ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DOKTORA TEZİ

Orhan Erdal AKAY

KAHRAMANMARAŞ KIRMIZI BİBERİNİN HASADINDA YÖRÜNGE ESASLI PROTOTİP BİR MAKİNENİN GELİŞTİRİLMESİ

TARIM MAKİNELERİ ANABİLİM DALI

ADANA, 2009

ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KAHRAMANMARAŞ KIRMIZI BİBERİNİN HASADINDA YÖRÜNGE ESASLI PROTOTİP BİR MAKİNENİN GELİŞTİRİLMESİ

Orhan Erdal AKAY

DOKTORA TEZİ

TARIM MAKİNELERİ ANABİLİM DALI

Bu tez 19/06/2009 Tarihinde Aşağıdaki Jüri Üyeleri Tarafından Oybirliği İle Kabul Edilmiştir.

İmza.....……	İmza.....… …..	İmza.....…….
Prof. Dr. M. Tunç ÖZCAN	Prof. Dr. Emin GÜZEL	Prof. Dr. İbrahim D. AKÇALI
DANIŞMAN	ÜYE	ÜYE
İmza.....……	İmza.....…. …..	
Yrd. Doç. Dr. Ahmet İNCE	Yrd. Doç. Dr. K. Kubilay VURSAVUŞ.....	
ÜYE	ÜYE	

Bu tez Enstitümüz Tarım Makineleri Anabilim Dalında hazırlanmıştır.

Kod No:

Prof. Dr. Aziz ERTUNÇ

Enstitü Müdürü

Bu çalışma Ç.Ü. Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından desteklenmiştir.

Proje No: ZF2005D2

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

ÖZ

DOKTORA TEZİ

KAHRAMANMARAŞ KIRMIZI BİBERİNİN HASADINDA YÖRÜNGE ESASLI PROTOTİP BİR MAKİNENİN GELİŞTİRİLMESİ

Orhan Erdal AKAY

ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
TARIM MAKİNELERİ ANA BİLİM DALI

Danışman **:** Prof. Dr. Tunç ÖZCAN
Yıl **:** 2009 **Sayfa:** 89
Jüri **:** Prof. Dr. Tunç ÖZCAN
Prof. Dr. Emin GÜZEL
Prof. Dr. İbrahim Deniz AKÇALI
Yrd. Doç. Dr. Ahmet İNCE
Yrd. Doç. Dr. Kubilay Kazım VURSAVUŞ

.

Bu doktora çalışmasında, ülkemize özgü bir ürün olan K.Maraş kırmızı biberinin sıyırıcı elemanlarla hasat olanakları araştırılmıştır. Çalışma teorik ve uygulamalı olarak iki aşamada gerçekleştirilmiştir. Teorik çalışmada, hasat için sıyırıcı taraklarla donatılmış dört kol mekanizması seçilmiştir. Bu mekanizmanın hareket simülasyonlarını inceleyerek ön boyutlandırmasını yapabilmek için bir program yazılmıştır. Yapılan literatür araştırmalarında incelenen mekanizmanın hasat amaçlı kullanımına rastlanmamıştır. Uygulama çalışmalarında iki adet biber hasat makinesi ön modeli yapılmış ve tarla şartlarında denenmiştir. Yeni hasat mekanizmasının, biber ve sebze hasat mekanizasyonu konusunda yapılacak yeni çalışmalara katkı sağlayacağı umulmaktadır.

Anahtar Kelimeler: K.Maraş kırmızı biberi, dört kol mekanizması, sıyırıcı tarak, mekanizma simülasyonu, hasat mekanizasyonu.

ABSTRACT

PhD THESIS

DEVELOPMENT PROTOTYPE MACHINE BASED ORBIT AT HARVESTING OF K.MARAŞ RED CHILLI PEPPER

Orhan Erdal AKAY

DEPARTMENT OF AGRICULTURAL MACHINERY
INSTITUTE OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES
UNIVERSITY OF ÇUKUROVA

Supervisor : Prof. Dr. Tunç ÖZCAN
Year : 2009, **Pages:** 89
Jury : Prof. Dr. Tunç ÖZCAN
Prof. Dr. Emin GÜZEL
Prof. Dr. İbrahim Deniz AKÇALI
Assist. Prof. Dr. Ahmet İNCE
Assist. Prof. Dr. Kubilay Kazım VURSAVUŞ

In this Ph.D. study, the red chilli pepper of K.Maraş which is a product of our country had been researched the harvest possibility with stripper apparatus.This study had been realized at two levels, practise and theory. In theory study had been selected four bar linkages mechanism providing with strippers for harvesting.One software was written to do pre-dimension investigating motion simulations of this mechanism.In literature researches it had not been met the usage of mechanism for harvesting. In practise studies, prptotype of two harvesting machines had been done and tried in field conditions. It has hoped that this new harvesting mechanism will offer a solution about pepper and vegetable harvesting.

KeyWords : Red chilli pepper, four bar linkages, strippers, mechanism simulation, mechanical harvest.

TEŞEKKÜR

Doktora tezimin yürütülmesi esnasında, çalışmama yön veren danışman hocam Sayın Prof. Dr. Tunç ÖZCAN'a, tez izleme komitesinde bana değerli katkılarda bulunan Sayın Prof Dr. Emin GÜZEL ve Prof. Dr. İbrahim Deniz AKÇALI'ya, doktora çalışması için beni teşvik eden Sayın Prof. Dr. A. Nazım ULUOCAK'a, tez jürisinde çalışmama katkı veren Sayın Yrd. Doç. Dr. K. Kubilay VURSAVUŞ'a ve Yrd. Doç.Dr. Ahmet İNCE'ye, her konuda yardım ve desteklerini esirgemeyen Sayın Yrd. Doç. Dr. Selçuk UĞURLUAY'a, denemelerimde verdiği destekten dolayı K.Maraş Tarımsal Araştırma Enstitüsüne teşekkür ederim.

Beni her zaman destekleyen eşim ve kızıma şükranlarımı sunarım.

İÇİNDEKİLER **SAYFA**

ÖZ……..…….…….……I
ABSTRACT……..…….……II
TEŞEKKÜR……..……III
İÇİNDEKİLER…….……...IV
ÇİZELGELER DİZİNİ……..…….VI
ŞEKİLLER DİZİNİ …….…….....……...VIII
1.GİRİŞ…….…….……..1
1.1. Biber Üretimi……...3
1.1.1. Türkiye'de Yetiştirilen Biber Çeşitlerinden Başlıcaları…….5
1.1.2. İklim ve Toprak İstekleri……8
1.1.3. Yetiştirme Tekniği……..…8
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALA.....…….9
2.1. Çeşitli Hasat Uygulamalarında Sıyırıcı Elemanların Gelişimi…..…….....9
2.2. Biber Hasat Sistemleri…….…….……...11
2.2.1. Miller Üzerine Yerleştirilmiş Hasat Sistemleri…….……11
2.3. Dönel Bant Şeklinde Düzenlenmiş Biber Hasat Sistemleri……....13
2.4.Biber Hasat Mekanizmalarında Kullanılan Diğer Sistemler……...……18
2.5. Ürün Dışı Materyali Ayırmak İçin Yapılan Çalışmalar……..18
2.6. Ticari Olarak Üretilen Biber Hasat Makineleri……...19
3. MATERYAL VE METOD……..21
3.1. Materyal…….21
3.1.1. Biyolojik Materyal……...21
3.1.2. Deneysel Sıyırıcı Hasat Düzeneği…..…....……22
3.1.3. Kinematik Simülasyon Programları……..……..23
3.1.4. Prototip Hasat Makinesi……..……25
3.2. Metod……28
3.2.2. Deneysel Sıyırıcı Hasat Düzeneği……28
3.2.3. Hasat Mekanizmasının Belirlenmesi……29
3.2.4. Hasat Mekanizması Hareket Yörüngesi Simülasyon Programı....30
3.2.5. Biber Hasat Makinesi Prototipleri……35

4. BULGULAR ve TARTIŞMA……..…….36
4.1. Bitki ve Meyve Özelliklerinin incelenmesi……..…….36
4.2. Deneysel Hasat Düzeneği Çalışması…….……39
4.3. Sıyırıcı Tarak Hareket Yörüngesi ve Tahrik Mekanizmasının Saptanması…….……..…...…….…….……..43
4.4. Prototip Biber Hasat Makineleri ve Hasat Denemeleri…….…45
4.4.1. Birinci Prototip Biber Hasat Makinesi ve Hasat Denemesi…...45
4.4.2. İkinci Prototip ve Birinci Hasat Denemesi……48
4.4.3. İkinci Prototip İkinci Hasat Denemesi……53
4.5. Hasat Mekanizmasının Konum-Hız Analizleri ve Mekanizmanın Sentezi……..……..54
4.5.1. MP Uzvu (Sıyırıcı Tarak) Konum Analizi……..58
4.5.2. MP Uzvu Hız Analizi……..60
4.5.3. Tarak Hareket Yörüngesine Göre Mekanizmanın Boyutsal Sentezi…….66
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER…….70
KAYNAKLAR.....73
ÖZGEÇMİŞ…….76
EKLER…….77

ÇİZELGELER DİZİNİ **SAYFA**

Çizelge 1.1. Başlıca biber üreticisi ülkelerin üretim istatistikleri……...4

Çizelge 2.1. Hasat denemesi sonuçları……..14

Çizelge 2.2. Hasat çalışmaları sonuçları……....15

Çizelge 2.3. Hasat çalışmaları sonuçları……17

Çizelge 4.1. Biber bitkisi üzerinde yapılan boyutsal ölçümler…….....38

Çizelge 4.2. K.Maraş kırmızı biberi meyvelerinin fiziksel ve boyutsal özellikleri…38

Çizelge 4.3. Biber meyvelerini direkt çekerek elde edilen kopartma kuvvetleri…...39

Çizelge 4.4. Hasat sonuçlarının tarak aralığı, hasat edilen ürün yüzdesi ve hasat edilen ürün dışı materyal yüzdesi yönünden değerlendirilmesi...42

Çizelge 4.5. Tarak malzemesinin, malzeme özellikleri ve boyutsal özellikler açısından irdelenmesi……...43

Çizelge 4.6. Tarak dönüş hızı ve traktör ilerleme hızına göre hasat denemesi sonuçları……53

Çizelge 4.7. BC uzvu salınım açısının zamana göre değişimi……56

Çizelge 4.8. İletim açısının (μ) zamana bağlı değişimi……..57

Çizelge 4.9. MP uzvu uç noktası (P) ve ağırlık merkezinin x ve y koordinatlarının MP uzvu dönüş açısının (Ømp) zamana göre değişimi……..59

Çizelge 4.10. Tarak uç noktasının (P), y ve z eksenleri üzerinde zamana bağlı konum, ilerleme açısı ve hız değişimleri……62

Çizelge 4.11.Tarağın, bitkiyle temasta olduğu zaman aralığında, tarak ağırlık merkezinin, x ve y eksenlerindeki hızları, bileşke hız ve yatayla yaptığı açı……..64

Çizelge 4.12. MP uzvu, P noktası ve ağırlık merkezi noktasının, x ve y koordinatları doğrultusundaki hızlarının (Vpx, Vpy, Vmpx, Vmpy) zamana göre değişimi……...65

ŞEKİLLER DİZİNİ **SAYFA**

Şekil 1.1. Dünya genelinde üretilen biber çeşitlerinden örnekler…….1
Şekil 1.2. Elle yapılan biber hasadından bir kesit…….2
Şekil 1.3. Kahramanmaraş kırmızı biberi……..3
Şekil 1.4. Sivri biberler……..5
Şekil 1.5. Çarliston biberler……...6
Şekil 1.6. İri kırmızı biberler……..6
Şekil 1.7. Dolmalık biberler……...7
Şekil 1.8. Domates biberi……...7
Şekil 1.9. K.Maraş Tarımsal Araştırma Enstitüsü'ne ait bir biber tarlası……..8
Şekil 2.1. M.S. 70'li yıllarda, sıyırıcı parmak yardımıyla tahıl tanelerinin sıyrılması…….……...9
Şekil 2.2. Tahıl hasatı için kullanılan bir sıyırıcı sistemin çalışma prensibi……....10
Şekil 2.3. Bezelye hasat makinesinin çalışma prensibi……10
Şekil 2.4. Helis biber hasat düzeneği..……....11
Şekil 2.5. Esnek çubukların spiral düzende yerleştirildiği biber hasat sistemi……12
Şekil 2.6. Biber hasadı için düzenlenmiş, ikili silindirik fırçalar kullanılan biber hasat makinesinin prensip şeması…….…13
Şekil 2.7. Prototip biber hasat makinesi tarla denemesi……..14
Şekil 2.8. Deneysel sıyırıcı hasat düzeneği ve makine ile hasat denemeleri……...15
Şekil 2.9. Biber meyvesi ve sıyırıcı ilişkisi……..16
Şekil 2.10. Biber hasat mekanizması çalışma prensibi……....16
Şekil 2.11. Deneysel biber hasat makinesi……...17
Şekil 2.12. Simetrik düzende çift krank mekanizması ile donatılmış deneysel biber hasat makinesi……....18
Şekil 2.13. McClendon firmasının geliştirdiği biber hasat makinesi tarla çalışmasında……...19
Şekil 2.14. Pikrite marka biber hasat makinesi……....20
Şekil 2.15. Boese firmasının ürettiği biber hasat makinesinin hasat düzeneği……20

Şekil 3.1. Deneme çalışması yapılan tarlalardan toplanan biber numuneleri…….21
Şekil 3.2. Tarla denemelerinde kullanılan deneysel sıyırıcı hasat düzeneği……..22
Şekil 3.3. Dört çubuk mekanizması ve sıyırıcı tarak uzuvları ve yerleşim açıları….23
Şekil 3.4. Dört çubuk mekanizması ve sıyırıcı tarak hareket simülasyon programının ana ekranının görüntüsü……24
Şekil 3.5. Working Model 8.0.1. programı ana ekranı……...25
Şekil 3.6. Birinci ve ikinci biber hasat mekanizmalarının çalışma prensip şemaları……..26
Şekil 3.7. Çift etkili hidrolik motorun çalışma karakteristiği…….26
Şekil 3.8. Tarla denemelerinde kullanılan biber hasat makinesi prototipleri…….27
Şekil 3.9. Dört çubuk mekanizması ve sıyırıcı tarak uzvu yerleşim açıları ve kullanılan geometrik izdüşümler……....30
Şekil 3.10. Hasat mekanizmasının hareket simülasyonunu yapan ve hareket yörüngelerini çizen programın algoritması……...32
Şekil 4.1. Yaprakları ve ince dalları temizlenmiş biber bitkisinde meyvelerin konumu……...36
Şekil 4.2. Yaprak ve meyveleri temizlenmiş biber bitkisi fide dikiminden sonra….37
Şekil 4.3. Bitki gövde yapısı ve sıyırıcı arasındaki etkileşim…….39
Şekil 4.4. Yapraklarından temizlenmiş biber bitkisi üzerinde deneysel sıyırıcı tarak düzeneği ile hasat denemesi……..40
Şekil 4.5. Deneysel sıyırıcı tarak düzeneği ile biber bitkisi üzerinde gerçekleştirilen hasat denemeleri……..……..41
Şekil 4.6. Dört çubuk mekanizmasının karşılıklı konumlandırılmış şekli……..44
Şekil 4.7. Boyutları saptanan ilk mekanizma ve hareket yörüngesi……...45
Şekil 4.8. Biber hasat makinesinin birinci prototipi……...46
Şekil 4.9. Hasat denemesi yapılan biber tarlası……..47
Şekil.4.10. Birinci biber hasat makinesi prototipi tarla çalışması……..48
Şekil 4.11. Simülasyon çalışmaları ile elde edilen yeni hasat yörüngesi……....49
Şekil 4.12. Tarakların karşılıklı çalışması durumunda, bitki konumuna göre M , MP merkez ve P noktalarının yörünge eğrileri…….50
Şekil 4.13. Hasat mekanizması (a) ve tarak yörüngesi (b)…….51

Şekil 4.14. Tarla denemesi için, traktöre bağlanmış ikinci prototip……...51
Şekil 4.15. Biber hasat makinesi ikinci prototipi ile tarla denemesi……...52
Şekil 4.16. İkinci prototip ile tarla denemesi....……..54
Şekil 4.17. Sıyırıcı tarakla donatılmış (MP) çubuk-sarkaç mekanizması
çalışma başlangıç pozisyonu…….55
Şekil 4.18. Dört çubuk mekanizmasının iletim açısının (μ)
Øab ve Øbc açılarına bağlı olarak gösterimi……....57
Şekil 4.19. MP uzvu, P noktası (a, b grafikleri) ve ağırlık merkezinin
(c ve d grafikleri), x ve y koordinatlarının (x_p, y_p, x_{mp}, y_{mp})
zamana göre değişimi……...58
Şekil 4.20. MP uzvu dönüş açısının ($Ø_{mp}$) zamana göre değişimi……..59
Şekil 4.21. Tarak P noktasının el alt pozisyondan en üst pozisyona ulaşana
kadar, yürüme hızına bağlı olarak pozisyon değişimi…….61
Şekil 4.22. P noktasının y-z eksenleri üzerindeki konum
vektörleri ve bitki eğilme açısı……..61
Şekil 4.23. Tarağın ağırlık merkezinde, x ve y eksenleri üzerindeki hız
vektörlerinin bileşkesinin açısal değişimi……....63
Şekil 4.24. MP uzvu, P noktası (a,b) ve ağırlık merkezinin (c,d), x ve y
koordinatları doğrultusundaki hızlarının (Vpx, Vpy, Vmpx, Vmpy)
zamana göre değişimi……...64
Şekil 4.25. Tarak uç noktasının (P) yörüngesi ve .OA-MP uzuvlarının
yörünge üzerinde yerleşimi……..67
Şekil 4.26. Yeni tarak pozisyonlarına göre, AB uzvunun üzerinde olduğu
varsayılan doğrular……..68
Şekil 4.27. AB uzvunun uzunluğuna göre 2, 3, 4, 5 doğrularına karşılık
gelen A noktalarından çizilen yaylar……69
Şekil 4.28. OC ve CB uzuvlarının çizim yoluyla saptanması…….69

1. GİRİŞ

Biber dünyanın çeşitli ülkelerinde açıkta ve örtü altında yetiştiriciliği yapılan, tüketici, üretici ve işleme endüstrisi açısından önemi olan bir kültür bitkisidir (Duman ve ark., 2002). Solanaceae familyasına giren tek veya çok yıllık olan bu otsu bitkiler dünyanın sıcak ve ılıman iklimlerinde yetiştirilmektedir. Biberin anavatanı tropik Amerika'dır. Kuzey ve Güney Amerika ülkelerinden Meksika, Şili ve Peru'da 2000 yıldan bu yana üretimi yapılmaktadır. Amerika'nın keşfinden önce diğer kıtalarda biber bilinmezken, yakıcı ufak biberler Kristof Colomb tarafından Avrupa'ya getirilmiş ve popüler olmuştur. Biber İspanya'ya 1493'te, İngiltere'ye 1548'de, Orta Avrupa'ya 1585'te girmiştir. 17'ci yüzyılda Portekiz'liler tarafından Güneydoğu Asya'ya götürülmüştür (Şeniz., 1992). Osmanlı İmparatorluğu döneminde 16. yüzyılda biber ilk olarak İstanbul'a getirilmiş buradan diğer bölgelerimize yayılmıştır (Vural ve ark., 2000).

Biber bitkisi oldukça zengin bir çeşitliliğe ve dolayısıyla zengin fiziksel ve biyo-teknik özelliklere sahiptir (Şekil 1.1.). Bu özellikler makineli hasattan elde edilen sonuçlar üzerinde oldukça etkili olmakta ve tüm biber türleri için hasat yapabilecek tek bir makinenin gerçekleştirilmesini oldukça zorlaştırmaktadır (Salton ve Wilson, 2001).



Şekil 1.1. Dünya genelinde üretilen biber çeşitlerinden örnekler (Anonymus, 2009)

İlk deneysel biber hasat makineleri 1970'li yıllarda geliştirilmiştir. İlerleyen yıllarda yapılan çalışmalar sonucunda dünya üzerinde 20 farklı biber çeşidi için 230'dan fazla makine, 30 farklı hasat mekanizması denenmiştir. Biber hasat makinelerinin bir kısmı çekilir tipte bir kısmı da kendinden yürür tipte tasarlanmışlardır (Marshall ve Boese, 1998). Kullanılan hasat mekanizmalarından bir çoğu bitki, ürün özellikleri ve makine ayarlarına bağlı olarak kabul edilebilir sonuçlar vermişlerdir. Bu mekanizmaların kullanıldığı makinelerde, hasat edilen ürün yüzdesi genel olarak %70-90 aralığında gerçekleşmiştir. (Wolf ve Alper, 1984).

Ülkemizde sebze hasadı büyük bir oranda tarım işçileri tarafından yapılmaktadır. Mekanizasyon kullanılarak yapılan hasat tam ya da yarı mekanize sistemlerle yapılmaktadır. Oysa biber hasadı tamamıyla tarım işçileri tarafından elle toplama şeklinde gerçekleşmektedir (Şekil 1.2.).



Şekil 1.2. Elle yapılan biber hasadından bir kesit (Anonim, 2009a)

Tarım sektöründe, ürün maliyetleri içerisinde işçilik giderlerinin büyüme eğiliminde olması hasat mekanizasyonu konusunda gelişimi zorunlu kılmaktadır. Sofralık olarak tüketilen ürünlerin elle toplanması tercih edilse de, taze ürünlerin gittikçe artan oranlarda fabrikalarda işlenerek pazara sunulması (konserve,

dondurulmuş ürünler, baharat, meyve suyu, salça v.b.) hızlı hasat yaparak işleme merkezlerine ürünün sevk edilmesini önemli kılmaktadır.

Biber hasat mekanizasyonunun hiçbir şekilde kullanılmadığı ülkemizde bu alanda gerek bilimsel araştırma ve gerekse tarımsal mekanizasyon uygulamaları alanlarında önemli bir boşluk bulunmaktadır. Çalışmanın temel amacı bu boşluğun doldurulmasına katkıda bulunmaktır. Türkiye'de özel bir yeri olması nedeniyle K.Maraş kırmızı biberi çalışmada biyolojik materyal olarak seçilmiştir (Şekil 1.3.).



Şekil 1.3. Kahramanmaraş kırmızı biberi (Anonim, 2007)

1.1. Biber Üretimi

Dünyanın birçok bölgesinde yaygın olarak üretilen biberin 2004 yılı toplam üretimi 18.5 milyon tona ulaşmıştır. Türkiye 1.5 milyon tona yaklaşan biber üretimi ile dünyada üçüncü sırayı almaktadır. Çin 7.7 milyon tonluk üretimiyle birinci, Meksika 1.8 milyon tonluk üretimi ile ikinci sıradadır. Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü (FAO) resmi web sitesinden alınan, başlıca biber üreticisi ülkelerin üretim istatistikleri Çizelge 1.1'de verilmiştir (Anonymus, 2004).

Çizelge 1.1. Başlıca biber üreticisi ülkelerin üretim istatistikleri (Anonymus, 2004)

Üretici Ülkeler	**Üretim Miktarı (Ton)**
Çin	7.683.127
Meksika	1.813.252
Türkiye	1.390.000
İspanya	936.300
Nijerya	715.000
ABD	694.950

Türkiye'de biber çoğunlukla Akdeniz, Marmara ve Güneydoğu Anadolu bölgelerinde yetiştirilmektedir. Taze olarak tüketilmesinin yanı sıra, sanayi hammaddesi olarak başta konserve, salça, turşu, acı sos, işlenmiş et ürünleri için kullanılmaktadır (Duman ve ark. 2002). Türkiye İstatistik Kurumu (TUİK) resmi web sitesinden derlenen, Türkiye'de üretilen ana biber çeşitlerinin yıllar itibari ile üretim istatistikleri (1988–2007) Çizelge 1.2.'de verilmiştir (Anonim, 2009b).

Çizelge 1.2. Türkiye'de üretilen ana biber çeşitlerinin yıllar itibari ile üretim istatistikleri (Anonim, 2009b)

	Biber		
	Salçalık	**Dolmalık**	**Sivri**
1999	-	393.000	1.069.000
2000	-	390.000	1.090.000
2001	-	410.000	1.150.000
2002	-	410.000	1.340.000
2003	-	420.000	1.370.000
2004	615.000	375.000	710.000
2005	685.000	400.000	744.000
2006	673.981	392.617	775.577
2007	674.800	357.600	727.000

Türkiye'de Kahramanmaraş kırmızı biberinin özel bir yeri ve konumu vardır. Bu biber Kahramanmaraş'ın toprak ve iklim gibi ekolojik özellikleri sayesinde, çok iyi bir renk yanında, mükemmel bir tat, koku, aroma, acılık ve toplam kalitede iyi bir baharat ortaya çıkarmaktadır (Duman ve ark., 2002). Kahramanmaraş ilinde kırmızı biber üretimi yapan 62 adet işletme mevcuttur. Çevre köy ve kasabalarımızdaki işletme sayıları da eklendiğinde bu rakamın 200 civarında olduğu tahmin

edilmektedir. Bu işletmeler ortalama olarak yılda 18 bin ton kurutulmuş biber işlemektedirler. Bu üretim kapasitesi ile il Türkiye genelinde ihtiyacın %45'ini tek başına karşılamaktadır. Kahramanmaraş ilinde; Tarım Bakanlığı, TÜBİTAK ve Bölge Laboratuarlarında periyodik olarak yapılan testler sonucu aflatoksinsiz biber üreten ve bundan dolayı ihraç izni de almış biber tesisleri bulunmaktadır. Ancak işletmelerin büyük bir çoğunluğu alışılagelmiş yöntemlerle üretimine devam ettiğinden şu anda ülkemiz diğer ülkelerden gelen aflatoksinsiz kırmızı biber taleplerine yeterince cevap verememektedir (Anonim, 2005).

1.1.1. Türkiye'de Yetiştirilen Biber Çeşitlerinden Başlıcaları

Sivri biberler (Şekil 1.4.); bu grupta uzun, narin yapılı, genelde orta koyulukta yeşil renkli, ince duvarlı, genelde tatlı bazen acı biberlerle, daha koyu yeşil, daha kalın duvarlı, oldukça sert dokulu, daha kısa boylu, acı ve tatlı çeşitleri içeren uzun koyu yeşil biberler yer almaktadır (Anonim, 2004).



Şekil 1.4. Sivri biberler (Anonim, 2009c)

Çarliston biberler (Şekil 1.5.); sivri biberler grubunda yer almakla beraber daha iri, daha kalın duvarlı ve etli olduklarından ayrı bir grup teşkil etmektedirler. Sarı ve

yeşil renkli çeşitleri olduğu gibi lezzetleri de acı veya tatlı olmaktadır (Anonim, 2004).



Şekil 1.5. Çarliston biberler (Anonim, 2009c)

İri kırmızı biberler (Şekil 1.6.); uzun kırmızı renkli biberlerin bulunduğu gruptur. Özellikle acı olanlar daha ziyade kırmızı toz biber üretiminde ve aynı zamanda pastırma yapımında geniş ölçüde kullanılır. Bu grupta yer alan daha tatlımsı çeşitler ise çoğunlukla biber salçası yapımında ve evlerde özel şekilde hazırlanan turşu yapımında kullanılır (Anonim, 2004).



Şekil 1.6. İri kırmızı biberler (Anonim, 2009c)

Dolmalık biberler (Şekil 1.7.); yuvarlak iri biberler grubunu teşkil eden bu biberler sarı veya muhtelif tonda yeşil renklidirler. Renk, irilik ve duvar kalınlıkları oldukça değişiklik gösterir (Anonim, 2004).



