

T.C.
KIRIKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ

DIŞ BALİSTİK ANALİZİNDE İZDÜŞÜM ALANI ETKİLERİNİN
ARAŞTIRILMASI

GÜRSEL ÖZER

OCAK 2008

Fen Bilimleri Enstitü Müdürünün onayı.

23 / 01 /2008

Doç. Dr. Burak BİRGÖREN

Müdür V.

Bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak Makine Anabilim Dalı standartlarına uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Veli ÇELİK

Anabilim Dalı Başkanı

Bu tezi okuduğumu ve Yüksek Lisans tezi olarak bütün gerekliliklerini yerine getirdiğini onaylarım.

Prof. Dr. Veli ÇELİK

Danışman

Tez Jüri Üyeleri

Prof. Dr. Veli ÇELİK

Doç. Dr. M. Hüsnü DİRİKOLU

Yrd.Doç. Dr. Sadettin ORHAN

ÖZET

DIŞ BALİSTİK ANALİZİNDE İZDÜŞÜM ALANI ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI

ÖZER, Gürsel

Kırıkkale Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi,

Danışman: Prof. Dr. Veli ÇELİK

Ocak 2008, 104 Sayfa

Bu projede namlulu silahlara ait bir kısım mühimmatın, atış esnasında atmosfer şartlarında takip ettiği mermi yolu içindeki Şekil izdüşümlerinin iki boyutlu ortamda incelenmesi ve elde edilecek sonuçların mühimmat modelleme ve tasarım çalışmalarında kullanılması amaçlanmıştır.

Çalışmada öncelikle dış balistikle doğrudan ilişkili olan balistik unsurları ve namlulu silahların tarihi gelişim süreçlerine göre sınıflandırılarak çalışma prensiplerinin açıklaması yapılmış, daha sonra dış balistik unsurlarının incelenmesinde gerekli olan aerodinamik kuvvet ve momentler ayrı ayrı ele alınmış, atmosfer şartlarındaki uçuşu esnasında mermi üzerinde oluşan kuvvetler incelenmiştir.

Atmosfer şartlarındaki uçuş esnasında mermi üzerinde oluşan kuvvetler incelenmiş ve bu parametrelerin matematiksel modeli geliştirilerek bir genel çözüm elde edilmiştir.

Bu suretle yeni mühimmatların tasarımında uygulamalara gerek duyulmadan gerçeğe en yakın sonuçların elde edilmesi hedeflenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Dış Balistik, İzdüşüm Alanı, Modelleme, Mühimmat
Tasarımı

ABSTRACT

INVESTIGATION OF THE EFFECTS OF THE PROJECTION AREA IN THE ANALYSIS OF EXTERIOR BALLISTICS

ÖZER, Gürsel

Kırıkkale University

Graduate School of Natural and Applied Science

Mechanical Engineering, M.Sc. Thesis

Supervisor: Prof. Dr. Veli ÇELİK

January 2008, 104 Pages

The objective of this thesis is a 2-dimensional analysis of shape projections of projectiles within their trajectories under atmospheric conditions, for all types of munition used in barrelled weapons and using the results of the analysis in munition design and modelling.

The study begins with the definition of the functioning principles of ballistic elements directly related to exterior ballistic and of barreled weapons, together with a classification according to their historical development. Then, the aerodynamical forces and moments which are necessary in the analysis of exterior ballistic elements are analysed one by one.

The forces effecting the projectiles within their trajectories under atmospheric conditions are analysed and a generic solution are obtained by developing a mathematical model of these parameters.

In conclusion, the objective of the study is to develop a computer model that provides the most realistic results and that could be utilized in the design of new-generation munition instead of trial and error applications.

Keywords: Exterior Ballistics, Projection Area, Modelling, Design of Munition

TEŞEKKÜR

Tezimin hazırlanması esnasında bilgisini, tecrubesini ve yardımlarını esirgemeyen, tez yöneticisi saygıdeğer hocam Sayın Prof. Dr. Veli ÇELİK'e, çalışmalarımnda destek ve yardımlarını sakınmayan saygıdeğer hocam Doç. Dr. M. Hüsnu DİRİKOLU'na ve Yrd. Doç. Dr. Sadettin ORHAN'a, proje ve program çalışmalarım esnasında büyük yardım ve desteğini gördüğüm MSB Kırıkkale Kalite Güvence Müdürü saygıdeğer arkadaşım Mak. Yük. Müh. Yzb. Ercan DEĞİRMENCİ'ye, kendi çalışmalarından örnekler göstererek hedefe ulaşmamda büyük çabalar sarfeden saygıdeğer arkadaşım Mak. Yük. Müh. Şevket GÖK'e, Makine Mühendisliği bölümündeki değerli araştırma görevlisi arkadaşlarıma, yoğun mesaimin yanında tez çalışmalarını nedeniyle fazla vakit ayıramadığım, büyük fedakarlıklarla bana destek olan eşim Aynur ÖZER'e ve çocuklarıma teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	ii
ABSTRACT.....	iv
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER.....	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xii
SİMGELER DİZİNİ.....	xv
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Literatür Taraması.....	3
1.1.1. Balistiğin Tanımı ve Sınıflandırılması.....	3
1.1.2. Dış Balistik.....	4
1.1.3. İç Balistik.....	9
1.1.4. Orta Balistik.....	11
1.1.5. Terminal Balistik.....	11
1.1.6. Adli Balistik.....	12
1.1.7. Yaralanma Balistiği.....	12
1.1.8. Namlulu Otomatik Silahlar.....	13
2. MATERYAL VE YÖNTEM.....	21
2.1. Atmosfer.....	21
2.1.1 Atmosferik Yapı.....	21
2.1.1.1 Birleşimi.....	21
2.1.1.2. Katman.....	21
2.1.2 Atmosferik Özellikler.....	22
2.1.3. İşlevsel Çevrimler.....	23
2.1.4. Özellik İlişkileri.....	23
2.1.5. Enternasyonal Standart Atmosfer (ESA).....	24
2.1.5.1 Deniz Seviyesi ESA Değerleri.....	24
2.1.6. Mach Sayısı.....	25
2.2. Mermi Uçuşunun İncelenmesi.....	26
2.2.1. Mermi Üzerine Etki Eden Kuvvet Ve Momentler.....	29
2.2.1.1. Kütle Kuvvetleri.....	31

2.2.1.2. Merkezkaç Kuvveti.....	32
2.2.1.3. Coriolis Kuvveti.....	32
2.2.1.4 Aerodinamik Kuvvetler (Rüzgâr Kuvveti ve Dönme Momenti).....	33
2.2.1.5. Sürüklenme Kuvveti.....	35
2.2.1.6. Kaldırma Kuvveti.....	36
2.2.1.7. Gyroskopik Etki.....	36
2.2.1.8. Dönme Direnç Momenti.....	38
2.2.1.9. Magnus Kuvveti Ve Magnus Momenti.....	38
2.2.2. Denge.....	41
2.2.2.1. Statik Denge.....	41
2.2.2.2. Dinamik Denge.....	42
2.2.2.3. Yörünge Uyumluluğu.....	44
2.2.3. Craz Yöntemi.....	45
3. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA.....	46
3.1 Mühimmat Şekil Geometrileri	46
4. SONUÇ.....	100
KAYNAKLAR.....	102

ÇİZELGELER DİZİNİ

ÇİZELGE

2.2.1.a. Merminin Atmosferdeki Hareketine Etki Eden Kuvvetler.....	30
2.2.1.b. Farklı Mach Sayılarında Kuvvet Karşılaştırılması.....	31
3.1.b İncelenen Mühimmata Ait Bağıntılar	47
3.1.d İncelenen Klasik ve Modern Mühimmata Ait Bilgiler.....	50
3.1.e. Mühimmat Geometrilerinin Alan Fonksiyonları.....	51
3.1.z. Modelleme Programı İle Elde Edilen Mesafeler.....	70
3.1.aj. Modelleme Programı İle Elde Edilen Mesafeler.....	81
3.1.az.Modelleme Programı İle Elde Edilen Mesafeler.....	95
3.1.bb.Menzillerin Mühimmat Geometrisi Yönünden Karşılaştırılması.....	99
3.1.bc. Menzillerin Karşılaştırılması ve Sapmanın Hesaplanması.....	100

ŞEKİLLER DİZİNİ

ŞEKİL

1.1.2. Ballista	5
1.1.8.a. Otomatik Silahların Sınıflandırılması.....	17
1.1.8.b. Gaz Tahrikli Otomatik Silahın Genel Görünümü.....	18
1.1.8.c. Otomatik Silahın Temel Çalışma Prensibi.....	19
2.1.1.2. Atmosfer Tabakaları.....	22
2.1.5. Ayrıntılı Düşük ESA.....	24
2.1.6. Mach Sayısına Göre Atış Kıyaslanması.....	25
2.2.a. Foto-grafik Deneysel Tekniği.....	27
2.2.b. 0.308 Winchester (7.62 x 51 NATO fişegi).....	27
2.2.c. 9 mm Luger FMJ Mermisi.....	28
2.2.d. 32 ACP Mermisi.....	29
2.2.1.2. Merkezkaç Kuvveti.....	32
2.2.1.3. Coriolis Kuvveti.....	33
2.2.1.4.a. Aerodinamik kuvvetler.....	34
2.2.1.4.b. Rüzgar Kuvveti.....	34
2.2.1.4.c. Aerodinamik Moment.....	35
2.2.1.7. Gyroskopik Moment.....	37
2.2.1.9.a. Magnus Kuvveti ve Magnus Momenti.....	38
2.2.1.9.b. Magnus Kuvveti.....	39
2.2.1.9.c. Magnus Kuvveti.....	40
2.2.2.1. 7.62 x 51 Nato Fişeginin Statik Kararlılık Durumu.....	42
2.2.2.2. Denge Üçgeni.....	43
2.2.2.3. Yörünge Uyumluluğu.....	44
3.1.a. Mühimmat Geometrisinde Çap Boy Bağlılıkları.....	46
3.1.c. İncelenen Mühimmat Geometrilerine Ait Şekiller.....	49
3.1.f. L=3D ve R=3D İçin Alan Fonksiyon Grafiği.....	52
3.1.g. L=3D ve R=3.5D İçin Alan Fonksiyon Grafiği	53
3.1.h. L=3D ve R=4D İçin Alan Fonksiyon Grafiği.....	54
3.1.i. L=4D VE R=3D İçin Alan Fonksiyon Grafiği.....	55
3.1.i. L=4D ve R=3.5D İçin Alan Fonksiyon Grafiği.....	56

3.1.j. L=4D ve R=4D İçin Alan Fonksiyon Grafiği.....	57
3.1.k. L=5D ve R=3D İçin Alan Fonksiyon Grafiği.....	58
3.1.l. L=5D ve R=3.5D İçin Alan Fonksiyon Grafiği.....	59
3.1.m L=5D ve R=4D İçin Alan Fonksiyon Grafiği.....	60
3.1.n. Basıncın Süpürülen Alana Bağlı Değişimi.....	61
3.1.o. Basıncın Süpürülen Alana Bağlı Değişimi.....	62
3.1.p. Basıncın Süpürülen Alana Bağlı Değişimi.....	63
3.1.r. Basıncın Süpürülen Alana Bağlı Değişimi.....	64
3.1.s. Basıncın Süpürülen Alana Bağlı Değişimi.....	65
3.1.t. Basıncın Süpürülen Alana Bağlı Değişimi.....	66
3.1.u. Basıncın Süpürülen Alana Bağlı Değişimi.....	67
3.1.v. Basıncın Süpürülen Alana Bağlı Değişimi.....	68
3.1.y. Basıncın Süpürülen Alana Bağlı Değişimi.....	69
3.1.aa. Modelleme Programı İle Elde Edilen Mesafelerin Grafiği.....	71
3.1.ab. Basıncın Süpürülen Alana Bağlı Değişimi	72
3.1.ac. Basıncın Süpürülen Alana Bağlı Değişimi.....	73
3.1.ad. Basıncın Süpürülen Alana Bağlı Değişimi.....	74
3.1.ae. Basıncın Süpürülen Alana Bağlı Değişimi.....	75
3.1.af. Basıncın Süpürülen Alana Bağlı Değişimi.....	76
3.1.ag. Basıncın Süpürülen Alana Bağlı Değişimi.....	77
3.1.ah. Basıncın Süpürülen Alana Bağlı Değişimi.....	78
3.1.ai. Basıncın Süpürülen Alana Bağlı Değişimi.....	79
3.1.ai. Basıncın Süpürülen Alana Bağlı Değişimi.....	80
3.1.ak. Modelleme Programı İle Elde Edilen Mesafelerin Grafiği.....	83
3.1.al. Basıncın Süpürülen Alana Bağlı Değişimi.....	84
3.1.am. Basıncın Süpürülen Alana Bağlı Değişimi.....	85
3.1.an. Basıncın Süpürülen Alana Bağlı Değişimi.....	86
3.1.ao. Basıncın Süpürülen Alana Bağlı Değişimi.....	87
3.1.ap. Basıncın Süpürülen Alana Bağlı Değişimi.....	88
3.1.ar. Basıncın Süpürülen Alana Bağlı Değişimi.....	89
3.1.as. Basıncın Süpürülen Alana Bağlı Değişimi.....	90
3.1.at. Basıncın Süpürülen Alana Bağlı Değişimi.....	91
3.1.au. Basıncın Süpürülen Alana Bağlı Değişimi.....	92

3.1.av. Örnek Mod. Programının Ekrandaki Görünümü.....	93
3.1.ay. Modelleme Prog. İle Çizilen Mermi Yollarının Görünüşü.....	94
3.1.ba. Modelleme Programı İle Elde Edilen Mesafelerin Grafiği.....	97

SİMGELER DİZİNİ

SİMGE

a	Ses hızı
A	Alan
C_D	Sürükleme Katsayısı
CG	Ağırlık Merkezi
C_L	Kaldırma Katsayısı
CPW	Rüzgar Merkezi
CPM	Basınç Merkezi
C_w	Hava Direnç Katsayısı
D	Mühimmat Çapı
f	Yörünge Kararlılığı
F_D	Sürükleme Kuvveti
F_L	Kaldırma Kuvveti
G	Ağırlık
g	Yerçekimi İvmesi
h	Yükseklik
i	Şekil Faktörü
m	Kütle
M	Moment
Ma	Mach Sayısı
p	Basınç
p_t	Toplam Basınç
R	Gaz Sabiti
Re	Reynolds Sayısı
S	Kesit Alanı
S_g	Statik Denge Kararlılığı
t	Süre
T	Sıcaklık
u	Kinematik Viskozite

V	Herhangi Bir Andaki Mühimmat Hızı
v	Spesifik Hacim
V_o	Mühimmatın İlk Hızı
V_w	Yanal Rüzgar Hızı
X	Menzil
x, y, z	Koordinat Eksenleri
γ	Özgül Isı Oranı
Δ	Kayma
Θ	Namlu Eğim Açısı
μ	Dinamik Viskozite
ρ	Özkütle
Φ	Uç Açısı

1. GİRİŞ

Ulusal sanayimizin çağdaş ülkeler düzeyine ulaşamayışı nedeniyle, Türk Silahlı Kuvvetleri'nin teçhizinde maalesef uzun yıllar dışa bağımlı kalınmıştır. Bu bağımlılık, II. Dünya Savaşı'ndan sonra ABD'nin hizmet dışı kalan askeri malzemesini, ekonomik güçleri ve sanayileri güçsüz NATO üyesi ülkelere hibe etme projesi, yani "Marshall Plâni" ile daha da artmaya başlamıştır. Özellikle, 1964 Kıbrıs bunalımı ve 1974 Kıbrıs Barış Harekâtı sonrasında ülkemize konulan ve değişik biçimde ve çapta hâlâ devam eden ambargolar, bir ulusal savunma sanayi yaratılması konusunda, halkımızın her türlü maddi ve manevi desteğiyle birlikte Türk Silahlı Kuvvetleri'nin yanında yer almasına vesile olmuştur.

Bir ülkenin savunma sanayii alanındaki yeri; ülkenin sanayi altyapısı, imkânları ve teknolojik düzeyiyle belirlenmektedir. Türk Silahlı Kuvvetleri'nin kullanımına sunulan silah, malzeme, araç ve gereçler çok hassas ve yüksek teknoloji gerektiren ürünler olup insan hayatıyla yakından ilgilidir. Savunma sanayi, diğer sanayi sektörlerinden önemli farklılıklar gösterir. Savunma sanayinde sistem kavramı son derece önemlidir. Sistematik bir yaklaşım ve süreç gerçekleştirilemediği takdirde bu alanda gelişme sağlanması çok zordur. Bu sistematik yaklaşımın en üstünde devlet politikası yer almaktadır. Bu politika çerçevesinde Türk Silahlı Kuvvetleri'nin nasıl teşkil ve teçhiz edileceğinden, ne tür silah sistemlerinin hangi kaynaklardan tedarik edileceğine kadar geniş bir spektrum içinde devletin sivil ve askeri

yetkililerinin çok yakın bir ekip çalışması söz konusudur. Bu ekip çalışmasına, uygun aşamalarda savunma sanayicileri de katılır. Savunma sanayi diğer sektörlere nazaran çok daha pahalı bir alt yapı ve yüksek teknoloji kullanımı gerektirmektedir.

Savunma sanayi ürünlerinin pek çoğu kritiktir, gizlilik gerektirir. Tasarımda gizliliğin sağlanması şart olan ürünler ulusal olmak zorundadır. Örneğin; silah, araç ve gereçlerde bilgisayar teknolojisinin kullanılması zorunludur. Bu ürünlerin yazılımlarını siz yapmıyorsanız en hayati yer ve zamanda sistemlerinizin çalışmayabileceğini önceden düşünmek zorundasınız. Tabii, askeri hareket ihtiyacının belirlenmesinden sonra istenen malzeme, araç ve gereç o sırada üretilmiyorsa uzun bir araştırma – geliştirme, prototip imali, deneme ve seri imalat dönemi gerekmektedir. Bu süreç, çoğu zaman yıllarca devam eder ve büyük bir kaynak kullanımını gerektirir. Bu bakımdan; Türk Silahlı Kuvvetleri'nin ihtiyaçları daha uzun vadeli ve yönlendirici olarak belirlenmeli, plânlamada teknoloji ve finansman boyutları ihmal edilmemeli, bu plânlama yeterli süre önceden duyurularak yerli üreticilere hazırlık ve yatırım için gerekli zaman sağlanmalıdır.

Savunma sanayi ürünlerinin tek alıcısı devlettir. Savunma sanayi alanındaki gelişmelere rağmen, TSK'nin savunma sanayi ürünleri ihtiyacının, ancak yüzde 20'ye yakın bölümünü yurtiçinden sağlayabiliyoruz. Bu oranı en kısa zamanda daha yukarıya çıkarıp silahlı kuvvetlerimizin dışa bağımlılığını azaltmak zorundayız. Bu alanda faaliyet gösteren bütün kurum, kuruluş ve tesislerin ortak hedefi olmalıdır.

Esasen, bütün ülkeler savunma ihtiyaçlarını kendi içlerinden olabildiğince kendi öz kaynaklarıyla karşılamayı hedef almaktadırlar. Dolayısıyla bizim savunma sanayindeki temel hedefimiz de savunma ihtiyaçlarımızın mümkün olduğu azami oranda ulusal sanayi kaynaklarımızdan karşılanmasıdır.

Balistik konusunda yabancı ülkelerde yapılmış birçok eser ve çalışma bulunmasına rağmen, bu eserlerden dilimize çevrilmiş olanların hem sayısı çok az, hem de balistik konusunda çalışan teknik eleman yok denecek kadar azdır. Silah ve mühimmat üretimi yapan kamu kurumu ve özel sektörler patent altında çalışma yapmaktadırlar. Silah ve mühimmatın lisanslı tasarımı ve üretimi yapılmadığından, balistik dalında da danışılacak bir kurum yoktur.

Özgün tasarımlar yapılarak yurt dışına bağımlılık ancak azaltılabilir. Milli tasarım ve bilgi paketleri yapmaya başladığımızda, ülke olarak yurt dışı bağımlılığımız da azalmaya başlayacaktır. Dünyanın en büyük ve başarılı ordularında birisine sahip olmamıza rağmen, milli bir silah veya mühimmatımız tam anlamıyla yoktur.

1.1. Literatür Taraması

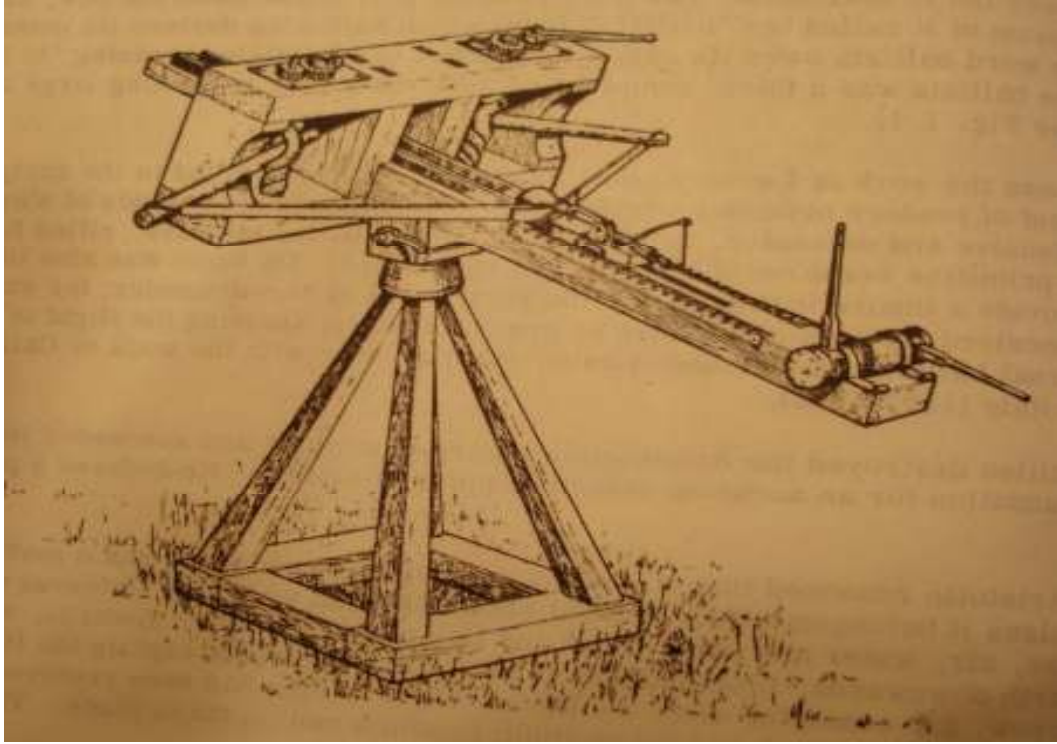
1.1.1. Balistiğin Tanımı ve Sınıflandırılması

Uzaya fırlatılan cisimlerin, özellikle mermilerin gerek bir silahın içindeki gerekse dışındaki hareketlerini ve hedef üzerindeki etkisini inceleyen bilimdir. Bir başka deyişle, mermilerin itme kuvvetini, uçuşunu ve çarpma etkisini inceleyen bir bilimdir ⁽²⁾.

Günümüzde balistik altı ana bölüme ayrılmıştır. Bu bölümler; Dış Balistik, İç Balistik, Orta Balistik, , Terminal Balistik, Adli Balistik ve Yaralanma Balistiği olarak adlandırılmıştır. Şimdi bunları açıklamaya çalışalım ⁽³⁾.

1.1.2. Dış Balistik

Tarih öncesi insanların taş fırlatmaları dış balistiğin ilk örnekleridir. Daha hızlı ve güçlü fırlatmanın sağlayacağı avantajlardan dolayı sapan ve mızraklar yapılmıştır. Daha sonra ok yapılmış ve okun kurulmasında kullanılan yay "ballista" adını almıştır. Ballista kelimesi Yunanca da fırlatma anlamına gelen "ballein" kelimesinden gelmektedir. Ballista çok daha büyük okların fırlatılması için kullanılmıştır. (şekil 1.1) ⁽³⁾



Şekil 1.1.2. Ballista

Leonardo da Vinci (1452–1519) çalışmaları ilk modern ordu mühendisliğinin yolunu açmıştır. Leonardo da Vinci gerek saldırı ve gerekse de savunma amaçlı; piyade tüfeği, havan, top, çeşitli tank ve deniz altı gibi birçok silah sisteminin tasarımını yapmıştır. Da Vincinin, kuşları incelemesi ve uçuş için basınç merkezlerinin önemini ortaya çıkarması ile aerodinamik olayların ilk teorik temellerini ortaya çıkarmıştır (1562–1642)⁽³⁾.

Galileo; Aristotelian'ın hareket teorisini çürütmüş ve hareketin bilimsel temellerini başarılı bir şekilde ortaya koymuştur. Aristotelian'ın teorisine göre; Ateş, hava, su ve dünyanın etkileri hariç nesnelere tahrik kuvveti almadan hareket etmezler. Hava ve ateşin yukarıya kaldırma, su ve dünyanın aşağıya çekme özelliklerinin olması bunların doğal özelliklerindedir şeklinde açıklamaktadır. Ancak bu teori fırlatılan okların uçuşunu açıklayamamaktadır.

Bunun üzerine cebri hareket olarak belirtilen yeni bir ifade ile açıklayamadığı diğer olayları bu şekilde açıklamaya çalışmıştır ⁽³⁾.

Galileo, fırlatılan mühimmatın parabolik yörüngesini çıkarmıştır. Galileo'nun öğrencisi Evangelista Torricelli; fırlatılan mühimmatın uçuş yörüngesini modellemiş ve yörüngenin parabolik yapısı ile çalışmıştır. 1537'de Niccolo Tartaglia zamanında, top namlusu yükselişinin çeyrek açısında mermi yörüngesi tam olarak ölçülmüştür. Namlu çıkış hızının kaba bir şekilde ölçümü Galileo'nun ölümünden sonraki yüzyılda yapılmıştır ⁽³⁾.

Mühimmatın gerçek menzilin Galileo'nun parabolik yörüngesinden çok daha kısa menzilli olduğu daha sonraları öğrenilmiştir. Ancak; Galileo hava direncinin mühimmatın hareketini kısıtlayacağını biliyordu ve direnci ihmal etmişti. Mühimmatın; ağırlığının, hızının ve geometrik şeklinin havada uçuş hareketini hızlandırıcı veya yavaşlatıcı yönde düşüşüne sebep olacağını tartışmaya açmıştır. Galileo'nun çalışmaları, Isaac Newton (1642–1727) tarafından düzeltilmiştir. Newton belki balistiğin modern temellerini atan en önemli bilim adamıdır. Newton'un "Temel Matematiğin Doğal Felsefesi" adlı kitabında dinamik üzerinde çalıştığı görülür ⁽³⁾.

Newton, iki ciltlik bu kitaplarından birisinde katı cisimlerin hareketini, diğerinde ise sıvıların hareketini incelemiştir. Bu iki konu da modern balistiği birinci derecede ilgilendirmektedir. Top arabalarından yatay olarak ateşlenen mühimmatın hareketinin yer çekimi yönünden incelemeye başlamıştır. Barut yanma hızının sürekli arttığını gösteren Newton, buradan da mühimmatın ateşleme anından uçuşunu tamamlayınca kadar olan hareketini hesaplamıştır ⁽³⁾.

İsviçreli Leonhard Euler (1707–1783) çalışmalarında Newton'un balistik çalışmaları en önemli yeri tutar. Top mermilerinin uçuş menzilini hesaplayabilmek için çeşitli mesafelerde deneysel çalışmalar yapmıştır. Euler balistik konusunda ilk analitik çalışandır. 1742'de Benjamin Robins balistik sarkacı icat etmiş ve bu sarkaç ile eski silahların namlu ağzı çıkış hızlarını tespit etmiştir. Namlu çıkış hızları 76 m/s 'den 518 m/s 'ye kadar olan mühimmatların hızlarını ölçmüştür. Benjamin, Newton'un bulduğu serbest düşüşün, düşme hızının karesi ile orantılı olma şartını düşük ve yüksek hızlı mühimmatlarda denemiş ve sonuçta 244 m/s hızlara kadar çok iyi sonuçlar elde etmesine rağmen, özellikle 336 m/s hızlarda hava direncinin de çok olması nedeniyle sapmalar çok daha fazla olmuş ve iyi sonuçlar elde edememiştir ⁽³⁾.

Mühimmat uçuş yörüngelerine ait deneysel yöntemlerin tam ve doğru olarak belirlenmesi 19. yüzyılda yapılmıştır. Bu dönemde namlu çıkış hızı ile namlu büyüklüğünün uyumlu hale getirilebilmesi için iç balistik olayları incelenmeye başlanmıştır. Havan mühimmatının uçuşunun gerçek zamanının tespitini Charles Wheatstone (1802–1875) elektrik devresi kullanarak yapmıştır. Bu çalışma Francis Bashforth (1815–1880) 'ın elektriksel kronografi yöntemi ile top mühimmatlarının yörüngesini hesaplamasına yardımcı olmuştur ⁽³⁾.

Avrupa'daki bu deneysel çalışmaların sürmesi uçuş kanunlarını geliştirmiş ve bu sayede havan mühimmatlarının hızları hesaplanmıştır. 19. yüzyılda aerodinamik büyük ölçüde anlaşılır duruma gelmiştir. Uçuş şartının havanın bir fonksiyonu olduğu anlaşılmış ve mühimmat geometrileri tüm üreticilerde hemen hemen aynı olmaya başlamıştır. 18. yüzyılda üretilen yumuşak geçişli

silah namlularının, namlu çıkış hızları düşük ve üretimleri hatalıydı. Bu durum aynı zamanda 19. yüzyıldaki Avrupa savaşlarında kullanılan tüfeklerde de görülmüştür. 18. Yüzyılda Avrupa ordularında kullanılan topların menzillerinin kısa olmasının sebebi namlu çıkış hızının düşük olması ve namlu temizliğinin sorun olmasıydı. Bu durum yangın çıkaran topçu roketlerinin yapılmasına yol açmıştır⁽³⁾.

Yangın çıkarıcı roketler İtalya ve Almanya'da 14. yüzyılda yaygın olarak kullanılmıştır. Ancak, 1450'den sonra Avrupa'daki kara savaşlarında bunların kullanılmasına son verilmiştir. Bunun en büyük sebebi üretimde veya kullanmadan önce patlama eğiliminin olmasından dolayıdır. Ancak bu roketler Orta Doğuda kullanılmaya devam etmiştir. Hindistan'da yapılan roketler hatalı ve 3–5 kg.lık çelik tüplerden yapılmaktaydı. Bu roketler o kadar etkileyiciydi ki, Hindistan'daki İngiliz orduları bu silah sistemiyle oldukça zor mücadele etmişlerdir. İngiliz William Congreve (1772–1828) yaptığı çalışmalar ile yangın çıkaran bu roketlerin menzilini 3 km.ye kadar geliştirmiştir. Napolyon zamanında Avrupa ordularının tamamında bu yangın çıkaran roketler görülmüştür⁽³⁾.

