



Farklı teknik özelliklere sahip kutu menfezlerin işletme şartlarının belirlenmesi

Determination of operating conditions of box culverts with different technical specifications

Baha Vural Kök^{1*} , Zülfü Yetkin² , Erkut Yalçın¹ , Ahmet Münir Özdemir³

¹İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye.

bvural@firat.edu.tr, erkutyalcin@firat.edu.tr

²İnşaat Mühendisliği Bölümü, İnşaat Fakültesi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye.

zulfuyetkin@itu.edu.tr

³İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Bursa Teknik Üniversitesi, Bursa, Türkiye.

ahmet.ozdemir@btu.edu.tr

Geliş Tarihi/Received: 06.12.2023

Düzeltilme Tarihi/Revision: 19.04.2025

doi: 10.5505/pajes.2025.33934

Kabul Tarihi/Accepted: 25.06.2025

Araştırma Makalesi/Research Article

Öz

Dere yataklarında akan suların yol gövdesinin diğer tarafına geçmesi için yapılan menfez yapılarının doğru planlanmaması sonucunda yol hizmet veremez hale gelebilmekte, özellikle afet durumlarında ulaşılması gereken bölgelere erişim, kesikliğe uğrayarak önemli maddi ve manevi zararlara neden olmaktadır. Bu çalışmada karayollarında en çok kullanılan kutu menfezlerin performansı, teknik parametreler çerçevesinde incelenmiştir. Menfezin eğimi, pürüzlülüğü, uzunluğunun ve farklı menfez ağız giriş tiplerinin giriş suyu yüksekliğine ve çıkış suyu hızına olan etkileri incelenmiştir. Menfez eğiminin düşük ve pürüzlülüğün artması durumunda çıkış kontrollü şartların geçerli olduğu, eğim, pürüzlülük ve uzunluğun çıkış suyu hızında önemli bir etkiye sahip olduğu, menfez ağız girişinin 33.7° eğimli yapılmasının, menfez girişinin %50 oranında konik bir şekilde genişletilmesinin ve 27° kanat duvarı yapılmasının en iyi performansı sunduğu tespit edilmiştir.

Anahtar kelimeler: Kutu menfez, taşkın, işletme koşulları, optimum tasarım, HY-8.

Abstract

As a result of improper planning of culvert structures constructed for the passage of water flowing in stream beds to the other side of the road body, the road may become unserviceable and access to the areas that need to be reached, especially in disaster situations, is interrupted, causing significant material and moral damages. In this study, the performance of the most commonly used box culverts on highways is analyzed within the framework of technical parameters. The effects of culvert slope, roughness, length and different culvert inlet types on inlet water height and outlet water velocity were investigated. It was found that outlet-controlled conditions prevail when the culvert slope is low and roughness is increased, slope, roughness and length have a significant effect on the outlet water velocity, and the best performance is obtained when the culvert inlet is inclined at 33.7°, the culvert inlet is tapered by 50% and the wing wall is 27°.

Keywords: Box culvert, flood, operating conditions, optimum design, HY-8.

1 Giriş

Sürekli olarak akan veya yağış neticesinde meydana gelen küçük akarsuları, yol gövdesinin bir kesiminden diğer kesimine geçirmek için kullanılan drenaj yapılarına "menfez" adı verilir [1],[2]. Hidrolik sanat yapıları sınıfında yer alan menfezler, mevcut haldeki arazinin durumuna göre birikinti ve göllenme yapabilecek debi miktarlarına ve dolgu yüksekliklerine göre tasarlanırlar [3]. Boru menfez (büz), kemer menfez, tabliyeli menfez ve kutu menfez olmak üzere dört farklı kesitte imal edilebilen bu yapılar, sabit ve hareketli yük etkileri altında analiz edilerek gerekli güvenlik esasları çerçevesinde boyutlandırılmaktadır. Boru menfezler, çatlama ve kırılmalara oldukça müsait elemanlar olduğu için yüksek dolgularda tercih edilmemektedirler [4].

Menfezin yapılması gerekenden daha küçük kesitte yapılması durumunda, aşırı yağışlar sonucu kabaran sular, taşkınlara sebebiyet vererek yol gövdesini kapatabilir ve yol dolgusunun altındaki zeminin taşıma gücünü ve stabilitesini olumsuz etkileyebilir. Olması gerekenden daha büyük kesitli yapılması durumunda ise menfez inşaatı ekonomik olmayarak proje maliyetinin artmasına sebep olacaktır [5]. Doğal dere yatağıyla

uyumlu çalışması gereken bu yapılar, mümkün olduğu müddetçe doğal zemine yerleştirilmeli ve stabilitesini koruyarak işletme maliyetlerini minimumda tutmalıdır [6]. Menfez tasarımı yapılırken işletme maliyetlerinin minimum olmasının yanında, akış sonunda kabarmasının minimumda tutulması ve menfez çıkışında hidrolik sıçramanın meydana gelmesi durumunda oyulmalara karşı önlemler alınması da istenir [7]. Menfezler, malzemenin aşınma dayanımına, korozyon direncine ve hidrolik pürüzlülüğüne göre yaygın olarak beton, betonarme, PVC, çelik ve alüminyumdan imal edilebilmektedir [8]-[10].

Menfezler uygun kesitte ve biçimde projelendirilmezse yükselen su seviyesi, taşkınlara sebebiyet vererek ciddi biçimde can ile mal kayıplarına ve çevresel tahribata yol açmaktadır. T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı'nın 2022 yılı verilerine göre; 1975-2021 yılları arasında toplam 2603 taşkın meydana gelmiş ve bu olaylar sonucunda 901 can kaybı yaşanırken, 987 775 ha alan da su altında kalmıştır. Depremlerin ardından en büyük ekonomik kayıplara yol açan doğal afet olarak görülen taşkınlara ayrıca, her yıl yaklaşık 300 milyon TL zarara da yol açmaktadır. Taşkınların meydana geldiği bölgelerde tekniğine aykırı yapılan menfez yapıları ve

*Yazışılan yazar/Corresponding author

bu yapıları etkileyen yanlış uygulamalar, felaketin boyutunu üst seviyelere çıkarmıştır. 2007 Elaz   il merkezinde meydana gelen taşkında menfezin mansap kısmında kesitin daraltılması neticesinde şiddetli ya ışlarla birlikte aşırı basın a dayanamayan menfezin tahrip olduğu, 2014 Hatay Sarı  ay Taşkınında menfezlerin yetersiz kesitte inşa edildiği, 2021 Batı Karadeniz taşkınlarında akışa geçen ürünlerin menfez kesitlerini daralttı ı görülmüştür. Geçmişte inşa edilen menfezlerin, inşa edildikleri bölgedeki yapılaşma ile birlikte geçirimsiz kaplamalı alanların artması sonucu ihtiya a karşılık verememesi de, taşkınların en önemli sebeplerinden biridir [11].

Ocak 2022'de paylaşılan Sayıştay raporlarında ise, dere yataklarının üzerine inşa edilecek menfez yapılarının projelendirilmesinde taşkın riskinin yeterince dikkate alınmadığı, menfezlerin projelendirilmesinde hidrolik kesit tahkiklerinin her zaman DSI'nin onayına sunulmadığı, müdahaleler ile kesiti daraltılan derelerde hidrolik kesit tahkiklerine uygun geçiş yapıları yapılmadığı, bazı büyükşehirlerde menfez projelerinde debi hesaplaması yapılmadığı, bazı büyükşehirlerde ise taşkın tekerrür debilerinin yönetmelige uygun olmayan biçimde hesaplandığı belirlenmiştir [12].