Şekil 1.7. Dolmalık biberler (Anonim, 2009c)

Domates biberleri; şekli domatese benzediğinden bu isimle anılmaktadır (Şekil 1.8.). Kırmızı renkli, dolgun etli ve tatlı lezzetli olan bu biberler ülkemizde salça üretiminde kullanıldığı gibi içi doldurularak turşu halinde değerlendirilmektedir.



Şekil 1.8. Domates biberi (Anonim, 2009c)

1.1.2. İklim ve Toprak İstekleri

Biber ılık ve sıcak mevsim meyvesidir. Donlara karşı çok hassastır. Optimum sıcaklık isteği 18-26°C'dir. Biber bitkileri 15°C' nin altında ve 32°C' nin üzerindeki sıcaklıklarda zarar görür. 35 °C' nin üstündeki sıcaklıklarda bitki büyümesi ve gelişmesi çok yavaşlar. Yüksek sıcaklık acı biberlerde acılığı artıran bir faktördür. Gerek toprakta gerekse ortamda nemden hoşlanır. Toprakta devamlı %60-70 nem bulunmalıdır. Biberlerde iyi bir gelişme ve yüksek verim oldukça derin, geçirgen, su tutma kabiliyeti yerinde, besin ve organik maddece zengin bahçe toprağı denilen tınlı topraklardan en iyi netice alınmaktadır. Buna karşın geç olmakla beraber bol mahsul almak arzu edildiğinde kumlu-killi topraklar tercih edilmelidir (Anonim, 2007).

1.1.3. Yetiştirme Tekniği

Tohumlar, sıcak yastıklara ekilir ve yastıklar içerisinde çimlendirilir, fideler 3-4 yapraklı olduktan sonra tüplere şaşırtılır ve Nisan ayının sonlarına doğru fideler esas dikim yerlerine dikilir. Genelde sıra arası 80 cm ve sıra üzeri 30–50 cm'dir (Anonim, 2007). Şekil 1.9.'da K.Maraş Tarımsal Araştırma Enstitüsü'ne ait bir biber ekilişi görülmektedir.

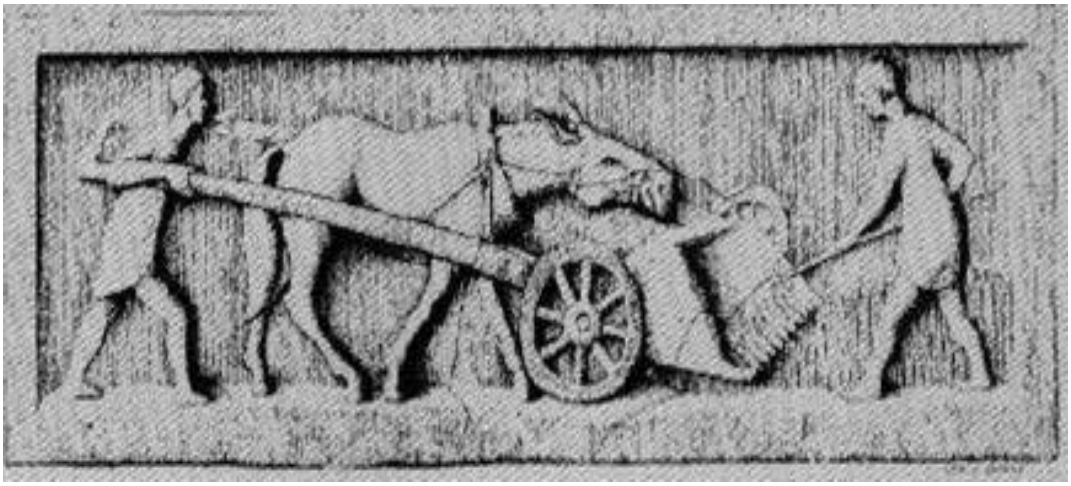


Şekil 1.9. K.Maraş Tarımsal Araştırma Enstitüsü'ne ait bir biber tarlası

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

2.1. Çeşitli Hasat Uygulamalarında Sıyırıcı Elemanların Gelişimi

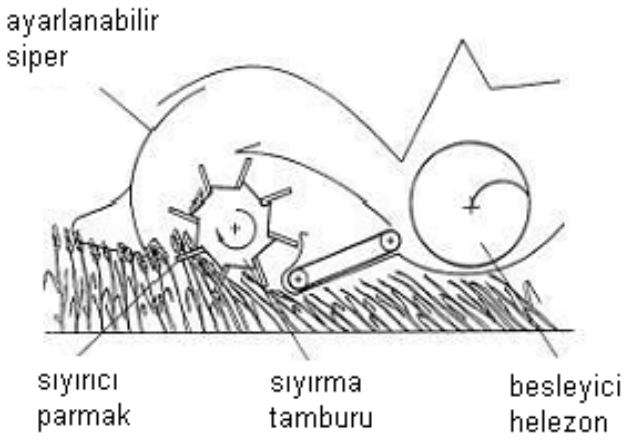
Sıyırıcı elemanlardan oluşturulan düzenekler kullanılarak hasat yapılması oldukça eski bir tekniktir. İlk düzeneğin M.S. 70'li yıllarda tahıl hasadı için kullanıldığı Romalı tarihçi Pliny'nin tuttuğu kayıtlarda anlatılmaktadır (Şekil 2.1.). Bu ilkel tarım aleti Gallic Vallus olarak adlandırılmıştır. Alt ağzında tarak şeklinde sıyırıcılar bulunan ahşaptan yapılmış bir kepçe, bir at tarafından itilerek tahıl hasadı yapmaktaydı (Tado ve ark., 1998).



Şekil 2.1. M.S. 70'li yıllarda, sıyırıcı parmak yardımıyla tahıl tanelerinin sıyrılması (Tado ve ark., 1998)

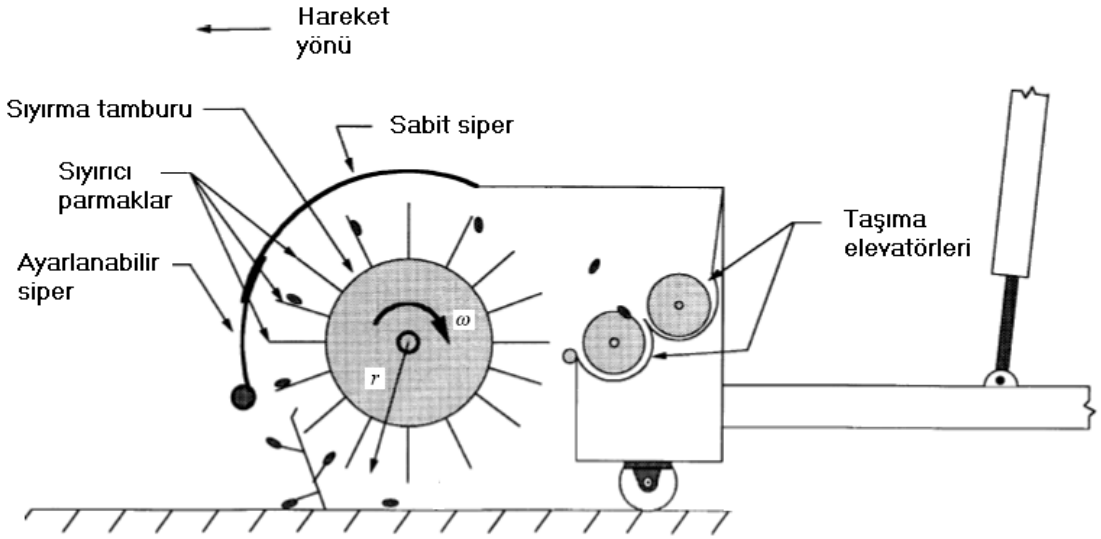
Klinner ve ark., (1987), sıyırıcı sisteme sahip bir hasat makinesini; arpa, yulaf, keten bitkisi ve bezelye hasat etmek üzere tasarlamışlardır (Şekil 2.2.). Deneme çalışmalarında yapılan ayar ve yapısal düzenlemeler ile sıyırıcı rotorda oluşan kayıpları arpa için 50 kg/ha, buğdayda 80 kg/ha değerlerine inmesini sağlamışlardır.

Araştırmacılar rotor sistemi ile yapılan hasat çalışmasında ürünle birlikte gelen sap miktarının, geleneksel hasat makinelerinde kullanılan kesme sistemine göre birkaç yüz kat daha az olduğunu söylemişlerdir.



Şekil 2.2. Tahıl hasatı için kullanılan bir sıyırıcı sistemin çalışma prensibi (Klinner ve ark., 1987)

Baklagillerin hasatında; özellikle bezelye ve taze fasulye için geliştirilmiş sıyırıcı düzeneklere sahip hasat makineleri bulunmaktadır (Şekil 2.3.). Bu düzeneklerde yer alan, sıyırma tamburunun üzerindeki sıyırıcı parmaklar ürünü koparmak ve taşıma elevatörlerine iletmek üzere tasarlanmışlardır. Şekil 2.3.'de görülen sabit ve ayarlanabilir siper koparılan ürünün makine dışına çıkmasını engeller (Galancey, 1997).



Şekil 2.3. Bezelye hasat makinesinin çalışma prensibi (Galancey, 1997)

2.2. Biber Hasat Sistemleri

2.2.1. Miller Üzerine Yerleştirilmiş Hasat Sistemleri

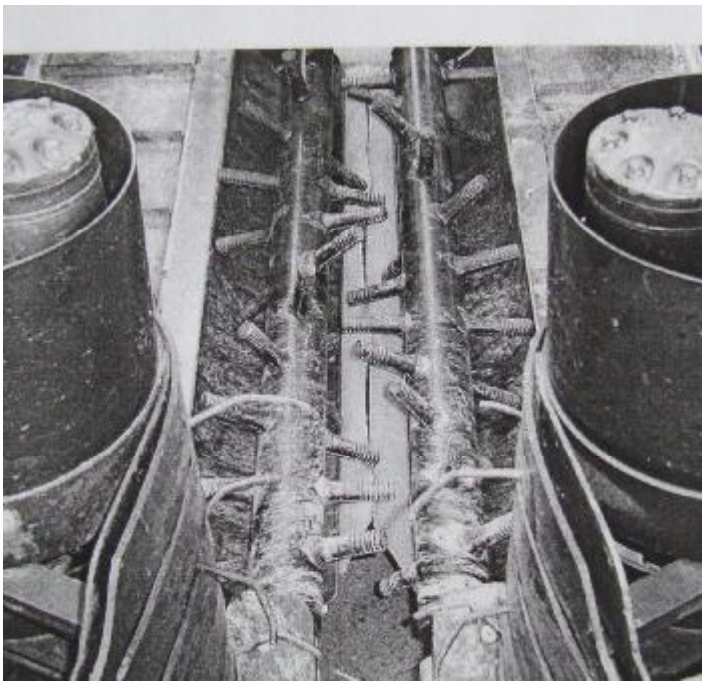
Abernathy ve ark., (2006), New Mexico'da yetişen kırmızı biberler üzerinde hasat denemeleri yapmışlardır. Denemelerde iki farklı hasat sistemi kullanmışlardır. İlk hasat sistemini, bir mil üzerine helis şeklinde sardıkları çubuklardan oluşturmuşlardır (Şekil 2.4.). Bu sistemde üç farklı helis aralığı kullanmışlardır (38.1, 25.4 ve 12.7 mm). Helis hasat sistemini 300, 400 ve 500 dev./dak. dönüş ve 1.6 ve 2.4 km/h ilerleme hızlarında denemişlerdir. Denemeler sonucunda, yere düşen ürün yüzdesinin helis dönüş hızının artmasıyla azaldığını, helis aralığının yere düşen ürün yüzdesini fazla etkilemediğini, artan helis aralığının toplanan ürün yüzdesini düşürdüğünü ve azalan helis aralığının toplanan ürün yüzdesini arttırmakla birlikte ürün dışı materyal yüzdesini önemli ölçüde arttırdığını bildirmişlerdir.



Şekil 2.4. Helis biber hasat düzeneği (Abernathy ve ark., 2006)

Araştırmacıların ikinci hasat sistemini, karşılıklı çalışan miller üzerine spiral düzende yerleştirdikleri 82.5 mm uzunluğundaki lastik çubuklardan oluşturmuşlardır (Şekil 2.5.). Bu hasat sistemini 300, 400 ve 500 dev./dak. ile döndürerek, 1.6 ve 2.4 km/h ilerleme hızlarında denemişlerdir. Denemeler sonucunda mil dönüş ve makine

ilerleme hızlarının arttırılmasının ürün dışı materyali ve toplanan meyve üzerindeki hasarı arttırdığını bildirmişlerdir.



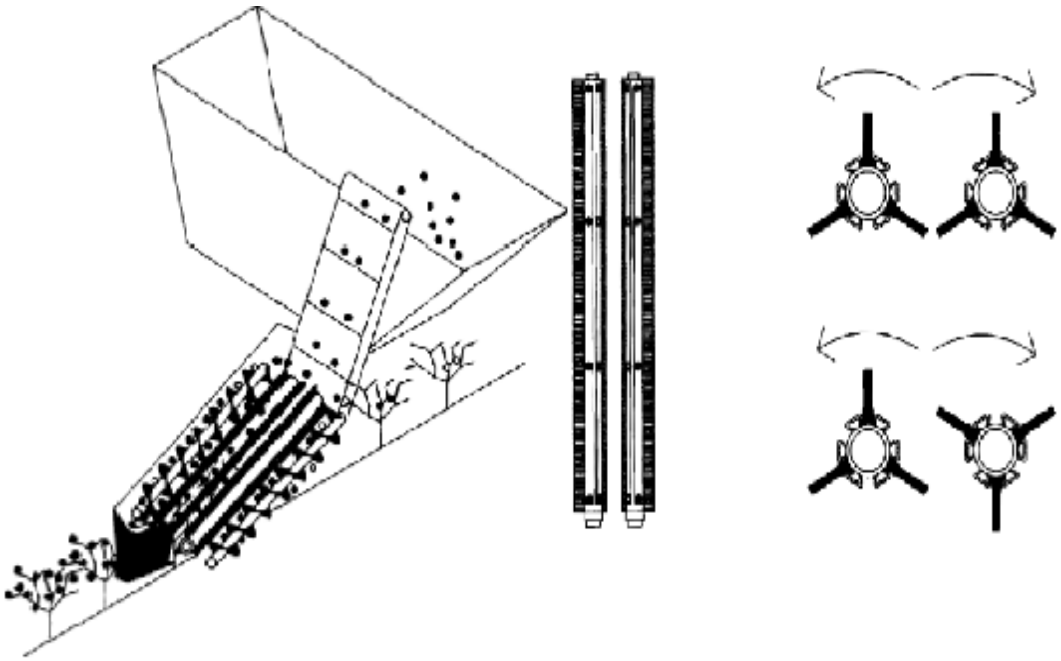
Şekil 2.5. Esnek çubukların spiral düzende yerleştirildiği biber hasat sistemi (Abernathy ve ark., 2006)

Marshall ve ark. (1986a), helis hasat mekanizmasına sahip deneysel bir biber hasat makinesi ile hasat denemeleri yaparak, hasat edilen ve zarar gören ürün yüzdesini ölçmüşlerdir. Biber hasat makinesini 0.5- 3.0 km/h ilerleme hızlarında test etmişlerdir. Araştırmacılar helis dönüş ve makine ilerleme hızlarındaki artışın ürün ve ürün dışı materyal yüzdesini arttırdığını, helis dönüş hızındaki artış ile meyvelerde oluşan zedelenmeler arasında kesin bir ilişki bulunmadığını bildirmişlerdir.

Paroissien ve ark. (2004), çalışmalarında biber bitkisinin yapısal özelliklerinin ve dikim yoğunluğunun makineli hasat açısından etkilerini incelemişlerdir. Araştırmacılar ekim yoğunluğunun azaltılmasının bitki gövde ve meyve gelişimini olumlu yönde etkilediğini ancak makineli hasat için düşük bitki yoğunluğunun hasat başarısına negatif etki ettiğini bildirmişlerdir.

Palau ve Torregrosa (1997), hasat kabiliyetini test etmek amacıyla Amerika Birleşik Devletleri'nden iki farklı yeşil fasulye hasat makinesi getirerek denemişler

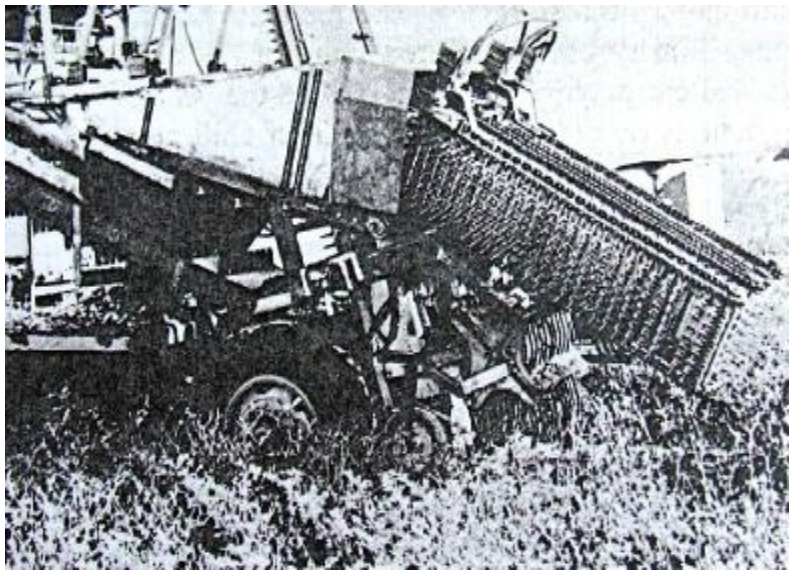
ve İspanya'da üretilen biber çeşitlerine uygun olmadığını ortaya koymuşlardır. 1992 yılında İspanya'da üretilen biber çeşitlerine uygun bir hasat makinesinin prototip çalışmasını gerçekleştirmişlerdir (Şekil 2.6.). Bu makineyi, biber ekiminin yapıldığı üç ana bölgede (Murcia, Extremadura, Val1e Del Ebro) 1993–1995 yılları arasında test etmişlerdir. İspanya'da yetişen bir biber çeşidi olan "Negral" üzerinde yaptıkları hasat denemelerinde biberleri %89–95 aralığında hasat etmişlerdir. Hasat edilen biber meyvelerinin yanı sıra toplanan ürün dışı materyal %4–11 aralığında olmuştur.



Şekil 2.6. Biber hasadı için düzenlenmiş, ikili silindirik fırçalar kullanılan biber hasat makinesinin prensip şeması (Palau ve Torregrosa, 1997)

2.3. Dönel Bant Şeklinde Düzenlenmiş Biber Hasat Sistemleri

Lenker ve Nascimento (1982), biber hasadı için farklı bir mekanizma üzerinde çalışarak prototip bir makine yapmışlardır (Şekil 2.7.). Bu makinenin hasat mekanizmasını, yan yana dikine konumlandırılmış ve öne doğru eğim verilmiş dönel bantların üzerine, 7.6 cm uzunluğunda poliüretan ve lastik esaslı sıyırıcı parmaklar yerleştirerek oluşturmuşlardır.



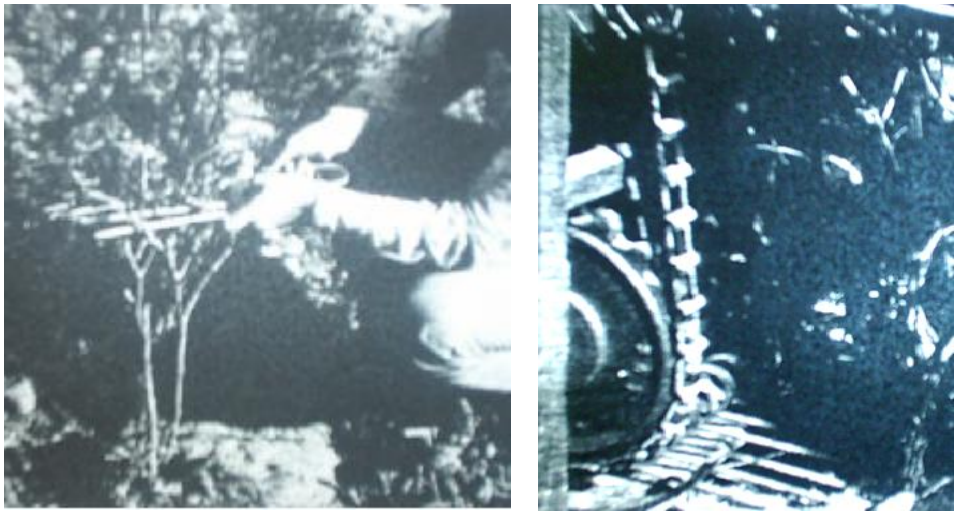
Şekil 2.7. Prototip biber hasat makinesi tarla denemesi (Lenker and Nascimento, 1982)

Oldukça yüksek miktarda ürün dışı materyal toplanan ürünle birlikte geldiği için sisteme büyük boyutlarda bir ayıklama düzeneği eklemişlerdir. Çizelge 2.1.'de yaptıkları tarla denemelerinin bir özeti sunulmuştur.

Çizelge 2.1. Hasat denemesi sonuçları (Lenker ve Nascimento,1982)

Biber Çeşidi	Tarak Aralığı (mm)	Sıyırıcı Elemanın Uzunluğu (mm)	Sıyırıcı Elemanda Kullanılan Malzeme	Makine İlerleme Hızı (km/h)	Hasat Edilen Ürün (%)	Açıklama
Chili	9	32	Lastik	1.2	99	Hasat elemanlarının bitki gövdesi içinde sıkışması, bitkinin kökünden sökülmesi sorunları.
Chili	44	76	Poliüretan	1.2	70-80	Yere düşen ürün miktarında önemli oranda artış

Miles ve ark. (1978), sivri biber hasadı yapabilecek bir mekanizmanın geliştirilmesi için çalışmışlardır. İlk olarak, elle kullanılan bir sıra yay çeliğinden oluşturdukları sıyırıcı tarak düzeneği ile hasat denemeleri gerçekleştirmişlerdir (Şekil 2.8 a.). Daha sonra sıyırıcı tarak düzeneğini, traktörden hareket alan dönel bir zincir mekanizması üzerine bağlayarak hasat denemeleri gerçekleştirmişlerdir (Şekil 2.8b.).



(a) (b)

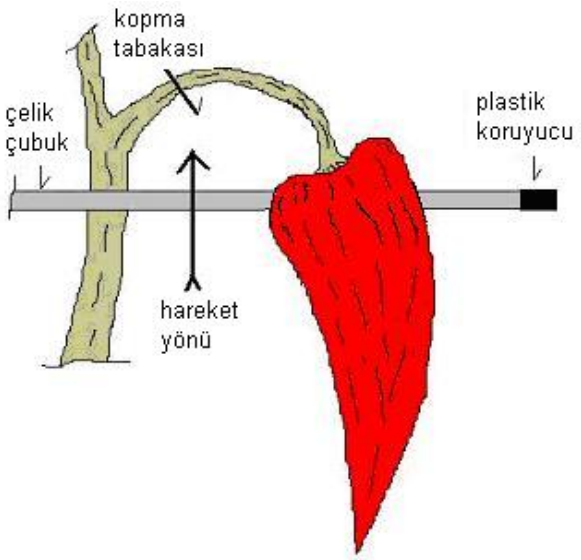
Şekil 2.8. Deneysel sıyırıcı hasat düzeneği ve makine ile hasat denemeleri (Miles ve ark., 1978).

Makineli hasat denemelerinde, toplanan ürün yüzdesi %50-80, aralığında gerçekleşmiştir. Araştırmacılar toplanan ürün yüzdesi arttıkça ürün dışı materyal yüzdesinin arttığını bildirmişlerdir. Çizelge 2.2.'de yaptıkları çalışmanın sonuçları özet olarak sunulmuştur.

Çizelge 2.2. Hasat çalışmaları sonuçları (Miles ve ark.,1978)

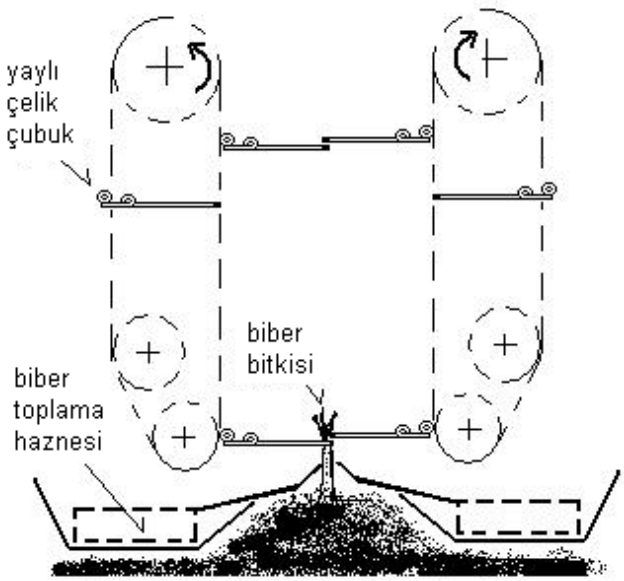
Biber Çeşidi	Tarak Aralığı (mm)	Sıyırıcı Elemanın Uzunluğu (mm)	Sıyırıcı Elemanda Kullanılan Malzeme	Makine İlerleme Hızı (km/h)	Hasat Edilen Ürün (%)	Açıklama
Chili New Mexico	13	280	Yaylı çelik çubuk	-	60-70	Ana dallarda kırılma ve ürün dışı materyalde artış
Chili	51	280	Yaylı çelik çubuk	-	80	Bitkide oluşan hasarlarda ve ürün dışı materyalde azalma

Gentry ve ark. (1978), sivri biber hasadı yapabilen bir makinenin geliştirilmesi için çalışmışlardır. Biber bitkisi üzerinde yaptıkları incelemelerde, yukarı döndürülen biber meyvelerinin saplarında bulunan kopma tabakası vasıtasıyla bitkiden kolayca ayrıldıklarını gözlemlemişlerdir. Şekil 2.9.'da meyve ve sıyırıcı ilişkisi gösterilmiştir.



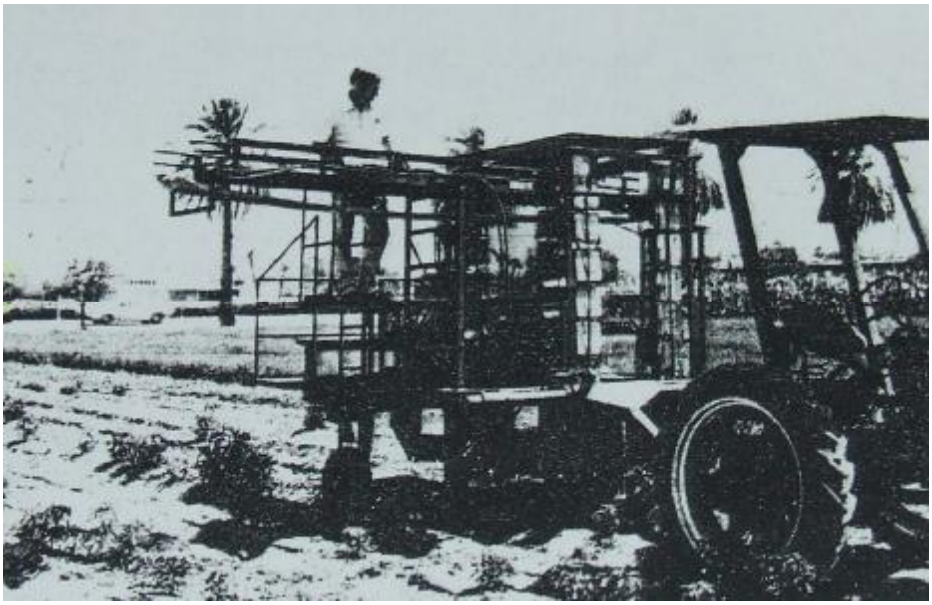
Şekil 2.9. Biber meyvesi ve sıyırıcı ilişkisi

Biber meyvesinin sapındaki kopma tabakasından yararlanarak makineli biber hasadını gerçekleştirebilecek bir sistem tasarlamışlardır. Bu tasarımı tarla şartlarında denemek üzere, bağlantı noktaları yay şeklinde bükülmüş sıyırıcı tarakları, düşey konumlanmış dönel zincir mekanizmasına bağlayarak bir biber hasat düzeneği oluşturmuşlardır (Şekil 2.10.).