1855'de Amerikalı William Hale roketlerin uçuşunda dönme kararlılığını geliştirdi. Balistik kuvvetlerin hesaplanmasında, yerçekimi ve aerodinamik direnç kuvvetleri yanında artık mühimmatın kendi eksenini etrafındaki dönüş kararlılığı da incelenmeye başlanmıştır. 20. yüzyıl boyunca matematiksel denklemlerin kullanılması, fırlatılan cisimlerin uçuşu ile ilgili tüm aerodinamik kuvvet etkilerinin tanımlanmasına sebep olmuştur. Uçuş testleri rüzgâr

tünellerinde, ateşleme testleri ise laboratuvarlarda yapılarak teorik değerler ile pratik bulgular zaman zaman doğrulanmıştır.

1.1.3. İç Balistik

İç balistiğin tarihçesi kara barutun kullanılmaya başlanması ile başlamasına rağmen, ilk inceleme tarihi henüz tam olarak tespit edilememiştir. 1346 yılında İngiltere ile Fransa arasındaki savaşta kullanıldığı bilinmektedir. 18. Yüzyıl sonlarında kara barut; % 75 oranında sodyum veya potasyum nitrat oksitleyici olarak, % 15 oranında karbon(odun kömürü) temel yanıcı olarak, %10 oranında ise kükürt karışımından oluşmaktaydı. Barut, ilk defa 1578 'de Bourne tarafından test edilmiştir. Barut balistiğinin ölçülmesi ilk defa 17 yüzyılda İtalyan Luys ve İngiliz William Eldred ile Nathaniel Nye tarafından yapılmıştır. Bu çalışmalar ile farklı yükseliş açılarında atış menzilleri tespit edilmiştir.

1742'de Benjamin Robins balistik sarkacı icat etmiş ve bu sarkaç ile silahların namlu ağzı çıkış hızlarını tespit etmiştir. "Yeni Atış Tekniği Prensipleri" adlı kitabında iç balistiğin temel problemlerini incelemiş ve basınç değerleri için namlu çıkış hızlarını hesaplamıştır. 1792'de Amerikalı Count Rumfort ilk defa deneysel olarak barut gazının basıncını ölçmüştür. Deney sonuçlarından gaz basıncı ile gaz yoğunluğu arasında ilişki olduğunu tespit etmiştir. Rumfort' un basınç, yoğunluk ilişkisi ve barut tam olarak yandıktan sonra merminin harekete geçeceği kabul edilerek yapılan, 18. yüzyıl sonundaki çalışmalarda basınç değişimi ile atış mesafesinin değişimi hesaplanmıştır. Basınç, mühimmat uçuş yörüngesinin hesaplanması sonucundan namlu ağzı çıkış hızı hesaplanarak deneysel sonuçlar ile karşılaştırılmıştır ^(16, 3).

Fransız Piobert 1839' da kendisine ait yanma kanununu açıklamıştır. Bu kanun yalnızca kara barut için geçerli olmuş, ancak iki veya daha çok bazlı barutlar ile paralellik göstermektedir. Piobert namı içindeki gaz hareketlerinin yaklaşık çözümünü vermiştir. Aynı zamanda bu konu ile ilgili olarak Lagrange' de Fransız devrimi boyunca ilgilenmiştir. Ayrıca Piobert silah sistemleri üzerindeki etki tepki kuvvetleri üzerinde de çalışmıştır. 1857' de Amerikalı General Rodman tarafından barut gazı basıncını basınç masterları kullanarak ölçmeyi başarmıştır. Kama tarafına açılan bir çentiğe bakır veya kurşun doldurulduktan sonra, ateşleme yapılmış ve gaz basıncının etkisi ile ezilen bakır veya kurşunun ezilme miktarından maksimum gaz basınç kuvveti hesaplanmıştır. Aynı zamanda bu deney ile kapalı kap içindeki basınç-yoğunluk ilişkisini ortaya çıkarmıştır. Rodman bununla beraber barutun verimli bir şekilde yanabilmesi için barut tanelerinin olması gereken şekilleri ile de çalışmıştır.

1860 'da Andrew Noble tarafından masterlar geliştirilmiş ve bu masterlar ile daha doğru basınç ölçümleri yapılmıştır. Noble ile Frederick Abel sabit hacimde basınç – yoğunluk ilişkisini ifade etmişlerdir. Barutun yanma enerji eşitliği 1864' de Resal tarafından verilmiştir. Bu ifade iç balistiğin termodinamik modelinin temelini oluşturmaktadır⁽³⁾.

II. Dünya savaşı sonrasında karmaşık matematiksel modeller ortaya çıkmıştır. Ancak birçok sadeleştirmeden dolayı bu modeller kullanılmaya elverişli olmamıştır. Bilgisayar programlarının gelişmesi ile silah sistemleri daha doğru hesaplanmıştır⁽³⁾.

Tarihteki ilk modern sevk maddesi olan nitrogliserin, Alman kimyacı Christain Schonbein tarafından 1845' de keşfedilmiştir. Nitrogliserin geride çok az katı atık bırakacak şekilde tam olarak yanabilmektedir. Kara barut ile mukayese edildiğinde ise nitrogliserinin atık miktarı kara barutun yarısından daha azdır. 1884' de Fransız fizikçi Paul Vieille alkol karışımı ile nitrogliserini belli bir formda sevk barutunu iyi sonuç verecek şekilde üretmiştir. Vieille' nin yapmış olduğu bu sevk barutu Fransız ordusunda Poudre adı altında kullanılmaya başlanmıştır. Nitrogliserin yerine, eter ve alkol karışımından yeni bir sevk barutunu Alfred Nobel üretmiştir. Nitrogliserin ve vazelin karışımı aseton ile nitrogliserini Abel İngiltere'de kalıplamıştır. Elde edilen bu yeni sevk barutuna şeklinden dolayı kordayt adı verilmiş ve 1891'den beri de İngiliz ordularında kullanılmaya devam etmektedir.

Robert Goddard 1926 'da ilk defa sıvı roket yakıtlarını denemiştir. Bu gelişme, çok büyük tepkiler verebilen sıvı ve hibrit sevk yakıtlarının gelişme sürecinin başlangıcını oluşturmuştur. Sıvı yakıtlar, roket ve füzelerde yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır.

1.1.4. Orta Balistik

İç balistik ile dış balistik arasındaki mermi sapmaları ile ilgilenir. Mermi namluyu terk ettiği anda salınım hareketi yapar ve namlu ağzında gaz dinamiği ile karşılaşır. Mermi, yörüngesinden belli oranda sapar⁽³⁾.

1.1.5. Terminal Balistik

Merminin hedef üzerindeki etkilerinin karşılaştırmalı olarak bilimsel incelenmesidir. İlk zamanlarda silah sistemlerinin etkinliğini arttırmak için

basit bir şekilde silahın çapı büyütülmekteydi. Zırhların gelişmeye başlaması ve hava araçlarının savaş alanlarında önemli yer tutması zırh delici aygıtların gelişmesine sebep olmuştur. Metalürji alanındaki bu gelişmeler daha tok yapılı malzemelerin geliştirilmesine olanak sağlamıştır. Her alanda olduğu gibi balistik ölçüm aygıtlarının ölçme kapasiteleri çok yüksek basınçları ölçebilecek şekilde gelişmiştir. Milisaniye seviyesinde ölçüm alma yeteneklerinin kazanılması, terminal balistiğin daha hızlı gelişmesine sebep olmuştur. II. Dünya savaşının başlamasından günümüze kadar olan gelişmelerde yüksek patlayıcıların yapılması başarılı, vuruş kapasiteleri artırılarak hedef üzerinde; büyük oranlarda yaralanma, parçalanma ve şiddetli hasar meydana getirilmiştir. Son yıllardaki nükleer silahların ölümcül etkilerinin araştırılmaya başlanması ile terminal balistik, bu silahları da kapsama sınırına gelmiştir ⁽³⁾.

1.1.6. Adli Balistik

Ateşli silahlarda kullanılmış mermi çekirdekleri ve kovanların incelenmesi sonucunda belli bir silahtan atıldığını tespit ederek, olaya karışmış diğer silahların ayırımı ile uğraşır. Mermilerin, saçmaların ve barut artıklarının dağılış şekline, atış mesafesi tayinini yapar ⁽²⁾.

1.1.7. Yaralanma Balistiği

Terminal balistiğin bir parçası olup insan ve hayvanlarda meydana gelen yaralarla ilgilidir ⁽²⁾.

1.1.8 Namlulu otomatik silahlar

Otomatik silahlar; gerekli yerlerde tetiği tek hareketle basılı tutarak, mermilerin sürekli şekilde hedefe gönderilmesini sağlayan silahlardır. Enerji; merminin hedefe gönderilmesine, yeni ateş için namluya yeni mermi sürülmesine, silahın tekrar kurulmasına, boş kovanın silah dışarısına gönderilmesine harcanır. Otomatik silahların atışı yarıda kesmeksizin belli bir süre içinde ritmik olarak yapmaları karakteristik özelliklerindedir ⁽⁴⁾.

İlk olarak Maksimum tarafından 1883 yılında dünyadaki ilk otomatik silah bulunmuş ve aynı zamanda ilk kullanılabilir makineli tüfek olmuştur ⁽⁵⁾.

Otomatik silahların yanında, yarı otomatik diye de adlandırılan; bütün fonksiyonları yine otomatik olarak gerçekleştiren, ancak ilk ateşlemeye başlamayı elle gerçekleştiren silahlar da mevcuttur (Revolver, tabanca v.s.). Yarı-otomatik silahlarda elle ateşleme, kurma kolunun çekilip bırakılması ile olur. Kurma kolu çekilip bırakıldığında mühimmat namluya sürülür ve ateşleme gerçekleşir. Açığa çıkan gaz bir sonraki ateşleme için gerekli enerjiyi silaha verir ve diğer ateşleme otomatik olarak gerçekleşir ⁽⁴⁾.

Tam otomatik silahlar; açık yüklemeli otomatik silah ve kapalı yüklemeli otomatik silah olmak üzere iki çeşitten oluşur. Açık yüklemeli otomatik silahlarda ateşlemeye ara verildiğinde ateşleme mekanizması namluya yeni bir mermi sürmez ve mekanizma açık şekilde ateşlemeyi bekler. Kapalı yüklemeli otomatik silahlarda ise ateşlemeye ara verildiğinde bir sonraki ateşleme için ateşleme mekanizması namluya yeni bir mermi sürer ve bu şekilde bekler. Her ikisinde de ateşleme yapıldıktan sonra kurma kolu kilitli

pozisyonda olur. Hızlı biçimde birbirini izleyen atışlar yapabilen otomatik atışlı silahlarda açık yüklemeli çeşitler emniyet açısından daha iyidir (4).

Otomatik silahların tarihsel gelişimi ile birlikte aşağıdaki gibi bir sınıflandırmaya gidilmiştir (4).

1. Ani geri tepmeli silahlar,
2. Geri tepmeli silahlar,
3. Gaz tahrikli silahlar,
4. Yarı kilitlemeli silahlar,
5. Tamburlu silahlar,
6. Dıştan yüklemeli silahlar.

Ani Geri Tepmeli Silahlar yalnızca kilitleme yapabilen silahlardır. Kurma kolu kütlesi çok büyük olduğundan, ateşleme sırasında oluşan gaz basıncı, kurma kolunu şarjörün (merminin yüklendiği yerin) hemen yakınına kadar ancak geri çeker ve bu sebepten ötürü çok az bir ön gerilme ile sistem kurulu olarak bekler. Avantajları; basit bir silah tasarımı vardır. Kilitleme sistemi ve gaz kanalları yoktur, rijit bir kilitleme kolu yoktur. Dezavantajları; kurma kolu ağır, büyük kalibreli silahlarda düşük ateşleme oranı, özel şarjör tasarım gereksinimleri vardır. Yüksek verimli cephaneye ateşlemesi yapamaz. Kullanma yeri olarak; önceleri 30 kalibreden yukarı toplarda kullanılmıştır. Ancak hafif tüfeklerde bu ateşleme sistemi kullanılmaktadır (4).

Geri tepmeli silahların ateşleme mekanizması, merminin kovanında oluşan gaz basınç kuvvetinden yararlanarak geri çekilir. Mermi kovani ve ateşleme

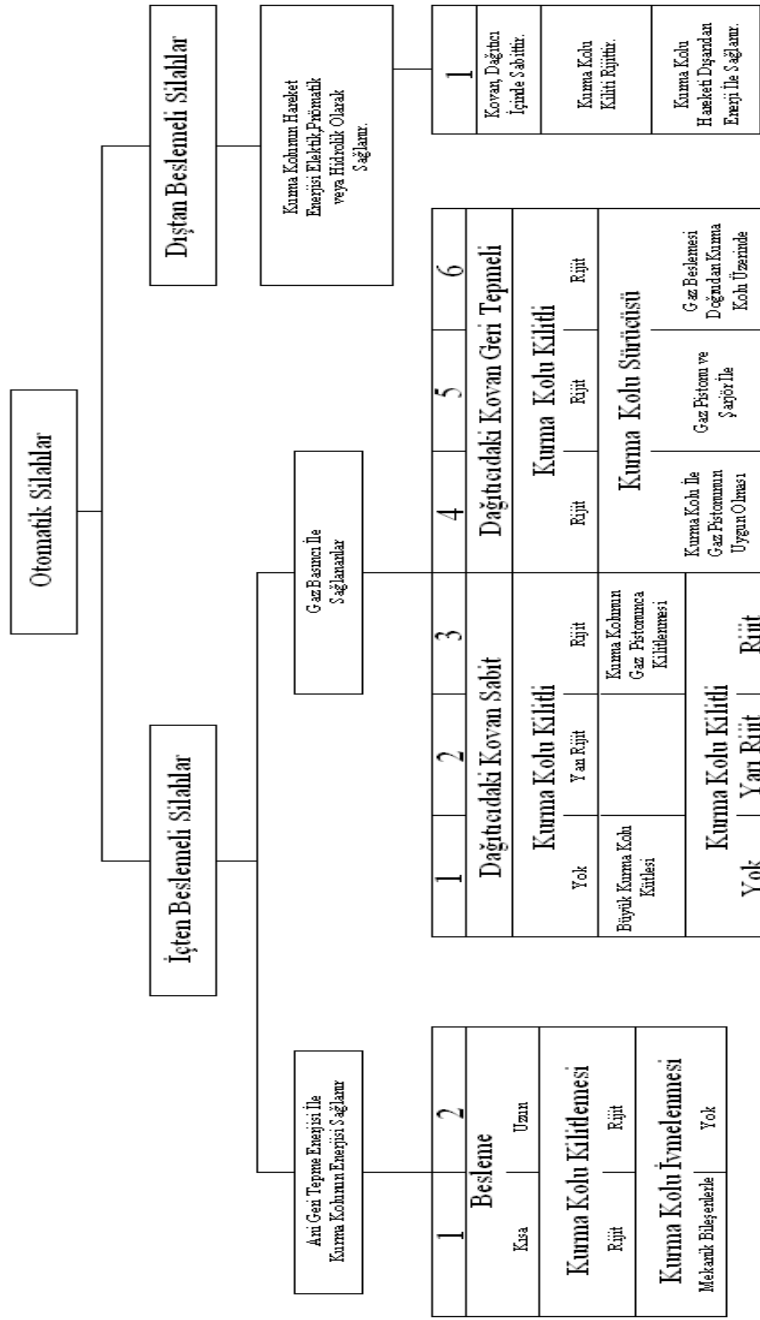
mekanizması önce geriye doğru hareket ederler ve beraberce kilitletir. Daha sonra da ayrılırlar. Mermi kovani dışarı atılırken ateşleme mekanizması kurulmuş olur. Mermi çekirdeği ise bu sırada namluyu terk etmiş olur. Avantajları; kilitleme sistemi güvenilirdir, kurma kolu kütlesinin büyük olmasına gerek yoktur, düzenli bir ateşleme sağlar, ateşleme oranı yükselir ve her çeşit cephane ateşlenebilir. Dezavantajları; geri tepme kolu bulunmalıdır, iki kısımdan oluşan kurma kolu vardır. Pahalı bir tasarımıdır. Ateşleme oranında üst sınır vardır. Kullanım yerleri; bütün kalibrelerde kullanılır ⁽⁴⁾.

Gaz tahrikli silahlarda mekanizmayı kurması için gerek duyulan gaz kovandan sağlanır. Avantajları; çok emniyetli kilitleme, yüksek atış oranı, bütün kalibrelerde kullanılabilirlik, hafif mekanizma ve kovan tutucunun sabit olması. Dezavantajları; gaz pistonu mevcuttur, kurma kolu birçok parçadan oluşur ve ayrı gaz tahliye kanalı vardır. Kullanım yerleri; otomatik tabancalardan, otomatik toplara kadar her tür silahta kullanılır ⁽⁴⁾.

Yarı kilitlemeli silahlarda geri tepme kuvveti sistemi daha az etkilediğinden, mekanizma daha yavaş hareket eder. Sistem gaz basınç artışı ile birlikte serbest hale geçer, fakat kurma kolu kütlesinin ağırlığı dolayısıyla (kütle artış etkisi), sistem yavaşlar ve kilitleme süresi artar. Avantajları; ani geri tepmeli sistem ile paraleldir ve daha hafiftir. Fakat daha karmaşık bir kurma kolu düzeneği vardır. Dezavantajları; kurma kolunun sekmemesi için engelleme gereklidir. Kullanma yerleri; otomatik tüfek ve makineli tüfeklerde kullanılır ve en yüksek kalibreli mühimmatın kullanımına izin verir ⁽⁴⁾.

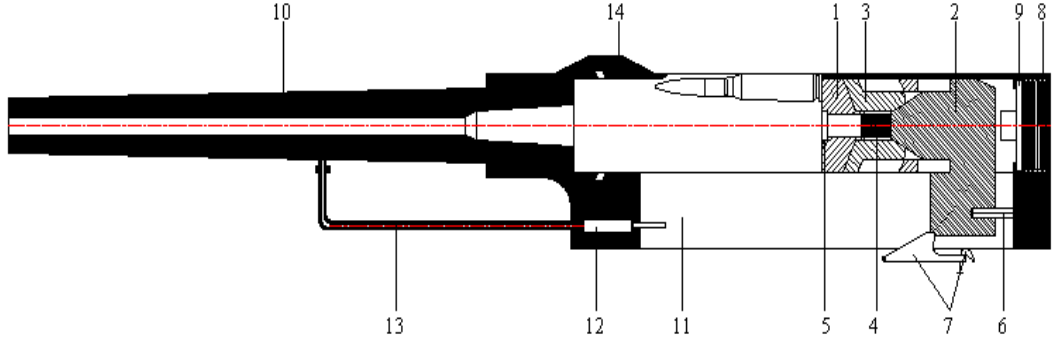
Tamburlu silahlar (revolver toplar) döner tambur prensibi ile çalışır. Oluşan gaz basıncı tamburun bağımsız olarak dönmesini sağlar ve bir sonraki atış için hazır konuma getirir. Avantajları; çok yüksek oranda atış mümkündür, kurma kolu sabit olduğundan küçük yapısal dizayn yeterlidir. Dezavantajları; belli bir dönme limiti üzerine çıkarılamaz. Çünkü kurma sıcaklığı tehlike yaratacak seviyelere çıkabilir. Yüksek atış oranı sağladığından dolayı kullanım süresi daha kısadır. Kullanım yerleri; uçak silah sistemlerinde kullanılır ⁽⁴⁾.

Dıştan Mermi Yüklemeli silahlarda dışarıda mermi mayonu vardır ve bir elektrik motoru vasıtasıyla mermi atım yatağına sürülür. Ateşleme sırasında kurma kolu, besleyici ve boş kapsül tahliye mekanizması, birbirinden bağımsız olarak otomatik şekilde kontrol edilir. Avantajları; atış sürati, dışarıya tahliye edilen boş kovanın, dışarı atılış süresi ile doğru orantılıdır. Dezavantajları; dışarıdan enerjiye ihtiyaç vardır ve yanma (tutuşma) sırasındaki bir gecikme sistemin güvenliğini tamburun dönme hızına etkiyeceğinden azaltır. Kullanım yerleri; uçak ve uçaksavar silahlarında kullanılır ⁽⁴⁻⁶⁾.



Şekil 1.1.8.a. Otomatik silahların sınıflandırılması ⁽⁴⁾.

Aşağıda bir otomatik silahın, basitleştirilmiş temel bir çizimi görülmektedir. Bu silah gaz tahrikli silah olup birçok çeşit otomatik silahın temelinde bu elemanlar mevcuttur ⁽⁴⁻⁶⁾.

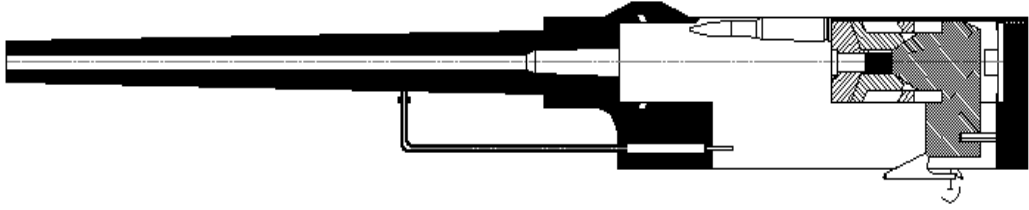


Şekil 1.1.8.b. Gaz tahrikli otomatik silahın genel görünümü ⁽⁴⁾.

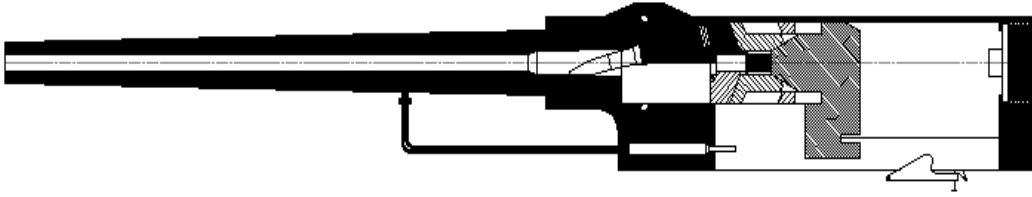
1. Ateşleme mekanizması kafası,
2. Kilitleme parçası,
3. Destekleme kilidi,
4. İğne,
5. Boş kovan atıcı tırnağı,
6. Geri getiren yay,
7. Tetik,
8. Kurma kolu,
9. Kurma kolu tırnağı,
10. Namlu,
11. Gaz çıkış odası,
12. Gaz pistonu,
13. Gaz borusu,
14. Kilitleme parçası.

Yukarıdaki şekilde silah mekanizmasının, mühimmat tahliyesinin ve ateşleme mekanizmasının parçaları gösterilmemiştir. 1'den 5'e kadar numaralı parçalar, mekanizma (kurma kolu) parçalarıdır.

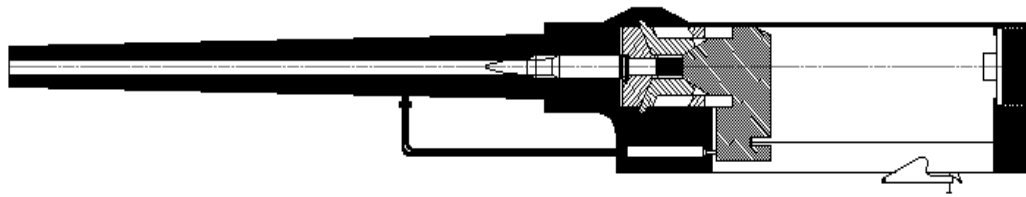
Aşağıdaki şekillerde ise; kurma kolunun çekildiği andan itibaren, mermi ve ateşleme mekanizmasının hareket şeklini sırası ile göstermektedir. Şekillerin altında ise sistemin çalışma prensibi açıklanmıştır ^{(4),(6)}.



a) Silah atışa hazır, ancak mermi şarjörde.

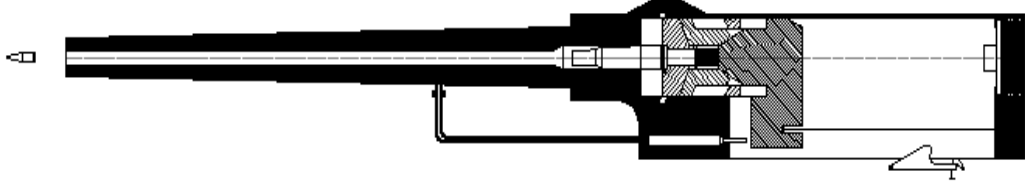


b) Kurma kolu çekiliyor ve ateşleme mekanizması mermi ile besleniyor.



c) Ateşleme mekanizması mermiyi atım yatağında kilitliyor.

Şekil 1.1.8.c. Otomatik silahın temel çalışma prensibi ⁽⁴⁾



d) Tetik çekilerek atış yapılıyor ve daha sonra ateşleme mekanizmasının kilidi açılıyor.



e) Boş kovan atıcı tırnağı ile boş mermi kovana dışarı atılıyor.



f) Yeni bir atış için sistem hazır hale geliyor.

Şekil 1.1.8.c. devam

2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. Atmosfer

Balistik uçuşlar atmosferin içinden geçtiğinden, atmosferin kapsamlı olarak bilinmesi önemlidir.

2.1.1. Atmosferik Yapı

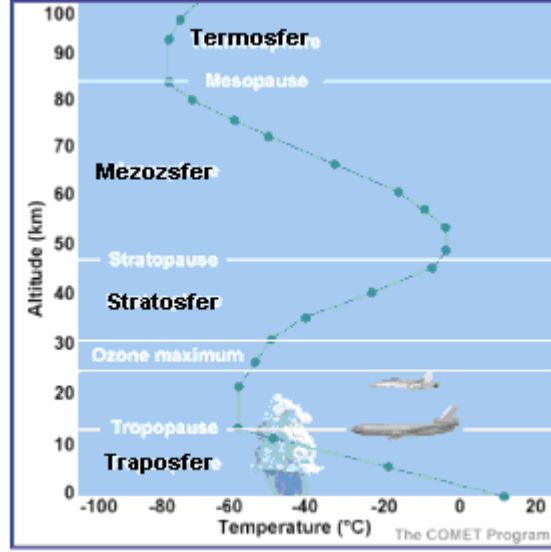
2.1.1.1. Birleşimi

Gezegemimizi kaplayan hava, her biri kendi özgün fiziksel özelliklerini taşıyan gazların karışımından oluşur.

Bu karışım kabaca iki elementten oluşmaktadır. Bunlardan biri azot (%78), diğeri de oksijendir (%21). Bu iki element havanın %99 sini oluşturmakla birlikte %1 lik kısmını da aralarında argon gazının başı çektiği diğerk gazlar oluşturmaktadır. Diğerk gazların miktarı çok az olmakla birlikte birlikte dünya üzerindeki yaşam için hayati önem taşırlar. Bunlardan en önemli iki tanesi karbondioksit ve ozon, atmosferik koşullarda önemli rol oynarlar. Bir diğerk gaz da su buharı olup, çöllerde hiç bulunmamakta, okyanus üzerlerinde ise %4 oranında bulunmaktadır. Su buharının mevsimlere etkisi çok önemlidir. Çünkü katı, sıvı ve gaz hallerinde bulunarak radyan enerjiyi dünyadan uzaklaştırır.

2.1.1.2. Katman

Atmosfer katmanı birçok bölgeden oluşur. Bu bölgeler sıcaklık profilleri ve dar geçiş bölgelerinin ayrılması ile tanımlanır.



Şekil 2.1.1.2. Atmosfer Tabakaları

2.1.2 Atmosferik Özellikler

Atmosferde meydana gelen hareketle bağlantılı olarak ana akışkan özellikler şöyle sıralanabilir:

- Basınç (p), N/m^2
- Sıcaklık (T), K
- Öz kütle (ρ), kg/m^3
- Ses hızı (a), m/s
- Dinamik viskozite (μ), Ns/m^2
- Kinematik viskozite ($\nu = \mu / \rho$), m^2/s
- Spesifik hacim ($v = 1 / \rho$), m^3/kg

2.1.3. İşlevsel Çevrimler

Bazı işlevsel çevrim faktörleri aşağıda verilmiştir:

Basınç $1 \text{ bar} = 10^5 \text{ N/m}^2$, $1 \text{ Paskal (Pa)} = 14.5 \text{ lbf/in}^2$

$1 \text{ atm} = 1.01325 \text{ bar}$

Sıcaklık $0 \text{ }^\circ\text{C} = 273.15 \text{ K} = 32 \text{ }^\circ\text{F}$

Özkütle $1 \text{ kg/m}^3 = 0.06243 \text{ lb/ft}^3$

Kütle $1 \text{ kg} = 2.205 \text{ lb}$

Dinamik viskozite $1 \text{ kg/ms} = 2419 \text{ lb/fth}$

Kinematik viskozite $1 \text{ m}^2/\text{s} = 104 \text{ cm}^2/\text{s} = 38750 \text{ ft}^2/\text{h}$

Uzunluk $1 \text{ deniz mili} = 1852.3 \text{ m}$, $1 \text{ ft} = 0.3048 \text{ m}$

Hız $1 \text{ knot} = 0.514543 \text{ m/s} = 1.151 \text{ mph}$

2.1.4. Özellik İlişkileri

Aerodinamik ve dış balistikte sık sık kullanılan bazı ilişkiler vardır. Bunlar:

Durum denklemi: $p = \rho RT$ veya $pV = mRT$

R gaz sabiti, ($=287 \text{ J/kgK}$) hava için), T sıcaklık (K).

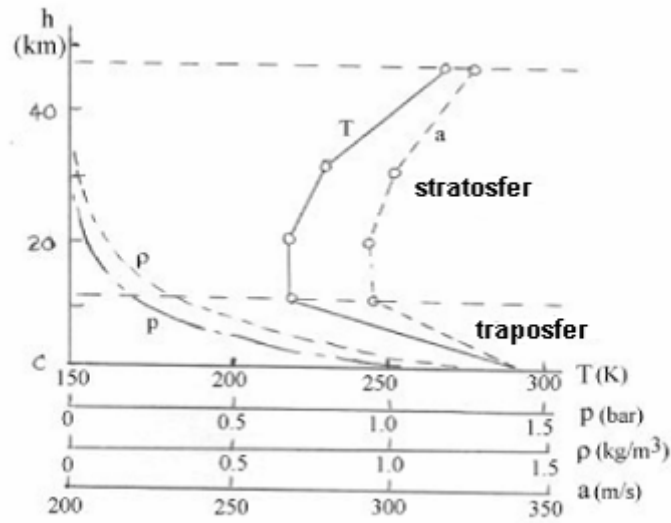
Bu denklem aynı zamanda ideal gaz kanunu veya mükemmel gaz denklemi olarak da bilinir.

