Zemin Mekaniği ve Geoteknik Mühendisliği
20. Ulusal Konferansı

15-16 Ekim 2026
Sakarya Üniversitesi

Afyonkarahisar Çay Baraj Vadisi Şevinde Drenaj Etkinliğinin Statik ve Dinamik Koşullar Altında Değerlendirilmesi

Assessment Of Drainage Effectiveness On The Afyonkarahisar Çay Dam Valley Slope Under Static And Dynamic Conditions

Elif ÇAKIR[1], Süleyman GÜCEK[2]

ÖZET

Bu çalışmada, Afyonkarahisar ili Çay ilçesinde yer alan baraj vadisi şevinde farklı drenaj uzunluklarının statik ve dinamik stabilite üzerindeki etkileri incelenmiştir. Arazi ve laboratuvar çalışmalarından elde edilen veriler kullanılarak oluşturulan şev modeli, PLAXIS 2D sonlu elemanlar yazılımı ile analiz edilmiştir. Aşırı yağış koşullarında oluşabilecek yeraltı suyu değişimlerini temsil etmek amacıyla beş farklı yeraltı su seviyesi (YASS) senaryosu oluşturulmuş; drenajsız durum ile 5 m, 10 m ve 20 m uzunluğundaki drenaj uygulamaları karşılaştırılmıştır. Analiz sonuçları, yeraltı su seviyesinin yükselmesiyle güvenlik katsayılarının azaldığını ve bu etkinin dinamik koşullarda daha belirgin hale geldiğini göstermiştir. En kritik YASS-5 senaryosunda drenajsız modelde statik ve dinamik güvenlik katsayıları sırasıyla 1,261 ve 0,900 iken, 20 m drenaj uygulamasıyla 1,708 ve 1,464'e yükselmiştir. Bu değerler, güvenlik katsayısında sırasıyla yaklaşık %35,4 ve %62,7 oranında artışa karşılık gelmektedir. Elde edilen bulgular, özellikle yüksek yeraltı suyu seviyesi ve sismik yükleme koşullarında drenaj uzunluğunun şev stabilitesi açısından önemli bir tasarım parametresi olduğunu ve incelenen alternatifler arasında 20 m drenaj uygulamasının en yüksek stabilite performansını sağladığını ortaya koymuştur.

Anahtar Kelimeler: *Şev stabilitesi, drenaj, yeraltı suyu, dinamik analiz, PLAXIS 2D.*

ABSTRACT

This study investigates the effects of different drainage lengths on the static and dynamic stability of a dam valley slope located in Çay, Afyonkarahisar, Türkiye. The slope model, developed using data obtained from field investigations and laboratory tests, was analyzed using the PLAXIS 2D finite element software. Five different groundwater level (GWL) scenarios were defined to represent possible groundwater variations under extreme rainfall conditions, and the undrained condition was compared with drainage applications of 5 m, 10 m, and 20 m in length. The results showed that the factor of safety decreased with increasing groundwater level and that this effect became more pronounced under dynamic conditions. Under the most critical GWL-5 scenario, the static and dynamic factors of safety for the undrained model were 1.261 and 0.900, respectively, increasing to 1.708 and 1.464 with the 20 m drainage application. These values correspond to increases of approximately 35.4% and 62.7% in the factor of safety, respectively. The findings indicate that drainage length is an important design parameter for slope stability, particularly under high groundwater levels and seismic loading, and that the 20 m drainage application provided the highest stability performance among the alternatives investigated.

Keywords: *Slope stability, drainage, groundwater level, dynamic analysis, PLAXIS 2D.*

[1] Yüksek Lisans Öğrencisi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, elifcakir845@gmail.com
[2] Dr.Öğr.Üyesi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, sgucek@aku.edu.tr (Sorumlu yazar)

1. GİRİŞ

Şev stabilitesi, doğal ve yapay şevlerde zemin veya kaya kütlelerinin kaymaya karşı güvenliğinin belirlenmesi açısından geoteknik mühendisliğinin temel çalışma alanlarından biridir. Şevlerin stabilitesi; zemin özellikleri, şev geometrisi, yeraltı su seviyesi, boşluk suyu basıncı ve dış yükleme koşulları gibi birçok parametrenin karşılıklı etkileşimine bağlıdır (Coduto, 2006; Das, 2018). Cruden ve Varnes (1996), şevlerde meydana gelen kütle hareketlerini hareket türü ve malzeme özelliklerine göre sınıflandırmış ve bu tür hareketlerin farklı jeolojik ve çevresel koşullar altında gelişebildiğini ortaya koymuştur. Özellikle eğimli topoğrafyaya sahip alanlarda gerçekleştirilen kazı, dolgu ve altyapı uygulamaları ile kontrolsüz yüzey ve yeraltı suları mevcut denge koşullarını değiştirerek şev stabilitesini olumsuz yönde etkileyebilmektedir (Akbulut, 2012; Cevher, 2021).

