



**ARAZİ TİPİ DEĞİŞKEN YAĞIŞ YOĞUNLUKLU
YAĞIŞ SİMÜLATÖRÜ TASARLANMASI**

Ayhan Hüsnü GÜMÜŞ

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
BİYOSİSTEM MÜHENDİSLİĞ ANABİLİM DALI**

**Prof. Dr. Ali KASAP
Temmuz 2019**

Her hakkı saklıdır

**T.C.
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
BİYOSİSTEM MÜHENDİLİĞİ
ANABİLİMDALI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**ARAZİ TİPİ DEĞİŞKEN YAĞIŞ YOĞUNLUKLU YAĞIŞ SİMÜLATÖRÜ
TASARLANMASI**

Ayhan Hüsnü GÜMÜŞ

**TOKAT
2019**

Her hakkı saklıdır

Ayhan Hüsnu GÜMÜŞ tarafından hazırlanan “**ARAZİ TİPİ DEĞİŞKEN YAĞIŞ YOĞUNLUKLU YAĞIŞ SİMÜLATÖRÜ TASARLANMASI**” adlı tez çalışmasının savunma sınavı 6 AĞUSTOS 2019 tarihinde yapılmış olup aşağıda verilmiş Jüri tarafından Oy Birliği ile Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitü **BİYOSİSTEM MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Danışman

Prof. Dr. Ali KASAP

Üye

Doç. Dr. İrfan OĞUZ

Üye

Doç. Dr. Abdullah BEYAZ

ONAY



Prof. Dr. Çetin ÇEKİÇ

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

04/09/2019

TEZ BEYANI

Tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu tezin yazılmasında bilimsel ahlak kurallarına uyulduğunu, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezin içerdiği yenilik ve sonuçların başka bir yerden alınmadığını, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, tezin herhangi bir kısmının bu üniversite veya başka bir üniversitedeki başka bir tez çalışması olarak sunulmadığını beyan ederim.

08/07/2019

Ayhan Hüsni GÜMÜŞ



ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ARAZİ TİPİ DEĞİŞKEN YAĞIŞ YOĞUNLUKLU YAĞIŞ SİMÜLATÖRÜ TASARLANMASI

AYHAN HÜSNÜ GÜMÜŞ

TOKAT GAZİOSMANPAŞA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BİYOSİSTEM MÜHENDİSİLİĞİ ANABİLİM DALI

Danışman: PROF. DR. ALİ KASAP

Taşınabilir yağış simülatörleri, toprak erozyonu, yüzey hidrolojisi, kaymak bağlama ve toprak kirliliği süreç dinamiklerini araştırmak için önemli bir araştırma aracıdır. Yağış simülatörlerinin belli, ortak bir standardizasyonu yoktur. Günümüzde farklı farklı standartlarda yağış simülatörleri vardır. Bu çalışmanın temel amacı, yüzey akış oluşumuna ve toprak kaybına yol açan yağışları simüle etmek için tarla koşullarında kullanılacak olan hareketli bir yağış simülatörünün tasarımıdır. Yağış simülatörünejet 80100 püskürtme memeleri kullanılarak tasarlanmıştır ve solenoid valfler vasıtasıyla değişken yağış yoğunlukları elde edilmiştir. Özel olarak tasarlanmış alan arazi tipi taşınabilir yağış simülatörü(1) homojen yersel yağış dağılımı ve düşme spektrumunu içeren yağış özellikleri, (2) sahada simülasyona hızlı ve kolay hazırlanma (3) kolay kullanım ve (4) düşük uygulama maliyeti sağlamaktadır.

2019, 40 Sayfa

Anahtar kelimeler: Yağış simülatörü, yağış şiddeti, akış, damla büyüklüğü, düşme hızı, damlatıcı meme

ABSTRACT

MASTER THESIS

DESIGNING A VARIABLE RAINFALL DENSITY FIELD TYPE RAINFALL SIMULATOR

AYHAN HÜSNÜ GÜMÜŞ

TOKAT GAZİOSMANPAŞA UNIVERSITY
GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

DEPARTMENT OF BIOSYSTEM ENGINEERING

SUPERVISOR: PROF.DR. ALİ KASAP

Portable rainfall simulators are an essential research tool for investigating the process dynamics of soil erosion, surface hydrology, soil crusting and soil pollution. There is no standardisation of rainfall simulators. Today, there are different simulators of rainfall of different standards. The main purpose of this study was the design of a portable a rainfall simulator to be used in the field conditions for simulating rainfalls that lead to the generation of runoff and soil loss. The rainfall simulator is designed by using veejet 80100 nozzles and achieved variable rainfall intensities by means of a solenoid valves. The designed field type portable rainfall simulator with particular respect to (1) rainfall characteristics that include homogeneous spatial rainfall distribution and drop spectrum, (2) quick and easy preparation to simulation in the field (3) easy handling and (4) low application costs.

2019, 40 pages

Keywords:Rainfall simulator, rainfall intensity, runoff, drop size, drop velocity, nozzle

ÖNSÖZ

Tasarlamış olduğumuz yağmur simülatörü; çölleşme ve toprak bozulması süreçlerini yaşamakta olan günümüz dünyasında hızlı, doğru ve bilimsel normlara uygun çalışmalar yapmak ve etkili önlemler almak için son derece gereklidir. Doğal yağışın öngörülemeyen belirsizliği bu konuda çalışma yapan bilim insanlarının önünde en büyük engellerden biridir. Tasarımını yapmış olduğumuz bu similatör toprak ve su koruma, hidroloji, toprak kirliliği, gübre yıkanması, kabuk bağlama ve sulama gibi çok değişik sahalarda çalışacaklara önemli kolaylıklar getirecektir.

Ülkemizde yağış simülatörleri ile çalışan araştırmacılar sayı olarak son derece azdır. Bunun başlıca nedeni, belli standartlara sahip, kurulumu ve kullanımını kolay ve de erişilebilir bir ürünün şimdiye kadar kullanıcılara sunulmamış olmasıdır. Tarafımızdan geliştirilen bu tasarımın gerçekleştirilmesi ve test ve kontrollerinin yapılması, bu sahada yapılan çalışmalara yeni bir boyut, bakış ve hız getireceğine yürekten inanıyorum

Tez çalışmamın seçimi, araştırmamın yürütülmesi ve tamamlanmasına kadar bana yol gösteren ve yardımlarını esirgemeyen başta Danışman Hocam Prof. Dr. Ali KASAP'a, desteğini gördüğüm Doç. Dr. İrfan OĞUZ ve Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Metin ÖZGÜVENhocalarıma teşekkürü bir borç bilirim.

Ayhan Hüsnü GÜMÜŞ

08 Temmuz 2019

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	i
ABSTRACT	ii
ÖNSÖZ	iii
İÇİNDEKİLER	iv
ŞEKİLLER LİSTESİ	v
ÇİZELGELER LİSTESİ	vi
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ	4
3. MATERYAL VE YÖNTEM	9
3.1. Güç Ünitesi.....	9
3.2. Yağmurlama Ünitesi.....	9
3.3. Ölçümleme ünitesi.....	10
3.4. Kontrol Ünitesi.....	10
4. BULGULAR ve TARTIŞMA	11
4.1. Güç Ünitesi Tasarımı.....	11
4.2. Yağmurlama Ünitesi Tasarımı.....	12
4.3. Ölçümleme Ünitesi Tasarımı.....	21
4.4. Kontrol Ünitesi Tasarım.....	24
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	26
6. KAYNAKLAR	28
7. ÖZGEÇMİŞ	30

ŞEKİLLER LİSTESİ

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 4.1. Tasarım makinenin güç ünitesi	12
Şekil 4.2. Yağış simülatörü taşıyıcı ana şasi gövdesi	13
Şekil 4.3. Bağlantı oku	13
Şekil 4.4. Maksimum stres	14
Şekil 4.5 Toplam deformasyon	14
Şekil 4.6. Yağış simülatörü lastik tekeri ve yay sistemi	16
Şekil 4.7. Üst şase ve bağlantı elemanları	17
Şekil 4.8. Step motoru ve kayış kasnak sistemi	17
Şekil 4.9. Yüzey akış suyunun kaybını önleyen kapak dizaynı	21
Şekil 4.10. Hareketli kapağı yönlendiren hidrolik piston	22
Şekil 4.11. Yüzey akış parseli uzun kenar üçlü hareketli kapak grubu	22
Şekil 4.12. Parsel çıkışı üçgen önlük	23
Şekil 4.13. Limnigraf monteli H-Flume savak	24
Şekil 4.14. Kapak sistemi ve üst şasenin alt şaseye monteli hali	25

ÇİZELGELER LİSTESİ

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
Çizelge 4.1. VeeJeet 80100 püskürtme memesinin yağış uygulama oranı, püskürtme süresi ve yağışsız geçiş süresi	18
Çizelge 4.2. Düşük intensiteler için simülatörün uygulama oranları, bireysel püskürtme memesi gecikme zamanı ve ana aks salınım gecikme zamanı	20



1.GİRİŞ

Doğal koşullarda yürütülecek araştırma çalışmaları doğal yüzey akış parsellerinde yürütülmekte, veri elde edebilmek için doğal yağışın yağması beklenmektedir. Yağışın miktarı, şiddeti, yağış zamanı bilinemediği için yağışa bağlı olarak oluşan erozyonun çok detaylı olarak incelenmesinde güçlükler bulunmaktadır. Ayrıca araştırmanın yürütülmesi sürecinde, öngörülen yıl kurak veya ıslak olması durumunda gereksiz olarak araştırma süresinin uzama riski bulunmaktadır.

Yapay yağış simülatörleri, doğal yağışı başarılı biçimde benzeştirebilmekte ve dünyada birçok ülkede araştırma çalışmalarında kullanılmaktadır. Yağış simülatörlerinin başlıca avantajları; doğal yağışı beklemek zorunluluğu olmaması, birçok ölçümün hızlı, ucuz ve hassas olarak gerçekleştirilebilmesi, sabit intensiteli yağışla çalışabilmek suretiyle doğal yağışın öngörülemeyen zamansal değişkenliğini ve düzensizliğini ortadan kaldırmaması, yağış simülatörü ve yüzeyakış parsellerinin birçok bitki ve arazi koşulları için kolayca kurularak çalışmanın başlatılabilmesi gibi özetlenebilir. Bu avantajlarıyanısıra kuşkusuz yapay yağış koşullarında yürütülen çalışmalar, doğal yağış koşullarında yürütülen çalışmalara göre dezavantajlara da sahip bulunmaktadır. Bunlar, yapay yağışın alanı sınırlandırılmış parsellerde yürütülmesi ve geniş alanlara uygulanması durumunda maliyetin artması, erozyonun model küçük parsellerde izlenebilmesi ve rüzgar ve hava sıcaklığı koşullarının doğal güncel durumda olmaması gibi özetlenebilir. Bu sakıncalarına rağmen sahip olduğu avantajlar dikkate alındığında ele alınacak çalışmanın amacına hizmet edeceği koşullarda öncelikle yapay yağış koşullarında yapılan çalışmalar tercih edilmektedir.

Erozyonla ilgili olarak arazideki uygulamalar çok eski devirlere uzanmaktadır. Bu konuyla ilgili olarak ilk bilimsel verileri doğal yağış altında yürüttüğü denemelerle Wolny'nin 1874 yılında yürüttüğü çalışmalara dayandırabiliriz. İlk yapay yağış uygulaması 1914 yılında Horton tarafından infiltrasyon çalışmaları için kullanılmıştır. 1930' dan sonra erozyon amaçlı yağmurlayıcılar üretilmeye ve kullanılmaya başlamıştır. Lowdermilk, Nichols, Sexton ve Neal bu konuda ilk çalışmaları yapmışlardır (Taysun, 1985).