Ses hızı: $a = (\gamma RT)^{1/2}$

γ özgül ısı oranıdır. ($c_p/c_v = 1.4$ hava için). Bu bize ses hızının artan sıcaklık ile karekök mertebesinde arttığını göstermektedir.

2.1.5. Enternasyonal Standart Atmosfer (ESA)

Atmosferik koşullar, örneğin sıcaklık, basınç ve öz kütle lokasyon, saat, sezon vb. şartlardan etkilenir. Aerodinamik performans gerçek atmosfer koşullarından çok etkilendiğinden enternasyonal olarak kabul görecek standart şartlar oluşturulmalıdır. Bu değerler Batı Avrupa'nın günlük iklimsel değerleri ile eşleşmektedir. Bu atmosferik özellikler, (ESA) değişik atışlarda ve uçaklarda kullanılarak anlamlı yaklaşımlar elde edilebilmektedir.



Şekil 2.1.5. Ayrıntılı Düşük ESA

2.1.5.1 Deniz Seviyesi ESA Değerleri

Deniz seviyesi ESA değerleri aşağıda verilmiştir:

Sıcaklık $15^{\circ}\text{C} = 288.15\text{ K}$

Basınç $1\text{ atm} = 1.01325\text{ bar}$

Ses hızı 340.29 m/s

Yerçekimi ivmesi 9.80665 m/s^2

Öz kütle 1.225 kg/m^3

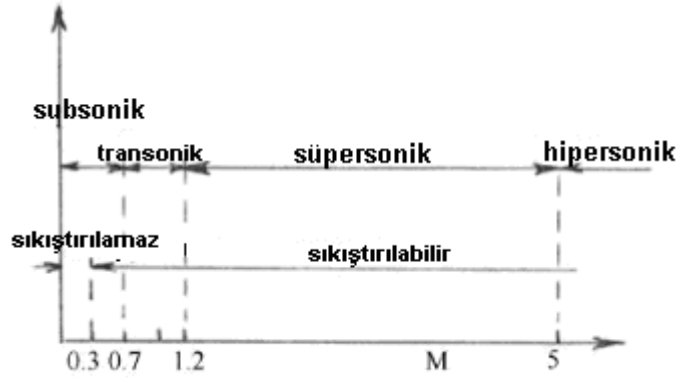
Dinamik viskozite = 1.789×10^{-5} kg/ms

Kinematik viskozite = 1.461×10^{-5} m²/s

Bu değerler genellikle alt indis "o" şeklinde verilerek deniz seviyesi özellikleri kastedilir. (ör: $T_o = 288.15$ K)

2.1.6. Mach Sayısı

Hava akışının davranışı uçuşlarda Mach sayısına bağlı olarak değişir. Bu oran basitçe uçak (cisim) hızının (v) ses hızına (a) oranı olarak ifade edilir. Uçuş rejimleri şekil 2.5.7.1. de verilmiştir.



Şekil 2.1.6. Mach sayısına göre atış kıyaslanması

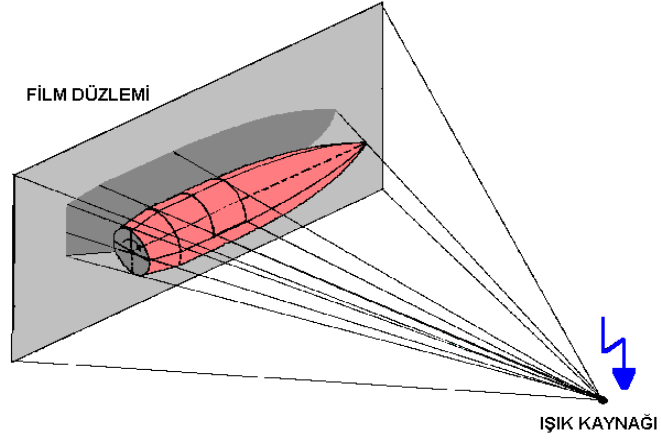
Sıkıştırılmaz ve sıkıştırılabilir rejimler arasındaki ana fark hava öz kütlesinin uçuş hızı ile bağlantılı olarak değişkenlik göstermesidir. $M < 0.3$ den küçük olması durumunda hava öz kütlesi sabitmiş gibi davranmakta, ama diğer koşullar için ($M > 0.3$) bu olay geçerliliğini yitirmektedir. Bu da akışkan akış denklemlerine hâkim olmayı zorlaştırmaktadır. Subsonik (ses altı) ve süpersonik (ses üstü) arasındaki fark oldukça açıktır. Subsonik akışta Mach 1 in altında, süpersonik akış Mach 1 in üzerindedir. Olay şu sebepten ötürü karmaşıktır: Belli ölçüdeki bir cisim için yerel uçuş hızlarında akış arttıkça ve

azaldıkça bir fark oluşur. Diyelim ki Mach 0.9 olsun. Bazı yerel akışta Mach 1 in altında, bazısında Mach 1 in üzerindedir. Bu duruma transonik durum adı verilir ve subsonik veya süpersonik bir durum olduğu zaman analiz etmek ve simüle etmek zorlaşır. Trasonik kategoriye çevreleyen Mach numaraları cismin gerçek şekline bağlıdır ama 0.8 ile 1.2 arasındadır demek yanlış değildir.

Mach sayısı 5 den yukarı çıktığı zaman, başka konular ortaya çıkar, örneğin iyonlaşma ve parçalanma gibi. Bu olaya hipersonik olay denir ve konusu bu araştırmanın kapsamı dışındadır.

2.2. Mermi Uçuşunun İncelenmesi

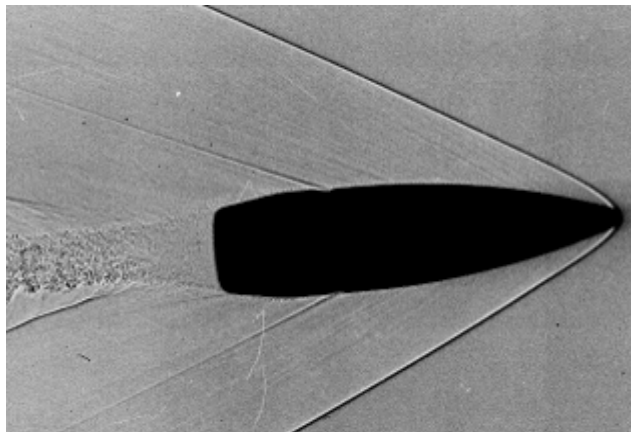
Mermi uçuşu boyunca tüm aerodinamik kuvvetlerin etkisi altında hava akışı ile birlikte kalır. Bu konunun daha iyi anlaşılabilmesi foto-grafik deneysel teknikler ile anlaşılır. Bu teknik hareket eden merminin hava akışkanı içerisindeki görselliğini gölge yöntemi ile açıkça gösterir. Bu teknikte kısa süreli bir noktadan anlık çıkan ışık vasıtası ile alınır. Bu yöntem aşağıdaki şekilde gösterildiği gibi foto-grafik lens yardımı ile yapılır. Mermi gölgesinin görüntüsü foto-grafik düzlemin önünden ve çok yakınından geçen merminin fotoğrafının alınması ile görselleştirilir. Burada basınç farklılıkları akış çizgileri şeklinde çok net olarak gözükür.



Şekil 2.2.a. Foto-grafik Deneysel Tekniği

Merminin film düzlemine olan mesafesi	Birkaç cm
Işık kaynağının film düzlemine olan mesafesi	2 - 3 metre
Işık süresi	1 μ s veya daha az
Film	100 ASA

Şekil 2.2.b. de foto-grafik teknikle 0.308 Winchester (7.62 x 51 NATO fişegi) mermisinin yaklaşık 850 m/s deki çekilmiş görüntüsü verilmiştir.

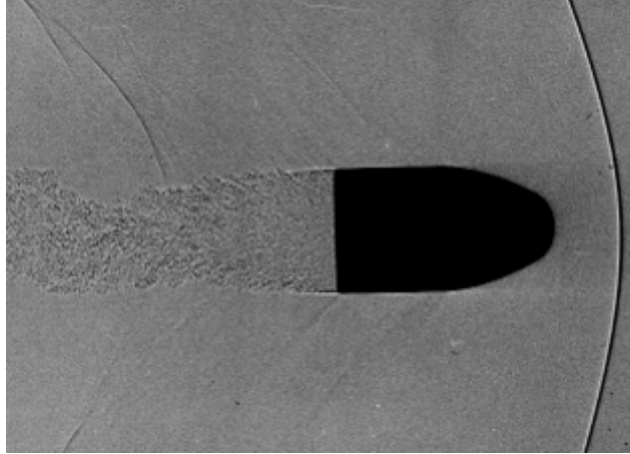


Şekil 2.2.b. 0.308 Winchester (7.62 x 51 NATO fişegi)

Şekilde üç farklı şok dalgası çizgisi görülmektedir. İlki ve en önemlisi merminin önündeki ses dalgasıdır. Buna Mach konisi denir. İkinci şok dalgası mermi kanalı üzerinde görünmektedir. Üçüncü şok dalgası ise merminin arkasındadır. Şeklin arka tarafında yüksek oranda türbülanslı akış açıkça görünmektedir. Bu bölgeye **wake** denir.

Akış tipine göre mermi yüzeyinde laminer akış çizgileri arka bölgeye doğrudur ve bunlar paralel çizgilerdir. Türbülanslı akış gösteren arka bölgede ise girdaplar oluşmaktadır.

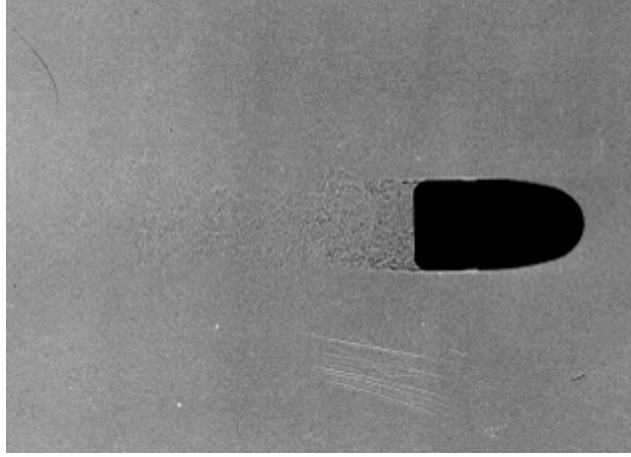
Şekil 2.2.c. de ise 9 mm tabanca mermisinin ses hızından biraz daha fazla olduğu durumdaki görüntüsü verilmiştir.



Şekil 2.2.c. 9 mm Luger FMJ Mermisi

Bu mermide de yine mach konisi mevcuttur. Ancak mermi ucundan önde ve geniş açılı bir koni görünmektedir. Wake gözükmekle beraber laminer akış çizgileri sınırdadır görünmektedir ve merminin tüm yüzeyini sarmıştır.

Şekil 2.2.d. de ise 0.32 tabanca mermisinin ses hızından daha düşük bir hızdaki durumu görünmektedir. Tüm şok dalgaları bu mermide de mevcuttur ve türbülanslı bölge mermi arkasındadır.



Şekil 2.2.d. .32 ACP Mermisi

2.2.1. Mermi Üzerine Etki Eden Kuvvet Ve Momentler

Foto-grafik yöntemle çekilen resimlerden akış çizgilerinin şekli ve akış durumunun laminar ve türbülanslı bölgelerinden oluştuğu görünmektedir. Akış çizgileri kısmen hıza ve en önemlisi mermi hareketi şekli ve keskinliğine bağlıdır. Bu durumlar uçuş esnasında mermi özellikleri için oldukça önemlidir. Standart atmosfer şartlarında 340 m/s olan ses hızının altındaki atışlarda akış çizgileri değişmektedir. Akış parametrelerine göre matematiksel denklemler çok iyi tanımlanmalıdır. Bu akış alan parametreleri Navier Stokes eşitlikleri ile hesaplanabilmektedir. Eşitliklerin elde edilebilmesi ve kullanılabilir matematiksel eşitliklerin elde edilmesi sorundur. Atmosfer şartlarında hareket eden merminin akış alan karakteristiği akış çizgileri ile belirlenir ve bu akış çizgileri ile mermi üzerine etki eden kuvvet ve momentleri ile ifade edilir. Genellikle bu kuvvet ve momentler deneysel olarak rüzgâr tünellerinde test edilerek elde edilebilir.

Genellikle atmosfer içerisinde hareket eden mermiye çeşitli kuvvetler etki etmektedir. Bunlardan biri kütle kuvveti ve merminin ağırlık merkezine etki

eder. Merminin ağırlık merkezi ise kütesine ve kütle dağılımına bağlı olarak değiştirir. Diğer kuvvet ise aerodinamik kuvvettir. Bu kuvvetler merminin şekline, yüzey pürüzlüğüne bağlı olan akış çizgilerinin bir neticesi olarak ortaya çıkar. Bazı aerodinamik kuvvetler sapma ya da dönme veya her ikisine bağlı olarak değişir. Çizelge 2.2.1.a. da merminin atmosferdeki hareketine etki eden kuvvetler gösterilmiştir.

Çizelge 2.2.1.a. Merminin Atmosferdeki Hareketine Etki Eden Kuvvetler

KUVVETLER	GEREKLİLİK		AÇIKLAMALAR
	Yanca Sapma	Dönme	
<u>Kütle Kuvvetleri</u>			
Yerçekimi	-	-	Yolun bükülmesini sağlar.
Coriolis kuvveti	-	-	Genellikle çok ufaktır.
Dünyanın dönmesi ile oluşan kuvvet	-	-	Ufaktır; genellikle yerçekimi etkisi ile birlikte hesap yapılır.
<u>Aerodinamik Kuvvetler</u>			
Sürüklenme (Frenleme)			En büyük aerodinamik etkidir.
Kaldırma (Çapraz-Rüzgâr Etkisi)	X	-	Yansal kaymaya neden olur.
Magnus	X	X	Denge için çok önemlidir.
Eksenel dönme	X	X	Çok ufaktır, denge için önemlidir.
Ters Magnus	X	X	Genellikle çok ufaktır.

Çizelge 2.2.1.b. Farklı Mach Sayılarında Kuvvet Karşılaştırılması

Kuvvet	Ma = 2.5	Ma = 0.6
Coriolis F_C/F_G	0.013	0.003
Merkezi F_Z/F_G	0.003	0.003
Sürüklenme F_D/F_G	70.2	1.7
Kaldırma F_L/F_G ($\alpha=1^\circ$)	9.4	0.4

2.2.1.1. Kütle Kuvvetleri

Atmosfer içerisinde hareket eden mermi kütlesi üzerindeki akış çizgileri merminin şekli ve yüzey pürüzlülüğü kütle kuvvetlerinde etkili olan en önemli değişkenlerdir.

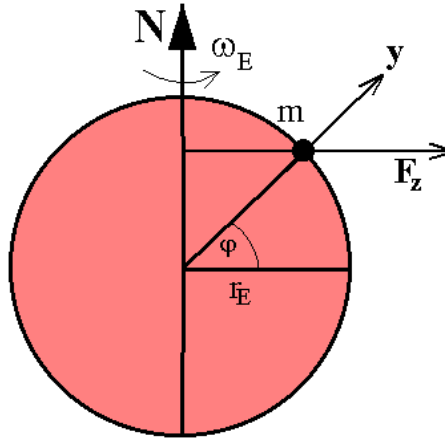
En basit, yer çekimi etkisini hesaba katan balistik model 1590 yılında Galileo GALİLEİ tarafından keşfedilmiştir.

$$\mathbf{F}_G = -m \cdot \mathbf{g}(\varphi, y) \cdot \mathbf{e}_j \quad (1)$$

Dünyadaki mermilerin hareketlerini çalışmak istersek dönmelerini de hesaba katmamız gerekir. Her ne kadar Newton'un hareketle ilgili olan denklemleri dairesel referans sistemlerde geçerli olsa da buna rağmen Newton'un hareketle olan denklemlerine iki ayrı kuvveti ayırarak kullanabiliriz; Bunlar merkezkaç kuvveti ve Coriolis kuvvetidir.

2.2.1.2. Merkezkaç Kuvveti

Aşağıdaki şekil dünyanın bir kesitidir (doğu-batı istikametindeki). Y – ekseni dünya merkezine (yerçekimine) dik olmak üzere xyz referans düzlemlerine etki eden merkezkaç kuvvet aşağıdaki şekilde gösterilmiştir.



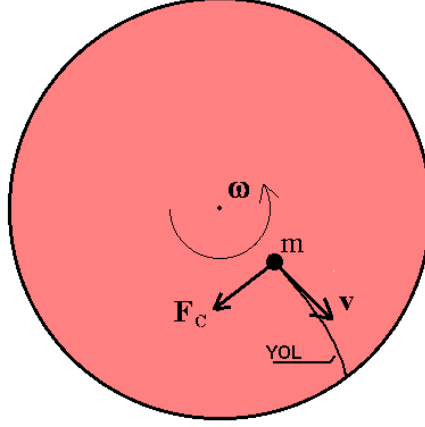
Şekil 2.2.1.2. Merkezkaç kuvveti

Merkezkaç kuvvetinin y bileşeni, yerçekimi kuvvetinin bir düzeltmesi olarak tabir edilir. Diğer etkenler ise çok küçük olduklarından dolayı ihmal edilir.

$$\mathbf{F}_Z = m \cdot \omega_E^2 \cdot r_E \begin{pmatrix} -\sin \varphi \cdot \cos \alpha \\ \cos \varphi \\ \sin \varphi \cdot \sin \alpha \end{pmatrix} \quad (2)$$

2.2.1.3. Coriolis Kuvveti

Coriolis etkisi aşağıdaki deneyle açıklanabilir: Dönemeyen bir disk düşünelim. Diskin ortasından v sabit hızı ile düz bir çizgide gittiğini düşünelim. Kütlenin hareketini hiçbir kuvvet etkilemeyecektir.



Şekil 2.2.1.3. Coriolis Kuvveti

Şimdi diskin sabit açısal bir hızla (ω) döndüğünü varsayalım (yukarıdaki şekilde görüldüğü üzere). Halâ herhangi bir dışsal etken kütleyle etkilememektedir. Dönen diskin üzerindeki bir gözlemci (dönen diskten haberi olmamakta) uçan cismi dönen bir patikada gittiğini görür. Böylece gözlemci kütlelinin bir kuvvet tarafından etkilendiğini düşünür. İşte bu uçuşa etki eden dik kuvvet Coriolis kuvvetidir (F_C)

$$F_C = 2m(\mathbf{v} \times \boldsymbol{\omega})$$

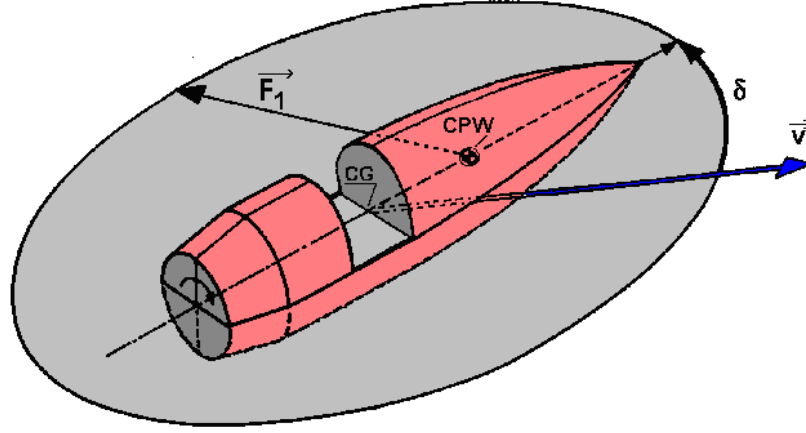
$$\boldsymbol{\omega} = \omega_E \begin{pmatrix} \cos \varphi \cdot \cos \alpha \\ \sin \varphi \\ -\cos \varphi \cdot \sin \alpha \end{pmatrix} \quad (3)$$

2.2.1.4 Aerodinamik Kuvvetler (Rüzgâr Kuvveti Ve Dönme Momenti)

Atmosfer içerisinde hareket eden merminin akış çizgileri, merminin şekli ve yüzey pürüzlülüğü, yanca sapması ve eksen el dönme hareketleri bu aerodinamik kuvvetlerin değişkenleridir.

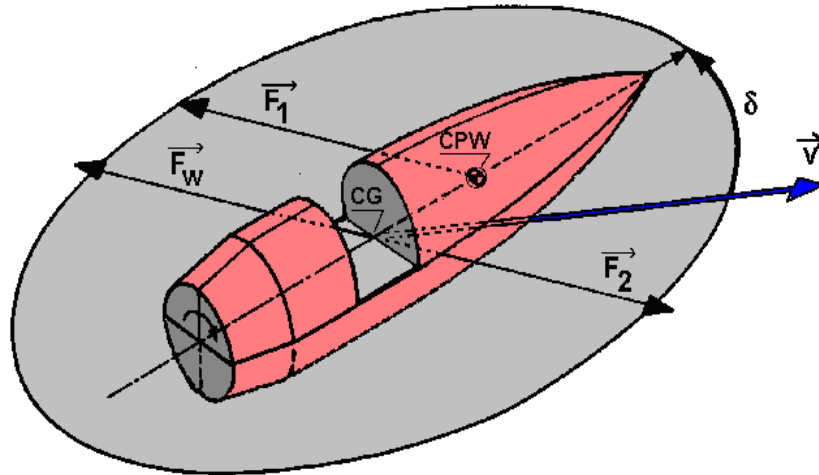
Bir mermide yanca sapma açısı δ olan en genel durumu inceleyelim. Böyle bir merminin yüzeyindeki basınç farkından oluşan kuvvete rüzgâr kuvveti

denir. Rüzgâr kuvveti merminin basınç merkezinde oluşur. Dönme dengeli mermilerde basınç merkezi ağırlık merkezinin önündedir.



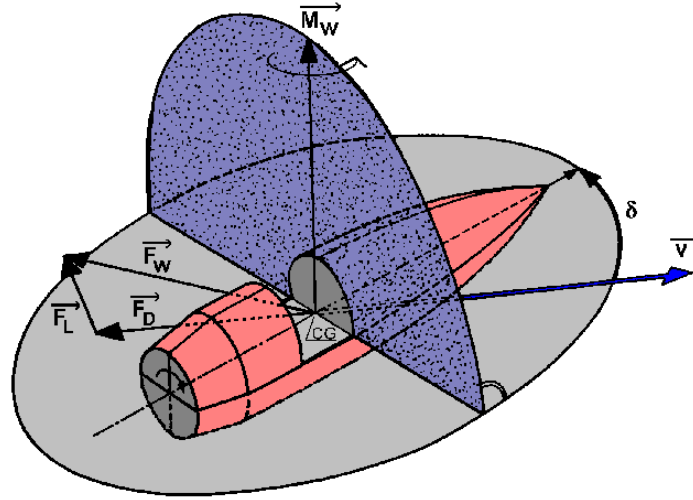
Şekil 2.2.1.4.a. Aerodinamik kuvvetler

Bir başka şekilde gösterildiği üzere rüzgâr kuvvetine iki ayrı kuvvete ayırmak mümkündür. Bu iki kuvvete sırası ile F_1 ve F_2 diyelim. Bu iki kuvvetten rüzgâr kuvvetinin aerodinamik momenti oluşacaktır. Buna kısaca dönme momenti, MW denir. Dönme momenti ağırlık merkezinden geçmekte ve mermiyi döndürmeye çalışmaktadır.



Şekil 2.2.1.4.b. Rüzgar kuvveti

Yukarıdaki şekillerde gösterilen F_1 ve F_2 vektör çifti rüzgâr kuvvetinden dolayı oluşan aerodinamik moment M_w olarak nitelendirilebilir. Aerodinamik moment merminin ağırlık merkezine dik, mermi eksenini etrafında mermiyi döndürmeye çalışır. Bu durum aşağıdaki şekilde gösterilmiştir.



Şekil 2.2.1.4.c. Aerodinamik moment

Özetle basınç merkezine etki eden rüzgâr kuvvetleri aynı büyüklükte ve zıt istikamette merminin ağırlık merkezine etki ettirilebilir. Bu kuvvetler merminin ağırlık merkezinden yükseliş istikametindeki dönme eksenini etrafında döndürmeye çalışır.

2.2.1.5. Sürüklenme Kuvveti

Bir adım daha ileri gidersek ağırlık merkez kuvvetine ayırırsak dik olan kuvvete sürüklenme kuvveti F_D denir.

$$\mathbf{F}_D = -\frac{\rho(p, T, h)}{2} \cdot A \cdot c_D(B, Ma, Re, \delta) \cdot v_w^2 \cdot \mathbf{e}_t \quad (4)$$

Çok önemli bir parametre olan sürüklenme katsayısı (C_D); mermi geometrisine, Mach sayısına, Reynolds sayısına ve yanca sapma açısına bağlı olarak değişmektedir.

2.2.1.6. Kaldırma Kuvveti

Diğer bir kuvvet kaldırma kuvvetidir. F_L kaldırma kuvveti aynı zamanda çapraz rüzgâr kuvveti olarak da bilinmektedir. Mermilerde istenmeyen bu kuvvet, yanca sapma açısına bağlı olarak değişkenlik gösterir.

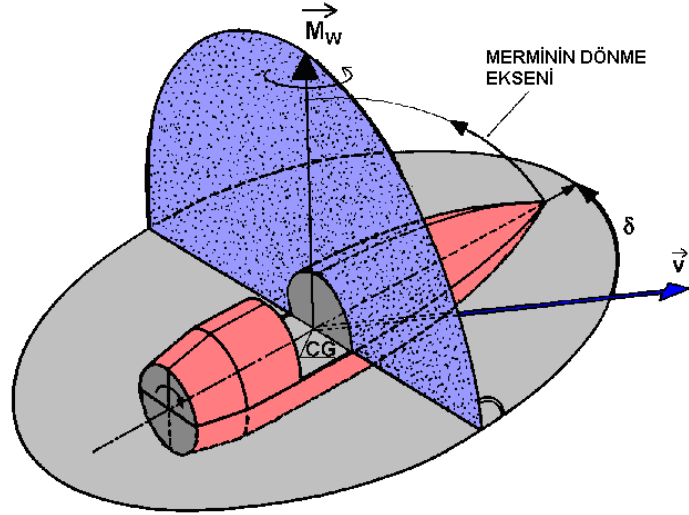
$$\mathbf{F}_L = \frac{\rho(p, T, h)}{2} \cdot A \cdot c_L(B, Ma, Re, \delta) \cdot v_w^2 \cdot \mathbf{e}_L$$

$$\mathbf{e}_L = \frac{1}{\sin \delta} (\mathbf{e}_t \times (\mathbf{e}_c \times \mathbf{e}_t)) \quad (5)$$

Yanca sapma açısının olmadığı durumlarda, rüzgâr kuvveti sadece sürüklenme kuvvetinden oluşacaktır. Dönme momenti yanca sapma açısını artıracak böylece mermi dengesizleşmeye başlayacaktır.

2.2.1.7. Gyroskopik Etki

Aerodinamik momentler merminin yanca sapmasını artırır, bu durum merminin yunuslama hareketine ve kararsız duruma geçmesine neden olur. Bu durum dönüsüz mühimmatlarda çok net olarak gözükür. Mermi kararlılığını arttırmak için mermiye dönü hareket verilir. Mermi kendi eksenini etrafında belli bir hızla dönerken bir kararlılık gösterir, bu kararlılık genel fizik kurallarından gyroskopik etki olarak nitelendirilir. Aşağıdaki şekilde mermi kendi eksenini etrafında dönerken oluşturduğu gyroskopik moment görülmektedir.



Şekil 2.2.1.7. Gyroskopik moment

Gyroskopik etkiden dolayı mermi eksenine simetrik koni şeklinde bir yüzey oluşur. Hız vektörü bu koni içerisinde salınım hareketi ile yer değiştirir. Mermi hareketinin kararlılığı gyroskopik salınım hareketi ile kararlı hale getirilmesi daha kolaydır.

Aerodinamik dönme momenti ağırlık merkezine dik ve sürüklenme düzleminde mermiyi döndürmeye çalışır. Yukarıdaki şekilde gösterilen bu yatay kuvvetler merminin yanca sapmasını artırarak yunuslama hareketi yapmasına neden olur. Mermi yeterli dönüye sahipse gyroskopik etki devreye girecek ve merminin kararlı bir şekilde salınım yaparak uçmasına sebep olacaktır.

$$\mathbf{M}_w = \frac{\rho(p, T, h)}{2} \cdot A \cdot c_M(B, Ma, Re, \delta) \cdot v_w^2 \cdot d \cdot \mathbf{e}_w$$

$$\mathbf{e}_w = \frac{1}{\sin \delta} (\mathbf{e}_t \times \mathbf{e}_c)$$
(6)

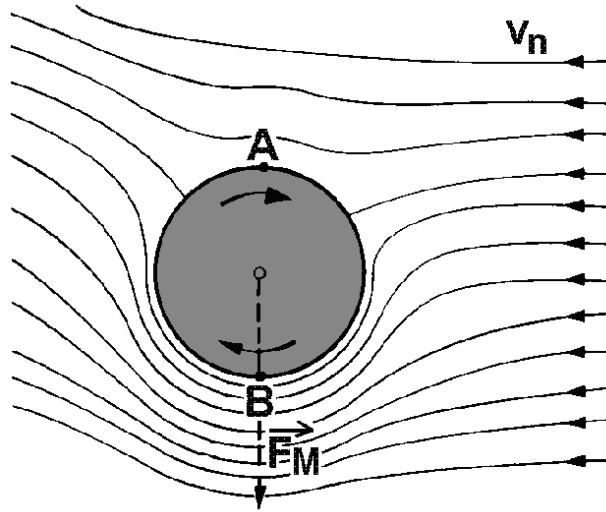
2.1.1.8. Dönme Direnç Momenti

Yüzey pürüzlülüğünden dolayı, mermi yüzeyindeki sürtünme dönme hareketini azaltacak yönde etkileyecektir. Ama bu etki ihmal edilebilecek kadar azdır.

$$\mathbf{M}_s = -\frac{\rho}{2} \cdot A \cdot c_{sp\dot{r}t}(B, Ma, Re) \cdot v_w^2 \cdot d \cdot \frac{\omega \cdot d}{v_w} \cdot \mathbf{e}_c \quad (7)$$

2.1.1.9. Magnus Kuvveti Ve Magnus Momenti

Genel olarak aerodinamik kuvvetler arasında rüzgâr kuvveti en önemli kuvvettir. Birçok diğer küçük kuvvetler olmasına rağmen mermi dengesi için sadece Magnus kuvveti hesaba katılır.



