

Yağmursuyu Cadde Ağızlığı Tasarımı

Prof. Dr. Ertuğrul BENZEDEN

DEÜ Mühendislik Fakültesi Em. Öğretim Üyesi

Öz

Türkiye’de diğer bazı altyapı sistemleri gibi, **kentsel yağmursuyu drenaj sistemleri** de teknik ve ekonomik nedenlerle ya hiç yapılmamakta ya da gelişigüzel veya hatalı yapılmaktadır. Bu yüzden, sağanak yağışlar sonucunda kentlerimizde hemen her yıl yinelenen **sosyal, ekonomik ve psikolojik zararlar** ortaya çıkmaktadır.

Yağmursuyu drenaj şebekelerinin ve bu şebekelerin en önemli unsurlarından biri olan **cadde ağızlıklarının** tasarımı, inşaatı ve etkin şekilde işletilmesi ülkemizdeki özel ve yerel kurumlarda çalışan pek çok teknik personelin yeterli bilgi sahibi olmadığı bir konudur. Üniversitelerimizde mühendis adaylarına yağmursuyu drenaj sistemlerinin tasarımı için gerekli altyapı Hidroloji, Hidrolik, Su Yapıları gibi dersler çerçevesinde kısmen verilmektedir. Ancak, cadde ağızlığı gibi özel yapıların tasarımı süre darlığı nedeniyle öğretilmemektedir. Bu bildiride, **cadde arkında akış hidroliği ile, tabandan ve yandan (bordür altından) alıŖlı cadde ağızlıklarının tasarımına ilişkin temel ilkeler** küçük **sayısal örnekler** eşliğinde sunulmuştur.

Anahtar sözcükler: *kentsel yağmursuyu drenajı, cadde arkında akış, cadde ağızlıkları.*

GİRİŞ

Cadde, yaya kaldırımını, park, otopark gibi açık alanlara düşen kısa süreli sağanak yağışlar sonucunda bordür kenarındaki cadde arkında dikkate değer ölçüde yağmur suyu debileri oluşur. Yolun belli bir bölümündeki yağmursuları **uygun aralıklarla yerleştirilmiş cadde ağızlıkları** ile derlenip uzaklaştırılmaz ise, yoldaki debiler giderek artar. Yola yakın bölgede su baskınları yaşanır. Yaya ve taşıt trafiğı aksar. Yol altyapısının yanı sıra, telekomünikasyon, elektrifikasyon vb. diğer altyapı sistemleri zarar görür. Sosyal ve ticari yaşam düzeni bozulur.

Karayolu standartlarına uygun bir yolda, yağışlı günlerde oluşan yağmur sularının taşıt ve yaya trafiğini aksatmaması için yola makul bir boyuna eğim (s) ve enine eğim (m) verilir. Belli bir cadde enkesitinde güvenle akıtılabilecek yağmursuyu debisi (Q_0), yolun boyuna eğimine (s), yol kaplamasının pürüzlülüğüne (n) ve yol genişliğı (B), enine eğim (m), bordür tarafında yapılan çukurlaştırma miktarı (a), çukurlaştırma genişliğı (W), izin verilebilecek su yüzü genişliğı (G_0) gibi enkesit karakteristiklerine bağlıdır (Bkz. *Şekil-3*).

Cadde ağızlıkları, cadde arkında yol boyuna eğimi doğrultusunda giderek artan yağmursuyu debilerinin derlenip, yağmursuyu kanallarına veya yakındaki dere, akarsu, göl, deniz gibi doğal ortamlara boşaltılmasını sağlayan basit su yapılarıdır. Uygulamada sıkça kullanılan iki tür cadde ağızlığı vardır.

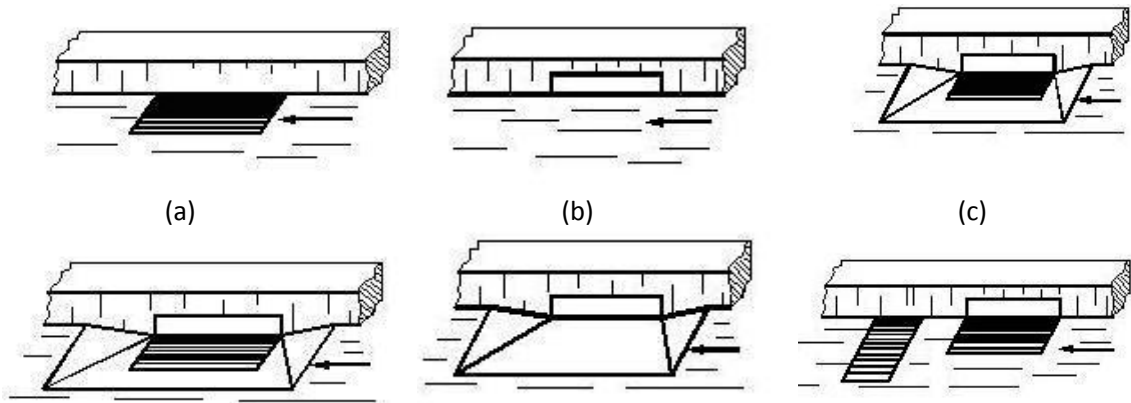
Tabandan alıŖlı ağızlıklar (ızgaralı yağmursuyu rögarları) cadde arkının bordür tarafında imal edilmiş beton bir rögar ile bunun üzerine monte edilmiş bir ızgaradan ibarettir (*Şekil-1/a*, *Şekil-2*). Bu tür ağızlıklar, cadde arkının bordür tarafında W genişliğindeki bölümünden gelen

Q_w önsel debi bileşeninin tamamını veya büyük bir kısmını (Q_{sw}) derleyebilirler. Yanal derleme verimleri düşük ise de, makul yol boyuna eğimlerinde (ızgara üzerinden mansaba sıçrama olmadıkça) toplam derleme verimleri yüksektir. Ancak, bu tür ağızlıkların yüzücü maddelerle tıkanması ve veriminin azalması olasılığı da yüksektir. Ayrıca, cadde yüzeyinde tertiplendikleri için, ızgara karakteristikleri ve ağızlık konumu uygun seçilmediğinde yaya ve bisiklet trafiğinde olumsuz etkiler doğurabilirler.

Yandan (bordür altından) alışı ağızlıklar, bordürün belli uzunluktaki (L_A) bir bölümünde bırakılan boşluğa yerleştirilmiş ve üzeri yaya kaldırımı seviyesinde kapatılmış, yan savak niteliğinde yapılardır (Şekil-1/b). Bu tür ağızlıklar genellikle yol boyuna eğiminin düşük ($s < 0.03$) olduğu yerlerde veya yolun çukur (çanak) bölgelerinde daha verimli olurlar. Yandan alışı ağızlıklar nadiren bir ızgara ile donatılırlar. Bu nedenle, cadde arkından yağmursuyu ile birlikte gelen rüsubat ve yüzücü maddelerle tıkanma riski düşüktür. Yaya kaldırımı altında tertiplendiklerinden yaya ve bisiklet trafiğini etkilemezler.