Sel ve taşkınların afete dönüşmesini engellemek ve meydana gelen zararları azaltmak için menfezlerin hidrolik olarak uygun projelendirilmesi ve uygulanması oldukça önemlidir. Bu bağlamda menfezlerde hidrolik tasarım yapılırken öncelikle menfez işletme şartları belirlenmelidir.

1.1 Menfezlerde işletme şartlarının belirlenmesi

Menfezlerin hidrolik tasarımı yapılırken giriş kontrollü ve çıkış kontrollü akım olmak üzere iki akım tipi incelenmektedir. Akımın kritik derinliği (d_k), normal derinlikten (d_n) büyükse menfez girişinde kabarma kontrolü yapılmalıdır. Aksi durumda ise menfez çıkışında kabarma kontrolü yapılmalıdır. Menfez çıkışında kabarmaya, zorunda kalınmadı ı müddetçe izin verilmemektedir. Sert-dik e ime sahip menfezler genellikle giriş kontrollü menfezler olup buradaki akım kapasitesi kabaran suyun derinliği, giriş geometrisi, kesit alanı ve gövde şekline göre değişmektedir. şekil 1'de menfez tasarımını ve akım kontrol tiplerini etkileyen faktörler yer almaktadır. Düşük e ime sahip menfezler ise genellikle çıkış kontrollü olmakta ve menfezlerin hidrolik kapasitesi, menfez şekli, menfez uzunluğu, gövde pürüzlülüğü ve çıkıştaki su derinliği parametrelerine bağlı olarak değişmektedir [13]. Menfezlerde proje debisi belirlenirken mesk n mahal içerisinde 100 yıl, mesk n mahal dışında ise 10 yıl tekerrürlü taşkın debisi esas alınır. 10 yıl tekerrürlü taşkın debisinde, menfezin giriş kısmında suyun %10'luk hava payı kalacak şekilde kabarmasına izin verilir. 100 yıl tekerrürlü taşkın debisinde ise kabarma kotu, dolgu y kseklili i veya menfez y kseklili inin üç katını aşmamalıdır.

Giriş kontrolü altında çalışan bir menfezin kontrol kesiti hemen girişin içerisinde yer alır. Kritik derinlik bu konumda veya yakınlarında yer alır ve mansap kısmındaki akış rejimi s perkritiktir. Kuyruk suyu derinliği kritik derinliği aştığında ve menfez dik bir e im üzerine yerleştirildiğinde akış süperkritik olur ve mansap yakınında hidrolik sıçrama gerçekleşir.  ıkış kontrolü altında çalışan menfezlerde, menfez uzunluğunun tamamı veya bir kısmı dolu olarak akabilir. Akımın kritik altı veya basınçlı olduğu bu menfezlerde, su yüzeyinin menfez tepesinden **koptu u** nokta, kuyruk suyu derinliğine ve menfez e imine bağlı olarak değişmektedir [14].

Faktör	Giriş Kontrol	�ıkış Kontrol
Giriş Suyu	☒	☒
Alan	☒	☒
şekil	☒	☒
Giriş A�ı şekli	☒	☒
Menfez P�r�zl�l���	☐	☒
Menfez Uzunluğu	☐	☒
Menfez E�imi	☒	☒
Kuyruk Suyu	☐	☒

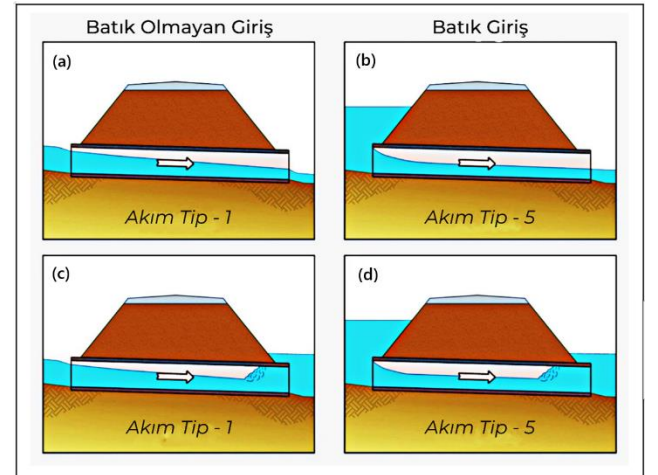
Not: Giriş kontrolü için alan ve şekil faktörleri giriş alanı ve şekli ile ilgilidir.  ıkış kontrolü için bunlar menfez alanı ve şekli ile ilgilidir.

şekil 1. Menfez tasarımını ve menfez işletme şartlarını etkileyen faktörler.

Figure 1. Factors affecting culvert design and culvert operating conditions.

Menfez tasarımında su kabarmasının girişte gerçekleşmesine izin verilerek hız ve debi hesaplarının buna göre yapılması istenmektedir. Zorunlu durumlar haricinde menfez çıkışlarında su kabarmasına müsaade edilmemekte, çıkışta su kabarmasına izin verilen durumlarda ise, gerekli önlemlerin alınması gerekmektedir.

şekil 2'de batık olmayan ve batık haldeki giriş kontrol tipleri verilmiştir. şekillerde yer alan akım tipleri, Amerika Birleşik Devletleri Jeolojik Araştırmalar Kurumu'nun (USGS) akım tiplerini temsil etmektedir.



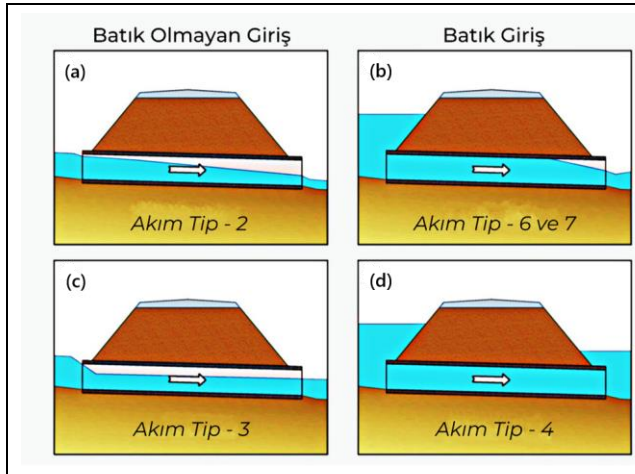
şekil 2. Giriş kontrol tipleri.

Figure 2. Inlet control types.

şekil 2(a) ve şekil 2(c)'de meydana gelen Akım Tip-1'de akım, menfez girişinin hemen altında kritik derinlikten geçer ve menfezdeki akış s perkritiktir. şekil 2(a)'da menfez, uzunluğu boyunca kısmen dolu olarak akmakta ve akım, çıkış kısmında normal derinliğe yaklaşmaktadır. şekil 2(c)'de ise menfezin çıkış ucunun su altında kalması çıkış kontrolünü sağlamamaktadır. Bu durumda, girişin hemen altındaki akış s perkritiktir ve menfez içinde bir hidrolik sıçrama oluşur. şekil 2(b) ve şekil 2(d)'de giriş batık olduğundan dolayı Akım Tip-5'i temsil etmektedir. şekil 2(b)'de giriş ucu batıktır ve çıkış ucu ise serbestçe akmaktadır. Akım s perkritiktir ve menfez uzunluğu boyunca kısmen dolu olarak akar. Kritik

derinlik, menfez girişinin hemen altında bulunur ve akım, menfezin mansap ucunda normal derinliğe yaklaşmaktadır. şekil 2(d), menfezin hem giriş hem de çıkış uçlarının batık durumda bulunmasının tam akış sağlamadığı olağandışı bir durumdur. Bu durumda, menfezde bir hidrolik sıçrama oluşacaktır. Bu akım tipinde, atmosfer altı basınçlar oluşabilir ve bu da menfezin tam akış ile kısmen tam akış arasında gidip geldiği dengesiz bir durum oluşturabilir [13].

