

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ATIKSU SİSTEMLERİNDE TIKANMALARA NEDEN
OLAN MAKSİMUM YÜKLEME DEĞERLERİNİN
BELİRLENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Murathan AKÇA

Enstitü Anabilim Dalı : ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Fatih KARADAĞLI

Haziran 2022

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ATIKSU SİSTEMLERİNDE TIKANMALARA NEDEN
OLAN MAKSİMUM YÜKLEME DEĞERLERİNİN
BELİRLENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Murathan AKÇA

Enstitü Anabilim Dalı : ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ

Bu tez 09/06/2022 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği / oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

Jüri Başkanı

Üye

Üye

BEYAN

Tez içindeki tüm verilerin akademik kurallar çerçevesinde şahsım tarafından elde edildiğini, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun şekilde sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahribat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim.

Murathan AKÇA

09.06.2022

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim boyunca değerli bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım, her konuda bilgi ve desteğini almaktan çekinmediğim, araştırmanın planlanmasında, yürütülmesinde ve tezimin yazılmasına kadar tüm aşamalarında yardımlarını esirgemeyen, teşvik eden, aynı titizlikte beni yönlendiren değerli danışmanım Prof. Dr. Fatih KARADAĞLI'ya teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER	ii
ŞEKİLLER LİSTESİ	iv
TABLolar LİSTESİ	vi
ÖZET	vii
SUMMARY	viii
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2.	
LİTERATÜR ÖZETİ	3
BÖLÜM 3.	
MATERYAL VE METOT	8
3.1. Materyal	8
3.2. Metot	8
3.2.1. Deney düzeneğinin oluşturulması	8
3.2.2. Deneysel çalışmalar	9
BÖLÜM 4.	
ARAŞTIRMA BULGULARI	12
4.1. Tuvalet Kağıdı Numuneleri	12
4.2. TK1-3 Numunesi Deney Sonuçları	13
4.3. TK2-3 Numunesi Deney Sonuçları	16
4.4. TK3-3 Numunesi Deney Sonuçları	19

4.5. TK4-3 Numunesi Deney Sonuçları	22
4.6. TK5-2 Numunesi Deney Sonuçları	25
4.7. TK6-2 Numunesi Deney Sonuçları	28
4.8. TK7-2 Numunesi Deney Sonuçları	31
4.9. TK8-2 Numunesi Deney Sonuçları	34
4.10. Numunelere Ait Maksimum Emniyetli Yüklemelerin Kıyaslanması	37
4.11. Numunelere Ait Tıkanmalara Sebep Olan Yüklemelerin Kıyaslanması	38
4.12. Numunelerin Pissu Giderinde İlerlemeleri ve Aldıkları Mesafeler .	40

BÖLÜM 5.

SONUÇ	42
KAYNAKÇA	43
ÖZGEÇMİŞ	45

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 3.1. Hendek atıksu arıtma tesisinde kurulan deney düzeneği	9
Şekil 3.2. Tuvalet atılan tuvalet kağıdı yaprakları (solda) ve tıkanan tuvalet gideri (sağda)	10
Şekil 4.1. TK1-3 tuvalet bırakılan yaprak sayısı ve bu miktarın 1. sifonda gittiği yatay mesafe	14
Şekil 4.2. TK1-3 riskli ve çok riskli yüklemelere ait 2. sifon hareketi	15
Şekil 4.3. TK1-3 çok riskli yüklemelere ait 3. sifon hareketi	15
Şekil 4.4. TK2-3 tuvalet bırakılan yaprak sayısı ve bu miktarın 1. sifonda gittiği yatay mesafe	17
Şekil 4.5. TK2-3 riskli ve çok riskli yüklemelere ait 2. sifon hareketi	18
Şekil 4.6. TK2-3 çok riskli yüklemelere ait 3. sifon hareketi	18
Şekil 4.7. TK3-3 tuvalet bırakılan yaprak sayısı ve bu miktarın 1. sifonda gittiği yatay mesafe	20
Şekil 4.8. TK3-3 riskli ve çok riskli yüklemelere ait 2. sifon hareketi	21
Şekil 4.9. TK3-3 çok riskli yüklemelere ait 3. sifon hareketi	21
Şekil 4.10. TK4-3 tuvalet bırakılan yaprak sayısı ve bu miktarın 1. sifonda gittiği yatay mesafe	23
Şekil 4.11. TK4-3 riskli ve çok riskli yüklemelere ait 2. sifon hareketi	24
Şekil 4.12. TK4-3 çok riskli yüklemelere ait 3. sifon hareketi	24
Şekil 4.13. TK5-2 tuvalet bırakılan yaprak sayısı ve bu miktarın 1. sifonda gittiği yatay mesafe	26
Şekil 4.14. TK5-2 riskli ve çok riskli yüklemelere ait 2. sifon hareketi	27
Şekil 4.15. TK5-2 çok riskli yüklemelere ait 3. sifon hareketi	27
Şekil 4.16. TK6-2 tuvalet bırakılan yaprak sayısı ve bu miktarın 1. sifonda gittiği yatay mesafe	29
Şekil 4.17. TK6-2 riskli ve çok riskli yüklemelere ait 2. sifon hareketi	30

Şekil 4.18. TK6-2 çok riskli yüklemelere ait 3. sifon hareketi	30
Şekil 4.19. TK7-2 tuvalete bırakılan yaprak sayısı ve bu miktarın 1. sifonda gittiği yatay mesafe	32
Şekil 4.20. TK7-2 riskli ve çok riskli yüklemelere ait 2. sifon hareketi	33
Şekil 4.21. TK7-2 çok riskli yüklemelere ait 3. sifon hareketi	33
Şekil 4.22. TK8-2 tuvalete bırakılan yaprak sayısı ve bu miktarın 1. sifonda gittiği yatay mesafe	35
Şekil 4.23. TK8-2 riskli ve çok riskli yüklemelere ait 2. sifon hareketi	36
Şekil 4.24. TK8-2 çok riskli yüklemelere ait 3. sifon hareketi	36
Şekil 4.25. Maksimum emniyetli yükleme yaprak adetleri	37
Şekil 4.26. Boru hattı içerisinde maksimum emniyetli taşıma mesafesine ulaşamayan tuvalet kağıtları	38
Şekil 4.27. Tıkanmaya sebep olan minimum yaprak adetleri	39
Şekil 4.28. Numunelerin tıkanma gerçekleştirdikleri mesafe ve tekerrür sayısı .	40
Şekil 4.29. Pissu boru hattına ulaşmadan tıkanma gerçekleştiren tuvalet kağıtları	41

TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 4.1. Tuvalet kağıdı numuneleri	12
Tablo 4.2. TK1-3 numunesi deney sonuçları	13
Tablo 4.3. TK2-3 numunesi deney sonuçları	16
Tablo 4.4. TK3-3 numunesi deney sonuçları	19
Tablo 4.5. TK4-3 numunesi deney sonuçları	22
Tablo 4.6. TK5-2 numunesi deney sonuçları	25
Tablo 4.7. TK6-2 numunesi deney sonuçları	28
Tablo 4.8. TK7-2 numunesi deney sonuçları	31
Tablo 4.9. TK8-2 numunesi deney sonuçları	34
Tablo 4.10. Maksimum emniyetli yükleme yaprak adetleri	37
Tablo 4.11. Numunelerin tıkanma meydana getirdiği yaprak adetleri	39

ÖZET

Anahtar kelimeler: Tuvalet kağıdı, tıkanmalar, ızgaralar, katı atıklar

Islak mendil ve tuvalet kağıdı gibi temizlik ürünleri genellikle tuvaletlerden kanalizasyon sistemlerine atılarak bertaraf edilmektedir. Bu atıklar kanalizasyon sistemine karışan diğer atıklarla birleşerek bir atık yığını oluşturmaktadır. Bu yığınlar zamanla birikim yapmakta ve kanalizasyon sistemlerinde tıkanmalara neden olmaktadır. Tıkanmaların sonucu olarak, atıksu idareleri ve halkımız finansal maliyetler, mal ve hizmet kayıpları ve sağlık tehditleri ile karşı karşıya kalmaktadır.

Bu riskleri azaltmak için, bu çalışmada, tuvalet kağıtlarının binaların pisu giderlerinde birikim yapmadan ve emniyetli şekilde taşınabilmesi için tuvaletlerden bırakılabilecek maksimum yükleme değerleri araştırılmıştır. Bu doğrultuda, farklı özelliklere sahip tuvalet kağıtları yerel marketlerden temin edilerek, (1) Ekonomik, iki katlı ve ince ürünler ve (2) Lüks, üç katlı ve kalın ürünler şeklinde iki ana gruba ayrılmıştır. Her iki grubu temsil eden numunelerle uluslararası yöntemlere göre deneysel çalışmalar yapılmıştır. Bu kapsamda, International Water Services Flushability Group tarafından geliştirilen Toilet & Drainline Clearance test metodu uygulanmıştır.

Deneysel çalışmaların sonuçlarına göre, her bir tuvalet kağıdı numunesi için, kritik yükleme değerleri belirlenerek, emniyetli yükleme, riskli yükleme ve çok riskli yükleme veya tehlikeli yükleme şeklinde tanımlanmıştır. Örneğin, bir sifon su hareketi ile tuvalet ve pisu gider hattını (20 m) sorunsuz şekilde terk eden yaprak sayısı emniyetli yükleme değeri olarak belirlenmiştir. Bu çerçevede, ekonomik ve 2-katlı tuvalet kağıtları için emniyetli yükleme değerleri 20 yaprak civarında olmuştur. Benzer şekilde, 20-40 yaprak arasındaki yüklemeler riskli görülürken, >40 yaprak yükelemeler tuvaletin tıkanmasına neden olmuştur. Karşılaştırma yapabilmek için, lüks ve 3-katlı tuvalet kağıtları için emniyetli yükleme değerleri 8-10 yaprak arasında kalırken, 8-15 yaprak arası riskli yüklemeleri ve >15 yaprak yüklemeler ise tehlikeli veya çok riskli yüklemeleri oluşturmuştur. Elde edilen sonuçlara göre, kanalizasyon sistemlerinde görülen tıkanmaların azaltılabilmesi için ekonomik ürünler olarak tanımlanan tuvalet kağıtlarının tercih edilmesinin gerekliliği anlaşılmıştır. Bu tür ürünler, özellikle, alış-veriş merkezleri, öğrenci yurtları, spor arenaları, stadyumlar ve düğün salonları gibi tüketici yoğunluğunun yüksek olduğu yerler için elzem olmaktadır.

IDENTIFICATION OF MAXIMUM LOADS THAT CAUSE BLOCKAGES IN WASTEWATER SYSTEMS

SUMMARY

Keywords: Toilet paper, wastewater system, safe loadings, blockages

Personal hygiene products such as toilet paper and flushable wipes are disposed of into sewer systems. In sewers, they blend with other wastes such as grease and sand to form a mixture of waste materials that accumulate over time and cause sewer backups. Wastewater authorities and household residents incur financial costs, property damage, and health risks due to sewer blockages.

To minimize such risks, this study assesses the amount of toilet paper that can be transported safely from toilets through household drains. For this analysis, we collected various toilet paper samples and categorized them into two groups as 1- Economical, 2-ply, and thin products versus 2- Premium, 3-ply, and plush products. Then, representative samples from each category were tested according to toilet and drain-line clearance test protocol developed by the International Water Services Flushability Group, an organization representing wastewater authorities from around the world.

The results elucidated critical loadings that are classified as sewer-safe, risky, and unsafe. As an example, up to 20 sheets of economical and 2-ply toilet paper was discharged safely with a single flush; hence, this range was defined as sewer-safe. Similarly, 20-40 sheets constituted a risky range for accumulations, while >40 sheets choked the toilet. For comparison, up to 8 sheets of premium and 3-ply toilet paper was transported safely, while 8-15 sheets were risky for accumulations, and >15 sheets caused blockages. In light of the findings, economical type toilet papers are preferable to prevent potential backups in household toilet and drain-line systems. In particular, economical products are highly recommended for entities such as shopping centers, student dormitories, and sports arenas.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Günümüzde tuvalet kağıdı ve ıslak mendil gibi hijyenik ürünler, bireylerin ve toplumların kişisel temizlik ihtiyaçlarını karşılamaktadır. Bunlardan tuvalet kağıtlarının klozete atılabilir olduğu varsayılarak, bir çok tüketici tarafından tuvaletlere bırakılmak yoluyla bertaraf edilmektedir. Ancak, tuvalet kağıtları farklı kalite özelliklerine sahip olduklarından, atıksu toplama sistemlerinde birikim gösterebilmektedir. Bu birikimler zamanla atıksu içerisinde bulunan diğer atıklarla birleşerek, pissu hatlarında tıkanmalara sebebiyet vermektedir. Özellikle, tüketici yoğunluğunun yüksek olduğu alışveriş merkezleri ve öğrenci yurtları gibi yerlerde tıkanmalar sık sık yaşanmaktadır. Bununla beraber, atıksu toplama sistemlerinde su akış hızının düşük olduğu yerlerde ilgili birikimler gözlemlenmektedir.

Konuyla ilgili olarak, tüketicilerin hatalı davranışları, bilimsel çalışmaların sınırlı olması ve henüz uluslararası veya ulusal düzeyde uygulanan bir yönetmelik veya standardın bulunmaması, atıksu toplama ve arıtma sistemlerinden sorumlu kuruluşların ciddi finansal ve işgücü kayıpları vermesine neden olmaktadır. Bu nedenle, tuvalet kağıdı gibi ürünlerin pissu hatlarındaki etkilerinin sistematik şekilde çalışılmasına ihtiyaç duyulmaktadır.

Dünya genelinde tuvalet kağıtları tüketicilerin beklentilerine ve alım güçlerine uygun şekilde üretilmektedir. Örneğin, sosyoekonomik düzeyi yüksek olan tüketiciler yumuşak, kalın, su tutma kapasitesi ve parfümlü vb. tuvalet kağıtlarını tercih ederken, orta ve düşük gelir düzeyindeki tüketiciler ekonomik ürünleri tercih etmektedir. Bu nedenle, tuvalet kağıtları lüks ve ekonomik olarak iki grup altında üretilmektedir. Genellikle, lüks ürünler üç katlı ve kalın, ekonomik ürünler ise iki katlı ve ince kağıtlar olarak üretilmektedir.

Tuvalet hattına atılan tuvalet kağıtları, atıksu borularında diğer evsel atıklarla birleşmektedir. Özellikle mutfak lavabosundan kanalizasyona gönderilen yağ, şeker içeren sıvılar, yemek artıkları gibi ürünler tuvalet kağıtları tarafından absorbe edilmektedir. Bu durum, tuvalet kağıtlarında sertliğin oluşmasına ve parçalanmanın zorlaşmasına sebep olmaktadır. Bu nedenle, her bir ürün grubunun pissu gider borularındaki taşınımının ve tıkanmalarda oynadığı rollerin belirlenmesi gerekmektedir.

Bu kapsamda, bu tezde, tuvalet kağıtlarının kalitesine bağlı olarak kategorize edilmesi ve her bir ürün grubunun binaların pissu giderlerindeki davranışlarının belirlenmesi hedeflenmektedir. Bu hedef doğrultusunda, çalışmanın birinci bölümünde farklı markalara ait tuvalet kağıtlarının, kalitelerine bağlı olarak karakterizasyonu yapılmıştır. Çalışmanın ikinci kısmında, tuvalet kağıtlarının pissu giderlerindeki davranışları uygun test metotlarına göre değerlendirilmiştir. Bu çerçevede, International Water Services Flushability Group tarafından geliştirilen Toilet & Drainline Clearance test metodu uygulanmıştır. Yapılan testlere göre, her bir ürünün emniyetli olarak sistemi terk ettiği yaprak sayısı, risk oluşturan yüklemeler ve çok riskli yüklemeler şeklinde 3 ana davranış biçimi belirlenmiştir. Bu şekilde, ürünlerin kalitelerine bağlı olarak tıkanmaya sebebiyet veren miktarları belirlenmiş ve karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçların ışığı altında, tıkanmaları azaltmak için uygun tuvalet kağıtları tavsiye edilmiştir. Benzer şekilde, tuvalet kullanımının yoğun olduğu öğrenci yurtları, alışveriş merkezleri ve spor arenaları gibi yerlerde bu tür ürün kullanımının elzem olacağı vurgulanmıştır.

BÖLÜM 2. LİTERATÜR ÖZETİ

Brown vd. (1996), kanalizasyon sistemine atılan tuvalet kağıtlarının, atıksu boru hatlarındaki ilerleyişini simüle edebilmek için matematiksel modelleme çalışmaları yapmıştır. Buna göre, bu tür katı atıkların tuvaletletlerden gelen ilk sifon dalgası ile bina bağlantı borularında belirli bir noktaya kadar ilerledikleri ve daha sonra, yeni su dalgaları ile bir miktar daha yol alarak, sokak boruları gibi su akımının bol olduğu noktalara taşındıkları tespit edilmiştir. Bu taşınma davranışına göre, tuvalet kağıtlarının rögar bacalarında ani su hızı düşmesi nedeniyle birikim yapacaklarına işaret edilmiştir.