Yol boyuna eğiminin düşük olduğu yerlerde veya yolun çukur bölgelerinde derleme kapasitesini arttırmak için tabandan ve yandan alışı ağızlıklar yan yana veya ardı ardına **kombine** edilerek de tertiplenebilirler (Şekil-1/c). Düşük boyuna eğimli yollarda tabandan alışı ağızlığın menba tarafına yerleştirilen bir yandan alışı ağızlık ile hem toplam derleme kapasitesi artırılabilir, hem de tabandan alışı ağızlığın tıkanma riski azaltılabilir.

Ülkemizde geçmişte, Karayolları Genel Müdürlüğü'nün (KGM) eğitim amaçlı birkaç yayını (Sonuç 1977 gibi) ile, Öziş (1983), Muslu (1993) ve Yayla (2013) hocalarımızın kitapları dışında *kentsel bölgelerde yüzeysel suların drenajı* ve özellikle de *yağmursuyu cadde ağızlıklarının tasarımı* konusunda başvurulabilecek yayın yok gibidir. Bu bildirinin temel amaçlarından biri, meslektaşlarımızca duyulan bu eksikliğin kısmen giderilmesidir. 2012 yılında iki lisans öğrencime (Bilici 2012, Harmandar 2012) bitirme projeleri kapsamında aktarılan bilgilerin özeti niteliğinde olan bu bildiriye teorik ayrıntılara girilmemiştir. Bu bildiriye ilgili ayrıntılı bilgilere Muslu (1993), Brown vd. (1996) ve Nicklow (Mays 2004, Chapter 5)'den erişilebilir.



Şekil-1: Cadde giriş ağızlığı türleri: (a) tabandan alışı, (b) yandan alışı, (c) karma.

$$Q_w = \frac{3}{8} \frac{\sqrt{s}}{n m_2} [(a + y_0)^{8/3} - (y_0 - mW)^{8/3}] \quad (1)$$

$$Q_p = Q_0 - Q_w = \frac{3}{8} \frac{\sqrt{s}}{n} m^{5/3} p^{8/3} ; p \leq B/2 - W \quad (2)$$

P yerine G_0 konarak, (2) eşitliği *uniform* enkesitli cadde arkında toplam debiyi (Q_0) hesaplamak amacıyla da kullanılabilir.

Q_w ve Q_p debi bileşenlerinin ıslak enkesitten geçen toplam debiye ($Q_0=Q_w+Q_p$) oranları (konveyans faktörleri)

$$C_w = \left[1 + \frac{m_2 / m}{\left\{ \frac{m_2 / m}{G_0 / W - 1} + 1 \right\}^{8/3}} - 1 \right]^{-1} \quad (3)$$

$$C_p = Q_p / Q_0 = 1 - C_w \quad (4)$$

olup, G_0 su yüzü genişliğinde (veya y_0 bordür dibi su derinliğinde) ıslak enkesitten geçen toplam debi (5) eşitliğinden hesaplanabilir.

$$Q_0 = Q_p / (1 - C_w) \quad (5)$$

(3) eşitliğindeki m_2/m oranı, a ve W çukurlaştırma karakteristiklerine bağlıdır:

$$m_2 / m = 1 + \frac{a}{mW} = 1 + \frac{a / y_0}{W / G_0} \quad (6)$$

Enkesitte bordür boyunca *çukurlaştırma yapılmaması* halinde ($a=0$ veya $m_2=m$, *uniform enkesit durumu*), Q_0 , C_w ve Q_w değerleri aşağıdaki eşitliklerden hesaplanabilir:

$$Q_0 = \frac{3}{8} \frac{\sqrt{s}}{n m} y_0^{8/3} = \frac{3}{8} \frac{\sqrt{s}}{n} m^{5/3} G_0^{8/3} \quad (7)$$

$$C_w = 1 - (1 - W / G_0)^{8/3} \quad (8)$$

$$Q_w = C_w Q_0 \quad (9)$$

Cadde arkındaki su yüzü genişliği $G_0 < B/2$ kısıtını sağladığı sürece yukarıdaki bağıntılar geçerlidir. Genellikle uygulamada G_0 genişliği yol sınıfına bağlı olarak seçilir.

ÖRNEK-1: $B=8m$, $m=0.022$, $s=0.014$, $n=0.015$, $a=0.05m$, $W=0.6m$ özelliklerine sahip, çukurlaştırılmış bir cadde enkesitinde $G_0=2.9m$ su yüzü genişliği ile akıtılabilecek debi bileşenleri, toplam debi ve arktaki suyun ortalama akış hızı aşağıda hesaplanmıştır.

$$y_0 = m G_0 = 0.022(2.9) = 0.064 \text{ m}$$

$P = G_0 - W = 2.9 - 0.6 = 2.3\text{m}$ için (2) eşitliğinden yanal debi:

$$Q_p = \frac{3}{8} \frac{\sqrt{s}}{n} m^{5/3} P^{8/3} = 0.0472 \text{ m}^3/\text{s}$$

Arkın çukurlaştırılmış bölümünde enine eğim:

$$m_2 = m + a/W = 0.022 + 0.05/0.6 = 0.105$$

$m_2/m = 0.105 / 0.022 = 4.788$ ve $G_0 / W = 2.9 / 0.6 = 4.833$ için (3) eşitliğinden C_w önsel debi oranı:

$$C_w = \left[1 + \frac{m_2 / m}{\left\{ \frac{m_2 / m}{G_0 / W - 1} + 1 \right\}^{8/3} - 1} \right]^{-1} = 0.616$$

(5) eşitliğinden toplam debi:

$$Q_0 = Q_p / (1 - C_w) = 0.0472 / (1 - 0.616) = 0.123 \text{ m}^3/\text{s}$$

Süreklilik ilkesinden önsel debi bileşeni:

$$Q_w = Q_0 - Q_p = 0.123 - 0.0472 = 0.0758 \text{ m}^3/\text{s}$$

bulunur. Kompozit cadde arkında toplam ıslak alan:

$$A_0 = mG_0^2 / 2 + aW / 2 = 0.022(2.9)^2 / 2 + 0.05(0.6) / 2 = 0.108 \text{ m}^2$$

Suyun cadde arkında ortalama akış hızı:

$$V_0 = Q_0 / A_0 = 0.123 / 0.108 = 1.14 \text{ m/s.}$$

ÖRNEK-2: $B=4\text{m}$, $m=0.056$, $s=0.02$, $n=0.015$ özelliklerine sahip *üniform* ($a=0$, $m_2=m$) cadde enkesitinde $G_0=1.03\text{m}$ su yüzü genişliği ile akıtılabilecek toplam debi ve $W=0.25\text{m}$ için debi bileşenleri aşağıda hesaplanmıştır.