şekil 3'te batık olmayan ve batık haldeki çıkış kontrol tipleri verilmiştir. şekil 3(a) ve şekil 3(c), hem giriş hem de çıkışın batık olmadığı Akım Tip-2 ve Akım Tip-3'  göstermektedir. Menfez, tüm uzunluğu boyunca kısmen dolu akar ve akım, kritik altıdır. Akım Tip-2 için (şekil 3(a)), akış çıkışta kritik derinlikten geçer. Akım Tip-3 için (şekil 3(c)), kuyruk suyu kritik derinlikten daha yüksektir. şekil 3(b)'de Akım Tip- 6 ve Tip-7'yi göstermektedir. Menfez girişi suya batmış ve çıkış ucu batmamıştır. Akım Tip- 6 için menfez, uzunluğunun çoğu boyunca dolu aktığı varsayılır. Akım Tip-7 için, menfez uzunluğunun en azından bir kısmı boyunca kısmen dolu olarak aktığı varsayılır. şekil 2(d), hem girişin hem de çıkışın su altında kaldığı Akım Tip-4'  göstermektedir. Menfez, uzunluğu boyunca basınçlı akım halindedir. Bu durum genellikle hesaplamalarda varsayılır ve nomografların oluşturulmasında kullanılmıştır [13].

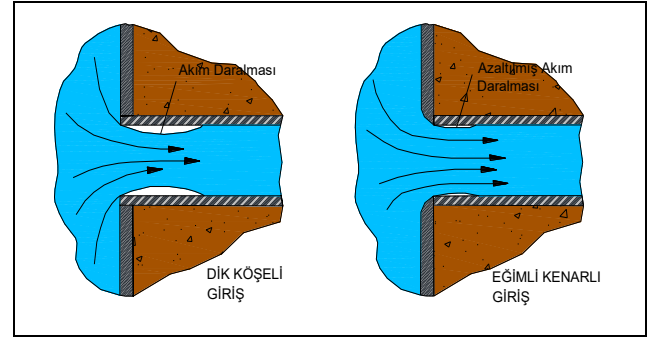


şekil 3.  ıkış kontrol tipleri.

Figure 3. Outlet control types.

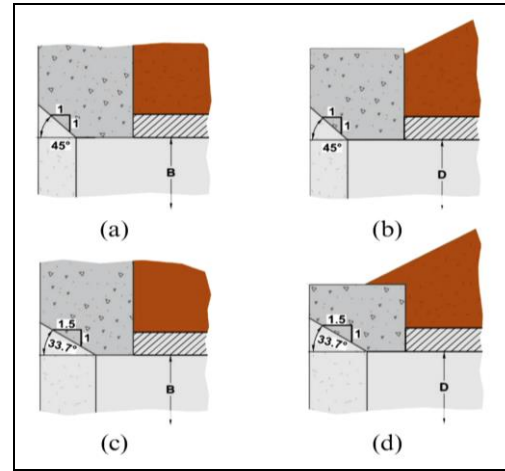
1.2 Menfezlerde giriş ağzı konfigürasyonları

Menfezlerde çok sayıda giriş ağzı konfigürasyonu tercih edilmektedir. Bu konfigürasyonların seçimi öncelikle menfez şekline, daha sonra ise; yapısal stabilite, estetik, erozyon kontrolü ve dolgu tutma kapasitelerine göre gerçekleştirilmektedir. Bu  alışma kapsamında incelenen kutu menfezlerde; düz, yatay eğimli konik ve düşey eğimli konik olmak üzere üç konfigürasyon irdelenmiştir. Düz girişler, beton kutu menfezlerde baş duvarı ve/veya kanat duvarı bulunduran girişleri içerir. Dik girişler (şekil 4) 1.5:1 ile 1:1 gibi eğimli kombinasyonlara da sahiptir (şekil 5) [15]. Yatay eğimli konik giriş (şekil 6), dairesel veya kutu menfezlerde geçerli olan bir tiptir. Yatay eğimli konik girişte, menfez genişliği, menfez yüksekliliği ve yatay eğimli koniklik gibi değerler dikkate alınmaktadır. Düşey eğimli konik girişler (şekil 7), yatay eğimli konik girişlere ek olarak menfezin  n ve boğaz bölümleri arasındaki girişte düşey bir konikliğe sahiptir.



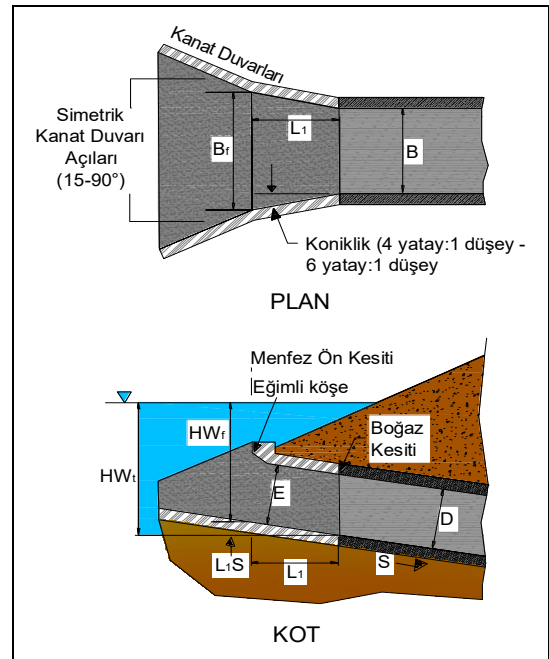
şekil 4. Dik kenarlı giriş.

Figure 4. Square edge inlet.



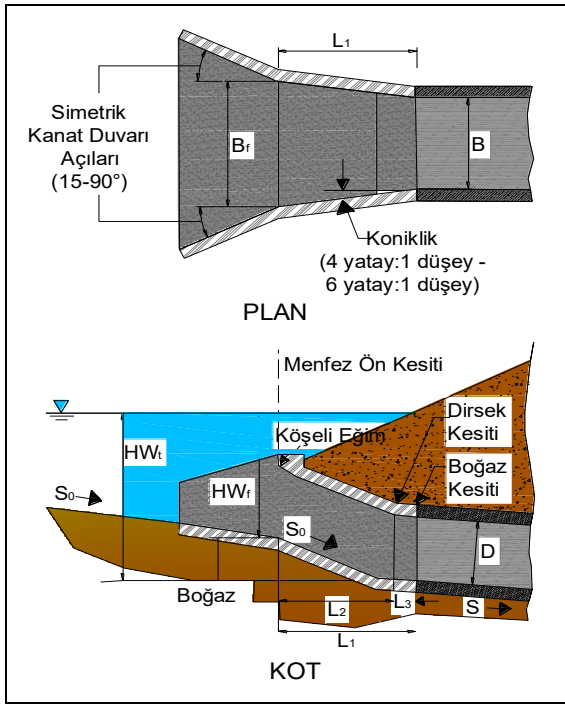
şekil 5. Eğimli kombinasyonlar. (a): 1:1 yatay eğimli. (b): 1:1 d şey eğimli. (c): 1.5:1 yatay eğimli. (d): 1.5:1 d şey eğimli.