Şev stabilitesini etkileyen faktörler arasında yeraltı suyu koşulları önemli bir yere sahiptir. Yağış ve yüzey sularının zemine sızması sonucunda yeraltı su seviyesinin yükselmesi ve boşluk suyu basıncının artması, efektif gerilmelerin azalmasına ve buna bağlı olarak zeminin kayma direncinin düşmesine neden olabilmektedir. Çağdaş (2021), farklı yeraltı suyu seviyelerinin şev stabilitesi üzerindeki etkilerini inceleyerek yeraltı suyu koşullarının güvenlik katsayısının değişiminde önemli bir parametre olduğunu ortaya koymuştur. Bunun yanında, yağış koşullarındaki değişimlerin ve iklimsel etkilerin şev stabilitesi üzerindeki olası etkilerinin değerlendirilmesi güncel geoteknik çalışmalar açısından önem kazanmaktadır (Bračko vd., 2023). Şev stabilitesinin değerlendirilmesinde geleneksel limit denge yöntemlerinin yanı sıra sonlu elemanlar yöntemine dayalı sayısal analizler de yaygın olarak kullanılmaktadır. Sonlu elemanlar yöntemi; zeminlerin gerilme-şekil değiştirme davranışının, yeraltı suyu koşullarının ve farklı yükleme durumlarının birlikte modellenmesine olanak sağlamaktadır. Bulut (2021), şev stabilitesini sonlu elemanlar ve limit denge yöntemleriyle karşılaştırmalı olarak değerlendirirken, Başar (2024) analitik yöntemler ile sonlu elemanlar yöntemlerinden elde edilen sonuçları incelemiştir. Gerçek saha problemlerine yönelik vaka çalışmaları da arazi koşullarının, zemin parametrelerinin ve yeraltı suyu durumunun sayısal modellere doğru şekilde aktarılmasının güvenilir stabilite değerlendirmeleri açısından önemini göstermektedir (Akçakal, 2009; Karadağ, 2019; Açıkgöz ve Işık, 2024).

Şevlerin statik koşullardaki stabilitesinin yanı sıra deprem etkisi altındaki davranışının belirlenmesi, özellikle sismik tehlikenin yüksek olduğu bölgelerde önem taşımaktadır. Deprem sırasında oluşan dinamik gerilmeler, zemin dayanımındaki değişimler ve suya doygun zeminlerde gelişebilecek boşluk suyu basıncı artışları şev stabilitesinde önemli azalmalara neden olabilmektedir. Şevlerin deprem etkisi altındaki davranışı ve farklı stabilizasyon elemanlarının sismik performansı çeşitli araştırmalarda incelenmiştir (Canik, 2006; Güler, 2017). Afyonkarahisar ve çevresinin sismotektonik özellikleri ile bölgede geçmişte meydana gelen depremler dikkate alındığında, bölgedeki kritik şevlerin statik koşulların yanı sıra deprem etkileri altında da değerlendirilmesi önem taşımaktadır (MTA, 2026). Yeraltı suyunun şev stabilitesi üzerindeki olumsuz etkilerinin azaltılmasında drenaj uygulamaları önemli stabilizasyon yöntemlerinden biridir. Drenaj sistemleri ile şev içerisindeki suyun kontrol edilmesi ve boşluk suyu basınçlarının azaltılması, efektif gerilmelerin korunmasına ve dolayısıyla şev stabilitesinin artırılmasına katkı sağlamaktadır (Hausmann, 1992). Bununla birlikte, drenaj sistemlerinin etkinliği; şev geometrisi, zemin ve yeraltı suyu koşullarının yanı sıra drenajın uzunluğu ve yerleşimine de bağlıdır. Bu nedenle özellikle yüksek yeraltı suyu seviyeleri ile sismik yüklemenin birlikte etkili olduğu

koşullarda drenaj sistemlerinin statik ve dinamik stabilite üzerindeki etkisinin birlikte değerlendirilmesi önem taşımaktadır.

Bu çalışmada, Afyonkarahisar Çay Baraj Vadisi şevinde drenaj etkinliğinin farklı yeraltı suyu seviyelerinde statik ve dinamik koşullar altında değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Arazi ve laboratuvar çalışmalarından elde edilen veriler kullanılarak PLAXIS 2D ortamında oluşturulan sayısal modelde, aşırı yağışlar sonucunda oluşabilecek yeraltı suyu değişimlerini temsil eden beş farklı YASS senaryosu dikkate alınmıştır. Drenajsız mevcut durum ile 5 m, 10 m ve 20 m uzunluğundaki drenaj uygulamaları karşılaştırılarak drenaj uzunluğunun güvenlik katsayısı üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Böylece farklı yeraltı suyu ve sismik yükleme koşullarında drenaj uygulamalarının şev stabilitesine sağladığı katkının ortaya konulması hedeflenmiştir.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışma kapsamında, Afyonkarahisar ili Çay ilçesinde yer alan Çay Barajı vadisindeki ankrajlarla desteklenmiş şevin statik ve dinamik stabilite davranışı incelenmiştir. Arazi gözlemleri ve laboratuvar deneylerinden elde edilen veriler kullanılarak şev geometrisi ve zemin özellikleri tanımlanmış, sayısal analizler PLAXIS 2D sonlu elemanlar yazılımı ile gerçekleştirilmiştir. Aşırı yağışlara bağlı yeraltı suyu değişimlerini temsil etmek amacıyla beş farklı yeraltı su seviyesi (YASS) senaryosu oluşturulmuş; drenajsız durum ile 5 m, 10 m ve 20 m uzunluğundaki drenaj uygulamaları statik ve dinamik koşullar altında karşılaştırılmıştır. Analizlerde güvenlik katsayısı (Fs), deformasyon davranışı ve potansiyel kayma mekanizmalarındaki değişimler değerlendirilmiştir.