(7) den veya (2) eşitliğinde P yerine $G_0=1.03\text{m}$ konarak arktan akıtılabilen toplam debi:

$$Q_0 = \frac{3}{8} \frac{\sqrt{s}}{n} m^{5/3} G_0^{8/3} = 0.0314 \text{ m}^3/\text{s}$$

$W=0.25\text{m}$, $G_0=1.03\text{m}$ için (8) den önsel debi oranı:

$$C_w = 1 - (1 - W/G_0)^{8/3} = 1 - (1 - 0.25 / 1.03)^{8/3} = 0.524$$

Arktaki debi bileşenleri:

$$Q_w = C_w Q_0 = 0.524 (0.0314) = 0.0164 m^3/s$$

$$Q_p = Q_0 - Q_w = 0.0314 - 0.0164 = 0.0150 m^3/s$$

CADDE AĞIZLIĞI TASARIMI

Tabandan Alışlı Cadde Ağızlığı Tasarımı

Tabandan alışlı ağızlıkların tasarımı esas olarak ağızlık memba kenarında V_0 yatay atış hızı ile serbest düşme hareketi yapan yırtılmış su jeti yörüngesinin ağızlık mansabında rögar sınırını aşıp aşmadığını kontrol etme ilkesine dayanır. Konunun kuramsal ve bazı deneysel ayrıntıları (*John Hopkins deneysel formülü* gibi) *Muslu (1993)*'de mevcuttur. Burada sadece Colorado Eyalet Üniversitesi'ndeki deneysel çalışmalara dayanarak geliştirilmiş olan ve ABD Karayolu Teşkilatı (*FHWA*) tarafından kullanılan bağıntılar özetlenmiştir (*Brown vd. 1996, Nicklow 2004*).

Daha önce de değinildiği gibi, tabandan alışlı ağızlıklar tıkanma tehlikesi nedeniyle belli karakteristiklere sahip ızgaralarla donatılırlar. *Şekil-4*'te örnek olarak ABD'de kullanılan *P-30* tipi ızgara detayları sunulmuştur. Eni W , uzunluğu L_s olan bir ızgara ile donatılmış tabandan alışlı ağızlık ile *derlenebilen önsel debi* (Q_{sw}), arkın W genişliğindeki bölümünden gelen Q_w önsel debi bileşenine ve arktaki ortalama akış hızı (V_0) ile suyun akım yönünde ızgara üzerinden sıçramasına sebep olan kritik hız (V_k) arasındaki farka bağlıdır (*Brown vd. 1996*). Dolayısıyla, (W, L_s) boyutlarına sahip, tabandan alışlı bir ağızlığın *önsel derleme verimi* (R_w),

$$R_w = Q_{sw} / Q_w = 1 - 0.295 (V_0 - V_k); \quad V_0 \geq V_k \quad (10)$$

deneysel eşitliğinden hesaplanmaktadır. Eğer $V_0 < V_k$ ise ağızlığın *önsel verimi* $R_w = 0$ olmaktadır. Yani, ağızlık arktaki önsel debi bileşeninin tamamını derleyebilmektedir. V_k sıçrama hızı, ızgara tipine ve L_s ızgara uzunluğuna bağlı olarak *Şekil-5*'deki gibi deneysel olarak hazırlanmış abaklardan alınmaktadır (*Brown vd. 1996*).

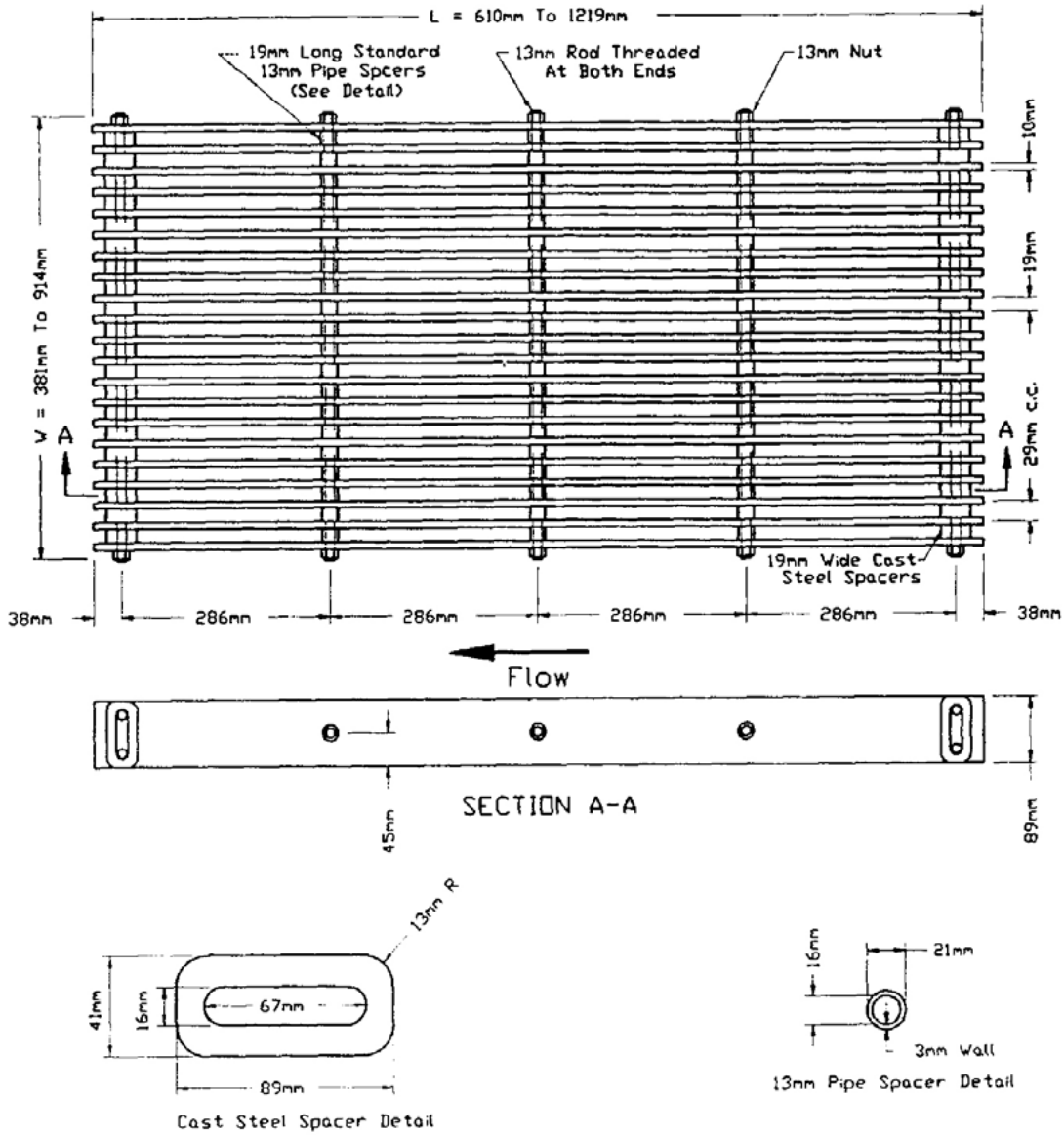
Tabandan alışlı ağızlıkla arktaki yanal debi bileşeninin (Q_p) genellikle çok az bir bölümü derlenebilir. Ağızlığın *yanal derleme verimi* (R_p), arktaki ortalama akış hızına, cadde enine eğimine ve ağızlık uzunluğuna bağlı olarak aşağıdaki deneysel eşitlikten hesaplanmaktadır (*Brown vd. 1996, Nicklow 2004*).