Ashley ve ark. (2004), kanalizasyon sistemlerinde yer alan katı atıkların sistem üzerine etkilerini, karakteristik yapılarını ve karakteristik özelliklerini incelemişlerdir. Yapılan incelemeler sonucunda sudan daha yoğun olan kum, çakıl ve benzeri katıların hızlıca hat içerisinde çökerek biriktiği, sudan daha az yoğunluğa sahip katıların ise su ile taşınımının gerçekleştiği gözlemlenmiştir. Çalışma sonucunda, düzenli aralıklar ile yapılacak temizlik ve bakım faaliyetlerinin kanalizasyon hatlarında meydana gelen birikimlerin önüne geçebileceği belirlenmiştir.

Yılmaz (2009) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, kanalizasyon sistemlerinde meydana gelen tıkanmaların sebepleri ve rehabilite yöntemleri araştırılmıştır. Buna göre, kanalizasyon sistemlerinde rabbit tıkanıklığı, kanal tıkanıklığı ve kanal çökmesi gibi problemlerin olduğu gözlemlenmiştir. Bu tür problemlerin rehabilitasyon yöntemi olarak, kanalizasyon borularının farklı malzemelerle içerden kaplanması ve yenilenmesi teklif olarak sunulmuştur.

Karadağlı vd. (2009), klozetlere atılabilecek ürünlerin kanalizasyon sistemlerindeki parçalanmasıyla ilgili teorik ve matematiksel modelleme çalışmaları

gerçekleştirmiştir. Teorik çalışmalar incelendiğinde klozetlere atılan atıkların, atıksu içindeki türbülans şartlarıyla ürünlerin fiziksel mukavemetine bağlı olduğu sonucuna varılmıştır. Su içerisinde türbülans Reynold's sayısı ile temsil edilirken; ürünlerin mukavemeti çeşitli parçalanma deneyleri ile belirlenmiştir. Bu çalışma ile elde edilen sonuçlar, matematiksel modelin ve teorinin ilgili ürünlerin kanalizasyondaki davranışlarını takip edebilmek için kullanılabileceğini göstermiştir.

Eren (2012), tuvalet kağıtlarının atıksu sistemlerinde parçalanabilirliği çalışmasını araştırmıştır. Atıksu sistemlerine bırakılan tuvalet kağıtları yumuşaklık, su tutma kapasitesi ve yırtılmaya karşı direnci gibi çeşitli parametrelere göre tasarlanmaktadır. Çalışmada, deneysel çalışmada kullanılacak verilerle ilişkili olarak anket yöntemiyle tüketim oranları hesaplanmış ve tuvalet kağıtlarının fiziksel karakterizasyonu yapılmıştır. Bu sayede su içerisinde tuvalet kağıtlarının parçalanabilir özelliği değerlendirilmiştir. Deneysel veriler ile gerçek atıksu sistemlerindeki veriler kıyaslanarak son aşamada kaydedilmiştir. Tüm bu çalışma sonucunda pissu borularının minimum eğim değerlerinin artırılması ve tuvalet kağıtlarının karakteristik özelliklerinin geliştirilmesi, problemi azaltacak çözüm yolları olarak sunulmuştur.

Tang ve Jin (2013), klozete atılabilir şekilde üretilen ıslak mendillerin sularda parçalanmaları üzerine çalışma yapmışlardır. Deneysel çalışmalarda, karıştırma hızının ve karıştırma süresinin ürünün parçalanmasında etkili olduğu gözlemlenmiştir. Karıştırma süresinin uzun ve karıştırma hızının yüksek tutulması halinde, ürünlerin parçalanacağı ifade edilmiştir. Ancak, deney düzeneğindeki karıştırma hızı, karıştırma süresi ve türbülans gibi parametrelerin, reel sistemlerdeki bekletme süreleri ve türbülans değerleriyle karşılaştırılmasının yapılması gerektiği vurgulanmıştır.

Shahsavari ve ark. (2017), borularda biriken katıların taşınmasını sağlamak amacıyla belirli noktalara çek-valf ekipmanı dahil ederek çalışma gerçekleştirmişlerdir. Bir kapak görevi gören çek-valf ile boru içerisinde biriken atıksular açılmanın etkisiyle birlikte içeride yer alan katı atıkların taşınması gözlenmiştir. Çalışma sonunda çek-valfin küçük çaplı taneciklerde su ile birlikte taşınması izlenirken; büyük çaplı katı taneciklerin kısa sürede çökeldiği izlenmiştir. Bu çökeltme neticesinde boru içerisinde

yeniden büyük çapa sahip katı tanecikler meydana gelmiştir. Çek-valfler, sokaklarda yer alan bacalardaki boruların girişine inşa edilmesi ve uzaktan sistem ile kontrolünün sağlanması alternatif ve çözüm yolu olarak sunulmuştur.

Mitchell ve Ark.(2017), Berlin’deki bazı kritik noktalarda, atıksu borularında birikim yapan maddeleri incelemiş, bu atıklar arasında kağıt havlu ve ıslak mendillerin yoğun olduğu sonucuna ulaşmıştır. Bu sonuçlara bağlı olarak, Mitchelle ve ark. (2019) daha sonra, ıslak mendillerin pompaları tıkama performanslarını araştırmıştır. Buna göre, laboratuvar ortamında kurulan bir deney düzeneği ile ıslak mendillerin atıksu pompalarını tıkama testleri yapılmış ve elde edilen sonuçlar sahadaki gerçek verilerle karşılaştırılmıştır. Sahadan alınan verilerde, atıksu pompasında tıkanıklığa neden olan ıslak mendil türleri belirlenmiştir. Buna göre, “klozete atılabilir” (flushable) etiketli ürünlerin pompaları tıkama oranlarının düşük olduğu tespit edilmiştir. Ancak, kanalizasyon sistemine bırakılan birçok ıslak mendilin “klozete atılamaz” (non-flushable) grubundan olduğu ve bu atıkların pompalarda tıkanma oluşturacağı bildirilmiştir.

Aslan (2018), mikroplastiklerin su kaynaklarında yarattığı etkileri incelerken; aynı zamanda atıksu sistemlerinde de önemli bir noktayı açıklamıştır. Su kaynaklarında tehlike yaratan mikroplastik türlerinden biri de sentetik tekstil ürünleridir. İkincil mikroplastik kaynağı olan sentetik tekstil ürünlerinden polyamid, polyester ve akrilik gibi sentetik polimerlerden üretilen ıslak mendiller atıksularda çevre sorunlarına neden olmaktadır. Doğrudan klozete atılan mikrolifli yapıdaki ıslak mendiller, atıksulara ve dolayısı ile atıksu arıtma tesislerinde çeşitli sorunlar yaratmaktadır. Çalışmada atıksulardaki çevre sorununa karşı gereksiz kullanımın azaltılması, tek kullanımlık sentetik yapılı ıslak mendillerin yerine pamuk, keten gibi doğal üretimi olan ürünlerin tercih edilmesi alternatif yöntem olarak sunulmuştur.

Durukan ve Karadağlı (2019), çalışmalarında “klozete atılabilir” şeklinde pazarlanan ıslak mendillerin kanalizasyon sistemlerinde yol açtığı problemleri araştırmışlardır. Islak mendillerin fiziksel yapısı ve lif bileşenleri deneysel çalışmada “klozete atılamayan” ıslak mendiller ve kuru tuvalet kağıtları ile karşılaştırılarak

değerlendirilmiştir. Çalışmanın sonucunda kanalizasyon sistemi üzerinde işletme sorunlarının temel nedeninin klozete atılabilir şekilde üretilen mendillerin yapısında sentetik lif bulunmasından kaynaklandığı belirlenmiştir.

Türk (2021) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, kanalizasyon sistemlerindeki tıkanmalar üzerine saha çalışmaları yapılmıştır. Buna göre, tıkanma problemlerinin sebepleri saha çalışmalarında tespit edilmiştir. Bu problemlerin çözümü için bazı ürünler tasarlanmış ve ayrıntıları sunulmuştur.

Harter ve Ark. (2021), ıslak mendillerin yapısal özellikleri (fiber türleri ve kompazisyonları) ile kanalizasyon borularındaki taşınım ve parçalanma özelliklerini araştırmışlardır. Bu çalışmada, hem endüstriyel hem de pilot tesisler kullanılarak tuvalete atıldıktan sonra parçalanabilir özellikte üretilen ıslak mendillerin parçalanma testleri yapılmıştır. Buna göre, tıkanmalara neden olan ıslak mendillerin genellikle sentetik (plastik fiberler) ve/veya modifiye edilmiş selülozik fiberlerden oluştuğu gösterilmiştir. Buna karşılık, tamamen doğal selülozik fiberlerden yapılan ürünlerin parçalanma kabiliyetinin yüksek olduğu sonucuna varılmıştır. Bu tür liflerden yapılan ürünlerin, fiziksel olarak hızlı şekilde parçalanacağı ve biyolojik olarak da parçalanabilir olacağı belirtilmiştir. Bu tür ürünlerle, kanalizasyon sistemlerinde görülen sorunların engellenebileceği ifade edilmiştir.

Yukarıda sunulan literatür çalışmalarının işaret ettiği sonuçlar kısaca şu şekilde özetlenebilir:

Daha önceden yapılan çalışmalar, evsel atıksu toplama sistemlerinde birikim yapan katı atıkların türleri ile bunların sebep olduğu arıza ve işletme problemlerini belirli oranlarda araştırmışlardır. Özellikle, birleşik kanalizasyon sistemlerine gelen yağmur suları ile kanal içerisinde biriken katı vb. pisliklerin, kanalizasyon sistemlerinde su akış hızının aniden değiştiği noktalarda biriktiği ve kanalları tıkadığı gözlemlenmiştir. Bu tıkanmaların çoğunlukla basınçlı su ile kanal açma araçları ile giderildiği belirtilmiştir.

Atıksu toplama hatlarında biriken katıların karakterizasyonu üzerine çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalara göre, kağıt havlu ve ıslak mendil gibi ürünlerin kanalizasyon sistemlerindeki tıkanmaları tetiklediği anlaşılmaktadır. Bunların yanısıra, küçük çaplı kum taneciklerinin sedimentler oluşturduğu veya bu kum taneciklerinin ıslak mendil ve tuvalet kağıdı gibi ürünlerle birleşerek yığınlar oluşturduğu vurgulanmıştır.

Tuvalet kağıtlarının atıksu sistemlerinde parçalanabilirliği çalışması araştırılmış ve buna göre, tuvalet kağıtlarında fiber bağlayıcı kimyasalların mümkün olduğunca en az düzeyde eklenmesi gerektiği belirtilmiştir. Bu çerçevede, tuvalet kağıtlarının karakteristik özelliklerinin geliştirilmesi, tıkanma problemlerini azaltacak çözüm yolları olarak sunulmuştur.

Tuvalet kağıtlarının parçalanabilirliğini incelemek için çeşitli tuvalet kağıdı numuneleri ile suda parçalanma deneyleri yapılmıştır. Geçici-ıslak-mukavemeti yüksek olan tuvalet kağıtlarındaki parçalanabilirliğinin düşük olduğu tespit edilmiştir. Bu tür ürünlerin, kanalizasyon sistemlerinde oldukça yavaş parçalanacağı sonucuna varılmıştır.

Genel olarak yukarıda sunulan literatür çalışmalarında, günümüzde atıksu taşıma ve toplama sistemlerinde problemlere neden olan katı atıkların ve bunların meydana getirdiği problemlerin tanımlaması yapılmıştır. Ayrıca katı atıkların fiziksel yapıları da göz önünde bulundurularak pissu hatlarındaki parçalanma ve/veya çökme davranışları ve bunların tıkanmalara etkisi araştırılmıştır.

Bu çerçevede, tuvalet kağıtlarının pissu giderlerindeki emniyetli yükleme veya tıkanmalara neden olan yüklemeleri üzerine çalışmalar bulunmamaktadır. Bu nedenle bu çalışma, literatürdeki ilgili boşluğu doldurmak ve kanalizasyon sistemine atılan tuvalet kağıtlarının kalitesine göre tıkanmalara neden olacak miktarlarının belirlenmesi ve ilgili atıkların pissu giderlerindeki taşınım davranışlarının belirlenmesi için gerçekleştirilmiştir.

BÖLÜM 3. MATERYAL VE METOT

3.1. Materyal

Deneyisel çalışmalarda kullanılacak tuvalet kağıdı numuneleri çeşitli yerel marketlerden temin edilmiştir. Bu ürünler, 2-katlı ekonomik ve 3-katlı lüks kağıtlar şeklinde iki grupta toplanmıştır. Her bir grubu temsil eden en az 4 farklı tuvalet kağıdı ile deneyisel çalışmalar gerçekleştirilmiştir.

Deney düzeneği 1 adet tuvalet taşı, tuvalet kadası ve 20 metre 110 mm çapa sahip pvc pissu borusundan oluşmuştur. İlgili malzemeler yerel hırdavat ve inşaat malzeme firmalarından tedarik edilmiştir. Bu malzemeler kullanılarak deney düzeneği aşağıda sunulduğu şekilde inşaa edilmiştir.

3.2. Metot

3.2.1. Deney düzeneğinin oluşturulması

Deney düzeneği, International Water Services Flushability Group tarafından geliştirilen sisteme göre inşaa edilmiştir. Buna göre, alfranga tip tuvalet taşı ile 20 m uzunluğunda pissu boru hattı birbirine bağlanmıştır. Pissu gider borularının eğimi ilgili metota göre %2 olarak düzenlenmiştir. Tuvalet taşının kendi içerisinde S borusu olduğundan, ayarlanabilir kada haricinde ilave bir S boru kullanılmamıştır.

Deney düzeneği, Sakarya Büyükşehir Belediyesi Hendek Atıksu Arıtma Tesisinde kurulmuştur. Düzeneğin çalışabilmesi için gerekli olan su bağlantıları, ilgili binanın tesisatından temin edilmiştir. Bu çerçevede, ilk olarak, alafranga tuvaletin iç takımları ve bağlantıları yapılarak, tuvalet yerden yaklaşık 1 metre yüksekliğinde bir platforma

monte edilmiştir. Burada 20 adet borunun birbiri ile bağlantısı yapılmıştır ve tuvalet taşına, tuvalet kadası ile montajı gerçekleştirilmiştir. 20 metre uzunluğundaki pissu boru hattına %2 eğim verebilmek için, aşağıdaki denklem kullanılmış ve gereken kot farkı sistemde uygulanmıştır. Bu şekilde oluşturulan deneysel düzeneğin bir görseli aşağıdaki Şekil 3.1.'de sunulmaktadır.

$$\%Eğim = \frac{Yükseklik * 100}{Uzunluk}$$

$$\%2 = \frac{Yükseklik (m) * 100}{20 (m)}$$

$Yükseklik = 0,4 m$ (toplam iki uç arası kot farkı)



Şekil 3.1. Hendek atıksu arıtma tesisinde kurulan deney düzeneği

3.2.2. Deneysel çalışmalar

Deneysel çalışmalar, tuvalet kağıdı yapraklarının sistematik şekilde tuvalete bırakılması ve ardından sifonun çekilmesi şeklinde gerçekleştirilmiştir. Konuyla ilgili bir görsel aşağıda Şekil 3.2.'de sunulmaktadır. Tuvaletin rezervuarının hacmi 5 litre

olduğundan, tuvalet kağıtlarının bir sifon su ile pissu hattında aldıkları mesafeler ölçülmüştür. Benzer şekilde, pissu hattında birikim yapan miktarların 2. ve 3. sifon su hareketiyle aldıkları mesafeler belirlenmiştir. Kısaca, bir numuneye ait deney aşamaları şunlardır:

- Tuvalete bırakılan yaprakların 1. sifon su hareketiyle pissu boru hattında aldıkları mesafenin belirlenmesi,
- 1. sifonda sistemi terk eden maksimum yükleme miktarının emniyetli yükleme üst sınırı olarak belirlenmesi,
- 1. sifon su hareketiyle pissu hattında 10 m civarında yol alabilen miktarların riskli yüklemeler olarak tanımlanması,
- 1. sifon su hareketiyle pissu hattında 5 m civarında yol alabilen miktarların çok riskli yüklemeler olarak belirlenmesi,
- 1. sifonda dışarı atılamayan yaprakların 2. sifondaki durumlarının belirlenmesi,
- 2. sifonda dışarı atılamayan yaprakların 3. sifondaki durumlarının belirlenmesi,
- 3. sifon çekildikten sonra boru hattından dışarı atılamayan yaprak adedinin belirlenmesi şeklindedir.



Şekil 3.2. Tuvalete atılan tuvalet kağıdı yaprakları (solda) ve tıkanan tuvalet gideri (sağda)

Her bir numuneye ait emniyetli yükleme yaprak adetleri, 2. ve 3. sifon durumları belirlendikten sonra tüm sonuçlar değerlendirilerek belirlenmiştir. Böylece her bir tuvalet kağıdı için kalitesine bağlı olarak emniyetli yükleme, riskli yükleme ve çok riskli yükleme miktarları belirlenmiştir.



BÖLÜM 4. ARAŞTIRMA BULGULARI

4.1. Tuvalet Kağıdı Numuneleri

Deneyde kullanılan tuvalet kağıdı numuneleri aşağıdaki Tablo 4.1.'de gösterilmiştir. Numune isminde; orta çizgiden önceki rakam deneyde kullanılan sıralamayı, orta çizgiden sonraki rakam tuvalet kağıdının kaç katlı olduğunu göstermektedir.