Yağış simülatörleri olarak başlangıçta ticari yağmurlama başlıkları bu amaçla kullanılmıştır. Çünkü bu dönemlerde doğal yağışın damla çapı, dağılımı, düşme hızı konularında fazla bilgi bulunmamaktaydı. Laws 1940 yılında damla çapının 1 mm'den 2.25 mm'ye çıkması durumunda infiltrasyonun % 70 azaldığı ve erozyon kayıplarının % 1200 arttığını belirlemesi insanların yağış simülatörlerinde farklı arayışlara girmesine yol açmıştır (Hudson, 1998).

Yapay yağışın bazı özelliklere sahip olması istenmektedir. Bu özellikler üretilecek yağışın doğal yağışa çok benzemesi için arzu edilir. Bunlar;

Damla boyu: Yağmur damlacıklarının boyutları değişken olup en fazla 6-7 mm çapa kadar ulaşabilmektedir. Ortalama yağmurların damla çapı 2-3 mm arasında değişir. Sıcak iklimlerde oluşan siklonik yağışların damla çapı bu ortalama değere yakın veya daha küçüktür. Fakat yüksek intensiteli tropikal fırtınalar oransal olarak çoğunlukla ortalamadan daha iri damla çaplarına sahiptir.

Düşme hızı: Yağmur damlaları yerçekimi ile düşerken havanın sürtünme gücü ile dengelenmiş bir son hıza ulaşırlar. En büyük damla boyutu için erişebilecek son hız 9 m/s'dir. Daha küçük damla boyu için bu hız 5 m/s kadar olabilmektedir.

Kinetik enerji: Yağışın kinetik enerjisi bireysel damlaların sahip oldukları kinetik enerjilerinin toplamıdır. Kinetik enerji damla çapı ve düşme hızının bir fonksiyonu olup, yağış simülatörlerinin oluşturdukları kinetik enerjinin doğal yağışla uyumlu olması arzu edilir. Kinetik enerji yağış yoğunluğuna bağlı olarak değişmekte olup üst sınır 75 mm/h'tir. Bu üst limitten sonra, damla sayısı artmakta ancak damla büyüklüğü artmamaktadır. Bu nedenle 75 mm/h intensiteden sonra yağışın birim hacmine düşen enerji artış göstermez.

Bir yapay yağmurlayıcı aşağıdaki koşulları sağlamalıdır (Taysun,1985):

1. Damla çapı, dağılımı ve düşme hızı doğal yağışa yakın olmalıdır.
2. Uygun yağış yoğunluğu ve süresi seçilmelidir.
3. Uygulama alanı yeterli büyüklükte olmalıdır.

4. Yağış yoğunluğu ve damla özellikleri uygulama alanında yeknesak olmalıdır.
5. Damlaların çarpma açıları ile düşey arasındaki mesafe tüm damlalarda birbirine yakın olmalıdır.
6. Sağanakları tam olarak taklit edebilmelidir ve rüzgarlı koşullarda sistem çalışabilmelidir.

Yağış simülatörleri araştırma amacına uygun olarak farklı imal edilebilirler. Büyük kapasiteli simülatörler 100 m² ve daha büyük alanlar için imal edilirler ve ABD, Avustralya ve İsrail'de bu amaçla imal edilmiş yağış benzeticipleri kullanılmaktadır (Hudson;1987). Bu makinalar pahalı ve deneyimli personel ile kullanılabilirler.

Yapay yağmurlayıcılar, düşük basınçlı ve yüksek basınçlı uygulama yapanlar olmak üzere ikiye ayrılabilirler. Basınsız damla üreticiler, metal, cam veya plastik borular kullanılarak farklı boyutlarda damla üretmek amacıyla kullanılırlar. Bu sistemlerin avantajı, damla boyutu ve düşme hızının sabit olmasıdır. Düşük su basıncıyla test parselinin tümünde yeknesak bir yağış dağılımı mümkün olabilmektedir. Düşük basınçlı sistemlerin dezavantajı ise, düşen yağışın hızının test parseline son hıza ulaşmaması ve dolayısıyla yapay yağışın kinetik enerjisinin çok düşük olmasıdır. Bu sistemlerde 5 mm çapında bir damlayı son hıza ulaştırabilmek için 12m uzunluğunda bir uygulama mesafesine ihtiyaç bulunmaktadır.

Basınçlı püskürtücü ihtiva eden sistemler ise, düşük basınçlı sistemlere göre daha yüksek yoğunluklu yapay yağış ürettikleri için daha fazla uygulama suyuna ihtiyaç duymaktadırlar. Ancak doğal yağmur damlasının kinetik enerjisini düşük basınçlı sistemlere göre daha iyi simüle ederler. Bu araştırmada hedeflenen; ülke koşullarında doğal yağışları kabul edilebilir bir hata payıyla uygulayabilme kapasitesine sahip, özgün tasarımı, test ve kontrolleri bilimsel olarak yapılmış güvenilir bir arazi tipi yağış simülatörü tasarlamaktır. Ülkemizde standartları farklı farklı bazı yağış simülatörleri üniversitelerde laboratuvar koşullarında kullanılmaktadır. Bazı yurtdışından getirilmiş simülatörlerle yapılmış araştırma bulgularına literatürlerde rastlanılmaktadır. Ülke düzeyinde patentli standart bir yağış simülatörü şu ana kadar geliştirilememiştir.

2.KAYNAK ÖZETLERİ

Yağış simülatörlerison on yılda, yağmur suyunun topraklarla hidrolojik etkileşimlerini incelemek için yaygın bir araç, toprak erozyonu, toprak üstü akış oluşumu ve sızma gibi temel araştırma alanlarını incelemek ve kaymak bağlamanın etkilerini belirlemek gibi amaçlarla daha yaygın olarak kullanılmaktadır (Tossellve ark., 1987; Estevesve ark.,2000; Hamedve ark.,2002; Kato ve ark.,2009; Aksoy ve ark.,2012; Iserlohve ark.,2013). Simüle edilmiş yağış kullanmanın avantajı, nispeten düzgün koşullar altında hızlı veri toplama imkanı vermesidir.

Hignett ve ark. (1995), bir yağış simülatörü için istenen özellikleri şöyle sıralamıştır: (a) doğal yağış damla düşüş büyüklüklerinin ve enerjilerinin doğru şekilde uygulayabilmesi; (b) 1m² veya daha büyük bir alan üzerinde sürekli, homojen bir uygulama sağlayabilmesi; (c) değişen sürelerde ve istenilen yoğunluktaki yağışları uygulama yeteneği ve (d) kolay taşınabilirlik ve düşük maliyet. Ayrıca söz konusu yazar yağış simülatörlerini yüksek yoğunluklu yağış üretebilen meme tipi yağmurlayıcılar ve hipodermik iğneler içeren, 5 m ve daha yüksekte düşerek son hıza erişebilen iri damlalar üreten yağmurlayıcılar olmak üzere ikiye ayırmıştır. Farklı tip ve amaçlara hitap eden çok farklı yağış simülatörleri imal edilmiştir. Bu simülatörler arazi veya laboratuvar koşullarına uygun olarak dizayn edilebilirler.

Pe´rez-Latorre ve ark. (2010), doğal yağışın damla boyu, enerjisi ve değişken yağış yoğunluğunu benzeştirecek iki farklı yağış simülatörü dizayn etmiştir. Yağış simülatörlerinden biri tam konik jet meme kullanılarak imal edilmiş ve selenoid valf vasıtasıyla değişken yağış yoğunlukları elde edilmiştir.İkincisi, eş zamanlı çalışan jet meme sayısını değiştirerek değişken yağış yoğunlukları elde edebilmektedir. Her iki yağış simülatörü, % 80 - 92 arasında değişen homojenlikle doğal yağışı 20 - 80 mm/h yoğunluk ile damla boyutları ve kinetik enerjiyi sağlayacak şekilde gerçekleştirmiştir. Geliştirilen tasarım, Akdeniz bölgeleri için daha gerçekçi bir damla boyutu dağılımı sağladığı ve düşük maliyeti ile uygulanabilir olduğu bildirilmiştir.

Abudi ve ark. (2012), kaymak bağlaması suretiyle yüzey akış ve sonunda toprak erozyonunun oluşmasına yol açan yağışları simüle etmek için arazi tipi taşınabilir bir yağış simülatörü tasarlamıştır. Simülatörün ürettiği damlaların D50 değeri, 1,5 mm ve son hıza yaklaşmıştır. Simüle edilen yağmurun enerji akışı aynı yoğunluktaki doğal bir yağış için beklenen enerji akışının% 76'sını sağlamıştır. Suyun mekansal dağılımı, çok çeşitli yağmur yoğunlukları için homojen olmuştur. İmal edilen simülatör kaymak bağlama, infiltrasyon ve erozyon çalışmaları için yeterli güvenilirlikte olduğu bildirilmiştir.

Aksoy ve ark. (2012) laboratuvar ölçeğinde yapay yağış üretebilmek amacıyla bir yağış simülatörü geliştirmişlerdir. Söz konusu simülatör, yağış şiddeti ve mekansal homojenliği, yağmur damlası ebadı, yağmur damlası hızı ve kinetik enerji gibi yağış özelliklerinin yeterli hassasiyette doğal yağışa benzetebildiğini bildirmişlerdir. Simülatör, basınç memeleri ile 45-105 mm/h arasında değişen yağış yoğunluklarını parsel üzerine püskürtebilmekte ve homojenlik katsayısı% 82 ile% 89 arasında değişen yağışlar üretebilmektedir. 2.43 m. yükseklikten başlangıç hızıyla düşen yağmur damlalarının ortalama çapları 1.1–2.2 mm'dir. Simüle yağışlar % 6-15 arasında bir nispi hata ile terminal hızlarından sapmaktadır. Erozyon kaplarına, yanal ve uzunlamasına yönlerde% 20'ye kadar eğim verilebilir. Uygulamalarda, interrill alanların rillere olan katkısını ayırt etmek için kanalın ucundaki iki çıkıştan akış ölçümü yapılır. Yağış simülatörü, püskürtme memelerini taşıyan salınlı bir boru zeminden 2.60 m yüksekliğe monte edilmiştir. Suyu kanalizasyon eden bu borunun salınımı bir motor tarafından sağlanmakta ve periyodikliği bir frekans dönüştürücü tarafından ayarlanmaktadır. Sistemde memeler bir su tankından beslenir ve erozyon parselinin üzerine su püskürtmek için kullanılan meme sayısına bağlı olarak dört veya beş boruya bölünmüş bir ana su borusundan memelere pompalanır.

Corona ve ark. (2013) tarafından laboratuvar ve tarla koşullarında test edilmiş olan bir yağış simülatörü geliştirmişlerdir. Simülatör 4 adet bağımsız hat ve 80 mbar basınçlı düşük maliyetli basınç püskürtme memelerinden oluşturulmuştur. Yapay yağışın yersel dağılımı ve yoğunluğu 63 adet yağış ölçerle belirlenmiştir. Yağışların damla dağılımı 0.25-3.3 mm arasında değişmiş ve doğal yağışla uyumlu bulunmuştur. Yağış intensitesi

31-62 mm/h arasında değişmiş ve % 62-75 arasında bir oranda homojenlikte parsele yağış dağılımı sağlanmışır. Geliştirilen prototip, İtalya Sardunya'da siltlitin bünyeli bir tarlada kontrol amaçlı uygulandı. Ortalama yağış yoğunluğu laboratuvar koşullarındaki yoğunluklar dikkate alınarak kalibre edildi. Arazi test sonuçları geliştirilen similatörün doğal yağışı başarılı biçimde ve kabul edilebilir bir doğrulukta taklit edebildiğini ortaya koymuştur.