$$R_p = Q_{sp} / Q_p = \left(1 + \frac{0.0828 V_0^{1.8}}{m L_s^{2.3}} \right)^{-1} \quad (11)$$

Cadde arkındaki toplam debinin Q_w ve Q_p bileşenleri yukarıdaki verimlerle çarpılıp, toplanarak tabandan alışlı ağızlığın *toplam derleme kapasitesi* (Q_s) hesaplanabilir:

$$Q_s = Q_{sw} + Q_{sp} = R_w Q_w + R_p Q_p = [R_w C_w + (1 - C_w) R_p] Q_0 \quad (12)$$

Bu eşitlikte köşeli parantezler içindeki terime *toplam ağızlık verimi* denir. Arktaki debinin derlenemeyen kısmı ($Q_0 - Q_s$ farkı) ağızlık mansabına geçer.



Şekil-4: P-30 Tipi ızgara detayları (Nicklow 2004).

ÖRNEK-3: Geometrik ve hidrolik özellikleri ÖRNEK-1’de sunulan cadde arkında P-30 tipi ızgara ile donatılmış, $W=0.6m$, $L_s=0.6m$ boyutlarındaki bir tabandan alışı ağızlığın derleme kapasitesi aşağıda hesaplanmıştır:

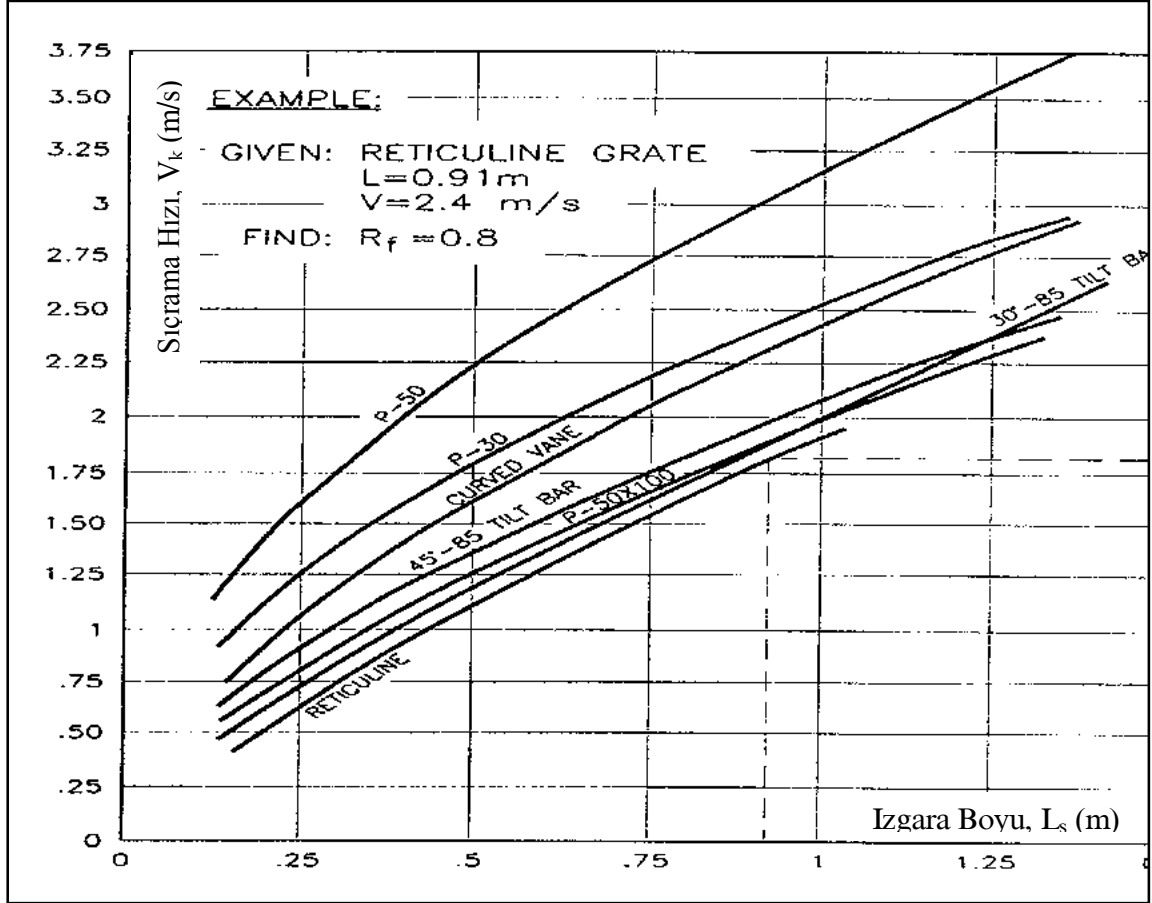
$L_s=0.6m$ için Şekil-5’de P-30 tipi ızgaraya ait eğriden sıçrama hızı $V_k=1.9m/s$ okunur. $V_0=1.14m/s < V_k$ olduğundan ağızlığın önsel derleme verimi $R_w=1$ olur. Ağızlığın yanıl derleme verimi (R_p), (11) eşitliğinden:

$$R_p = Q_{sp} / Q_p = \left(1 + \frac{0.0828(1.14)^{1.8}}{0.022(0.6)^{2.3}} \right)^{-1} = 0.061$$