Şekil 2.2.1.9.a. Magnus kuvveti ve Magnus momentini

Şekilde görüldüğü üzere bir mermiye arkadan bakmaktayız. Merminin sağa doğru döndüğünü ve δ kadar bir açısı olduğu düşünelim. Akış alanı da merminin simetrisine dik yönde olsun. Mermi döndüğü için atış alanı asimetrik olacaktır hava molekülleri merminin yüzeyine yaklaşacak ve b

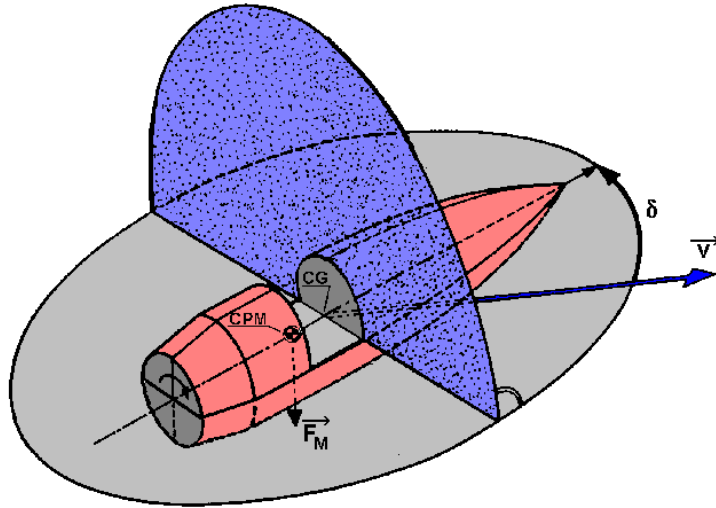
noktasında yüksek akış çizgilerinde hızlı olacak A noktasında da düşük olacaktır. Yüksek hız düşük basınca düşük hızda yüksek basınca Bernoulli kuralına göre tekabül edecektir. Aşağı doğru olan bu basınç farkı da Magnus kuvveti olacaktır F_M .

$$\mathbf{F}_M = \frac{\rho(p, T, h)}{2} \cdot A \cdot c_{Mag} \left(B, Ma, Re, \frac{\omega \cdot d}{v_w}, \delta \right) \cdot \frac{\omega \cdot d}{v_w} \cdot v_w^2 \cdot \mathbf{e}_M$$

$$\mathbf{e}_M = \frac{1}{\sin \delta} (\mathbf{e}_c \times \mathbf{e}_t) \quad (8)$$

Magnus kuvvete basınç merkezinde oluşacak ve şiddeti rüzgâr kuvvetinden daha küçük olacaktır. Bu olay mermi dengesi için çok önemlidir. Magnus kuvveti Magnus momentini oluşturacaktır. Bu moment şekilde gösterildiği gibi simetri eksenine dik olarak mermiyi çevirmeye çalışacaktır.

Şekilde gösterildiği üzere Magnus kuvveti yanca sapma açısını düşüreceğinden dengeye olumlu etki yapacaktır.

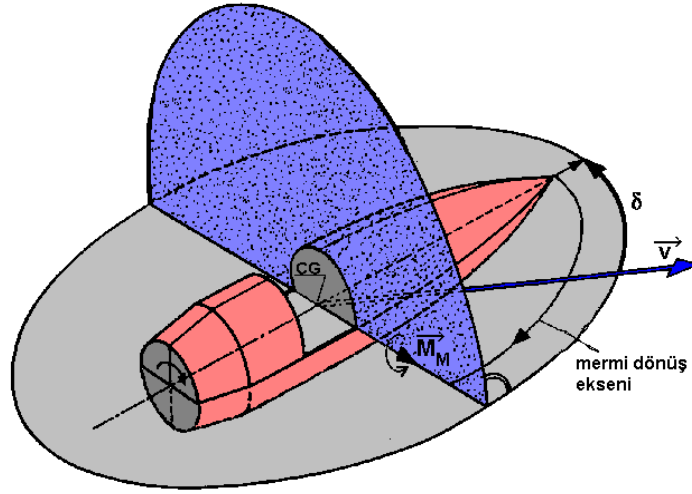


Şekil 2.2.1.9.b. Magnus kuvveti

Eğer basınç merkezi ağırlık merkezinin önünde olursa bu etkiler tersine dönecek mermi dengesizleşecektir.

$$\mathbf{M}_M = \frac{\rho(p, T, h)}{2} \cdot A \cdot c_{Mp} \left(B, Ma, Re, \frac{\omega d}{v_w}, \delta \right) \cdot \frac{\omega d}{v_w} \cdot d \cdot v_w^2 \cdot \mathbf{e}_{MM}$$

$$\mathbf{e}_{MM} = \frac{1}{\sin \delta} (\mathbf{e}_c \times (\mathbf{e}_c \times \mathbf{e}_t))$$
(9)



Şekil 2.2.1.9.c. Magnus kuvveti

Yukarıdaki şekilde Magnus momentinin ağırlık merkezine indirgenmiş etkisi görülmektedir. Magnus momentinin etkilediği basınç merkezi ağırlık merkezinin arka tarafında ise, Magnus momenti merminin yanca sapma açısını arttıracığından uçuş esnasında kararsızlığa neden olacaktır. Diğer taraftan basınç merkezi ağırlık merkezinin önünde olduğu durumlarda ise moment ters yönde olacağından bu defa Magnus momenti yanca sapma açısını azaltacak ve kararlı uçuşa katkıda bulunacaktır.

2.2.2. Denge

Atmosfer içerisinde hareket eden merminin, istenilen şekilde hedefine ulaşması için arzu edilen bir kararlılıkta uçuşması istenir. Bu kararlılık durumunu; statik, dinamik ve yörünge uyumluluğu olarak üç ana grupta inceleyebiliriz.

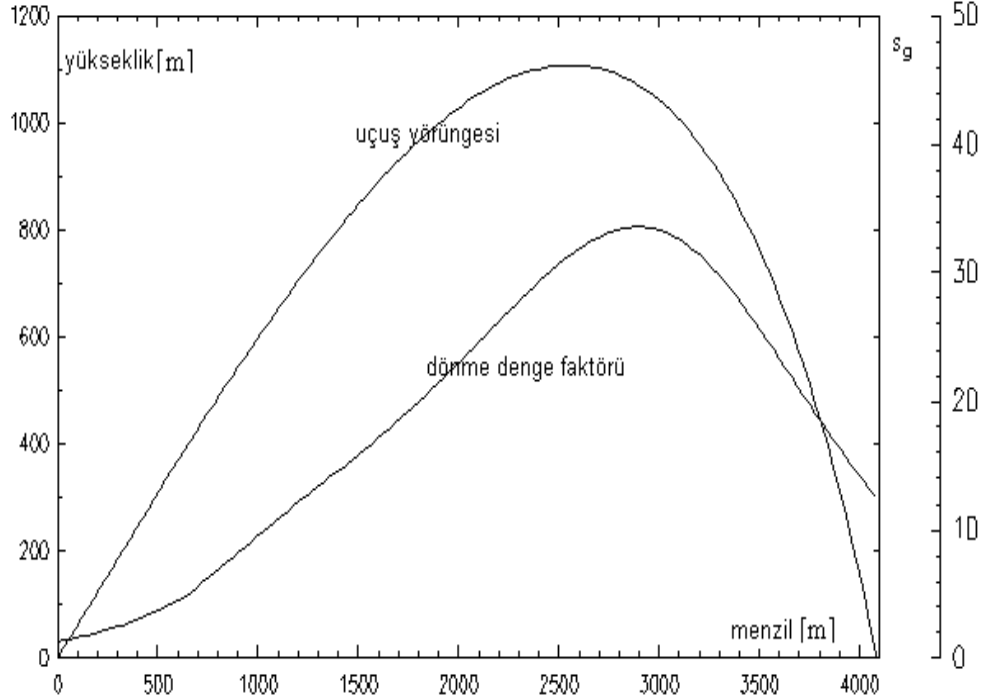
2.2.2.1. Statik Denge

Gyroskopik etki mermi üzerinde etkili olduğu zaman statik denge söz konusudur. Çünkü mermi dönme momenti yönünde burundan rüzgâr kuvvetine alacaktır. Eğer mermi statik olarak sabit değilse dönme momenti mermiye yunuslama hareketi yapmasını sağlayacaktır. Bir merminin statik olarak dengede olması için yeterli miktarda dönmesi gerekmektedir. Statik dengesini sağlayamayan mermiler hedefe istenilen şartlarda ulaşmaz. Bu tür atış yapan silahların kullanılması uygun değildir. Atış esnasında mermi namluyu terk ettiğinde istenilen dönüşü almasına rağmen bazı durumlarda mermi statik olarak kararsız olabilir. Statik kararlılığa Gyroskopik kararlılık da diyebiliriz ve aşağıdaki eşitsizliği sağlaması durumunda mermi kararlı uçuş yapacaktır.

$$s_g = \left(\frac{I_x}{I_y} \right) \cdot \left(\frac{\omega \cdot d}{v_w} \right)^2 \cdot \left(\frac{2 \cdot I_x}{\rho \cdot \pi \cdot d^5 \cdot c_{M\alpha}} \right) > 1 \quad (10)$$

Bu duruma örnek olarak, 7.62 x 51 Nato fişeginin 32° lik atış açısı ile fırlatılmasından sonraki statik kararlılık durumunu aşağıdaki şekilde gösterebiliriz. Merminin namluyu terk ettiği andaki statik kararlılık faktörü 1.35

olarak hesaplanmıştır. Bu değer ile merminin uçuşu esnasında statik kararlılığını koruyacağını görmekteyiz.



Şekil 2.2.2.1. 7.62 x 51 Nato Fişeginin 32° lik atış açısı ile fırlatılmasından sonraki statik kararlılık durumu

2.2.2.2. Dinamik Denge

Atmosfer içerisinde hareket eden mermi yanca sapmasını artırıyor ise mermide dinamik kararsızlık vardır. Namluyu terk eden mermi özellikle hafif silahlarda kararlılık göstermez ancak uçuşu esnasında kararlı duruma geçer. Dinamik denge şartı için iki yöntem söz konusudur. Bunlardan birisi aşağıda gösterildiği gibi statik denge şartına bağlıdır.

$$s_g > \frac{1}{4 \cdot s_d \cdot (1 - s_d)}$$

$$s_d = \left(\frac{c_{L\alpha} - \frac{m \cdot d^2}{I_x} \cdot c_{M_{p\alpha}}}{c_{L\alpha} - c_D + \frac{m \cdot d^2}{I_y} \cdot (c_{mq} + c_{m\dot{\alpha}})} \right) \quad (11)$$

Mermi belirli bir yanca sapma açısıyla namludan çıktıktan sonra zaman içerisinde yanca sapma açısı düşüyorsa dinamik denge söz konusudur bir başka deyişle yanca sapma açısı zaman içerisinde artıyorsa dinamik denge söz konusu değildir.

Diğer bir yöntem ise; denge üçgenidir. Aşağıdaki şekilde bu durum görülmektedir.



Şekil 2.2.2.2. Denge Üçgeni

Denge üçgenine göre denge şartı ise aşağıdaki gibidir:

$$\sigma > |2s_d - 1|$$

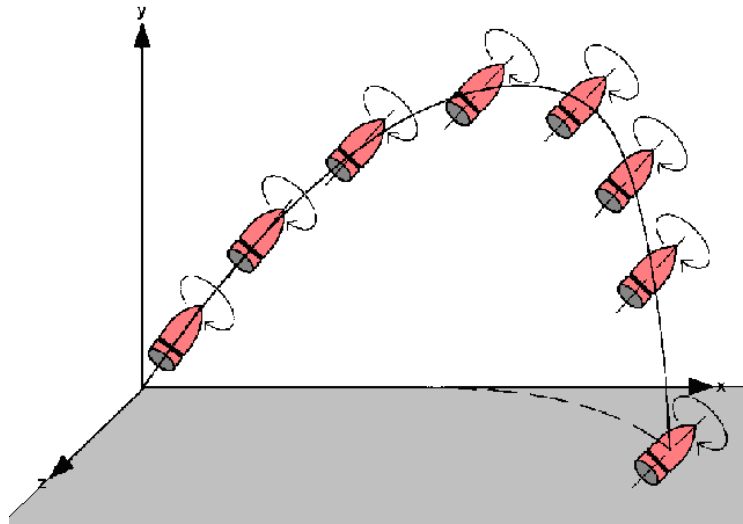
$$\sigma = \sqrt{1 - \frac{1}{s_g}} \quad (12)$$

2.2.2.3. Yörünge Uyumluluğu

Bu denge şartında mermiye namluyu terk ederken öyle bir dönü hareketi verilmelidir ki hedefe burnu üzerine çarpmasını sağlanmalıdır. Çok yüksek dönü hızlarında mermi o kadar kararlı davranır ki tepe noktasından aşağıya doğru inerken burnu üzerine eğilemez ve bu durumda mermi hedefe istenilen şekilde çarpmamış olur. Bu durum aşağıdaki şekilde gösterilmiştir. Denge şartının sağlanması için ise aşağıdaki eşitlik gereklidir.

$$f > f_i$$

$$f = \frac{1}{|\delta_p|} = \left(\frac{I_x}{I_y} \right) \left(\frac{\omega \cdot v_w}{4 \cdot g \cdot \cos \Theta} \right) \left(\frac{1}{s_g} \right) \quad (13)$$



Şekil 2.2.2.3. Yörünge uyumluluğu

2.2.3. Cranz Yöntemi

Cranz mermi yolunu deneysel çalışmalarından elde ettiği grafiklerle ifade etmiştir. Bu yöntemde her defasında V_0 ilk hızına ait eğrinin çizilmesi ile yapılır. Cranz havasız ortama ait eşitsizliklere çeşitli düzeltme kat sayıları uygulayarak yapmıştır. Yapılan çalışmada mermi geometri faktörlerini hep 1 olarak kabul etmiştir.

$$\text{Direnç kat sayısı: } C = \frac{(2R)^2 \delta i 896}{1.206 G} \quad (14)$$

Y koordinat denklem:

$$y = x \operatorname{tg} \theta - \frac{x}{2C \beta V_0^2 \operatorname{Cos}^2 \theta} A_7 \quad \text{Veya} \quad y = x \operatorname{tg} \theta - \frac{x^2}{2V_0^2 \operatorname{Cos}^2 \theta} A_1 \quad (15)$$

$$\text{Uçuş zamanı: } t = \frac{1}{C \beta \operatorname{Cos} \theta} A_8 \quad \lambda = C \beta x \quad (16), (17)$$

$\beta, A_1, A_2, A_3, A_4, A_5, A_6, A_7, A_8, A_9$ değerleri tablodan alınır.

3. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA:

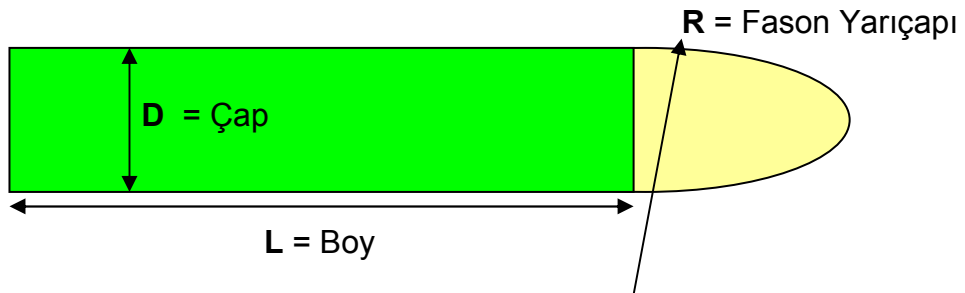
3.1 Mühimmat Şekil Geometrileri:

Alternatif mühimmat geometrileri tasarlanırken mühimmatın çapı **D** rumuzu ile, mühimmatın boyu **L** rumuzu ile, mühimmatın havayı yararak hedefe gitmesini sağlayan mermi oval kısmının yarıçapı (fason yarıçapı) **R** rumuzu ile gösterilmiştir.

Bu tezde, üç farklı çapta mermi için üç farklı boy değeri alınmış ve her boy için üç değişik fason çap değeri verilerek inceleme yapılmıştır. 155 mm. çaplı 9 adet mühimmat geometrisi, 175 mm. çaplı 9 adet mühimmat geometrisi ve 203 mm. çaplı 9 adet mühimmat geometrisi olmak üzere toplam 27 adet mühimmat geometrisi incelenmiştir.

Her mühimmat geometrisi **MG** rumuzu ile belirtilmiştir. (MG1, MG2,MG27)

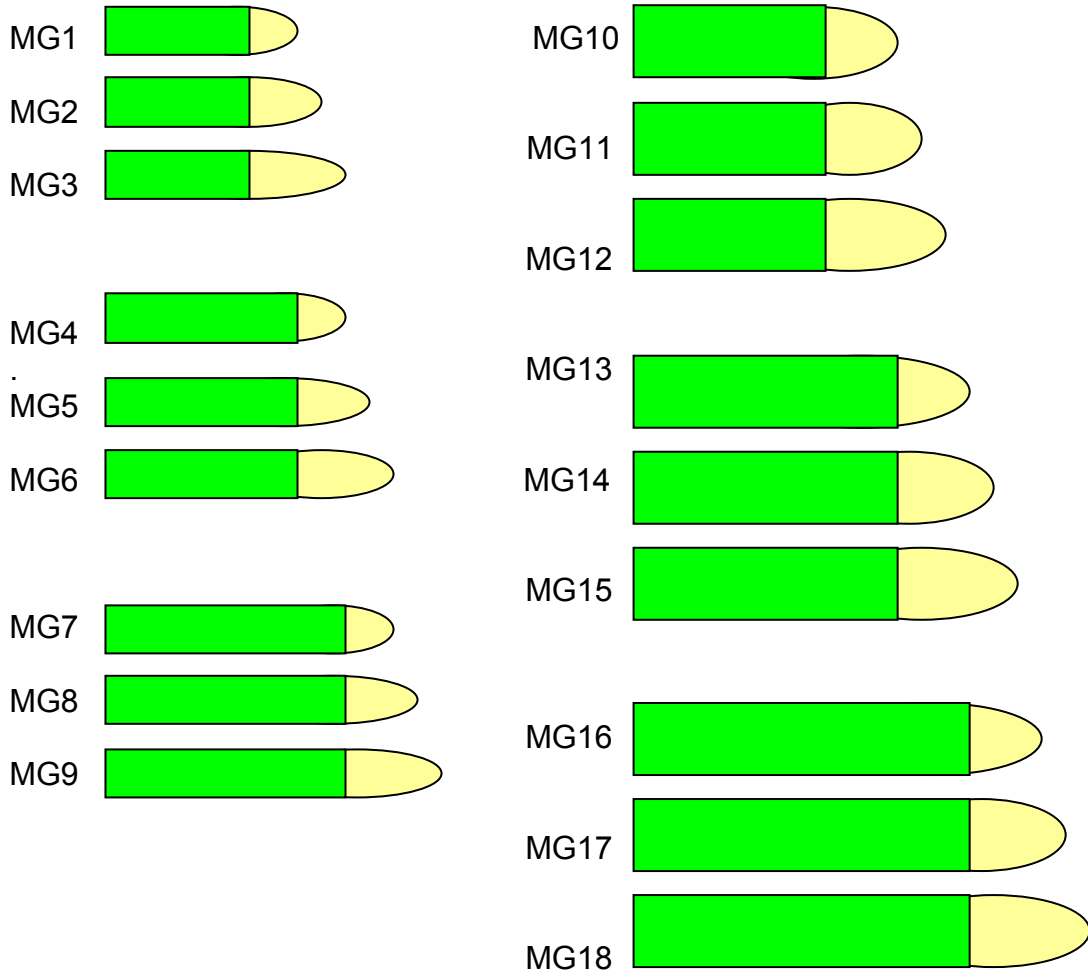
Mühimmat üzerindeki çap, boy ve fason yarıçap bağıntısını gösteren mühimmat resmi Şekil 3.1.a'da, incelenen mühimmat geometrilerine ait çap, boy ve fason yarıçap bağıntı değerleri çizelge 3.1.b de, çizelgedeki değerlere sahip mühimmat geometrileri ise Şekil 3.1.c. de gösterilmiştir.



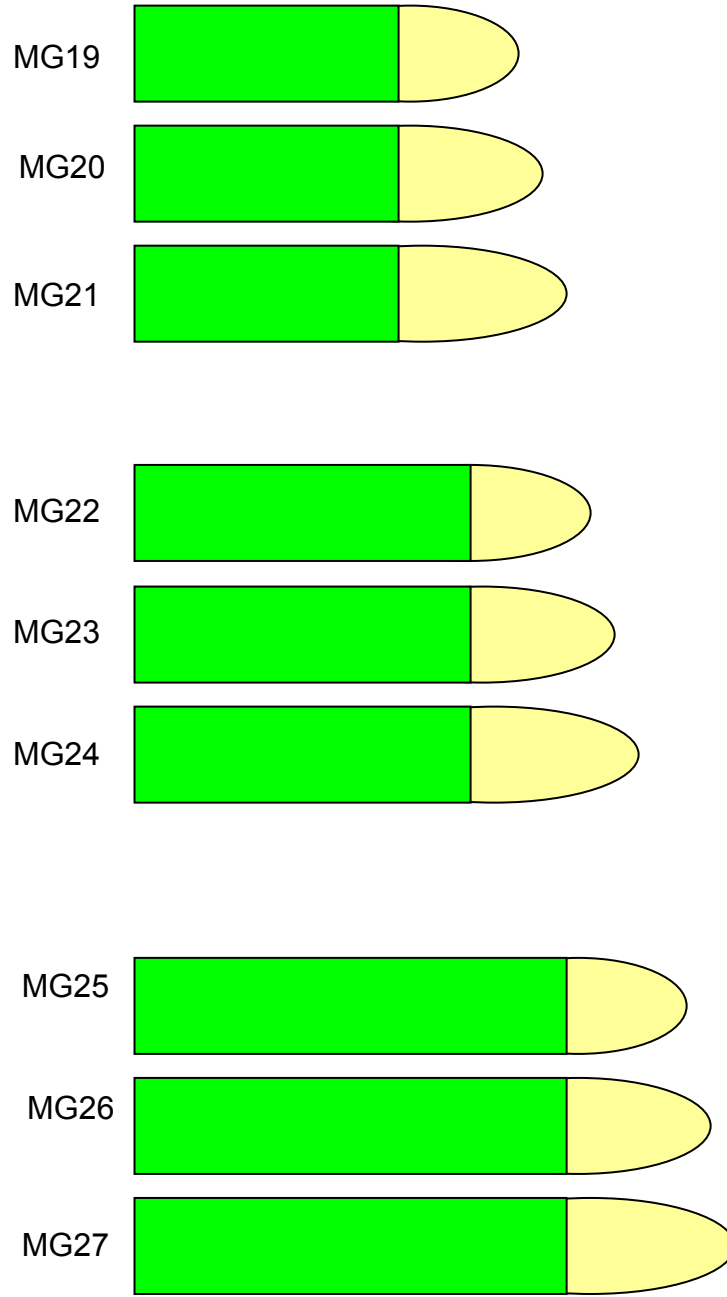
Şekil 3.1.a. Mühimmat geometrisinde çap, boy ve fason yarıçapı bağıntıları

Çizelge:3.1.b İncelenen mühimmata ait rumuzlar, çap, boy ve fason yarıçapı bağıntıları

SIRA NO	ÇAPI	GEOMETRİ RUMUZU	MÜHİMMATIN BOYU	FASON YARIÇAPI
1	155 MM	MG1	L=3D	R=3D
2	155 MM	MG2	L=3D	R=3,5D
3	155 MM	MG3	L=3D	R=4D
4	155 MM	MG4	L=4D	R=3D
5	155 MM	MG5	L=4D	R=3,5D
6	155 MM	MG6	L=4D	R=4D
7	155 MM	MG7	L=5D	R=3D
8	155 MM	MG8	L=5D	R=3,5D
9	155 MM	MG9	L=5D	R=4D
10	175 MM	MG1	L=3D	R=3D
11	175 MM	MG2	L=3D	R=3,5D
12	175 MM	MG3	L=3D	R=4D
13	175 MM	MG4	L=4D	R=3D
14	175 MM	MG5	L=4D	R=3,5D
15	175 MM	MG6	L=4D	R=4D
16	175 MM	MG7	L=5D	R=3D
17	175 MM	MG8	L=5D	R=3,5D
18	175 MM	MG9	L=5D	R=4D
19	203 MM	MG1	L=3D	R=3D
20	203 MM	MG2	L=3D	R=3,5D
21	203 MM	MG3	L=3D	R=4D
22	203 MM	MG4	L=4D	R=3D
23	203 MM	MG5	L=4D	R=3,5D
24	203 MM	MG6	L=4D	R=4D
25	203 MM	MG7	L=5D	R=3D
26	203 MM	MG8	L=5D	R=3,5D
27	203 MM	MG9	L=5D	R=4D



Şekil 3.1.c. İncelenen mühimmat geometrilerine ait şekiller



Şekil 3.1.c. Devam İncelenen mühimmat geometrilerine ait şekiller

Çizelge:3.1.d İncelenen klasik ve modern mühimmata ait bilgiler

KLASİK MÜHİMMATA AİT BİLGİLER:

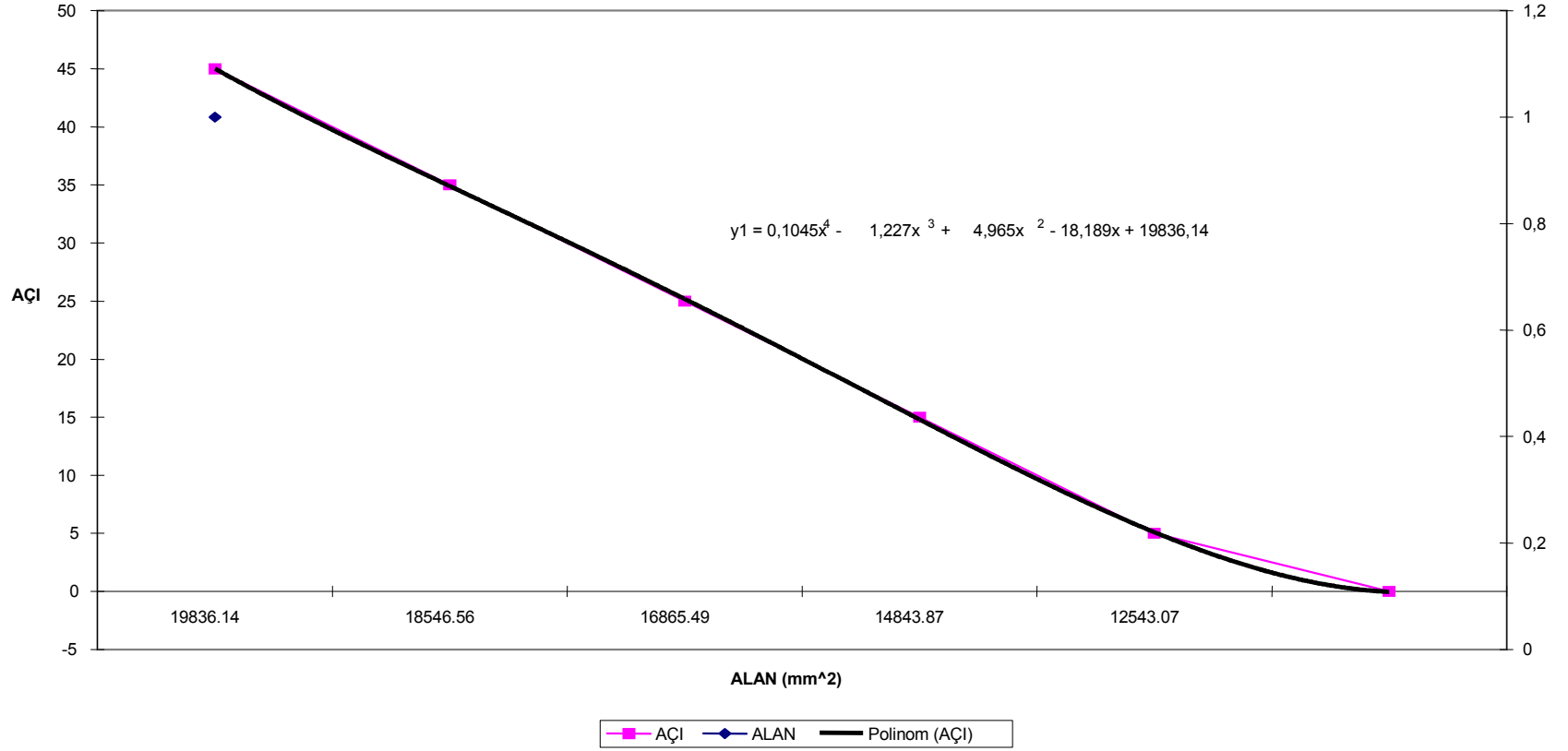
1	Mermi çapı (mm)	105	155	203
2	Mermi uzunluğu (mm)	489	700	891
3	Çap/uzunluk oranı	4,65	4,51	4,39
4	Mermi ağırlığı (kg)	19.3	43.9	90.1
5	Mermi ilk hızı (m/sn)	465	569	585
6	Mermi menzili (m)	11 269	14 585	14 631

MODERN MÜHİMMATA AİT BİLGİLER (Boyu Uzatılmış Mühimmat)

