ve Debi

Genel olarak n katsayısının değeri seviye ve debi arttıkça düşer. Yatakta ki su sığ ise, kanal tabanındaki düzensizlikler açığa çıkar ve pürüzlülük etkisi artar. Fakat yüksek su seviyelerinde kanal şevlerindeki düzensizlikler ve bitki örtüsü pürüzlülüğü arttırır.Bu durum doğal kanallarda ortaya çıkar. Yapay sel yataklı kanallarda ise ana yatak ve sel yatağı aynı kaplama malzemesiyle kaplı ise n katsayısını sabit kabul edebiliriz.

i) Mevsimsel Değişimler

Kanallarda oluşan ağaç, ot ve bitki örtüsünün mevsimsel değişimlerine göre n katsayısının değeri de önemli değişiklik gösterir.

Bütün bu etkenler göz önünde tutularak n pürüzlülük katsayısı tahmin edilir. Aynı zamanda kanal tipi, akım durumu ve özellikle yapay kanalların bakım sıklığı n pürüzlülük katsayısının tespitinde dikkate alınmalıdır.

3. COWAN YÖNTEMİ

Pürüzlülük katsayısına etki eden önemli etkenleri dikkate alarak n pürüzlülük katsayısı hesabı için [2] bir yöntem önermiştir. Bu yönteme göre n katsayısı,

$$n = (n_0 + n_1 + n_2 + n_3 + n_4) \times m \qquad (2)$$

denklemiyle hesaplanır.

n_0 katsayısı kanalın geçtiği zeminin özelliğine bağlı olarak tablolardan alınan pürüzlülük katsayısıdır. n_0 pt katsayısına eklenen n_1 katsayısı ise kanal düzensizliğinin etkisini içerir. n_2 katsayısı kanal kesitinin şekil ve boyutundaki değişme derecesini kapsar. n_3 değeri kanalda mevcut engellerin etkisini içerir. n_4 düzeltme faktörü ise bitki örtüsü ve akım durumlarını kapsar. m katsayısı ise kıvrım faktörüdür. Bu katsayılar kanalın özelliğine göre Tablo 1. de verilmiştir.

n_0 katsayısı seçiminde toprak kanallarda $n_0 = 0.020$, kaya zeminde açılan kanallarda $n_0 = 0.025$, çakıl zeminler için $n_0 = 0.024$ ve kumda açılan kanallar için $n_0 = 0.028$ değerleri alınabilir.

n_1 katsayısı : Bu katsayı kanal düzensizliğini içeren düzeltme katsayısıdır. Kanalı kaplayan malzeme için elde edebilecek en iyi yüzey pürüzsüz; iyi düzlenmiş kanallar, kenar şevleri biraz aşınmış ise önemsiz; kenar şevleri orta derecede düzeltilmiş kanallar için orta; şev göçmeleri oluşmuş, aşınmış, şekli bozulmuş ve düzensiz kazılmış kaya kanallar için şiddetli sütunundaki değerler kullanılabilir.

n_2 katsayısı : Kanal kesitinin şekil ve boyutundaki

Tablo 1

Kanal Koşulları			Değerler
Kanalın içerdiği malzeme	Toprak	n_0	0.020
	Kaya		0.025
	Kum		0.024
	Çakıl		0.028
Düzensizlik derecesi	Pürüzsüz	n_1	0.000
	Önemsiz		0.005
	Orta		0.010
	Şiddetli		0.020
Kanal yarıçapındaki değişimler	Aşamalı	n_2	0.000
	Ara Sıra Değişen		0.005
	Sık Değişen		0.010-0.015
Engellerin benzer etkiler	İhmal Edilebilir	n_3	0.000
	Önemsiz		0.010-0.015
	Kayda Değer		0.020-0.030
	Şiddetli		0.040-0.060
Bitki örtüsü	Düşük	n_4	0.005-0.010
	Orta		0.010-0.025
	Yüksek		0.025-0.050
	Çok Yüksek		0.050-0.100
Kıvrım derecesi	Önemsiz	m	1.000
	Kayda Değer		1.150
	Şiddetli		1.300

değişmeyi içeren düzeltme faktörüdür. Kanal boyutu ve şeklindeki değişim aşamalı olarak oluşmuş ise aşamalı; geniş ve dar kesitler birbirini takip ediyorsa veya şekil değişimi akımın yönünü değiştiriyorsa ara sıra değişen; geniş ve dar kesitler çok sık oluşuyorsa veya şekil değişimi akımın yönünü ani değiştiriyorsa sık değişen terimlerindeki değerler kullanılır.

n_3 katsayısı : Kanalda mevcut engelleri içeren düzeltme faktörüdür. Bu katsayının seçiminde kanalda var olan birikintiler, tümsekler, kütükler, kayalar ve köprü ayakları gibi engeller göz önünde tutulur. Engellerin kapladığı alan, engellerin özellikleri ve engellerin enine ve boyuna kapladıkları alan göz önünde tutularak Tablo1 den bu katsayısı seçilir.

n_4 katsayısı : Bu katsayının seçiminde kanal içindeki bitki örtüsünün etkisi dikkate alınır.