Daha önce ÖRNEK-1’de hesaplanmış olan $C_w=0.616$ ve $Q_0=0.123m^3/s$ değerleri (12) de kullanılarak tabandan alışı ağızlığın toplam derleme kapasitesi,

$$Q_s = [R_w C_w + (1 - C_w)R_p] Q_0 = [1.0(0.616) + (1 - 0.616)0.061] 0.123 = 0.079 \text{ m}^3/\text{s}$$

bulunur. Bu örnekten de görüldüğü gibi, öngörülen karakteristiklere sahip ağızlığın derleyebildiği *yanal debi* $Q_{sp} = (1-0.616) * 0.061 * (0.123) = 0.003 \text{ m}^3/\text{s}$ olup, bu değer ağızlıkla derlenen $Q_{sw} = 1.0 * 0.616 * 0.123 = 0.076 \text{ m}^3/\text{s}$ *önsel debi* yanında önemsizdir. Ağızlıkla derlenemeyen $Q_0 - Q_s = 0.123 - 0.079 = 0.044 \text{ m}^3/\text{s}$ debi ağızlık mansabına geçmektedir.



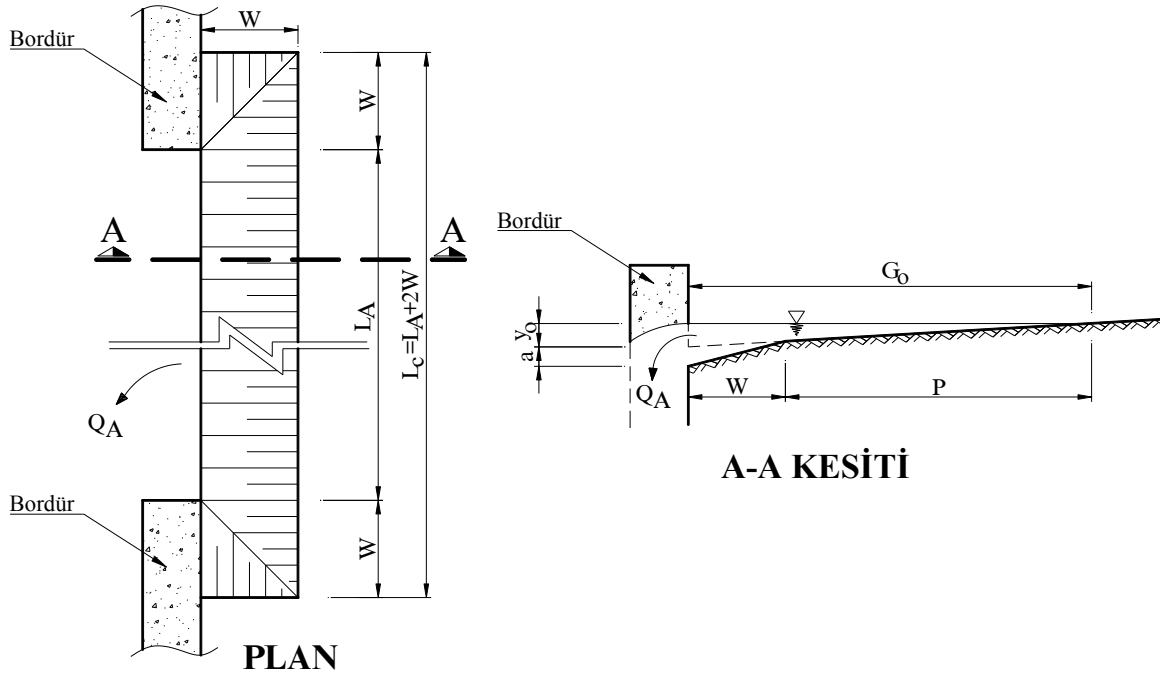
Şekil-5: ABD’de kullanılan bazı ızgara türleri için sıçrama hızı eğrileri (Brown vd.1996).

Yandan Alışlı (Bordür Altı) Ağızlık Tasarımı

Cadde arkının bordür tarafında L_A uzunluğundaki boşlukta teşkil edilen ve bir yan savak niteliğinde olan bu tür ağızlıklar (Şekil-6) için geliştirilmiş çeşitli teorik ve deneysel bağıntılar mevcuttur. Üniorm enkesitli arktaki Q_0 debisinin tamamını derlemek için gerekli L_0 ağızlık uzunluğunu veren bu bağıntılar (13) deki genel yapıdadır (Harmandar 2012).

$$L_0 = \frac{1}{K_m} Q_0^{7/16} \left(\frac{n}{\sqrt{s}} \right)^{-9/16} \quad (13)$$

Bu eşitlikte K_m cadde arkı hidrolik hesabında kullanılan bağıntı türüne ve yolun m enine eğimine bağlıdır. Örneğini Izzard (elemanter integrasyon) bağıntısı için $K_m=1.088 m^{9/16}$ dir.



Şekil-6: Çevresi çukurlaştırılmış yandan alışı (bordür altı) ağızlık karakteristikleri.

ABD’de kullanılan ve ağızlık çevresinde yapılan çukurlaştırmanın (Şekil-1/b, Şekil-6) bordür altı ağızlığın derleme kapasitesine etkisini de dikkate alabilen CSU-FHWA formülü şöyledir:

$$L_0 = 0.817 Q_0^{0.42} s^{0.3} / (nm_e)^{0.6} \quad (14)$$

Bu deneysel bağıntıda m_e ağızlık bölgesinde eşdeğer enine eğim olup (15) den hesaplanır.

$$m_e = m + \frac{a}{W} C_w \quad (15)$$

Ağızlık çevresinde yapılan çukurlaştırma sayesinde ($m_e > m$ olduğundan) (14) eşitliğinden hesaplanan L_0 boyu önemli ölçüde kısalmıştır. Dolayısıyla, aynı L_A açıklığındaki ağızlıkla derlenebilen debi de artmış olur.

L_0 dan daha kısa ($L_A < L_0$) bir bordür altı ağızlıkla derlenebilen debi (Q_A), L_A/L_0 oranına bağlıdır. Bordür altı ağızlık verimi R_A ve ağızlıkla derlenebilen debi Q_A aşağıdaki bağıntılardan hesaplanır (Fair vd. 1966, Müslü 1993, Brown vd. 1996).

$$R_A = Q_A / Q_0 = 1 - (1 - L_A / L_0)^{1.8} \quad (16)$$

$$Q_A = R_A Q_0 \quad (17)$$

Cadde arkındaki debinin öngörülen bir R_A verimi ile Q_A kadarını derleyebilmek için gerekli ağızlık uzunluğu (18) den hesaplanır.

$$L_A = [1 - (1 - R_A)^{5/9}] L_0 \quad (18)$$

Bu uzunluğa sahip bir bordür altı ağızlık boğulma olmadıkça, Q_A değerine eşit ya da bundan küçük ark debilerinin tamamını derleyebilir.