Tablo 4.1. Tuvalet kağıdı numuneleri

Tuvalet Kağıdı Numune Adı	Yaprak Kat Sayısı
TK1-3	3 Katlı
TK2-3	3 Katlı
TK3-3	3 Katlı
TK4-3	3 Katlı
TK5-2	2 Katlı
TK6-2	2 Katlı
TK7-2	2 Katlı
TK8-2	2 Katlı

Aşağıda, tuvalet kağıtları ile yapılan deney sonuçları detaylandırılarak başlıklar halinde açıklanmıştır.

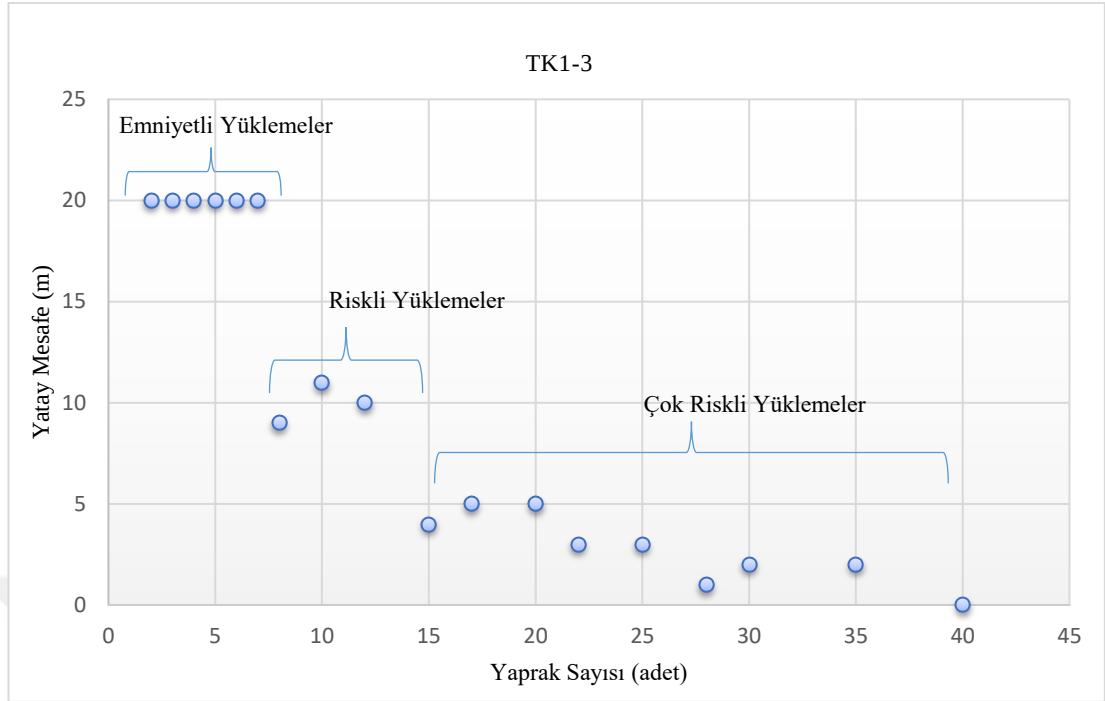
4.2. TK1-3 Numunesi Deney Sonuçları

TK1-3 numunesine ait elde edilen veriler aşağıdaki Tablo 4.2.'de açıklanmıştır:

Tablo 4.2. TK1-3 numunesi deney sonuçları

Tuvalete Atılan Yaprak Sayısı (adet)	1. Sifonda Ulaşılan Mesafe (metre)	2. Sifonda Ulaşılan Mesafe (metre)	3. Sifonda Ulaşılan Mesafe (metre)
2	20	*	*
3	20	*	*
4	20	*	*
5	20	*	*
6	20	*	*
7	20	*	*
8	9	20	*
10	11	20	*
12	10	20	*
15	4	20	*
17	5	20	*
20	5	20	*
22	3	20	*
25	3	20	*
28	1	20	*
30	2	20	*
35	2	12	20
40	0	8	17

Tablo 4.2.'deki veriler kullanılarak 1., 2. ve 3. sifonda yaprak hareketlerine ait grafikler oluşturulmuştur ve aşağıda gösterilmiştir.

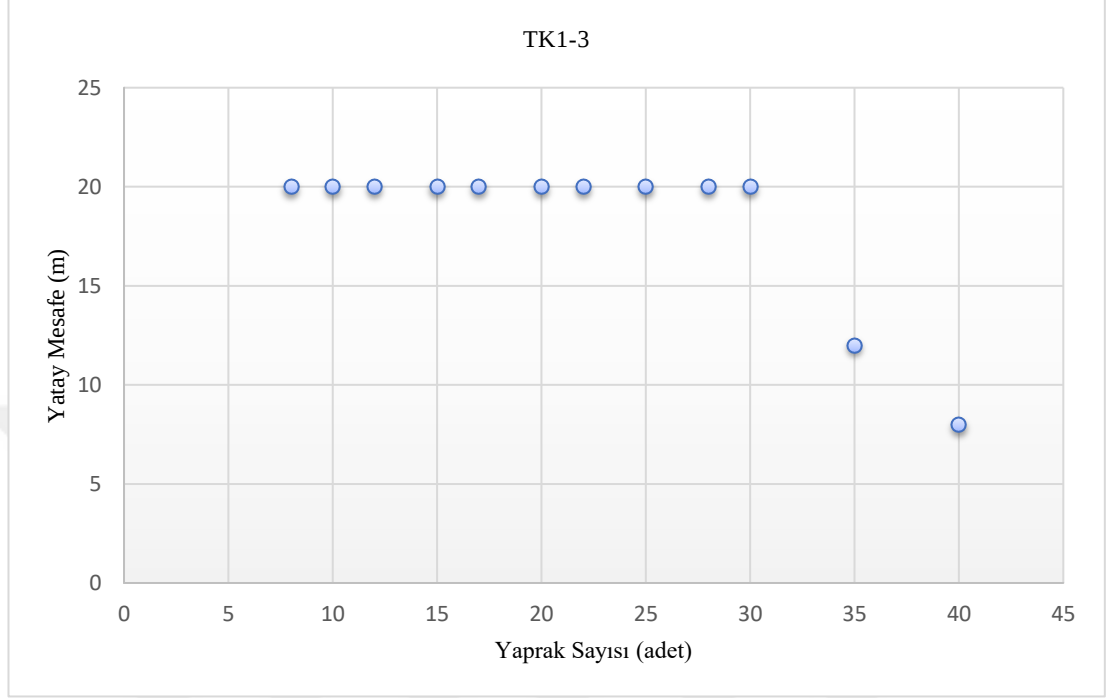


Şekil 4.1. TK1-3 tuvalete bırakılan yaprak sayısı ve bu miktarın 1. sifonda gittiği yatay mesafe

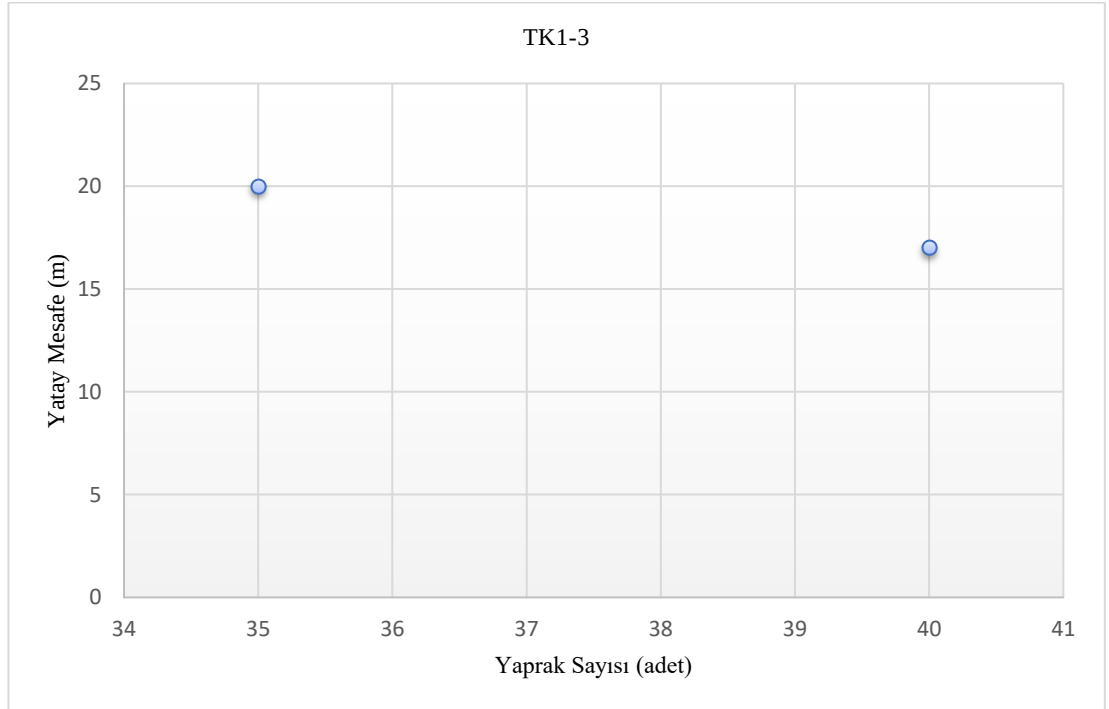
Şekil 4.1.'de görüldüğü üzere TK1-3 numunesine ait yaprak sayısı 2, 3, 4, 5, 6 ve 7 olarak tuvalete atıldığında, bu miktarlar 1. sifon su hareketiyle emniyetli şekilde pisu giderini terk etmiştir. Buna göre, bu ürün için maksimum emniyetli yükleme miktarı 7 yapraktır. Benzer şekilde, 8-12 adet arası yüklemelerin riskli olduğu ilgili test sonuçlarından anlaşılmıştır. Aynı şekilde, 15-40 arası yüklemelerin çok riskli olduğu gözlemlenmiştir.

2. ve 3. sifon çekimlerinde yaprakların boru hattı içerisindeki aldıkları mesafeleri aşağıdaki Şekil 4.2. ve Şekil 4.3.'te gösterilmiştir. Şekil 4.2.'de, tuvalete 8-30 arası yaprak atıldığında 2. sifon su hareketiyle, 30 yaprağa olan yüklemelerin sistemi terk ettiği gözlenmiştir. Fakat, 35 ve 40 adet yaprak atıldığında 2. sifonda boru hattından çıkış gerçekleşmemiştir. Bu yüklemelerden 35 yaprak 2. sifon hareketiyle 12 m ve 40 yaprak yükleme ise 2. sifon su ile pisu hattında 5 m kadar ilerleyebilmiştir. Şekil 4.3.'te, 3. sifon çekildiğinde 35 adet yaprak numunesi boru hattından çıkış yaptığı gösterilmektedir. Buna karşılık, 40 adet yaprak yüklemede, 3 sifon su ile 16 m kadar mesafe alabilmiş ve sistemden çıkış gerçekleştirememiştir. Bu sonuçlara göre, TK1-3

numunesinin tıkanmaya sebep olduğu yaprak adedi ise 40 yaprak olarak gözlemlenmiştir.



Şekil 4.2. TK1-3 riskli ve çok riskli yüklemelere ait 2. sifon hareketi



Şekil 4.3. TK1-3 çok riskli yüklemelere ait 3. sifon hareketi

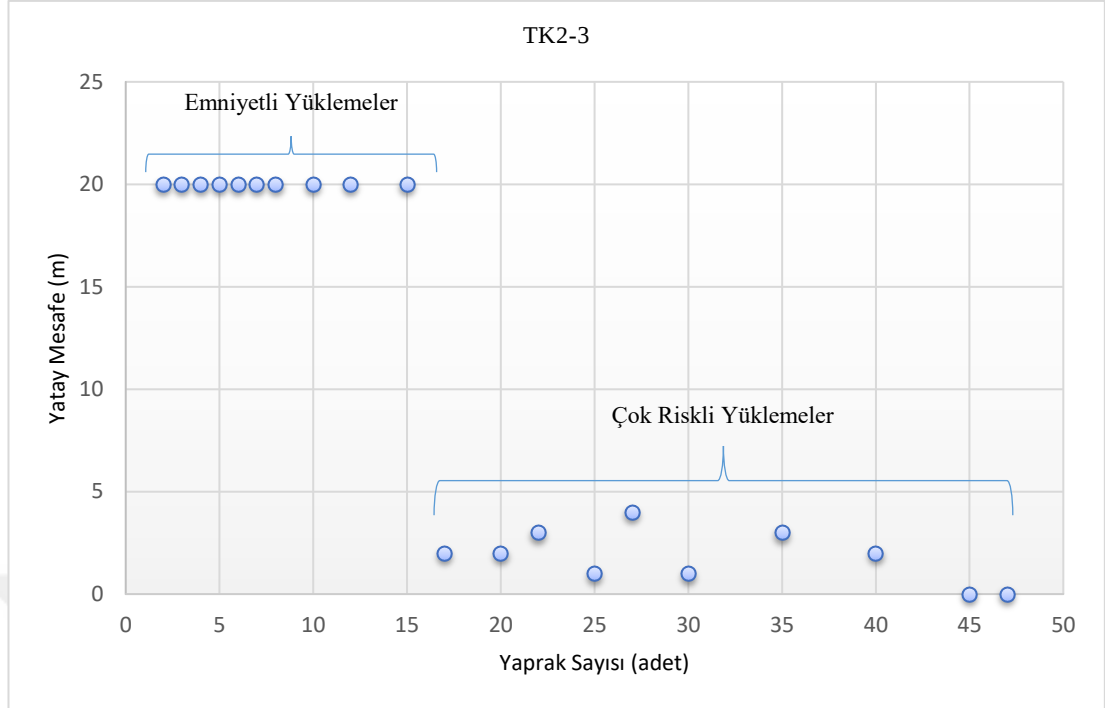
4.3. TK2-3 Numunesi Deney Sonuçları

TK2-3 numunesine ait elde edilen veriler aşağıdaki Tablo 4.3.'te sunulmaktadır.

Tablo 4.3. TK2-3 numunesi deney sonuçları

Tuvalete Atılan Yaprak Sayısı (adet)	1. Sifonda Ulaşılan Mesafe (metre)	2. Sifonda Ulaşılan Mesafe (metre)	3. Sifonda Ulaşılan Mesafe (metre)
2	20	*	*
3	20	*	*
4	20	*	*
5	20	*	*
6	20	*	*
7	20	*	*
8	20	*	*
10	20	*	*
12	20	*	*
15	20	*	*
17	2	20	*
20	2	20	*
22	3	20	*
25	1	20	*
27	4	20	*
30	1	20	*
35	3	20	*
40	2	20	*
45	0	7	20
47	0	1	3

Tablo 4.3.'teki veriler kullanılarak 1., 2. ve 3. sifonda yaprak hareketlerine ait grafikler oluşturulmuştur ve aşağıda Şekil 4.4., 4.5. ve 4.6.'da gösterilmiştir.