Figure 5. Sloped combinations. (a): 1:1 horizontal slope. (b): 1:1 vertical slope. (c): 1.5:1 horizontal slope. (d): 1.5:1 vertical slope.



şekil 6. Yatay eğimli konik giriş.

Figure 6. Horizontally sloped conical inlet.



Şekil 7. Düsey eğimli konik giriş.
Figure 7. Vertical sloped conical inlet.

2 Materyal ve metot

Bu çalışmada karayollarında en sık kullanılan kutu menfezlerin performansı, Amerika Federal Karayolları İdaresi'nin (FHWA) HY-8 yazılımı aracılığıyla teknik parametreler çerçevesinde incelenmiş ve bu parametrelerin kutu menfezlerin hidrolik tasarımı üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Çalışma kapsamında kullanılan HY-8 programı, ilk olarak 1.1, 2.1 ve 3.0 versiyonları olarak Pensilvanya Eyalet  niversitesi tarafından FHWA ile işbirliği içinde üretilmiştir [16]. Ardından Philip L. Thompson HY-8'in 3.1, 4.1 ve 6.1 versiyonlarını geliştirmiştir. Versiyon 7.0 ile beraber program, Basic'ten C++ programlama diline çevrilmiştir ve birkaç hata düzeltmesi gerçekleştirilmiştir. Çalışmada programın 7.80.2 versiyonu kullanılmıştır. HY-8 programının parametre giriş ekranı  ekil 8'de verilmiştir.

Bu çalışmada kutu menfezin performansı giriş suyu yüksekliği (HW) ve çıkış suyu hızı (V) ile değerlendirilmiştir. Çalışmada 1.5 1.5m boyutlarındaki bir kutu menfezin 10 m³/s'lik akış debisi altındaki performansı; suyun aktığı dere yatağının (kanal) eğimi, menfezin eğimi, uzunluğu, p r zl l ğu ve giriş ağzı şekillerinin alacağı farklı tip ve değerler ile tespit edilmiştir. Kanal p r zl l ğu 0.072 olarak alınmıştır. İlk olarak kanal ve menfez eğimleri arasındaki ilişkiyi belirlemek için eğimlerin ve menfez uzunluğunun farklı değerlerinde giriş suyu yüksekliği ve çıkış suyu hızları tespit edilmiştir. Tablo 1'de, dikkate alınan değer kenler ve sabit değerler verilmiştir.

Şekil 8. HY-8 programı parametre giriş ekranı.

Figure 8. HY-8 program parameter input screen.

Tablo 1. Kanal ve menfez eğimlerinin ilişkisinde dikkate alınan değişkenler ve sabit değerler.

Table 1. Variables and constant values considered in the relationship between channel and culvert slopes.

Değişkenler	Değerler
Kanal eğimi (%)	0.5 - 1.0 - 3.0 - 5.0 - 10
Menfez eğimi (%)	1 - 2 - 3 - 4 - 5 - 6
Menfez uzunluğu (m)	20 - 30 - 40 - 50 - 60 - 70
Sabit Değerler	
Menfez giriş ağzı şekli	Düz, dik köşeli kanat duvarlı ($K_e=0.5$)
Menfez p�r�zl�l�ğu	0.012

Bütün menfez ve kanal eğimleri ve ayrıca menfez uzunluğu değerleri için HW değeri 3.78 m çıkmaktadır. Giriş suyu yüksekliğinin eğimlerden ve menfez uzunluğundan bağımsız olduğu tespit edilmiştir. Dolayısıyla menfezin kapasitesini artırmak için menfezin yerleştirildiği dere yatağının, menfez eğiminin ya da menfez boyunun değiştirilmesinin bir etkisi olmamaktadır. Ancak menfez eğimi ve uzunluğu çıkış suyu hızını etkilemektedir. HW ve V değerlerinin dere yatağı eğiminden bağımsız olduğu tespit edilmiştir. şekil 9'da farklı menfez uzunluklarında, menfez eğimi ile çıkış suyu hızı arasındaki ilişki verilmiştir. Burada kanal eğiminin bütün değerleri için aynı değerler çıkmaktadır. Menfez eğiminin ve uzunluğunun artması ile çıkış suyu hızları da artmaktadır. Özellikle %3 menfez eğiminden daha büyük değerlerde hızların lineer olarak arttığı söylenebilir. Menfez eğimi ile birlikte artan hız artışı, menfez uzunluğunun artması ile daha fazla meydana gelmektedir. Menfez eğiminin %1'den %6'ya çıkması, 20 m uzunluğundaki menfezde çıkış suyu hızını %46, 70 m uzunluğundaki menfezde ise %78 artırmaktadır. Belirli bir çıkış suyu hızına göre tasarım yapılacak ise uzun menfezlerde eğimin düşürülmesi gerekmektedir.  rnek olarak 20 m uzunluğundaki menfez %3.5 eğimde 6 m/s çıkış suyu hızı verirken aynı hız değeri 70 m uzunluğundaki menfezde %1.75 eğimde gerçekleşmektedir.

Menfez p r zl l ğu, eğimi ve uzunluğu arasındaki ilişkiler, değişkenlerin farklı değerleri ile tespit edilen giriş suyu yüksekliği (HW) ve çıkış suyu hızları (V) ile belirlenmiştir. Tablo 2'de, alınan değişkenler ve sabit değerler verilmiştir.

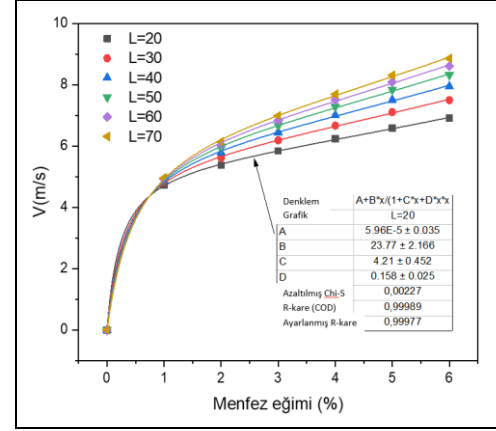
Tablo 2. Menfez p r zl l ğu, eğimi ve uzunluğunun etkisinin incelendiği değişkenler ve sabit değerler.

Table 2. Variables and constant values for the effect of culvert roughness, slope and length.