ÖRNEK-4: Hidrolik özellikleri ÖRNEK-2’de hesaplanmış olan *üniform* enkesitli cadde arkında $L_A=2.00m$ uzunluğunda bir bordür altı ağızlıkla derlenebilecek yağmursuyu debisini hesaplayalım.

$Q_0 = 0.0314m^3/s$ ark debisinin tamamını derlemek için gereken ağızlık boyu (14) den:

$$L_0 = 0.817 (0.0314)^{0.42} / [0.015 (0.056)]^{0.6} = 4.12m$$

Ağızlık verimi ve derlenebilen debi (22) ve (23) eşitliklerinden:

$$R_A = Q_A / Q_0 = 1 - (1 - 2.00 / 4.12)^{1.8} = 0.697$$

$$Q_A = R_A Q_0 = 0.697(0.0314) = 0.0217 m^3/s$$

ÖRNEK-5: Hidrolik özellikleri ÖRNEK-2’de hesaplanmış olan *üniform* enkesitli cadde arkında tertiplenen, çevresi Şekil-6’daki gibi, $W = 0.25m$ genişliğinde ve $a = 0.05m$ derinliğinde çukurlaştırılmış $L_A = 2.00m$ uzunluğunda bordür altı ağızlıkla derlenebilen debiyi hesaplayalım:

Ağızlık önündeki çukurlaştırılmış bölgede eşdeğer enine eğim (15) den:

$$m_e = 0.02 + (0.05 / 0.25) 0.524 = 0.161$$

$Q_0 = 0.0314m^3/s$ ark debisinin tamamını derlemek için gereken yeni ağızlık boyu (14) den:

$$L_0 = 0.817 (0.0314)^{0.42} / [0.015 (0.161)]^{0.6} = 2.19m$$

Çevresi çukurlaştırılmış bordür altı ağızlığın verimi ve derleme kapasitesi:

$$R_A = Q_A / Q_0 = 1 - (1 - 2.00 / 2.19)^{1.8} = 0.988$$

$$Q_A = 0.988 (0.0314) = 0.0308 m^3/s$$

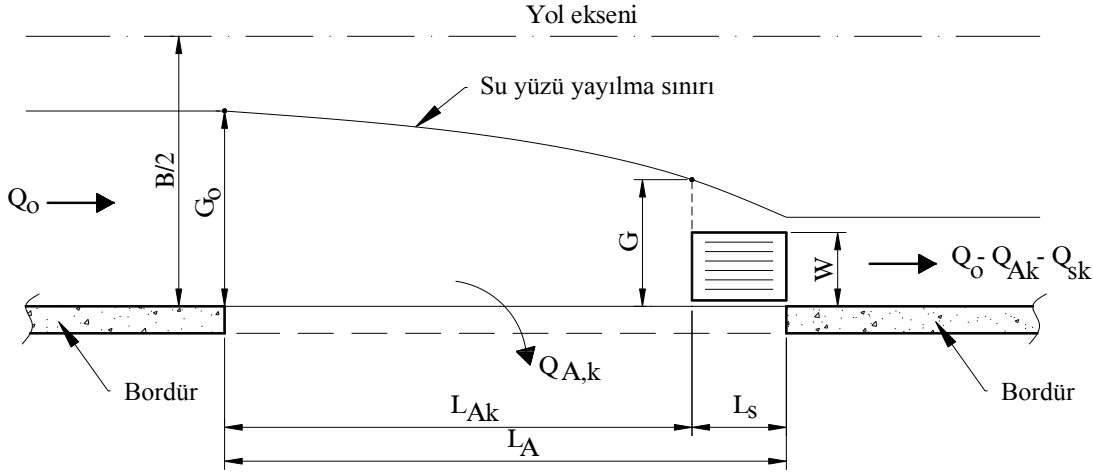
olur. Bu örnekten de görüldüğü gibi, *bordür altı ağızlık çevresinin çukurlaştırılması ağızlık verimini büyük ölçüde arttırmaktadır.*

Kombine Ağızlık Tasarımı

Kombine ağızlık, L_A uzunluğunda bir bordür altı ağızlık ile bunun mansabında tertiplenmiş bir tabandan alışı ağızlıktan ibarettir. Aynı uzunlukta ($L_A=L_s$) ve bitişik olarak tertiplenmiş kombine ağızlığın derleme kapasitesi tabandan alışı ağızlığın derleme kapasitesinden fazla fark etmez. Ağızlık kombinasyonları genellikle düşük eğimli yollarda, tıkanma problemi olabilecek yerlerde ve yolun çanak bölgelerinde uygulanır. Bordür altı ağızlık arktaki

debinin büyük bir bölümünü derlediği gibi, rüsubatın önemli bir kısmını da çevirerek tabandan alışı ağızlığın tıkanmasını önler.

Ağızlıklar Şekil-7'deki gibi *girişimli* yerleştirildiğinde, bordür altı ağızlığın etkili uzunluğu L_s kadar azalır. Bordür altı ağızlıkla $L_{Ak} = L_A - L_s$ etkili uzunluğundan derlenen debi (Q_{Ak}), memba ucundaki yeni hidrolik koşullar altında çalışan tabandan alışı ağızlıkla derlenen debiye (Q_{sk}) eklenerek toplam derleme kapasitesi (Q_{kom}) hesaplanır.



Şekil-7: Kombine Ağızlık Hesap Unsurları

Kombine ağızlık hesaplarında aşağıdaki adımlar izlenir (*Brown vd. 1996, Nicklow 2004*):

Adım-1: Arkta G_0 su yüzü genişliğinde akmakta olan Q_0 ark debisinin tamamını derlemek için gereken bordür altı ağızlık uzunluğu L_0 (14) den, R_{Ak} ağızlık verimi (16) dan, bordür altı ağızlık ile derlenebilen debi ($Q_{A,k}$) ise (17) den hesaplanır.

Adım-2: Arkta, tabandan alışı ağızlık memba ucunda kalan $Q'_0 = Q_0 - Q_{A,k}$ debisine karşı gelen G su yüzü genişliği üniform enkesit halinde (7) eşitliğinin ters çözümünden; kompozit enkesit halinde ise (2), (3) ve (5) eşitliklerinin iteratif çözümünden hesaplanır.

Adım-3: Arkta G genişliğe karşı gelen ıslak alan (A'_0) ve ortalama akış hızı (V'_0) hesaplanır. Tabandan alışı ağızlıkta kullanılan ızgara tipi ve L_s ağızlık boyuna bağlı olarak Şekil-5'den V_k sıçrama hızı alınarak V'_0 hızı ile karşılaştırılır. $V'_0 < V_k$ ise tabandan alışı ağızlığın önsel derleme verimi $R_v = 1$ alınır; aksi halde (yani, $V'_0 > V_k$ ise) önsel derleme verimi (10) dan hesaplanır.