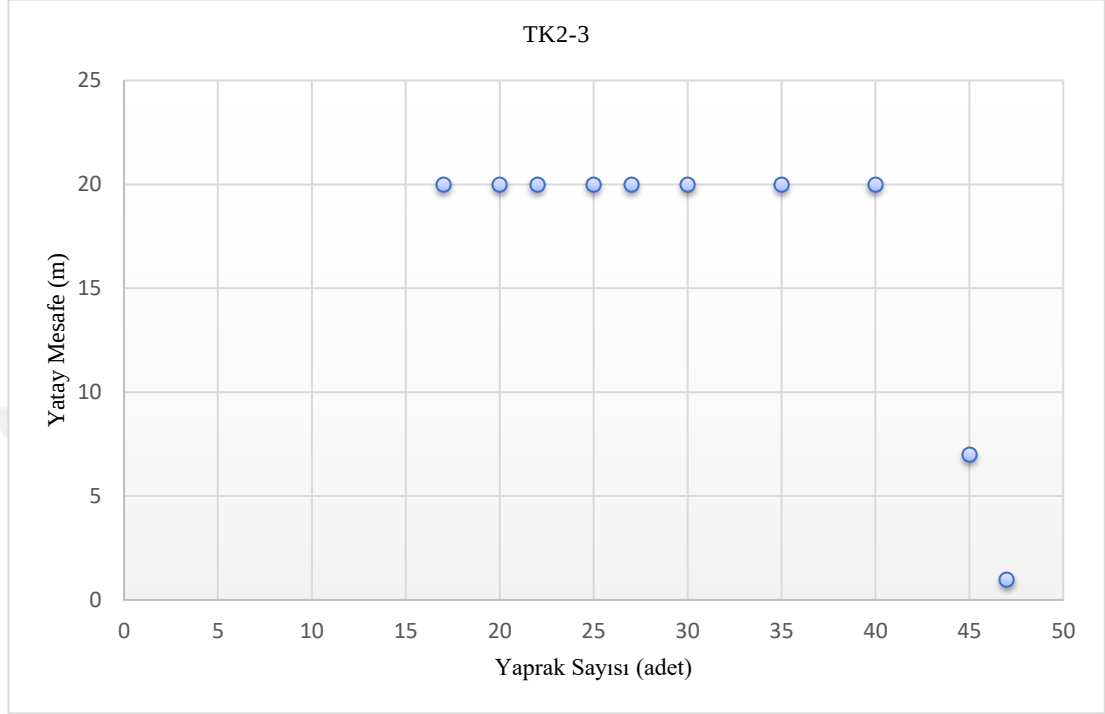


Şekil 4.4. TK2-3 tuvalete bırakılan yaprak sayısı ve bu miktarın 1. sifonda gittiği yatay mesafe

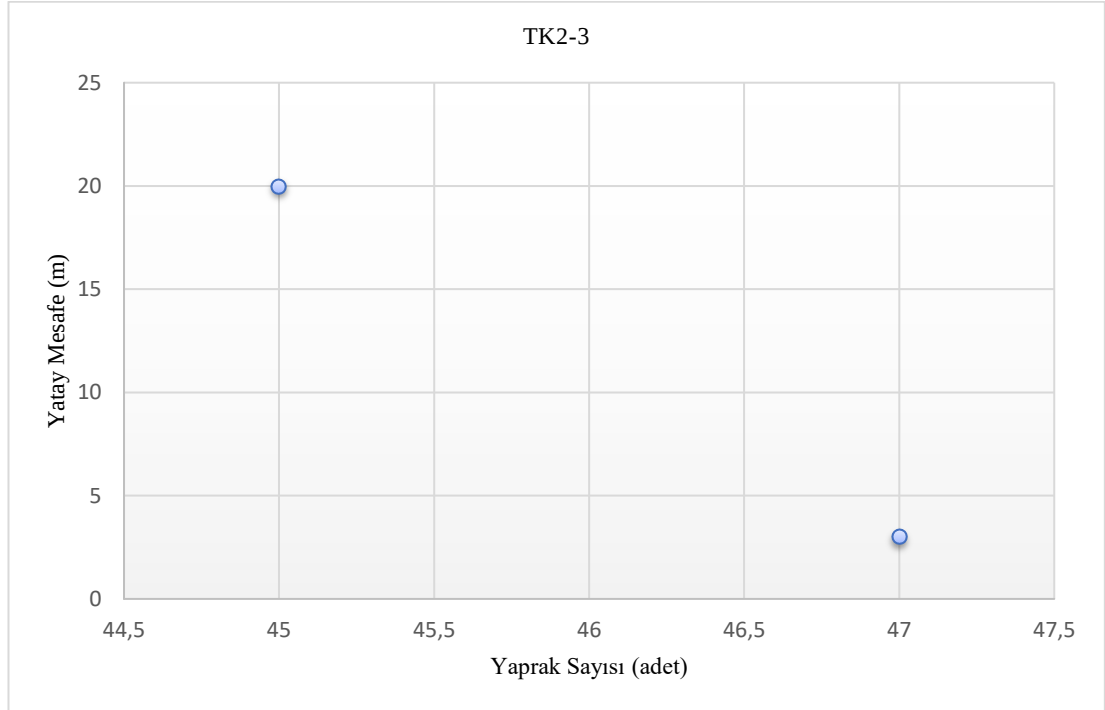
Şekil 4.4.'te görüldüğü üzere numuneye ait yaprak sayısı 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 10, 12 ve 15 olarak tuvalete atıldığında emniyetli yükleme meydana gelmiştir. Buna göre, bu yükleme miktarları 1. sifon su hareketiyle pissu boru hattını terk etmiştir. Bu durumda, bu ürün için maksimum emniyetli yükleme miktarı 15 yaprak olarak belirlenmiştir. Bu numune için, 17 adet ve daha fazla yaprak atıldığında, kağıtların 1. sifon su hareketiyle pissu giderinde 5 m daha az bir mesafe ilerleyebildiği gözlemlenmiştir. Bu nedenle, bu miktarlar çok riskli yüklemeler olarak tanımlanmıştır. TK2-3 numunesinin tıkanmaya sebep olduğu yaprak adedi ise minimum 47 olarak gözlemlenmiştir.

1. sifon su hareketiyle sistemi terk etmeyen yükelemlerin, 2. ve 3. sifon su hareketleriyle boru hattı içerisinde aldıkları mesafeler aşağıdaki Şekil 4.5. ve Şekil 4.6.'da gösterilmektedir. Tuvalete 17-40 arası yaprak yükleme yapıldığında, bu miktarların 2. sifon su hareketiyle sistemden çıktıkları gözlemlenmiştir. Fakat 45 ve 47 adet yaprak miktarlarının 2. sifonda boru hattından çıkış yapmadığı gözlemlenmiştir. Bu durumda, 3. sifon çekildiğinde 45 yapraklık yüklemenin boru hattından çıkış gerçekleştirdiği, ancak 47 adet yaprak numunesi çıkış yapmadığı

gözlemlenmiştir. Bu nedenle, bu miktar (47 yaprak) bu numune için çok riskli ve tıkanmaya neden olan yükleme miktarı olarak tanımlanmıştır.



Şekil 4.5. TK2-3 riskli ve çok riskli yüklemelere ait 2. sifon hareketi



Şekil 4.6. TK2-3 çok riskli yüklemelere ait 3. sifon hareketi

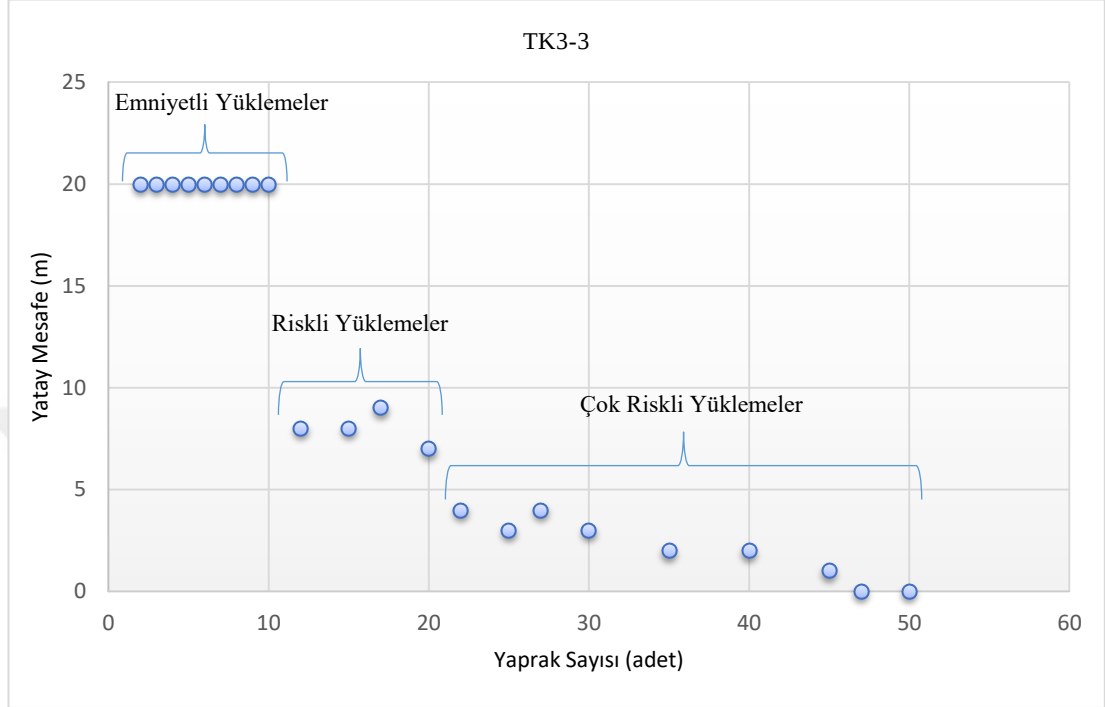
4.4. TK3-3 Numunesi Deney Sonuçları

TK3-3 numunesi ile yapılan testlerin sonuçları aşağıdaki Tablo 4.4.'te verilmektedir.

Tablo 4.4. TK3-3 numunesi deney sonuçları

Tuvalete Atılan Yaprak Sayısı (adet)	1. Sifonda Ulaşılan Mesafe (metre)	2. Sifonda Ulaşılan Mesafe (metre)	3. Sifonda Ulaşılan Mesafe (metre)
2	20	*	*
3	20	*	*
4	20	*	*
5	20	*	*
6	20	*	*
7	20	*	*
8	20	*	*
9	20	*	*
10	20	*	*
12	8	20	*
15	8	20	*
17	9	20	*
20	7	20	*
22	4	20	*
25	3	20	*
27	4	20	*
30	3	20	*
35	2	20	*
40	2	20	*
45	1	13	20
47	0	6	20
50	0	5	15

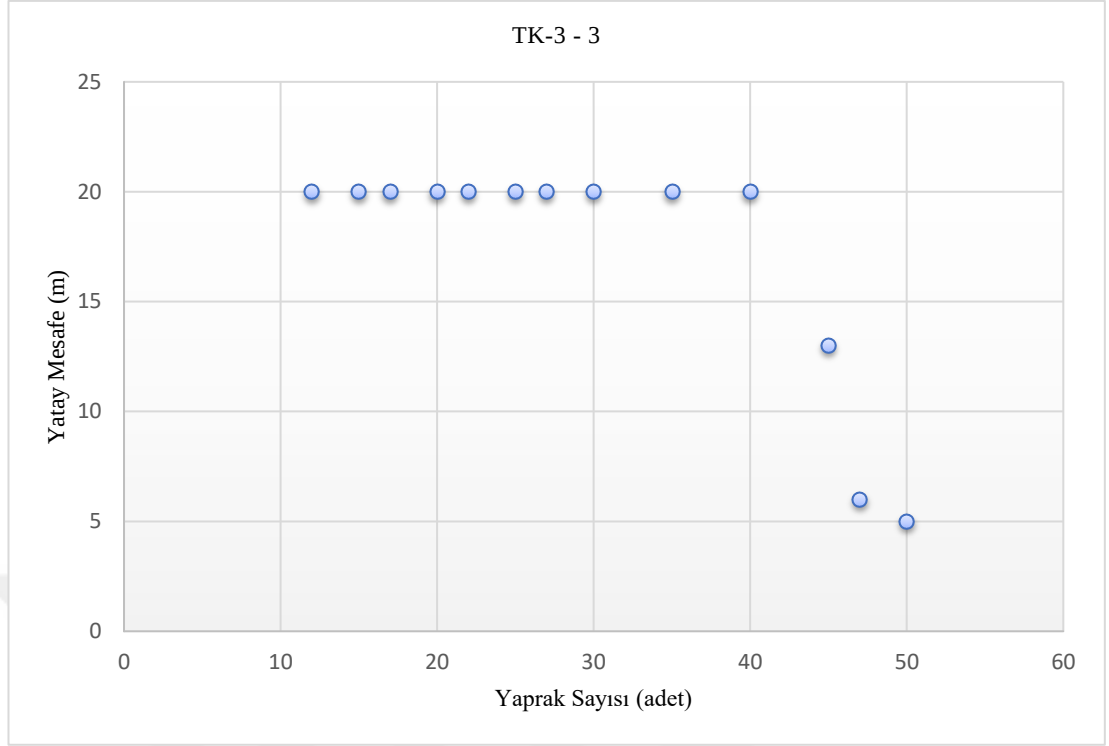
Tablo 4.4.’teki veriler kullanılarak 1., 2. ve 3. sifonda yaprak hareketlerine ait grafikler oluşturulmuştur ve aşağıda gösterilmiştir.



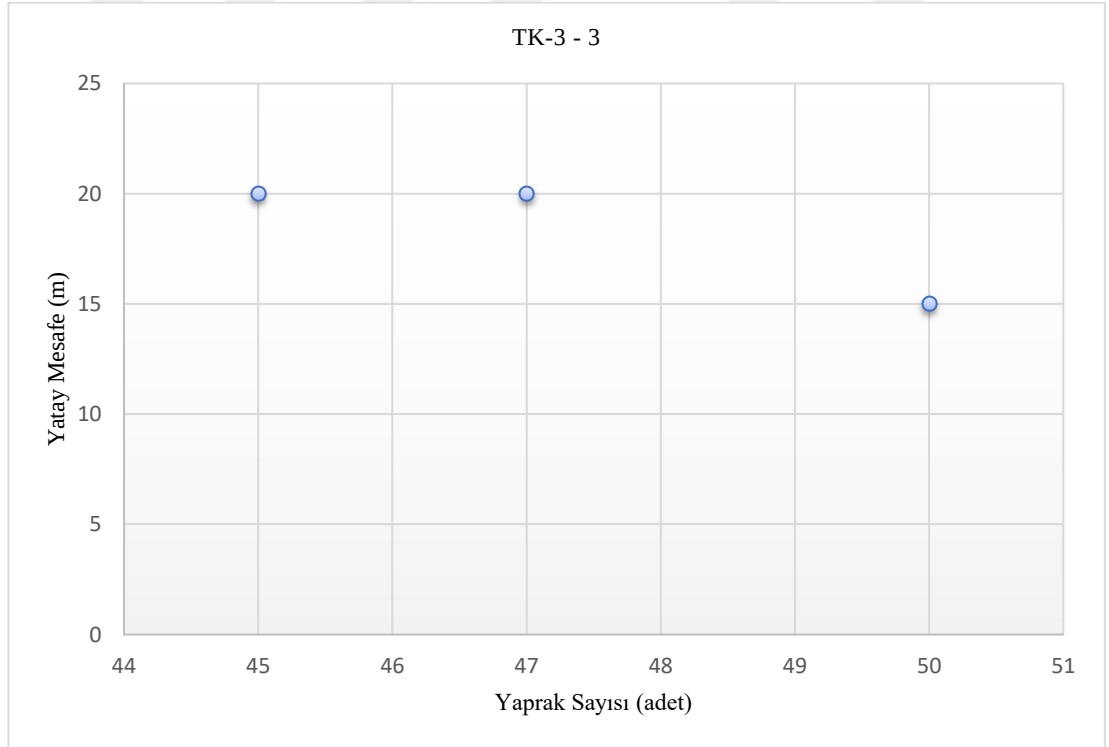
Şekil 4.7. TK3-3 tualete bırakılan yaprak sayısı ve bu miktarın 1. sifonda gittiği yatay mesafe

Şekil 4.7.’de görüldüğü üzere TK3-3 numunesine ait 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 ve 10 yaprak tualete atıldığında, bu yüklemeler emniyetli şekilde 1. sifon su hareketiyle pissu hattını terk etmiştir. Bu çerçevede, maksimum emniyetli yükleme adedi 10 yaprak olarak belirlenmiştir. 12-20 yaprak arası yüklemeler riskli olarak ve 20-50 yaprak arası yüklemeler ise çok riskli yüklemeler olarak değerlendirilmiştir. TK3-3 numunesinin tıkanmaya sebep olduğu yaprak adedi 50 yaprak olarak gözlemlenmiştir.

1. sifon su hareketiyle pissu giderini terk etmeyen miktarlar için, 2. ve 3. sifon çekimlerinde yaprakların boru hattındaki aldıkları mesafeler aşağıdaki Şekil 4.8. ve Şekil 4.9.’da gösterilmektedir. Örneğin, 12-40 yaprak arası yüklemelerin 2. sifonda pissu hattını terk ettiği gözlemlenmiştir. Fakat 45, 47 ve 50 adet yaprak atıldığında 2. sifonda boru hattından çıkış gerçekleşmemiştir. 3. sifon çekildiğinde ise 45 ve 47 adet yaprak numunesi boru hattından çıkış gerçekleştirirken 50 adet yaprak numunesi çıkış gerçekleştirememiştir.



Şekil 4.8. TK3-3 riskli ve çok riskli yüklemelere ait 2. sifon hareketi



Şekil 4.9. TK3-3 çok riskli yüklemelere ait 3. sifon hareketi

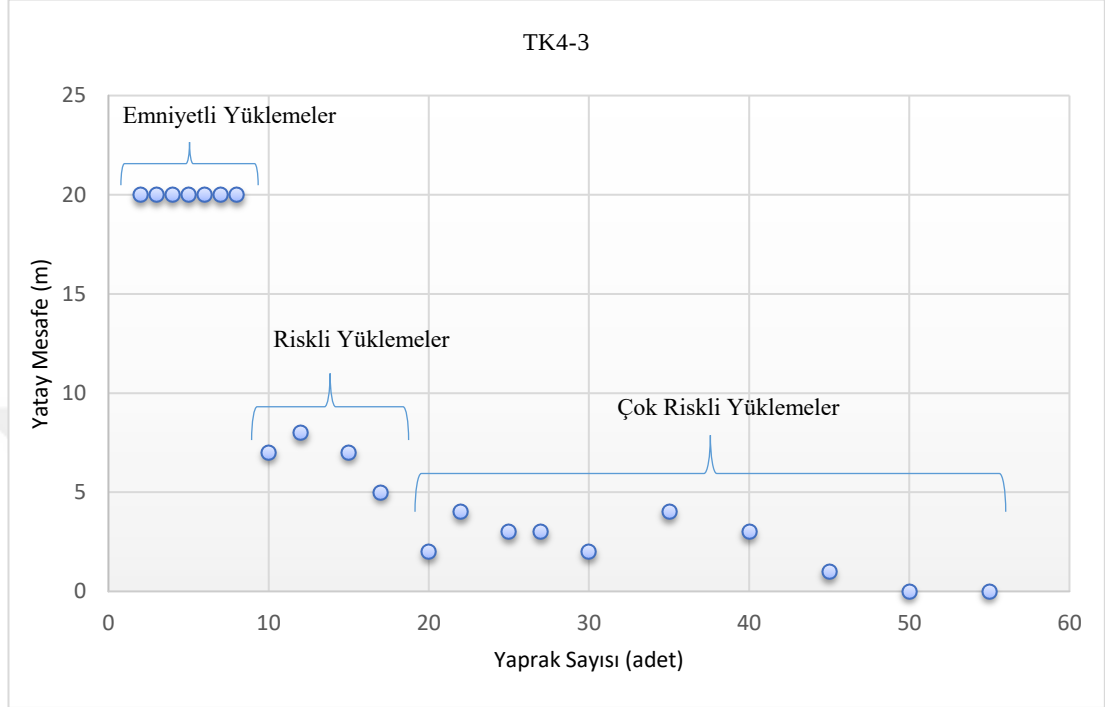
4.5. TK4-3 Numunesi Deney Sonuçları

TK4-3 numunesi ile yapılan testlerin sonuçları aşağıdaki Tablo 4.5.'te sunulmaktadır.