Şekil 2.10. Biber hasat mekanizması çalışma prensibi (Gentry ve ark.,1978)

Araştırmacılar tasarlamış oldukları deneysel biber hasat makinesi ile %80'e ulaşan oranlarda hasat başarısı elde etmişlerdir. Ancak hasat sisteminin yüksek oranda ürün dışı materyal topladığını bildirmişlerdir. Şekil 2.11.'de araştırma için kullanılan deneysel biber hasat makinesi görülmektedir.



Şekil 2.11. Deneysel biber hasat makinesi (Gentry ve ark.,1978)

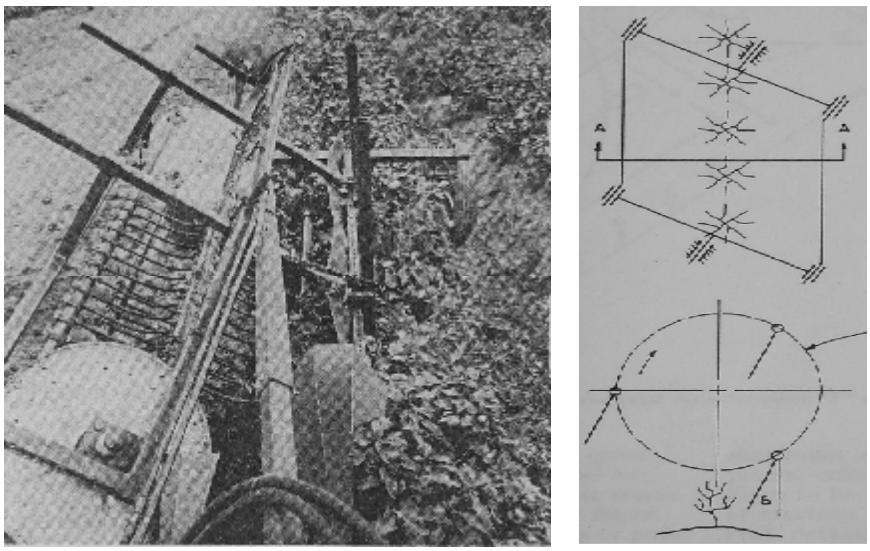
Araştırmacıların deneysel biber hasat makinesi ile yaptıkları çalışmalardan elde ettikleri sonuçların özeti Çizelge 2.2.'de verilmiştir.

Çizelge 2.3. Hasat çalışmaları sonuçları (Gentry ve ark.,1978)

Biber Çeşidi	**Tarak Hatvesi (mm)**	**Sıyırıcı Elemanın Uzunluğu (mm)**	**Sıyırıcı Elemanın Malzemesi**	**Makine İlerleme Hızı (km/h)**	**Hasat Edilen Ürün %**	**Açıklama**
Chili	51	-	Yaylı çelik çubuk (çap 6 mm)	0.8	80	Büyük miktarda ürün dışı materyal, ayıklama düzeneği ihtiyacı.
Chili	76	-	Yaylı çelik çubuk (çap 6 mm)	0.8	80	Ürün dışı materyalde azalma

2.4.Biber Hasat Mekanizmalarında Kullanılan Diğer Sistemler

Shaw (1975), dolmalık biberler üzerinde hasat denemeleri gerçekleştirmek üzere deneysel bir hasat makinesi tasarlamıştır. Bu makinenin hasat sistemi, bir merkez etrafında karşılıklı olarak dönen simetrik krank mekanizmasının üzerine yerleştirilmiş sıyırıcı tırmıklardan oluşturulmuştur. Sistemin çalışma prensibi Şekil 2.12.'de verilmiştir. Sıyırıcı tırmıkları oluşturmak için 1.25 cm çapında ve 76.9 cm uzunluğunda yay çelikleri kullanmıştır. Araştırmacı deneysel hasat makinesini kullanarak dolmalık biberler üzerinde hasat denemeleri yapmıştır. Yapılan hasat denemelerinde ürünün %61'inin toplandığını ve %10'luk bölümünün toprağa düştüğünü bildirmiştir.



(a) (b)

Şekil 2.12. Simetrik düzende çift krank mekanizması ile donatılmış deneysel biber hasat makinesi (Shaw, 1975)

2.5. Ürün Dışı Materyali Ayırmak İçin Yapılan Çalışmalar

Makineli olarak hasat edilen biber bitkisinin yanında bir miktar ürün dışı materyalde hasat mekanizmasına girer. Ürün dışı materyalin bir kısmı meyvelere bağlı olan dallar ve yapraklardan oluşmakla birlikte meyveden arınmış kalın-ince dallar, yapraklar ve bir miktar topraktan oluşabilir. Bu istenmeyen materyalin

ayrılması hasat sistemine ayıklama düzeneklerin eklenmesini zorunlu kılar. Ürün dışı materyalin toplanan ürün yüzdesi içindeki yüzdesini arttırması ayıklama sisteminin büyüklüğünün ve enerji tüketiminin artmasına neden olur.

Esch ve ark., (1987), yaptıkları çalışmada, makineli olarak hasat edilen biber meyvesinin yanında dal, yaprak gibi istenmeyen ürün dışı materyalin bulunduğunu ve üründen ayrılması gerektiğini bildirmişlerdir. Bu amaçla iki farklı ayıklama düzeneğini test etmişlerdir. Birinci ayıklama düzeneğini, karşılıklı olarak yerleştirilmiş ve ters yönde dönen üzerine lastik esaslı çubuklar yerleştirilmiş tamburlardan, ikinci ayırma düzeneğini yine üzerine lastik esaslı çubuklar yerleştirilmiş bant sisteminden oluşturmuşlardır. Üç farklı biber çeşidi için yaptıkları denemelerde her iki sistemin biber çeşitlerine bağlı olarak farklı ayıklama sonuçları verdiğini, tek bir mekanizma türünün farklı çeşitler için etkin bir ayıklama sağlayamadığını bildirmişlerdir.

2.6. Ticari Olarak Üretilen Biber Hasat Makineleri

McClendon firması; hareket yönünde öne doğru eğim verilmiş ve karşılıklı dönen iki mil üzerine helisel düzende yerleştirilmiş çubuklar ile hasat yapan bir makine geliştirmiştir (Anonymus, 2008a). Bu makinenin tarla çalışması Şekil 2.13'de verilmiştir.



Şekil 2.13. McClendon firmasının geliştirdiği biber hasat makinesi tarla çalışmasında (Anonim 2008a).

Pikrite firmasının biber hasat makinesi, zincirlerden oluşturulmuş dönel bir bant üzerine yerleştirilmiş çubuklardan oluşan hasat sistemine sahiptir (Şekil 2.14) (Anonymus, 2008b). Pikrite firması tarafından yapılan biber hasat makinesi çalışma anında görülmektedir.



Şekil 2.14. Pikrite marka biber hasat makinesi (Anonim 2008b)

Boese firması dönen bir mil üzerinde helis oluşturacak şekilde bükülmüş olan çubuklarla biber hasadı yapan bir makine geliştirmiştir (Anonim 2008c). Şekil 2.15.'de makinenin hasat düzeneği görülmektedir.



Şekil 2.15. Boese firmasının ürettiği biber hasat makinesinin hasat düzeneği (Anonim 2008c).

3. MATERYAL ve METOD

3.1. Materyal

3.1.1. Biyolojik Materyal

Tez çalışmasında ele alınan biyolojik materyal, üretildiği bölgelerde kendi adıyla anılan Kahramanmaraş kırmızı biber bitkisi ve meyveleridir (Şekil 3.1.). Biber bitkisi ve meyveleri üzerinde yapılan tüm araştırmalar ve hasat denemeleri Kahramanmaraş Tarımsal Araştırma Enstitüsü'ne ait biber dikilişlerinde gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.1. Deneme çalışması yapılan tarlalardan toplanan biber numuneleri

Kırmızı biber üretimi geleneksel olarak Kahramanmaraş ve çevresinde yoğunlaşmıştır. Getirisi yıldan yıla bir dalgalanma göstermekle beraber bölge tarımında önemli bitkilerden biridir. Kurutulduğu zaman yaklaşık %80 ağırlığını kaybetmekte ve üreticiler bir dekardan 250-400 kg arasında kuru biber elde edebilmektedir. Kırmızı biberin fide dikimi tarlaya el ile ve şubat ayında yapılmaktadır. Nisan ayının sonundan itibaren ortalarından itibaren çıkışlar başlamakta, yoğun bir işgücü ile bakım ve hasadı gerçekleşmektedir. Ülkemizde kırmızı biber özelliğinde bir çeşit bulunmamaktadır. Üretim öteden beri yerel bir popülasyonla devam ettirilmektedir. Ancak uygun tohumculuk kurallarına göre çoğaltılmadığından dolayı karışıklık her yıl artmakta ve bazen üretici açısından

istenmeyen özelliklere (düşük verim gibi) sahip ürünler alınabilmektedir (Arpacı ve ark., 2005).

Kahramanmaraş Doğu Akdeniz Bölgesinde yer almakla birlikte konum itibariyle birçok bölgenin geçiş noktasındadır. Bu bölgeler Güneydoğu Anadolu ve Doğu Anadolu Bölgeleridir. Bu sebeple,yazları sıcak ve kurak, kışları ise ılıman ve yağışlı özellik gösterir. Uzun yıllar aylık sıcaklık ortalaması 16,1 ^{o}C dir . Yağış toplamı 766,5 mm, minumum sıcaklık değeri 6,2 ^{o}C, maksimum sıcaklık değeri ise 28,5 ^{o}C dir (Anonim, 2007).

3.1.2. Deneysel Sıyırıcı Hasat Düzeneği

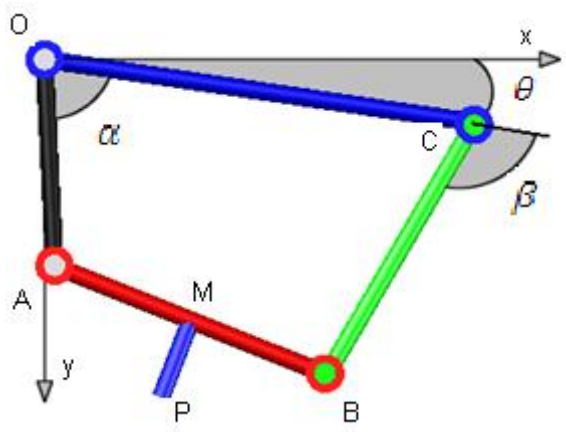
Biber bitkileri üzerinde, sıyırıcı taraklarla hasat denemeleri yapmak için; dikey bir hat üzerinde hareket edebilen ve yukarı doğru elle çekilerek çalıştırılan bir hasat düzeneği kullanılmıştır (Şekil 3.2.). Düzenek üzerinde sıyırıcı taraklar bulunmaktadır. Tarak dizisinin eni 500 mm olup, sıyırıcı taraklar 2 mm çapında ve 300 mm uzunluğundaki çubuk şeklindeki yay çeliklerinin yan yana dizilmesiyle oluşturulmuştur. Düzenek için 15, 20 ve 25 mm aralıkta üç farklı tarak formu hazırlanmıştır. Çekme kuvvetlerini ölçebilmek için düzeneğin üzerine 200 N'luk dijital kuvvet ölçer bağlanmıştır.



Şekil 3.2. Tarla denemelerinde kullanılan deneysel sıyırıcı hasat düzeneği

3.1.3. Kinematik Simülasyon Programları

Hasat mekanizmasının tasarımında iki farklı kinematik simülasyon programı kullanılmıştır. Bunlardan ilki, kodları Visual Basic 6.0 programlama dili kullanılarak mekanizmaya özel yazılan dört çubuk mekanizması ve sıyırıcı tarak hareket yörüngesi simülasyon programıdır. Hasat mekanizması için kullanılması öngörülen dört çubuk mekanizmasını oluşturan uzuvlar ve uzuvların yerleşim açıları Şekil 3.3.'de verilmiştir. Dört çubuk mekanizmasında OC uzvu sabit uzuv olup, MP uzvu sıyırıcı tarağı temsil etmektedir. OA ve OC uzuvları arasındaki iç açı α, OC uzvunun x ekseniyle yaptığı açı θ, BC uzvunun OC uzvuyla yaptığı dış açı β'dır.

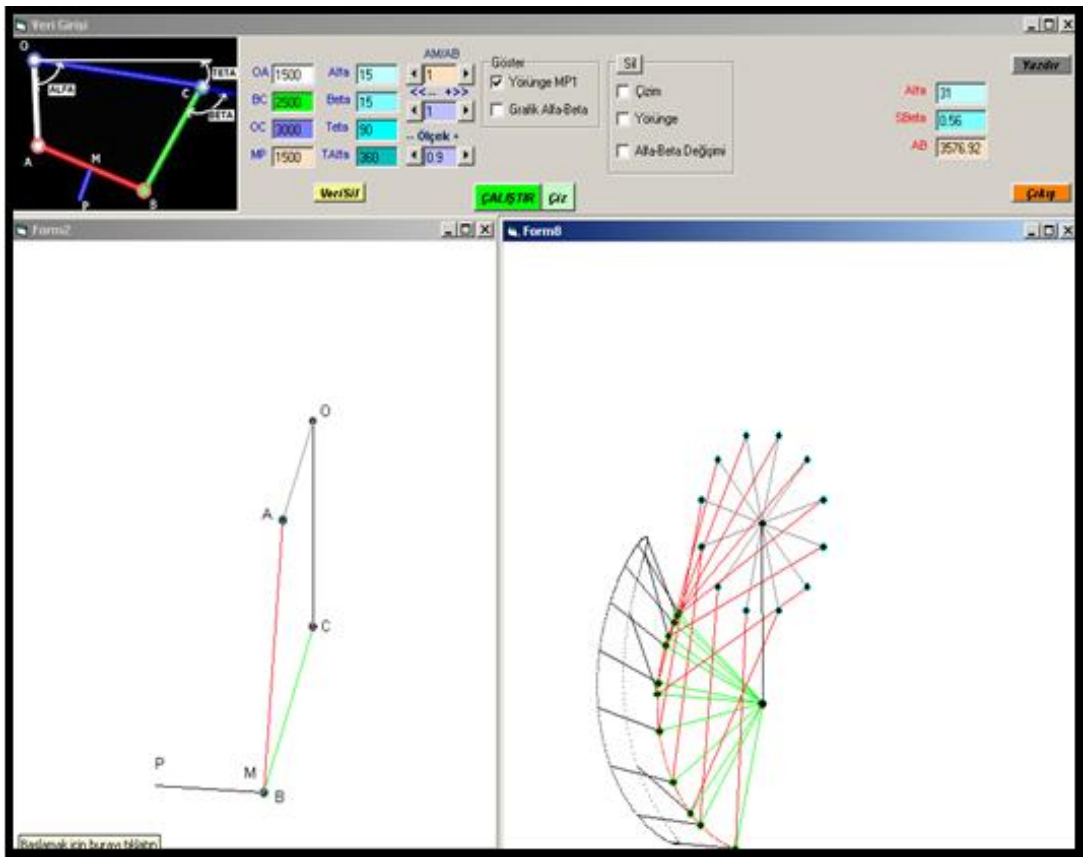


Şekil 3.3. Dört çubuk mekanizması ve sıyırıcı tarak uzuvları ve yerleşim açıları

Kullanıcı, programın ana sayfasında (Şekil 3.4.) hasat mekanizmasının dört boyutunu (OA-OC-BC-MP) ve üç açıyı (α, β, θ) girerek dört çubuk mekanizmasını ve sıyırıcı tarağı temsil eden MP uzvunun istenilen ölçekte ekrana çizebilmekte ve hareket simülasyonu boyunca M ve P noktalarının oluşturduğu yörüngeleri görebilmektedir. MP uzvu AB uzvu üzerindeki herhangibir noktada bu uzva dik olarak konumlandırılabilmektedir. OA uzvunun dönüş hızını, dönüş yönünü ve çizim ölçeğini programda girilen değerler ile değiştirmek mümkündür. Programın ana ekranının sol altında konumlanmış pencerede mekanizmanın hareketi, sağ altta konumlanmış pencerede ise M ve P noktalarının hareket neticesinde çizdiği

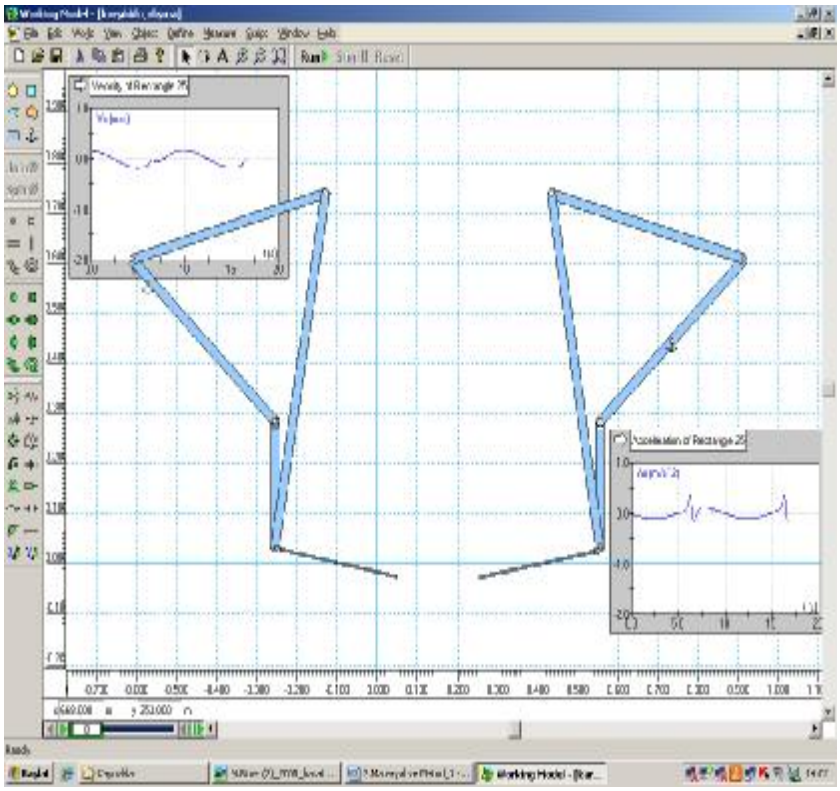
yörüngeler görülmektedir. Böylece mekanizmanın hareketi ve çizdiği yörüngeler ayrı ayrı incelenebilmektedir.

Program ekranından toplam dönüş açısı (Talfa) girilerek, tahrik edilen uzvun (OA) kaç tur dönebileceği belirlenebilmektedir. Bu özellik kullanıldığında mekanizmanın farklı açı aralıklarındaki hareketlerinin ve çizdiği yörüngelerin incelenmesi mümkün olabilmektedir. Şekil 3.4'de verilen simülasyon eğrilerinde, kesikli noktalar arasındaki aralıkların artması, diğer noktalara göre yüksek hız ve ivmeyi göstermektedir. Programda MP uzunluğuna sıfıra çok yakın bir değer vererek mekanizmayı sadece dört çubuk mekanizması olarak incelemekte mümkündür.



Şekil 3.4. Dört çubuk mekanizması ve sıyırıcı tarak hareket simülasyon programının ana ekranının görüntüsü

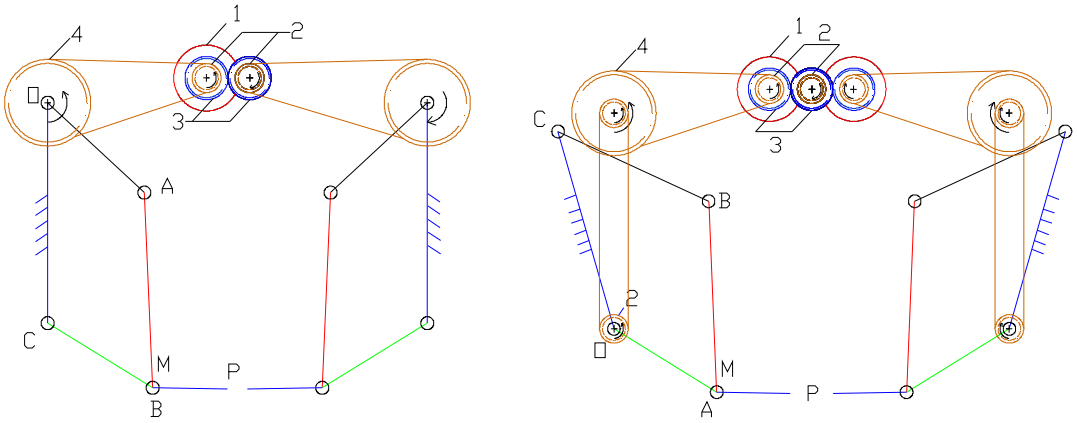
Hız, konum ve ivme analizleri için bir çok ticari program bulunduğundan yazılan programa bu analizler için ek bir modül eklenmesine gerek görülmemiştir. Bu analizler için Working Model 8.0.1. programı kullanılmıştır (Şekil 3.5).



Şekil 3.5. Working Model 8.0.1. programı ana ekranı

3.1.4. Prototip Hasat Makinesi

Makineli hasat denemeleri için iki hasat makinesi prototipi kullanılmıştır. Şekil 3.6.'da her iki prototip biber hasat makinesinin çalışma prensibi gösterilmiştir. Hasat makinesi karşılıklı olarak yerleştirilmiş dört çubuk mekanizmalarına bağlı sıyırıcı taraklardan oluşturulmuştur. Sıyırıcı taraklar A mafsalı hizasında, AB uzvuna dik olarak bağlanmıştır. Karşılıklı simetrik çalışan sıyırıcı taraklar, çubuk şeklindeki yay çeliklerinden oluşturulmuştur. İki mekanizma benzer prensiplerle çalışmakla birlikte temel fark ilk mekanizmada tahrik edilen uzuv üstteki kol iken ikinci mekanizmada tahrik edilen uzuv alttaki koldur. Dört çubuk mekanizmasında tahrik edilen uzuv tam dönü, diğer uzuv kol sarkaç hareketi yapmaktadır.



1.Prototip

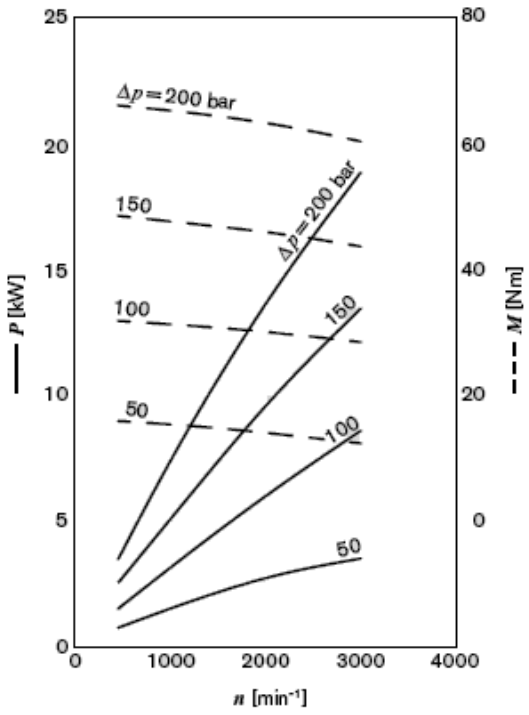
1 Hidrolik motor
3 Alın dişli

2. Prototip

2 Zincir dişli (küçük)
4 Zincir dişli (büyük)

Şekil 3.6. Birinci ve ikinci biber hasat mekanizmalarının çalışma prensip şemaları

Hasat mekanizması hareketini traktörün hidrolik devresinden tahrik edilen 22.5 litre/dak. kapasiteli bir hidrolik motordan almaktadır. Şekil 3.7.'de kullanılan hidrolik motorun çalışma karakteristik eğrileri verilmiştir.



Şekil 3.7. Çift etkili hidrolik motorun çalışma karakteristiği (Anonymus, 2005a)

Hidrolik motor, karşılıklı yerleştirilmiş dört çubuk mekanizmalarına dişli ve zincirler yardımıyla hareket vermektedir. Hidrolik motorun dönüş devri kullanılan zincir dişliler ile 1/10 oranında düşürülmektedir. Mekanizmanın çalışma hızı traktör hidrolik sistemi ile kontrol edilmektedir. Hidrolik motoru çalıştırabilmek için hasat makinesinin bağlandığı traktörün çift etkili hidrolik sisteme sahip olması gereklidir.

Dört çubuk mekanizmasının uzuvlarını mümkün olduğunca hafif yaparak atalet kuvvetlerini azaltmak ve aynı zamanda şekil mukavemetini yükseltmek için, 2 mm kalınlığındaki St-37 saçlar U şeklinde bükülmüştür. Uzuvların üzerinde gereken tüm saç kesme-delme işlemleri lazer saç işleme tezgâhında yapılmıştır. Uzuvları birbirine bağlamak için, her mafsal bağlantısı için birer adet alüminyum döküm gövdeli, badem tip rulmanlı yatak kullanılmıştır. Bu yataklar, bağlantılardaki eksenel kaçıklıkları büyük oranda dengeleyebilmektedirler. Bu sayede uzuvların kasıntısız çalışmasını sağlamaktadır. Makinenin kutu profilden yapılan ana şasesi dışında tüm parçalar sökülebilir bağlantılara sahiptir.

Şekil 3.8.'de tarla denemesinde kullanılan biber hasat makinesi prototipi traktöre bağlı pozisyonda görülmektedir. Şekilden de görülebileceği gibi hasat makinesi traktöre üç nokta askı sisteminden bağlanmaktadır. Hidrolik motordan çıkan biri traktör hidrolik sistemi çıkışına diğeri traktör hidrolik sistem girişine bağlanan iki hidrolik hortum bulunmaktadır.



Birinci prototip İkinci prototip

Şekil 3.8. Tarla denemelerinde kullanılan biber hasat makinesi prototipleri

3.2. Metod

Çalışma ana hatları, bitki ve meyve özelliklerinin incelenmesi, hasat prensibinin belirlenmesi, deneysel bir sıyırıcı hasat düzeneği ile hasat denemelerinin gerçekleştirilmesi, hasat mekanizmasının belirlenmesi, bilgisayar ortamımda kinematik simülasyon çalışmaları ve prototip biber hasat makinesinin gerçekleştirilmesi aşamalarından oluşmuştur.

Bitki gövde ve dal yapısını ortaya koyabilmek için her gelişim döneminde (fide dikiminden itibaren 4, 6, 8 ve 10 haftalık dönemlerde) 10'ar bitkinin; yüksekliği (toprak seviyesinden), ana gövde çapı, ilk çatal ayrılma çapı ve ilk çatal yüksekliği ölçülmüştür. Bu boyutsal ölçümlerin aritmetik ortalaması alınmıştır. Yükseklikler standart bir şerit metre ile, çaplar ise dijital bir kumpasla ölçülmüştür. Çap ölçümü için 90^{o}'lik aralıkla alınan dört çap değerinin aritmetik ortalaması alınmıştır.