2.1. Çalışma Sahası Verileri

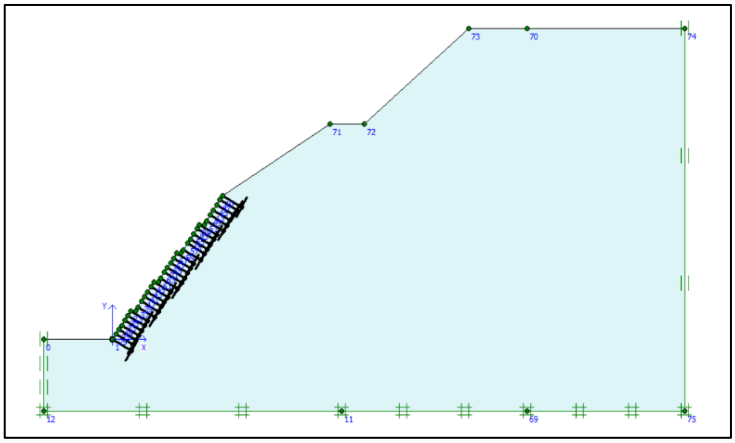
Çalışma kapsamında, Afyonkarahisar ili Çay ilçesinde yer alan Çay Barajı vadisi şevi üzerinde kapsamlı arazi ve laboratuvar çalışmaları yürütülmüştür. Arazi incelemelerinde mevcut drenaj durumu, su çıkışlarının dağılımı ve şev yüzeyindeki deformasyon izleri ayrıntılı biçimde kaydedilmiştir. Sahadan alınan temsili numuneler üzerinde yapılan ölçümlerle doğal ve doygun birim hacim ağırlık, özgül ağırlık ve su içeriği değerleri belirlenmiştir.

Şevlerin göçme kriterlerini tanımlayan kohezyon ve içsel sürtünme açısı parametreleri ise farklı deneysel yöntemlerle elde edilmiştir. Bu veriler, sayısal analizlerde daha güvenilir sonuçlar elde edebilmek amacıyla kalibrasyon sürecine tabi tutulmuştur. Arazi gözlemleri, baraj vadi şevinde ciddi drenaj yetersizliği ve kontrolsüz su çıkışlarının mevcut olduğunu göstermiştir. Bu durum şev stabilitesini olumsuz yönde etkileyen kritik bir faktör olarak değerlendirilmiştir. Baraj vadi şevinin mevcut doğal halinde drenajın sağlanmadığı ve su çıkışlarının yüzeyde açıkça görüldüğü durum Şekil 1'de sunulmaktadır.



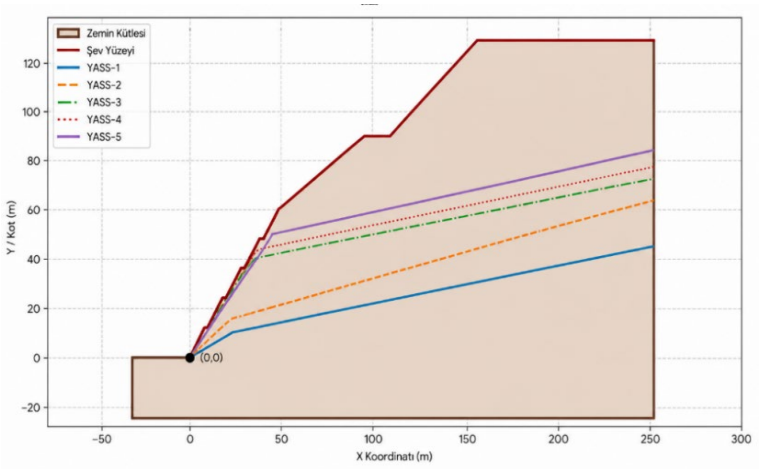
Şekil 1. Baraj vadi şevinin doğal hali

Baraj vadisi şevine ait geometri, saha ölçümleri ve uygulama projesi verileri esas alınarak PLAXIS 2D ortamında modellenmiştir. Şev geometrisi, gerçek arazi koşullarını temsil edecek şekilde koordinat noktalarıyla tanımlanmış; zemin tabakaları ve arazi ile laboratuvar çalışmalarından elde edilen geoteknik parametreler modele aktarılmıştır. Mevcut ankraj sistemi, saha uygulamasındaki düzen esas alınarak şev boyunca 1 m aralıklarla, 5 m uzunluğunda, 30° eğimde ve 150 kN kapasitede tanımlanmış ve tüm analizlerde aynı ankraj konfigürasyonu korunmuştur. Farklı yeraltı suyu seviyesi ve drenaj senaryoları altında gerçekleştirilen analizlerde, diğer model parametreleri sabit tutularak şev davranışındaki değişimler karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Baraj vadisi şevine ait sayısal model Şekil 2'de sunulmuştur.



Şekil 2. Baraj vadi şevinin modeli.