Tablo 4.5. TK4-3 numunesi deney sonuçları

Tuvalete Atılan Yaprak Sayısı (adet)	1. Sifonda Ulaşılan Mesafe (metre)	2. Sifonda Ulaşılan Mesafe (metre)	3. Sifonda Ulaşılan Mesafe (metre)
2	20	*	*
3	20	*	*
4	20	*	*
5	20	*	*
6	20	*	*
7	20	*	*
8	20	*	*
10	7	20	*
12	8	20	*
15	7	20	*
17	5	20	*
20	2	20	*
22	4	20	*
25	3	20	*
27	3	20	*
30	2	20	*
35	4	20	*
40	3	20	*
45	1	20	*
50	0	11	20
55	0	7	16

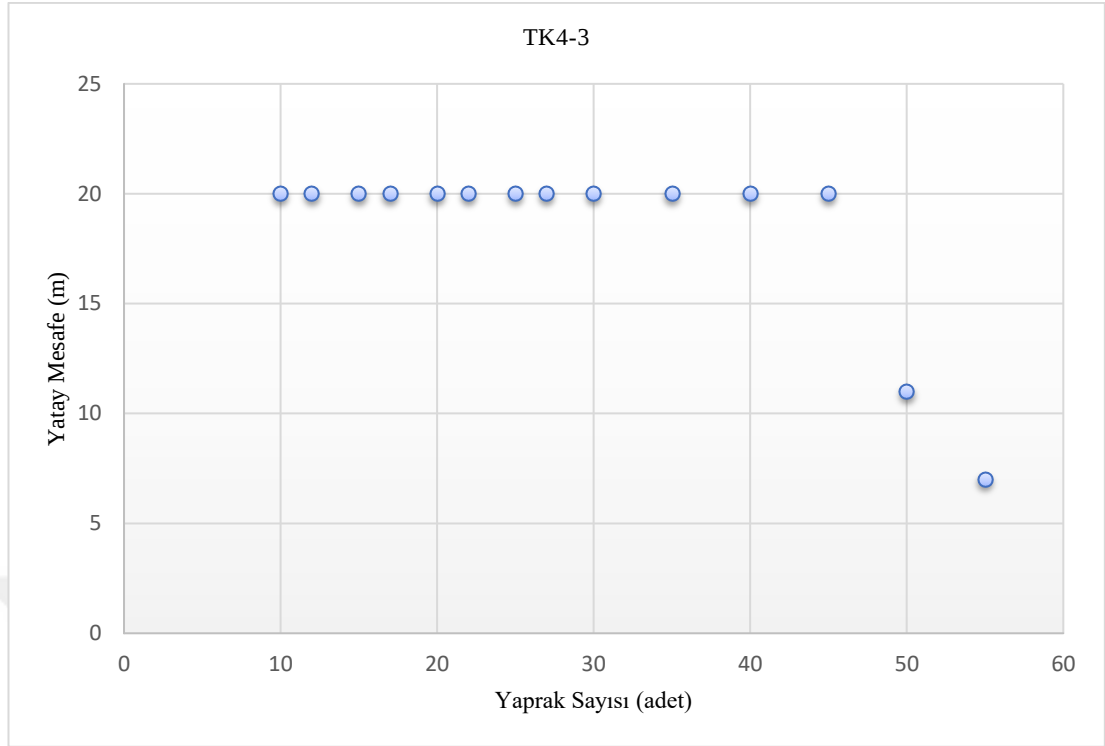
Tablo 4.5.'teki veriler kullanılarak 1., 2. ve 3. sifonda yaprak hareketlerine ait grafikler oluşturulmuştur ve aşağıda gösterilmiştir.



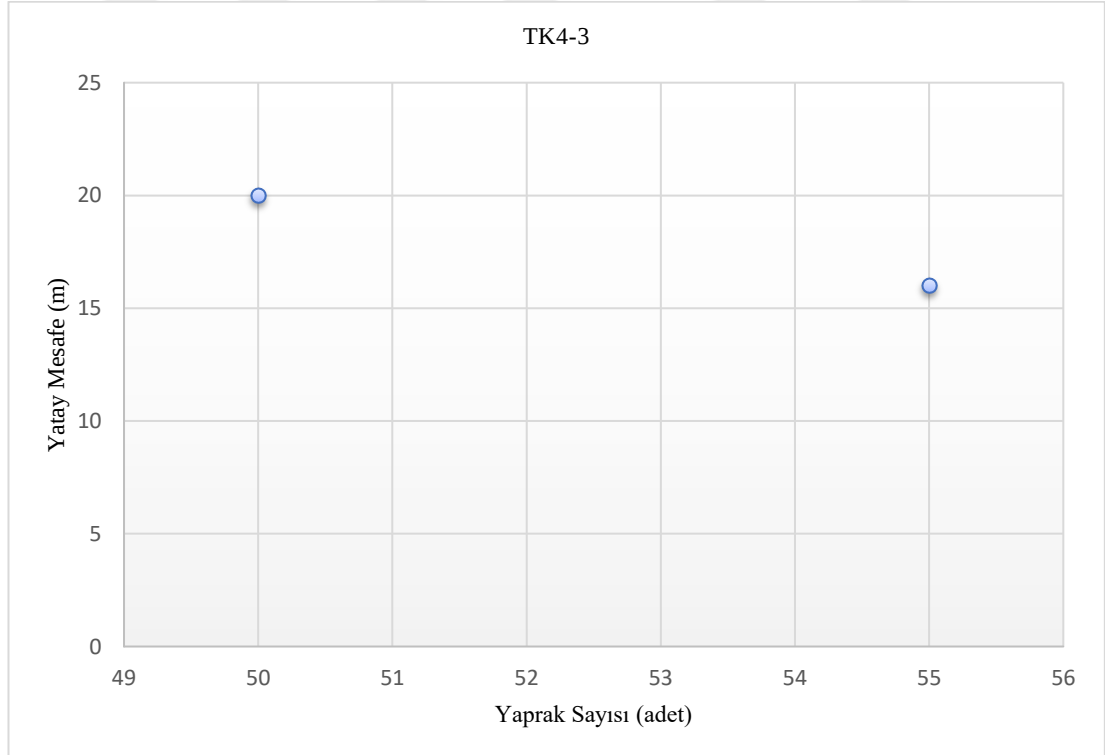
Şekil 4.10. TK4-3 tuvalete bırakılan yaprak sayısı ve bu miktarın 1. sifonda gittiği yatay mesafe

Şekil 4.10.'da görüldüğü üzere numuneye ait yaprak sayısı 2, 3, 4, 5, 6, 7 ve 8 olarak tuvalete atıldığında emniyetli yükleme meydana gelmiştir ve 1. sifon su hareketiyle pissu hattını terk etmiştir. Maksimum emniyetli yükleme adedi ise 8 yapraktır. 10 adet ve daha fazla yaprak atıldığında ise riski ve çok riskli yüklemeler meydana gelmiştir. TK4-3 numunesinin tıkanmaya sebep olduğu yaprak adedi ise minimum 55 olarak gözlemlenmiştir.

2. ve 3. sifon çekimlerinde yaprakların boru hattı içerisindeki mesafeleri aşağıdaki Şekil 4.11. ve Şekil 4.12.'de gösterilmiştir. Tuvalete 10-45 arası yaprak atıldığında 2. sifon su hareketiyle pissu hattından çıkışlar gözlemlenmiştir. Fakat 50 ve 55 adet yaprak atıldığında 2. sifonda pissu giderinden çıkış gerçekleşmemiştir. 3. sifon çekildiğinde ise 50 adet yaprak numunesi boru hattından çıkış gerçekleştirirken 55 adet yaprak numunesi çıkış gerçekleştirememiştir.



Şekil 4.11. TK4-3 riskli ve çok riskli yüklemelere ait 2. sifon hareketi



Şekil 4.12. TK4-3 çok riskli yüklemelere ait 3. sifon hareketi

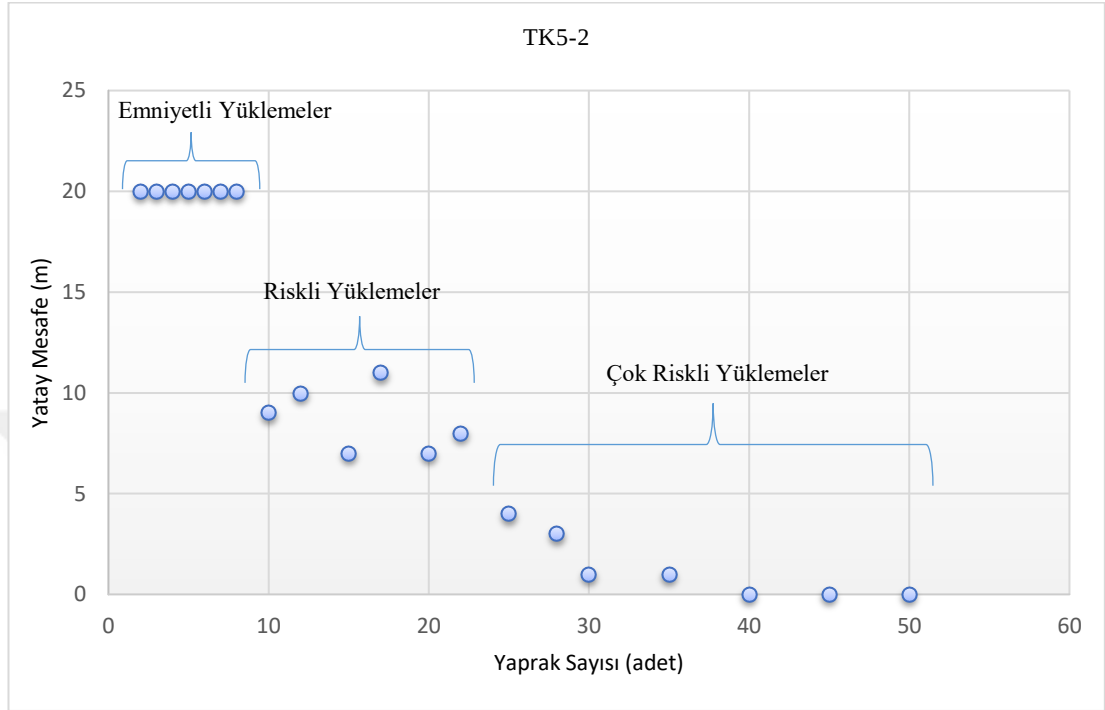
4.6. TK5-2 Numunesi Deney Sonuçları

TK5'ten TK8'e kadar olan tüm numuneler 2-katlı tuvalet kağıtlarını temsil etmektedir. Buna göre, TK5-2 numunesi ile yapılan testlerin sonuçları aşağıdaki Tablo 4.6.'da sunulmaktadır.

Tablo 4.6. TK5-2 numunesi deney sonuçları

Tuvalete Atılan Yaprak Sayısı (adet)	1. Sifonda Ulaşılan Mesafe (metre)	2. Sifonda Ulaşılan Mesafe (metre)	3. Sifonda Ulaşılan Mesafe (metre)
2	20	*	*
3	20	*	*
4	20	*	*
5	20	*	*
6	20	*	*
7	20	*	*
8	20	*	*
10	9	20	*
12	10	20	*
15	7	20	*
17	11	20	*
20	7	20	*
22	8	20	*
25	4	18	20
28	3	11	20
30	1	9	20
35	1	6	20
40	0	2	20
45	0	4	20
50	0	1	4

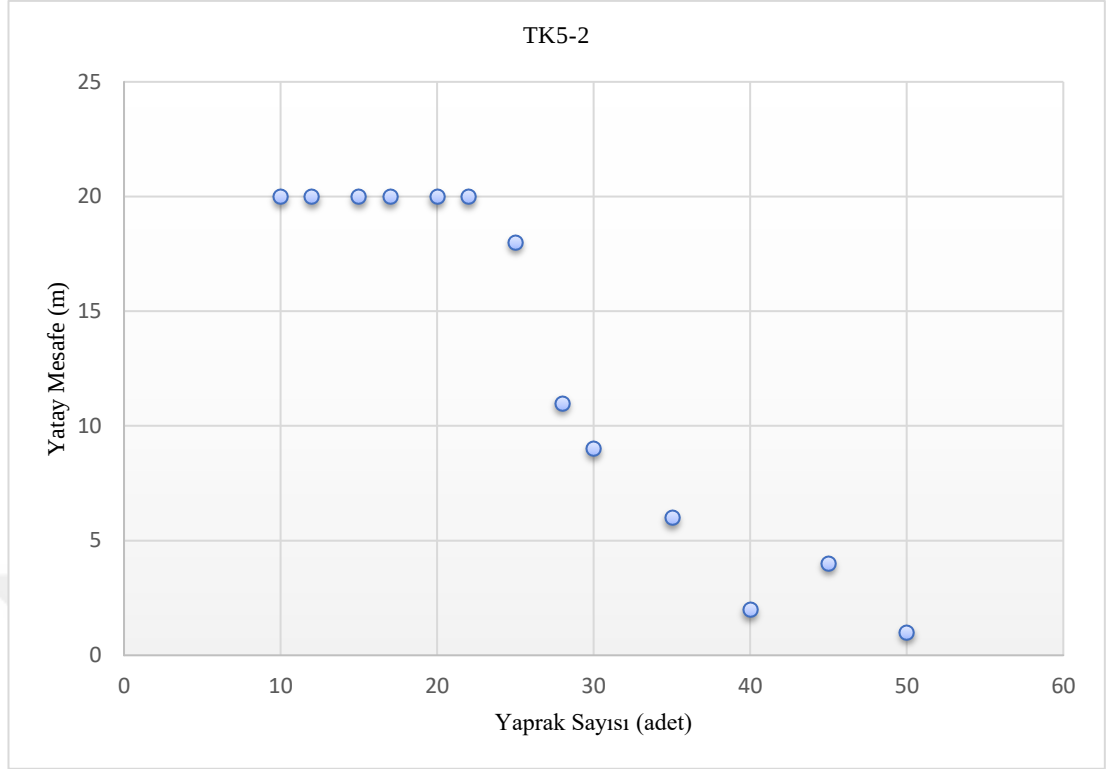
Tablo 4.6.'daki veriler kullanılarak 1., 2. ve 3. sifonda yaprak hareketlerine ait grafikler oluşturulmuştur ve aşağıda gösterilmiştir.



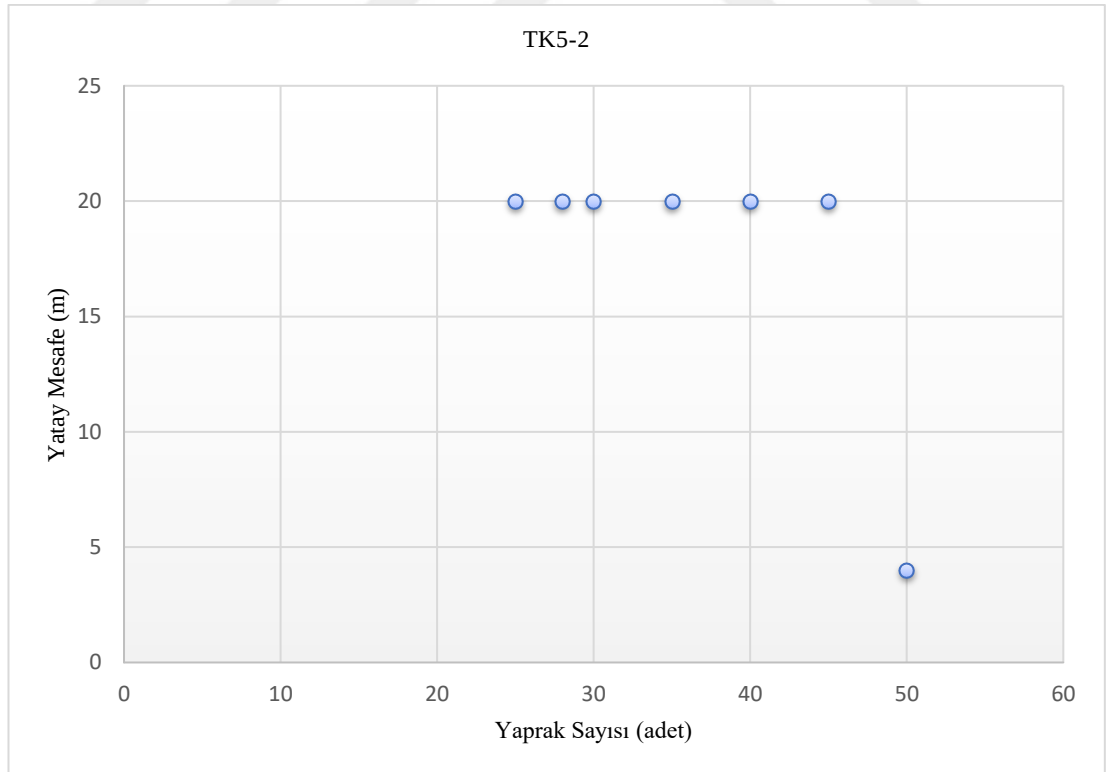
Şekil 4.13. TK5-2 tuvalete bırakılan yaprak sayısı ve bu miktarın 1. sifonda gittiği yatay mesafe

Şekil 4.13.'te görüldüğü üzere numuneye ait yaprak sayısı 2, 3, 4, 5, 6, 7 ve 8 olarak tuvalete atıldığında emniyetli yükleme meydana gelmiştir ve 1. sifonda boru hattını terk etmiştir. Maksimum emniyetli yükleme adedi ise 8 yapraktır. 10 adet ve daha fazla yaprak atıldığında ise riski ve çok riskli yüklemeler meydana gelmiştir. TK5-2 numunesinin tıkanmaya sebep olduğu yaprak adedi ise minimum 50 olarak gözlemlenmiştir.