Bitki ana boyutlarının saptanmasından sonra biber meyvelerinin olgunlaşma evresindeki temel fiziksel özelliklerini saptayabilmek için, üç sıra sıra üzerinden 50'şer adet meyve toplanmış ve bazı fiziksel özellikleri ölçülmüştür. Meyve enini ölçmek için dijital bir kumpas kullanılmış ve meyvenin çevresini eşit olarak bölen dört noktadan alınan ölçümlerin ortalaması kullanılmıştır. Her sıra için yapılan ölçümlerden elde edilen değerlerin aritmetik ortalaması alınmıştır.

Biber meyvelerini dalından ayırabilmek için gerekli kopartma kuvvetleri ölçülmüştür. Bu amaçla bir sıra üzerindeki dört bitkinin üzerindeki toplam 30 meyve üzerinde kopartma denemeleri yapılmıştır. Kopartma kuvvetlerini saptamak için bir dijital kuvvet ölçerin ucuna ağzı açık bir yarım halka bağlanmıştır. Bu halka sap kısmına takılarak meyveler, bağlandıklara boğuma dik bir açıda çekilmişlerdir. Alınan otuz ölçümün aritmetik ortalaması alınarak ortalama kopartma kuvveti saptanmıştır.

3.2.2. Deneysel Sıyırıcı Hasat Düzeneği

Biber hasat makinesinin en önemli parçası hasat elemanlarıdır. Hasat elemanlarının beklenen hasat başarısında belirleyici etkiye sahiptir. Dolayısıyla hasat elemanlarının hasat başarısı açısından doğru özelliklere sahip olması gereklidir.

Geçmişten günümüze kullanılan biber hasat makinelerinde birçok farklı hasat düzeneği denenmiştir. Denenmiş olan sistemlerden birini hasat elemanlarına uygulamak yerine yeni bir yaklaşımla sıyırıcı taraklardan oluşan bir hasat düzeneğinin kullanılması öngörülmüştür. Hasat elemanı olarak kullanılması öngörülen sıyırıcı tarakların bitki içindeki hareketi ile meyve ile etkileşiminin gözlemlenmesi için elle çalıştırılan bir deneysel sıyırıcı hasat düzeneği hazırlanmıştır. Denemeler için 15, 20 ve 25 mm aralıklara sahip üç farklı tarak kullanılmıştır.

Tarağı oluşturan sıyırıcı elemanların malzemesi ve formu seçilirken; mukavemet, elastik şekil değiştirme kabiliyeti, hareket yönlerinde düşük kesit alanı, yapısı nedeniyle bitkiyi mızraklamaması ve bitki içerisinde bitkiyi kökünden sökecek ya da önemli derecede hasar verecek şekilde sıkışmaması gibi temel faktörler dikkate alınmıştır.

3.2.3. Hasat Mekanizmasının Belirlenmesi

Sıyırıcı taraklara istenen yörünge içinde hareket vermek üzere dört çubuk mekanizmasının kullanılması öngörülmüştür. Dört çubuk mekanizmaları basit yapılarına rağmen neredeyse sonsuz sayıda farklı yörüngeler çizebilirler. Bu özellik hasat mekanizmasının yörüngesinin saptanması konusunda esneklik sağlamaktadır. Literatür taramalarında, üzerinde daha önce çalışılmış benzer bir mekanizma bulunmadığından ve teorik olarak sonsuz sayıda üretilebilecek yörüngeler nedeniyle mekanizma boyutlarının saptanmasını kolaylaştırmak için bir takım sınırlayıcı faktörler öngörülmüştür. Bu faktörler aşağıda maddeler halinde sıralanmıştır;

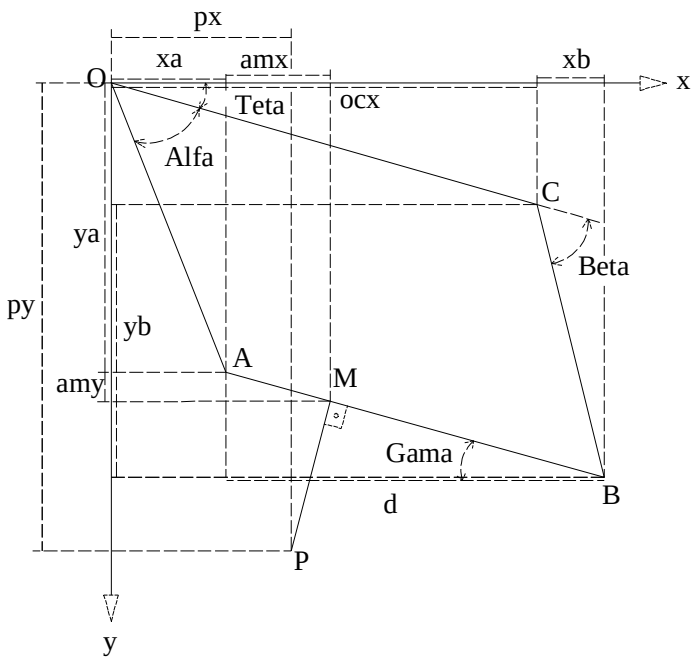
- Tarağın bitki kesitini yüksek oranda taraması ve tarama esnasında yukarı yönde hareket ederken bitki içinde geriye doğru küçük bir açıyla eğim alması,
- Tarak dönüş zamanının tarama zamanından az olması. Tarağın dönüş hareketi esnasında bitkiye mümkün olduğunca az girmesi ve mekanizmanın boyutları nedeniyle yan sıralara temas etmemesi,
- Sıyırıcı tarakların; bitkiye düşük bir hızla girmesi, bitki gövdesi boyunca yükselirken hızını arttırması, bitki gövdesi yüksekliğinin takriben yarısını

geçtiğinde hızını azaltarak ilerlemesi, hasat makinesinin ilerleme zamanının yarısından fazlası kadar bir sürede bitkiyle sürekli temasta kalması, belli bir faz farkıyla, bitki yüzeyini parçalara ayırarak tekrar tarayabilmesi,

- Farklı biber türleri için değiştirilebilir kollara ve taraklara sahip hasat mekanizması,
- Hasat mekanizmasının, ikinci bir hasada imkân tanıyabilmek için, bitkiye asgari düzeyde zarar vermesi.

3.2.4. Hasat Mekanizması Hareket Yörüngesi Simülasyon Programı

Mekanizmaya özel yazılan simülasyon programı hasat mekanizması ve sıyırıcı tarakların bitki modeli üzerinde çalıştırılarak hedeflenen hareket yörüngelerinin oluşturulmasında önemli rol oynamıştır. Program algoritması içinde kullanılan uzunluklar, izdüşümler ve açılar Şekil.3.9'da verilmiştir.



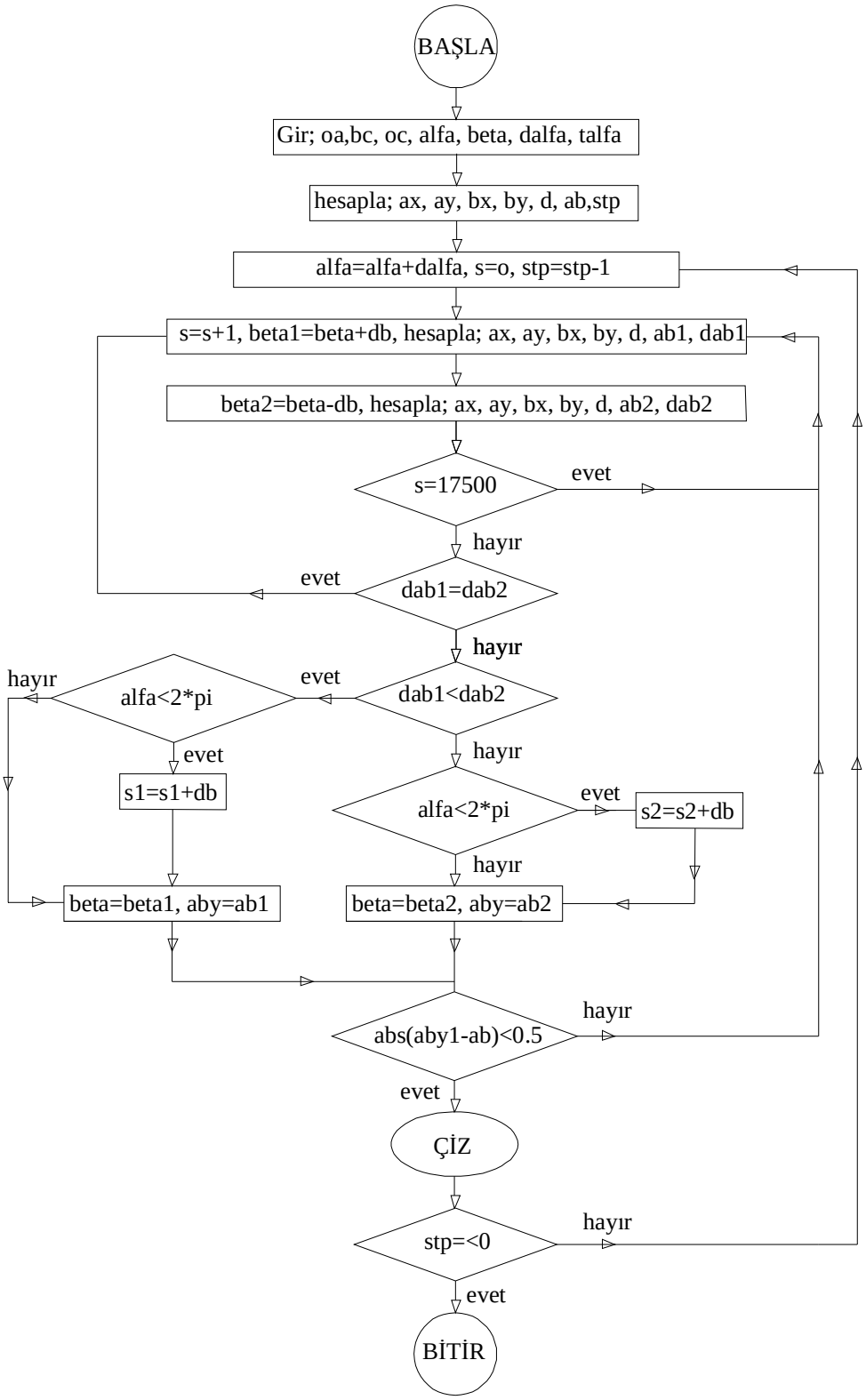
Şekil 3.9. Dört çubuk mekanizması ve sıyırıcı tarak uzvu, yerleşim açıları ve kullanılan geometrik izdüşümler

Burada (xa) A noktasının, (ocx) OC uzvunun, (xb) B noktasının ve (d) AB uzvunun x ekseni üzerindeki izdüşümleridir. Aynı zamanda ya ve yb sırasıyla A ve B noktalarının y ekseni üzerindeki izdüşümleridir. Tarağın uç noktası olan P ve AM noktaları arasında kalan doğrunun x ve y eksenleri üzerindeki izdüşümleri sırasıyla px, amx, py ve amy olarak gösterilmiştir.

Programın yazımında kullanılan algoritma Şekil 3.10'da verilmiştir. Bu algoritma kullanılarak yazılan programın Visual Basic dilindeki kodları Ek 1'de sunulmuştur. Hem algoritmada hem de program kodlarında yazımı kolaylaştırmak için Latince simgeler kullanılmamıştır.

Program algoritmasının başlangıcında kullanıcı program ekranında istenen uzunlukları (OA-OC-BC-MP), üç açıyı (Alfa, Beta, Teta) ve diğer faktörleri (hız, şekil) girmektedir. Bu değerler kullanılarak OC uzvunun sabit olduğu kabulu ile başlangıç mekanizması ekrana çizilmektedir. Daha sonra algoritmada Alfa açısına pozitif ve negatif işaretli küçük bir artırım verilerek (dalfa), tüm uzuvların rijit olduğu varsayımıyla alabilecekleri en uygun pozisyonların koordinatları, geometrik denklemler ve mantıksal sınamalar yapılarak saptanmaktadır. Saptanan yeni koordinatlar ile mekanizma çizilmektedir. Çizim yapıldıktan sonra Alfa açısına pozitif ve negatif işaretli artımlar verilerek bir sonraki uzuv koordinatları saptanmaktadır. Her yeni pozitif ya da negatif işaretli Alfa açısı artımında bir önceki mekanizma silinip yenisi çizilerek hareket simülasyonu oluşturulmaktadır. Kullanıcı tarafından girilen OA uzvunun toplam alfa dönüş açısına ulaşıldığında mekanizma hareketini sonlandırmaktadır. Mekanizmanın kinematik olarak hareket edemeyeceği açılar ve boyutlar mevcut ise mekanizma hareket etmemektedir.

Bu mekanizmaya özgü olarak yazılan bu programda, yazılan kodlara eklenecek küçük modüller yardımıyla istenilen her noktada konum, hız ve yörünge analizleri yapmak mümkündür. Ancak daha önce belirtildiği gibi konum ve hız analizleri için Working Model programı kullanıldığı için bu modüllerin eklenmesi için bir çalışma yapılmasına gerek duyulmamıştır.



Şekil 3.10. Hasat mekanizmasının hareket simülasyonunu yapan ve hareket yörüngelerini çizen programın algoritması

Simülasyon programında, uzuv koordinatlarını hesaplamak için gerekli denklemler aşağıda verilmiştir. Aşağıdaki (3.1, 3.2, 3.3, 3.4) denklemleri sırasıyla, A-B noktalarının x ve y eksenleri üzerindeki izdüşümlerini vermektedir.

$$ax = oa * Cos(\alpha + \theta) \quad (3.1)$$

$$ay = oa * Sin(\alpha + \theta) \quad (3.2)$$

$$bx = bc * Cos(\beta + \theta) \quad (3.3)$$

$$by = (bc * Sin(\beta + \theta)) + (oc * Sin(\theta)) \quad (3.4)$$

OC uzvunun x ve y eksenleri üzerindeki izdüşümlerini veren denklemler (3.5, 3.6),

$$ocx = oc * Cos(\theta) \quad (3.5)$$

$$ocy = oc * Sin(\theta) \quad (3.6)$$

AB uzvunun uzunluğunu ve x ekseni üzerindeki izdüşümünü veren denklemler sırasıyla (3.7, 3.8),

$$ab = \sqrt{(ay - by)^2 + d^2} \quad (3.7)$$

$$d = ocx - (ax - bx) \quad (3.8)$$

MP uzvunun AB uzvu üzerindeki yerini belirleyen oran, denklem (3.9),

$$Amab = AM/AB \quad (3.9)$$

AB uzvunun x ekseniyle yaptığı açı (gama)'nın, Sin(γ) ve Cos(γ) karşılıkları (3.10, 3.11),

$$Sin(\gamma) = (by - ay) / ab \quad (3.10)$$

$$Cos(\gamma) = d / ab \quad (3.11)$$

MP uzvunun, AB uzvu üzerindeki konumundan dolayı oluşan AM uzunluğunun, x ve y eksenleri üzerindeki izdüşümü, sırasıyla denklem (3.12, 3.13),

$$amx = (amab * ab) * Cos(\gamma) \tag{3.12}$$

$$amy = (amab * ab) * Sin(\gamma) \tag{3.13}$$

MP uzvunun P ve M noktalarının, x ve y eksenleri üzerindeki izdüşümünü veren denklemler sırasıyla (3.14, 3.15, 3.16, 3.17),

$$px = (ax - mp * Sin(\gamma)) + amx \tag{3.14}$$

$$py = (ay + mp * Cos(\gamma)) + amy \tag{3.15}$$

$$mx = ax + amx \tag{3.16}$$

$$my = ay + amy \tag{3.17}$$

Yukarıda verilen denklemlerden yararlanılarak amx, px, py, mx ve my ifadelerinin düzenlenmiş şekillerini ifade eden denklemler (3.18, 3.19, 3.20, 3.21, 3.22) aşağıda verilmiştir.

$$amx\ [oc, bc, oa, \alpha, \theta, \gamma] = \sqrt{Cos[\gamma]} * ((oc * Cos[\theta] + bc * Cos[\alpha + \theta] - oa.Cos[\alpha + \theta])^2 + (-oc * Sin[\theta] - bc * Sin[\alpha + \theta] + oa * Sin[\alpha + \theta]) \tag{3.18}$$

$$px[oa, oc, bc, mp, \alpha, \theta, \gamma] = oa * Cos[\alpha + \theta] + mp * Sin[\gamma] + \sqrt{Cos[\gamma]} * ((oc * Cos[\theta] + bc * Cos[\alpha + \theta] - oa.Cos[\alpha + \theta])^2 + (-oc * Sin[\theta] - bc * Sin[\alpha + \theta] + oa * Sin[\alpha + \theta])^2) \tag{3.19}$$

$$py[oa, oc, bc, mp, \alpha, \theta, \gamma] = mp * Cos[\gamma] + oc * Sin[\alpha + \theta] + \sqrt{Sin[\gamma]} * ((oc * Cos[\theta] + bc * Cos[\alpha + \theta] - oa.Cos[\alpha + \theta])^2 + (-oc * Sin[\theta] - bc * Sin[\alpha + \theta] + oa * Sin[\alpha + \theta])^2) \tag{3.20}$$

$$mx[oa, oc, bc, \alpha, \theta, \gamma] = oa * Cos[\alpha + \theta] + \sqrt{Cos[\gamma]} * ((oc * Cos[\theta] + bc * Cos[\alpha + \theta] - oa.Cos[\alpha + \theta])^2 + (-oc * Sin[\theta] - bc * Sin[\alpha + \theta] + oa * Sin[\alpha + \theta])^2$$

(3.21)

$$my[oa, oc, bc, \alpha, \theta, \gamma] = oa * Sin[\alpha + \theta] + \sqrt{Sin[\gamma]} * ((oc * Cos[\theta] + bc * Cos[\alpha + \theta] - oa.Cos[\alpha + \theta])^2 + (-oc * Sin[\theta] - bc * Sin[\alpha + \theta] + oa * Sin[\alpha + \theta])^2)$$

(3.22)

3.2.5. Biber Hasat Makinesi Prototipleri

Prototip olarak tasarlanan iki biber hasat makinesi ile K.Maraş Tarımsal Araştırma Enstitüsünde dikili olan K.Maraş kırmızı biberleri üzerinde hasat denemeleri gerçekleştirilmiştir. Tüm hasat denemelerinde bitkilerin sıra üzeri mesafesi 30 cm, sıra arası mesafesi ise 80 cm olarak düzenlenmiştir.

Sıyırıcı tarak düzeneğiyle ve prototip biber hasat makinesi ile yapılan denemelerde hasat edilen ürün yüzdesini belirlemek için; toplanan meyve sayısı hasat edilen meyve sayısına oranlanmıştır. Ürün dışı materyal yüzdesini bulabilmek için; hasat edilen materyal içindeki ürün dışı materyalin (yaprak, dal v.b.) ağırlığı ürün ağırlığına oranlanarak bulunmuştur. Ağırlık ölçümleri 20 kg'lık dijital terazi ile yapılmıştır.

Hasat esnasında toplanan ürünlerin fiziki olarak zarar göreceği açıktır. Bu nedenle makineli hasat ile toplanan ürünlerin sofralık tüketim için pazara sunulması beklenemez. Hasat edilen ürünler endüstriyel olarak işleneceğinden hasat esnasında biber meyvelerinde oluşan fiziksel zararlar tez çalışma konusu içine alınmamıştır.

4. BULGULAR ve TARTIŞMA

4.1. Bitki ve Meyve Özelliklerinin İncelenmesi

Biber bitkisinde meyveler, bitki gövdesini oluşturan çatalların birleşme noktalarında (boğum) bulunmaktadır (Şekil 4.1). Boğumlar üzerinde saplarından bağlı olarak sarkmış olan biber meyvelerinin yukarı doğru döndürüldüklerinde saplarından kolayca koptukları gözlemlenmiştir. Dolayısıyla hasat elemanlarının bitki üzerindeki meyveleri hasat edebilmesi kopartma ya da döndürme şeklinde olabilmektedir.



Şekil 4.1. Yaprakları ve ince dalları temizlenmiş biber bitkisinde meyvelerin konumu

Yüksek kopartma kuvvetleri, meyveyi kopartmak üzere tasarlanmış bir biber hasat mekanizmasının oldukça agresif bir şekilde çalışmasını gerektirmektedir. Ancak yüksek kopartma kuvvetleri bitki ve meyvelerin zarar görme olasılığını arttırmaktadır. Temel amaç bitkiye asgari düzeyde zarar vererek meyvelerin hasat edilmesi olduğundan, meyveyi bitkiden kolayca ayırabilmek için farklı bir yaklaşımın ortaya konması zorunludur.

Biber bitkisinin çok sayıda çataldan oluşan gövde yapısı içerisinde bulunan meyvelerin, bitkiye mümkün olduğunca az zarar vererek toplanabilmesi makine ile hasadın temel problemlerinden biridir. Biber bitkisi ana bir çatal üzerinde gelişmektedir. Ana çatal üzerinde oluşan yeni çatallar birbirini takip ederek gelişmekte ve bitki gövdesini oluşturmaktadır. İlk oluşum noktasından itibaren yukarıya doğru açılarak gelişen çatal yapılar ve bunlara bağlı dallar, biber meyvelerini kopartmak için düzenlenmiş elemanların bitki içerisinde hareketine engel teşkil eden temel unsurlardan biridir. Biber bitkisinin gövde ve dal gelişimi Şekil 4.2.'de sunulmuştur. Gövde ve çatallardan oluşan dal yapısını daha açık gösterebilmek için yapraklar temizlenmiştir.



Şekil 4.2. Yaprak ve meyveleri temizlenmiş biber bitkisi fide dikiminden sonra (4, 6, 8 ve 10 haftalık)

Biber bitkisinin dikiminden itibaren (4, 6, 8 ve 10 haftalık) gövde ve dal yapısıyla ilgili yapılan boyutsal ölçümlerin sonuçları Çizelge 4.1.'de sunulmuştur. Çizelge 4.1'den görülebileceği gibi biber bitkisi olgunluk döneminde, toprak seviyesinin ortalama 450 mm üzerine kadar büyüyebilmektedir. Ancak bitki sınırlarının esnek ve kesin bir netliğe sahip olması nedeniyle ölçümlerde bir miktar hata olabileceği açıktır.

Çizelge 4.1. Biber bitkisi üzerinde yapılan boyutsal ölçümler (yükseklikler toprak seviyesinden alınmıştır)

Gelişim Dikimden İtibaren (hafta)	Bitki Yüksekliği (toprak seviyesinden) (mm)	Ana Gövde Çapı (mm)	İlk Çatal Ayrılma Çapı (mm)	İlk Çatal Yüksekliği (mm)
4	245	8	7,5	82
6	320	9	8,5	90
8	340	10	9,0	110
10	450	14	11,0	112

Biber meyveleri üzerinde yapılan fiziksel ölçümler Çizelge 4.2.'de verilmiştir. Çizelgede sunulan veriler hasat prensibi ve hasat elemanının tasarımı için gerekli verileri içermektedir.

Çizelge 4.2. K.Maraş kırmızı biberi meyvelerinin fiziksel ve boyutsal özellikleri

Sıra No	Meyve Ağırlığı (g)	Meyve Eni (mm)	Meyve Boyu (mm)	Meyve Etinin Kalınlığı (mm)	Meyve Şekli	Sap Biçimi	Enine Kesit
1. sıra ortalaması	13.2	28.7	81.3	1.2	Konik, sivri uçlu	Düz	Oval
2. sıra ortalaması	13.1	23.7	91.5	1.3	Konik, sivri uçlu	Düz	Oval
3. sıra ortalaması	12.2	23.3	85.5	1.1	Konik, sivri uçlu	Düz	Oval
Ortalama	12.9	25.2	86.1	1.2			

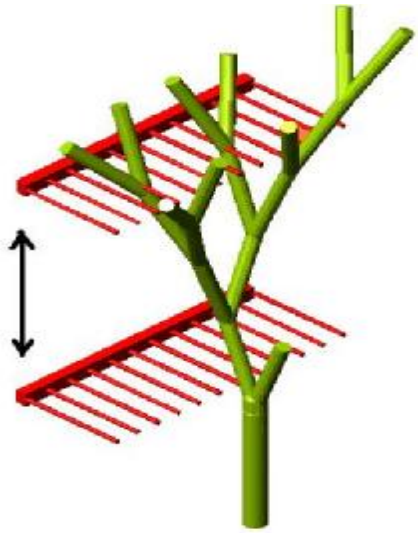
Bitki ve meyve üzerinde yapılan incelemelerde, biber meyvelerinin direkt olarak çekildiğinde oldukça yüksek kopma dirençleri gösterdiği görülmüştür. Ortalama kopartma kuvvetini saptamak için yapılan ölçümlerin sonuçları Çizelge 4.3'te sunulmuştur. Alınan otuz ölçüm gerekli kopartma kuvvetinin çok değişken aralıkta, 5 ile 42 N arasında değiştiğini göstermiştir. Kopartma kuvvetlerinin aritmetik ortalaması 22 N olarak hesaplanmıştır. Kopartma kuvvetlerinin; meyvelerin konumu, dal yapısı, meyvelerin olgunluk dereceleri ve kopartma denemelerindeki uygulama hataları nedeniyle geniş bir aralıkta sonuçlar verdiği düşünülmektedir. Bu sonuçlar çok anlamlı bir dağılıma sahip olmasalar da direkt çekme yoluyla meyveleri hasat etmenin yüksek kuvvetlerle gerçekleştirilebileceğini ortaya koymuştur.

Çizelge 4.3. Biber meyvelerini direkt çekerek elde edilen kopartma kuvvetleri

No	Kuvvet(N)	No	Kuvvet(N)	No	Kuvvet(N)
1	9	**11**	28	**21**	38
2	12	**12**	33	**22**	36
3	21	**13**	42	**23**	28
4	24	**14**	26	**24**	23
5	30	**15**	26	**25**	12
6	32	**16**	14	**26**	18
7	18	**17**	17	**27**	34
8	5	**18**	8	**28**	9
9	19	**19**	23	**29**	24
10	22	**20**	22	**30**	21

4.2. Deneysel Hasat Düzeneği Çalışması

Tarla çalışmalarında biber meyvelerinin yukarı doğru döndürüldüklerinde, sapındaki kopma tabakasından kolayca ayrıldığı gözleminden yola çıkarak, tarak şeklindeki bir sıyırıcı düzenek ile biber meyvelerinin koparılabileceği öngörülmüştür. Ancak sıyırıcı düzeneği oluşturan parmakların bitkinin çatallardan oluşmuş yapısı içindeki hareketi esnasında direnç göreceği açıktır. Bunu daha açık gösterebilmek için sıyırıcı tarak düzeneği ve üst üste gelişen çatalların oluşturduğu bitki gövde modeli aşağıda sunulmuştur (Şekil 4.3.).



Şekil 4.3. Bitki gövde yapısı ve sıyırıcı arasındaki etkileşim

Şekil 4.3.'den görülebileceği gibi, düşey eksende ve yukarı yönlü hareket eden sıyırıcı taraklar, hareket boyunca bitkinin en sağlam noktalarından biri olan çatal boğumlarıyla temas etmektedir. Bu noktada sıyırıcı tarak hareketinin sürebilmesi için tarakların yeterince esnek olması gerektiği sonucuna ulaşılabilir.

Sıyırıcı tarakları bitki üzerinde deneyebilmek için, el yordamıyla çalıştırılan, dikey bir hat üzerinde yukarı yönlü hareket eden ve sıyırıcı taraklar vasıtasıyla meyveleri döndürerek bitkiden ayırabileceği düşünülen bir deneysel sıyırıcı hasat düzeneği tasarlanmıştır (Şekil 4.4.). Deneysel sıyırıcı hasat düzeneğinde tarağın, bitki ve meyveyle etkileşimini gözlemleyebilmek için, yaprakları temizlenmiş bir biber bitkisi üzerinde hasat denemesi yapılmıştır.