Bu çalışmada, baraj vadisi şevinde yeraltı su seviyesinin stabilite üzerindeki etkisini değerlendirmek amacıyla YASS-1, YASS-2, YASS-3, YASS-4 ve YASS-5 olmak üzere beş farklı senaryo tanımlanmıştır. Senaryolar, yeraltı su seviyesinin kademeli olarak yükseldiği koşulları temsil edecek şekilde oluşturulmuş; her bir senaryoda şev geometrisi, zemin parametreleri ve ankraj özellikleri sabit tutularak yalnızca yeraltı su seviyesi değiştirilmiştir. Tanımlanan YASS senaryoları hem statik hem de dinamik analizlerde kullanılarak su seviyesindeki değişimin şev stabilitesi üzerindeki etkileri karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. YASS-1'den YASS-5'e doğru yeraltı su seviyesindeki değişimi gösteren model kesitleri Şekil 3'te sunulmuştur.



Şekil 3. Yeraltı su seviyesi senaryoları.

Sayısal analizlerde kullanılan baraj vadisi şevine ait geoteknik zemin parametreleri Tablo 1'de sunulmuştur.

Tablo 1. Zemin parametreleri

Parametre	γ (kN/m³)	γ_{sat} (kN/m³)	c (kPa)	φ (°)	E (kN/m²)	Kx=Ky (m/s)	ν
Değer	24	25	110	50	1,000E+05	1e-7	0,25

Analizlerde esas alınan ankraj sistemine ait teknik ve mekanik parametreler Tablo 2'de sunulmuştur.

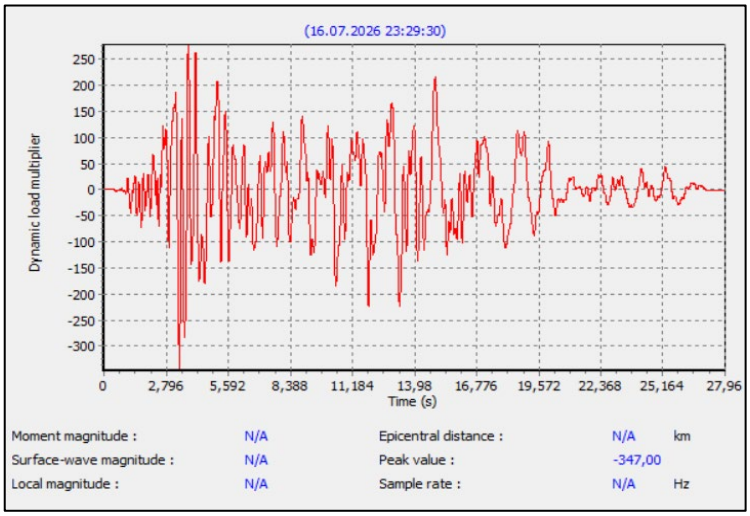
Tablo 2. Ankraj parametreleri

Parametre	EA (KN)	$L_{spacing}$ (m)	$F_{\max,tens}$ (KN)	$F_{\max,comp}$ (KN)
Değer	2,000E+05	1	150	150

Çalışmada 5 m, 10 m ve 20 m uzunluğundaki drenaj uygulamaları PLAXIS 2D ortamında ayrı senaryolar halinde modellenmiştir. Drenaj elemanı doğrudan tanımlanmayıp, drenajın yeraltı suyunu uzaklaştırıcı etkisi, yeraltı su seviyesinin ilgili drenaj uzunluğunu temsil edecek şekilde değiştirilmesiyle modellenmiştir. Bu kapsamda, her bir drenaj senaryosu için model geometrisi ve diğer zemin parametreleri sabit tutulmuş, yalnızca yeraltı su seviyesi ilgili seviyeye çekilerek drenaj etkisi sayısal olarak temsil edilmiştir. Böylece 5 m, 10 m ve 20 m drenaj uygulamalarının şev stabilitesi üzerindeki etkileri karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir.

Baraj vadisi şevinin dinamik davranışını değerlendirmek amacıyla 1995 Dinar Depremi'ne ait ivme-zaman kaydı kullanılmıştır. Dinar Depremi'nin çalışma alanına yakın bir bölgede meydana gelmiş olması ve bölgede önemli yapısal hasarlara neden olması, söz konusu kaydın dinamik analizlerde tercih edilmesinde etkili olmuştur. Sismik tasarım parametrelerinin belirlenmesinde Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği esas alınmış ve yönetmelikte tanımlanan deprem yer hareketi düzeylerinden DD-2 dikkate alınmıştır (AFAD, 2018).

Afyonkarahisar ili Çay ilçesine ait deprem tehlike parametreleri Türkiye Deprem Tehlike Haritası kullanılarak belirlenmiş (AFAD, 2018) ve analizlerde esas alınan hedef en büyük yer ivmesi (PGA) 0,347g olarak kabul edilmiştir. Dinar Depremi'ne ait ivme-zaman kaydı, PLAXIS 2D ortamında hedef PGA değerine göre ölçeklendirilerek dinamik analizlerde kullanılmıştır. Ölçeklendirilmiş ivme-zaman kaydı Şekil 4'te sunulmuştur.



Şekil 4. Hedef PGA değerine göre ölçeklendirilmiş 1995 Dinar Depremi ivme-zaman kaydı.