Lora ve ark.(2016) yağış simülatörlerinin erozyon çalışmaları, hidrolojik araştırmalar, infiltrasyon gibi çok farklı amaçlar için dizayn edildiğini ve bu nedenle özel ihtiyaçlar için kişisel imalatların gerekliliğinden bahsetmişlerdir. Yoğun yağışlar ve yüksek kinetik enerjili yağışların infiltrasyon ve toprak kaymalarına etkilerini yapay eğimli 2-6 m uzunlukta araştırmak üzere özel bir yağış simülatörü dizayn etmişlerdir. Çalışma üç amacı gerçekleştirmek için planlanmıştır. Bunlar (i) 50-150 mm/h arasında yağış intensitesi sağlayabilmeli, (ii) ürettiği yağış alanda en az 80% oranında yeknesak olmalı, ve (iii) toprak kayması tetiklemesinden sorumlu sızma işlemlerini değiştirebilecek yüzey erozyonundan kaçınmak için toprak yüzeyine sınırlı darbe etkisi sağlamalı. Bu hedeflere ulaşmak için, öncelikle üç ayrı meme test edildi. Daha sonra, tam ölçekli bir yağış için en iyi meme konfigürasyonunu bulmak ve performansını test etmek için daha ileri araştırmalar yapıldı. İstenen yağış aralığına bağlı olarak, istenen yoğunluk aralığını kapsayacak şekilde aktif başlık sayısı ve konumlarıyla ayırt edilen dört farklı başlık konfigürasyonu seçilmiştir. Simülatör performansı, % 80'den büyük değerlerle sonuçlanan Christiansen tekdüzelik katsayısı (CU) ile değerlendirildi. Damla büyüklüğü dağılımı, "yağ yöntemi" ile değerlendirildi ve toprağa düşen damlaların etki enerjisini tahmin etmeyi amaçlayan sayısal bir modelin kalibrasyonu için kullanıldı.

Mayerhofer ve ark. (2017) parsel ölçeğinde yüzey akış ve erozyon çalışmaları için farklı boyutlarda yağış simülatörlerinin geliştirildiğini bildirmişlerdir. Eğim ölçeğindeki yüzey akış süreçlerinin anlaşılmasıyla ilgili olarak yürütölen karşılaştırmalı çalışmaları, büyük parsel boyutlarında ($\geq 40 \text{ m}^2$) yağmurlama başlıklı yağmurlayıcıların küçük parsel simülatörlerinden (4 m^2) daha fazla temsil niteliğine sahip olduğunu bildirmektedirler. Bununla birlikte, küçük parsel simülatörleri taşınabilirlikleri ve büyük parsel simülatörlerine kıyasla daha az çaba ve su talebinden dolayı sıklıkla kullanıldığını

bildirmişlerdir. Araştırmacılar yapmış oldukları çalışmalarında, küçük (1 m^2) bir damlatıcı cihazı ve büyük ($40-80 \text{ m}^2$) bir sprey cihazı kullanılarak sağanak yağmur (100 mm/h) uygulamış, uygulama yüzeyine sistem başarısı olarak karşılaştırma yapmışlardır. Bu amaçla, Doğu Alpler'de seçilen 8 deneysel alanda, farklı arazi örtüsü, arazi kullanımı, otlama yoğunluğu ve başlangıç nem içeriğine sahip 39 küçük parsel (1 m^2) ve 14 büyük parselde ($40-80 \text{ m}^2$) yağış simülasyonu yapıldı. Yoğun otlama olan yerlerde, üst toprak sıkışması ve kısaltılmış akış yolu nedeniyle, küçük parsel cihazı büyük parsel cihazından önemli ölçüde daha yüksek akış katsayısı sağlamıştır. Özellikle sonbaharda en fazla otlama periyoduna sahip olan biçilen çayırılık alanlarında, her iki yağmurlama cihazı, büyük parselsimülatörünün sonuçlarına kıyasla, benzer sonuçlar ve hatta daha düşük akış katsayıları göstermiştir. Ölçülen yüzey akış katsayıları, önceki toprak nemi içeriğine ve otlama yoğunluğuna kuvvetle bağlı olmuştur.

Mhaske ve ark. (2019); çeşitli toprak tanecik tipleri, toprak eğim açıları ve farklı yağış koşullarına yüzey maruziyetlerini dikkate alarak parsel ölçeğinde toprak erozyonu değerlendirmesi için kapsamlı bir yağış simülatörü tasarımı yapmışlardır. Tüm kurulum dört ana bölüme ayrılmıştır: (a) tek püskürtme memeli su besleme sistemi, (b) metal çerçeveyi desteği, (c) eğim ayarı için hidrolik kriko ekli konteyner masası ve (d) sıcaklık simülatörü. Yağış simülatörü 3m^2 'lik bir alanı kaplar, bunun 0.5m^2 'si hedef alandır ve yağmur damlaları 2.3 m yüksekliğinden düşmektedir. $65, 93, 112$ ve 148 mm/s yağış yoğunluğunu simüle etmek için dört tip tam püskürtme memesi kullanılmıştır. Parsel eğimi hidrolik kriko yardımıyla en fazla $\%40$ eğim olabilecek şekilde konumlandırılabilir. Doğal iklim koşullarını laboratuvarında yansıtabilmek için bir sıcaklık simülatörü sisteme entegre edilmiştir. Simüle edilen yağışların özelliklerini ölçmek ve doğal yağış koşulları ile karşılaştırmak için fiziksel ve sayısal simülasyonlar gerçekleştirilmiştir. Tasarlanan yağış simülatörü yağışları parsel yüzeyine $\% 81-88$ arasında homojen dağıtmıştır. Yağmur damlacık büyüklüğü yaklaşık $1-5 \text{ mm}$ arasında, son hız $4.76-10.64 \text{ m/s}$, darbe hızı $5.56-9.63 \text{ m/s}$ arasında ve kinetik enerjiler ise $0.0081-3.0342 \text{ mJ}$ arasında olmuştur. 0.5m^2 'lik tüm parsel alanındaki toprak yüzeyine çarpan yağmur damlalarının toplam kinetik enerjisi, yağış yoğunluğuna bağlıdır ve yaklaşık $6-12 \text{ J}$ arasında değişmiştir. Tasarım, laboratuvar koşullarında doğal yağışa çok yakın yağış simülasyonu yapabilir bulunmuştur.

Boulange ve ark. (2019) 5 m² alana simülasyon yapabilecek düşük maliyetli bir yağış simülatörü geliştirmişlerdir. Similatörün kolay nakliye ve hızlı kurulum gibi özellikleri kapsamı göz önünde bulundurulmuştur. Değişken debili silikon memeler yardımıyla uygulama yoğunluğu 20-100 mm/h arasında olmaktadır. 30-70 mm/h arasında yoğunlukta uygulanan yağışları % 74-94 arası homojenlikle parsele dağıtabilmektedir. Üretilen 30, 50 ve 70 mm/h yoğunluklarındaki yağmur damlasının medyan hacimsel damla çapı doğal yağışın düşük intensitelerine göre sırasıyla 1.10±0.08, 1.69±0.21, 1.66±0.20 mm standart sapma göstermiştir. 2 mm'den küçük yağmur damlaları doğal yağışın son hızına makul bir uygunlukla ulaşmıştır. 30, 50 ve 70 mm/h yoğunluklu yağışlar sırasıyla 257.7, 760.1, ve 1645.2 J/m²h değere ulaşarak doğal yağışın % 78-86.5'ni karşılamıştır.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Simülâtörün genel yapısı materyal olarak;

Güç ünitesi, yağmurlama ünitesi, ölçümlleme ünitesi ve kontrol ünitesi olmak üzere dört ana ünite halinde tasarlanmıştır.

Ayrıca Ansys paket analiz programı kullanılarak, özellikle ana unsurları üzerinde taşıyan ve kaynaklı konstrüksiyon olarak tasarlanan yapılar, taşıyıcı gövdeler için sonlu elemanlar yöntemiyle toplam deformasyon ve stres analizleri yapılmıştır.

3.1. Güç Ünitesi

Güç ünitesi; tasarlanan makinanın aydınlatma sistemlerine ve hidrolik güç ünitesine monofaze ve trifaze elektrik enerjisi sağlayacak Jeneratör ve Power-pack diye adlandırılan Hidrolik Güç Ünitesinden oluşmaktadır. Makinanın tüm sistemlerinde ihtiyaç duyacağı mekanik enerjiyi Güç Ünitesi diye sınıflandırdığımız bu ünitesinin sağlanması planlanmıştır.

3.2. Yağmurlama Ünitesi

Yağmurlama ünitesi, toprak yüzeyine uygulanacak yağış simülasyonlarını mümkün olacak en yüksek oranda doğal yağışa benzetecek şekilde dizayn edilmiştir. Tasarım simülâtörde VeeJeet 80100 damlaticılar kullanılmıştır. Bu damlaticılar, Meyer ve McCune (1958) tarafından yağış benzetici için çok eskiden seçilmiştir. Meyer (1958), VeeJeet 80100'ün 41 KPa basınçta bir meme su akış hızının 6,8 m/s ve toprak yüzeyinden 2,4-3 m yüksek olması durumunda 204 KJ/ha-mm kinetik enerji sağlayabildiğini bulmuştur. Norton (1998) tarafından yapılan test sonuçlarına göre ise, püskürtme memelerinin yüzey akış parsellerinin 2.44 m üzerinde ve 55 KPa basınçta çalıştırılması önerilmektedir. Bu çalışmada, sistemin işletme basıncı 55 KPa ve uygulama yüksekliği 2.44 m. olacak şekilde planlanmıştır.

3.3. Ölçümleme ünitesi

Ölçümleme ünitesi çeşitli sensörler ve aletlerden oluşmaktadır. Bunlar üç farklı derinlik için toprak nemini ölçen nem sensörü, uygulanan yağışın ölçümü için bir adet elektronik plüviograf, oluşan akımı belirleyen H-Flume savağa monteli elektronik limnigraf, yüzey akış parsellerinde kayıpları önlemek üzere parselin üç tarafına otomatik olarak konumlandırılabilen sac levha, yüzey akış ve toprak kayıplarının belirleneceği çıkış kısmına monteli H-Flume savaktan oluşacak şekilde tasarlanmıştır..

3.4. Kontrol Ünitesi

Kontrol ünitesi, sistemi elektronik olarak kontrol eden ve verileri depolayabilen bilgisayar ve sistemdeki mekanik parçaları kontrol eden yazılımdan oluşmaktadır. Sisteme çalışma öncesi yağdırılacak yağışın özellikleri, yağış başlama süresi, farklı zamanlardaki farklı yağış miktarları, yağışın toplam süresi gibi teknik bilgilerin girişinin yapılabileceği bir yazılım geliştirilmesi tasarlanmıştır. Yazılım aynı zamanda selenoid vanalara ve bağlı bulunduğu püskürtme memelerine kumanda edebilecektir. Ana aks salınımı, püskürtme süresi ve gecikme zamanlarını kusursuz bir şekilde uygulayabilmelidir. Yağışların yanısıra; toprak profilindeki nem hareketi, savaktan geçen yüzey akış miktarı ve uygulanan yağış, gerek grafik ve gerekse xls formatında (excel dosya uzantısı) sistemden görülebilecek ve bilgisayar hafızasında anlık olarak kaydedilecektir. Yazılım, basit hesaplamaları otomatik olarak yapabilecek ve depoda mevcut su düzeyi v.s gibi bilgileri bir bilgi ekranı vasıtasıyla anlık olarak kullanıcının hizmetine sunacak şekilde tasarlanmıştır.