Adım-4: Tabandan alışı ağızlığın memba ucundaki yeni su yüzü genişliği (G) esas alınarak, ağızlık girişindeki önsel debi paylaşım oranı (C_w) kompozit enkesitte (3) den, üniform

enkesitte (8) den hesaplanır. Tabandan alışı ağızlığın R_p yanal derleme verimi (11) den, bu ağızlığın derleyebildiği toplam debi (Q_{sk}) ise (12) den hesaplanır.

Adım-5: Bordür altı ağızlıkla derlenen Q_{Ak} debisine, tabandan alışı ağızlıkla derlenen Q_{sk} debisi ilave edilerek kombine ağızlık kapasitesi bulunur:

$$Q_{kom} = Q_{Ak} + Q_{sk} \quad (19)$$

$L_s \ll L_A$ olduğu sürece yukarıdaki hesaplamalarda bordür altı ağızlık kapasitesi hesaplanırken $L_{Ak} = L_A - L_s$ yerine L_A uzunluğu da kullanılabilir. Çünkü bordür altı ağızlığın tabandan alışı ağızlık ile çakışan L_s kadar bölümünden derlenebilen debi oldukça küçüktür.

ÖRNEK-6: İnişte Kombine Ağızlık Kapasitesi (Üniform Enkesitli Cadde Arkı)

$B = 8.0m$, $m = 0.03$, $n = 0.016$, $s = 0.035$ özelliklerine sahip, *üniform* enkesitli bir cadde arkında $Q_0 = 0.150 \text{ m}^3/s$ debi akmaktadır. $L_A = 3.5m$ uzunluğundaki bordür altı ağızlık mansabına $W = L_s = 0.6m$ boyutlarında $P-50 \times 100$ tipi ızgara ile donatılmış tabandan alışı bir ağızlık *girişimli* olarak yerleştirilmiş olsun. Bu kombinasyon ile arktan derlenebilen toplam debiyi hesaplayalım.

(14) den:

$$L_0 = 0.817 \frac{(0.15)^{0.42} (0.035)^{0.3}}{[0.016(0.03)]^{0.6}} = 13.2m$$

$L_0 = 3.5m$, $L_{Ak} = L_0 - W = 3.5 - 0.6 = 2.9m$ için (16) dan:

$$R_A = 1 - (1 - 2.9/3.5)^{1.8} = 0.36$$

Bordür altı ağızlıkla derlenebilen debi (17) den:

$$Q_{Ak} = 0.36 (0.150) = 0.054 \text{ m}^3/s$$

Cadde arkında tabandan alışı ağızlığın memba ucunda kalan debi:

$$Q_0' = Q_0 - Q_{Ak} = 0.150 - 0.054 = 0.096 \text{ m}^3 / s$$

olup, cadde arkında bu debiye karşı gelen G su yüzü genişliği (7) eşitliğinin ters çözümünden:

$$G = \left\{ \frac{0.096}{\frac{3 \sqrt{0.035}}{8 \cdot 0.016} (0.03)^{5/3}} \right\}^{3/8} = 2.14m$$

Islak alan ve ortalama akış hızı:

$$A_0' = mG^2 / 2 = 0.03(2.14)^2 / 2 = 0.068 \text{ m}^2$$

$$V_0' = Q_0' / A_0' = 0.096 / 0.068 \cong 1.404 \text{ m} / s$$

bulunur. $L_s = 0.6m$, $P-50 \times 100$ tipi ızgara için Şekil-5'den $V_k \cong 1.4m/s$ okunur. $V'_0 \cong V_k$ olduğundan, tabandan alışı ağızlığın önsel derleme oranı $R_v = 1$ olur.

$W=0.6m$, $G=2.14m$, $m_2/m=1$ için (8) den:

$$C_w = 1 - (1 - W/G)^{8/3} = 1 - (1 - 0.6/2.14)^{8/3} = 0.585$$

Tabandan alışı ağızlığın yanal derleme oranı (11) den:

$$R_p = \left[1 + \frac{0.0828(1.4)^{1.8}}{0.03(0.6)^{2.3}} \right]^{-1} = 0.058$$

Tabandan alışı ağızlıkla derlenebilen debi (12) den:

$$Q_{sk} = [R_v C_w + (1 - C_w) R_p] Q'_0 = [1.00(0.585) + (1 - 0.585) 0.058] 0.096 = 0.059 m^3/s$$

Öngörülen ağızlık kombinasyonunun derleyebildiği toplam debi ise (19) dan:

$$Q_{kom} = Q_{Ak} + Q_{sk} = 0.054 + 0.059 = 0.113 m^3/s$$

bulunur.

GÖRÜŞ VE ÖNERİLER

Ülkemizde yağmursuyu-drenaj sorunu ne yazık ki yıllardır ihmal edilmiştir. Hızlı ve çarpık kentleşme yüzünden bu sorun giderek büyümektedir. Yerel yönetimler, teknik, ekonomik ve sosyal maliyeti korkutucu boyutlara ulaşan bu sorunu köklü biçimde çözmeye cesaret edememektedirler. Bunun yerine, birçok kentimizde yağmursuları ya doğrudan *ayrık sistemde inşa edilmiş atıksu şebekesine* bağlanmakta, ya da yararları kadar çeşitli mahzurları da olan *ızgaralı kanallar* ile derlenip uzaklaştırılmaya çalışılmaktadır.

Cadde ağızlıkları temelde yol üst yapısının yüzeysel drenajını sağlayan yapılardır. Dolayısıyla, imar parsellerinden gelen yağmur sularının ağızlık rögarlarına değil, parsel içi rögarlar aracılığı ile doğrudan yağmursuyu mecralarına veya muayene bacalarına bağlanması gerekir. Pik yağmursuyu debileri atıksu debilerinin yüzlerce, hatta binlerce katıdır. Bu nedenle, kentsel bölgelerde yağmursularını, sadece atıksu debilerine göre inşa edilmiş atıksu kanallarına gelişigüzel bağlamak teknik açıdan son derece sakıncalıdır. Atıksu kanallarında biriken katı maddeleri temizleme dışında bu çözümün yararından çok zararı vardır. Bu günümüzdeki çözüm, atıksu mecralarının basınçlı çalışmasına, atık suların baca kapaklarından sokaklara yayılmasına, bodrum katlarda su baskınlarına, özellikle küçük çaplı mecraların kum, çakıl, yaprak, dal parçaları, kâğıt, naylon torba gibi malzemelerle tıkanmasına yol açmaktadır. Ayrıca, genellikle yerel yönetimlerce kent içi yollara yerleştirilen cadde ağızlıklarının konumlandırma, ızgara çubuklarının yönü, kapasite, bağlantı standartları vb açılardan da uygun olmadığı gözlemlenmektedir.