Şekil 4.4. Yapraklarından temizlenmiş biber bitkisi üzerinde deneysel sıyırıcı tarak düzeneği ile hasat denemesi

Hasat denemesinin ilk aşamasında sıyırıcı tarak hareketine bitkinin alt noktasından başlamaktadır. Daha sonraki aşamada sıyırıcı tarak bitki gövdesi boyunca yükselirken, bitkinin dallarını bir araya toplamakta ve temas ettiği meyvelerin bir kısmını döndürerek dalından ayırmaktadır. Yukarı yöndeki harekette, taraklar ve dallar karşılıklı esneyerek sıkışmaları azaltmakta ve hareketin

devamlılığını sağlamaktadırlar. Tarakların esnemesi nedeniyle oluşan geniş aralıklar nedeniyle meyvelerin bir kısmı hasat edilememektedir, Ancak taraklarda oluşan esneme hareketi, tarağın bitkiye daha az zarar vermesi ve bitki içinde sıkışmadan ilerleyebilmesi için gereklidir. Sıyırıcı tarak, hareketin son aşamasında bitkiyi terk etmektedir. Bu esnada taraklar üzerinde hasat edilen meyveler ve ürün dışı materyaller bulunmaktadır.

Deneysel sıyırıcı tarak düzeneğinin bitki gövdesi ile etkileşimi incelendikten sonra tarla çalışması yapılmıştır. (Şekil 4.5.). Hasat çalışmasında her bir tarak formu için tek bir sıra üzerindeki 10'ar adet bitki üzerinde hasat denemeleri yapılmıştır. Yapılan denemelerde 15 mm aralıklı düzenlenmiş tarağın bitki içinde sıkıştığı ve bitkiye oldukça ağır hasar verdiği görülmüştür. Bu tarak aralığında yapılan hasat denemelerinde meyvelerin %86'sı hasat edilmiştir. Ancak meyvelerin %76'sı kopan ve kırılan dalların üzerinde kalması nedeniyle ürün dışı materyal yüzdesi ölçülmemiştir.



Şekil 4.5. Deneysel sıyırıcı tarak düzeneği ile biber bitkisi üzerinde gerçekleştirilen hasat denemeleri

Tarak aralığı 15 mm olan hasat düzeneğinin sürekli hasat çalışmasında kullanılması durumunda, tarağın üzerine etkiyen kuvvetlerin büyük olması kaçınılmazdır. Tarağı oluşturan elemanların deformasyona uğramasını engelleyebilmek için tarak elemanlarının daha büyük kesitlere sahip olması gerekir.

Büyük tarak elemanı kesitleri ise bitki içinde hareketi zorlaştıran ve ürün dışı materyal yüzdesini arttıran önemli bir faktördür. Çalışmanın temel amaçlarından biri hasat esnasında asgari düzeyde ürün dışı materyal toplamak olduğu için, bu aralıkta düzenlenmiş taraklar hedeflenen sonuçlar açısından uygun bulunmamıştır.

Tarak aralığı 25 mm olarak düzenlendiğinde, tarak bitki içerisinde oldukça rahat hareket etmiş ve bitkiye ihmal edilebilir düzeyde zarar vermiştir. Bitki içinde rahat hareket eden taraklar ile meyvelerin %30'u hasat edilmiştir. Toplanan ürün yanında çok az miktarda yaprak ve ince dal olduğu gözlemlenmiştir. Bu tarak aralığı bitkiye çok az düzeyde zarar verse de düşük hasat başarısı nedeniyle uygun bulunmamıştır.

En ideal sonuçları 20 mm aralığındaki sıyırıcı tarak vermiştir. Yapılan hasat denemelerinde meyvelerin %80'i toplanmış ve bitki ciddi bir zarar görmemiştir. Toplanan ürün dışı materyalin büyük bir kısmının üründen ayrılması kolay olan yaprak ve ince dallardan oluştuğu görülmüştür. Kol kuvveti kullanılarak yapılan hasat denemelerinde, aşırı sıkışma oluşmadığı süreçlerde kuvvet ölçerde okunan maksimum çekme kuvveti 185 N olarak gözlemlenmiştir. Farklı sıyırıcı tarak aralıklarında yapılan hasat denemelerinin özeti Çizelge 4.4'te verilmiştir.

Çizelge 4.4. Hasat sonuçlarının tarak aralığı, hasat edilen ürün yüzdesi ve hasat edilen ürün dışı materyal yüzdesi yönünden değerlendirilmesi

Tarak Aralığı (mm)	**Hasat Edilen Ürün (%)**	**Hasat Edilen Ürün dışı Materyal (%)**	**Açıklama**
15	86	*	Ana dallarda kırılma ve yüksek düzeyde ürün dışı materyal
20	80	8	Yüksek hasat başarısı yanında, makul düzeyde ürün dışı materyal
25	30	5	Asgari düzeyde ürün dışı materyal, düşük hasat başarısı

Genel olarak tarak malzemesinin mukavemeti, rijitliği, kesit alanı ve tarak aralığı hasat başarısı açısından farklı sonuçlar doğurabilmektedir. Bu özelliklerin irdelenmesi Çizelge 4.5'de sunulmuştur.

Çizelge 4.5. Tarak malzemesinin, malzeme özellikleri ve boyutsal özellikler açısından irdelenmesi

Malzeme ve Boyutsal Özellikler	**Açıklama**
Yetersiz mukavemet	Taraklarda eğilme ya da kopma
Rijit malzeme	Bitki gövdesinde sıkışma, bitki üzerinde aşırı tahribat, yüksek düzeyde ürün dışı materyal
Hareket yönünde yüksek kesit alanı	Mukavemet ve rijitlikte artış, bitki içinde sıkışma ve aşırı tahribat, meyvelerin daha az mızraklanması
Hareket yönünde düşük kesit alanı	Mukavemet ve rijitlikte azalma, bitki içinde rahat hareket, mızraklanan meyvelerin yüzdesinde artış
Dar tarak aralığı	Bitki içinde sıkışma ve aşırı tahribat, toplanan ürün yüzdesinde artış
Geniş tarak aralığı	Bitki gövdesi içinde rahat tarak hareketi, düşük hasat başarısı

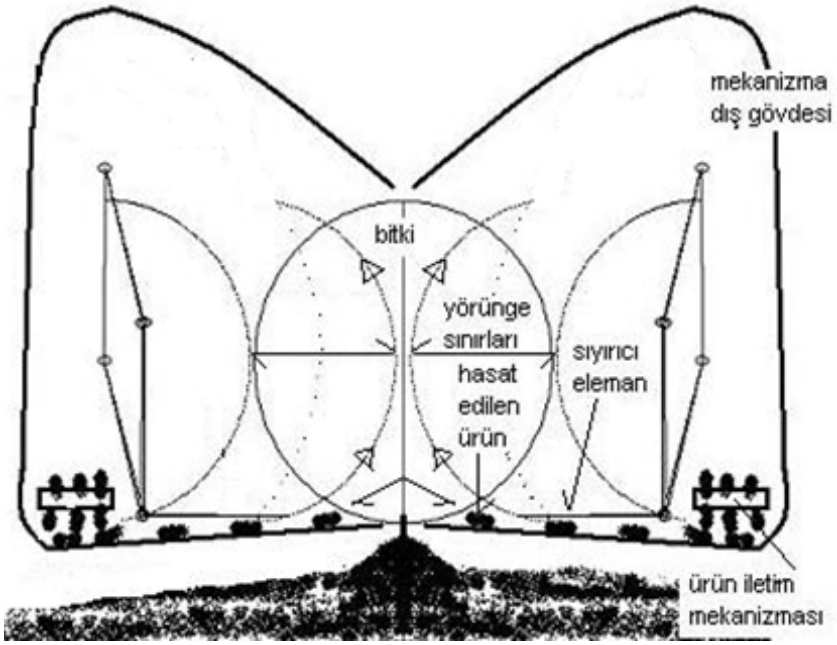
Deneysel sıyırıcı tarak düzeneği, bu çalışmada kullanılmak üzere tasarlansa da, elle hasat yapan tarım işçilerinin kullanımına uygun bir hale sokulması başka bir araştırmanın konusu olabilir. Böylelikle insan gücünden yararlanarak çalışan bir biber hasat düzeneği elde edilebilir.

4.3. Sıyırıcı Tarak Hareket Yörüngesi ve Tahrik Mekanizmasının Saptanması

Sıyırıcı tarak düzeneğiyle yapılan deneysel çalışmalarda, hasat kabiliyetine sahip olduğu saptanan tarakların bir hasat makinesi üzerinde çalışacak hale getirilmesi için hareket yörüngesi ve tahrik mekanizmasının saptanması gereklidir. Deneysel sıyırıcı hasat düzeneğinde taraklar yere paralel konumda bitkiyi taramaktadır. Bu hareketin basit bir mekanizmayla sağlanması mümkündür. Tarakların hasat makinesi üzerinde çalışabilmesi için, tarama hareketi sonunda tarağın bitki gövdesinden uzaklaşıp, bitkiye tekrar alttan girecek pozisyona gelmesi gerekir. Bu hareketin sağlanması karmaşık bir mekanizmanın tasarımıyla mümkündür. Tasarlanan hareket sonucunda oluşan yörüngeyi elde edebilmek için sonsuz sayıda yörünge oluşturabilme yeteneğine sahip dört çubuk mekanizmasının kullanılması öngörülmüştür.

Şimdiye kadar yapılan çalışmalarda tekil olarak çalışan tek bir hasat mekanizması üzerinde durulmuştur. Oysa üzerine sıyırıcı taraklar bağlanmış dört

çubuk mekanizmasının tek yönlü çalışması durumunda, bitkinin duruş pozisyonunu bozulacak ve bitkinin diğer tarafı tarakla yeterince temas etmeyecektir. Bu nedenle iki yönlü simetrik çalışacak hasat mekanizması modeli oluşturulmuştur (Şekil 4.6.). Tasarlanan hareket yörüngesine bağlı olarak hareket eden tarakların bitki ile etkileşimini incelenebilmesi için bir bitki modeli tasarlanmıştır. Bitki gövde modeli 40 cm x 50 cm'lik bir elipsten oluşturulmuş olup, model referans alınan toprak yüzeyinden 8 cm yukarı konumlandırılmıştır. Ortada konumlandırılmış basit bitki modeline göre, tarakların dönüş hareketi esnasında bitki içine değişen oranlarda girdiği görülmektedir.



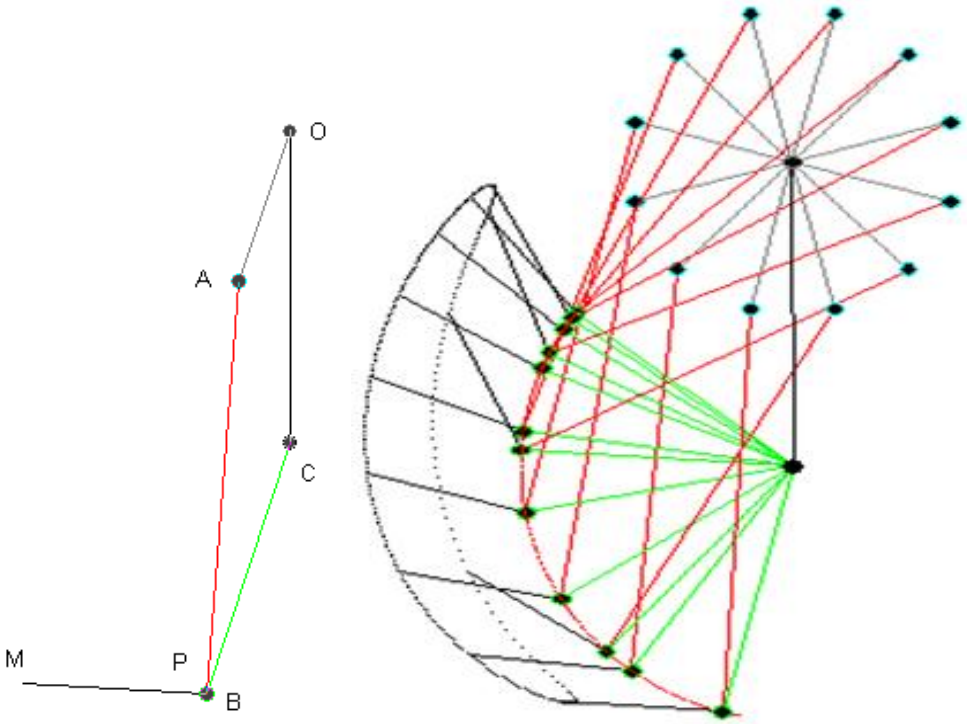
Şekil 4.6. Dört çubuk mekanizmasının karşılıklı konumlandırılmış şekli

Yapılan literatür taramalarında, çalışmanın içeriğindeki mekanizmaya benzer bir çalışma ve yörünge modeli bulunmadığı görülmüştür. Bu nedenle ilk aşamada simülasyon programı kullanılarak uygun sıyırıcı tarak hareketini saptamak üzere farklı yörüngeler üzerinde çalışılmıştır. Mekanizmaya özel yazılan simülasyon programı hasat mekanizması ve sıyırıcı tarakların bitki modeli üzerinde çalıştırılarak hedeflenen hareket yörüngelerinin oluşturulmasında önemli rol oynamıştır.

4.4. Prototip Biber Hasat Makineleri ve Hasat Denemeleri

4.4.1. Birinci Prototip Biber Hasat Makinesi ve Hasat Denemesi

Hareket simülasyon programıyla yapılan çalışmalar neticesinde elde edilen ilk hareket yörüngesi Şekil 4.7.'de verilmiştir. Bu yörüngeye göre çalışan mekanizmada, bitkinin ana gövdesinin alt hizasından harekete başlayan taraklar, yatayla saat yönünde 4^o'lik açı yapmaktadır. Hareketin devamında tarakların yatayla saat yönünde yaptığı açı kademeli olarak artmaktadır. Tarak en üst noktaya ulaştığında, bu açı 66^o'ye ulaşmaktadır. Sıyırma hareketi boyunca tarak açısının artması, tarak üzerinde biriken biberlerin kayarak bitki içine düşmesini ve dalların-meyvelerin taraklar arasından kayarak uzaklaşmasını zorlaştırabilmek için tasarlanmıştır.



(a) (b)

Şekil 4.7. Boyutları saptanan ilk mekanizma ve hareket yörüngesi (a,b) (OA uzvunun, 30^o'lik açı artışlarına göre, 12 aşamada çizdirilmiştir)

Sıyırıcı taraklar dönüş hareketi esnasında değişen oranlarda bitki içine girmektedir. Sıyırıcı tarak dönüş hareketinin başlangıcında yere göre saat yönünde 66^{o}'lik açıya sahiptir. Bu açı tarak dönüş hareketinde küçük aralıklarla değişmektedir. Bu nedenle bitkinin esneyerek tarakların hareketinden asgari düzeyde etkileneceği öngörülmüştür. Şekil 4.7b'de verilen tarak hareket yörüngesini oluşturan noktalar incelenirse, tarama aşamasındaki noktaların birbirlerine daha yakın olduğu, dönüş yörüngesini gösteren noktaların daha aralıklı olduğu görülür. Bunun anlamı dönüş hareketinin tarama hareketine göre daha hızlı olmasıdır. Bu özellik dönüş hareketi sırasında oluşan ölü zamanı azaltmak açısından önemlidir.

Yörünge ve buna bağlı mekanizma boyutlarının saptanması aşamasından sonra biber hasat makinesinin birinci prototipinin imalatı gerçekleştirilmiştir (Şekil 4.8).



Şekil 4.8. Biber hasat makinesinin birinci prototipi

Tarla şartlarında ilk makineli hasat denemesi, ilk biber hasadı Ağustos ayında tarım işçileri tarafından yapılan tarlada, Ekim-2005 tarihi içerisinde K.Maraş Tarımsal Araştırma Enstitüsü'nde yapılmıştır (Şekil 4.9.).



Şekil 4.9. Hasat denemesi yapılan biber tarlası (K.Maraş Tarımsal Araştırma Enstitüsü, Ekim-2005)

Prototip makine kullanılarak yapılan ilk hasat denemesinde (Şekil 4.10), sıyırıcı tarakların hasat edebilme kabiliyetine sahip oldukları görülmüştür. Ancak aşağıda maddeler halinde sıralanan faktörler nedeniyle asgari hasat başarısı elde edilememiştir.

- Bitkiye değişik oranlarda giren tarakların dönüş hareketi esnasında, eğik pozisyonlarından dolayı bitkiye ciddi zarar vermeyecekleri öngörülmüştür. Ancak tarla denemelerinde bitkilerin çoğu tarakların geri dönüş hareketinde yeterince esneyemediği için ezilmişlerdir. Bu olayda tarakların dönüş hareketi sırasındaki yüksek hızı da etkili olmuştur.
- Tarakların bitki içine dalışı geç başlamış erken bitmiştir. Bu nedenle taraklar bitki hacmini etkin şekilde tarayamamıştır.
- Kullanılan yörünge, farklı boyutlara sahip bitki yapılarında yeterince etkin tarama kabiliyeti sergilememiştir.
- Hasat denemesi yapılan tarlanın makineli hasada uygun bir ekim desenine sahip olmaması.
- Traktör operatörünün makineyi kullanma konusundaki deneyimsizliği.



Şekil.4.10. Birinci biber hasat makinesi prototipi tarla çalışması

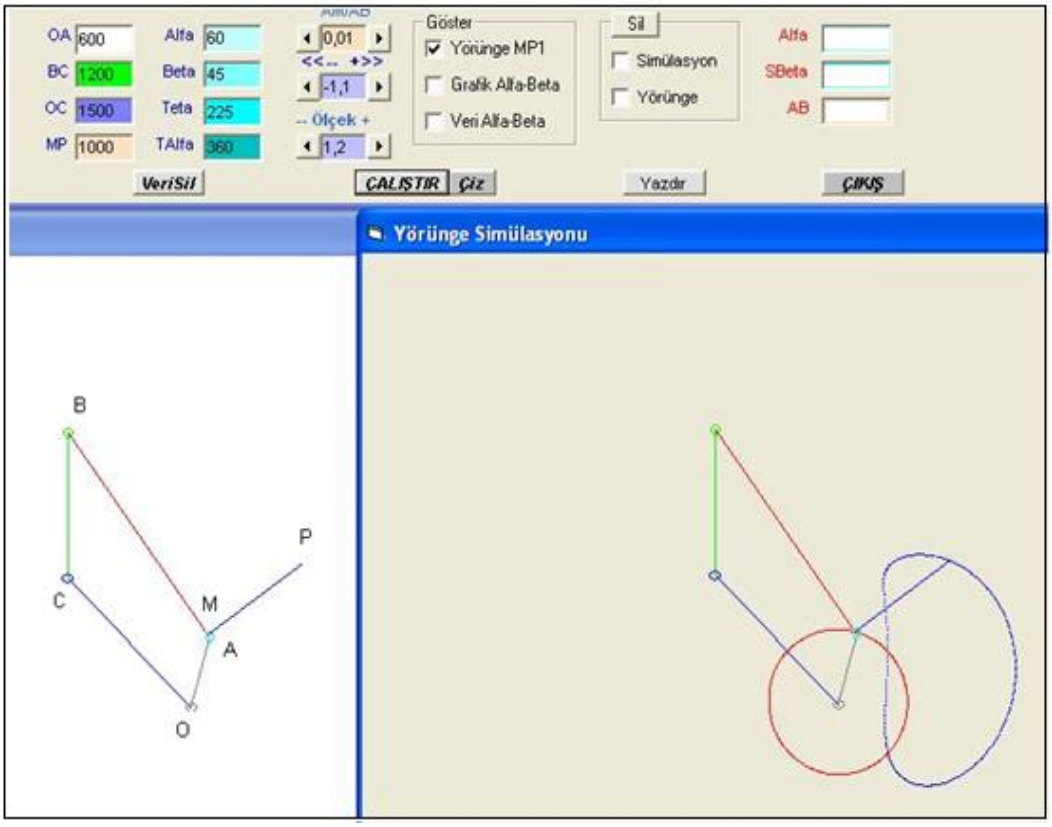
Yapılan denemelerde hidrolik motorun dönüş devri 1000 min^{-1} değerini aşmadığından motordan alınan ortalama güç 2.5 KW olmuştur.

4.4.2. İkinci Prototip ve Birinci Hasat Denemesi

Önceki hasat döneminde denenmiş olan biber hasat makinesinde görülen olumsuzlukları gidermek üzere, bilgisayar ortamında yörünge simülasyon çalışmaları yapılmıştır (Şekil 4.11.). Dört çubuk mekanizmasından beklenen hareket yörüngesini elde edebilmek için, uzuvların uzunlukları, yerleşim şekli, uzuv açıları ve mekanizmanın tahrik şekli değiştirilmiştir. Sıyırıcı tarakların bağlantı noktası, boyutları ve yerleşim açısı üzerinde bir değişiklik yapılmamıştır.

Bu mekanizma ile elde edilen yörünge incelenirse bir önceki yörüngeye nazaran daha etkin bir hacim tarama kabiliyetine sahip olduğu görülebilir. Daha önce de belirtildiği gibi yörünge belirlenirken özellikle boyutsal kısıtlamalar etkili olmaktadır. Yani bitki boyutlarına göre daha verimli olabilecek yörüngeler elde

edilebilse de bunun karşılığında ortaya çıkan uzuv boyutları tarla şartlarında uygulamayı mümkün kılmamaktadır.



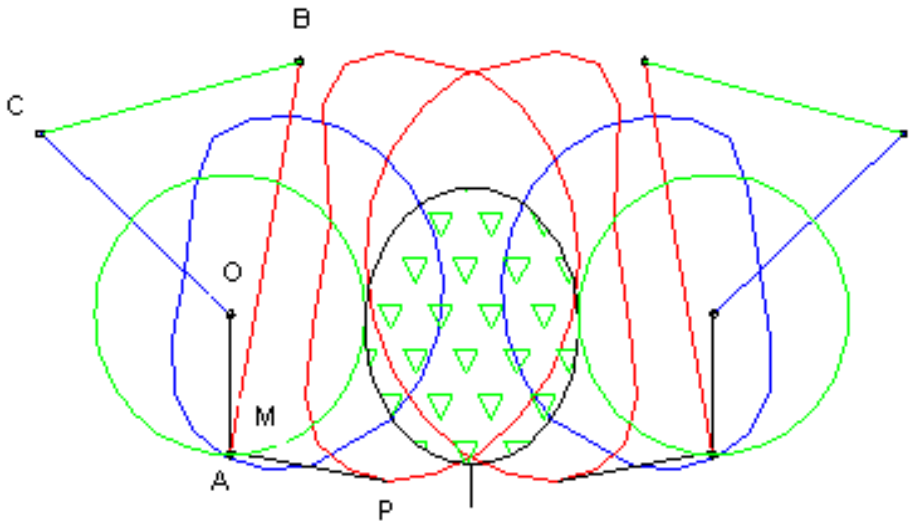
Şekil 4.11. Simülasyon çalışmaları ile elde edilen yeni hasat yörüngesi

Yörünge çalışmalarının sonucunda, aşağıda maddeler halinde sıralanan fonksiyonları yerine getirebilecek yeni bir dört çubuk mekanizması tasarlanmıştır.

- Taraklar bitkiye alt noktadan ve yere olabildiğince paralel girecek, çıkış hareketi bitkinin üst noktasında başlayacaktır. Böylelikle bitki hacminin taraklar tarafından daha etkin taranması sağlanacaktır.
- Tarak geri dönüş hareketi esnasında bitkiye mümkün olduğunca az girecektir, böylelikle ilk modelde gözlenen tarağın bitkiyi ezme sorunu ortadan kaldırılmaya çalışılacaktır.

Bir bitki modeliyle birlikte karşılıklı simetrik olarak çalışacak şekilde yerleştirilmiş yeni hasat mekanizmasının prensip şeması Şekil.4.12.'de verilmiştir. Bu mekanizma ile bir önceki mekanizma karşılaştırılırsa, bir önceki mekanizmada x ekseniyle 90^o açı yapan OC uzvu, yeni modelde 225^o açı yapmaktadır. Bir önceki

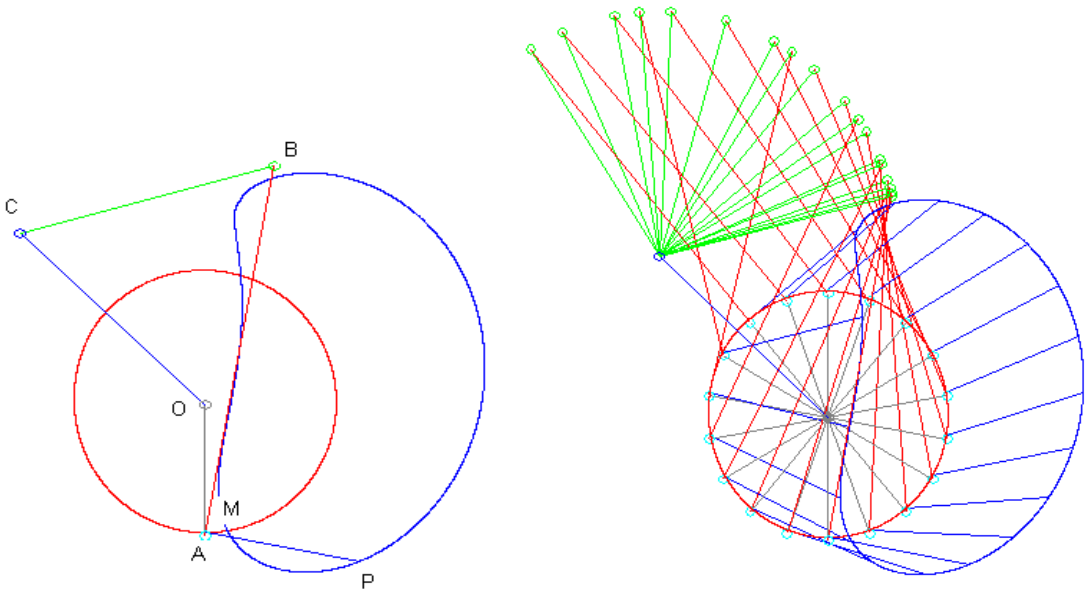
modelde yukarıda olan OA uzvu yeni modelde aşağıya alınmıştır. Tahrik yine bu uzuvdan yapılmaktadır. Mekanizma bir öncekinde olduğu gibi kol-sarkaç hareketi yapmaktadır. Yeniden boyutlandırılmış dört çubuk mekanizmasında taraklar bitkiye alttan girip, bitkinin üst noktasından sonra yükselerek dönüş hareketine başlamaktadır. Şekil 4.12'de, kırmızıyla çizilmiş yörünge, tarağın P noktasının yörüngesi, mavi ile çizilmiş yörünge, tarağın orta noktasının (MP merkezi) yörüngesidir.



Şekil 4.12. Tarakların karşılıklı çalışması durumunda, bitki konumuna göre M , MP merkez ve P noktalarının yörünge eğrileri

Bir önceki modelde olduğu gibi, bitki gövde modeli 40cm x 50 cm'lik bir elipsten oluşturulmuş olup model referans alınan toprak yüzeyinden 8 cm yukarı konumlandırılmıştır.

Şekil 4.13'te tarağın P noktasının yörüngesi (a) ve 20^{o}'lik açı aralıklarıyla tarak hareketleri verilmiştir (b). Bir önceki mekanizmada olduğu gibi taraklar yükselirken geriye doğru açı almaktadır. Böylelikle, koparılan meyvelerin bitki içine düşmesi ve taraklar arasında toplanan dalların kayması engellenmiş olmaktadır.



(a) (b)

Şekil 4.13. Hasat mekanizması (a) ve tarak yörüngesi (b) (yörünge çizimleri 20^0'lik aralıklarda yapılmıştır)

Hasat mekanizmasının hareket yörüngeleri üzerinde yapılan çalışmalar sonucunda, elde edilen dört çubuk mekanizmasını kullanan ikinci biber hasat makinesi prototipi hazırlanmıştır. (Şekil 4.14).