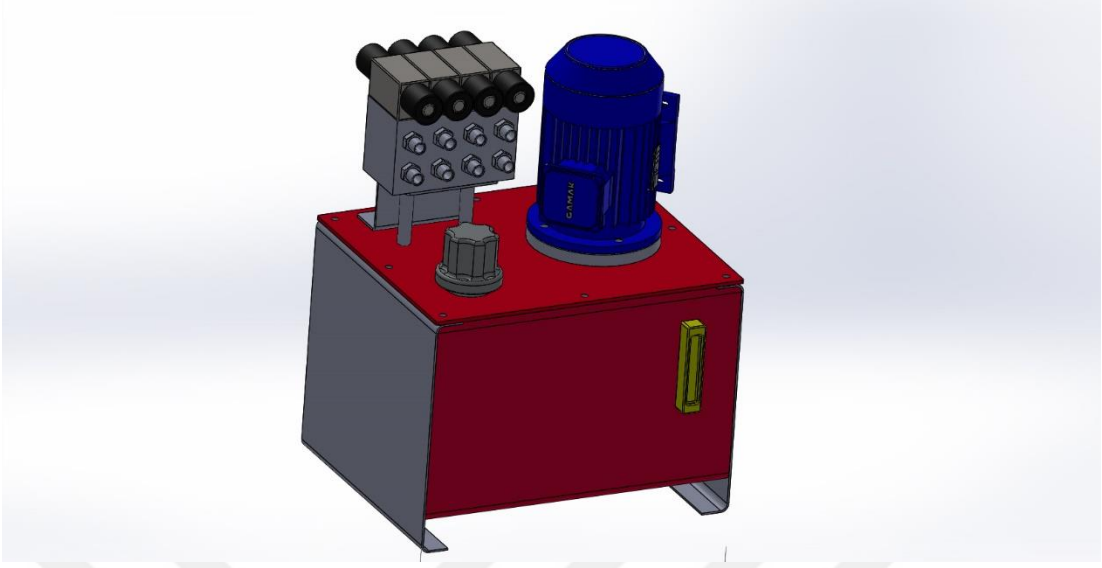
4. BULGULAR ve TARTIŞMA

Yağış simülatörü imalatında farklı alt bileşenlerin birlikte eşgüdümlü çalışması planlanmıştır. Simülatör güç ünitesi, yağmurlama ünitesi, ölçümleme ünitesi ve kontrol (otomasyon) ünitesi olmak üzere dört ayrı sistemin bir arada sorunsuz çalışmasını sağlayacak şekilde tasarlanmıştır. Bu ünitenin tasarımına ilişkin genel parçaları ve özellikleri aşağıda verilmiştir.

4.1. Güç Ünitesi Tasarımı

Tasarım makinanın aydınlatma, hidrolik pompa, memelere su püskürtmek için santrifüj pompa, step motorun hareketi ve diğer komutlar için gerekli elektrik enerjisi yaklaşık 7 KW gücünde dizel bir jeneratör yardımıyla sağlanacaktır.

Power-pack diye adlandırılan Hidrolik Güç Ünitesi vasıtasıyla yüzey akış sularının parsel dışına kaçması önlemek üzere hareketli olarak tasarlanmış olan kapakların, yüzey akış su toplama üçgen önlüğü ve bu önlüğe entegre H Flume savağın konumlanma hareketlerinin gerçekleşmesini sağlayacaktır. Makinanın hidrolik güç ünitesi 3 fazlı elektrik motoru, sistemin ihtiyacını karşılayabilecek kapasitede hidrolik pompası, valfler ve diğer hidrolik elemanlardan oluşacaktır. Makinanın tüm sistemlerinde ihtiyaç duyacağı mekanik enerjiyi Güç Ünitesi diye sınıflandırdığımız bu ünite sağlayacaktır. Sistemlerde ihtiyaç duyulan mekanik enerji hidrolik güç ünitesinden alınan belirli basınç ve debi değerlerine sahip hidrolik akışkan ve hidrolik silindirler vasıtasıyla gerçekleştirilecektir. Tasarım makinanın sistemin tüm hareketli unsurlarını çalıştıracak güç ünitesi şematik olarak Şekil4.1.'de verilmiştir.

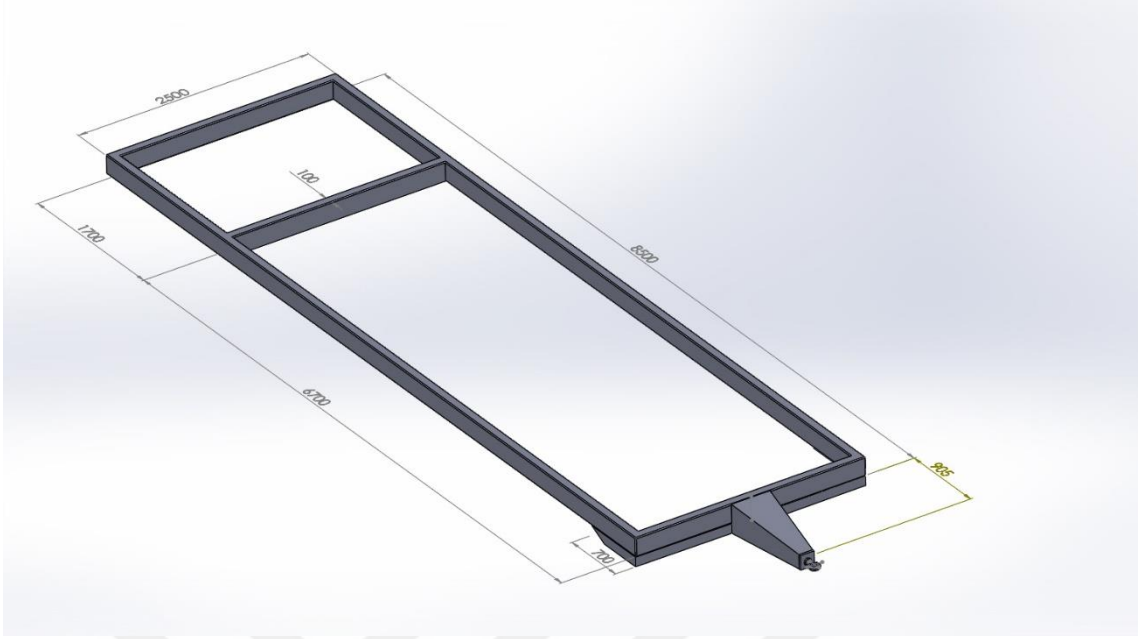


Şekil 4.1. Tasarım makinenin güç ünitesi

4.2. Yağmurlama Ünitesi Tasarımı

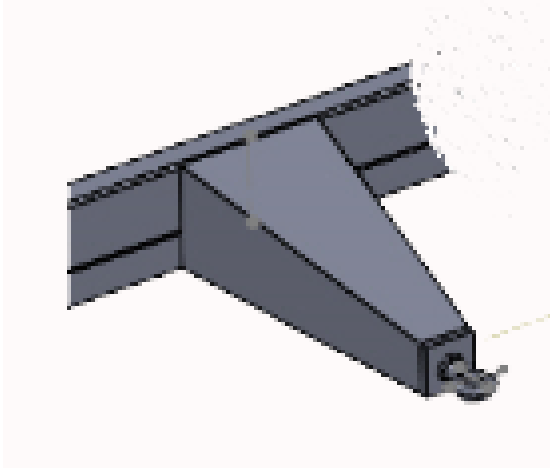
Yağmurlama ünitesi, dört adet weejet yağmurlama başlığı ve bu başlıkları kontrol eden dört adet üç yollu selenoid vana, fazla su geri dönüş sistemi, sisteme entegre 2 ton kapasiteli su deposu, suda olası askıda materyali tutan filtre sistemi, sisteme alternatif su girişine imkan sağlayan açık su yüzeylerinde su temin etmek üzere 500m uzunluğunda yangın hortumu, parsel üzerinde salınımları kontrol eden ana aks ve bu aksın bağlandığı hareketi sağlayan bir adet step motordan oluşacaktır.

Yağmurlama sistemi dizayn edilecek iki tekerlekli bir römork üzerine sabitlenecektir (Şekil 4.2). Bu taşıyıcı şase ebadı 2500x8500 mm olacaktır. Şase bir çelik barla ikiye bölümlendirilmiştir. Büyük bölme 6700x2500 mm ebadında olup yapılacak yapay yağış simülasyonları bu bölümde gerçekleştirilecektir. Diğer bölüm 1700x2500 mm ebadında olup elektronik sistemler, su deposu, santrifüj pompa sistemi, hidrolik güç ünitesi ve 500m su alma hortumu bu bölüme yerleştirilecektir.



Şekil 4.2. Yağış simülatörü taşıyıcı ana şasi gövde

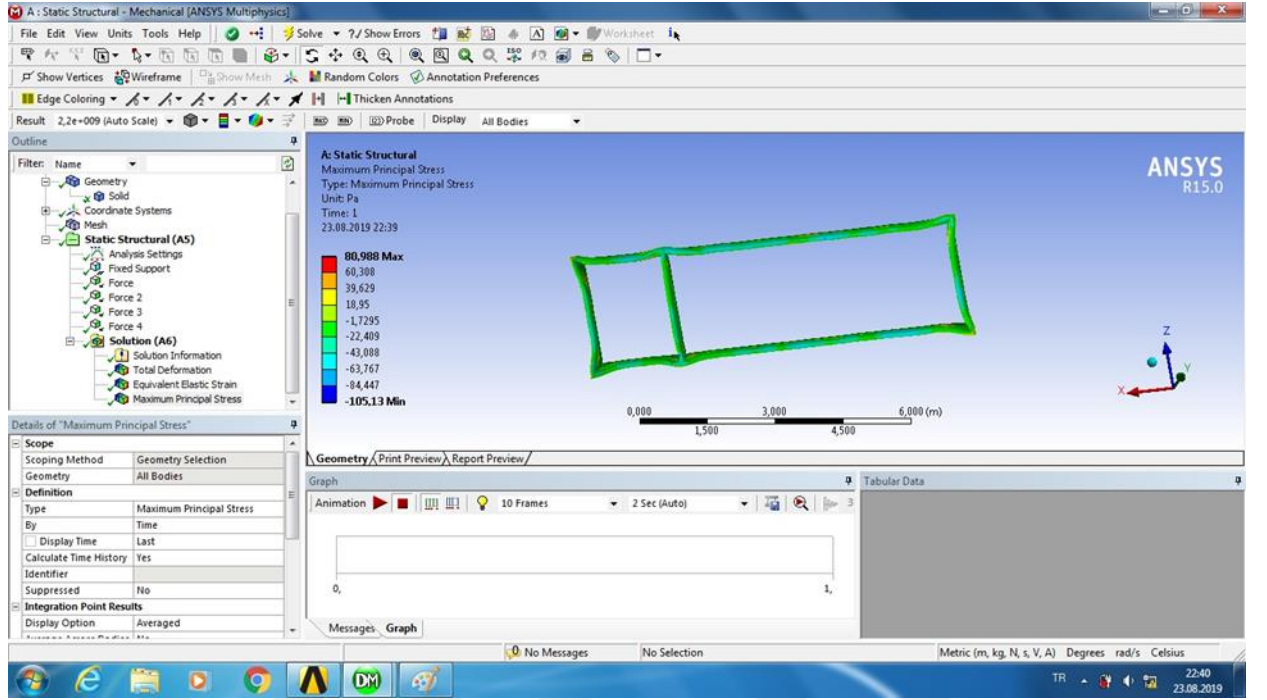
Taşıyıcı şase, çekici traktöre ok olarak ifade edilen bağlantı mekanizması ile bağlanacaktır (Şekil 4.3). Bu sistem eğimli arazilerde erozyon çalışmalarında arazi olumsuzluklarından dolayı römorkun devrilmesini engelleyecektir.