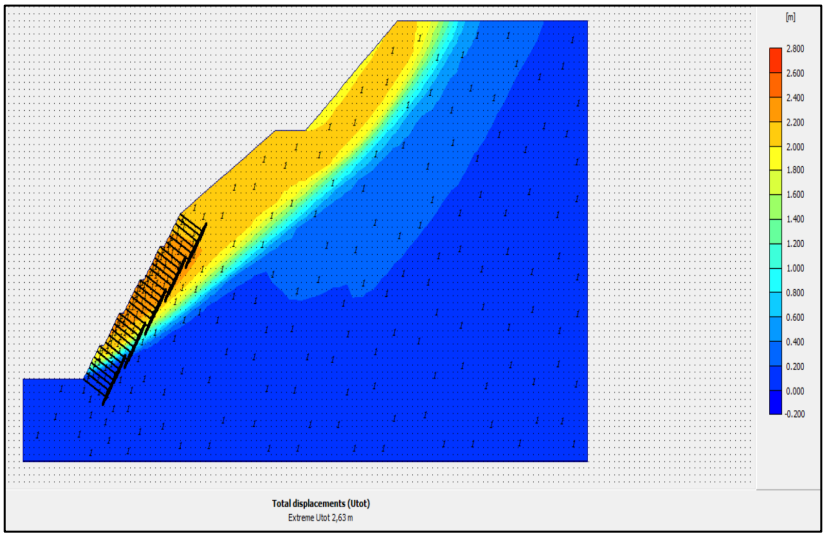
3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Mevcut (drenajsız) baraj vadisi şevine ait statik analiz sonucu sunulmaktadır (Şekil 5). Başlangıç koşullarında güvenlik katsayısı Fs = 2,020 olarak hesaplanmış ve şevin statik açıdan güvenli durumda olduğu belirlenmiştir. Bununla birlikte, yeraltı su seviyesinin yükselmesiyle boşluk suyu basıncındaki artışa bağlı olarak şev stabilitesinde belirgin değişimler meydana gelmiştir. Bu etkinin değerlendirilmesi amacıyla YASS-1'den YASS-5'e kadar tanımlanan beş farklı yeraltı suyu seviyesi için mevcut (drenajsız) durum ile 5 m, 10 m ve 20 m uzunluğundaki drenaj uygulamaları hem statik hem de dinamik koşullar altında analiz edilmiştir.

Analiz sonuçları, yeraltı su seviyesinin yükselmesiyle güvenlik katsayılarının kademeli olarak azaldığını ve bu azalmanın dinamik koşullarda daha belirgin hale geldiğini göstermiştir. Özellikle yüksek YASS seviyelerinde, mevcut ankraj sistemine rağmen drenajsız şevin dinamik stabilitesinde önemli azalmalar meydana gelmiştir. Bu durum, yeraltı suyunun şev stabilitesi üzerindeki etkisinin yalnızca yapısal destek elemanlarıyla kontrol edilmesinin yeterli olmayabileceğini göstermektedir.

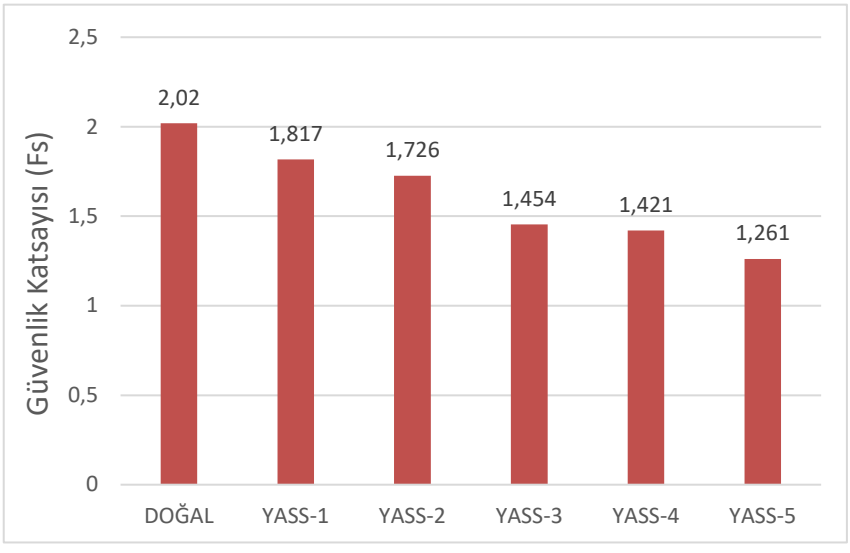
Drenaj sistemlerinin modele dahil edilmesiyle hem statik hem de dinamik güvenlik katsayılarında artış elde edilmiş ve drenaj uzunluğunun artmasıyla stabilite performansının genel olarak iyileştiği belirlenmiştir. 5 m drenaj uygulamasının özellikle yüksek yeraltı suyu seviyelerinde sağladığı iyileşme sınırlı kalırken, 10 m ve özellikle 20 m drenaj uygulamalarında daha belirgin stabilite artışları elde edilmiştir. Bu sonuçlar, drenaj etkinliğinin yeraltı suyu seviyesine ve drenaj uzunluğuna bağlı olarak değiştiğini, özellikle

yüksek yeraltı suyu seviyesi ile sismik yüklemenin birlikte etkili olduğu koşullarda yeterli drenaj uzunluğunun şev stabilitesi açısından önemli bir tasarım parametresi olduğunu ortaya koymaktadır.