2. ve 3. sifon çekimlerinde yaprakların boru hattı içerisindeki mesafeleri aşağıdaki Şekil 4.14. ve Şekil 4.15.'te gösterilmiştir. Tuvalete 10-22 arası yaprak atıldığında 2. sifonda çıkışlar gözlemlenmiştir. Fakat 25-50 arası yaprak atıldığında 2. sifonda boru hattından çıkış gerçekleşmemiştir. 3. sifon çekildiğinde ise 25-45 arası yaprak numunesi boru hattından çıkış gerçekleştirirken 50 adet yaprak numunesi çıkış gerçekleştirememiştir.



Şekil 4.14. TK5-2 riskli ve çok riskli yüklemelere ait 2. sifon hareketi



Şekil 4.15. TK5-2 çok riskli yüklemelere ait 3. sifon hareketi

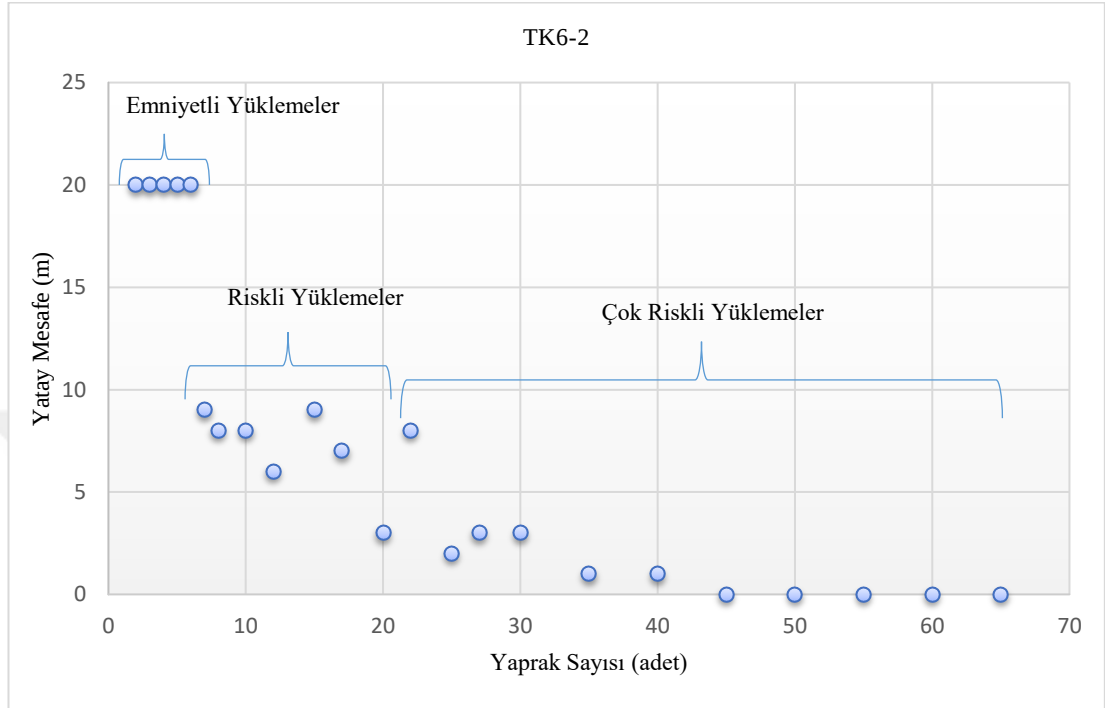
4.7. TK6-2 Numunesi Deney Sonuçları

TK6-2 numunesi ile yapılan testlerin sonuçları aşağıdaki Tablo 4.7.'de sunulmaktadır.

Tablo 4.7. TK6-2 numunesi deney sonuçları

Tuvalet Atılan Yaprak Sayısı (adet)	1. Sifonda Ulaşılan Mesafe (metre)	2. Sifonda Ulaşılan Mesafe (metre)	3. Sifonda Ulaşılan Mesafe (metre)
2	20	*	*
3	20	*	*
4	20	*	*
5	20	*	*
6	20	*	*
7	9	20	*
8	8	20	*
10	8	20	*
12	6	20	*
15	9	20	*
17	7	20	*
20	3	20	*
22	8	20	*
25	2	20	*
27	3	20	*
30	3	20	*
35	1	20	*
40	1	20	*
45	0	3	20
50	0	7	20
55	0	5	20
60	0	3	20
65	0	1	10

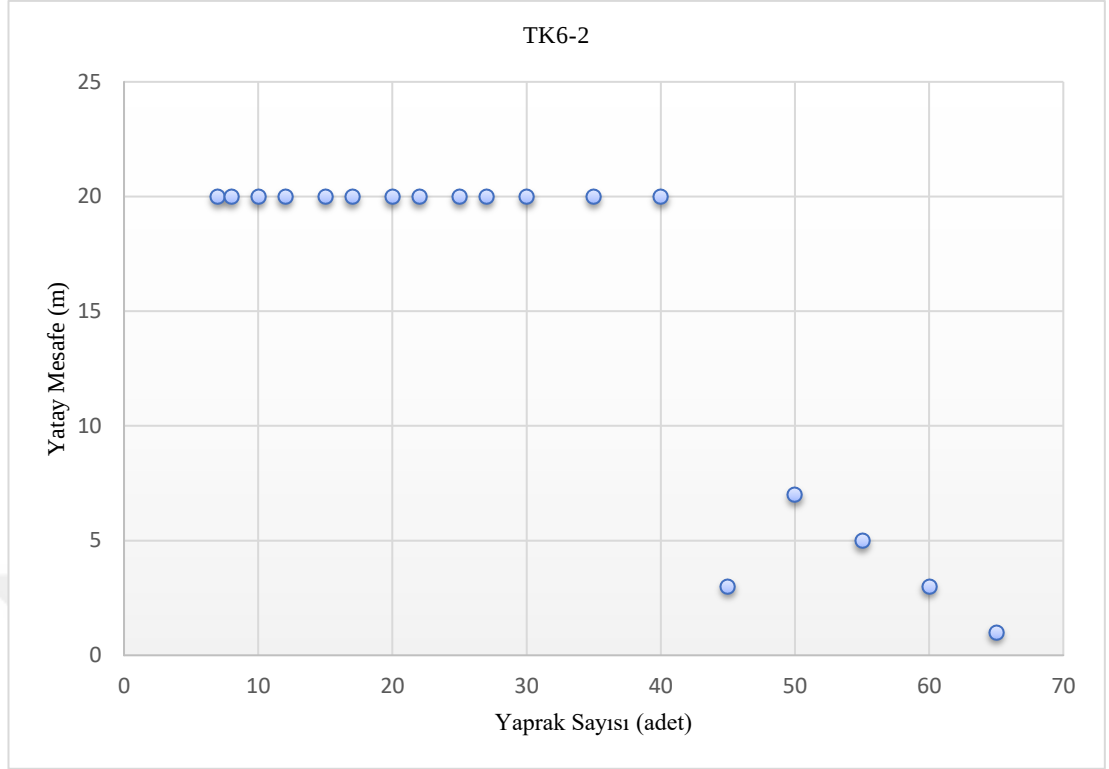
Tablo 4.7.'deki veriler kullanılarak 1., 2. ve 3. sifonda yaprak hareketlerine ait grafikler oluşturulmuştur ve aşağıda gösterilmiştir.



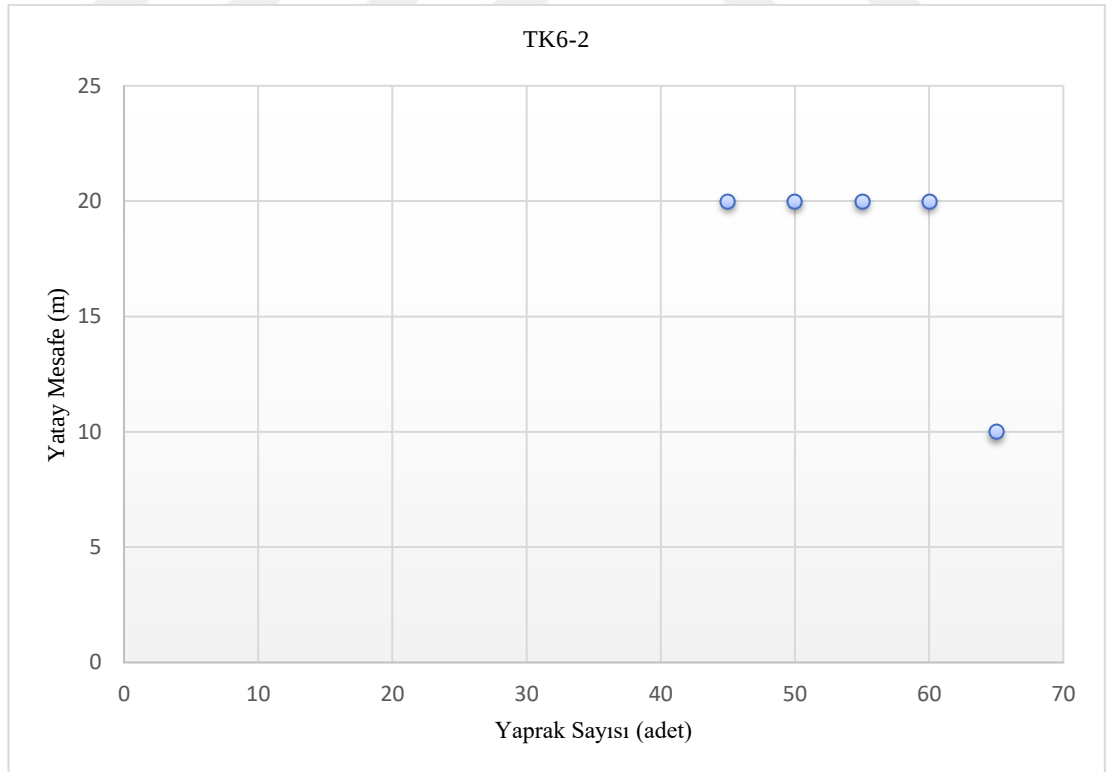
Şekil 4.16. TK6-2 tuvalete bırakılan yaprak sayısı ve bu miktarın 1. sifonda gittiği yatay mesafe

Şekil 4.16.'da görüldüğü üzere numuneye ait yaprak sayısı 2, 3, 4, 5 ve 6 olarak tuvalete atıldığında emniyetli yükleme meydana gelmiştir ve 1. sifonda boru hattını terk etmiştir. Maksimum emniyetli yükleme adedi ise 6 yapraktır. 7-18 yaprak arasındaki yüklemeler riskli ve daha fazla yaprak atıldığında ise çok riskli yüklemeler meydana gelmiştir.

1. sifon su hareketiyle sistemi terk etmeyen yüklemeler için, 2. ve 3. sifon çekimlerinde yaprakların boru hattı içerisindeki mesafeleri aşağıdaki Şekil 4.17. ve Şekil 4.18.'de gösterilmiştir. Tuvalete 7-40 arası yaprak atıldığında 2. sifonda çıkışlar gözlemlenmiştir. Fakat 45-65 arası yaprak atıldığında 2. sifonda boru hattından çıkış gerçekleşmemiştir. 3. sifon çekildiğinde ise 45-60 arası yaprak numunesi boru hattından çıkış gerçekleştirirken 65 adet yaprak numunesi çıkış gerçekleştirememiştir. Bu nedenle, TK6-2 numunesinin tıkanmaya sebep olduğu yaprak adedi 65 olarak tanımlanmıştır.



Şekil 4.17. TK6-2 riskli ve çok riskli yüklemelere ait 2. sifon hareketi



Şekil 4.18. TK6-2 çok riskli yüklemelere ait 3. sifon hareketi

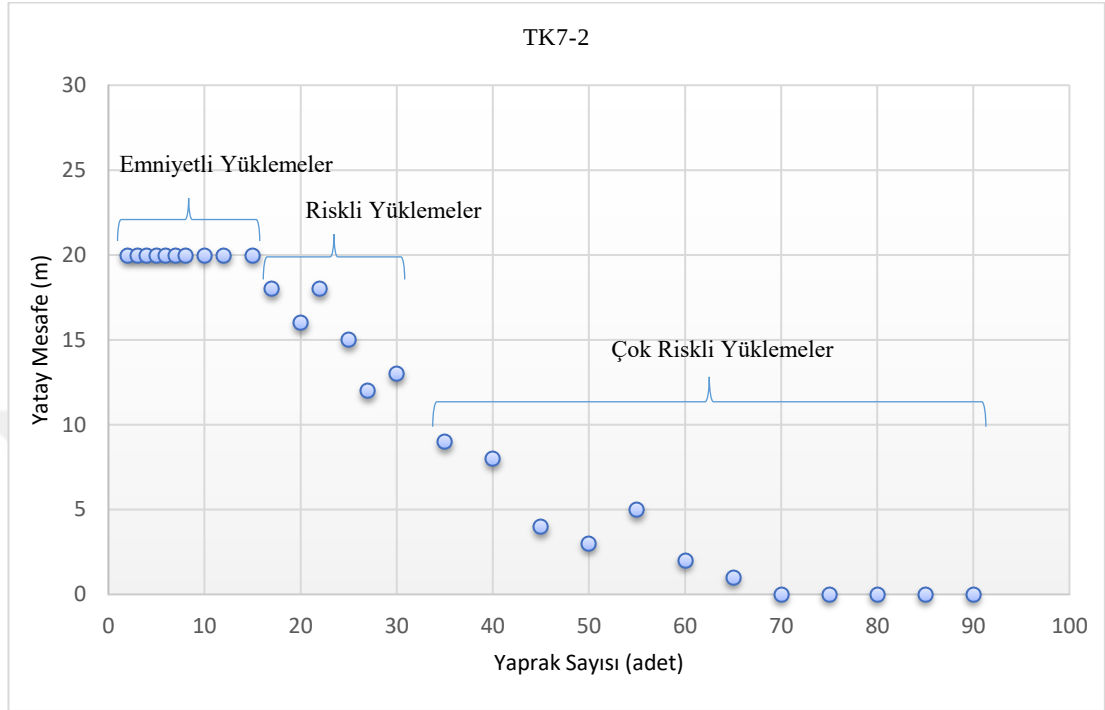
4.8. TK7-2 Numunesi Deney Sonuçları

TK7-2 numunesi ile yapılan testlerin sonuçları aşağıdaki Tablo 4.8.'de sunulmaktadır.