Öte yandan, yerel yönetimlerce birçok büyük kentimizde uygulanan *ızgaralı yağmursuyu kanalları* hidrolojik, hidrolik ve imalat teknikleri bakımından henüz belli standartlara oturtulamamış yapılardır. Bu tür kanalların kent içi ulaşım ağındaki konumları, hidrolik

kapasiteleri, derleme verimleri, yaya ve taşıt trafiği üzerindeki olumsuz etkileri sürekli tartışılmaktadır. Ayrıca, pek çok kent içi yolun geometrik özellikleri (boyuna ve enine eğimler, kavşak özellikleri, yaya kaldırımları vb gibi) yağmur sularının bu tür kanallarla derlenmesine elverişli değildir.

Yer ve zaman darlığı nedeniyle bu bildiride yağmursuyu-drenaj sistemlerinin ve cadde ağızlıklarının *hidrolojik tasarımı* konularına girilememiştir. Kentsel bölgelerdeki yağmursuyu-drenajı sorununun köklü biçimde çözülebilmesi için her şeyden önce, bölge için bir yağmursuyu-drenaj sistemi projelendirilip inşa edilmelidir. Basit hidrolojik ve hidrolik ilkelere dayanmakla birlikte, yağmursuyu-drenaj sistemlerinin tasarımı kentsel bölge ile ilgili pek çok bilginin derlenmesini ve tasarım sırasında dikkatle kullanılmasını gerektirir. Kentsel bölgenin imar durumu, topoğrafyası, ulaşım ve diğer altyapı tesisleri, boşaltım olanakları hakkında sağlıklı ve gerçekçi verilere dayanmayan yağmursuyu-drenaj sistemlerinden beklenen verim alınamaz. Bu sistemin doğru ve verimli çalışabilmesi için öncelikle kent içi yol, kavşak, yaya kaldırımı, bisiklet yolu, vb gibi ulaşım yapılarının standartlara uygun olması sağlanmalıdır.

Araç trafiğinin yoğun ve hızlı ($V > 50$ km/saat) olduğu yollarda arktaki su yüzeyi genişliği (G_0) mümkün olduğunca küçük tutulmalıdır. Düşük boyuna eğimli yollarda tabandan alışı ağızlıklar *çevresi çukurlaştırılmış* biçimde yapılmalı; gerektiğinde memba tarafında bordür altı bir ağızlıklarla takviye edilmelidir. Tabandan alışı ağızlıklarda ızgara takımı, çubuklar mutlaka bordüre paralel olacak şekilde kullanılmalıdır. Aksi halde, hem ağızlığın kapasitesi azalır, hem de sıkça tıkanır. Bisiklet, motosiklet ve yayalara zarar vermemesi için ızgara çubukları arasındaki boşluklar 2.5cm den fazla olamamalıdır. Ülkemizdeki birçok kente olduğu gibi, araç trafiğinin bordüre çok yakın olduğu (hatta araçların kenarına park ettiği) yollarda deflektörlü (saptırıcı metal plaklı) ağızlıklar kullanılmalı; mümkünse kombine (klasik + bordür altı) ağızlıklar tertiplenmelidir.

Çok düşük eğimli yollarda ve çanak bölgelerinde ağızlık çevresinde çukurlaştırma yapılarak yağmur suları ağızlığa doğru yönlendirilmeli; bordür altı veya kombine (birleşik) ağızlıklar kullanılmalıdır. Böyle yollarda tıkanma riski yüksek olduğundan, hesaplanan ağızlık kapasitelerinden %10 ila %30 mertebesinde indirim yapılmalıdır.

Yol ve kavşakların kritik noktalarına herhangi bir hesaba dayanmayan (konstrüktif) ağızlıklar yerleştirilmelidir. Cadde ağızlıkları mutlaka su toplama alanı, cadde arkı ve ağızlık özelliklerine bağlı olarak hesaplanan aralıklarla yerleştirilmelidir. Tabandan ve/veya bordür altından alışı ağızlıklar, yoldaki akış yönüne bağlı olarak yaya geçidini su basmayacak şekilde (yaya geçidinin memba tarafında) tertiplenmelidir. Kavşaklarda köşe noktalarına asla tabandan alışı ağızlık konmamalıdır. Cadde ağızlıklarından rögara alınan yağmur suları asgari 200mm çaplı, %1-%2 eğimli, beton veya PVC borularla muayene bacalarına bağlanmalıdır.

KAYNAKLAR

Bilici, A. (2012): Kentsel Yağmursuyu-Drenaj Sistemlerinde Su Alma Ağızlığı (Izgaralı Rögar) Tasarımı. DEÜ Mühendislik Fak. İnşaat Müh. Bölümü Bitirme Projesi (Yön: E. Benzeden), İzmir.

Brown, S.A.; Stein, S.M.; Warner, J. C. (1996): Urban Design Manual, No:22, FHWA-96-078, Federal Highway Adm. , U.S. Dept. of Transportation, Washington DC.

Fair, G.M.; Geyer, J.C.; Okun, D.A. (1966): Water and Wastewater Engineering, Vol.1: Water supply and Wastewater Removal, John Wiley and Sons, New York.

Harmandar, İ. (2012): Türkiye’de Kullanılan Yağmursuyu Ağızlığı (Izgaralı Rögar) Türleri, Kapasite Tahkiki ve Etkin Tasarım İlkeleri. DEÜ Mühendislik Fak. İnşaat Müh. Bölümü Bitirme Projesi (Yön: E. Benzeden), İzmir.

Mays, L.W. (2004): Stormwater Collection Systems Design Handbook. McGraw-Hill.

Muslu, Y. (1993): Hidroloji ve Meskun Bölge Drenajı. İTÜ yayınları, İstanbul.

Nicklow, J.W. (2004): Design of Stormwater Inlets. Chapter 5 in “*Stormwater Collection Systems Design Handbook (Ed.: L.W. Mays)*”, McGraw-Hill, NewYork.

Öziş, Ü. (1983): Su Yapıları. DEU Mühendislik Fakültesi Yayınları, İzmir.

Sonuç, T. (1977): Karayolları Tekniği: Sanat Yapıları-Heyelanlar-Bakım ve İki Şeritli Yol Projesi, Cilt 3, Sermet Matbaası, İstanbul.

Yayla, N. (2013): Karayolu Mühendisliği. Birsen Yayınevi, İstanbul.