Şekil 5. Mevcut baraj vadisi şevine ait statik analiz sonucu.

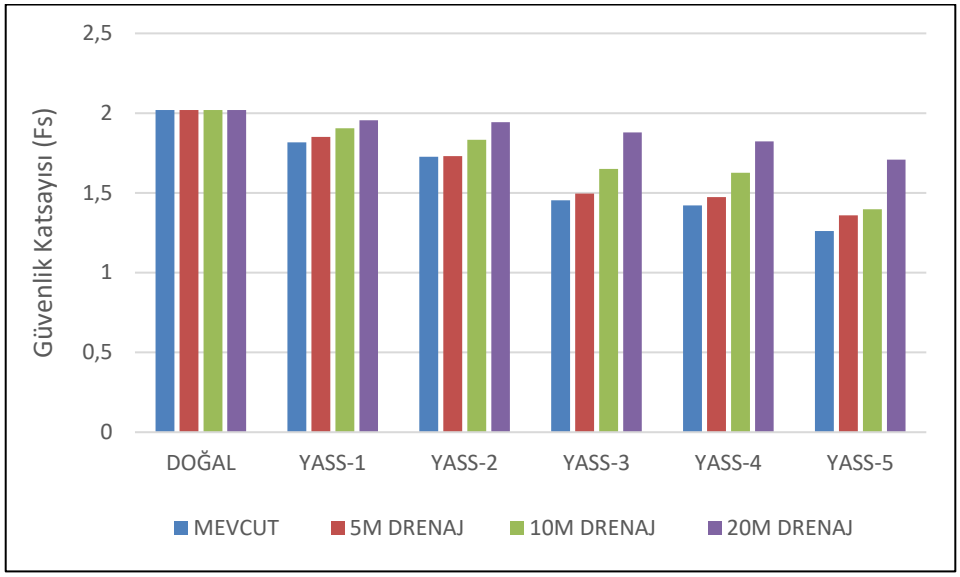
Baraj vadisi şevinin mevcut durumu ve beş farklı yeraltı su seviyesi senaryosu için gerçekleştirilen statik analizlerden elde edilen güvenlik katsayıları Şekil 6'da gösterilmiştir. Yeraltı su seviyesi YASS-1'den YASS-5'e doğru kademeli olarak yükseltilmiş ve su seviyesindeki artışa bağlı olarak güvenlik katsayılarının düzenli biçimde azaldığı belirlenmiştir. Başlangıç koşullarında Fs = 2,020 olarak hesaplanan güvenlik katsayısının, yeraltı su seviyesinin yükselmesiyle giderek azalması, şev stabilitesinin yeraltı suyu koşullarına duyarlı olduğunu ortaya koymaktadır. Bu durum, artan yeraltı su seviyesine bağlı olarak boşluk suyu basıncının artması ve efektif gerilmelerin azalmasıyla ilişkilendirilmektedir. Elde edilen sonuçlar, özellikle yüksek yeraltı suyu seviyelerinde şev stabilitesinin korunabilmesi için yeraltı suyunun kontrol edilmesinin önemini göstermektedir.



Şekil 6. Baraj vadisi şevinde farklı YASS koşulları için statik analiz sonuçları.

Baraj vadisi şevinde yeraltı suyunun stabilite üzerindeki olumsuz etkilerinin azaltılması ve drenaj sistemlerinin etkinliğinin değerlendirilmesi amacıyla, tanımlanan beş farklı YASS senaryosu için 5 m, 10 m ve 20 m uzunluğunda drenaj elemanları modellenmiştir. Böylece drenaj uzunluğunun şev stabilitesi üzerindeki etkisi karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Oluşturulan modeller üzerinde önce statik, ardından deprem etkisini temsil eden dinamik analizler gerçekleştirilmiştir.

Analiz sonuçları, drenaj uygulamalarının genel olarak güvenlik katsayılarını artırdığını ve sağlanan iyileşmenin drenaj uzunluğu ile yeraltı suyu seviyesine bağlı olarak değiştiğini göstermiştir. 5 m drenaj uygulamasının özellikle yüksek yeraltı suyu seviyelerinde sağladığı iyileşme sınırlı kalırken, 10 m ve özellikle 20 m drenaj uygulamalarında daha belirgin stabilite artışları elde edilmiştir. Bu durum, drenaj uzunluğunun özellikle yüksek yeraltı suyu seviyeleri ve dinamik yükleme koşullarında şev stabilitesi açısından önemli bir parametre olduğunu ortaya koymaktadır.



Şekil 7. Drenajlı yeraltı su seviyesi - güvenlik katsayısı arasındaki ilişki.