Şekil 4.14. Tarla denemesi için, traktöre bağlanmış ikinci prototip

İkinci prototip hazırlanırken, ilk prototipin ana şasesi kullanılmıştır. Dört kol mekanizmasının uzuvlarının uzunlukları ve yerleşim açıları değiştiği için konumları değişen yataklar için ana şase üzerinde bir takım düzenlemeler ve ek parçalar kullanılmıştır. Verilen şekilde biber hasat makinesinin ikinci prototipi traktöre üç nokta askı sisteminden bağlanmış ve tarla denemesine hazır halde görülmektedir.

Hidrolik motordan alınan dönüş hareketi yine dişli ve zincir grubuyla tahrik edilen uzuvlara iletilmiştir. Bir önceki prototipte olduğu gibi hasat edilen ürünü ileten, ayıklayan ve depolayan ek düzenekler ilave edilmemiştir. Hazırlanan ikinci prototip makine ile ilk hasat denemesi 2006-Eylül ayında K.Maraş Tarımsal Araştırma Enstitüsünde gerçekleştirilmiştir (Şekil.4.15).



Şekil 4.15. Biber hasat makinesi ikinci prototipi ile tarla denemesi

Yapılan hasat denemelerinde, mekanizmanın kinematik olarak sorunsuz çalıştığı ve bir önceki tarla denemesinde saptanan mekanizmanın dönüş hareketi esnasında bitkiyi ezme probleminin ortadan kalktığı görülmüştür.

Tarla denemelerinde, traktör ilerleme hızı 0.36 m/ s, OA uzvu dönüş hızı 60 min^{-1} en iyi hasat sonuçlarını vermiştir. Deneme sonucunda, ikinci kırıma giren bitkilerin üzerindeki ürünün %72'si toplanmıştır. Toplanamayan ürünlerin çoğu

dalında kuruyan ve boyutsal olarak küçülen meyveler olduğu gözlenmiştir Tarama esnasında bitki gövdelerinin ortalama %8'lik bölümünde kopma ve kırılma görülmüştür. Deney 20 metrelik birbirine özdeş iki hat üzerinde yapılmıştır. Devir sayısının ve buna bağlı ilerleme hızındaki artışın, koparılan meyvelerin sayısında artış yarattığı ancak bitki gövdesi üzerinde oluşan kırılma ve kopmaları radikal bir şekilde arttırdığı saptanmıştır. Tahrik edilen OA uzvu 30 min^{-1}. ile çevrildiğinde hasat başarısının düştüğü görülmüştür. Bunun nedeninin düşük dönüş devri nedeniyle bitki dallarının taraklar arasından daha çabuk kurtulması olduğu düşünülmektedir. Tarak dönüş hızı ve traktör ilerleme hızına göre hasat denemesi sonuçları Çizelge 4.6.'da sunulmuştur.

Çizelge 4.6. Tarak dönüş hızı ve traktör ilerleme hızına göre hasat denemesi sonuçları

OA Uzvu Dönüş Hızı (min^{-1})	Traktör İlerleme Hızı (m/s)	Hasat Edilen Ürün (%)	Ürün Dışı Materyal (%)
30	0.36	68	7
30	0.47	61	8
60	0.36	72	8
60	0.47	64	12
90	0.36	81	14
90	0.47	76	18

4.4.3. İkinci Prototip İkinci Hasat Denemesi

2006 yılı Eylül ayında ilk hasat denemesi yapılan ikinci prototip biber hasat makinesi gerekli bakımlar yapıldıktan sonra 2007 Eylül ayında ikinci hasat denemesine alınmıştır (Şekil 4.16). Tarladaki biber bitkilerinin yaşanan kuraklık nedeniyle, gerek bitki yapısı ve gerekse meyve verimi açısından bir önceki seneye nazaran daha zayıf olduğu gözlemlenmiştir. Bu durum kaçınılmaz bir şekilde hasat başarısını olumsuz yönde etkilemiştir. Bitki gövdesinde gözlenen aşırı kuruma hasat denemesi esnasında toplanan ürün dışı materyal yüzdesini arttırmıştır.



Şekil 4.16. İkinci prototip ile tarla denemesi

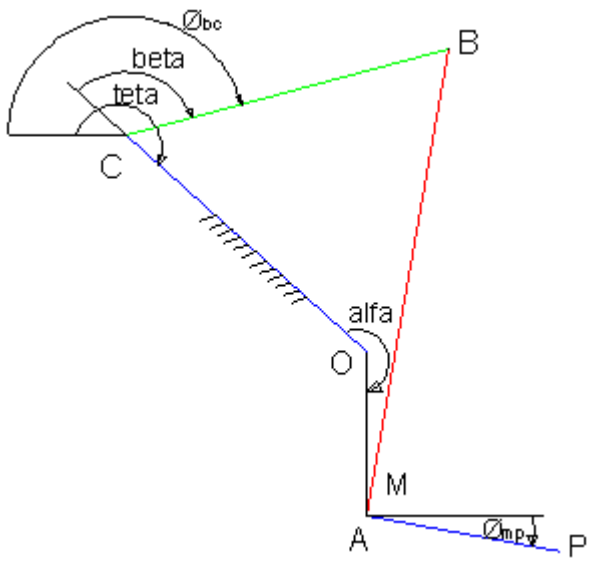
Yapılan tarla denemesinde, traktör ilerleme hızı 0.36 m/s, tarak dönüş hızı 60 min^{-1} hızlarında; bitkilerin üzerindeki ürünün %65'i toplanmıştır (geçen seneki denemede %72). Toplanamayan ürünlerin çoğunun dalında kuruyan ve boyutsal olarak küçülen meyveler olduğu gözlenmiştir. Ürün dışı materyal yüzdesi %18 olmuştur. Hasat denemesi 20 metrelik birbirine özdeş iki hat üzerinde yapılmıştır.

4.5. Hasat Mekanizmasının Konum-Hız Analizleri ve Mekanizmanın Sentezi

Bu bölümde ikinci ön modelin kol-sarkaç mekanizmasının, MP uzvunun (sıyırıcı tarak) hareket başlangıç pozisyonuna göre konum, hız analizleri ve önceki bölümlerde saptanmış olan tarak hareket yörüngesine göre boyutsal sentezi yapılmıştır.

Kol-sarkaç mekanizmasında sarkaç hareketi yapan çıkış uzvu aralığı mekanizma özelliklerine bağlı olarak değişen iki sınır açı değeri arasında salınım hareketi yapar. Sarkacın hızının sıfır olduğu bu konumlara ölü konumlar adı verilir. Bu ölü konumlara yaklaşan sarkaç önce yavaşlar ve bu noktada durduktan sonra yönünü değiştirerek ters yöne doğru hareketine devam eder. Bu hareketin tekrarlanarak sürmesi sarkaç hareketini oluşturur.

Aşağıda verilmiş olan şekilde (Şekil 4.17), biber hasat makinesinin ikinci ön modelini oluşturan kol-sarkaç mekanizması ve çalışma başlangıç pozisyonu verilmiştir. Şekilde verilen O, A, B, ve C noktaları uzuvların bağlandığı mafsalları temsil etmektedir.



Şekil 4.17. Sıyırıcı tarakla donatılmış (MP) çubuk-sarkaç mekanizması, çalışma başlangıç pozisyonu (OA=253mm, BC=502mm, OC=483mm, AB=723, MP=300mm, alfa=228 ^{o}, beta=123 ^{o}, teta=221^{o})

İncelenen dört çubuk mekanizmasında tahrik edilen uzuv (kol) OA uzvudur. BC uzvu, AB uzvu tarafından iletilen OA uzvu hareketi neticesinde sarkaç hareketi yapmaktadır**.** Mekanizmada OC uzvu sabit uzuvdur. Bu uzuv hasat makinesi şasesidir. Sıyırıcı tarağın AB uzvuna bağlandığı nokta M ile gösterilmiştir ve tarak MP uzvu ile temsil edilmektedir. MP uzvu, AB uzvuna 90^{o} açıyla, dik olarak bağlanmıştır.

Mekanizmanın çalışması esnasında, OA uzvu saat ibresinin ters yönünde hareket etmektedir. Simetrik olarak çalışan mekanizmada, sağdaki dört çubuk mekanizmasında OA uzvu saat yönünde hareket etmektedir. BC uzvunun zamana bağlı olarak salınım açısının değişimi Çizelge 4.7'de verilmiştir. Çizelgeden görülebileceği gibi BC uzvu sarkaç (salınım) hareketini 107^{o}'lik aralıkta

gerçekleştirmektedir. Bu değer ölü konumlardaki salınım açılarının farkı alınarak bulunmuştur (165.1-58.1=107^{o}).

Çizelge 4.7. BC uzvu salınım açısının zamana göre değişimi ($Ø_{bc}{}^{o}$)

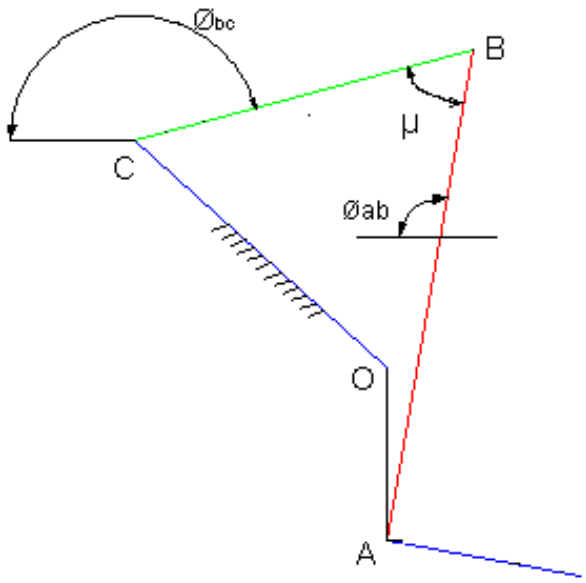
t (saniye)	Dönüş açısı $Ø_{bc}$ (^{o})	t (saniye)	Dönüş açısı $Ø_{bc}$ (^{o})
0	165.1	0.55	67.7
0.05	162.4	0.6	58.1
0.1	158.1	0.65	70.7
0.15	152.1	0.7	108.8
0.2	144.7	0.75	135.6
0.25	136.0	0.8	151.2
0.3	126.1	0.85	159.9
0.35	115.4	0.9	164.3
0.4	103.9	0.95	164.8
0.45	91.9	1.0	165.1
0.5	79.7		

Boyutları belirlenmiş olan dört çubuk mekanizmasının kol-sarkaç hareketi Grashof teoremi ile gösterilebilir. Bu teoreme göre sabit uzvun en kısa uzva komşu olması durumunda çubuk-sarkaç hareketini elde edebilmek için,

$$S+L<P+Q \qquad (4.1.)$$

şartının sağlanması gereklidir. Bu ifade içinde, *S* en kısa uzvun, *L* en uzun uzvun ve *P-Q* diğer iki uzvun boylarıdır. Şekil 4.17'den uzuv boyutları alınarak 4.1.nolu ifade içinde yerlerine konulursa "253+723<483+502, (976<985)" elde edilir. şartının sağlandığı görülür. Ancak aradaki farkın oldukça küçük olması boyutlarda yapılacak çok küçük değişikliklerin mekanizmanın hareket şeklini değiştirebileceğini göstermektedir.

Dört çubuk mekanizmasında hareket ve kuvvetin çıkış uzvuna nasıl iletildiği önemlidir. Bu durumu daha iyi anlayabilmek için mekanizma tekniğinde iletim ya da bağlama açısı (µ) olarak adlandırılan büyüklüğün değişimlerini incelemek gereklidir. En ideal halde iletim açısının değeri 90$^{o'}$dir. Şekil 4.18'de tasarımı yapılan dört çubuk mekanizmasının iletim açısı (µ), AB ve BC uzuvlarının yatayla yaptıkları açılar ($Ø_{ab,}$ $Ø_{bc}$) gösterilmiştir.



Şekil 4.18. Dört çubuk mekanizmasının iletim açısının (μ), $Ø_{ab}$ ve $Ø_{bc}$ açılarına bağlı olarak gösterimi

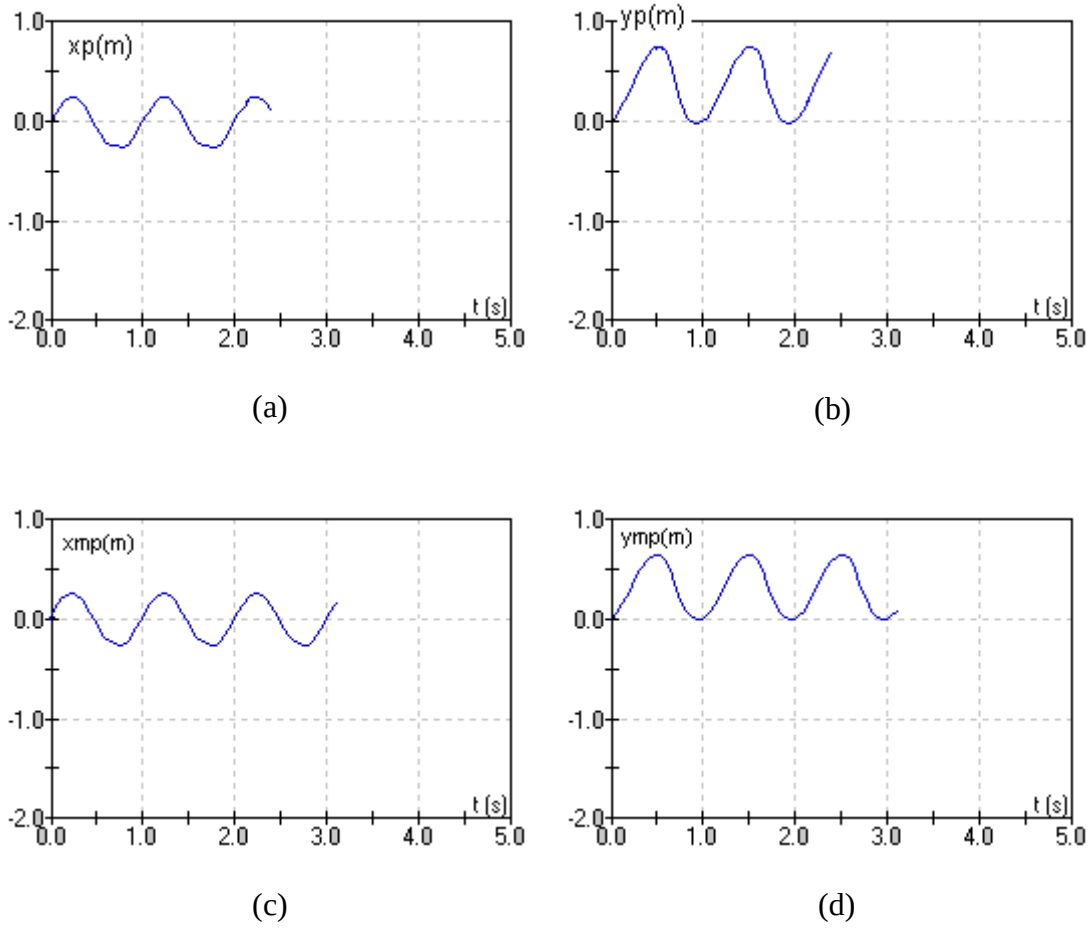
İletim açısının (μ) zamana bağlı değişimi, $Ø_{ab,}$ ve $Ø_{bc}$ açılarına bağlı olarak Çizelge 4.8'de verilmiştir. Bu çizelge incelenirse bağlama açısının 0.15'inci saniyede 71.5^o ile maksimum değeri, 0.65'inci saniyede 7^o ile minimum değeri aldığı görülebilir. Zaman aralığının ilk yarısının tarağın yük altında olduğu bölge olduğu göz önüne alınırsa, mekanizmanın bu aralıktaki iletim açıları kuvvet iletimi açısından uygundur.

Çizelge 4.8. İletim açısının (μ) zamana bağlı değişimi

t	**$Ø_{bc}$ (^{o})**	**$Ø_{ab}$ (^{o})**	**μ (^{o})**	**t**	**$Ø_{bc}$ (^{o})**	**$Ø_{ab}$ (^{o})**	**μ (^{o})**
0	165.1	100.3	64.9	**0.55**	67.7	49.256	18.4
0.05	162.4	93.5	69	**0.6**	58.1	48.9	9.2
0.1	158.1	86.9	71.2	**0.65**	70.8	63.8	7
0.15	152.1	80.6	71.5	**0.7**	108.9	93.6	15.4
0.2	144.7	74.9	69.8	**0.75**	135.7	110.6	25.1
0.25	136	69.7	66.3	**0.8**	151.3	116.6	34.7
0.3	126.2	65.2	61	**0.85**	159.9	116.2	43.7
0.35	115.4	61.1	54.3	**0.9**	164.3	112.4	51.9
0.4	103.9	57.501	46.4	**0.95**	165.8	106.8	59
0.45	91.9	54.302	37.6	**1**	165.1	100.3	64.8
0.5	79.7	51.497	28.2				

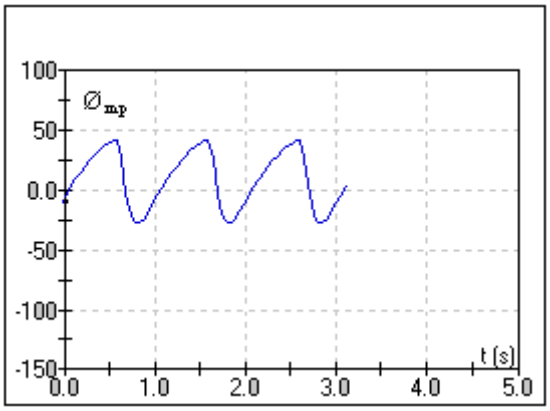
4.5.1. MP Uzvu (Sıyırıcı Tarak) Konum Analizi

MP uzvu P noktasının ve ağırlık merkezinin, x ve y koordinatlarının (x_p, y_p, x_{mp}, $y_{mp)}$ zamana göre değişimini (OA uzvu dönüş devri 60 min^{-1}) gösteren grafikler her bir nokta için aşağıda sunulmuştur (Şekil 4.19).



Şekil 4.19. MP uzvu, P noktası (a, b grafikleri) ve ağırlık merkezinin (c ve d grafikleri), x ve y koordinatlarının (x_p, y_p, x_{mp}, y_{mp}) zamana göre değişimi (OA uzvu dönüş devri 60 min^{-1})

MP uzvunun x ekseniyle yaptığı açının ($Ø_{mp,}$ tarak açısı) değişimi özellikle bitki gövdesinin tarandığı zaman aralığında, bitki gövdesi ve meyvelerle etkileşimi açısından önemlidir. Bu açı değişimi zamana bağlı olarak veren grafik aşağıda sunulmuştur (Şekil 4.20).



Şekil 4.20. MP uzvu dönüş açısının ($Ø_{mp}$) zamana göre değişimi (OA uzvu dönüş devri 60 min^{-1})

Şekil 4.19 ve 4.20'de verilen grafikleri oluşturan, zamana bağlı değişen açı ve koordinatların sayısal değerleri Çizelge 4.9'da verilmiştir.

Çizelge 4.9. MP uzvu uç noktası (P) ve ağırlık merkezinin x ve y koordinatlarının (x_{mp}, y_{mp}), MP uzvu dönüş açısının ($Ø_{mp}$) zamana göre değişimi (OA uzvu dönüş devri 60 min^{-1})

t (s)	x_p (m)	y_p (m)	x_{mp} (m)	y_{mp} (m)	Dönüş açısı $Ø_{mp}$ (°)	
0	0	0	0	0	-10.40	
0.05	0.083	0.048	0.082	0.03	-3.62	
0.1	0.15	0.12	0.15	0.084	3.03	
0.15	0.20	0.209	0.20	0.15	9.29	
0.2	0.23	0.309	0.24	0.24	15.02	
0.25	0.24	0.414	0.24	0.33	20.17	
0.3	0.22	0.515	0.23	0.42	24.74	
0.35	0.17	0.605	0.19	0.50	28.80	
0.4	0.11	0.678	0.13	0.57	32.40	**Tarama bölgesi**
0.45	0.028	0.729	0.055	0.61	35.60	
0.5	-0.060	0.753	-0.028	0.63	38.40	
0.55	-0.14	0.751	-0.11	0.62	40.64	
0.6	-0.21	0.717	-0.181	0.59	41.02	
0.65	-0.23	0.595	-0.21	0.50	26.09	
0.7	-0.23	0.37	-0.23	0.35	-3.60	
0.75	-0.26	0.202	-0.25	0.22	-20.65	
0.8	-0.26	0.094	-0.25	0.13	-26.67	
0.85	-0.23	0.025	-0.21	0.063	-26.34	
0.9	-0.16	-0.013	-0.15	0.016	-22.54	
0.95	-0.086	-0.021	-0.081	-0.005	-16.91	
1.0	0	0	0	0	-10.40	**Tarak Dönüş Bölgesi**

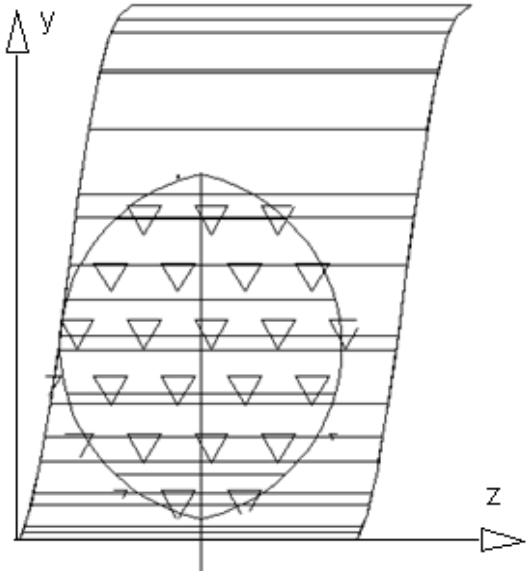
Yukarıda verilen Çizelge 4.9.'da zaman tablosunun ilk yarısı, tarağın tarama ve bitkiden çıkış zamanını göstermektedir. Bitki yüksekliğinin bir fonksiyonu olmakla birlikte 0.4'üncü saniye taramanın bittiği zaman olarak kabul edilmiştir. Kalan diğer zaman dilimi tarağın bitki dışında yaptığı dönüş hareketini göstermektedir.

Çizelge 4.9'da, hareket başlangıç pozisyonunda tarak açısının 10.4^{o} olduğu, sıyırma hareketi boyunca bu açının kademeli olarak artarak $32^{o'}$ye çıktığı görülmektedir. Tarağın, tarama yörüngesi boyunca yükselirken ters açı alması, taraklar arasına sıkışan biber meyvelerinin kaymasını engellemekte ve döndürülerek koparılmasını kolaylaştırmaktadır.

Tarak hareketinin ilk 0.4 saniyesinde sıyırıcı tarak, çalışma başlangıç pozisyonundaki konumuna göre; x ekseni boyunca 0.24 m ve y ekseni boyunca 0.678 m maksimum yer değiştirme yapmaktadır. Tarama hareketi bitiminde taraklar bir miktar daha yükselmekte 0.753 m yüksekliğe çıkmaktadır. Dönüş hareketi esnasında, MP uzvu, hareket başlangıç noktasına göre 0.26 m geriye gitmektedir. Dolayısıyla tarağın hareket başlangıç noktasına göre x ekseni doğrultusundaki toplam yer değiştirmesi 0.5 m'dir.

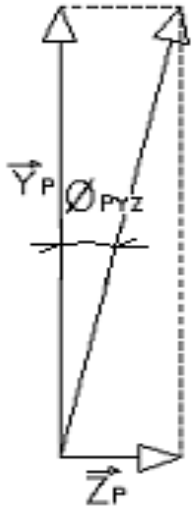
4.5.2. MP Uzvu Hız Analizi

Sıyırıcı tarak hareketi üç eksen üzerinde gerçekleşmektedir. Tarağın bitki sırasına dik olarak yatay eksende ve düşey eksende yaptığı hareketler, sırasıyla x ve y eksenleri ile temsil edilmektedir. Traktörün bitki sırası boyunca yaptığı ilerleme hareketi ise z ekseni ile temsil edilmektedir. Tarak uç noktasının (P), mekanizmanın çalışma başlangıç pozisyonundan, tarama hareketinin bitimine kadar traktör ilerleme hızına bağlı olarak y ve z eksenleri üzerindeki pozisyon değişimi Şekil 4.21'de verilmiştir. İki eksen üzerindeki harekete bağlı olarak yapılan konum analizi (y, z), yapılan hasat denemelerinde en iyi sonuçları veren şartlara göre yapılmıştır (tahrik edilen uzuv (OA) dönüş hızı 60 min^{-1} ve traktör ilerleme hızı ($V_{tr,}$) 0.36 m/s.



Şekil 4.21. Tarak P noktasının el alt pozisyondan en üst pozisyona ulaşana kadar, yürüme hızına bağlı olarak pozisyon değişimi

Tarak uç noktasının (P), y ve z eksenleri üzerindeki yer değiştirme vektörleri (y_p, z_p), OA uzvu dönüş hızı 60 min^{-1} ve traktör ilerleme hızı ($V_{tr,}$) 0.36 m/s'ye göre çizilirse (Şekil 4.22) elde edilir. Şekilde görülen $Ø_{pyz}$ traktör ilerleme hızı ve OA uzvu dönüş hızına bağlı olarak bitkinin eğilme açısıdır.



Şekil 4.22. P noktasının y-z eksenleri üzerindeki konum vektörleri ve bitki eğilme açısı

Aşağıda verilen Çizelge 4.10.'da tarak sıyırma hareketinin başlangıç ve bitiş aralığında, tarak uç noktasının (P) zamana bağlı olarak y ekseni doğrultusundaki hızı (V_{py}), y ve z eksenleri (y_p, z_p) üzerindeki konum koordinatları verilmiştir.

Çizelge 4.10. Tarak uç noktasının (P), y ve z eksenleri üzerinde zamana bağlı konum, ilerleme açısı ve hız değişimleri (traktör ilerleme hızı 0.36 m/s)

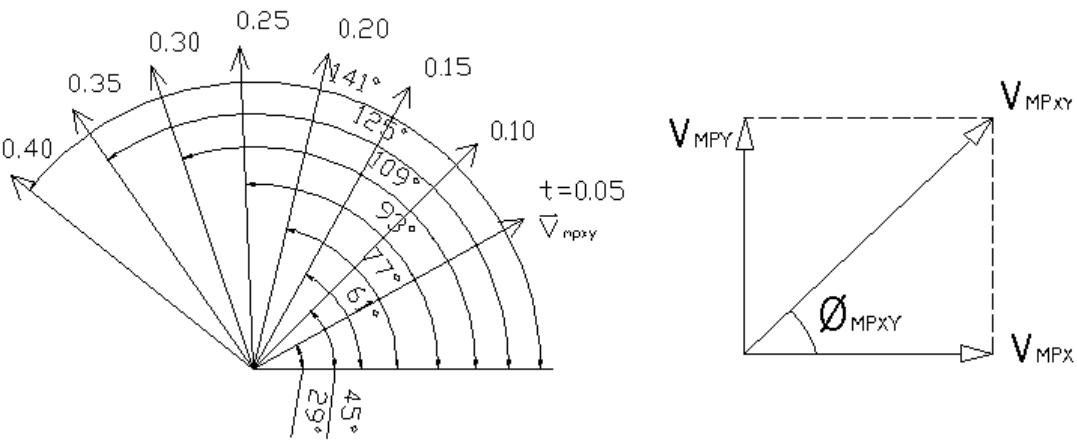
t (s)	y_p (m)	z_p (m)	$Ø_{pyz}$	V_{py} (m/s)
0	0	0		0
0.05	0.048	0.0189	25.9	1.208
0.1	0.12	0.0379	20.2	1.623
0.15	0.209	0.0569	17.1	1.918
0.2	0.309	0.0759	15.0	2.074
0.25	0.414	0.0949	13.8	2.080
0.3	0.515	0.1139	13.1	1.936
0.35	0.605	0.1329	12.8	1.652
0.4	0.678	0.1519	12.9	1.251
0.45	0.729	0.1709	13.3	0.764
0.5	0.753	0.1899	14.06	0.228
Ortalama			15.8	1.374

Çizelge 4.10'dan görülebileceği gibi tarağın bitki içerisindeki yükselme hareketi esnasında, tarak uç noktası (P) 0.753 m yükselmektedir. Hareketin sonunda, traktörün sabit hızda yaptığı ilerleme hareketi (V_{tr}= 0.36 m/s) nedeniyle, ilerleme yönünde 0.19 m ilerlemektedir. Bunun yanı sıra bitkinin hasat makinesinin ilerleme yönünde ortalama 15.8^o ($Ø_{pyz}$) 'lik ilerleme açısıyla eğildiği görülmektedir. Tarak aralığının 20 mm olduğu göz önüne alınırsa (toplam 30 adet tarak elemanı) taraklar bitkiyi 0.19 m'lik dilimler halinde ikinci kez taramaktadır. Bu hareket aralığında tarağın uç noktasının ortalama hızı (V_{ypo}) 1.374 m/s'dir.