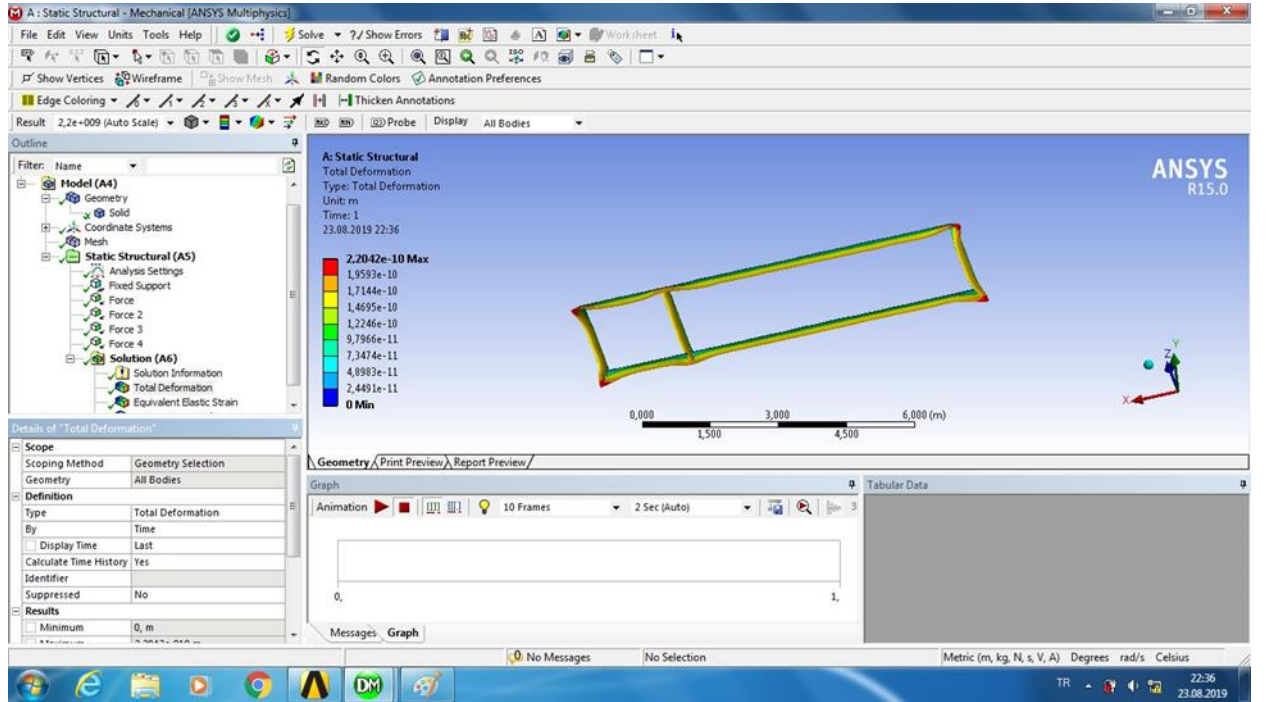
Şekil 4.3. Bağlantı oku

Yağmur simülatörü tasarımımızın büyük bir bölümü kaynaklı çelik konstrüksiyon imalatıyla gerçekleştirilmesi tasarlanmıştır. Tasarımımızda, önem arz eden kısımlarda Ansys paket programı kullanılarak sonlu elemanlar yöntemiyle analizler yapılmıştır.

Aşağıdaki Şekil.4.4. ve Şekil.4.5. de tasarımımızın ana gövdesini oluşturan alt şase aksamının yapılan analizi örnek olarak verilmiştir.



Şekil.4.4. Maksimum Stres



Şekil.4.5. Toplam Deformasyon

Sonlu Elemanlar Analizi (FEA), Sonlu Elemanlar Metodu (FEM) adı verilen sayısal tekniğin kullanıldığı herhangi bir fiziksel olgunun simülasyonudur. Mühendisler, daha iyi ürünler geliştirmek için fiziksel prototip ve deneylerin sayısını azaltmak ve bileşenleri tasarım aşamasında optimize etmek için bu yöntemi kullanırlar.

Basitleştirilmiş haliyle FEA, belirli koşullar altında bir parçanın veya montajın nasıl davrandığını tahmin etmek için kullanılan sayısal bir yöntemdir. Modern simülasyon yazılımları için temel olarak kullanılır ve mühendislerin tasarımlarında zayıf noktaları bulmalarına yardımcı olur. FEA yöntemine dayanan bir simülasyonun sonuçları yukarıdaki şekillerde de görüldüğü gibi, genellikle bir renk skalası ile tasvir edilir.

Sonuç olarak Sonlu Elemanlar Analizi ile belirlediğimiz malzemede, belirlediğimiz noktalarda gerçekleşecek olan gerilme türleri, sıcaklık değişimi, ısı transferi gibi olguların sonuçlarını daha net bir yaklaşımla elde etmiş oluruz.

Bu analizleri yapabilmek için çeşitli yazılım paket programları geliştirilmiştir. Bunların başlıcalarını; Ansys, Nastran, Abaqus, Cosmos, Algor ve Patran olarak sayabiliriz

Ansys; bilgisayar destekli olarak mühendislik çalışmalarında analiz ve simülasyonların yapılabildiği bir bilgisayar destekli mühendislik programıdır. Mekanik, yapısal analiz, hesaplamalı akışkanlar dinamiği ve ısı transferi gibi farklı disiplinlerde etkili çalışmalara olanak verir.

Tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde de en çok kullanılan CAE (bilgisayar destekli mühendislik) programlarının başında gelen ANSYS programı sonlu elemanlar yöntemini kullanmaktadır. Sonlu elemanlar yöntemi ile tek parça halinde analizi çok zor olan karmaşık geometrideki cisimlerin küçük ve çok sayıda parçalara bölünerek ayrı ayrı analizleri yapılır. Sonlu sayıdaki elemanın analizi sonucu elde edilen sonuçlar birleştirilerek tek ve tutarlı bir analiz sonucu elde edilir.

Ansys programıyla parça ve montajlar üzerinde statik analizlerin yanı sıra doğrusal ve doğrusal olmayan burkulma analizleri de yapılabilir. Program mekanik simülasyonlarda çok düşük toleranslarda bile etkili sonuçlar verir. Nesneye uygulanan kuvvet sonucunda oluşan şekil değişimleri ve gerilme dağılımları simülasyonların sonunda anlık olarak görüntülenebilir.

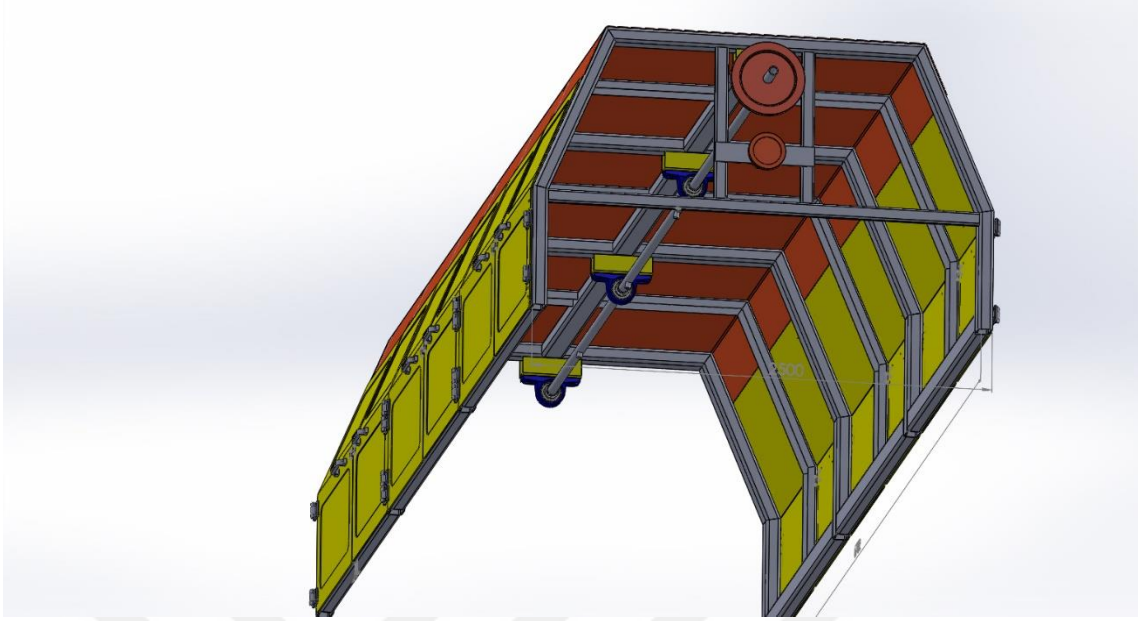
Yağış uygulamaları sonucunda tarlada artan nem simülatörün traktör tarafından taşınmasını engellememesi için iki adet geniş yüzeyli (balon teker) lastik kullanılması planlanmıştır.

Taşıyıcı tekerler bir taşıyıcı aks yardımıyla şaseye sabitlenecektir (Şekil 4.6.).



Şekil 4.6. Yağış simülatörü lastik tekeri ve yay sistemi

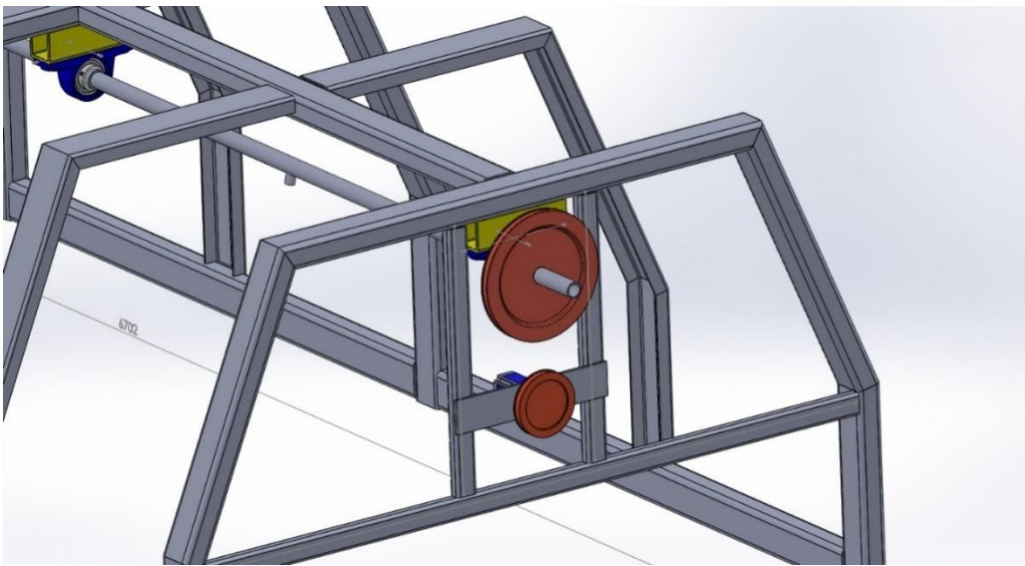
Merkezi salınımı sağlamak üzere 5cm iç çapında, 6.1 m uzunluğunda bir ana taşıma aksı üzerine VeeJeet 80100 damlatıcılar yerleştirilmiştir. Taşıma aksı 2 m genişlikteki parsel eni boyunca ileri ve geri salınım yapacak şekilde tasarlanmıştır. Üst şase ve bağlantı elemanları Şekil 4.7.' te verilmiştir. Ana taşıma aksı üzerine yerleştirilen VeeJeet 80100 damlatıcılar arası mesafe 1,52 m. açıklıklı planlanmıştır. Meme düzeneği tasarlanan sistemin ön kısmından başlamak üzere sırasıyla 1, 2, 3 ve 4 numaralı meme olarak adlandırılmış ve tüm püskürtme memeleri aynı çalışma basıncı altında aynı intensiteyi verecek şekilde tasarlanmıştır.