Değişkenler	Değerler
Menfez p�r�zl�l�ğu (n)	0.012 - 0.018 - 0.024 - 0.030
Menfez eğimi (%)	1 - 2 - 3 - 4 - 5 - 6
Menfez uzunluğu (m)	20 - 30 - 40 - 50 - 60 - 70
Sabit değerler	
Menfez giriş ağzı şekli	Düz dik köşeli kanat duvarlı ($K_e=0.5$)

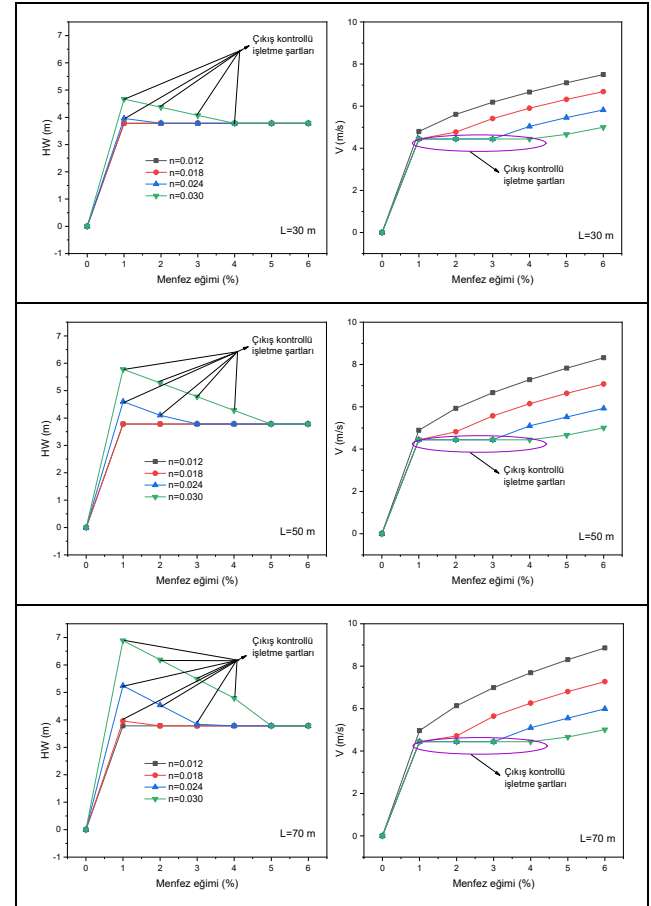
şekil 10'da farklı menfez uzunluklarında pürüzlülük ve menfez eğiminin HW ve V  zerindeki etkileri verilmiştir. Pürüzlülüğün artması ile giriş suyu yüksekliğinin arttığı, menfez kapasitesinin azaldığı görülmektedir. Pürüzlülük artışıının bu etkisi özellikle düşük menfez eğimlerinde ve yüksek menfez uzunluklarında daha belirgin hale gelmektedir. Pürüzlülüğün $n = 0.012$ olması durumunda hemen bütün menfez boy ve eğimlerinde menfez, giriş kontrollü işletme şartlarında çalışmakta ancak pürüzlülüğün artması ve eğimin düşük olması, menfezin çıkış kontrollü işletme şartlarında çalışmasına neden olmaktadır. Menfezin eğiminin dikkate alınan debi kapsamında %5 eğimden sonra giriş suyu

yüksekliğinin sabit kaldığı ve HW değerinin menfez uzunluğundan ya da pürüzlülüğünden etkilenmediği görülmektedir.



şekil 9. Farklı menfez uzunluklarında menfez eğimi ile çıkış suyu arasındaki ilişki.

Figure 9. Relationship between culvert slope and effluent at different culvert lengths.



şekil 10. Pürüzlülük ve menfez eğiminin farklı menfez uzunluklarında HW ile V  zerindeki etkisi.

Figure 10. Effect of roughness and culvert slope on HW and V at different culvert lengths.

Menfezin pürüzlülüğü kullarılan malzeme ve şekline bağlı olarak de i ebildi i gibi menfezin tabanında biriken sürüntü maddeleri ile de de i ebilmektedir. P r zl l   n 0.012 den 0.030'a çıkması %1 e ime ve 30 m uzunluğa sahip bir menfezde HW değerini %24 artırmaktadır. Bu değer 70 m uzunluğundaki menfez için %182 olmaktadır. Bu durum, uzun ve d  uk eğimli menfezlerde, sürtünmesi daha d  uk olan menfezlerin kullarılmasının ayrıca menfez tabanın temizliğinin önemini göstermektedir.

P r zl l   n artması ile menfez çıkış suyu hızının azaldığı görülmektedir. Menfez,  ıkı  kontrollü işletme koşullarında iken menfez uzunluğundan ve eğiminden bağımsız olarak sabit bir hız değeri olmaktadır. Ancak menfez giriş kontrollü işletme koşullarında iken hız değeri, e imin artması ile artmakta, p r zl l   n ve uzunluğun artması ile azalmaktadır. P r zl l   n 0.012'den 0.030'a çıkması, %4 eğimli ve 30 m uzunluğundaki bir menfezde çıkış suyu hızını %50 oranında azaltmaktadır. Bu değer 70 m menfez uzunluğunda ise %73 olmaktadır. Yüksek p r zl l   e sahip menfezler çıkış suyu hızının azalmasına neden olurken

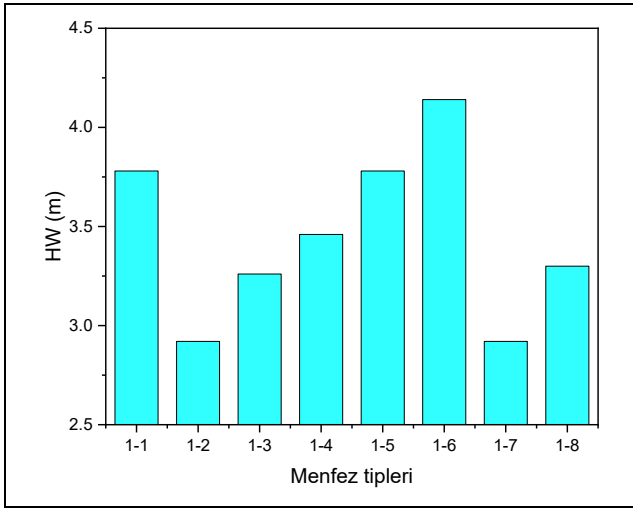
kapasitenin de azalmasına neden olmaktadır. D  uk dolgu yüksekliği nedeniyle giriş suyu yüksekliğinin fazla olmaması ya da yüksek kapasitenin istendiği durumlarda menfez çıkışında oyulmalara karşı önlemlerin alınması gerekmektedir. Menfezin giriş ağzı şekillerine göre performansının değerlendirilmesi için Tablo 3'te yer alan bütün giriş ağzı konfigürasyonları dikkate alınarak giriş suyu yüksekliği belirlenmiştir. Daha  nceki değerlendirmelerle birlikte menfez giriş ağzı şekilleri de dikkate alındığında çıkış suyu hızında sadece menfez eğimi ve pürüzlülüğünün etkili olduğu, giriş ağzı şekillerinin etkili olmadığı tespit edilmiş, dolayısıyla hız bu değerlendirmede dikkate alınmamıştır. Menfez giriş ağzı şekillerinin giriş suyu yüksekliğine dolayısıyla kapasitesine etkisi değerlendirilirken 10 m³/s debi ve 1.5×1.5 m kutu menfez dikkate alınmıştır.

Şekil 11'de düz (straight) menfez girişi için farklı giriş ağzı tiplerinin HW  zerindeki etkisi verilmiştir. Menfezin kapasitesini en fazla artıran giriş ağzı şekillerinin, 90  ba  duvarlı ya da 18-34  kanat duvarlı olan ve menfez ağzı 1.5:1 (33.7 ) eğimli olan menfezler olduğu tespit edilmiştir.

Tablo 3. Menfez giriş ağzı konfigürasyonları.

Table 3. Culvert inlet opening configurations.