Tarağın y ve z eksenleri üzerindeki hareketi nedeniyle ilerleme açısının oluşması kaçınılmazdır. Ancak açıkça görülebileceği gibi, traktör ilerleme hızını arttırmak bitkinin ilerleme açısını da arttıracaktır. Bunu dengelemek için, tarak hızının arttırılması bitkide oluşan hasarı arttıracağından bu iki hız arasında hassas bir ilişkinin var olduğu görülebilir. Yüksek tarama hızlarında çalışma, ürün dışı materyal yüzdesini arttıracağından, ürün ayıklama ve depolama konusundaki sorunları

arttıracaktır. Bunun yanı sıra, taraklar üzerine etkiyecek olan kuvvetler artacağından, daha büyük kesitte tarak elamanlarına ihtiyaç duyulacaktır. Bu da bitki içerisinde artan bir tarak kesiti oluşturacak ve hareketini zorlaştıracaktır. Daha düşük tarama ve ilerleme hızlarında çalışma yapılması bitki eğilme açısını ($Ø_{pyz}$) küçülteceğinden ilk bakışta hasat başarısı açısından avantajlı görünmektedir. Ancak tarak hızının düşürülmesi nedeniyle bir kısım meyvelerin, taraklar arasından kayarak kurtulması olasılığı da artmış olmaktadır.

Şekil 4.23'de tarağın ağırlık merkezinde, x ve y eksenleri üzerindeki tarak hızı bileşenlerinin (V_{mpx}, V_{mpy}) bileşke değerinin (V_{mpxy}) zamana göre açısal değişimi verilmiştir. Şekilden görülebileceği gibi başlangıçta 29^o'lik açıyla başlayan bileşke hız verilen zaman diliminin yarısını geçtikten sonra düşey eksen üzerinde bir doğrultuya gelmektedir. Bu aşamada bitki gövdesi hacmi sıkıştırılmaktadır. Böylelikle tarakların temas ettiği bölgedeki meyve yoğunluğu arttırılmaktadır. Daha sonra açı saat yönünün tersinde artmaya başlamakta ve sıkışma etkisi azalmaktadır.



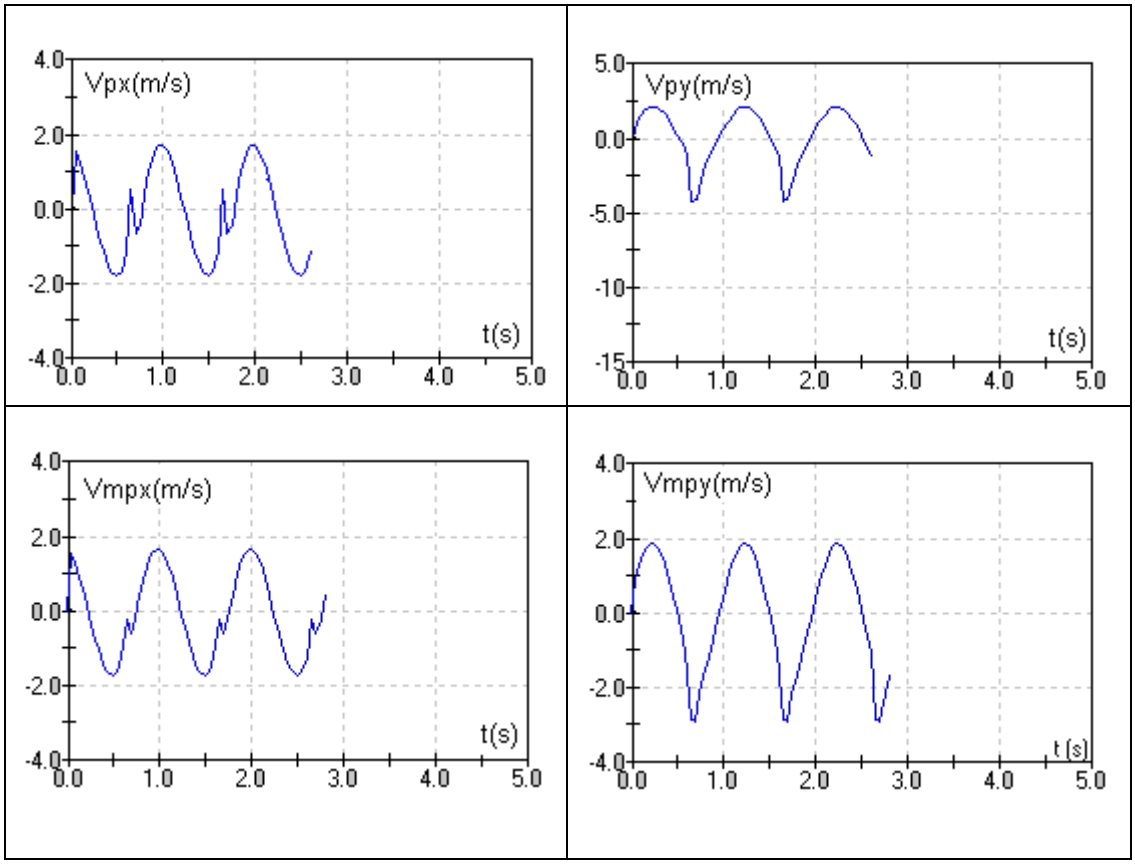
Şekil 4.23. Tarağın ağırlık merkezinde, x ve y eksenleri üzerindeki hız vektörlerinin bileşkesinin açısal değişimi

Şekil 4.23 çizilirken, aşağıda sunulan Çizelge 4.11'deki; x-y eksenleri üzerindeki hız bileşenleri ($V_{mpx,}$ V_{mpy}), bileşke hız (V_{mpxy}) ve bileşke hızın yatayla yaptığı açı ($Ø_{mpxy}$) değerlerinden yararlanılmıştır.

Çizelge 4.11. Tarağın, bitkiyle temasta olduğu zaman aralığında, tarak ağırlık merkezinin, x ve y eksenlerindeki hızları, bileşke hız ve yatayla yaptığı açı (OA uzvu dönüş hızı, 60 min^{-1}, traktör ilerleme hızı 0.36 m/s)

t(s)	V_{mpx} (m/s)	V_{mpy} (m/s)	V_{mpxy} (m/s)	$Ø_{mpxy}(^o)$
0	0	0		
0.05	1.539	0.858	1.762	29
0.1	1.274	1.287	1.811	45
0.15	0.889	1.611	1.840	61
0.2	0.423	1.802	1.851	77
0.25	-0.083	1.844	1.846	93
0.3	-0.582	1.733	1.828	109
0.35	-1.029	1.479	1.802	125
0.4	-1.382	1.103	1.768	141

MP uzvu, P noktası ve ağırlık merkezinin, x ve y koordinatları doğrultusundaki hızlarının (V_{px}, V_{py}, V_{mpx}, V_{mpy}) zamana göre değişimi gösteren grafikler Şekil 4.24'de verilmiştir.



Şekil 4.24. MP uzvu, P noktası (a,b) ve ağırlık merkezinin (c,d), x ve y koordinatları doğrultusundaki hızlarının (V_{px}, V_{py}, V_{mpx}, V_{mpy}) zamana göre değişimi

Şekil 4.24.'ün çiziminde kullanılan veriler; sıyırıcı tarak MP uzvunun, uç noktası (P) ve MP uzvunun ağırlık merkezi noktasının, x ve y koordinatları doğrultusundaki hızlarının (V_{px}, V_{py}, V_{mpx}, V_{mpy}) zamana göre değişimi Çizelge 4.12'de verilmiştir (OA uzvu dönüş devri, 60 min^{-1}).

Çizelge 4.12. MP uzvu, P noktası ve ağırlık merkezi noktasının, x ve y koordinatları doğrultusundaki hızlarının (V_{px}, V_{py}, V_{mpx}, V_{mpy}) zamana göre değişimi (OA uzvu dönüş devri, 60 devir/dak.)

t(s)	V_{px} (m/s)	V_{py} (m/s)	V_{mpx} (m/s)	V_{mpy} (m/s)
0	0	0	0	0
0.05	1.557	1.208	1.539	0.858
0.1	1.252	1.623	1.274	1.287
0.15	0.835	1.918	0.889	1.611
0.2	0.347	2.074	0.423	1.802
0.25	-0.172	2.080	-0.083	1.844
0.3	-0.678	1.936	-0.582	1.733
0.35	-1.126	1.652	-1.029	1.479
0.4	-1.478	1.251	-1.382	1.103
0.45	-1.700	0.764	-1.607	0.637
0.5	-1.765	0.228	-1.680	0.123
0.55	-1.642	-0.337	-1.580	-0.407
0.6	-1.123	-1.119	-1.204	-1.028
0.65	0.513	-4.192	-0.201	-2.793
0.7	-0.645	-4.114	-0.585	-2.854
0.75	-0.407	-2.666	-0.218	-2.144
0.8	0.374	-1.732	0.426	-1.626
0.85	1.039	-1.061	0.986	-1.173
0.9	1.479	-0.455	1.385	-0.691
0.95	1.699	0.136	1.610	-0.172
1.0	1.717	0.701	1.658	0.358

Çizelge 4.12'deki verilere göre; tarak uç noktasının (P), x ekseni doğrultusundaki hızı (V_{px}), hareketin 0.05'ci saniyesinde 1.557 m/s olup, kademeli olarak azalarak 0.2'inci s'de 0.347 m/s değerini, 0.25'ci s'de -0.172 m/s değerini almaktadır. Daha sonra tarak negatif yönde x ekseni doğrultusundaki hareketine devam etmektedir. Tarağın bitki içindeki hareketinde, x ekseni doğrultusundaki hız bileşeninin temel fonksiyonu, tarağı bitki içerisine alt noktadan sokmak, kademeli olarak ilerlemesini ve geriye çekilmesini sağlamaktır. Bu doğrultu üzerindeki zamana bağlı hız değerlerinden bunu gerçekleştirdiği görülmektedir.

Tarak uç noktasının (P), y ekseni doğrultundaki hızı (V_{py}), hareketin 0.05'ci saniyesinde 1.208 m/s olup, kademeli olarak artarak 0.25'inci s'de 2.080 m/s değerini, daha sonrada kademeli olarak azalarak hareketin 0.5'inci s'sinde 0.228 m/s değerini almaktadır. Bu değişiminden görülebileceği gibi, hız maksimum değerine bitkiyi tarama zamanının yarısında ulaşmakta ve bitki yoğunluğunun daha az olduğu üst bölgeye azalan bir hız grafiğiyle girmektedir. Böylece tarak ve taraklar tarafından toplanmış olan meyveler ve ürün dışı materyaller, bitki hacmi içinde daha az direnç görerek bitkiyi terk etmektedir.

MP uzvunun ağırlık merkezinde x ve y eksenleri üzerindeki hız değişimlerinin (V_{mpx}, V_{mpy}), P noktası için elde edilen hız değerlerinden çok az farklı olduğu görülebilir. P noktasında oluşan hareket şekli, MP uzvu orta noktasında da oluşmaktadır. Bu nedenle MP uzvu için bir önceki incelemenin yapılmasına gerek duyulmamıştır.

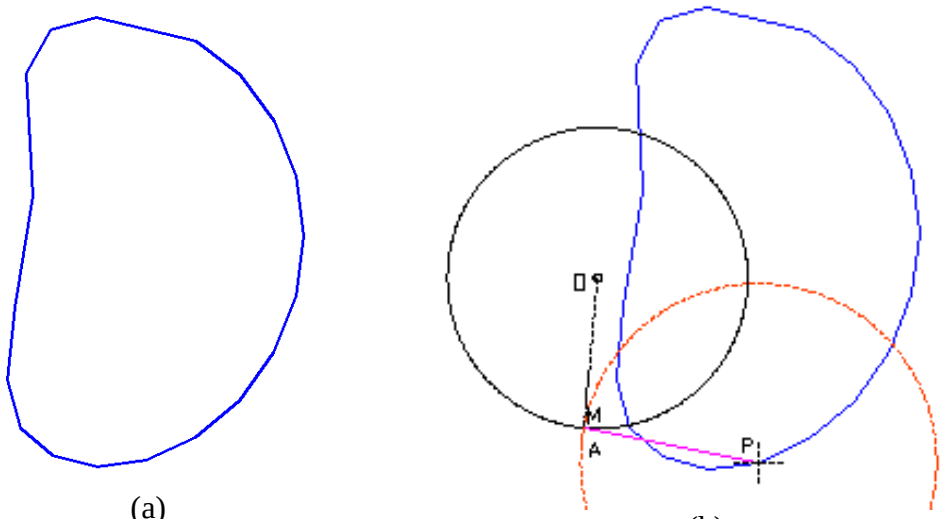
4.5.3. Tarak Hareket Yörüngesine Göre Mekanizmanın Boyutsal Sentezi

Daha önceki bölümlerde simülasyon programı, hasat mekanizması için belirlenen fonksiyonlar ve bir takım kısıtlayıcı faktörler yardımıyla tarak hareket yörüngesi, yörüngeye bağlı olarak hasat mekanizmasına ait boyut ve açılar elde edilmişti. Bu bölümde daha önce saptanmış tarak yörüngesi temel alınarak, tahrik edilen (OA) uzvu ve tarak (MP) uzvu boyutları bilindiği varsayımıyla, mekanizmanın çizim yoluyla sentezi yapılmıştır. Yörüngeyi çizmek için tarağın P noktasının x ve y koordinatları Çizelge 4.8'den alınmıştır. Bu koordinatlar kullanılarak hareket yörüngesi çizilmiştir. Ancak kullanılan noktasal koordinat değerlerinin birleştirilmesi doğrular kullanılarak yapıldığından, çizimi yapılan yörünge kırık çizgilerden oluşan bir görüntüye sahip olmuştur. Bu durum çizimlerde elde edilmeye çalışılan kestirim noktalarında ve elde edilen mekanizma boyutlarında kabul edilebilir düzeyde hatalara yol açmıştır. Mekanizmanın çizim yoluyla sentezi aşağıda aşamalı olarak anlatılmıştır.

Aşama 1

Mekanizma sentezinin ilk aşamasında, OA uzvunun yerleşim açısının ve uzunluğunun, MP uzvunun uzunluğu ve AB uzvu üzerindeki yerleşim açısı ile konumunun bilindiği varsayılmıştır. Tarağın P noktasının sayısal koordinatları Çizelge 4.8'den alınarak yörünge çizilmiştir (Şekil 4.25a.). Yörüngeyi oluşturan kırık çizgilerin kesişim noktaları mekanizmanın sentezi aşamalarında kullanılacaktır.

Yörünge oluşturulduktan sonra, tarak giriş açısına göre, MP uzvu ve OA uzvu yerleştirilmiştir (Şekil 4.25b.). Bunun için istenen tarak giriş açısına göre, tarak P noktası yörüngenin alt noktasında bulunan kırık çizgilerin birleşim noktalarından birine yerleştirilmiştir. Tarağın M noktasının OA uzvunun oluşturduğu yörüngeyi kestiği noktayı bulabilmek için P noktasından, yarıçapı MP uzvunun uzunluğu kadar olan bir çember çizilmiştir.



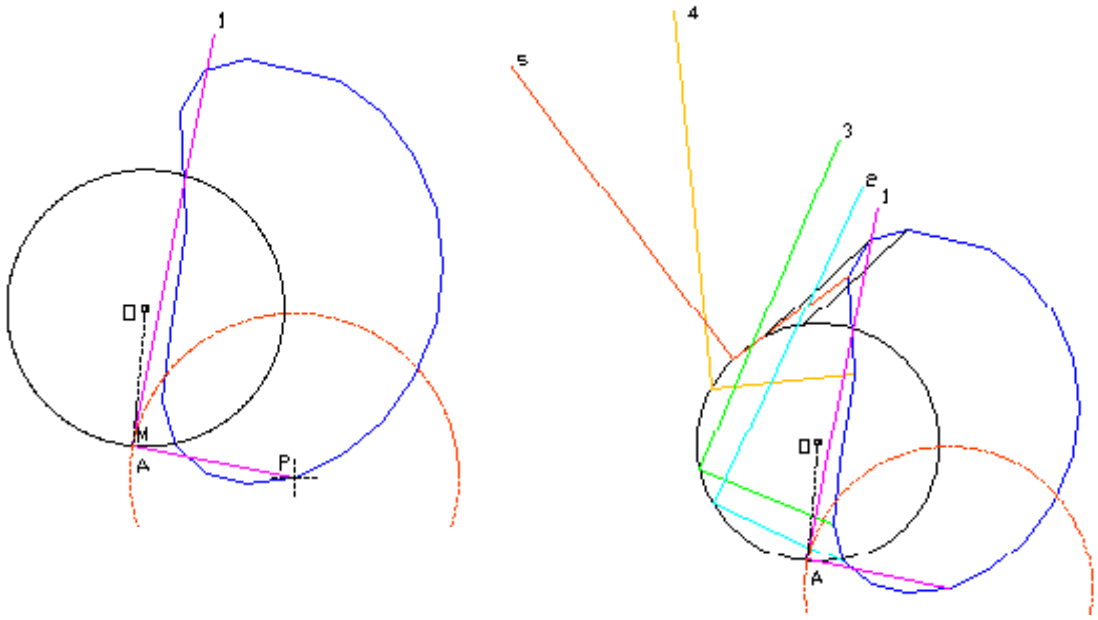
(a) (b)

Şekil 4.25. Tarak uç noktasının (P) yörüngesi ve .OA-MP uzuvlarının yörünge üzerinde yerleşimi

Aşama 2

MP uzvu mevcut tasarımda olduğu gibi OA uzvuna, A noktasında ve 90^o açıyla dik olarak bağlanacaktır. Bu durum göz önüne alınarak M noktasından MP uzvuna "1" ile numaralandırılmış bir dik çizilmiştir (Şekil 4.26a). Aşama 1'de anlatılan

yöntem kullanılarak, yeni tarak pozisyonlarına göre, AB uzvunun üzerinde olduğu varsayılan doğrular (2, 3, 4, 5) (Şekil 4.26b.) çizilmiştir.



(a) (b)

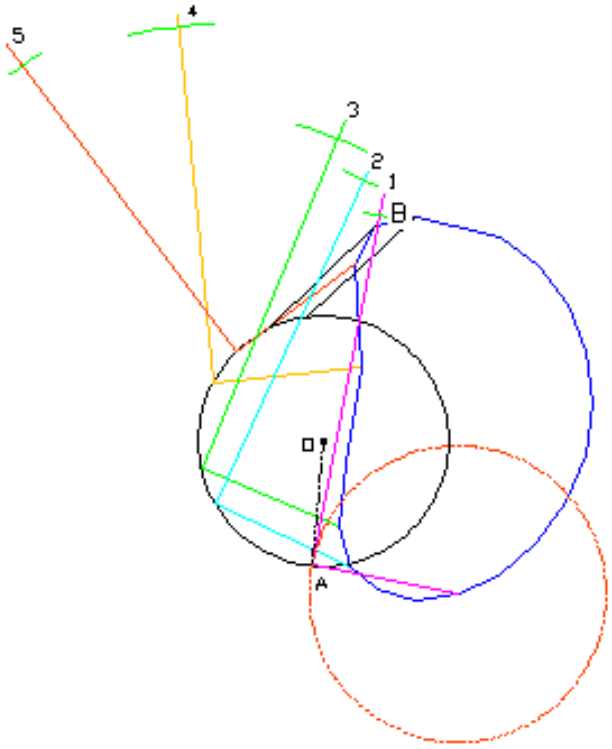
Şekil 4.26. Yeni tarak pozisyonlarına göre, AB uzvunun üzerinde olduğu varsayılan doğrular

Aşama 3

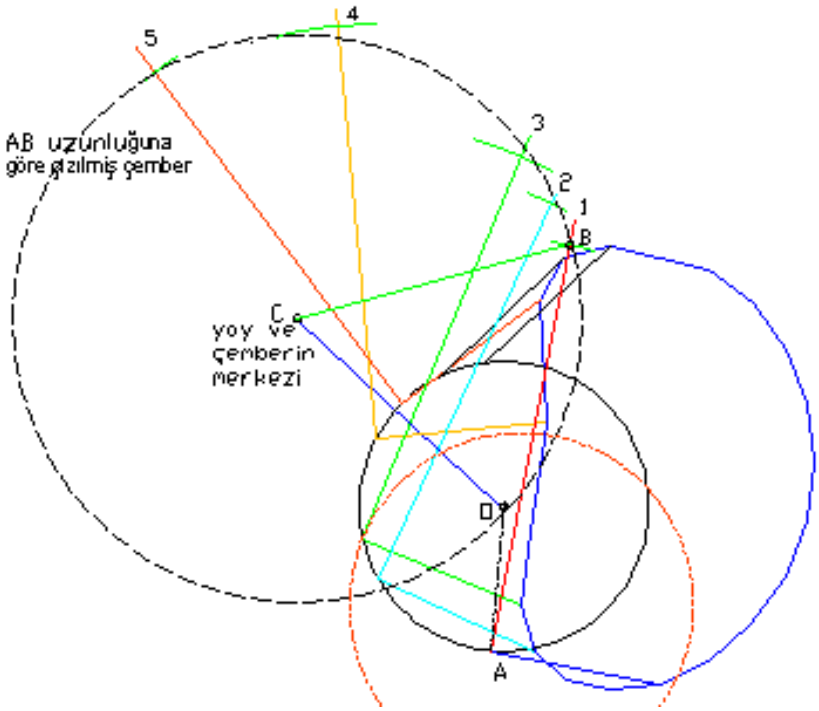
Bu aşamada 1, 2, 3, 4, 5 doğrularına karşılık gelen A noktalarından AB yarıçapında yaylar çizilerek bu doğrular kesilmiştir (Şekil 4.27). Bu kestirim noktaları kullanılarak BC uzvunun başlangıç konumu ve uzunluğu bir sonraki aşamada saptanacaktır.

Aşama 4.

Üç noktadan bir çember geçtiği varsayımından yola çıkılarak, 1, 2 ve 5 doğrularını kesen yayların kesişim noktalarından geçen bir çember çizilerek, çemberin merkezi olan C noktası bulunmuştur (Şekil 4.28). Şekilde gösterilen 1 numaralı yay aynı zamanda mekanizmanın çalışma başlangıç konumundaki B noktasıdır. Son olarak, B noktası ve A noktası birleştirilerek mekanizmanın boyutları ve yerleşim açıları büyük bir yaklaşıklıkla elde edilmiştir.



Şekil 4.27. AB uzvunun uzunluğuna göre 2, 3, 4, 5 doğrularına karşılık gelen A noktalarından çizilen yaylar



Şekil 4.28. OC ve CB uzuvlarının çizim yoluyla saptanması

5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Bu çalışma, K.Maraş Kırmızı biberinin yörünge esaslı olarak geliştirilen bir hasat mekanizmasına entegre edilmiş sıyırıcı elemanlar kullanılarak hasat olanaklarının araştırılmasını temel alarak yapılmıştır. Çalışma bitki ve meyve özelliklerinden yola çıkılarak, daha önce hiç denenmemiş bir hasat prensibi ile çalışan bir hasat mekanizmasının ortaya konmasını sağlamıştır. Yörünge esaslı geliştirilen hasat mekanizmasının değiştirilebilir boyutları ve sıyırıcı tarak özellikleri başka biber türleri üzerinde de çalışma olanağı sağlayabilir.

Biber bitkisinin makineli hasadında hasat başarısı birçok faktöre bağlıdır. Bitki yüksekliği, dal yapısı ve boyutları, ürünü bitkiden koparmak için uygulanması gereken kuvvetler, ürünün fiziksel boyutları, sıyırıcı elemanların dönme-ilerleme hızları, hasat edilen ürün içine karışmış olan dal, yaprak ve toprak gibi ürün dışı materyallerin yüzdeleri, bitkide ve üründe hasat esnasında meydana gelen hasarlar ve iklim koşullarıdır. Yüksek bitki yoğunluğu, uzun bitki yapısı, küçük dal açıları makineli hasat verimi üzerinde olumlu etki yapmaktadır. Ancak yüksek bitki yoğunluğu, elde edilen ürün dışı materyal miktarında, önemli derecede artışa neden olmaktadır. Bu durum ürünü ürün dışı materyallerden ayırmak için yapılan işlemleri güçleştirmektedir (Lenker ve Nascimento, 1982; Marshall, 1984a, 1984b). Biber meyvesini kopartmak için gerekli kuvvet temel olarak meyve çeşidine bağlı olarak genetik özelliklerin bir fonksiyonudur (Marshall, 1981). Hasat esnasında ürünü bitkiden ayırmak için uygulanacak kuvvetin şiddeti, yönü, doğrultusu ve uygulama açısı bitkiyi kökünden sökmeden gerçekleştirilmelidir. Bu nedenle özellikle meyvesinin kopma direnci düşük olan biber türleri makineli hasat açısından avantajlıdır. Gövde yapısı yaygın ve uzun dallardan oluşan biber türlerinde alt dalların üzerinde bulunan toprağa yakın meyveler hasat mekanizmasıyla temas edemediklerinden toprağa düşerek ürün kayıplarına neden olmaktadırlar. Makineli hasat için ideal olan bitki dal yapısının olabildiğince sade olmasıdır. Kısa dallara sahip daha güçlü yapıda olan biber bitkisi türlerinde meyveler toprağa uzak kalmakta ve bu sayede alt dallarda bulunan meyvelerin hasat mekanizmasıyla teması mümkün

olmaktadır. Bu tür yapıya sahip bitkiler makineli hasat için daha uygundur (Wall ve ark., 2002; Salton, J.R., Wilson, C., 2001; Marshall, 1984b; Marshall 1981).

Biber hasadında temel amaç bitkiye mümkün olan en az zararı vererek, minimum miktarda hasarlı ürün ve ürün dışı materyali elde ederken, maksimum miktardaki ürünün bitki üzerinden toplanmasıdır. Hasat edilemeyen ürün; toprağa düşen, bitki üzerinde kalan ve herhangi bir şekilde değerlendirilmesi mümkün olmayan hasarlı ürünlerdir. Biber bitkisinde gövde, toprak yüzeyine çıktığı alt noktasında en güçlü yapıya sahiptir. Gövdenin üst noktalarına doğru ilerledikçe yapı zayıflar ve daha narin bir hal alır. Dolayısıyla bitki içinde hareket eden hasat elemanlarına bitki gövdesinin gösterdiği direnç aşağıdan yukarıya doğru ilerledikçe azalır. Ancak hasat elemanları üzerindeki ürün ve ürün dışı materyal artar. Öyleyse hasat elemanlarının bitki gövdesinin alt noktasında düşük bir hızla harekete başlayıp, gövde boyunca yukarı doğru hareket ederken hızını arttırması, bitki yüksekliğinin yaklaşık yarısına ulaştığında hızını azaltarak ilerlemesi ideal bir yaklaşım olarak düşünülebilir. Böylelikle hasat elemanlarının hareketi boyunca bitki gövdesinde oluşan direnç kuvvetlerinin daha az farklılıklar göstermesi sağlanabilir.