Şekil 4.7. Üst şase ve bağlantı elemanları

Bağlantı elemanları 7 adet çelik profilden oluşmuş ve taşıyıcı üst şaseye monte edilmiştir. Üst şaseye aynı zamanda memeleri taşıyan ana boru, 4 adet bağlantı rulmanları yardımıyla kontrollü salınım hareketi yapmak üzere monte edilmiştir (Şekil 4.7).

Şekil 4.8’ de görüldüğü gibi ana boru salınım hareketini bir kayış kasnak sistemi vasıtasıyla step motorundan almaktadır. Ana boru üzerine selenoid valf kumandalı 4 adet 80100 vejet püskürtme memesi yerleştirilmiştir.



Şekil 4.8. Step motoru ve kayış kasnak sistemi

Meme püskürtmesi yüzeyle 90 derece açı yaptığında en yüksek intensiteye sahip olduğu için, ana taşıma aksı, parsel ortasında daha hızlı, parsel kenarına doğru ise hareket hızı azaltılarak parsellerin eni boyunca püskürtmenin homojen dağılımda olacaktır. Böylelikle parsel genişliği boyunca varyasyon katsayısı minimize edilecektir.

Yağış intensitesi, parsel üzerinde memenin püskürtme zamanı yüzdesi ve merkezi salınım sistemiyle kontrol edilecektir. VeeJeet 80100 damlatıcılara su akışı üç yollu selonoid vana sistemiyle kontrol edilecektir. VeeJeet 80100 damlatıcılar 55 KPa basınçta 0,29 l/s debiyle su akışı sağlamaktadır. Yağış intensitesi her bir memenin parsel üzerinde kalış zamanı yüzdesi üzerinden hesaplanacaktır. Parsel üzerinde püskürtme yapacak bir memenin arzulanan bir yağış yoğunluğu için zaman yüzdesi, meme yağışına maruz alanın (2m X 1.52 m), istenen yoğunluk ile çarpımı ve 55 KPa basınçta VeeJeet 80100'ün 0.29 l/s değerine bölümüyle belirlenmiştir. Bu değer Paige ve arkadaşları (2003) tarafından parsel merkezinden kenarlarına doğru öngörülen heterojenliği yansıtacak şekilde hesaplanmış olup, değerler Çizelge 4.1'de verilmiştir.

Çizelge 4.1. VeeJeet 80100 püskürtme memesi yağış uygulama oranı, püskürtme süresi ve yağışsız geçiş süresi (Paige ve arkadaşları, 2003)

Uygulama Oranı, mm/h	Püskürtme Süresi*		Bekleme Süresi, s**	Toplam Süre, s
	%	s		
25	7,6	0,30	3,66	3,96
51	15,2	0,30	1,68	1,98
76	22,7	0,30	1,03	1,33
102	30,3	0,30	0,69	0,99
127	37,9	0,30	0,49	0,79
152	45,5	0,47	0,57	1,04
178	53,0	0,47	0,42	0,89

*Püskürtme süresi: Püskürtme memesinin parsel üzerine su uygulama süresi

**Bekleme süresi: Ana aksın su uygulaması yapmadan dinlenmeye geçme süresi

Merkezi aks, 2m genişlikteki yüzey akış parseli eni-boyunca ileri ve geri salınım yapmasını sağlayacak şekilde yüksek torklu bir motora kayış kasnak sistemiyle bağlanacaktır (Şekil 4.8). Parselin 6.1m uzunluğundaki uzun aksı arazi eğimine paralel olacak şekilde düzenlenecektir. Püskürtme memesi 2.44 m yükseklikten, 50°'lik süpürme açısıyla 2m genişlikteki yüzey akış parselini hedefleyecektir. Simülatörün yağmurlama ünitesinin parsel merkezinde daha hızlı ve parsel kenarlarına doğru daha yavaş hareket etmesi bir yazılım ile sağlanacak ana aks hareket hızındaki farklılık, parsel eni boyunca yağış yoğunluğunun benzer olmasını sağlayacaktır. 2m parsel genişliği için parselin ortasında hızlı geçiş, parsel sonuna doğru ise yavaşça hızlanmaya ihtiyaç duyulmaktadır. Bunu sağlayabilmek için gerekli bir yazılımla gezi noktaları kumanda edilecek ve step motora tek süpürmede ne hızda hızlanıp yavaşlaması gerektiği komutu iletilecektir. Bu yazılım düşük intensiteler için (25-120 mm/h) gecikme zamanını maksimize etmeli ve yüksek intensiteler için ise (130-180 mm/h) gecikme zamanını minimize etmelidir (Paige ve arkadaşları, 2003).

Parsel üzerinde salınım yaparken püskürtme memelerinin açılıp kapanmasını sağlayan ve püskürtmeyi düzenleyen üç yolluselonoid valfler her bir memeye eklenilecektir. Selenoid valfler biri giriş, biri bypass iki çıkışa sahip olacaktır. Sistem çalışma basıncının 55 KPa' da sabit tutabilmek için sisteme bir basınç sensörü yerleştirilecektir.

Sistemde üç farklı püskürtme konfigürasyonu öngörülmektedir. Birinci konfigürasyonda yüksek intensiteler için (76-180 mm/h) bir süpürmede her dört meme da açık durumda olacaktır. Gecikme zamanları Çizelge 4.1'e göre düzenlenecektir.

İkinci konfigürasyonda (64 mm/h), bir süpürmede ilk geçiş için birinci ve üçüncü püskürtme memeleri açık, ikinci geçişte ise ikinci ve dördüncü püskürtme memeleri açık olacaktır. Bu durumda 0,49 s' lik bir gecikme ya da 0,49 s parsel üzerine su püskürtülmemesi anlamına gelmektedir.

Üçüncü püskürtme kombinasyonunda ilk dört salınım için sırasıyla meme 3, meme 1, meme 4 ve meme 2 olmak üzere her salınımda tek meme açık olacak ve beşinci salınımda ise her 4 meme birlikte açıldığı tek püskürtme gerçekleştirilecektir.

Bu kombinasyonda salınım gecikme zamanı 1,5-0,40 s (13-51 mm/h) arasında değişecektir (Çizelge 4.2).

Çizelge 4.2. Düşük intensiteler için simülatörün uygulama oranları, bireysel püskürtme memesi gecikme zamanı ve ana aks salınım gecikme zamanı(Paige ve arkadaşları, 2003)

Uygulama Oranı, mm/h	P.Meme Gecikme Zamanı, s *	Salınım Gecikme Zamanı, s **	Toplam Zaman, s
13	4,20	1,50***	5,70
25	3,35	1,16***	4,51
38	2,07	0,65***	2,72
51	1,68	0,43	2,11
64	0,98	0,49	1,47
76	0,89	0,89	1,78

**Meme Gecikme Zamanı: Herbir memenin su uygulanmadan parsel üzerinde hareket etmesi suretiyle oluşan gecikme.

**Salınım Gecikme Zamanı: Ana aksın herbir süpürmede oluşturacağı gecikme.

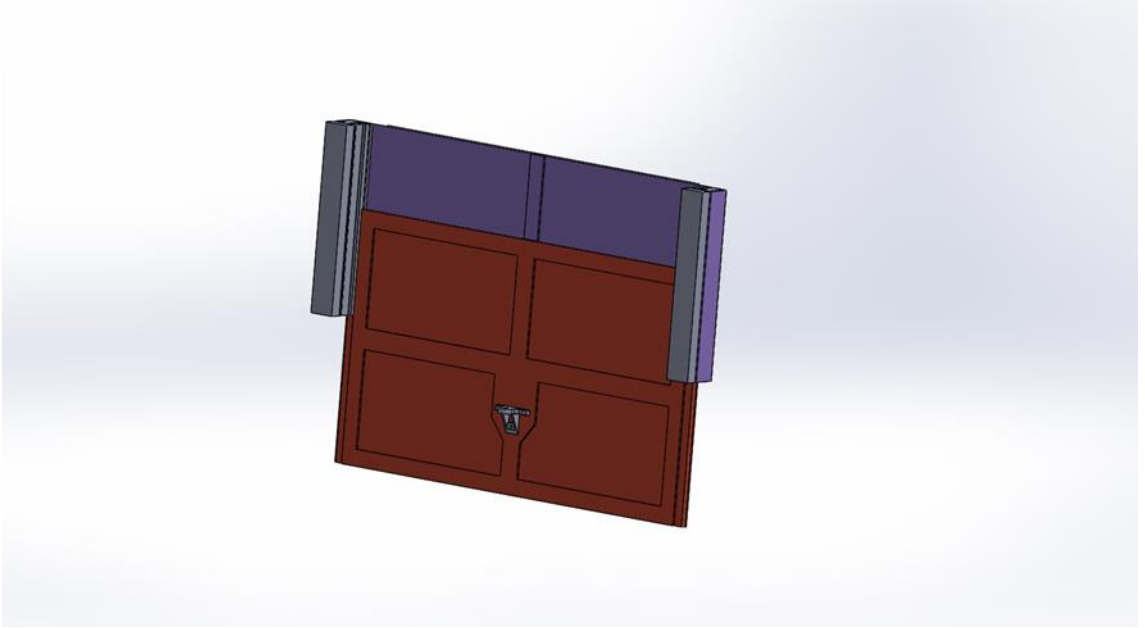
***Ortalama meme gecikme zamanı olup, beş salınımda herbir meme iki kez yağış yağdırır.

Yağış Simülatörünün su ihtiyacını azaltabilmek amacıyla püskürtülmeyen fazla su selonoid vana kontrolü sayesinde su tankına geri dönecektir. Sistemde su deposu olarak 2000 lt. kapasiteli fiberglas su tankı kullanılacaktır. Bir pompa vasıtasıyla ve 55 KPa sabit basınç sağlayacak şekilde yüzey akış parseline uygulanacak yağış için gerekli su püskürtme memelerine iletilecektir. Depoya su giriş noktasında memelerin tıkanmasını önleyici kaba aksam filtresi kullanılacaktır. Depoya su girişi, su kaynağının uzağındaki çalışmalar için, kısa hortumlu boruyla sağlanacaktır. Sistemin bir su kaynağına yakın noktada kullanılmaması durumunda ise çalışma anında sisteme su sağlayabilmek amacıyla 500 mt uzunluğunda bir hortumu monte edilecektir.

4.3. Ölçümleme Ünitesi Tasarımı

Tasarlanan bu simülatörün doğal yağışı mümkün olduğu kadar gerçeğe yakın benzetmesi öngörülmektedir. Yağdırılan yağışın doğal yağışa benzerliği bir yağışölçer (plüviograf) yardımıyla takip edilecektir. Plüviograf zamana bağlı olarak yağış miktarını anlık ve hassas olarak ölçecek düzeyde olmalıdır. Plüviograf sisteme monteli olacak şekilde yağış simülatörünün taşıma şasesi içerisinde ve yerden yüksekliği 1.5 m olacak şekilde dizayn edilmiştir.

Yağışa bağlı oluşacak yüzey akışın parsel dışına çıkmasının önlenmesi gerekmektedir. Bu amaçla 2000x 1200 mm boyutunda yedi adet kalın saçtan mamül ve hidrolikli bir sistemle toprağa çakılabilen hareketli kapak sistemi geliştirilmiştir (Şekil 4.9).