Düz (Straight) (1)	(1) Dik köşeli 90° baş duvarlı ($K_e = 0.5$)	1-1			
	(2) 1.5:1 eğimli köşeli ve 90° baş duvarlı ($K_e = 0.2$)	1-2			
	(3) 1.5:1 eğimli köşeli ve baş duvarlı ($K_e = 0.2$)	1-3			
	(4) Dik köşeli 30-75° kanat duvarlı ($K_e = 0.4$)	1-4			
	(5) Dik köşeli 90 ve 15° kanat duvarlı ($K_e = 0.5$)	1-5			
	(6) Dik köşeli 0° kanat duvarlı ($K_e = 0.7$)	1-6			
	(7) 1.5:1 eğimli köşeli ve 18-34° kanat duvarlı ($K_e = 0.2$)	1-7			
	(8) 1:1 eğimli köşeli ve 45° kanat duvarlı ($K_e = 0.2$)	1-8			
Yatay eğimli konik (Side Tapered) (2)	Menfez açıklığına göre konik ağız genişlemesi	Dik köşeli 26-90° kanat duvarlı ($K_e = 0.2$) (1)	Eğimli köşeli 15-26° kanat duvarlı ($K_e = 0.2$) (2)	Eğimli köşeli 26-45° kanat duvarlı ($K_e = 0.2$) (3)	Eğimli köşeli 45-90° kanat duvarlı ($K_e = 0.2$) (4)
	%20 (1)	2-1-1	2-2-1	2-3-1	2-4-1
	%30 (2)	2-1-2	2-2-2	2-3-2	2-4-2
	%40 (3)	2-1-3	2-2-3	2-3-3	2-4-3
	%45 (4)	2-1-4	2-2-4	2-3-4	2-4-4
	%47 (5)	2-1-5	2-2-5	2-3-5	2-4-5
	%48 (6)	2-1-6	2-2-6	2-3-6	2-4-6
	%50 (7)	2-1-7	2-2-7	2-3-7	2-4-7
Düşey eğimli konik (Slope Tapered) (3)	Konik genişleme	Dik köşeli 26-90° kanat duvarlı (1)	Eğimli köşeli 15-26° kanat duvarlı (2)	Eğimli köşeli 26-45° kanat duvarlı (3)	Eğimli köşeli 45-90° kanat duvarlı (4)
	%20 (1)	3-1-1	3-2-1	3-3-1	3-4-1
	%30 (2)	3-1-2	3-2-2	3-3-2	3-4-2
	%40 (3)	3-1-3	3-2-3	3-3-3	3-4-3
	%45 (4)	3-1-4	3-2-4	3-3-4	3-4-4
	%47 (5)	3-1-5	3-2-5	3-3-5	3-4-5
	%48 (6)	3-1-6	3-2-6	3-3-6	3-4-6
	%50 (7)	3-1-7	3-2-7	3-3-7	3-4-7



 ekil 11. D z menfez giri li kombinasyonlarda HW değerinin deği imi.

Figure 11. Variation of HW value in combinations with flat grille inlet.

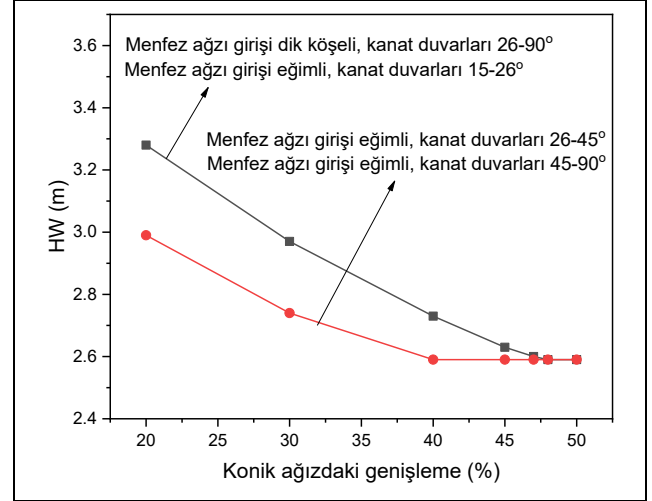
Bu giriş şekilleri, en kötü performansa sahip olan 0  kanat duvarlı ve dik köşeli girişe göre %42 daha fazla performans sunmaktadır. Kanat duvarlı ve dik köşeli giri lerde kanat duvarı açısının 30-75  arasında olması menfez kapasitesini artırmaktadır. Giriş ağzı eğimi 33.7  ve 45  olan menfezlerin her ne kadar K_e değerleri aynı olsa da 33.7  eğimli giriş %12 daha fazla performans sunmaktadır. Giriş ağzının 33.7  ya da 45  eğimli olması durumunda ayrıca ba  duvarı ya da kanat duvarı olması performansı değiştirmemektedir. Dolayısıyla performans üzerinde en fazla etkiye giriş ağzı eğiminin sahip olduğu görülmektedir.

Menfez ağzı girişlerinin yatay düzlemde konik olarak yapılması durumunda konik yapının geniş kısmının dar kısmına (menfez açıklığı) göre genişleme miktarı %20-%50 arasında seçilmiştir. Burada konik kısmın duvarlarının yatay düzlemdeki eğim için 4:1 ve 6:1 olmak üzere iki farklı seçenek bulunmaktadır. Yapılan analizlerde her iki eğim değerinin de aynı sonuçları verdiği tespit edilmiştir.

Konik kısmın genişleme miktarının bütün kombinasyonlarında %50'ye yaklaşması durumunda HW değerlerinin sabit bir değere geldiği tespit edilmiştir. Bu sebeple %40 ile %50 arasında %45, %47 ve %48 değerleri de dikkate alınmıştır. Şekil 12'de yatay düzlemde konik girişli menfezlerin Tablo 3'te yer alan dört farklı tipinin giriş konik ağzındaki genişleme miktarına göre HW değerlerindeki değişim verilmiştir.

Her dört tipte de konik ağz genişleme oranının artması ile giriş suyu yüksekliğinin azaldığı görülmektedir. Yatay düzlemdeki konik ağz girişinin kapasiteye olumlu bir etkisi söz konusudur. Menfez giriş ağzının dik köşeli ve kanat duvarlarının 15-26  arasında olması ile giriş ağzının eğimli ve kanat duvarlarının 26-90  arasında olması aynı performansı göstermektedir. Diğer taraftan giriş ağzı eğimli olduğunda kanat duvarlarının açısı 26  ile 90  arasında olması durumunda giriş suyu yüksekliği azalmaktadır. Konik ağzın genişliğinin menfez ağzına göre %50 oranında yapılması durumunda kanat duvarı açısı ya da giriş ağzının dik ya da eğimli yapılmasının bir önemi kalmamaktadır. Konik ağz girişinin diğer parametrelere göre çok fazla etkisi

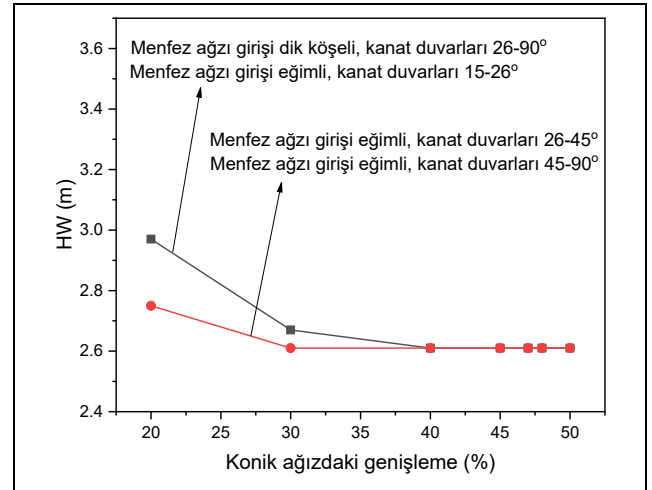
bulunmaktadır ve menfez kapasitesi üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Konik ağzın %50 oranında geniş yapılması %20 oranında geniş yapılmasına göre giriş suyu yüksekliğini %30 oranında azaltabilmektedir.