Günümüze kadar denenmiş biber hasat makineleri genel anlamda incelenirse birkaç ortak özelliğe sahip oldukları görülür. Bu makineler bazen bitkiye ikinci bir hasat şansı vermeyecek şekilde zarar vermektedirler. Bunun temel nedenlerinden biri hasat elemanlarının bitkiyle sürekli temasta kalması, bitkinin zayıf ve güçlü bölgelerinde sabit bir hızla hareket etmeleridir. Dolayısıyla bitki hasat elemanlarının hareket vektörleri ile ilerleme hareketi vektörünün bileşkesinde oluşan hız vektörü doğrultusunda eğilmeye zorlanmaktadır. Hasat elemanlarının bitkinin güçlü gövde-dal yapısına sahip bölgelerdeki sabit çalışma hızları ana gövde ve dallarda ciddi hasarlara neden olabilmektedir. Daha narin olan üst bölgelerde, dalların daha yüksek olan esneme kabiliyeti, kopma ve kırılmaların yaprak-küçük dallar ile sınırlı kalmasını sağlasa da ürün dışı materyalin artmasına neden olmaktadır. Diğer ortak özellik ise hasat mekanizmalarının yürüme yönünde faz farkı oluşturmadan ilerlemesidir. Yani bitkinin hasat mekanizmasıyla teması her hasat için bir kez olmaktadır.

Makineli hasatta, hasat elemanının çeşitli faktörlere bağlı olarak meyvelerin bir kısmıyla temas etse bile bitkiden ayıramadığı bir gerçektir. Bu meyvelerin hasat edilmesi için ikinci bir hasat çalışmasını gereksinim duyulur. Oysa hasat elemanlarının, aynı bitkiyi, belirli bir faz farkıyla, tekrar hasat etmesi, bitki üzerinde kalan meyvelerin bir kısmının daha hasat edilmesi olasılığını doğurur.

Yapılan tarla denemelerinde gerek ekim deseni ve gerekse bitki-meyve özellikleri makineli hasat açısından uygun olmadığından elde edilen sonuçlar üst üste yapılan hasat denemelerinde çok farklı değerler vermiştir. Özellikle, sıra üstündeki biber bitkilerinin farklı fiziksel boyutları, üzerlerindeki meyvelerin farklı olgunlaşma dereceleri hasat başarısını önemli derecede etkilemiştir. Bu nedenlerle makineli hasada uygun biber çeşitlerinin yetiştirilmesi başka bir çalışma konusudur.

Çalışma, yüksekliği ve bitki çapı birbirine yakın, dar dal açılarına sahip olmayan bitki yapısında hasat başarısının daha yüksek olduğunu göstermiştir. Tarla denemeleri, ortalama 0.5 m'lik bitki yüksekliğinin makineli hasat açısından uygun olduğunu göstermiştir. Bitki yüksekliği arttıkça, sıyırıcı tarakların topladığı ürün dışı materyal artacağından, tarakların sıkışma olasılığı da artacaktır. Alçak bitkilerde, sıyırıcı tarakların tarla zeminine çok yakın olarak ayarlanması gerektiğinden, hasat mekanizmasının ilerleme hareketinde tarla yüzeyindeki engebelerin taraklara zarar verme riski doğmaktadır. Tarla denemelerinde tarak hareketine direnç gösteren ana unsur çatal şeklindeki gövde-dal yapısı olduğundan defoliant uygulaması yapılmamıştır.

Sıyırıcı tarakların hareketini sağlayan dört çubuk mekanizmasının uzuvlarının montajı ve demontajı çok kolaylıkla yapılabildiğinden bitki boyutlarına göre farklı boyutlarda mekanizmaların oluşturulması da mümkündür. Bu nedenle ortaya konan mekanizma ve hasat prensibinin makineli sebze hasadı konusunda yapılabilecek olan çalışmalara kaynak olabileceği umulmaktadır.

KAYNAKLAR

ABERNATHY, G., HUGHS, S. E., ARMIJO, C., B., 2006. Chile Machine Harvesting Trials. New Mexico Chile Task Force Report 28.

ANONİM, 2004. Tarım ve Bahçe Portalı. http://www.bahce.biz/bitki/sebze/biber1.htm

ANONİM, 2005. Kahramanmaraş Ticaret ve Sanayi Odası. www.kmtso.org.tr/

ANONİM, 2007. Kahramanmaraş İl Tarım Müdürlüğü. www.kahramanmarastarim.gov.tr

ANONİM, 2009a. Gaziantep27 Gazetesi . www.gaziantep27.net

ANONİM, 2009b. Türkiye İstatistik Kurumu (TUİK). www.tuik.gov.tr/

ANONİM 2009c. Antalya Tarım A.Ş. www.agromar.com

ANONYMUS, 2004. Food and Agricultural Organization (FAO). http://faostat.fao.org/faostat/

ANONYMUS, 2005a. Boschrextroth Company. www.boschrexroth.com

ANONYMUS, 2008a. McClendon Pepper Harvesteri. www.mcclendonpepper.com

ANONYMUS, 2008b. Pikrite Pepper Harvester. www.pikrite.com

ANONYMUS, 2008c. Boese Pepper Harvester. www.boeseharvester.com

ANONYMUS,, 2009. Davise's Pepper Blends. http://purplepepperlady.com/images

ARPACI, B., B., BALIKÇI, T., ABAK, K., 2005. Kahramanmaraş Kırmızı Biber Popülasyonunun Karakterizasyonu. Power Point Sunusu.

DUMAN, A. D., ZORLUGENÇ, B., EVLİYA, B.,2002. Kahramanmaraş'ta Kırmızı Biberin Önemi ve Sorunları. KSU J. and Engineering, 5(1), 111-117.

ESCH, T. A., MARSHALL, D. E., 1987. Trash Removal From Mechanically Harvested Peppers. Transactıons of ASAE, Vol 30 (4), July-August, 893-897.

GALANCEY, J. L., 1997. Analysis of Header loss from Pod Stripper Combines in Green Peas. J. Agric. Engng Res.,68, 1-10.

GENTRY, J. P., MILES, J. A., HINZ, W. W., 1978. Development of a Chili Pepper Harvester. Transactıons of ASAE,52-54.

KLINNER, W.E., NEALE, M. A., ARNOLD, R. E., GEIKIE, R. N., HOBSON, R. N., 1987. A New Concept in Combine Harvester Header. J. Agric. Engng Res., 38 ,37-45.

LENKER, D. H., NASCIMENTO, D. F.,1982. Mechanical Harvesting and Cleaning of Chili Peppers. Trans.Amer. Soc. Agr. Eng.Paper No. 80-1533.

MARSHALL, D. E. 1981. Performance of an Open-Helix Mechanical Harvester in Processing Peppers. ASAE. 81-1069.

MARSHALL, D. E. 1984a. Mechanized Pepper Harvesting and Trash Removal. Proc. 1st Int. Conf. On Fruit, Nut and Vegetable Harvesting Mechanization, Bet Dagan, Israel. P.276-279. Amer. Soc. Agric. Eng. Publ. 5-84.

MARSHALL, D.E. 1984b. Horticultural Requirements for Mechanical Pepper Harvesting. Proc. 1st Int. Conf. On Fruit, Naut and Vegetable Harvesting Mechanization, Bet Dagan, Israel. P.389-396. Amer. Soc. Agric. Eng. Publ. 5-84.

MARSHALL, D. E., ESCH, T. A. 1986a. Recovery and Damage of Mechanically Harvested Peppers. Trans. Amer. Soc. Agr. Eng. 29:398-401.

MARSHALL, D. E., ESCH, T. A., DRAGT, S. R. 1986b. Influence of Certain Open Helix Variables on Pepper Damage. Trans. Amer. Soc. Agr. Eng. 29(3):714-717.

MARSHALL, D. E., BOESE, B. N., 1998. Breeding Capsicum for Mechanical Harvest, Part2-Equipment. Proc., 10:61-64. 10th Eucarpia Meeting on Genetics And Breeding of Capsicum and Eggplant, Avignon, France.

MILES, J. A., HINZ, W W., PIKE, W. H, 1978. Development of a Mechanism for Picking Chili Peppers. Transactıons of ASAE.

PAROISSIEN, M., FLYN, R., 2004. Plant Spacing/Plant Population for Machine Harvest., Chile Task Force. Report 13.

PALAU, E., TORREGROSA, A., 1997. Mechanical Harvesting of Paprika Peppers in Spain., Chile Task Force. Report J. Agric. Engng Res., 66, 195-201.

SALTON, J. R., WILSON C., 2001. Improving Chile Harvesting and Cleaning Technologies. New Mexico Chile Task Force. Report 6.

SHAW, L. N., 1975. The Application.of an Offset Double Crank Mechanism in a Selective Bell Pepper Harvester. Transactions of the ASAE., 606-609.

ŞENİZ, V., 1992., Domates Biber ve Patlıcan Yetiştiriciliği. Tarımsal araştırmaları Destekleme ve Geliştirme Vakfı (TAV) Yayınları. No:26, Yalova, 174s.

TADO, C. J. M., WACKER, P., KUTZBACH, H. D., SUMINISTRADO, D. C., 1998. Developments of Stripper Harvesters. J. Agric. Engng Res., 71, 103-112.

WALL, M. M., WALKER, S., WALL, A. D., HUGHS, E., 2002. Yield and Quality of Machine Harvested Red Chile Peppers., Chile Task Force, Report 3.

VURAL, H., D. Eşiyok, İ. Duman 2000. Kültür Sebzeleri (Sebze Yetiştirme) E.Ü.Z.F. Yayınları. Bornova-İzmir

WOLF, I., ALPER, Y., 1984. Mechanization of paprika harvest. In Proc. Int. Symposium on Harvest Mechanization of Fruit, Nut and Vegetable Harvesting Mechanization, 265-275 (Oct.) Bet Dagon Israel. ASAE Pub. No 584.

ÖZGEÇMİŞ

16.10.1966 yılında İstanbul'da doğdu. İstanbul Teknik Üniversitesi Makine Fakültesinden 1990 yılında mezun oldu. İstanbul Teknik Üniversitesi Nükleer enerji enstitüsünde 1998 yılında Yüksek Lisansını tamamladı. Evli ve bir çocuk babasıdır.

EK-1

```
'Uzunluklar
Dim mp As Double, am As Double
Public mx As Double, my As Double
Public px As Double, py As Double
Public amab As Double, aby As Double
Public xa As Double, xb As Double, ya As Double, yb As Double
Public r As Double
Public oa As Double, ab As Double, bc As Double, oc As Double
Public d As Double, ab1 As Double, ab2 As Double, dab1 As Double
Public dab2 As Double
Public scl As Double 'şekli büyütme-küçültme faktörü
Public ocx As Double, ocy As Double 'o noktasının izdüşümleri
Public ox As Double, oy As Double
Public ax As Double, ay As Double, bx As Double, by As Double
Public cx As Double, cy As Double
   'Şekil ortalamak için kullanılan değişkenler
Public Xort2 As Double, Yort2 As Double
Public Xort8 As Double, Yort8 As Double
   'Renk kodları
Public color1 As Integer, color As Integer, color3 As Integer, color4 As Integer,
color5 As Integer
   'Açılar
Public alfa As Double, talfa As Double, dalfa As Double, b2 As Double
Public ta1 As Double, cg As Double, sg As Double, a1 As Double, talfa As Double
, teta As Double
Public a3 As Double, b3 As Double
'Sabitler
Public stp As Double, s As Integer, s1 As Double, ölçek As Integer
Public s2 As Double, alfailk As Double
```

```
    'alfa-beta değişimi değişkenleri
Public xbk As Double, ybk As Double
Public X1 As Double, X2 As Double, X3 As Double, X4 As Double
Public Y1 As Double, Y2 As Double, Y3 As Double, y4 As Double
'MsFlex veri tablosu
Dim satır As Integer, sütun As Integer
Private Sub Check1_Click() 'alfa beta değişim grafiği göster-gösterme
If Form5.Check1.Value = 1 Then
Form7.Show
Else
Form7.Hide
End If
End Sub
Private Sub Check2_Click() 'yörünge penceresini açar-kapatır
If Form5.Check2.Value = 1 Then
Form8.Show
Else
Form8.Hide
End If
End Sub
Private Sub Check6_Click() 'alfa beta veri tablosunu göster-gösterme
If Form5.Check6.Value = 1 Then
Form1.Show
Else
Form1.Hide
End If
End Sub
Public Sub Command2_Click() 'programdan çıkış butonu
Başlık$ = "Uyarı"
mesaj$ = "Program sona ersin mi!"
```

```
Cevap% = MsgBox(mesaj, 4 + 32 + 0, Başlık$)
If Cevap% = 6 Then
Dim Form As Form
For Each Form In Forms
  Unload Form
  Set Form = Nothing
Next Form
End If
End Sub
Private Sub Command3_Click() 'form ekranlarını silme butonu
'yörünge penceresini siler
If Form5.Check4.Value = 1 Then
Form8.Cls
Form5.Check4.Value = 0
End If
'çizim ekranını siler
If Form5.Check3.Value = 1 Then
Form2.Cls
Form5.Check3.Value = 0
End If
End Sub
Public Sub Command4_Click() 'ekranda girilen değerleri siler
   Form5.Text1.Text = ""
   Form5.Text2.Text = ""
   Form5.Text3.Text = ""
   Form5.Text4.Text = ""
   Form5.text5.Text = ""
   Form5.Text6.Text = ""
   Form5.Text7.Text = ""
   Form5.Text14.Text = ""
   End Sub
```

```
Public Sub Command6_Click() 'yazıcı komutları
CommonDialog1.ShowPrinter
PrintForm
End Sub
Public Sub HScroll5_Change() 'şekli büyütme-küçültme
    ölçek = 1
    Form5.Text12.Text = (HScroll5.Value) / 100
    scl = Form5.Text12.Text
    Call EksikDeğişkenler.EksikDeğişkenler
    talfa = Form5.Text7.Text
    Form5.Text7.Text = 0
    Call Form5.Command1_Click
    ölçek = 0
    Form5.Text7.Text = talfa
End Sub
Public Sub Command5_Click() 'çizim modu
Call EksikDeğişkenler.EksikDeğişkenler
    Form2.Show
    talfa = Form5.Text7.Text
    Form5.Text7.Text = 0
    Call Command1_Click
    Form5.Text7.Text = talfa
End Sub
Public Sub Form_Load() 'form yüklendiğinde başlangıç değerleri
    ölçek = 0
   'Form5.Text1.Text = 500
    'Form5.Text2.Text = 2500
    'Form5.Text3.Text = 500
    'Form5.Text4.Text = 0
' Form5.text5.Text = 0
 '   Form5.Text6.Text = 0
```

```
  '  Form5.Text7.Text = 360
   ' Form5.Text14.Text = 0
End Sub
Public Sub HScroll1_Change() 'hız ve yön faktörü
    Form5.Text9.Text = (HScroll1.Value) / 10
End Sub
Public Sub HScroll4_Change() 'am/ab oranı
    Form5.Text8.Text = (HScroll4.Value) / 100
End Sub
Public Sub Command1_Click() 'simülasyonu çalıştır
    Form1.MSHFlexGrid1.Cols = 4 'başlangıçta veri tablosu alfa-beta sütun sayısı
dört
    Form1.MSHFlexGrid1.Rows = 1 'başlangıçta veri tablosu alfa-beta satır sayısı bir
    Form2.Show 'çizim penceresini göster
'sabitler
    satır = 0 'grid satır sayısı değişkeni başlangıç değeri
    s1 = 0: s2 = 0
    r = 50 'mafsal dairelerinin yarıçapı
    pi = 3.141592
    db = 0.01 * pi / 180 'beta artışı
    'i = 0
    Form5.Text9.Text = (HScroll1.Value) / 10
    Form5.Text8.Text = (HScroll4.Value) / 100 'am/ab oranı
    Form5.Text12.Text = (HScroll5.Value) / 100
    scl = Form5.Text12.Text
'Renk kodları
    color1 = 8: color2 = 9: color3 = 10: color4 = 12: color5 = 11
Call EksikDeğişkenler.EksikDeğişkenler
'girilen değişkenler
    amab = AM/AB
    mp = scl * Form5.Text6.Text 'MP uzunluğu
```

```
    oa = scl * Form5.Text1.Text 'OA uzunluğu
    bc = scl * Form5.Text2.Text 'BC uzunluğu
    oc = scl * Form5.Text3.Text 'OC uzunluğu
    alfa = Form5.Text4.Text: alfa = alfa * pi / 180: a1 = alfa 'alfa açısı
    beta = Form5.text5.Text: beta = beta * pi / 180 'beta açısı
    dalfa = Form5.Text9.Text 'alfa artışı
    dalfa = dalfa * pi / 180 'dönüş hızı faktörü
    talfa = Form5.Text7.Text: talfa = talfa * pi / 180 'toplam alfa dönüş açısı
    teta = Form5.Text14.Text: teta = teta * pi / 180
    ocx = oc * Cos(teta) 'oc doğrusu x izdüşümü
    ocy = oc * Sin(teta) 'oc doğrusu y izdüşümü
    Xort2 = Abs(Form2.ScaleWidth - ocx) / 2 'çizimi x doğrultusunda öteler
    Yort2 = Abs(Form2.ScaleHeight - ocy) / 2 'çizimi y doğrultusunda öteler
    Xort8 = Abs(Form8.ScaleWidth - ocx) / 2 'çizimi x doğrultusunda öteler
    Yort8 = Abs(Form8.ScaleHeight - ocy) / 2 'çizimi y doğrultusunda öteler
    alfailk = 0 'hız faktörü nedeniyle pic3 penceresindeki kaymayı engeller
' temelboyutsalhesaplamalar
    xa = oa * Cos(alfa + teta) 'ALFA noktası x izdüşümü
    ya = oa * Sin(alfa + teta)  'ALFA noktası y izdüşümü
    xb = bc * Cos(beta + teta)  'BETA noktası x izdüşümü
    yb = ((bc * Sin(beta + teta)) + (oc * Sin(teta)))  'BETA noktası y izdüşümü
    d = ocx - (xa - xb) 'AB uxunluğunun x eksenindeki izdüşümü
    ab = Sqr((ya - yb) ^ 2 + d ^ 2) 'AB uzunluğu
    stp = Round(Abs(talfa / dalfa), 0) 'OA uzvunun dönüş sayısı
210:
   Form2.AutoRedraw = False 'çizim
   Form8.AutoRedraw = False 'yörünge
   'Açı artışları
   alfa = alfa + dalfa 'alfa artışı
   bb = beta 'beta başlangıç değeri
   s = 0: stp = stp - 1
```

```
   'Veri tablosu alfa-beta
   satır = satır + 1
   sütun = 1
230:
    s = s + 1 'kilit çözücü sayaç
    'beta açısını arttır
    beta1 = beta + db
    xa = oa * Cos(alfa + teta)
    ya = oa * Sin(alfa + teta)
    xb = bc * Cos(beta1 + teta)
    yb = ((bc * Sin(beta1 + teta)) + oc * Sin(teta))
    d = ocx - (xa - xb)
    ab1 = ((ya - yb) ^ 2 + d ^ 2) ^ 0.5
    dab1 = Abs(ab1 - ab)
   'beta açısını azalt
    b2 = beta - db
    xa = oa * Cos(alfa + teta)
    ya = oa * Sin(alfa + teta)
    xb = bc * Cos(b2 + teta)
    yb = ((bc * Sin(b2 + teta)) + oc * Sin(teta))
    d = ocx - (xa - xb)
    ab2 = ((ya - yb) ^ 2 + d ^ 2) ^ 0.5
    dab2 = Abs(ab2 - ab)
If s = 17500 Then 'kilit çözme yordamı
    GoTo dur
    End If
If dab1 = dab2 Then
   GoTo 230
End If
If dab1 < dab2 Then
          If alfa < (2 * pi) Then
```

```
            s1 = s1 + db
            End If
            beta = beta1
            aby = ab1
            GoTo 515
End If
    If alfa < (2 * pi) Then
    s2 = s2 - db
    End If
    beta = b2
    aby = ab2
    GoTo 515
515:
If Abs(aby - ab) < (scl * 0.5) Then
    GoTo 600
    End If
    GoTo 230
600:
Call mpkoordinat2
Call mpkoordinat8
    'okunan değişkenler
    Form5.Text13 = Round((alfa + a1) * 180 / pi, 2)
    Form5.Text10 = Round(ab, 2)
    If s2 = 0 Then
    Form5.Text11 = Round(Abs(s1 * 180 / pi), 2)
    Else
    Form5.Text11 = Round(Abs(s2 * 180 / pi), 2)
    End If
   'Veri tablosu Alfa-Beta
   Form1.MSHFlexGrid1.Cols = 3
   Form1.MSHFlexGrid1.Rows = satır + 1
```

```
    'sıra no
Form1.MSHFlexGrid1.Row = satır
Form1.MSHFlexGrid1.Col = 0
Form1.MSHFlexGrid1.Text = satır
    'alfa açısının girişi
Form1.MSHFlexGrid1.Row = satır
Form1.MSHFlexGrid1.Col = sütun
Form1.MSHFlexGrid1.Text = Round(alfa * 180 / pi, 2)
    'beta açısının girişi
Form1.MSHFlexGrid1.Row = satır
Form1.MSHFlexGrid1.Col = sütun + 1
Form1.MSHFlexGrid1.Text = Round(beta * 180 / pi, 2)
 'Çizime başla
'alfa beta MsChart
If satır < 361 Then
Form7.MSChart1.RowCount = satır
Form7.MSChart1.ColumnCount = 1
Form7.MSChart1.Row = satır
Form7.MSChart1.Data = Round(beta * 180 / pi, 2)     'alfa açısının çizimi
Form7.MSChart1.RowLabel = Round(alfa * 180 / pi, 2) ' beta açısının çizimi
End If
 'Dört çubuk mekanizmasını çiz form 2
 Form2.AutoRedraw = True 'çizimin silinmesini önler
 Form8.AutoRedraw = True
 Form2.Cls
 Call çizdörtçubukform2
 Call çizmpform2
 Call çizmafsalform2
 If ölçek = 0 Then
 Call çizyörüngeform8
 End If
```

```
    If stp <= 0 Then 'hareketi bitir veya devam et
    GoTo dur
    Else
    GoTo 210
    End If
dur:
    If ölçek = 0 Then
    Call çizdörtçubukform8
    Call çizmpform8
    Call çizmafsalform8
   End If
End Sub
Public Sub mpkoordinat2()
     Call genelkoordinatlar2
     sg = (yb - ya) / ab
     cg = d / ab
     amx = (amab * ab) * cg
     amy = (amab * ab) * sg
     px = (Xort2 + ((xa - mp * sg))) + amx
     py = (Yort2 + (ya + mp * cg)) + amy
     mx = (Xort2 + xa) + amx
     my = (Yort2 + ya) + amy
End Sub
Public Sub mpkoordinat8()
     Call genelkoordinatlar8
     sg = (yb - ya) / ab
     cg = d / ab
     amx = (amab * ab) * cg
     amy = (amab * ab) * sg
     px = (Xort8 + ((xa - mp * sg))) + amx
     py = (Yort8 + (ya + mp * cg)) + amy
```

```
    mx = (Xort8 + xa) + amx
    my = (Yort8 + ya) + amy
End Sub
Public Sub genelkoordinatlar2()
   ox = Xort2: oy = Yort2
   ax = Xort2 + xa: ay = Yort2 + ya
   bx = Xort2 + ocx + xb: by = Yort2 + yb
   cx = Xort2 + ocx: cy = Yort2 + ocy
End Sub
Public Sub genelkoordinatlar8()
   ox = Xort8: oy = Yort8
   ax = Xort8 + xa: ay = Yort8 + ya
   bx = Xort8 + ocx + xb: by = Yort8 + yb
   cx = Xort8 + ocx: cy = Yort8 + ocy
End Sub
'ÇİZİM PENCERESİNE dört çubuk,mafsal ve mp uzunluğunun çizimi
Public Sub çizdörtçubukform2() 'çizim penceresine dört çubuk çizer
Form2.Line (ox, oy)-(ax, ay), QBColor(color1) 'oa uzunluğunu çizer
Form2.Line (ox, oy)-(cx, cy), QBColor(color2) 'oc uzunluğunu çizer
Form2.Line (cx, cy)-(bx, by), QBColor(color3) 'cb uzunluğunu çizer
Form2.Line (bx, by)-(ax, ay), QBColor(color4) 'ba uzunluğunu çizer
End Sub

 'çizim penceresine mafsal çizer
Public Sub çizmafsalform2()
   Form2.Circle (ox, oy), r, QBColor(color1) 'o merkezli çember
   Form2.Circle (ax, ay), r, QBColor(color5) 'alfa merkezli çember
   Form2.Circle (cx, cy), r, QBColor(color2) 'c merkezli çember
   Form2.Circle (bx, by), r, QBColor(color3) 'beta merkezli çember
End Sub
Public Sub çizmpform2() 'çizim penceresine mp uzunluğunu çizer
```

```
    Form2.Line (mx, my)-(px, py), QBColor(color2)
End Sub
'YÖRÜNGE ÇİZİMLERİ
'yörünge penceresine dört çubuk,mafsal , mp uzunluğu ve yörüngenin çizimi
Public Sub çizdörtçubukform8() 'yörünge penceresine dört çubuk çizer
    Form8.Line (ox, oy)-(ax, ay), QBColor(color1) 'oa uzunluğunu çizer
    Form8.Line (ox, oy)-(cx, cy), QBColor(color2) 'oc uzunluğunu çizer
    Form8.Line (cx, cy)-(bx, by), QBColor(color3) 'cb uzunluğunu çizer
    Form8.Line (bx, by)-(ax, ay), QBColor(color4) 'ba uzunluğunu çizer
End Sub
'yörünge penceresine mafsal çizer
Public Sub çizmafsalform8()
    Form8.Circle (ox, oy), r, QBColor(color1) 'o merkezli çember
    Form8.Circle (ax, ay), r, QBColor(color5) 'alfa merkezli çember
    Form8.Circle (cx, cy), r, QBColor(color2) 'c merkezli çember
    Form8.Circle (bx, by), r, QBColor(color3) 'beta merkezli çember
End Sub
'yörünge penceresine mp uzunluğunu çizer
Public Sub çizmpform8()
    Form8.Line (mx, my)-(px, py), QBColor(color2)
End Sub
'yörünge penceresine yörünge çizer
  Public Sub çizyörüngeform8()
  Form8.PSet (px, py), QBColor(color2) 'P noktasının yörüngesi
  Form8.PSet (mx, my), QBColor(color4) 'M noktasının yörüngesi
End Sub

'uyarı mesajları
Public Sub Text8_Click()
MsgBox "lütfen okları kulllanın"
End Sub
```

```
Public Sub Text9_Click()
MsgBox "lütfen okları kulllanın"
End Sub
Public Sub Text10_Click()
MsgBox "bu alana veri girilmez"
End Sub
Public Sub Text11_Click()
MsgBox "bu alana veri girilmez"
End Sub
Public Sub Text12_Click()
MsgBox "lütfen okları kulllanın"
End Sub
Public Sub Text13_Click()
MsgBox "bu alana veri girilmez"
End Sub
```