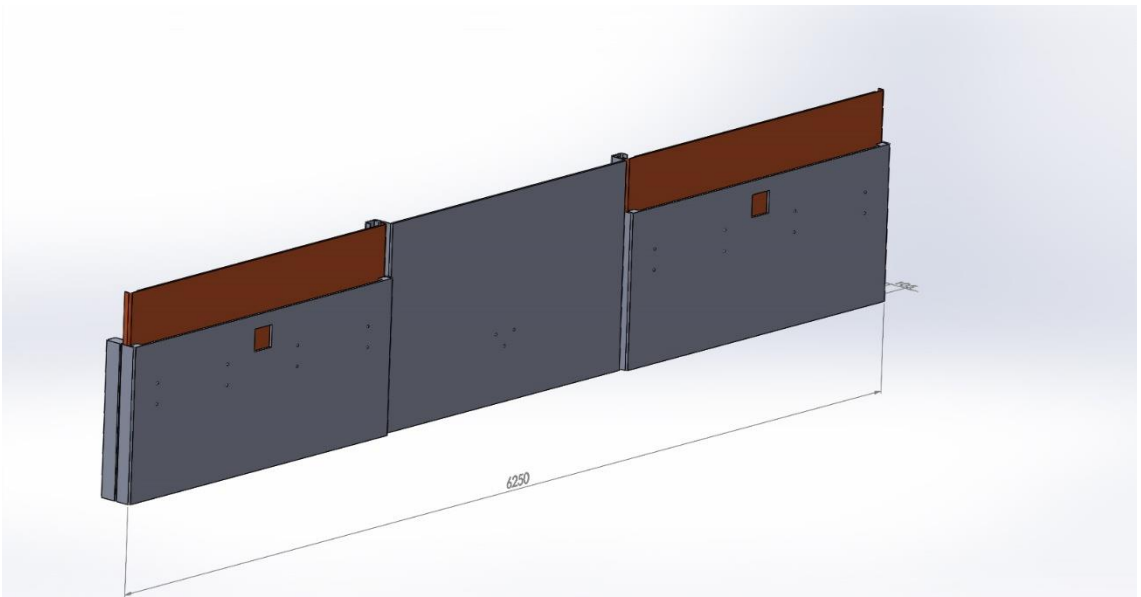
Şekil 4.9. Yüzey akış suyunun kaybını önleyen kapak dizaynı

Bu tasarım arazi çalışması esnasında sistem çalıştırıldığında verilecek komutla hidrolik piston yardımıyla kapakları kapalı konuma geçirerek, yüzey akış suyunun parsel dışına çıkışına engel olacaktır. Hidrolik piston hareketli kapakları 3500 kg güçle toprağa çakmak üzere dizayn edilmiş ve tasarımı Şekil 4.10'de verilmiştir.



Şekil 4.10. Hareketli kapağı yönlendiren hidrolik piston

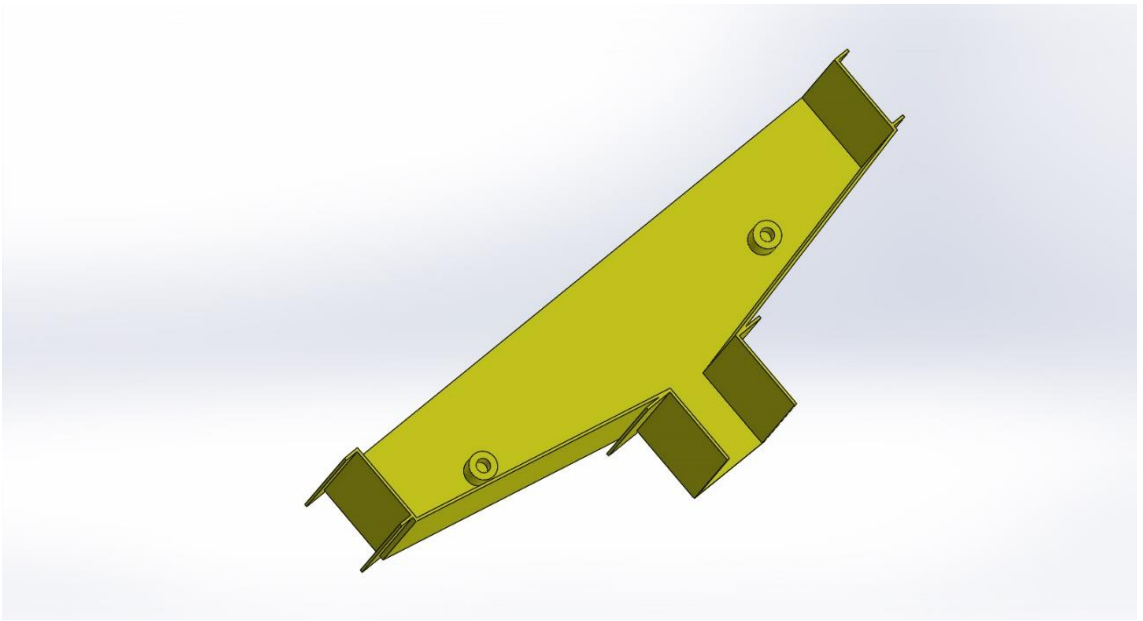
Hareketli kapaklar yüzey akış parselinin üç tarafını emniyetli bir şekilde kapatarak oluşacak yüzey akışı üçgen saç önlüğe (şekil 4.12) yönlendirecektir. Hareketli kapaklar yüzey akış parselinin uzun kenarları için (6 m uzunluk) üçer adet, kısa kenar (2 m) için bir adet olmak üzere toplam yedi adet tasarlanmıştır. Parselin bir ucu yüzey akış ölçümlerinin yapılabilmesi için saç üçgen önlükle açık bırakılmıştır. Parselin uzun kenarına ait bir sıra hareketli kapak tasarımı Şekil 4.11’de verilmiştir.



Şekil 4.11. Yüzey akış parseli uzun kenar üçlü hareketli kapak grubu

Saç levhalar sığ arazide 10 cm, derin topraklarda ise 20 cm, toprak içine hidrolik güçle gömülecektir. Çalışma tamamlandığında saç levhalar Yağış Simülatörü tarafından haznesine geri yerleşecektir.

Toprak kayıplarını doğru bir şekilde belirleyebilmek için yüzey akışın parsel dışına çıkmadan üçgen önlüğe ulaşması gerekir (Şekil 4.12).



Şekil 4.12. Parsel çıkışı üçgen önlük

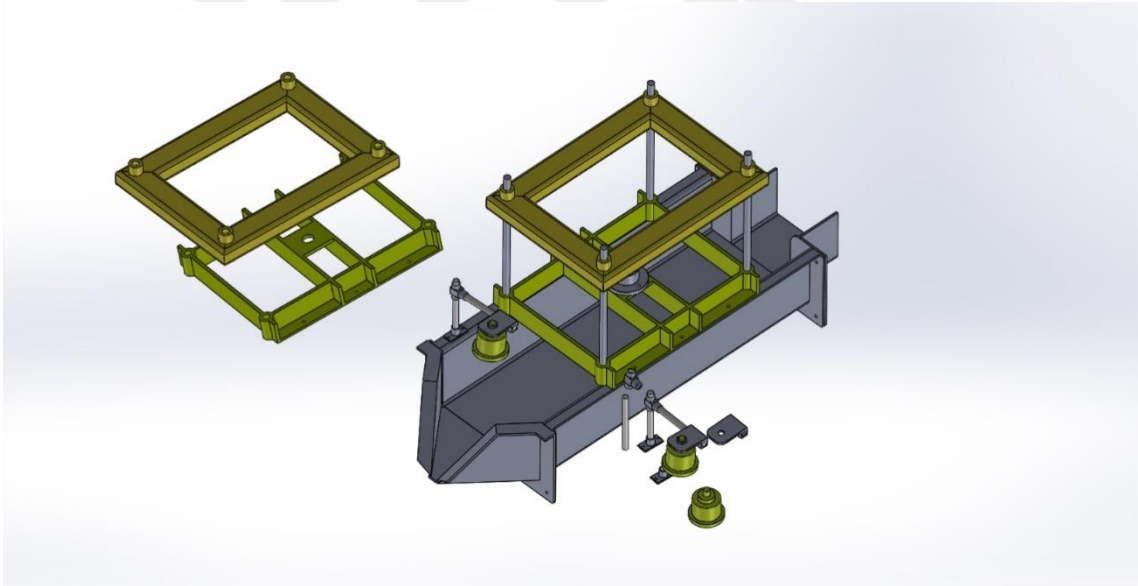
Yağışın infiltrasyonu aştığı noktada yüzey akış başlamaktadır. Dolayısıyla yüzey akış ile toprak nem içeriği arasında doğrusal ilişki bulunmaktadır. Bu ilişkiyi takip etmek için toprağın nem içeriği üç derinlikli nem sensörüyle anlık olarak takip edilecektir. Nem sensörleri, yüzey akış uygulaması yapılacak parsele ait toprak derinliği dikkate alınarak 0-10; 10-30 ve 30-50 cm veya arzulanan herhangi üç farklı derinliğe uygulanabilir olarak sisteme entegre edilecektir.

Simüle yağışlara bağlı olarak oluşacak akımlar otomatik olarak izlenecektir. Bu amaçla 0.5 foot kapasitede H-Flume savak ve bu savağa bir limnigraf sabitlenecektir.

(Şekil 4.13)

Bu yüzey akış ölçme sistemi alt şaseye hidrolik hareketli bir sistemle bağlanacaktır. Simülasyon yol durumundayken römork hareketini engellemeyecek kadar hidrolik sistemle yukarı kaldırılacaktır. Ancak yağış simülasyonu esnasında oluşacak yüzey akışı anlık olarak belirleyecek şekilde arazi yüzeyine üçgen önlük entegre biçimde indirilecektir.

H-Flume savağa bağlı olarak çalışacak hassas bir elektronik limnigraf yardımıyla anlık su yüksekliği zamana bağlı olarak kaydedilecektir. Savağın akım anahtar eğrisinden yararlanılarak ölçülen su yüksekliği debi (l/s olarak) ve yüzey akış değerlerine (mm) çevrilecektir. Çalışmada kullanılacak savak Şekil.4.13’de verilmiştir. Yüzey akış parseli ile savak arasında üçgen önlük olacak şekilde bir tasarım yapılmış, üçgen önlükte toplanan yüzeyakış suyu savağa yönlendirilmesi planlanmıştır.



Şekil 4.13.Limnigraf monteli H-Flume savak

4.4. Kontrol Ünitesi Tasarımı

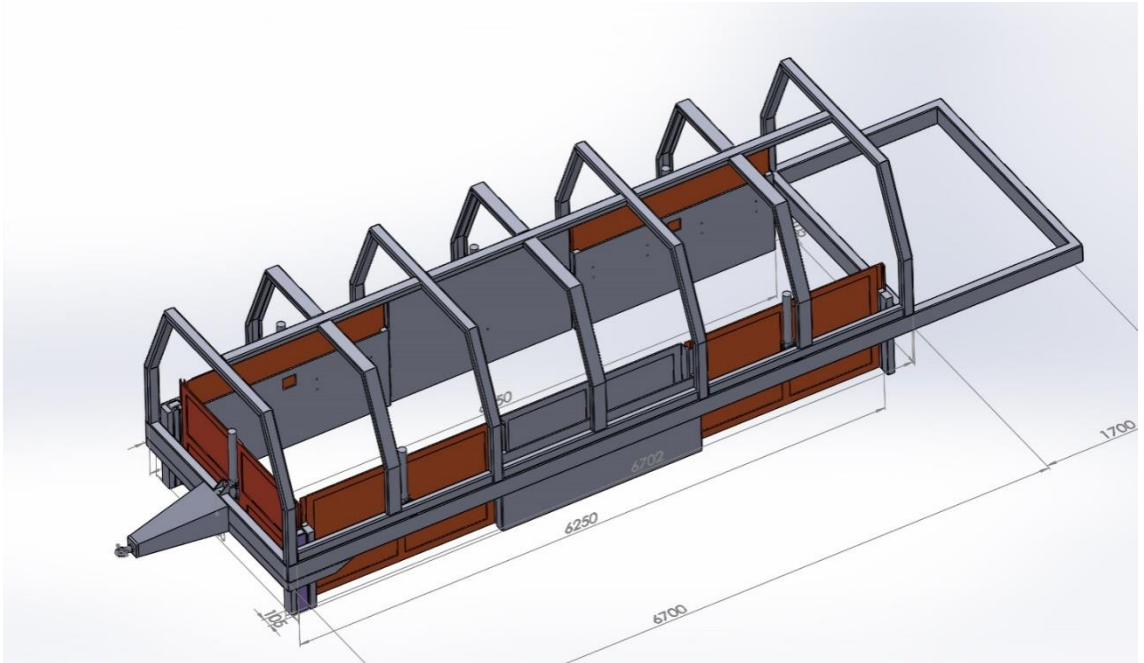
Son derece ileri elektronik hareket sistemlerini içeren tasarımın kontrolü en az mekanik aksamı kadar önem arz etmektedir. Doğal yağış ancak doğru biçimde yapılacak simülasyonlarla taklit edilebilir. Sistem başarısı için simülasyon tasarımı kadar onun doğru şekilde kontrolü ve verilerinin bir arada anlık depolanması çok önemlidir. Bu

nedence simülasyona bağlı olarak oluşan su kayıplarının hassas olarak algılanması ve anlık takibi gereklidir.