Şekil 12. Yatay eğimli konik girişli menfezlerde HW değerinin değişimi.

Figure 12. Variation of HW value in horizontally sloped conical inlet culverts.

Menfez ağzı girişlerinin yatay düzlemde konik olarak yapılmasının yanında ayrıca konik kısm, düşey düzlemde de eğimli olarak yapılabilir. Burada konik kısmın duvarlarının d  eydeki eğimi için 2:1 ve 3:1 olmak üzere iki farklı seçeneği bulunmaktadır. Yapılan analizlerde her iki eğim değerinin de aynı sonuçları verdiği tespit edilmiştir. Şekil 13'te yatay ve düşey düzlemde konik girişli menfezlerin Tablo 3'te yer alan 4 farklı tipinin giriş konik ağzındaki genişleme miktarına göre HW değerlerindeki değişim verilmiştir.



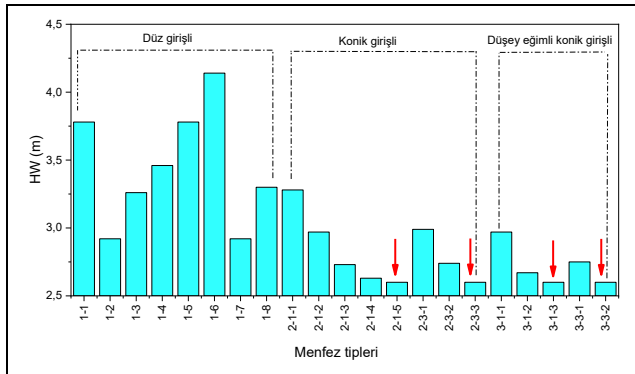
Şekil 13. Düşey eğimli konik girişli menfezlerde HW değerinin değişimi.

Figure 13. Variation of HW value in culverts with vertical sloping conical inlet.

Düşey eğimli konik girişli yapıda konik giriş ağzının menfez açıklığına göre genişleme oranının %40'tan fazla olmasının bir etkisi olmadığı belirlenmiştir. %40'tan daha fazla yapılacak genişleme, kapasiteyi etkilemeden maliyet artışına neden

olacağı için optimum bir çözüm olmayacaktır. Burada genişleme miktarının %40 olması optimum bir çözüm olmakla birlikte topoğrafik sebeplerden   t r  daha düşük oranlarda yapılması durumunda giriş ağzının eğimli olması ya da kanat duvarlarının açısı bir miktar etkiye sahip olmaktadır. Burada da optimum çözüm giriş ağzının eğimli ve kanat duvarlarının 27  yapılmasıdır.

Düz, konik ve düşey eğimli konik menfez giriş tiplerinden her bir kategoride giriş ağzının eğimi, kanat duvarlarının açısı, konik ağzındaki genişleme gibi parametreler göz önüne alınarak tespit edilen sonuçlar kendi aralarında kar ıla tırılmı tır. Burada her üç giriş tipinde de kendi içinde HW değerini daha fazla değiştirmeyen giriş tipleri dikkate alınmamıştır. Şekil 14'te bu menfezlerin giriş suyu yükseklikleri verilmiştir. Düz tiplerde en iyi performansı 33.7  eğimli girişe sahip 90  ba  duvarlı ya da 19  açılı kanat duvarlı menfezler; konik tiplerde en iyi performansı 33.7  eğimli ya da dik köşeli, 27  açılı kanat duvarlı ve %50 konik kısım genişlemesi olan menfezler; düşey eğimli konik tiplerde en iyi performansı 33.7  eğimli ya da dik köşeli, 27  açılı kanat duvarlı ve %40 konik kısım genişlemesi olan menfezler olarak tespit edilmiştir. Genel olarak menfez kapasitesinin, giriş ağzının düşey eğimli konik olması durumunda arttığı ancak konik ağz genişlemesinin %40-50 olması durumunda yatay eğimli konik girişlerin düşey eğimli konik giriş tipi ile benzer özellik gösterdiği dolayısıyla düşey eğimli konik tipe gerek kalmadığı belirlenmiştir. Düz giri lerden 33.7  eğimli ve 90  ba  duvarlı giriş, menfez açıklığına göre %30'dan daha az genişleme ile yapılan konik girişli tipler ile benzer performans göstermektedir. Bu da giriş ağzının konik olarak yapılması durumunda verimli bir sonucun alınması için konik ağz genişlemesinin menfez açıklığının %45-50'i kadar yapılması gerektiğine işaret etmektedir. Yatay eğimli konik girişin menfez açıklığına göre %47 olarak yapıldığı menfezin (2-1-5) giriş suyu yüksekliği, 0  açılı kanat duvarlı ve dik köşeli girişe sahip menfeze (1-6) göre %63 daha düşük olmaktadır.



Şekil 14. Farklı giriş ağzı tiplerine göre HW değerlerinin değişimi.

Figure 14. Variation of HW values according to different inlet opening types.

3 Sonuçlar ve tartışmalar

Bu çalışmada 1.5 1.5 m boyutlarındaki bir kutu menfezin sabit bir debi altındaki performansı, dere yatağının eğimi, menfezin eğimi, uzunluğu, p r zl l ğu ve giriş ağzı şekilleri dikkate alınarak belirlenmiştir. Menfez giriş suyu yüksekliği (HW) ve çıkış suyu hızı (V) performans kriteri olarak ele alınmıştır. HY-8 programı kullanılarak elde edilen verilerle ulaşılan sonuçlar aşağıda verilmiştir.

- Giriş suyu yüksekliği, kanal ve menfez eğiminden ve menfez uzunluğundan bağımsızdır.  ıkı  suyu hızında kanal eğiminin bir etkisi yoktur,
- Menfez eğimi ve uzunluğu, çıkış suyu hızında önemli bir etkiye sahiptir. Menfez eğiminin %1'den %6'ya çıkması, 20 m uzunluğundaki menfezde çıkış suyu hızını %46, 70 m uzunluğundaki menfezde ise %78 artırmaktadır. Belirli bir çıkış suyu hızına göre tasarım yapılacak ise uzun menfezlerde eğimin düşürülmesi gerekmektedir,
- Menfez p r zl l ğu'n n artması ile giriş suyu yüksekliği artmaktadır. Bu etki özellikle düşük menfez eğimlerinde ve yüksek menfez uzunluklarında daha belirgin hale gelmektedir. P r zl l ğu'n n artması ve eğimin azalması menfezi giriş kontrollü işletme şartlarından çıkış kontrollü işletme şartlarına geçirmektedir. Menfez eğiminin %5'ten fazla olması, dikkate alınan debi kapsamında giriş suyu yüksekliğini deği tirmemekte ve bu durumda HW üzerinde uzunluk ve pürüzlülük de etkili olmamaktadır,
- Menfez,  ıkı  kontrollü işletme koşullarında iken menfez uzunluğundan ve eğiminden bağımsız olarak sabit bir hız değerine olmaktadır,
- Menfez girişinin 1.5:1 (33.7 ) eğimli olmasının giriş suyu yüksekliğini azaltma üzerinde önemli bir etkisi bulunmakta ve bu tip girişte ba  duvarı ya da kanat duvarı olması performansı değiştirmemektedir,
- Yatay düzlemde konik ağzlı giri lerde konik kısımın menfez açıklığına göre genişlemenin %50'ye kadar olması HW üzerinde önemli bir etkiye sahiptir ancak bu orandan daha büyük değerlerde ise bir etkisi olmamaktadır. Bu etkili genişleme oranı düşey eğimli konik giri lerde %40 olarak belirlenmiştir,
- Menfez giriş suyu yüksekliğini etkileyen bütün parametreler dikkate alındığında menfez ağzında 33.7  eğimi olan, menfez açıklığına göre %50 genişlemeye sahip konik aynı zamanda 27  açılı kanat duvarlı menfezlerin en iyi performansı sunan optimum tasarım olduğu belirlenmiştir.