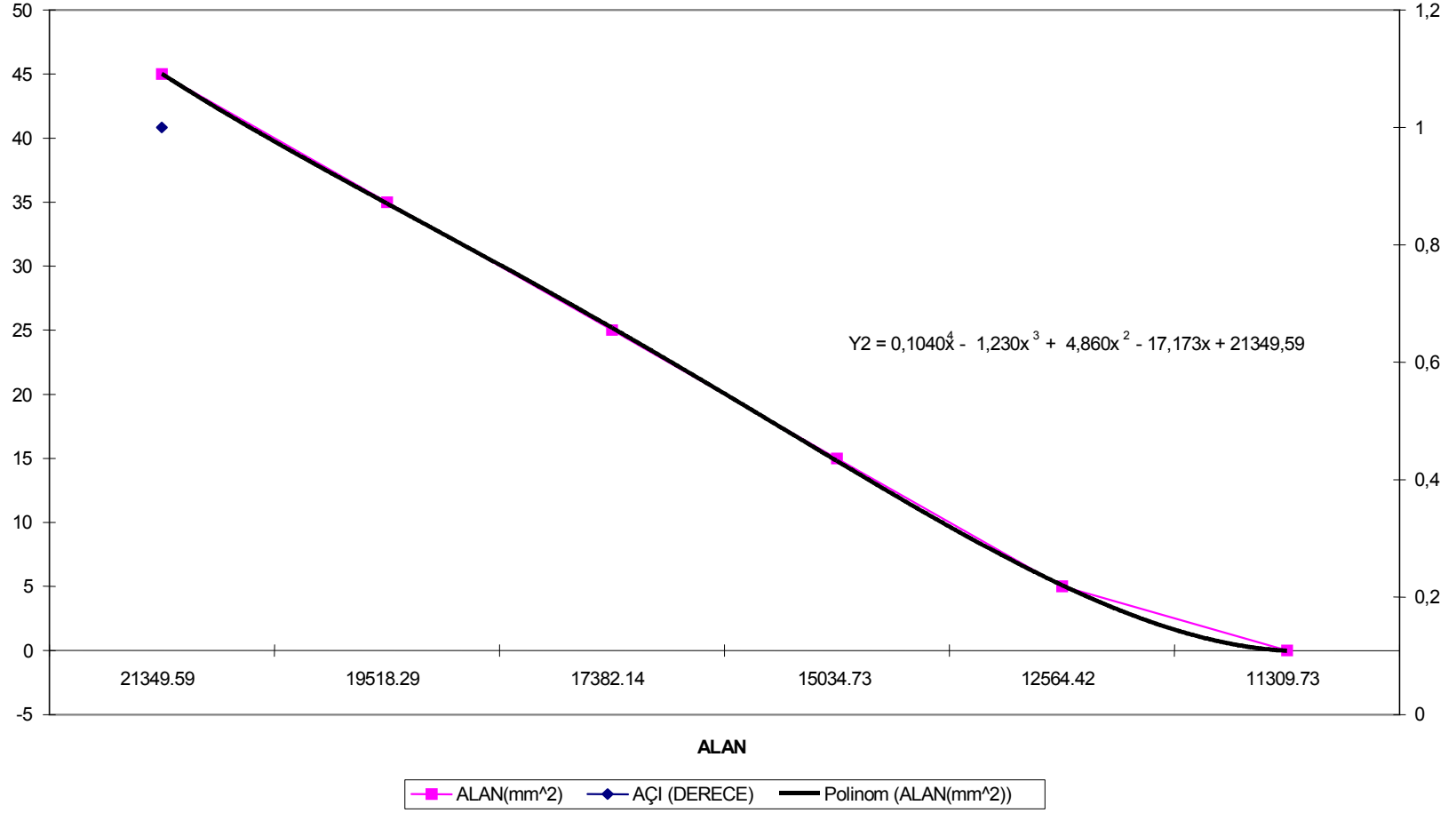
1	Mermi çapı (mm)	155	175	203
2	Modeli	Mod 113	Mod 111	M-650
3	Mermi uzunluğu (mm)	861 (tapasız)	871 (tapalı)	1350 (tapalı)
4	Çap/uzunluk oranı	5,55	4,98	6,65
5	Mermi ağırlığı (kg)	47,1	54,7	98,2
6	Mermi ilk hızı (m/sn)	596	952	667
7	Mermi menzili (m)	22 800	42 500	26 000

Çizelge 3.1.e. Mühimmat Geometrilerinin Alan Fonksiyonları

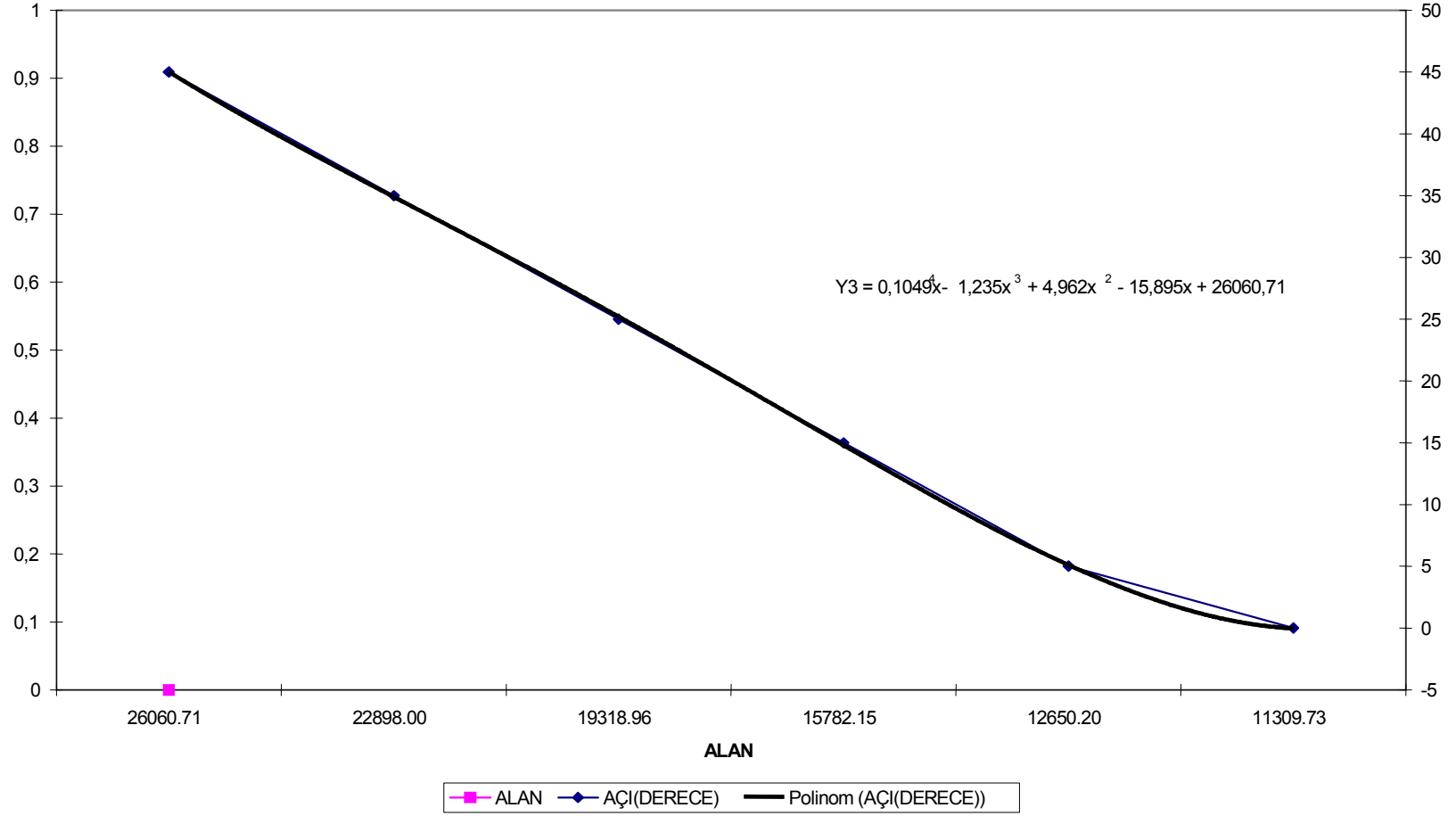
MG1,MG10,MG19	R=3D	L=3D	$Y_{1,10,19} = 0,1045x^4 - 1,227x^3 + 4,965x^2 - 18,189x + 19836,14$
MG2,MG11,MG20	R=3.5D		$Y_{2,11,20} = 0,1040x^4 - 1,230x^3 + 4,860x^2 - 17,173x + 21349,59$
MG3,MG12,MG21	R=4D		$Y_{3,12,21} = 0,1049x^4 - 1,235x^3 + 4,962x^2 - 15,895x + 26060,71$
MG4,MG13,MG22	R=3D	L=4D	$Y_{4,13,22} = 0,1141x^4 - 1,2267x^3 + 4,9651x^2 - 19,258x + 26440,76$
MG5,MG14,MG23	R=3.5D		$Y_{5,14,23} = 0,1148x^4 - 1,235x^3 + 4,8848x^2 - 18,090x + 29042,75$
MG6,MG15,MG24	R=4D		$Y_{6,15,24} = 0,1135x^4 - 1,3270x^3 + 4,976x^2 - 18,92x + 31151,85$
MG7,MG16,MG25	R=3D	L=5D	$Y_{7,16,25} = 0,1244x^4 - 1,2370x^3 + 4,9450x^2 - 27,759x + 31531,93$
MG8,MG17,MG26	R=3.5D		$Y_{8,17,26} = 0,1240x^4 - 1,261x^3 + 4,753x^2 - 18,151x + 34134,83$
MG9,MG18,MG27	R=4D		$Y_{9,18,27} = 0,1235x^4 - 1,3367x^3 + 4,862x^2 - 15,810x + 36243,95$



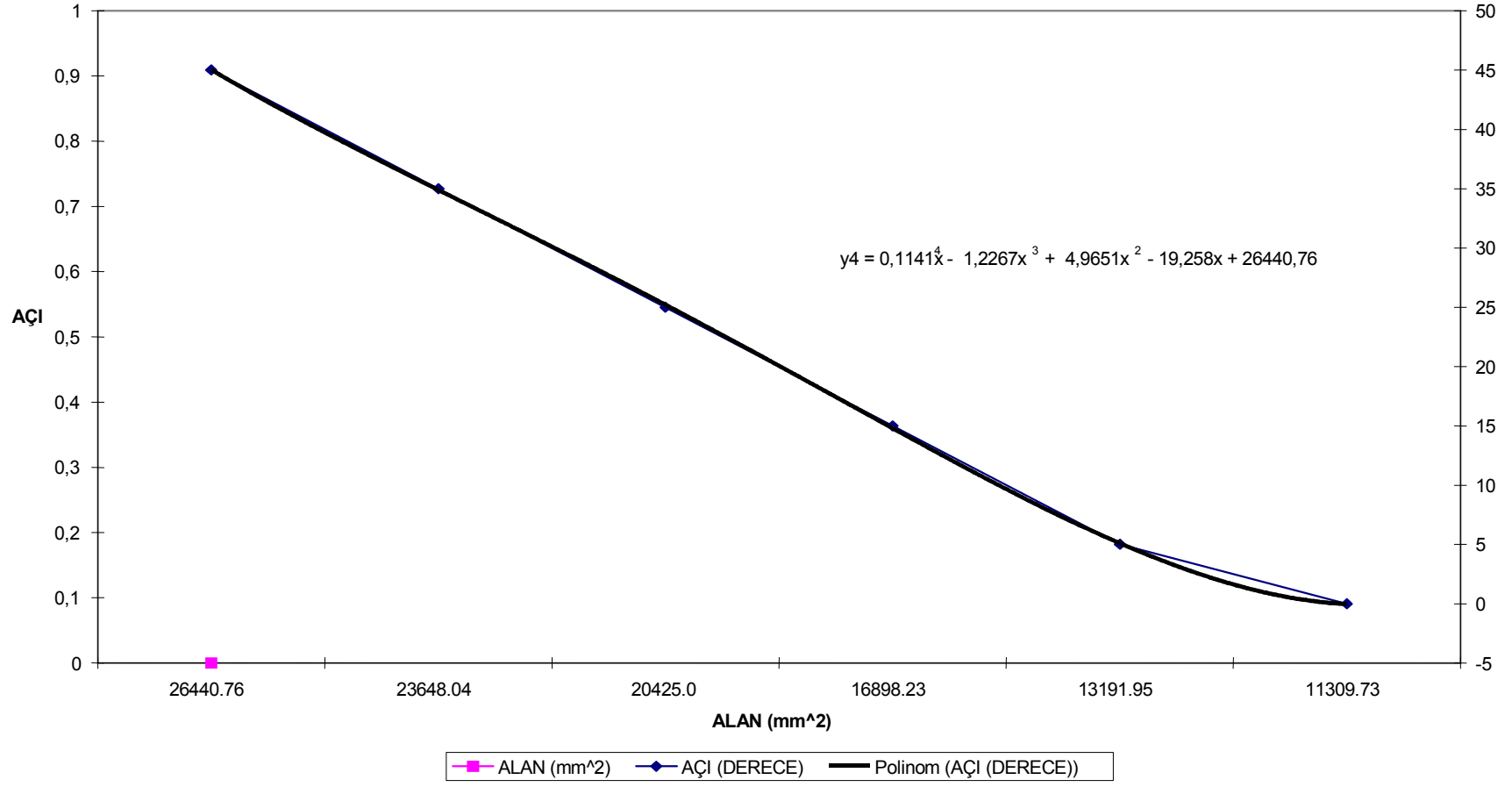
Şekil 3.1.f. L=3D VE R=3D İçin Alan Fonksiyon Grafiği (MG1, MG10, MG19)



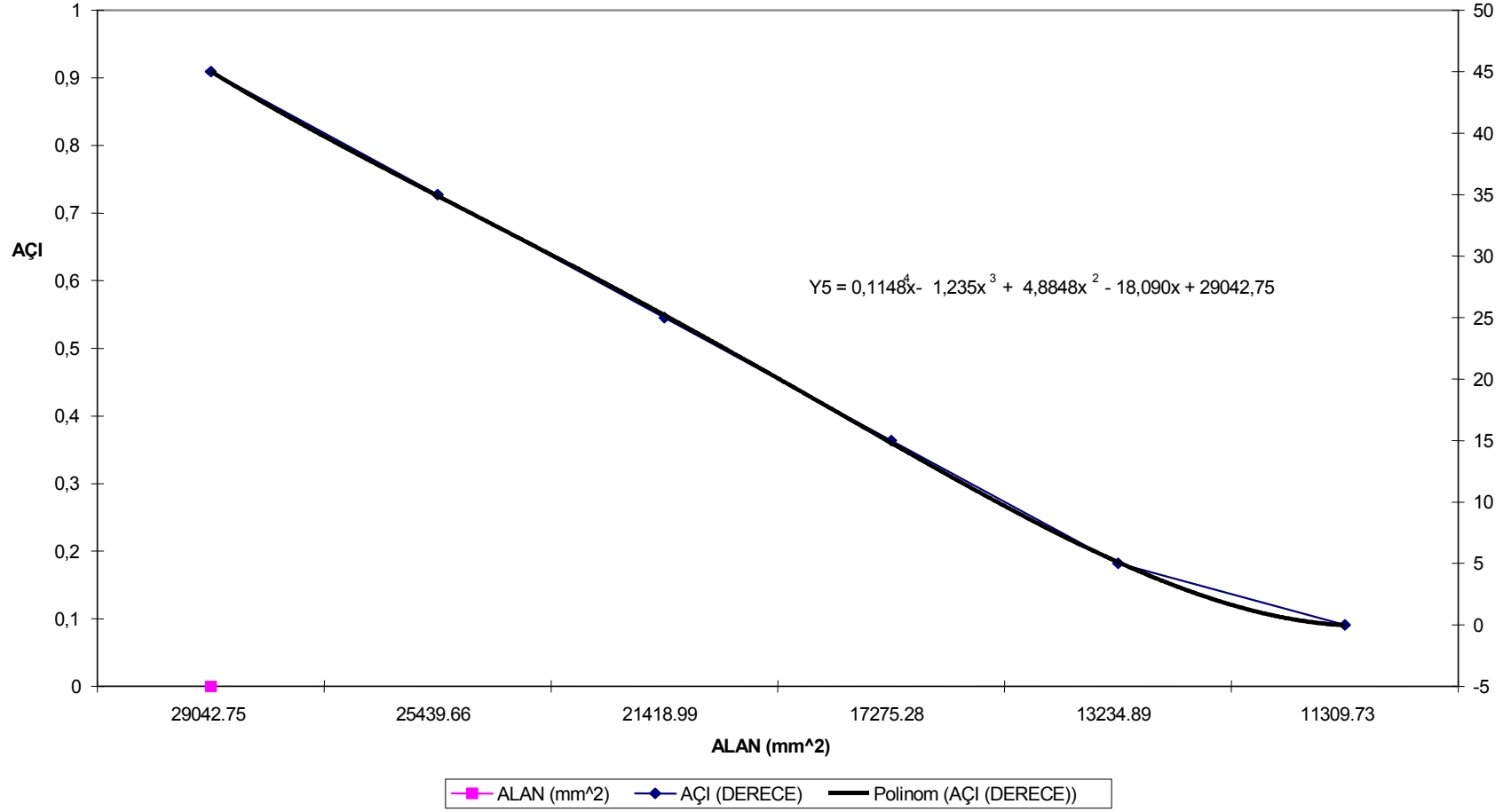
Şekil 3.1.g. L=3D VE R=3.5D İçin Alan Fonksiyon Grafiği (MG2, MG11, MG20)



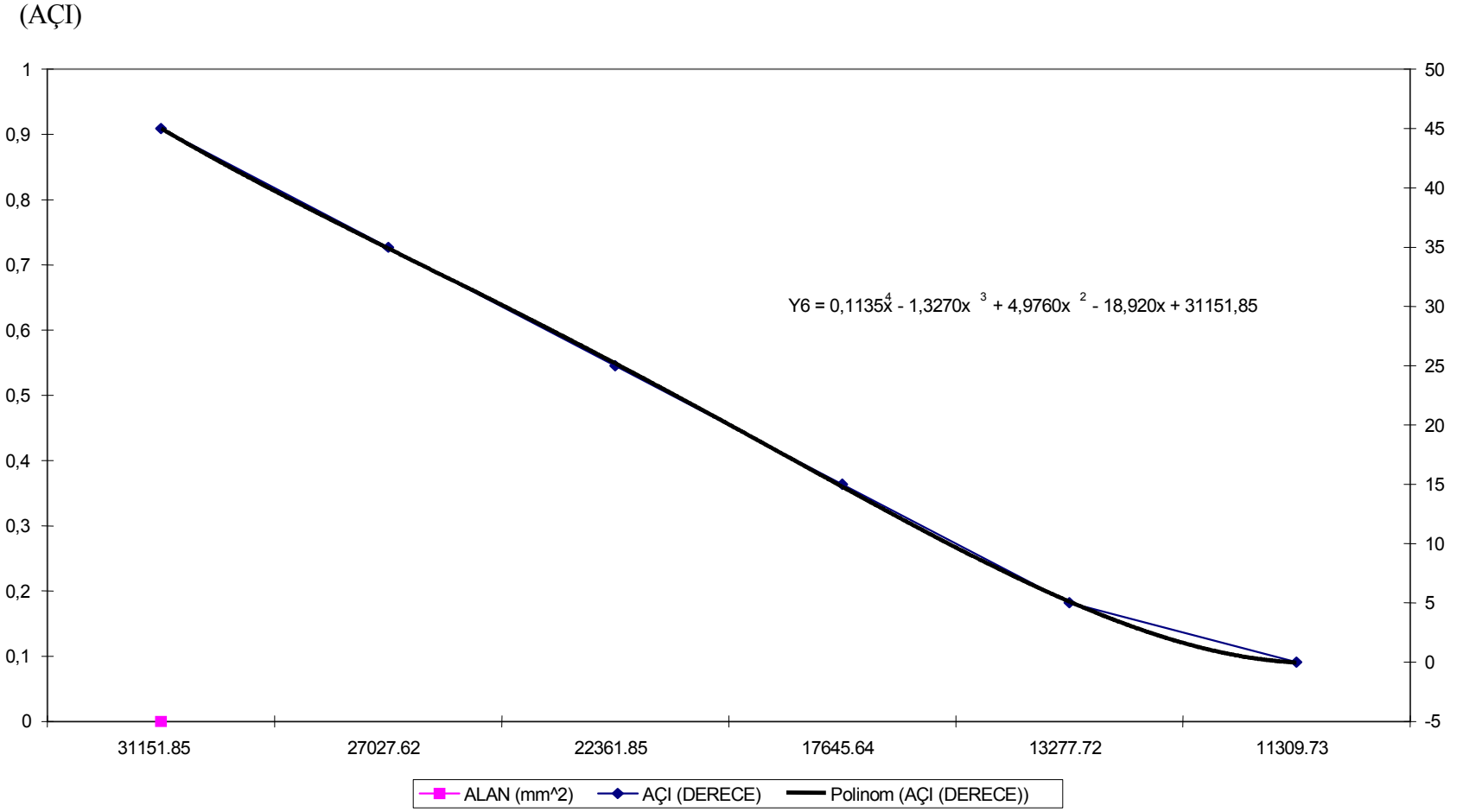
Şekil 3.1.h. L=3D VE R=4D İçin Alan Fonksiyon Grafiği (MG3,MG12,MG21)



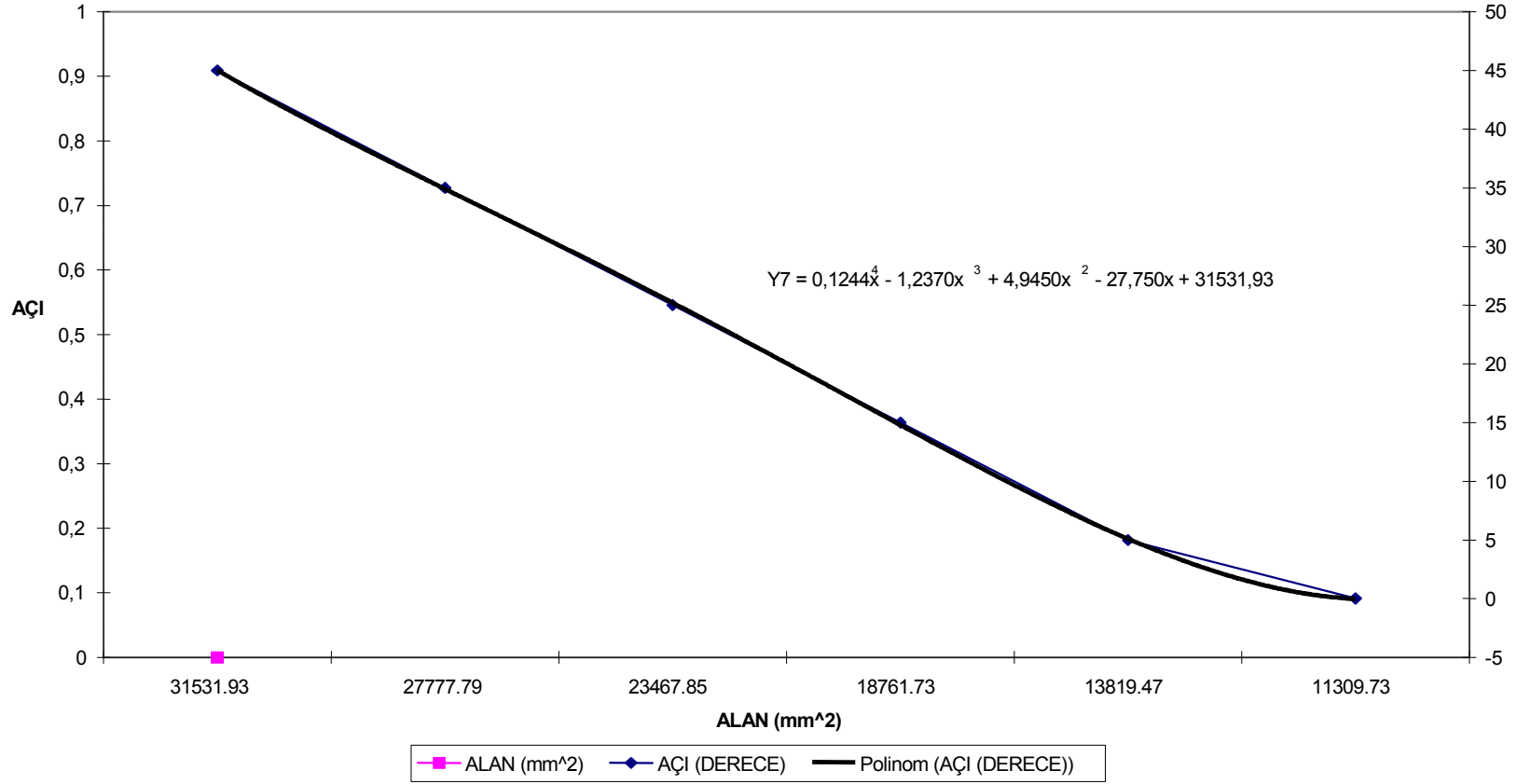
Şekil 3.1.1. L=4D VE R=3D İçin Alan Fonksiyon Grafiği (MG4, MG13, MG22)



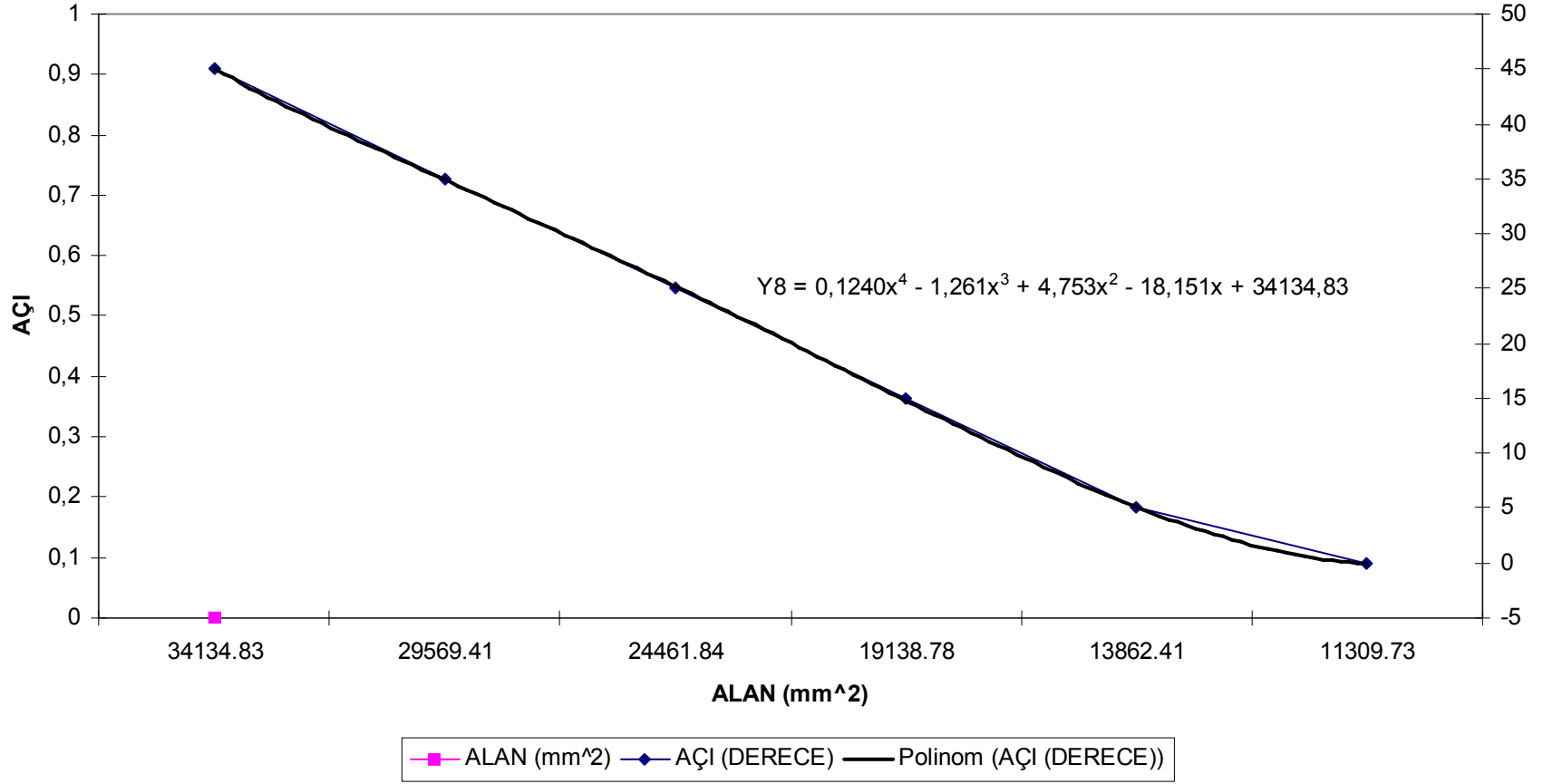
Şekil 3.1.i. L=4D VE R=3.5D İçin Alan Fonksiyon Grafiği (MG5, MG14, MG23)



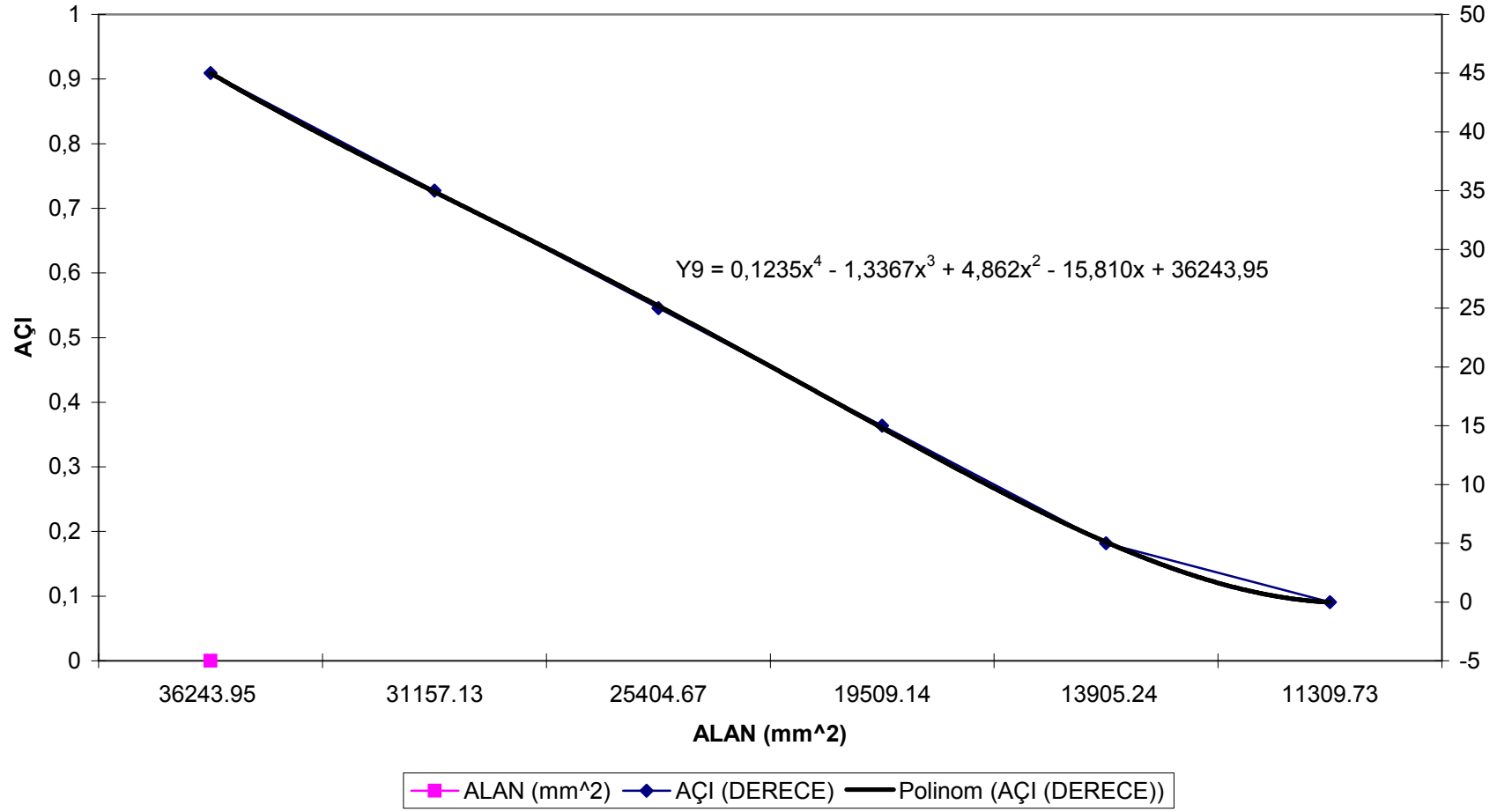
Şekil 3.1.j. L=4D VE R=4D İçin Alan Fonksiyon Grafiği (MG6, MG15, MG24)