a) Düşük şu durumlarda geçerlidir. Ortalama akım derinliği yosun ve yabani otların derinliğinin 2-3 katı iken veya ortalama akım derinliği esnek fide ve söğüt fidelerinin 3-4 katı olduğu durumlarda,

b) Orta şu durumlarda geçerlidir. Ortalama su derinliği mevcut yosun ve yabani ot tabakasının 1-2 katı olduğu, ortalama su derinliğinin köklü otlar ve ağaç fidelerinin 2-3 katı olduğu ve hidrolik yarıçapın 0.60 m' yi geçmediği hafif çalı toplulukları ve 1-2 yaşındaki söğütlerin bulunduğu durumlarda,

c) Yüksek şu durumlarda geçerlidir. Bitki örtüsü yüksekliğinin ortalama su derinliğine eşit olduğu, hidrolik yarıçapın 0.60 m' yi aştığı söğüt ve yapraksız fidanlar varken ve hidrolik yarıçapın 0.60 m' yi aştığı bol 1 yaşına kadarki bol yapraklı söğütlerin bulunduğu durumlarda,

d) Çok yüksek şu durumlarda geçerlidir. Ortalama su derinliğinin bitki örtüsünden az olduğu, hidrolik yarıçapın 3-4 m olduğu gür söğütler ve bol yapraklı çalı örtüsü ve hidrolik yarıçapın 2-4 m olduğu büyüme sezonundaki bol yapraklı ağaçlar.

m katsayısı : Bu katsayı kanaldaki mendereslenme (kıvrım) düzeyini içerir. Mendereslenme (kıvrımlılık) düzeyi kanal boyunca kıvrımlı uzunluğun düz uzunluğa oranına bağlıdır. Kıvrımlılık 1.0 den 1.2'ye kadar önemsiz, 1.2 den 1.50 değerine kadar önemli ve 1.5' dan fazla ise şiddetli olarak kabul edilir.

Bu yöntemle n katsayısı bulunurken bir çok etken göz önünde tutulmalıdır. Yöntem yataktaki süruntü malzemesi birikimini ve askı maddesi etkisini göz önünde tutmamaktadır. Genelde orta büyüklükte kanallar için geçerlidir. Hidrolik yarıçapın 4.5 m'yi geçtiği durumlarda dikkatle kullanılmalıdır. Bu yöntem kaplamasız doğal kanallar, taşkın yatakları ve drenaj kanallarında uygulanabilir ve bu tip kanallarda n için minimum 0.02 değeri elde edilir. Bilindiği gibi kaplamalı kanallarda minimum n değeri 0.012'dir.

4. UYGULAMA

Taban eğimi I_0 = 0.0004, taban genişliği B = 4 m, şev eğimleri m = 2 olan trapez bir kanalda su derinliği h = 1 m alalım. Kanal toprak zeminde açılmış yapay bir kanal olsun. Kanalda bitki örtüsünün değişimine göre hız ve debi değişimlerini inceleyelim. Yeni açılmış toprak kanal için n_0 katsayısı Tablo 1 den n = 0.02 olarak bulunur. Tablodan bitki örtüsü değişimi ile n4 değerlerini alarak ve 2 denklemini kullanarak yeni n değerleri hesaplanıp 1 denklemiyle hız ve debi hesaplarını yaparsak Tablo 2 deki değerler elde edilir. Yeni açılmış kanaldan n = 0.02 için Q = 4.77 m^3/s debi geçerken, düşük bitki örtüsünde n = 0.03 ve Q = 3.17 m^3/s, orta bitki örtüsünde n = 0.045 ve Q = 2.12 m^3/s, yüksek bitki örtüsünde n = 0.07 ve Q = 1.36 m^3/s ve çok yüksek bitki örtüsünde n = 0.12 ve Q = 0.79 m^3/s olmaktadır. Görüldüğü gibi hiç bakım görmeyen, yoğun bitki örtüsü oluşan bir kanalın debisi 6 kat azalmaktadır. 2 denklemini kullanarak Manning katsayısını düzeltme, bu uygulama da yalnız bitki örtüsünü içermektedir. Diğer etkenleri de dikkate alırsak geçen debinin çok daha fazla azalacağı açıktır [3].

Tablo 2 n ile Hız ve debi Değişimi

n	Hız (m/s)	Debi (m^3/s)
0.020	0.79	4.77
0.030	0.53	3.17
0.045	0.35	2.12
0.070	0.23	1.36
0.120	0.13	0.79

5. SONUÇLAR

Bu yazı uygulamadaki mühendislere bazı çarpıcı örnekleri göstermek için hazırlanmıştır. Mevcut bir akarsuyun bir kesitinden geçen debiyi hesaplarken ortalama kesit alanını, ıslak çevreyi ve kanal taban eğimini oldukça hassas hesaplamak olanaklıdır. n Manning katsayısını kanalı inceleyerek tahmin etmek mühendislerin bilgi ve deneyimine çok bağlıdır. Aynı şekilde yapay bir kanal projelendirirken bulunan ebatların, zamanın eskitmesiyle geçirilmesi istenen debiyi geçiremeyeceği dikkate alınmalıdır. Kanalın bulunduğu yöre ve hizmet edeceği kuruluşa bağlı olarak sürekli bakım yapılıp yapılamayacağı gibi etkenlerde göz önünde tutulmalıdır. Aynı zamanda n değerini seçerken %100 de yanılmak her zaman olasıdır. Su mühendisliğinde görgü, bilgi ve deneyim birikiminin diğer mühendislik dallarına göre çok daha önemli olduğu görüşündeyim.

6. KAYNAKLAR

[1] Chow, C.T. (1959). Open Channel Hydraulics, Mc Graw Hill, Company Inc.

[2] Cowan, L.W. (1956) Estimating hydraulic roughness coefficients, Agricultural Engineering, Vol. 37, No. 7, pp. 473-475.

[3] Yılmaz, E.(2002). Açık Kanallarda Manning Katsayısının Seçimine Etki Eden Faktörlerin İncelenmesi ve Abaklar, Bitirme Ödevi, İTÜ İnşaat Fakültesi.