Bu  alı ma kapsamında 1.5 1.5 m boyutlarındaki kutu menfez için yapılan değerlendirmeler sabit bir debi üzerinden gerçekleştirilmiş olup, farklı açıklıklara sahip menfezlerin performansları kapsam dışı bırakılmıştır. Farklı boyutlardaki menfezler için, özellikle daha büyük açıklıklarda akım rejimi, türbülans özellikleri ve giriş suyu yüksekliği gibi parametrelerde farklı davranışlar gözlenebileceğinden, elde edilen bulguların genelle tirilmesinde dikkatli olunmalıdır. Ayrıca çalışmada kullanılan pürüzlülük ve eğim değerleri belirli aralıklarda sınırlı tutulmuş, menfezlerin farklı debi rejimlerinde ve değişken dolgu y ksekliklerinde g stereceği davranı lar değerlendirilmemi tir. Bu bağlamda, farklı geometrilere sahip menfezlerin  ok deği kenli hidrolik ko ullar altındaki performanslarının değerlendirilmesi, ileriki  alı malarda ele alınması gereken önemli bir ara tırma alanı olarak  ne  ıkmaktadır.

4 Conclusions

In this study, the performance of a 1.5x1.5m box culvert under a constant flow rate was determined by considering the slope of the stream bed, the slope, length, roughness and inlet shape

of the culvert. Inlet water height (HW) and outlet water velocity (V) are considered as performance criteria. The results obtained with the data obtained using the HY-8 program are given below.

- Inlet water height is independent of channel and culvert slope and culvert length. There is no effect of channel slope on outlet water velocity,
- Culvert slope and culvert length have a significant effect on outlet water velocity. Increasing the culvert slope from 1% to 6% increases the effluent velocity by 46% for a 20 m long culvert and by 78% for a 70 m long culvert. If the design is to be made according to a certain outlet water velocity, the slope should be reduced in long culverts,
- Inlet water height increases with the increase in culvert roughness. This effect becomes more pronounced at low culvert slopes and high culvert lengths. Increasing the roughness and decreasing the slope transitions the culvert from inlet controlled operating conditions to outlet controlled operating conditions. A culvert slope of more than 5% does not change the inlet water height for the flow rate considered and length and roughness have no effect on HW,
- When the culvert is under outlet-controlled operating conditions, a constant velocity value occurs regardless of the culvert length and slope,
- The 1.5:1 (33.7°) slope of the culvert inlet has a significant effect on inlet water height reduction, and the presence of a headwall or a wingwall in this type of inlet does not change the performance,
- For tapered inlets in the horizontal plane, up to 50% of the expansion of the conical part relative to the opening of the culvert has a significant effect on HW, but for values greater than this, it has no effect. This effective expansion ratio was determined as 40% for vertical tapered inlets,
- Considering all the parameters affecting the inlet water height of the culvert, it was determined that the culverts with a slope of 33.7° at the inlet of the culvert, tapered with 50% expansion relative to the culvert opening, and 27° angled wing wall culverts are the optimum design offering the best performance.

The findings of this study are based on a fixed discharge rate for a 1.5x1.5 m box culvert, and variations in culvert size-particularly larger span structures-were not within the scope of the analysis. As culverts with different cross-sectional dimensions may exhibit distinct flow regimes, turbulence characteristics, and inlet water heights, the generalization of the results should be approached with caution. Furthermore, the examined range of culvert slopes and roughness values was limited, and the behavior of culverts under varying flow rates and fill heights was not considered. Therefore, evaluating the hydraulic performance of culverts with diverse geometries under more complex flow conditions remains an important area for future research.

5 Yazar katkıları

 alışmada Baha Vural K k, fikrin oluşması ve analizinde; Z lf  Yetkin elde edilen sonu ların değerlendirilmesi, kullanılan

programda ve sonu ların analizinde; Erkut Yalçın tasarım, analiz ve analiz sonu larının değerlendirilmesinde; Ahmet Münir  zdemir ise makalenin yazım ve içerik açısından kontrolünde katkıda bulunmuştur.

6 Etik kurul ve çıkar  atışması beyanı

"Hazırlanan makale için etik kurul onayı gerekmemektedir".

"Hazırlanan makalede herhangi bir kişi/kurum ile çıkar  atışması bulunmamaktadır".

7 Kaynaklar

- [1] Karayolları Genel Müdürlüğü. "Karayolu Teknik şartnamesi". Ankara, Türkiye, 2013.
- [2] Oglesby C, Hicks R. *Highway Engineering*. 2nd ed. New York, USA, Wiley, 1982.
- [3] Patır M. Büyük Açıklıklı Tek ve  ift G zlu Betonarme Menfez Tasarımı. Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon, Türkiye, 2018.
- [4] Karadağ M. Betonarme ve Lifli Polimerden Yapılmış Menfezlerin Yapısal Analizi. Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon, Türkiye, 2018.
- [5]  alışkan U. Karayolu Ulaşım Ağlarında Y zeyssel Drenaj Sistemleri ve Hidrolik Tasarım Esasları. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Universitesi, İstanbul, Türkiye, 2007.
- [6] Topuksak ř. Menfezlerin Projelendirilmesinde Taşkın Debisi Saptama Yöntemlerinin İrdelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi, Karabük, Türkiye, 2021.
- [7] Fang X. *Culvert Design*. 1st ed. New York, USA Wiley, 2004.
- [8]  zel S. Karayolu Kutu Menfez Yapılarında Farklı Tasarım Y ntemlerinin Karşılaştırılması. Y ksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon, Türkiye, 2019.
- [9] Salem O, Salman B, Najafi M. "Culvert asset management practices and deterioration modeling". *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2285(1), 1–7, 2012.
- [10] Ahmed AOM, Alarabi E. "Development formulation for structural design of concrete box culverts". *Practice Periodical on Structural Design and Construction*, 16(2), 48–55, 2011.
- [11] Su Y netimi Genel M d rl ğ  Taşkın ve Kuraklık Y netimi Daire Başkanlığı. Taşkın Y netimi. T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı, Ankara, Türkiye, 2022.
- [12] T.C Sayıştay Başkanlığı. "Taşkın Risk Y netimi Sayıştay Raporu". Ankara, Türkiye, 2022.
- [13] Norman JM, Houghtalen RJ, Johnston WT. "Hydraulic design of highway culverts, Second Edition". *Security*, 2001(5), 376, 2005.
- [14] Director General of Department of Irrigation and Drainage. *Urban Stormwater Management Manual for Malaysia*. MSMA 2nd ed. Kuala Lumpur, Malaysia, DID, 2012.
- [15] Harrison LJ, Morris JL, Normann JM, Johnson FL. "Hydraulic Design of Improved Inlets for Culverts". Federal Highway Administration, Washington DC, USA, Report, FHWA/EO-72-13, 1972.
- [16] Federal Highway Administration. "HY-8 Culvert Hydraulic Analysis Program". Available From. <https://www.fhwa.dot.gov/engineering/hydraulics/software/hy8/>