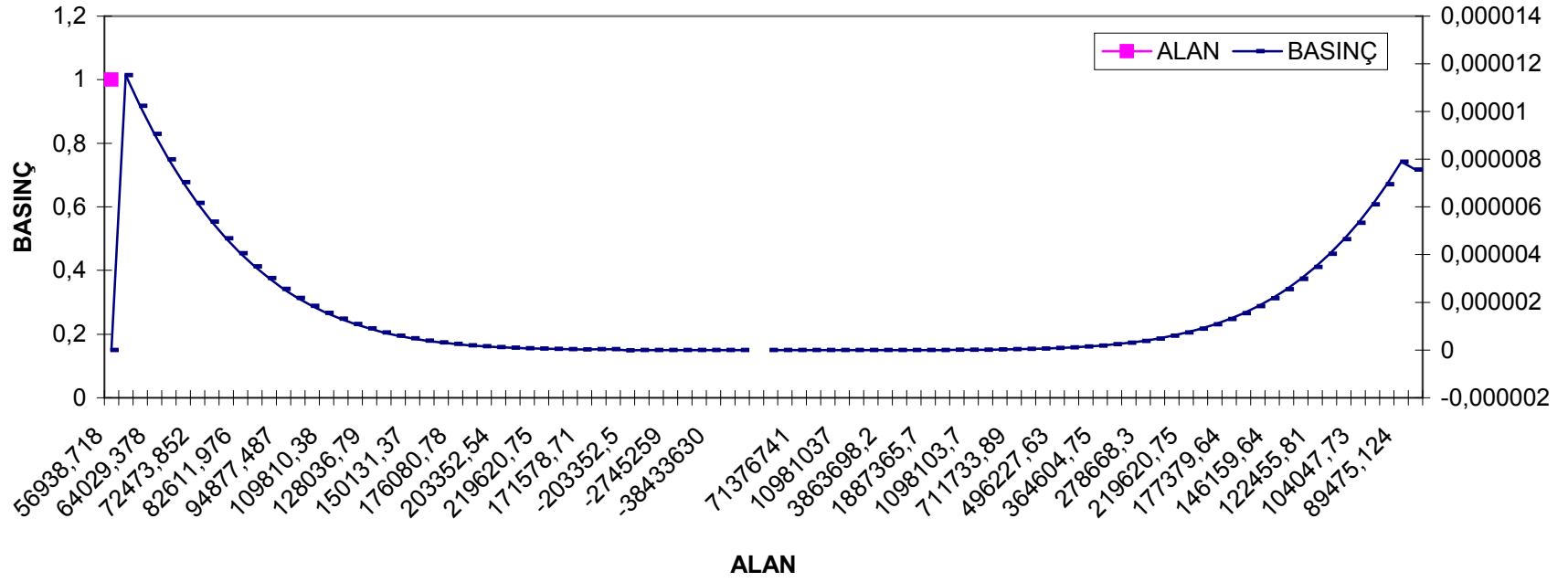
Şekil 3.1.k. L=5D VE R=3D İçin Alan Fonksiyon Grafiği (MG7, MG16, MG25)



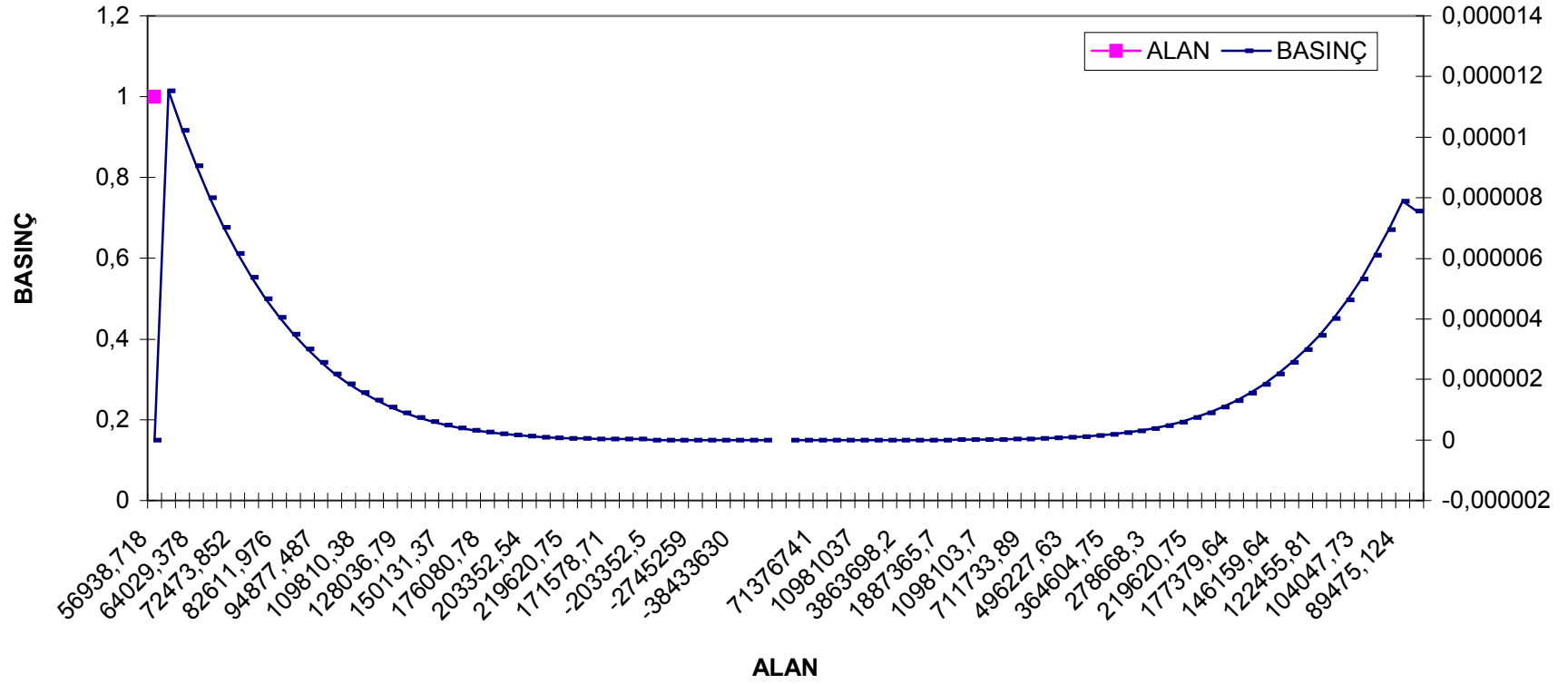
Şekil 3.1.I. L=5D VE R=3.5D İçin Alan Fonksiyon Grafiği (MG8, MG17, MG26)



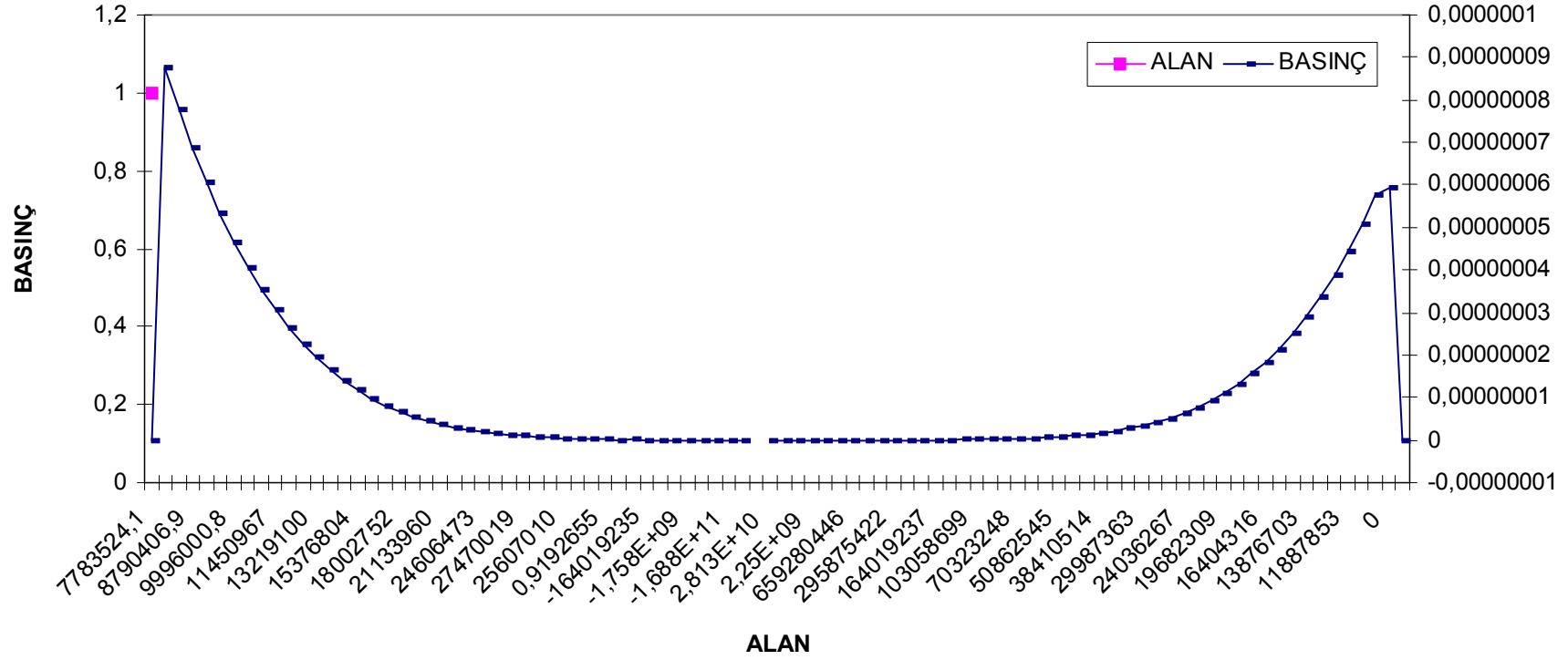
Şekil 3.1.m L=5D VE R=4D İçin Alan Fonksiyon Grafiği (MG9.MG18,MG27)



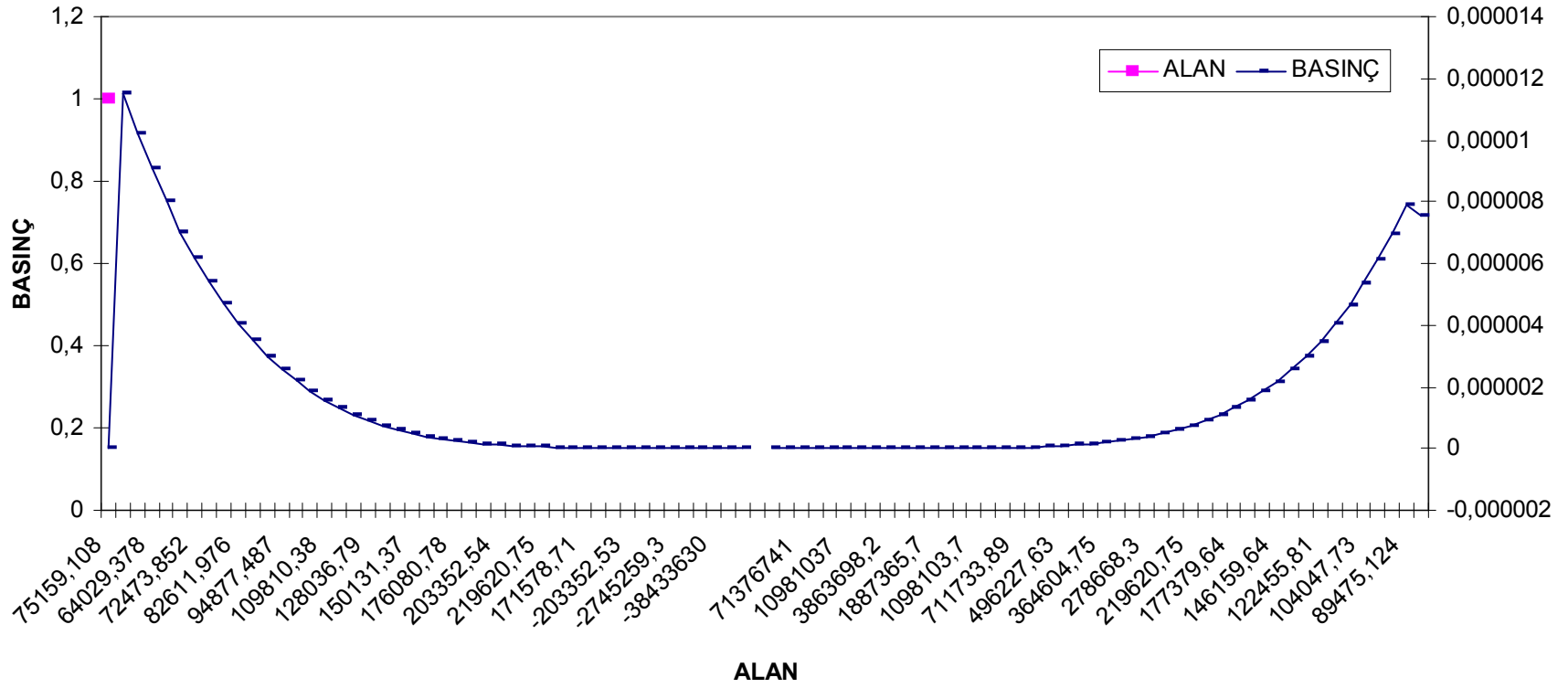
Şekil 3.1.n. Basıncın Süpürülen Alana Bağlı Değişimi (MG1)(155 mm mod 113)



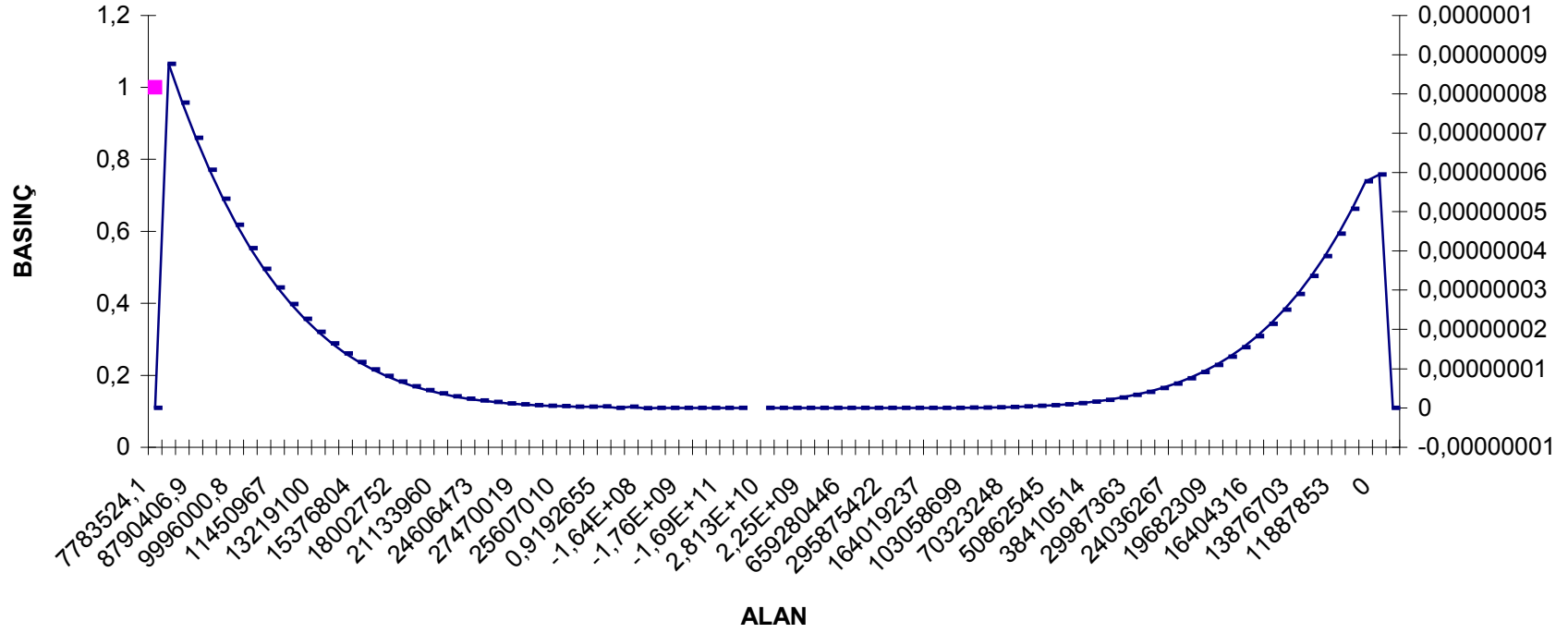
Şekil 3.1.o. Basıncın Süpürülen Alana Bağlı Değişimi (MG2)(155 mm mod 113)



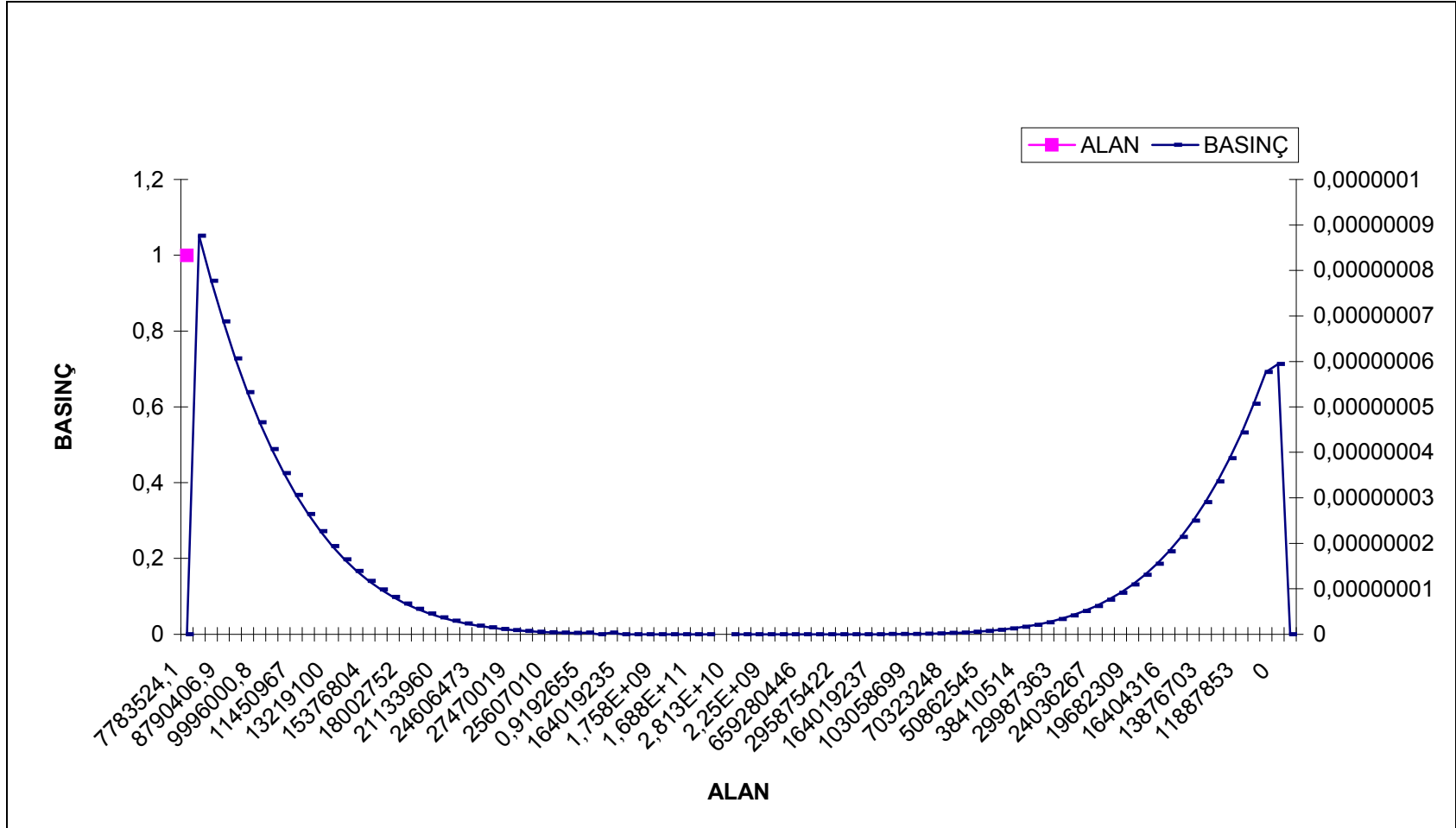
Şekil 3.1.p. Basıncın Süpürülen Alana Bağlı Değişimi (MG3)(155 mm mod 113)



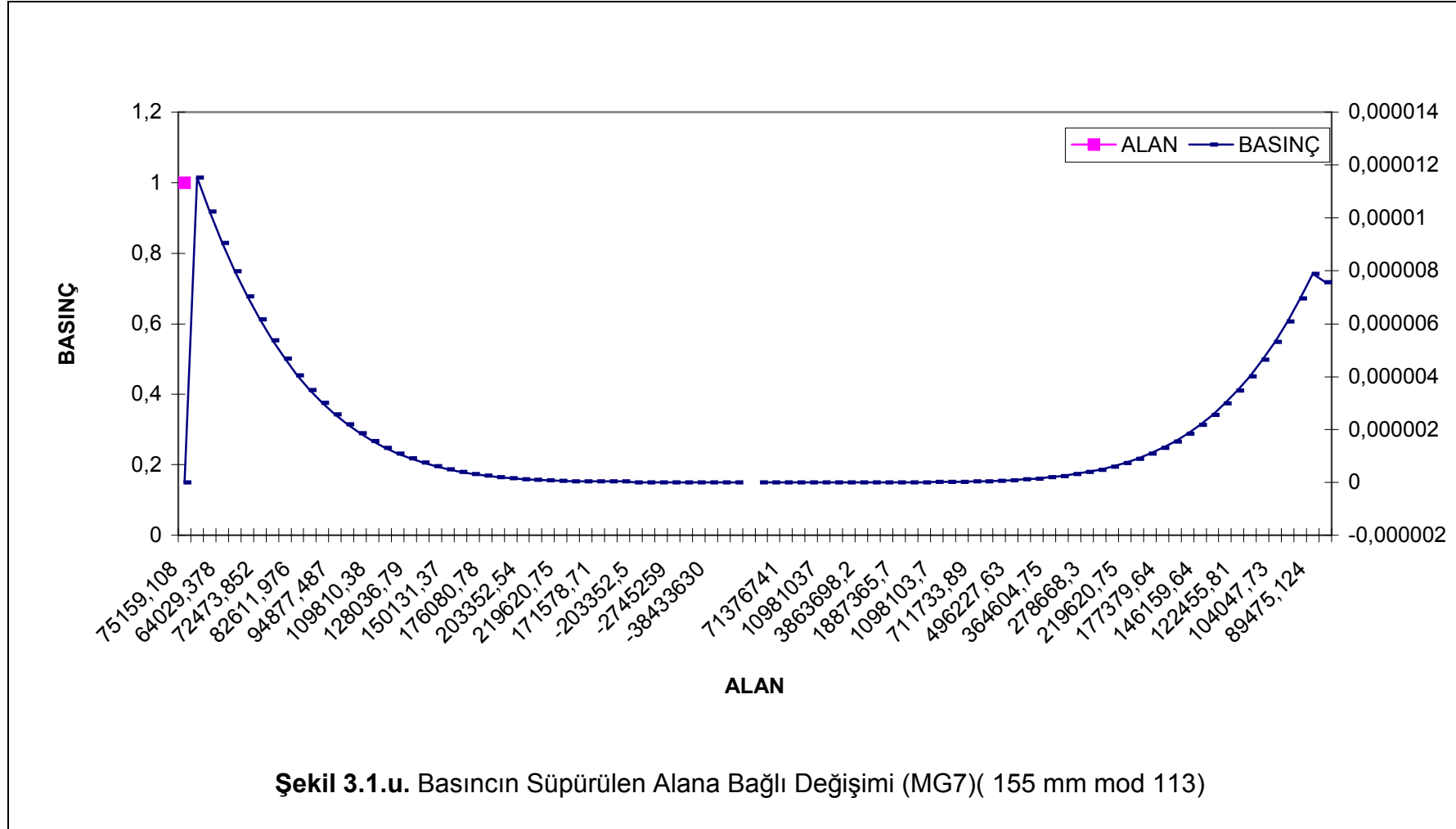
Şekil 3.1.r. Basıncın Süpürülen Alana Bağlı Değişimi (MG4)(155 mm mod 113)

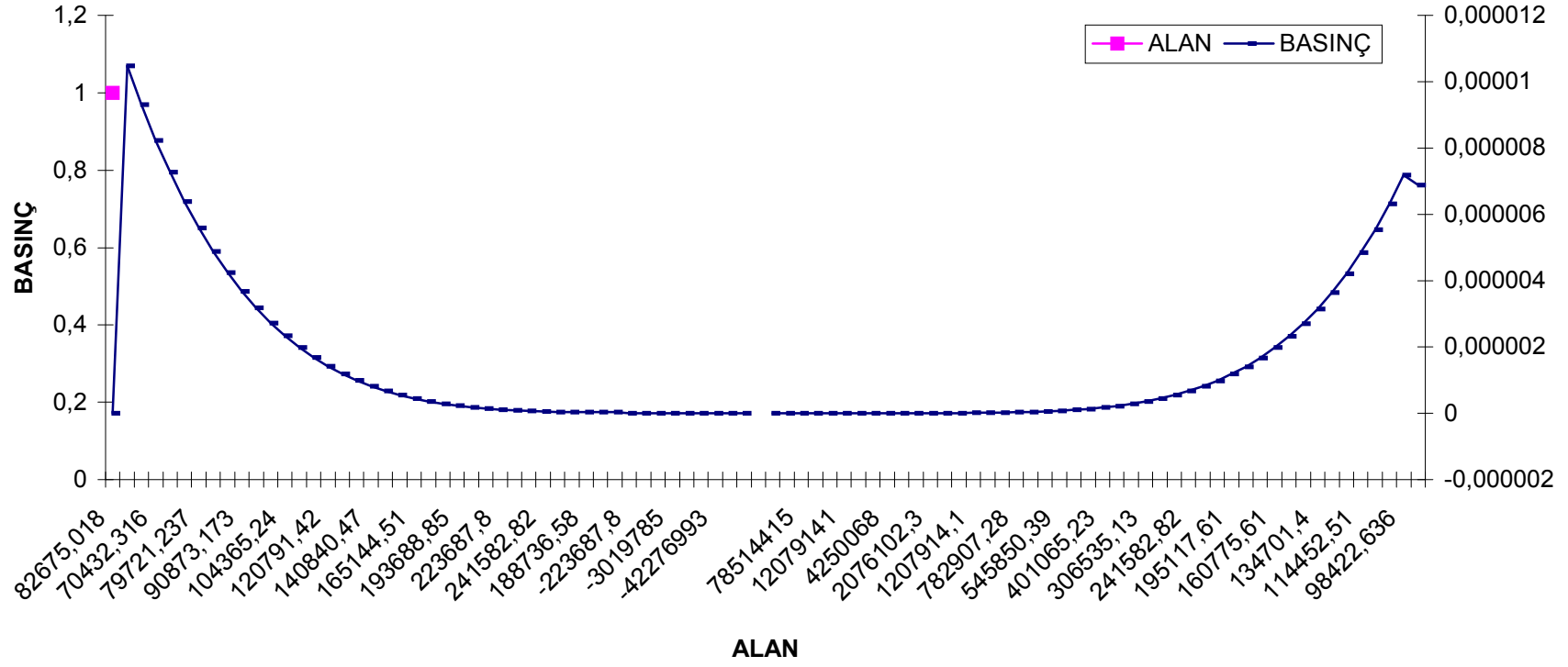


Şekil 3.1.s. Basıncın Süpürülen Alana Bağlı Değişimi (MG5)(155 mm mod 113)

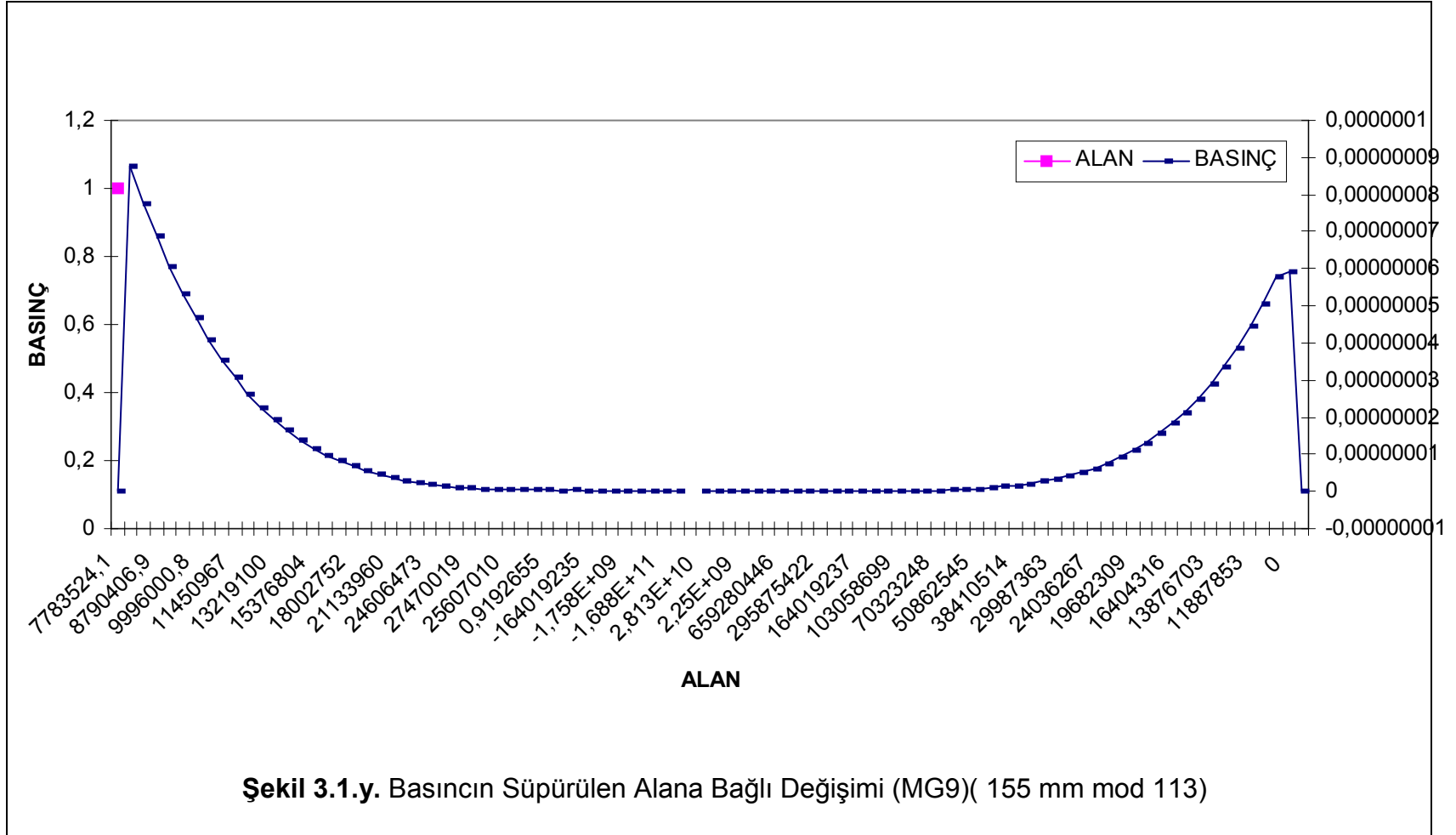


Şekil3.1.t. Basıncın Süpürülen Alana Bağlı Değişimi (MG6)(155 mm mod 113)