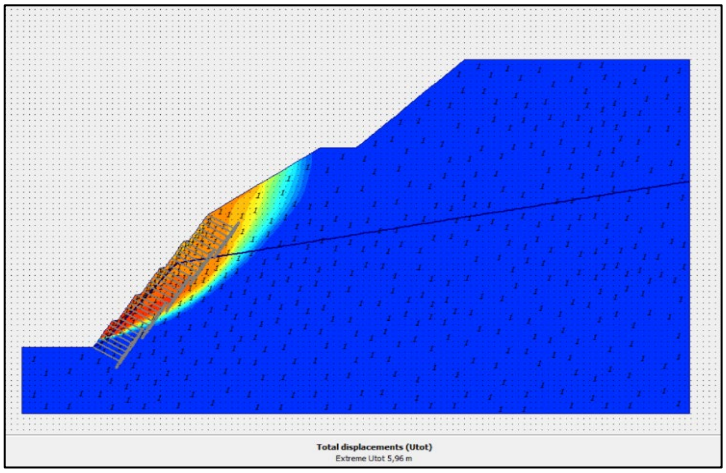
Farklı yeraltı suyu seviyeleri ve drenaj uzunlukları için gerçekleştirilen statik analizlerden elde edilen güvenlik katsayıları Şekil 7'de karşılaştırmalı olarak sunulmuştur. Sonuçlar, yeraltı su seviyesinin yükselmesiyle güvenlik katsayısının azaldığını, drenaj uygulamasıyla ise bu azalmanın belirli ölçüde sınırlandırıldığını göstermektedir. Drenaj uzunluğunun artmasıyla sağlanan iyileşmenin daha belirgin hale geldiği ve incelenen alternatifler arasında 20 m drenaj uygulamasının tüm YASS koşullarında en yüksek statik güvenlik katsayılarını sağladığı görülmektedir.

Çalışma kapsamında farklı yeraltı suyu seviyeleri ve drenaj uzunluklarının şev stabilitesi üzerindeki etkisini değerlendirmek amacıyla statik ve dinamik koşullarda toplam 48 analiz gerçekleştirilmiştir. Drenajsız durum ile 5 m, 10 m ve 20 m drenaj uygulamalarından elde edilen güvenlik katsayıları karşılaştırılarak yeraltı suyu seviyesi ve drenaj uzunluğunun şev stabilitesi üzerindeki etkileri birlikte değerlendirilmiştir. Gerçekleştirilen tüm analizlerden elde edilen güvenlik katsayıları Tablo 3'te sunulmuştur.

Tablo 3. Farklı YASS ve drenaj koşullarına ait statik ve dinamik analiz sonuçları.

Durum	Drenajsız (Fs)	5m Drenajlı (Fs)	10m Drenajlı (Fs)	20m Drenajlı (Fs)
Doğal Statik	2,02	2,02	2,02	2,02
Doğal Dinamik	1,7	1,7	1,7	1,7
YASS-1 Statik	1,817	1,851	1,905	1,956
YASS-1 Dinamik	1,37	1,4	1,558	1,679
YASS-2 Statik	1,726	1,73	1,833	1,944
YASS-2 Dinamik	1,29	1,418	1,492	1,608
YASS-3 Statik	1,454	1,495	1,65	1,88
YASS-3 Dinamik	0,998	1,196	1,352	1,55
YASS-4 Statik	1,421	1,473	1,626	1,822
YASS-4 Dinamik	0,95	1,12	1,226	1,524
YASS-5 Statik	1,261	1,359	1,397	1,708
YASS-5 Dinamik	0,9	1,076	1,092	1,464

Tablo 3 incelendiğinde, yeraltı su seviyesinin yükselmesiyle şev güvenlik katsayılarının hem statik hem de dinamik koşullarda belirgin biçimde azaldığı görülmektedir. Drenaj uygulamaları bu olumsuz etkiyi sınırlandırırken, drenaj uzunluğunun artmasıyla stabilite performansında genel olarak iyileşme sağlanmıştır. Bu iyileşmenin özellikle yüksek yeraltı suyu seviyelerinde ve dinamik yükleme koşullarında daha belirgin olduğu belirlenmiştir. En kritik durum olan YASS-5 senaryosunda, drenajsız modelde statik ve dinamik güvenlik katsayıları sırasıyla 1,261 ve 0,900 iken, 20 m drenaj uygulamasıyla bu değerler 1,708 ve 1,464'e yükselmiştir. Buna göre 20 m drenaj uygulaması, drenajsız duruma kıyasla güvenlik katsayısında statik koşullarda yaklaşık %35,4, dinamik koşullarda ise %62,7 oranında artış sağlamıştır. Elde edilen bulgular, drenaj uzunluğunun özellikle yüksek yeraltı suyu seviyesi ile sismik yüklemenin birlikte etkili olduğu koşullarda şev stabilitesi açısından önemli bir tasarım parametresi olduğunu ortaya koymaktadır. Drenaj uygulamasının dinamik koşullardaki şev davranışına etkisini görsel olarak ortaya koymak amacıyla, YASS-3 koşulunda 5 m drenaj uygulanmış örnek modele ait dinamik analiz sonucu Şekil 8'de sunulmuştur.



Şekil 8. Örnek model için 5 m drenaj uygulanmış YASS-3 koşulundaki dinamik analiz sonucu.

4. SONUÇ

Bu çalışmada, Afyonkarahisar Çay Baraj Vadisi şevinde farklı yeraltı suyu seviyeleri ve drenaj uzunluklarının statik ve dinamik stabilite üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir. Analiz sonuçları, yeraltı su seviyesinin yükselmesiyle güvenlik katsayılarının azaldığını ve bu azalmanın dinamik koşullarda daha belirgin hale geldiğini göstermiştir. Mevcut ankraj sistemi şev stabilitesine katkı sağlamakla birlikte, yüksek yeraltı suyu seviyelerinde drenaj uygulamasının stabilitenin korunması açısından önemli olduğu belirlenmiştir.