Dizayn edilen tasarımda yağışın kontrol edilmesi, oluşacak yüzey akışın takibi, toprak nem içeriğinin takibi ve elde edilen verileri kaydedebilen yazılım ve bir sistem oluşturulacaktır.

Kontrol sistemi, çalışma öncesi yağdırılacak yağışın özellikleri; yağış başlama süresi, farklı zamanlardaki farklı yağış miktarları, yağışın toplam süresi gibi teknik bilgilerin girişine uygun olacaktır. Yazılım selenoid vanalara ve bağlı bulunduğu püskürtme memelerine kumanda edebilecektir. Ana aks salınımı, püskürtme süresi ve gecikme zamanlarını kusursuz bir şekilde uygulayabilecektir. Yazılım basit hesaplamaları otomatik olarak yapabilecek ve depoda mevcut su düzeyi v.s gibi bilgileri bir bilgi ekranı vasıtasıyla anlık olarak kullanıcının hizmetine sunacaktır.

Tasarım yağış simülatörünün kapak sistemi ve üst şasenin alt şaseye monteli hali şekil 4.14.'de verilmiştir.



şekil 4.14. Kapak sistemi ve üst şasenin alt şaseye monteli hali

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Çölleşme ve toprak bozulması süreçlerini yaşamakta olan günümüz dünyasında hızlı, doğru ve bilimsel normlara uygun çalışmalar, etkili önlemler almak için son derece gereklidir. Doğal yağışın öngörülemeyen belirsizliği bu konuda çalışma yapan bilim insanlarının önünde en büyük engellerden biridir. Tasarımını yapmış olduğumuz bu similatör toprak su koruma, hidroloji, toprak kirliliği, gübre yıkanması, kabuk bağlama ve sulama gibi çok değişik sahalarda çalışacaklara önemli kolaylıklar getirecektir. Tasarımın uygulanması halinde ülkesel ve küresel düzeyde yağış simülasyonları kolay, hızlı ve güvenilir olarak yapılabilecektir.

Sistem bir traktör vasıtasıyla uygulama alanına çok kolaylıkla ulaştırılabilecek şekilde tasarlanmıştır. Uygulama alanına ulaştığında ön bir kurulum ihtiyacı duyulmaksızın kısa sürede yapay yağış uygulayabilecek şekilde tasarlanmıştır.

Mekanik ve hidrolik sistemler vasıtasıyla yapay yağışa bağlı olarak oluşan yüzey akış sistem içerisinde kontrol edilebilmektedir. Birçok simülatörde yüzey akış sularını parsel içinde tutabilmek için gerekli toprak/metal sedde ihtiyacı, sunulan bu tasarımda gerekli değildir. Böylelikle simülasyon öncesi para ve emek harcanmasına yol açan ve işçilik gerektiren yüzey akış parseli oluşturulmasına gerek duyulmamaktadır.

Oluşacak yüzey akış sularını ölçmek için deneyimli personel ihtiyacı gerektirmeyecek şekilde, sistem otomatikleştirilmiştir. Zira anlık yüzey akışı, bir savak ve bu savağa bağlı limnigrafla ölçülerek kaydedebilmektedir.

Püskürtme memelerinin hareketi ve anlık su uygulamaları bir yazılım aracılığıyla tamamen otomatik gerçekleştirilecek şekilde dizayn edilmiştir. Bu durum insan hatası kaynaklı sorunları bertaraf etmiştir.

Sonuç olarak tasarlanan bu yağış simülatörü deneyimli bir personel tarafından hassas biçimde kullanılabilir, kontrol edilebilir ve elde edilen veriler depolanabilir. Tasarım zaman, emek ve maliyet bakımından oldukça yenilikçidir.

Ülkemizde yağış simülatörleri ile çalışan araştırmacılar sayı olarak son derece azdır. Bunun başlıca nedeni standart ve erişilebilir bir ürünün şimdiye kadar kullanıcılara sunulmamış olmasıdır. Tarafımızdan geliştirilen bu tasarımın gerçekleştirilmesi ve test ve kontrollerinin yapılması, bu sahada yapılan çalışmalara yeni bir boyut, bakış ve hız getirecektir.



6. KAYNAKLAR

- Abudi, I., Carmi, G., Berliner, P. 2012. Rainfall simulator for field runoff studies. *Journal of Hydrology* 454–455, 76–81.
- Aksoy, H., Unal, N.E., Cokgor, S., Gedikli, A., Yoon, J., Koca, K., Inci, S.B., Eris, E., 2012. A rainfall simulator for laboratory-scale assessment of rainfall–runoff–sediment transport processes over a two-dimensional flume. *Catena* 98, 63–72.
- Boulangé, J., Malhat, F., Jaikaew, P., Nanko, K., Watanabe, H. 2019. Portable rainfall simulator for plot-scale investigation of rainfall–runoff, and transport of sediment and pollutants. *International Journal of Sediment Research* 34: 38–47.
- Corona, R., Wilson, T., D’Adderio, L.P., Porcu, F., Montaldo, N., Albertson, J. 2013. On the estimation of surface runoff through a new plot-scale rainfall simulator in Sardinia, Italy. *Procedia Environmental Sciences*, 19:875–884.
- Esteves, M., Planchon, O., Lapetite, J.M., Silvera, N., Cadet, P., 2000. The ‘EMIRE’ large rainfall simulator: design and field testing. *Earth Surf. Process. Landf.* 25, 681–690.
- Hamed, Y., Albergel, J., Pepin, Y., Asseline, J., Nasri, S., Zante, P., Berndtsson, R., El-Niazy, M., Balah, M., 2002. Comparison between rainfall simulator erosion and observed reservoir sedimentation in an erosion-sensitive semiarid catchment. *Catena* 50 (1), 1–16.
- Hignett, C.T., Gusli, S., Cass, A., Besz, W., 1995. An automated laboratory rainfall simulation system with controlled rainfall intensity, rain drop energy and soil drainage. *Soil Technol.* 8, 31–42.
- Hudson, N. W., 1993. Field measurement of soil erosion and runoff. *FAO Soils Bulletin* No:68, England.
- Paige, G. B. , Stone, J. J. , Smith, J. R. , Kennedy, J. R. ,2003. The Walnut Gulch Rainfall Simulator: A Computer-Controlled Variable Intensity Rainfall Simulator. *Applied Engineering in Agriculture*, Vol. 20(1): 25-31, American Society of Agricultural Engineers.
- Iserloh, T., Ries, J.B., Arnaez, J., Boix-Fayos, C., Butzen, V., Cerda, A., Echeverria, M.T., Fernandez-Galvez, J., Fister, W., Geissler, C., Gomez, J.A., Gomez-Macpherson, H., Kuhn, N.J., Lazaro, R., Leon, F.J., Martinez-Mena, M., Martinez-Murillo, J.F., Marzen, M., Mingorance, M.D., Ortigosa, L., Peters, P., Reguees, D., Ruiz-Sinoga, J.D., Scholten, T., Seeger, M., Sole-Benet, A., Wengel, R., Wirtz, S., 2013. European small portable rainfall simulators: a comparison of rainfall characteristics. *Catena* 110, 100–112.
- Kato, H., Onda, Y., Tanaka, Y., Asano, M., 2009. Field measurement of infiltration rate using an oscillating nozzle rainfall simulator in the cold, semiarid grassland of Mongolia. *Catena* 76 (3), 173–181.
- Mayerhofer, C., Meißl, G., Klebinder, K., Kohl, B., Markart, G. 2017. Comparison of the results of a small-plot and a large-plot rainfall simulator –Effects of land use and land cover on surface runoff in Alpine catchments, *Catena* 156: 184–196.
- Meyer, L. D. 1958. An investigation of methods for simulating rainfall on standard runoff plots and a study of the drop size, velocity and kinetic energy of selected spray nozzles. *USDA-ARS, Eastern Soil and Water Management*

- Research Branch in cooperation with Purdue University Agricultural Experiment Station, Lafayette, Ind.
- Meyer, L. D., and D. L. McCune. 1958. Rainfall simulator for runoff plots. *Agricultural Engineering* 39(10): 644-648.
- Mhaske, S.N., Pathak, K., Basak, A. 2019. A comprehensive design of rainfall simulator for the assessment of soil erosion in the laboratory. A comprehensive design of rainfall simulator for the assessment of soil erosion in the laboratory. *Catena* 172: 408–420.
- Norton, L. D. 1998. Personal communication. L. D. Norton is a Supervisory Soil Scientist at the USDA-ARS National Soil Erosion Research Laboratory and developer of the Norton Ladder Simulator.
- Pe´rez-Latorre, F.J., Castro, L., Delgado, A. 2010. A comparison of two variable intensity rainfall simulators for runoff studies. *Soil-Tillage Research* 107: 11–16.
- Lora, M. Camporese, M., Salandin, P. 2016. Design and performance of a nozzle-type rainfall simulator for landslides triggering experiments. *Catena* 140 (2016) 77–89.
- Hignett, C.T., Gusli, S., Cass, A., Besz, W., 1995. An automated laboratory rainfall simulation system with controlled rainfall intensity, rain drop energy and soil drainage. *Soil Technol.* 8, 31–42.
- Pe´rez-Latorre, F.J., Castro, L., Delgado, A. 2010. A comparison of two variable intensity rainfall simulators for runoff studies. *Soil-Tillage Research* 107: 11–16.
- Taysun, A., 1985. Doğal ve yapma yağışın karşılaştırılması yağış benzeştiriciler ve damla düşme hızı tayin aletleri. Menemen Bölge TOPRAKSU Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü Yayınları, Genel Yayın No: 119, Teknik Yayın No: 13, Menemen.
- Tossell, R.W., Dickinson, W.T., Rudra, R.P., Wall, G.J., 1987. A portable rainfall simulator. *Can. Agric. Eng.* 29, 155–162.

7. ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı : Ayhan Hüsnu GÜMÜŞ
Doğum Yeri ve Yılı : Tokat / 1965
Yabancı Dili : İngilizce
Medeni Hali : Bekar
T.C. Kimlik No : 53353037346
Telefon No : (555) 101 60 60
E-Mail : ayhantr2003@gmail.com

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Ön Lisans	Cumhuriyet Üniversitesi Meslek Yüksek Okulu Motor Bölümü	1983
Lisans	Yıldız Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği	1990