Şekil 3.1.v. Basıncın Süpürülen Alana Bağlı Değişimi (MG8)(155 mm mod 113)

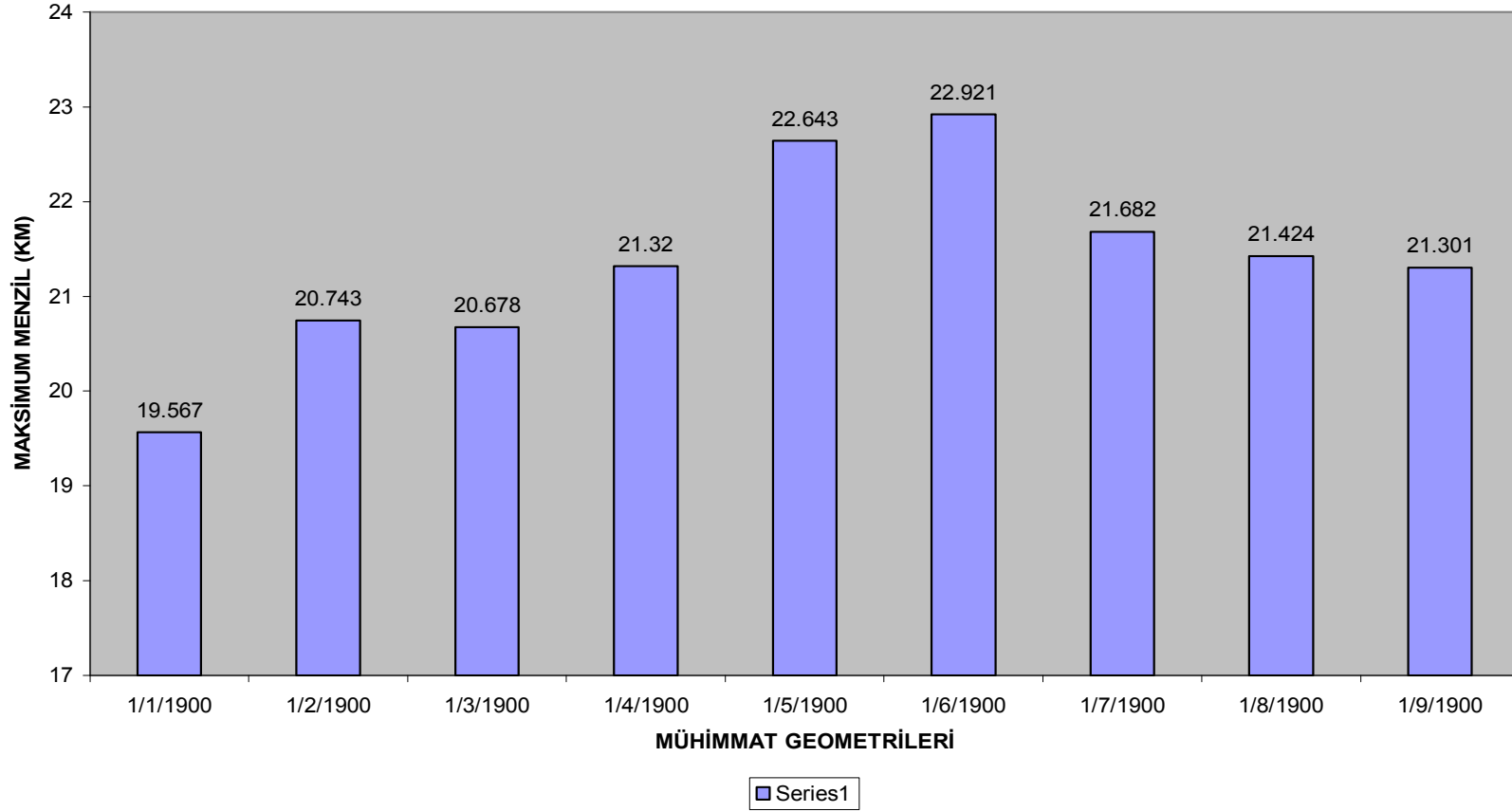


Mermi üzerindeki değişken kuvvetler incelendikten sonra model programı ile menzilleri hesaplanmış, tablo olarak oluşturulmuştur.

Çizelge 3.1.z. Modelleme programı ile elde edilen mesafeler

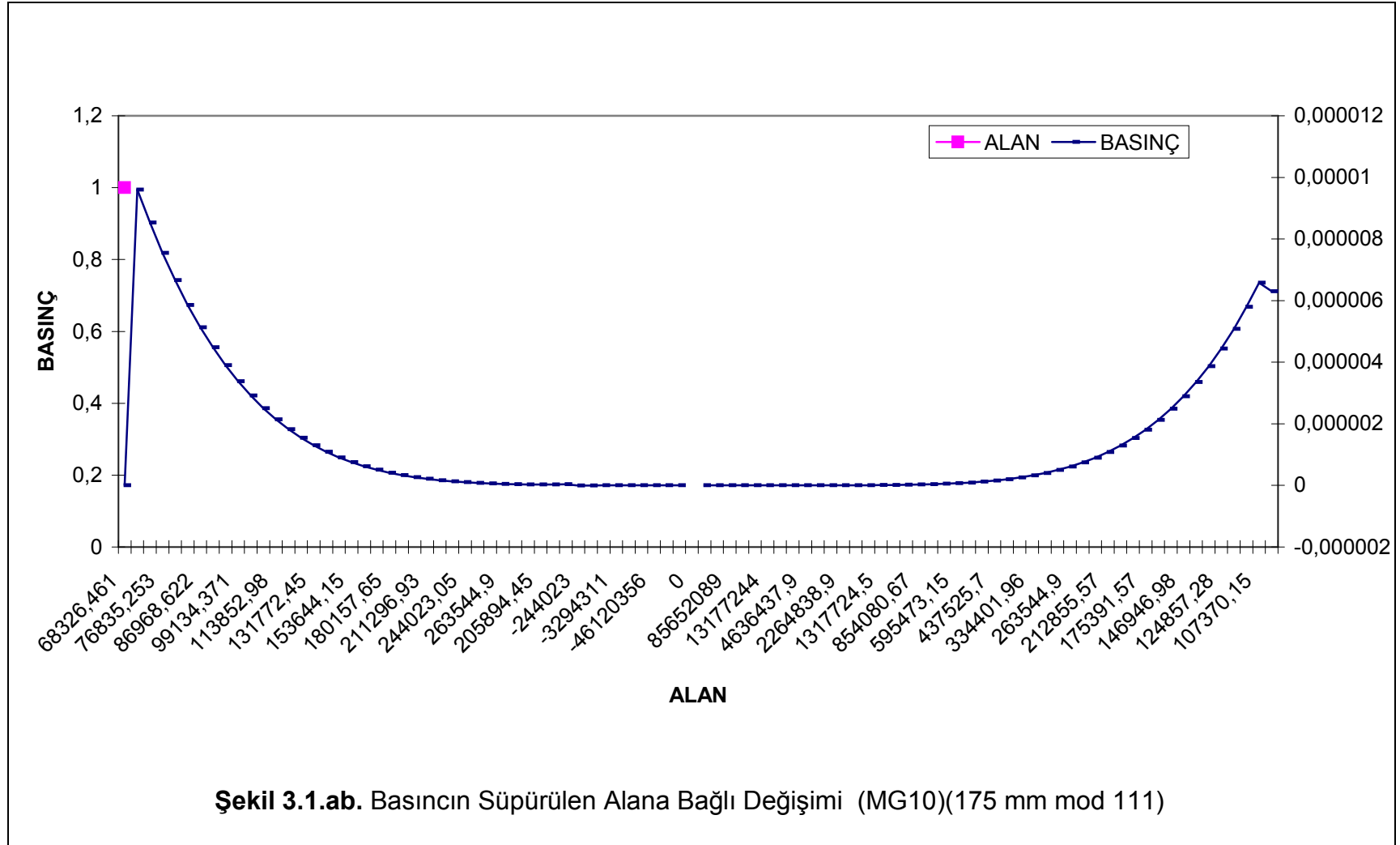
Mühimmatın Geometrisi	Merminin Uçuş Menzili (km)
MG1(155 mm mod 113)	19.567
MG2 (155 mm mod 113)	20.743
MG3 (155 mm mod 113)	20.678
MG4 (155 mm mod 113)	21.320
MG5 (155 mm mod 113)	22.643
MG6 (155 mm mod 113)	22.921
MG7 (155 mm mod 113)	21.682
MG8 (155 mm mod 113)	21.424
MG9 (155 mm mod 113)	21.301

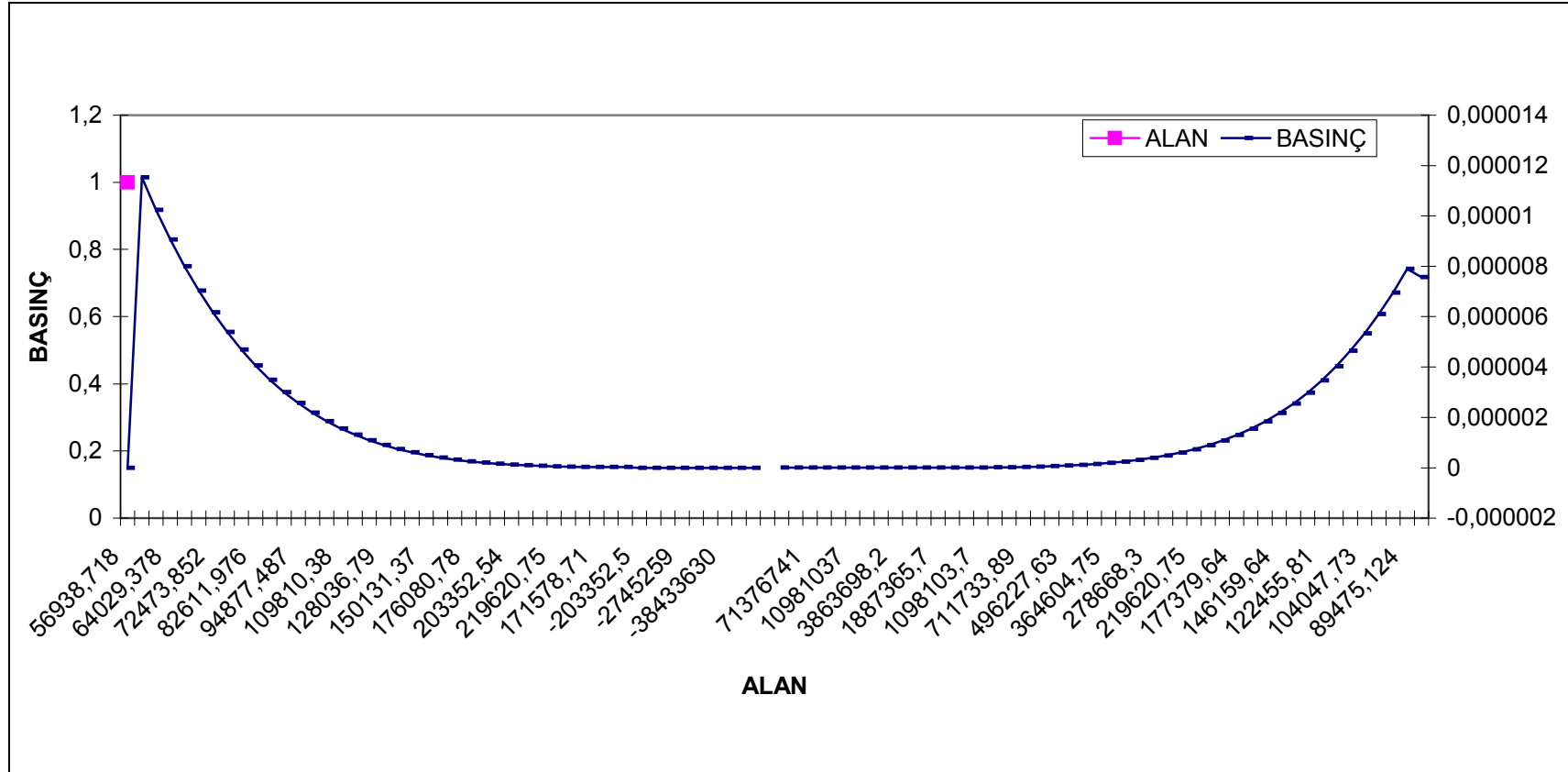
MODELLEME PROGRAMI İLE ELDE EDİLEN MESAFELER



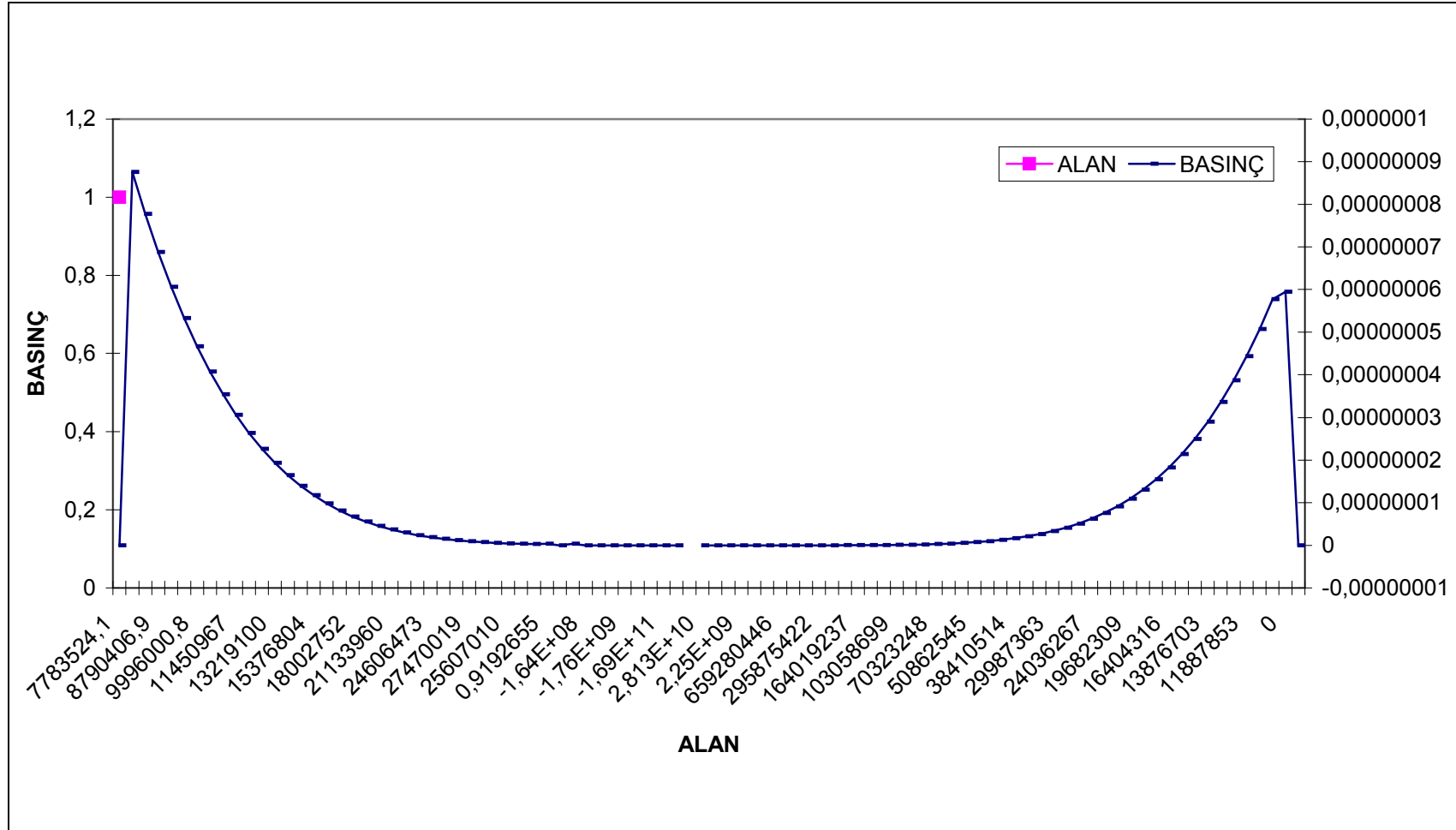
71

Şekil 3.1.aa. Modelleme programı ile elde edilen mesafelerin grafiği (155 mm mod 113)

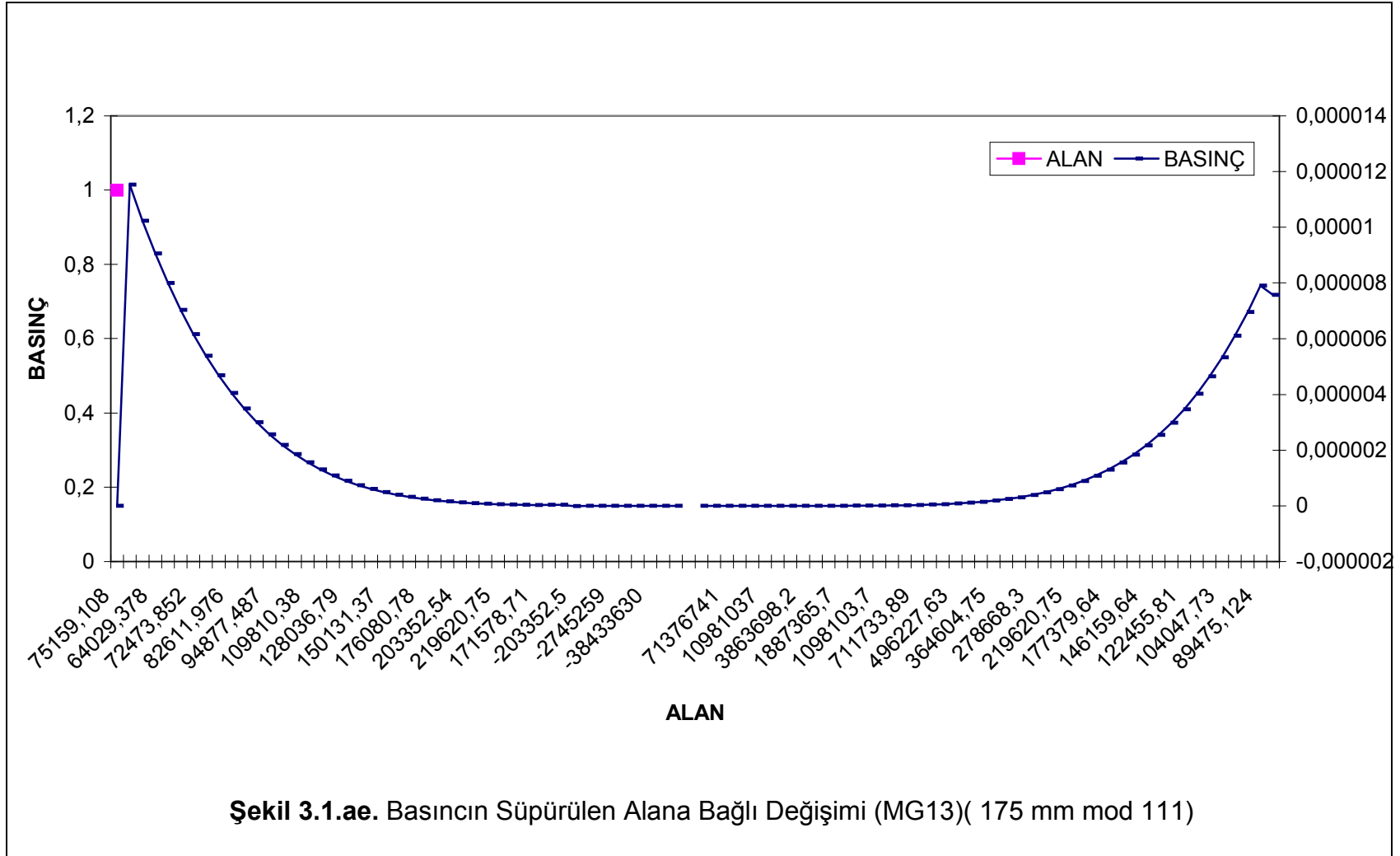


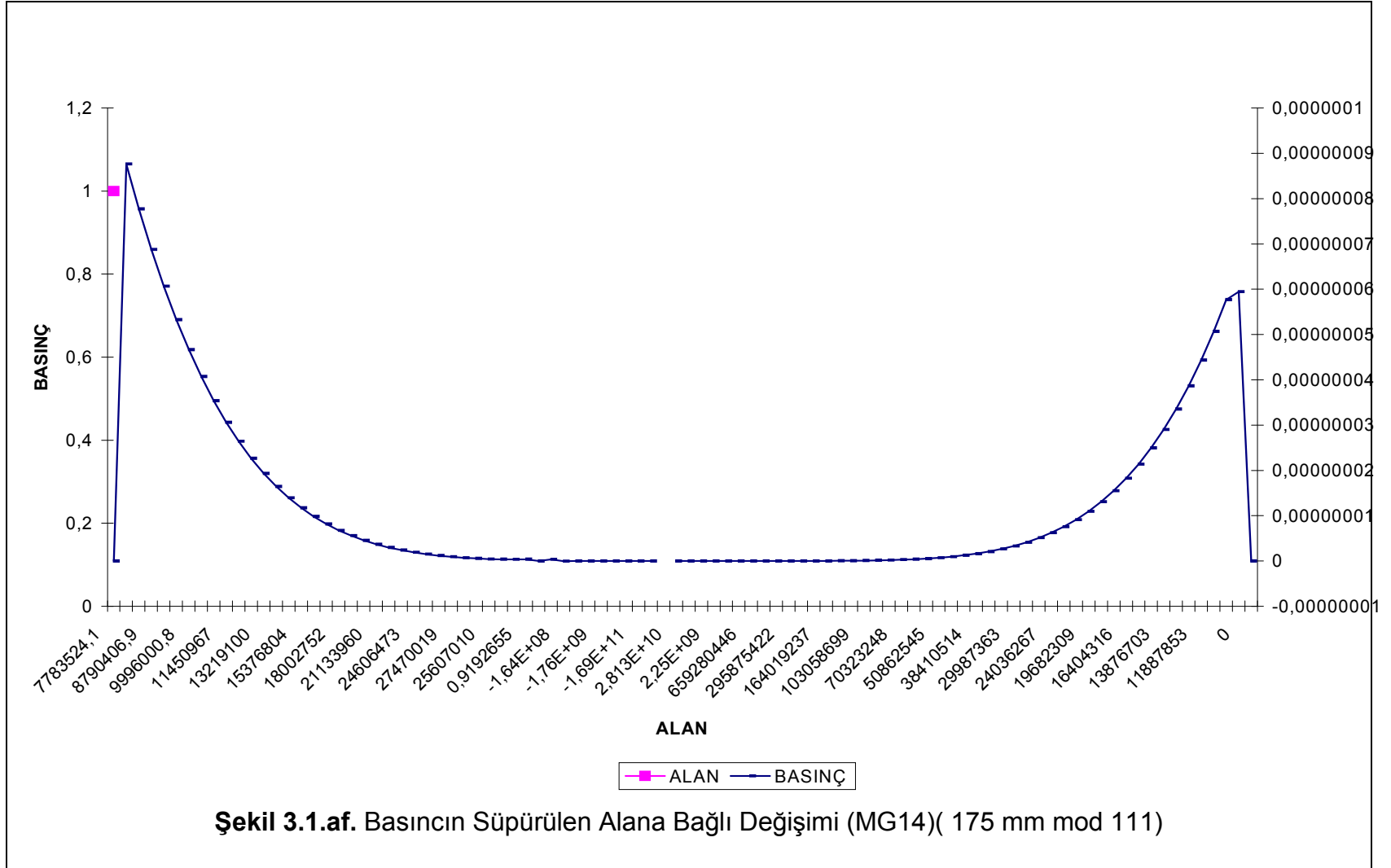


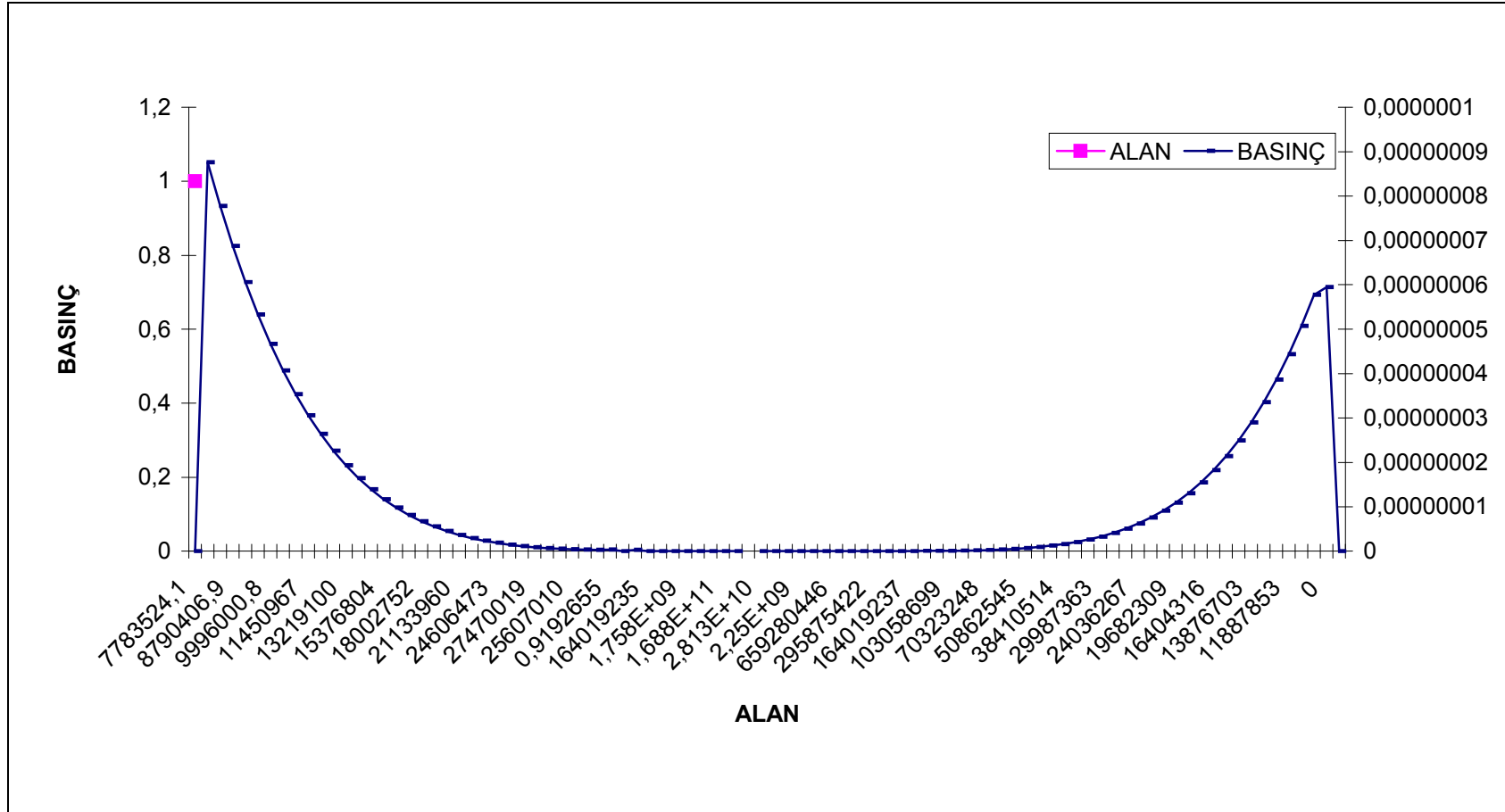
Şekil.3.1.ac. Basıncın Süpürülen Alana Bağlı Değişimi (MG11)(175 mm mod 111)