Drenaj uygulamaları güvenlik katsayılarında belirgin artışlar sağlamış ve drenaj uzunluğu arttıkça stabilite performansının genel olarak iyileştiği görülmüştür. Özellikle 20 m drenaj uygulaması, incelenen alternatifler arasında hem statik hem de dinamik koşullarda en yüksek güvenlik katsayılarını sağlamıştır. En kritik YASS-5 senaryosunda drenajsız durumda 1,261 ve 0,900 olan statik ve dinamik güvenlik katsayıları, 20 m drenaj uygulamasıyla sırasıyla 1,708 ve 1,464'e yükselmiş; böylece yaklaşık %35,4 ve %62,7 oranında artış elde edilmiştir.

Sonuçlar, baraj vadisi şevlerinde yeraltı suyu kontrolünün, özellikle yüksek su seviyeleri ile sismik yüklemenin birlikte etkili olduğu koşullarda, şev stabilitesinin sağlanmasında kritik öneme sahip olduğunu ortaya koymaktadır. Bu nedenle drenaj sistemlerinin mevcut yapısal desteklerden bağımsız olarak değil, yeraltı suyu koşulları ve sismik etkiler dikkate alınarak bütünleşik biçimde tasarlanması güvenli ve sürdürülebilir şev stabilizasyonu açısından önem taşımaktadır.

KAYNAKLAR

Açıkgöz, B., Işık, N.S. (2024), "Demiryolu Projeleri Yarmalarında Şev Stabilitesi Değerlendirmeleri: Örnek Bir Uygulama", Türk Mühendislik Araştırma ve Eğitimi Dergisi, Vol 3(2), 72-80.

Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı [AFAD] (2018), "Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği", T.C. Resmî Gazete, Sayı: 30364 (Mükerrer).

Akbulut, S. (2012), "Şev Stabilitesi ve Zeminlerin İyileştirilmesi Üzerine Ders Notları", Yıldız Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi, İstanbul.

Akçakal, Ö. (2009), "Şev Stabilitesi Analizinde Geri Hesap Yöntemi ve Bir Vaka Analizi", Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.

Akçalı, M.H.H. (2026), "Farklı Zemin Koşulları Altında Şev Stabilitesi Probleminin Sayısal Olarak Araştırılması", Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Nişantaşı Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.

Başar, E.E. (2024), "Şev Stabilitesinin Analitik Yöntem ve Sonlu Elemanlar Yöntemleriyle İncelenmesi", Teknik Bilimler Dergisi, Vol 14(1), 9-17.

Bračko, T., Žlender, B., Jelušič, P. (2023), "Implementation of Climate Change Effects on Slope Stability Analysis", Applied Sciences, Vol 13(4), 1234, DOI: 10.3390/app13041234.

Bulut, K. (2021), "Şev Stabilitesinin Sonlu Elemanlar ve Limit Denge Yöntemleri ile Karşılaştırmalı Analizi", Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Trabzon.

Canik, B. (2006), "Şev Stabilitesinde Kullanılan Kazıkların Deprem Etkisi Altındaki Davranışı", Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Sakarya.

Cevher, F.S.M. (2021), "Şev Stabilitesi ve Şevlerin Güvenli Hale Getirilmesi", Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Denizli.

Coduto, D.P. (2006), "Geoteknik Mühendisliği İlkeler ve Uygulamaları", Gazi Kitabevi, Ankara.

Cruden, D.M., Varnes, D.J. (1996), "Landslide Types and Processes", National Research Council, National Academy Press, Washington, D.C., 36-75.

Çağdaş, B. (2021), "Şevlerde Topuğa Yük Koyma ve Topuk Hasarının Değişik Yeraltı Su Düzeylerinde Şev Stabilitesine Etkisi", Yüksek Lisans Tezi, Kırıkkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Kırıkkale.

Das, B.M. (2018), "Principles of Geotechnical Engineering", 9th ed., Cengage Learning, Boston, MA.

Güler, E. (2017), "Şevlerin Dinamik Yükler Altındaki Performansının Belirlenmesi", Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.

Hausmann, M.R. (1992), "Slope Remediation", Proceedings of the ASCE Specialty Conference on Stability of Slopes and Embankments II, 1274.

Karadağ, M.B. (2019), "Çiftlikköy İlçesi Gençlik Caddesindeki Heyelanın Vaka Analizi", Yüksek Lisans Tezi, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Bilecik.

Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü [MTA] (2026), "Türkiye Diri Fay Haritası (TDFH-2026)", Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü.

SEMBOL LİSTESİ

Sembol	Açıklama	Sembol	Açıklama
γ_{unsat}	Doygun olmayan birim hacim ağırlık	γ_{sat}	Doygun birim hacim ağırlık
E_{ref}	Elastisite Modülü	c_{ref}	Kohezyon
v	Poisson oranı	$\phi°$	İçsel sürtünme açısı
k	Permeabilite katsayısı	EA	Eksenel rijitlik