Tablo 4.8. TK7-2 numunesi deney sonuçları

Tuvalate Atılan Yaprak Sayısı (adet)	1. Sifonda Ulaşılan Mesafe (metre)	2. Sifonda Ulaşılan Mesafe (metre)	3. Sifonda Ulaşılan Mesafe (metre)
2	20	*	*
3	20	*	*
4	20	*	*
5	20	*	*
6	20	*	*
7	20	*	*
8	20	*	*
10	20	*	*
12	20	*	*
15	20	*	*
17	18	20	*
20	16	20	*
22	18	20	*
25	15	20	*
27	12	20	*
30	13	20	*
35	9	20	*
40	8	20	*
45	4	20	*
50	3	20	*
55	5	20	*
60	2	9	20
65	1	11	20
70	0	6	20
75	0	5	20
80	0	8	20
85	0	6	20
90	0	1	5

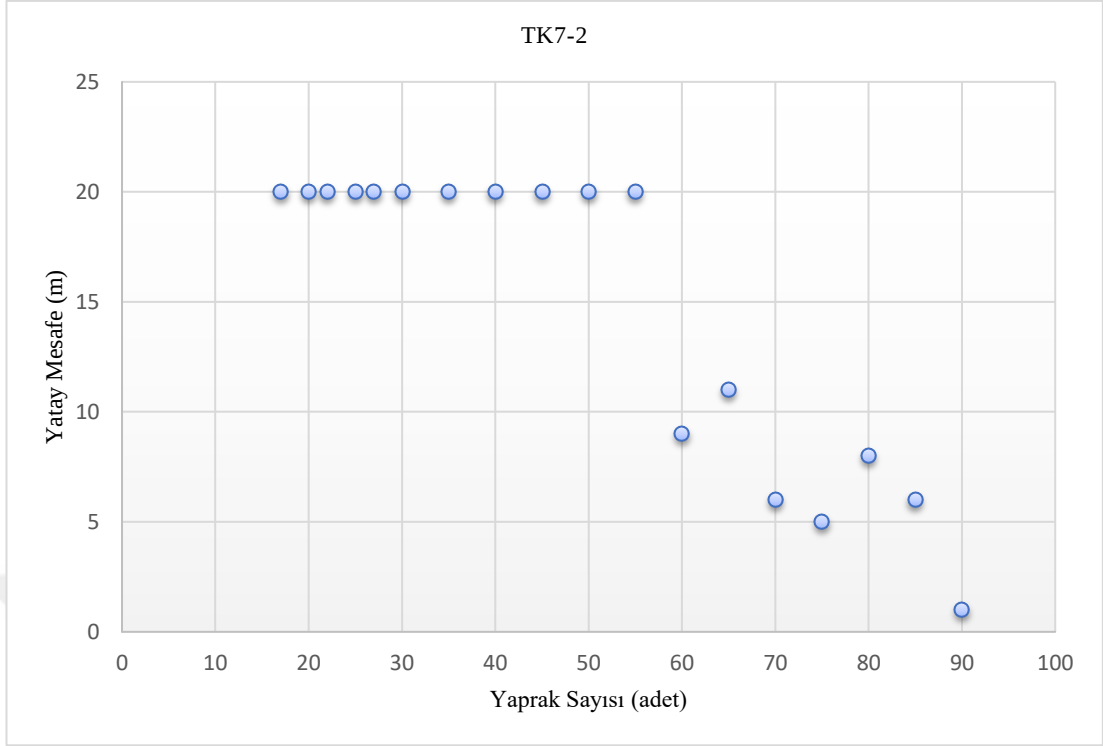
Tablo 4.8.'deki veriler kullanılarak 1., 2. ve 3. sifonda yaprak hareketlerine ait grafikler oluşturulmuştur ve aşağıda gösterilmiştir.



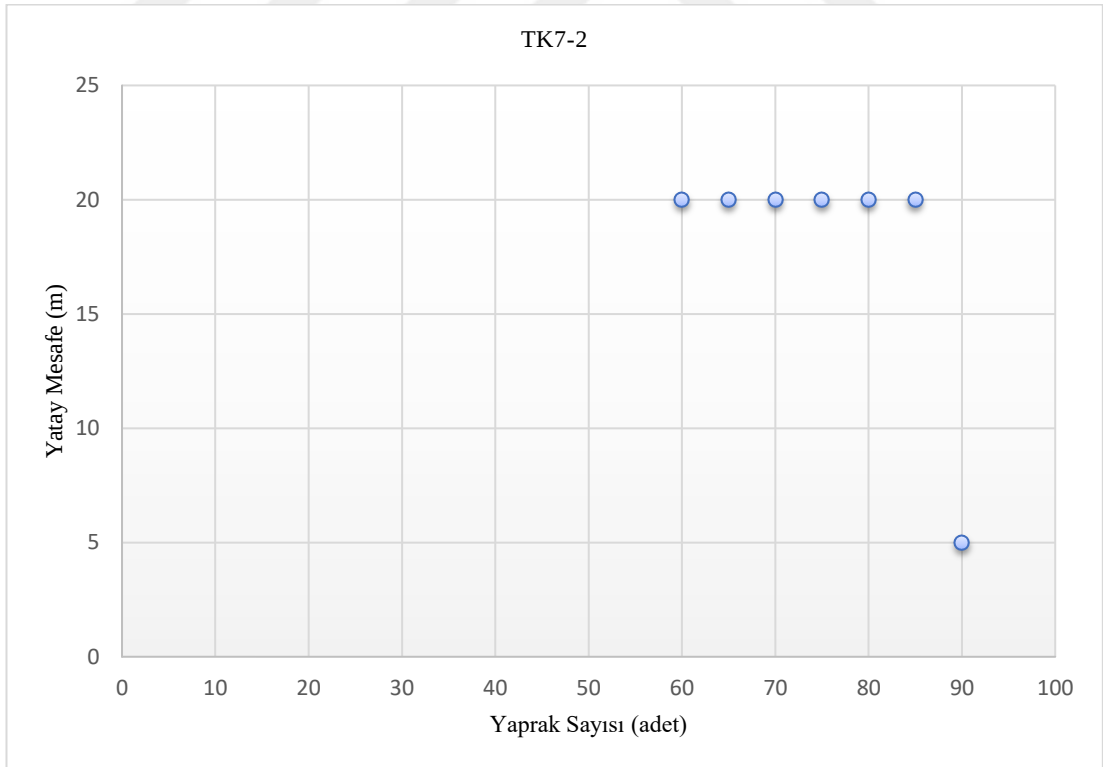
Şekil 4.19. TK7-2 tuvalete bırakılan yaprak sayısı ve bu miktarın 1. sifonda gittiği yatay mesafe

Şekil 4.19.'da görüldüğü üzere numuneye ait yaprak sayısı 2, 3, 4, 5, 6, 8, 10, 12 ve 15 olarak tuvalete atıldığında emniyetli yükleme meydana gelmiştir ve 1. sifonda boru hattını terk etmiştir. Maksimum emniyetli yükleme adedi ise 15 yapraktır. 17 adet ve daha fazla yaprak atıldığında ise riski ve çok riskli yüklemeler meydana gelmiştir. TK7-2 numunesinin tıkanmaya sebep olduğu yaprak adedi ise minimum 90 olarak gözlemlenmiştir.

2. ve 3. sifon çekimlerinde yaprakların boru hattı içerisindeki mesafeleri aşağıdaki Şekil 4.20. ve Şekil 4.21.'de gösterilmiştir. Tuvalete 17-55 arası yaprak atıldığında 2. sifonda çıkışlar gözlemlenmiştir. Fakat 60-90 arası yaprak atıldığında 2. sifonda boru hattından çıkış gerçekleşmemiştir. 3. sifon çekildiğinde ise 60-85 arası yaprak numunesi boru hattından çıkış gerçekleştirirken 90 adet yaprak numunesi çıkış gerçekleştirememiştir.



Şekil 4.20. TK7-2 riskli ve çok riskli yüklemelere ait 2. sifon hareketi



Şekil 4.21. TK7-2 çok riskli yüklemelere ait 3. sifon hareketi

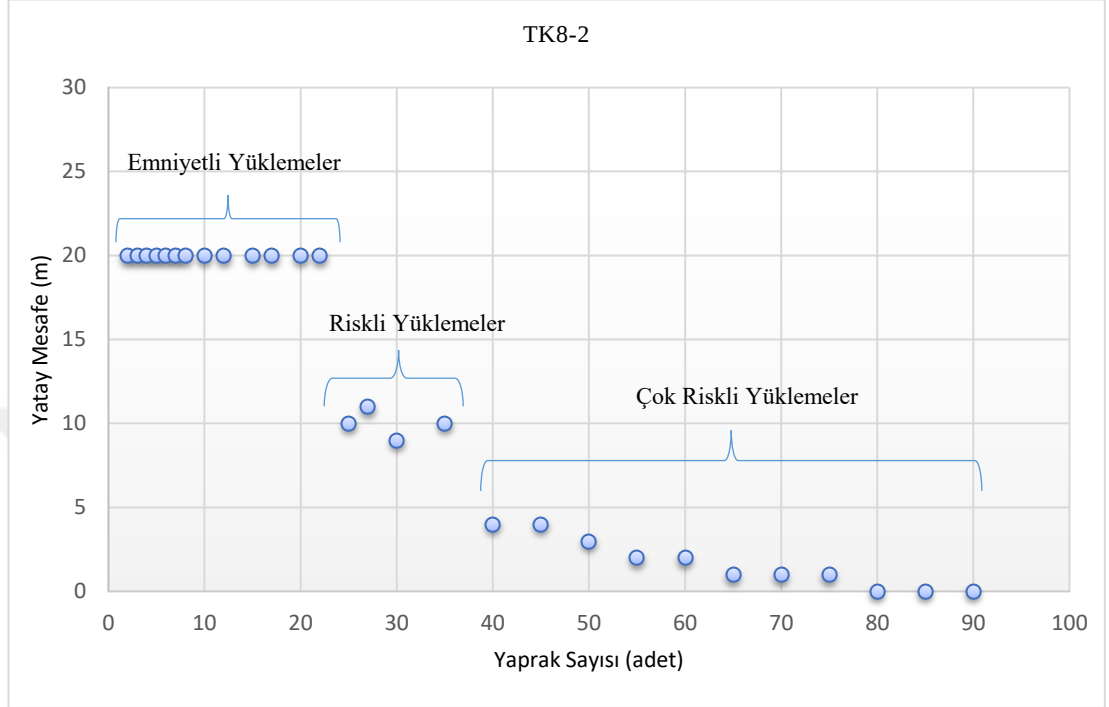
4.9. TK8-2 Numunesi Deney Sonuçları

TK8-2 numunesi ile yapılan testlerin sonuçları aşağıdaki Tablo 4.9.'da sunulmaktadır.

Tablo 4.9. TK8-2 numunesi deney sonuçları

Tuvalere Atılan Yaprak Sayısı (adet)	1. Sifonda Ulaşılan Mesafe (metre)	2. Sifonda Ulaşılan Mesafe (metre)	3. Sifonda Ulaşılan Mesafe (metre)
2	20	*	*
3	20	*	*
4	20	*	*
5	20	*	*
6	20	*	*
7	20	*	*
8	20	*	*
10	20	*	*
12	20	*	*
15	20	*	*
17	20	*	*
20	20	*	*
22	20	*	*
25	10	20	*
27	11	20	*
30	9	20	*
35	10	20	*
40	4	20	*
45	4	20	*
50	3	20	*
55	2	20	*
60	2	20	*
65	1	20	*
70	1	20	*
75	1	20	*
80	0	11	20
85	0	8	20
90	0	6	8

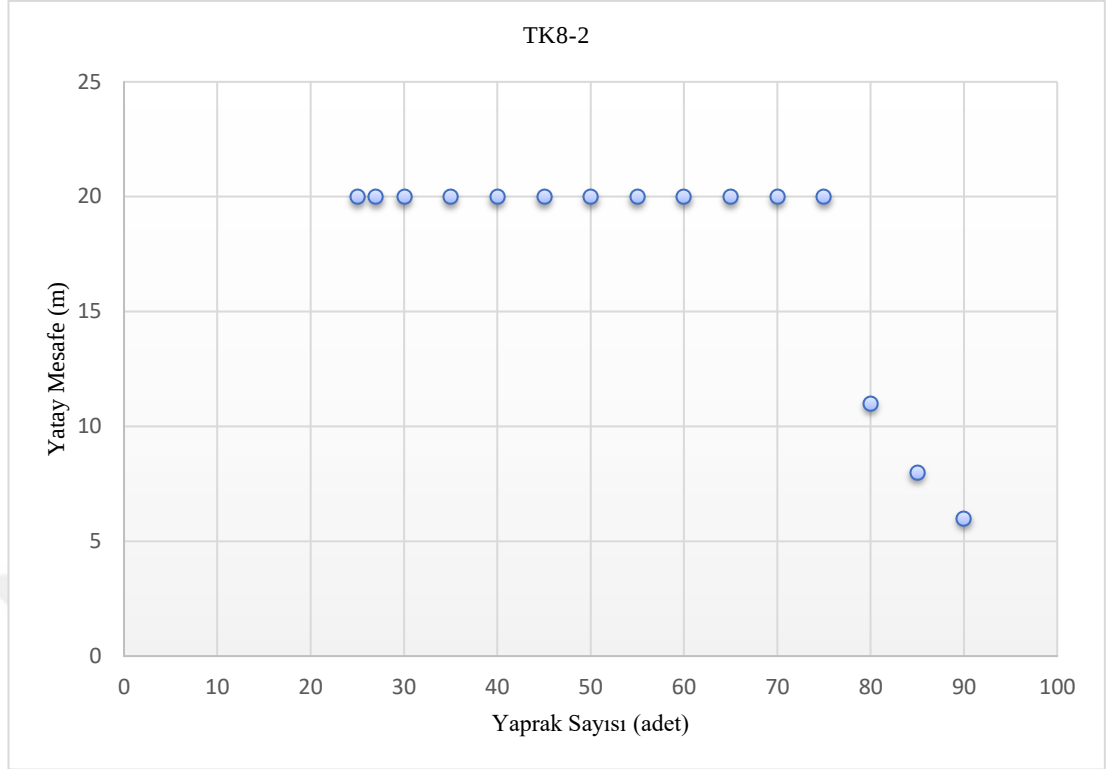
Tablo 4.9.'daki veriler kullanılarak 1., 2. ve 3. sifonda yaprak hareketlerine ait grafikler oluşturulmuştur ve aşağıda gösterilmiştir.



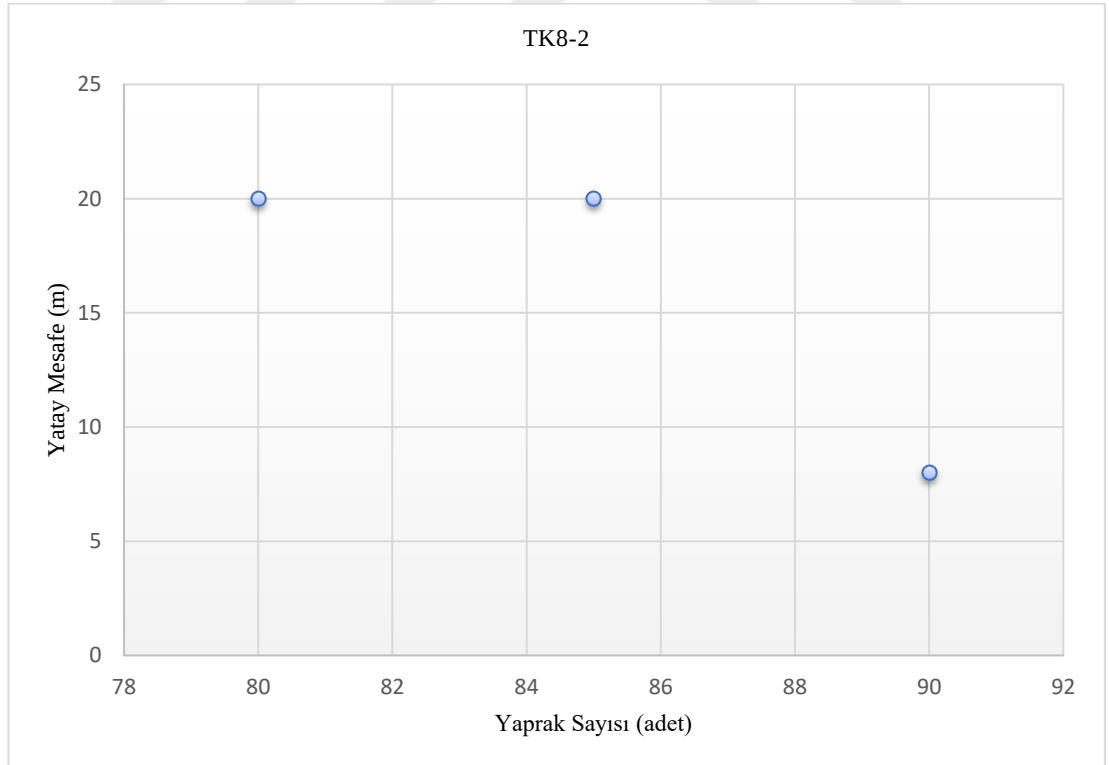
Şekil 4.22. TK8-2 tuvalete bırakılan yaprak sayısı ve bu miktarın 1. sifonda gittiği yatay mesafe

Şekil 4.22.'de görüldüğü üzere numuneye ait yaprak sayısı 2, 3, 4, 5, 6, 8, 10, 12, 15, 17, 20 ve 22 olarak tuvalete atıldığında emniyetli yükleme meydana gelmiştir ve 1. sifonda boru hattını terk etmiştir. Maksimum emniyetli yükleme adedi ise 22 yapraktır. 25 adet ve daha fazla yaprak atıldığında ise riskli ve çok riskli yüklemeler meydana gelmiştir. TK8-2 numunesinin tıkanmaya sebep olduğu yaprak adedi ise minimum 90 olarak gözlemlenmiştir.

2. ve 3. sifon çekimlerinde yaprakların boru hattı içerisindeki mesafeleri aşağıdaki Şekil 4.23. ve Şekil 4.24.'te gösterilmiştir. Tuvalete 25-75 arası yaprak atıldığında 2. sifonda çıkışlar gözlemlenmiştir. Fakat 80-90 arası yaprak atıldığında 2. sifonda boru hattından çıkış gerçekleşmemiştir. 3. sifon çekildiğinde ise 80 ve 85 adet yaprak numunesi boru hattından çıkış gerçekleştirirken 90 adet yaprak numunesi çıkış gerçekleştirememiştir.



Şekil 4.23. TK8-2 riskli ve çok riskli yüklemelere ait 2. sifon hareketi



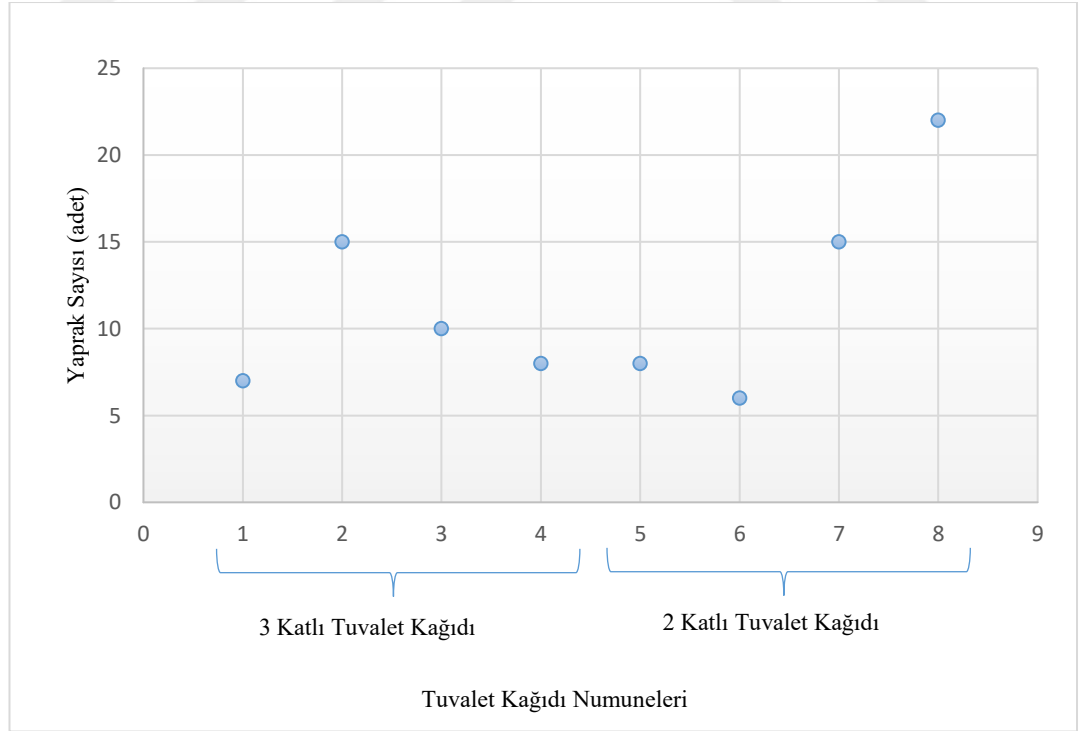
Şekil 4.24. TK8-2 çok riskli yüklemelere ait 3. sifon hareketi

4.10. Numunelere Ait Maksimum Emniyetli Yüklemelerin Kıyaslanması

2 ve 3 katlı tuvalet kağıdı numunelerinin kendi içlerinde maksimum emniyetli yükleme yaprak adetleri aşağıda gösterilmiştir.

Tablo 4.10. Maksimum emniyetli yükleme yaprak adetleri

Numune Adı	Maksimum Emniyetli Yaprak Adedi
TK1-3	7
TK2-3	15
TK3-3	10
TK4-3	8
TK5-2	8
TK6-2	6
TK7-2	15
TK8-2	22



Şekil 4.25. Maksimum emniyetli yükleme yaprak adetleri

Yukarıdaki Tablo 4.10. ve Şekil 4.25.'de görüldüğü üzere emniyetli yüklemeler açısından 2 katlı ve 3 katlı tuvalet kağıtlarının arasında önemli bir fark gözlemlenmemektedir. Ancak, 2 katlı tuvalet kağıtlarının bazılarının (numune no. 8) 20-25 yaprak arasında emniyetli yükleme değerine ulaşması önemli bir tespit olmuştur. Buna göre, 2-katlı ve ekonomik ürünlerin maksimum emniyetli taşıma yaprak adetleri biraz daha fazladır. Bu durum 2 katlı tuvalet kağıdı atılan tuvaletlerde, 3 katlı tuvalet kağıdı atılan tuvaletlere göre tıkanma olaylarının daha az meydana geleceğine işaret etmektedir.



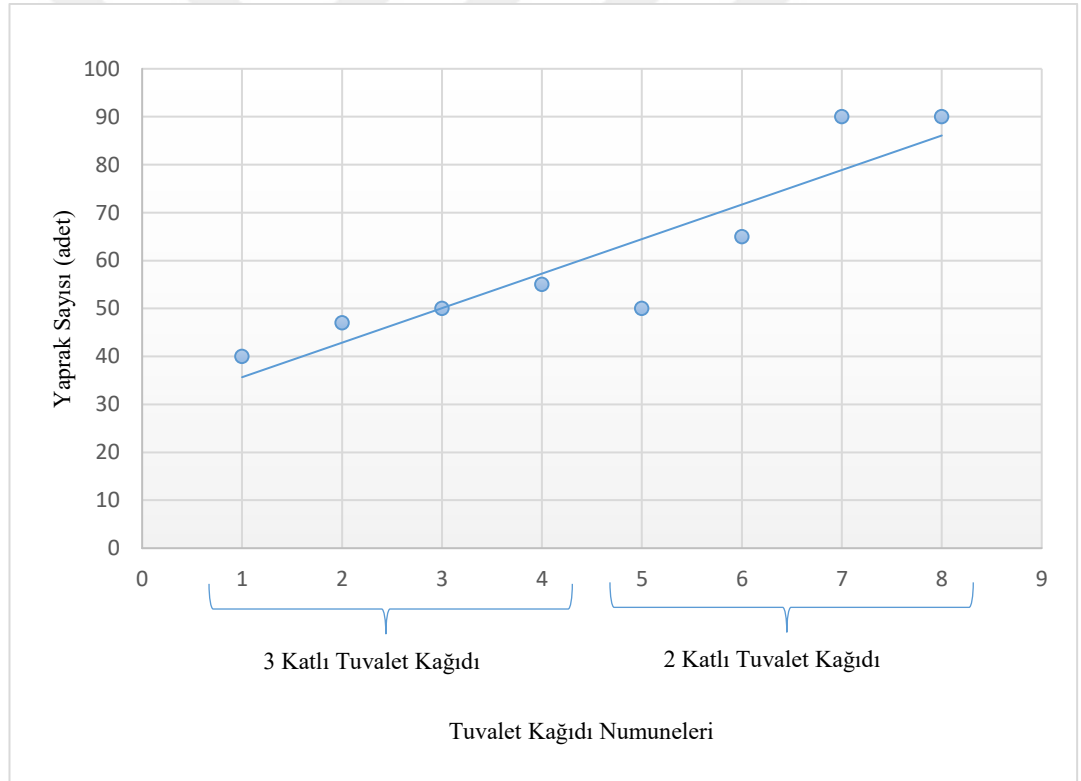
Şekil 4.26. Boru hattı içerisinde maksimum emniyetli taşıma mesafesine ulaşamayan tuvalet kağıtları

4.11. Numunelere Ait Tıkanmalara Sebep Olan Yüklemelerin Kıyaslanması

Deney çalışmasında kullanılan tuvalet kağıtlarının tıkanmaya sebep oldukları yaprak adetleri incelenmiş ve kıyaslanmıştır. Aşağıda Tablo 4.11. ve Şekil 4.27.'de görüldüğü üzere 2 katlı ve 3 katlı tuvalet kağıtlarının boru hattı içerisinde tıkanmalara neden olan miktarları birbirinden farklılıklar göstermektedir. 3 katlı tuvalet kağıtları ortalama 48 adet yaprak atıldığında pissu hattını tıkarken, 2 katlı tuvalet kağıtlarında hattı tıkama yaprak adet ortalaması 73 olmuştur.

Tablo 4.11. Numunelerin tıkanma meydana getirdiği yaprak adetleri

Numune Adı	Tıkanmaya Sebep Olan Yükleme Adedi
TK1-3	40
TK2-3	47
TK3-3	50
TK4-3	55
TK5-2	50
TK6-2	65
TK7-2	90
TK8-2	90

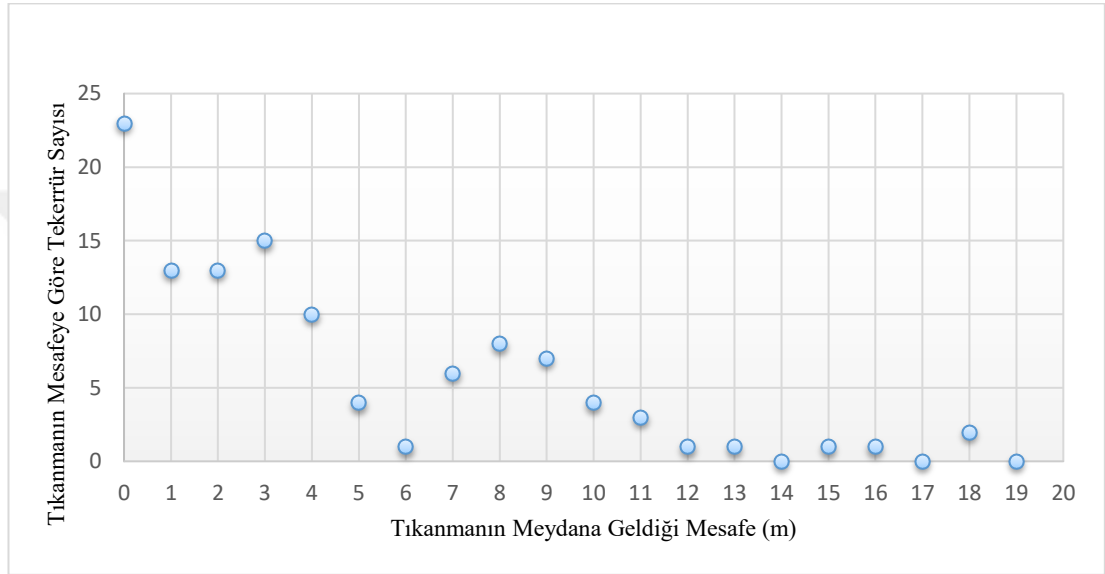


Şekil 4.27. Tıkanmaya sebep olan minimum yaprak adetleri

Şekil 4.27.'de sunulan bilgilere göre, tıkanmalara neden olan yaprak sayıları 3 katlı ürünler için 40-55 yaprak bandında oluşurken, bu değer 2 katlı ürünler için 50-90 yaprak bandında kalmaktadır. Bu karşılaştırmaya göre, 2 katlı ürünlerin tıkanma olaylarında daha az düzeyde katkı sağlayacağı anlaşılmaktadır.

4.12. Numunelerin Pissu Giderinde İlerlemeleri ve Aldıkları Mesafeler

Tuvalet kağıtlarının pissu hattının en çok hangi noktalarında tıkanmalara sebep oldukları hususu incelenmiştir. Buna göre, tıkanmanın tekerrür sayısı ile pissu giderinde meydana geldiği mesafe aşağıda Şekil 4.28.'de gösterildiği gibi analiz edilmiştir.



Şekil 4.28. Numunelerin tıkanma gerçekleştirdikleri mesafe ve tekerrür sayısı

Şekil 4.28.'deki verilere göre, tıkanma olayları çoğunlukla tuvaletin çıkışında ve pissu hattının baş taraflarında (0-3 m arasında) meydana gelmektedir. Yapılan 113 farklı denemeden 78'inde (%69) tıkanma olayı 0-5 metre arasında olmuştur. Benzer şekilde, 113 denemenin 104'ünde (%92) tıkanma olayı pissu giderinin ilk 10 metrelik kısmında meydana gelmiştir.

Bu denemelerde yapılan gözlemlere göre, tuvalete yüklenen kağıtlar genellikle tuvaletin çıkışında sıkışıp kalmaktadır. Bu durumla ilgili bir örnek aşağıdaki Şekil 4.29.'da gösterilmektedir. Bu tür tıkanmalar, bu çalışmada kullanılan deney düzeneğine özgü bir durum olabilir. Ancak, genel olarak alafranga tuvalet tipleri birbirine yakın olacağından, tüm alafranga tuvaletler için benzer sonuçlar görülebilir. Öte yandan, ala turka tip tuvaletler için ilgili çalışmaların ayrıca yapılması gerekmektedir.



Şekil 4.29. Pissu boru hattına ulaşamadan tıkanma gerçekleştiren tuvalet kağıtları

BÖLÜM 5. SONUÇ

Bu çalışmadan elde edilen sonuçlara göre, tuvalet kağıtlarının ekonomik ve 2-katlı grupları kanalizasyon tıkanmalarını azaltmak için tercih edilmesi gereken ürünlerdir. Lüks ve 3-katlı ürünler daha ağır ve yoğun oldukları için, pisu giderlerinde daha yavaş hareket etmektedirler. Bu nedenle, 3-katlı ve lüks sınıfındaki tuvalet kağıtları tıkanmalar açısından riskli ürünler olmaktadır. Sayısal olarak, 3-katlı ve lüks ürünlerin emniyetli yükleme oranları 7-8 yaprak civarında kalırken, bu durum ekonomik ürünler için 20 yaprak civarında kalmıştır. Benzer şekilde, tıkanmalara neden olan yüklemeler açısından, lüks ve 3-katlı ürünler 50 yaprak civarında kalırken, 2-katlı ve ekonomik ürünlerin 90 yaprak civarındaki yüklemelerinin tıkanmalara neden olduğu tespit edilmiştir.

Bu bilgilerin ışığı altında, 3-katlı ve lüks tuvalet kağıtlarının müstakil konumdaki aile evlerinde kullanımının uygun olacağı gözlemlenmektedir. Öte yandan, apartman tipi evlerde, alış-veriş merkezlerinde, stadyum, spor arenaları, konser ve düğün salonları ve öğrenci yurtları gibi nüfusun ve dolayısıyla tuvalet kullanımının yüksek olduğu mekanlarda ince, ekonomik ve 2-katlı tuvalet kağıtlarının kullanılması kanalizasyon tıkanmalarını azaltmak için elzem olmaktadır.

KAYNAKÇA

- Ashley, R. M., Bertrand-Krajewski, J. -L. Hvitved-Jacobsen, T., Verbanck, M., 2004. Solids in sewers: Characteristics, effects and control of sewer solids and associated pollutants. Scientific and Technical Report No.14. London: IWA Publishing.
- Aslan, R., 2018. Mikroplastikler: Hayatı Kuşatan Yeni Tehlike. Ayrıntı Dergisi, 6, 66.
- Brown, D. M., Butler, D., Orman, N. R., Davies, J. W., 1996. Gross Solids Transport In Small Diameter Sewers. Water Science and Technology, 33(9), 25-30.
- Durukan, S., Karadağı, F., 2019. Physical Characteristics, Fiber Compositions, And Tensile Properties Of Nonwoven Wipes And Toilet Papers In Relevance To What Is Flushable. Science of the Total Environment, 697, 134135.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134135>
- Eren B., 2012. Tuvalet kağıtlarının atıksu sistemlerinde fiziksel parçalanmasının araştırılması. Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Bölümü, Doktora Tezi.
- Harter, T., Bernt, I., Winkler, S. vd., 2021. Reduced dispersibility of flushable wet wipes after wet storage. Scientific Reports, 11, 7942.
- Karadagli, F., McAvoy, D. C., Rittmann, B. E., 2009. Development of a Mathematical Model for Physical Disintegration of Flushable Consumer Products in Wastewater Systems. Water Environment Research 81(5), 454-460.
- Karadagli, F., Rittmann, B. E., McAvoy, D. C., Richardson, J.E., 2012. Effect of turbulence on disintegration rate of flushable consumer products. Water Environment Research, 84(5), 424-433.
- Mitchell R.L., Busche S., Thamsen P.U., 2019. Investigations Into Wet Wipe Related Clogging Phenomena of Wastewater Pumps. Fluids Engineering Division.
<https://doi.org/10.1115/AJKFluids2019-5446>
- Mitchell R.L., Thamsen P.U., Gunkel M., Waschnewski J., 2017. Investigations Into Wastewater Composition Focusing On Nonwoven Wet Wipes. Technical Transactions, 1, 1-125.

Shahsavari, G., Arnaud-Fassetta, G., Campisano, A. 2017. A field experiment to evaluate the cleaning performance of sewer flushing on non-uniform sediment deposits. *Water Research*, 118, 59-69.

Tang, Y., Jin, W.Y., 2013. Study On Flushability Testing Of Wood Pulp Composite Spunlaced Nonwovens. *Advanced Materials Research*, cilt: 610-613, 490-493.

Türk T., 2021. Atıksu toplama sistemlerindeki işletme problemlerinin tanımlanması ve çözüm önerileri. Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi.

Yılmaz B.Y., 2009. İçme ve atıksu borularının rehabilitasyonu. Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi.



ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Murathan AKÇA

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Yılı
Yüksek Lisans	Sakarya Üniversitesi / Fen Bilimleri Enstitüsü / Çevre Mühendisliği	2022
Lisans	Sakarya Üniversitesi / Mühendislik Fakültesi / Çevre Mühendisliği	2018
Lise	Sakarya Fatih Anadolu Teknik Lisesi	2012

İŞ DENEYİMİ

Yıl	Yer	Görev
2019-Halen	Sakarya Su ve Kanalizasyon İdaresi (SASKİ)	Atıksu Arıtma Tesis Sorumlusu
2014-2019	Sunset Organizasyon	Saha Amiri

YABANCI DİL

İngilizce