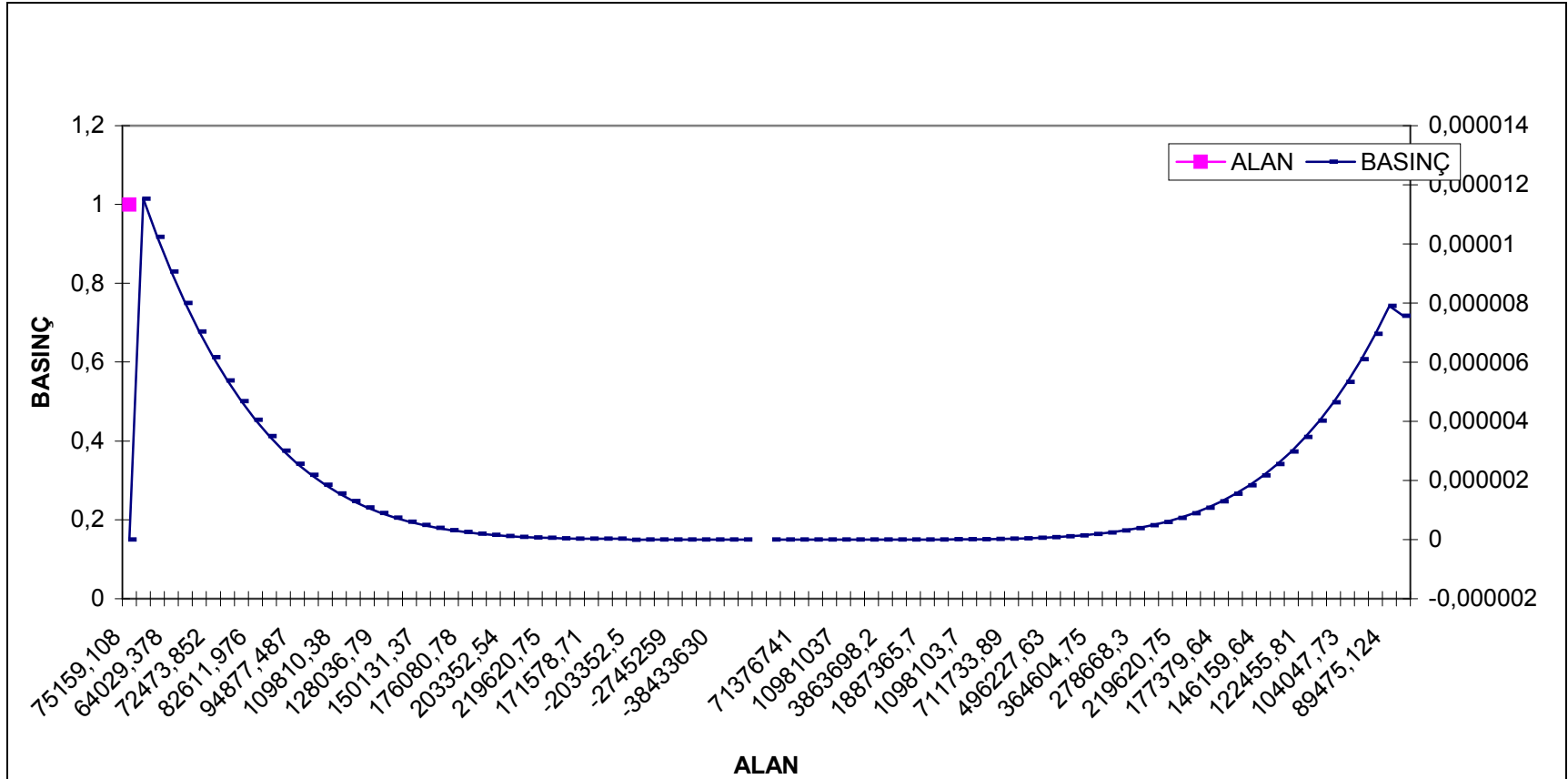
Şekil 3.1.ad. Basıncın Süpürülen Alana Bağlı Değişimi (MG12)(175 mm mod 111)



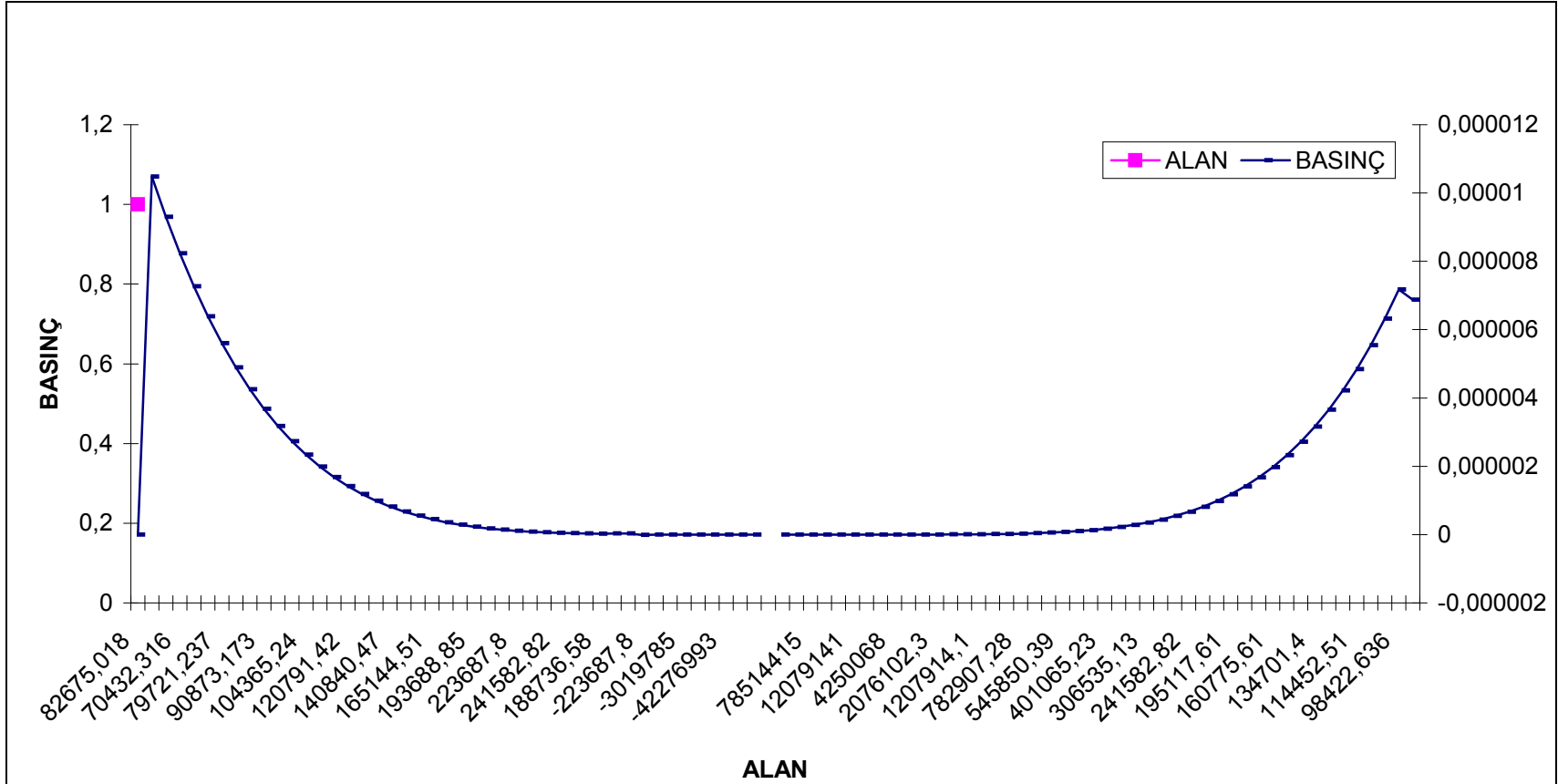




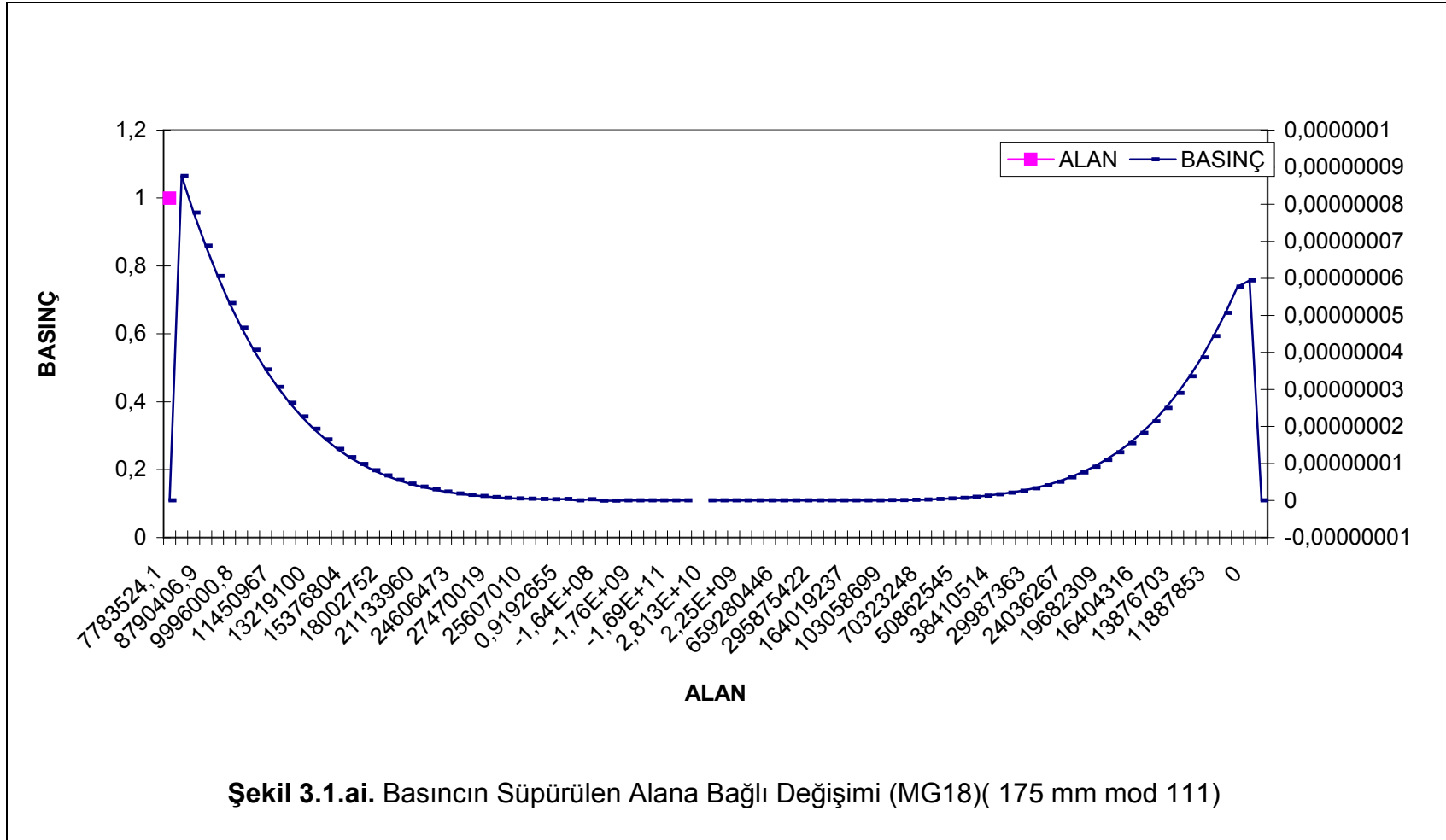
I Şekil3.1.ag. Basıncın Süpürülen Alana Bağlı Değişimi (MG15)(175 mm mod 111)



Şekil 3.1.ah. Basıncın Süpürülen Alana Bağlı Değişimi (MG16)(175 mm mod 111)



Şekil 3.1.a1. Basıncın Süpürülen Alana Bağlı Değişimi (MG17)(175 mm mod 111)



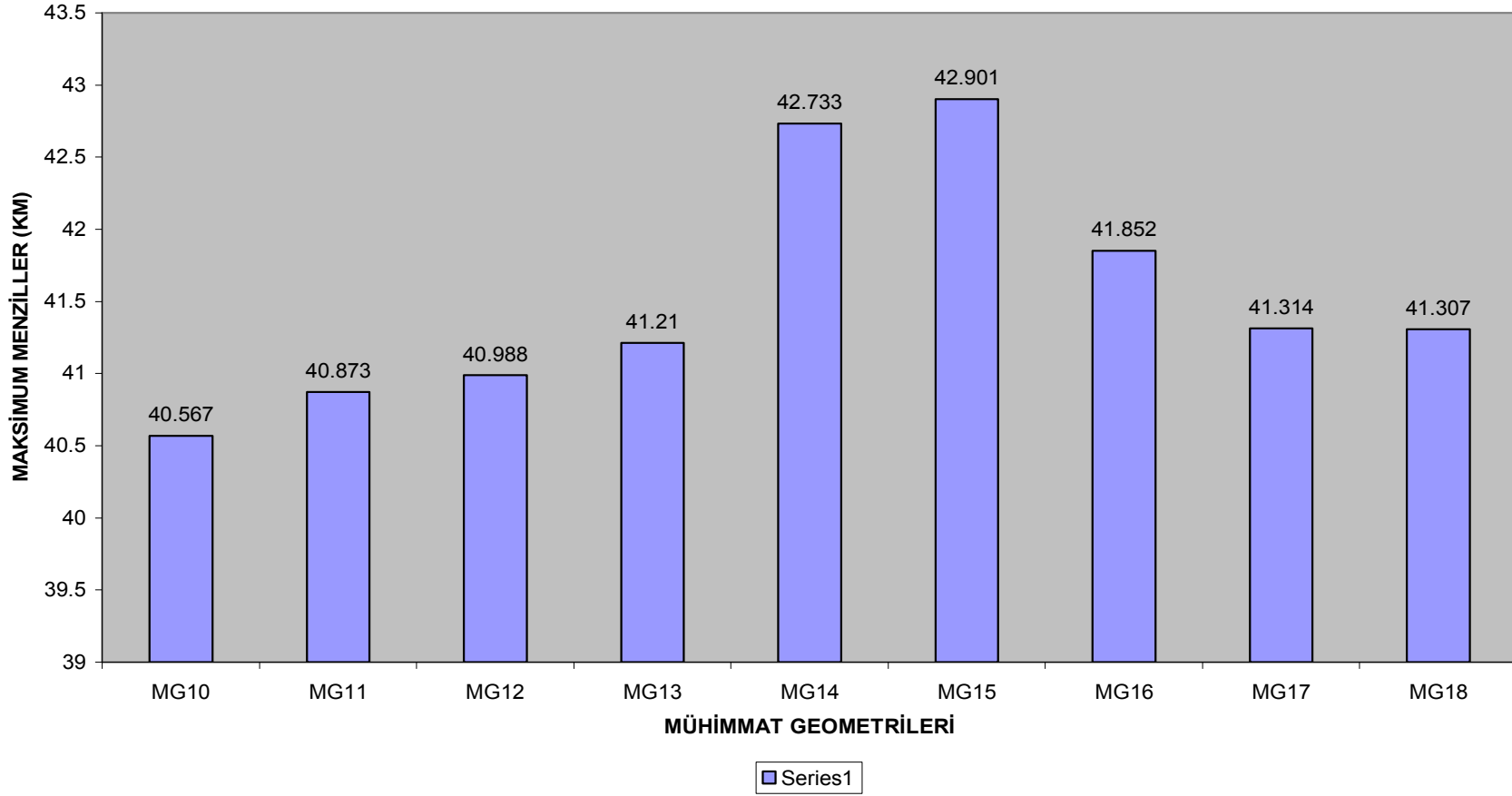
Mermi üzerindeki değişken kuvvetler incelendikten sonra model programı ile menzilleri hesaplanmış, tablo olarak oluşturulmuştur.

Çizelge 3.1.aj. Modelleme programı ile elde edilen mesafeler

Mühimmatın Geometrisi	Merminin Uçuş Menzili (km)
MG10(175 mm mod 111)	40.567
MG11 (175 mm mod 111)	40.873
MG312 (175 mm mod 111)	40.988
MG13 (175 mm mod 111)	41.210
MG14 (175 mm mod 111)	42.733
MG15 (175 mm mod 111)	42.901
MG16 (175 mm mod 111)	41.852
MG17 (175 mm mod 111)	41.314
MG18 (175 mm mod 111)	41.307

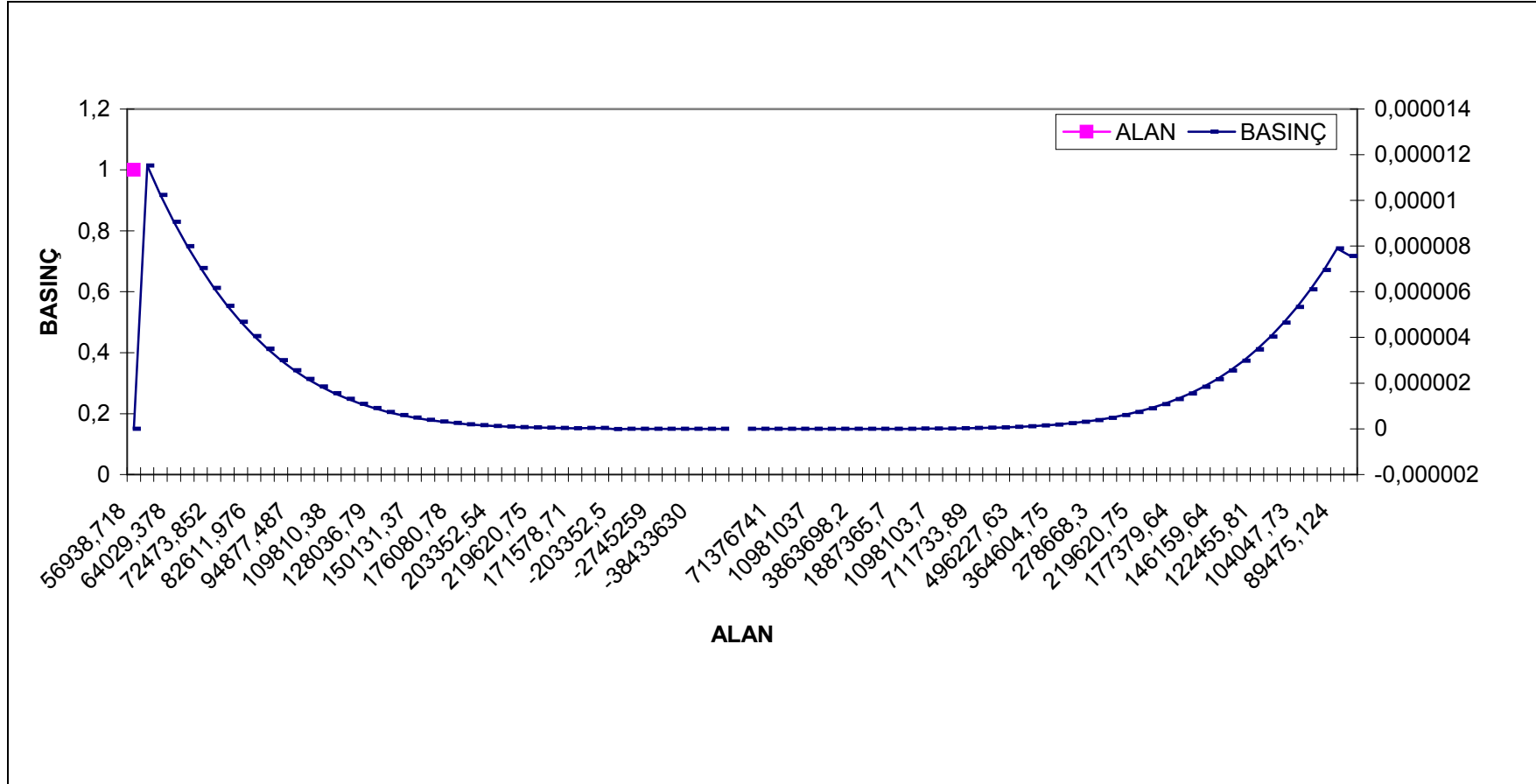
Tablodan görüldüğü gibi, 175 mm.çapındaki mermilerin uçuş menzilleri mühimmatın geometrisine bağlı olarak değişmektedir. MG15 rumuzlu mühimmat, kendi basınç-alan grafiğinde görüldüğü gibi üzerinde en az sürtünme kuvveti oluşan ve dolayısı ile diğerleri içinde en uzun mesafeye gidebilen geometriye sahip mühimmat olarak değerlendirilmektedir.

MODELLEME PROGRAMI İLE ELDE EDİLEN MESAFELER

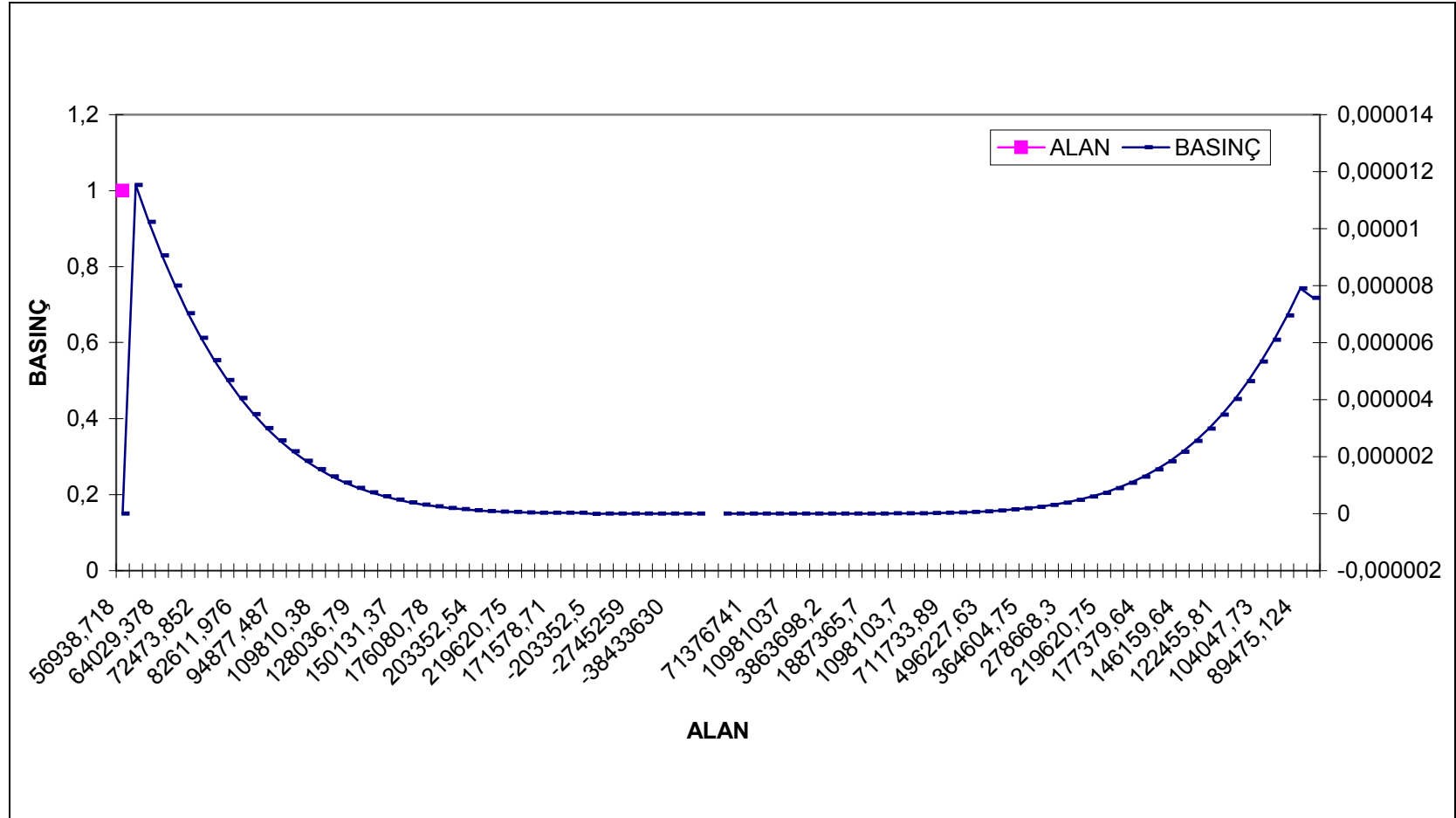


88

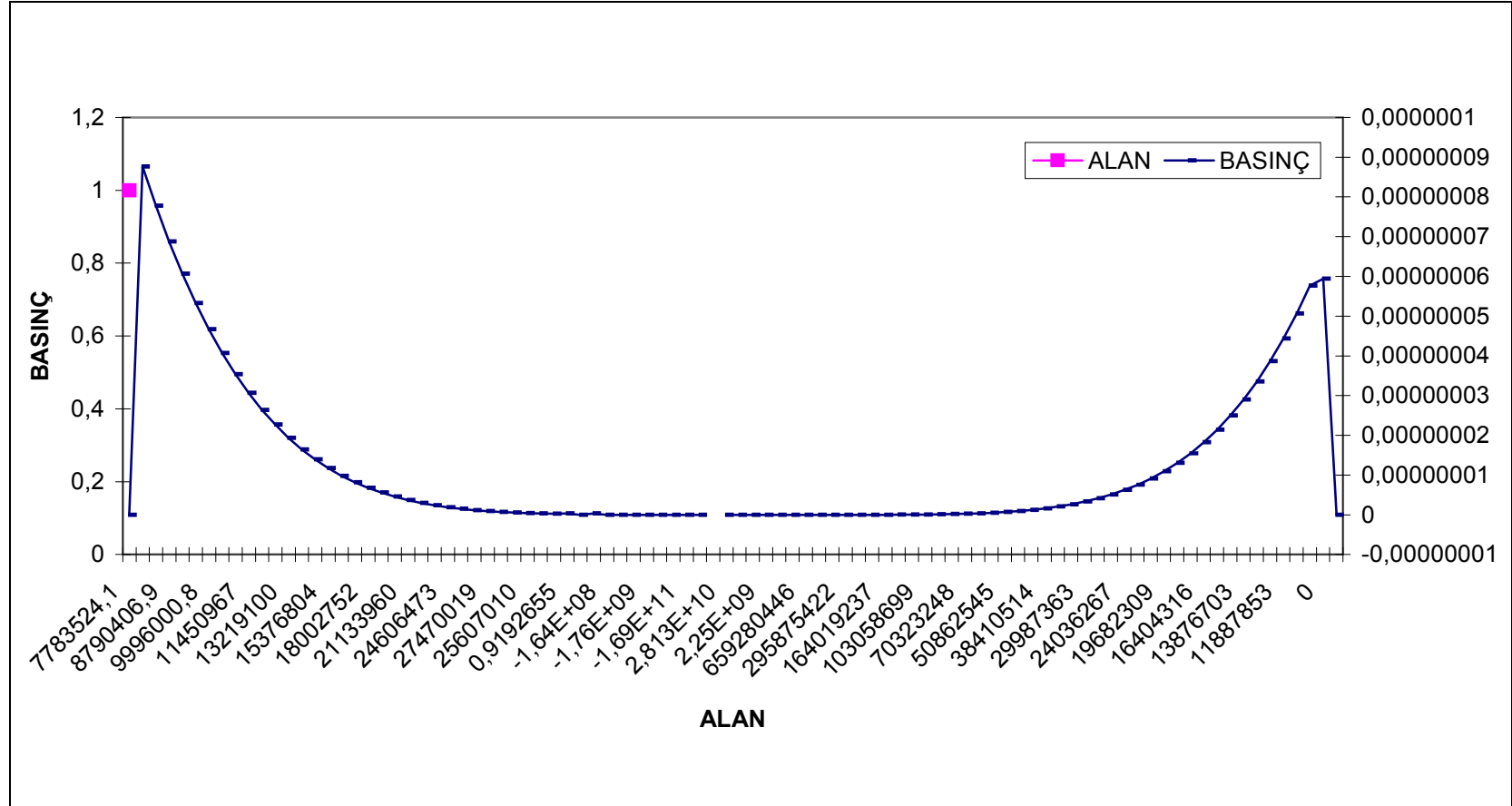
Şekil 3.1.ak. Modelleme programı ile elde edilen mesafelerin grafiği(175 mm mod 111)



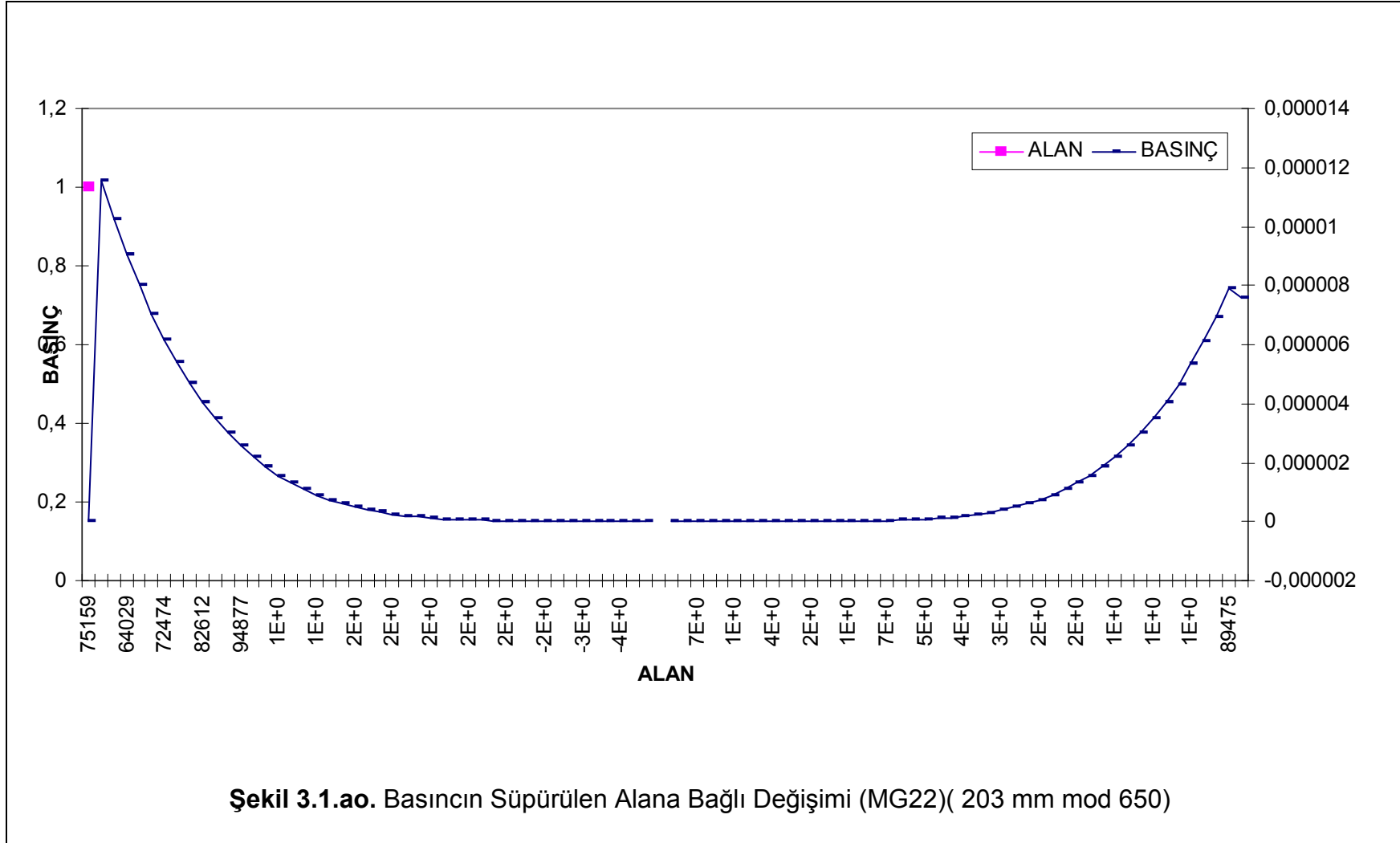
Şekil 3.1.al. Basıncın Süpürülen Alana Bağlı Değişimi (MG19)(203 mm mod 650)

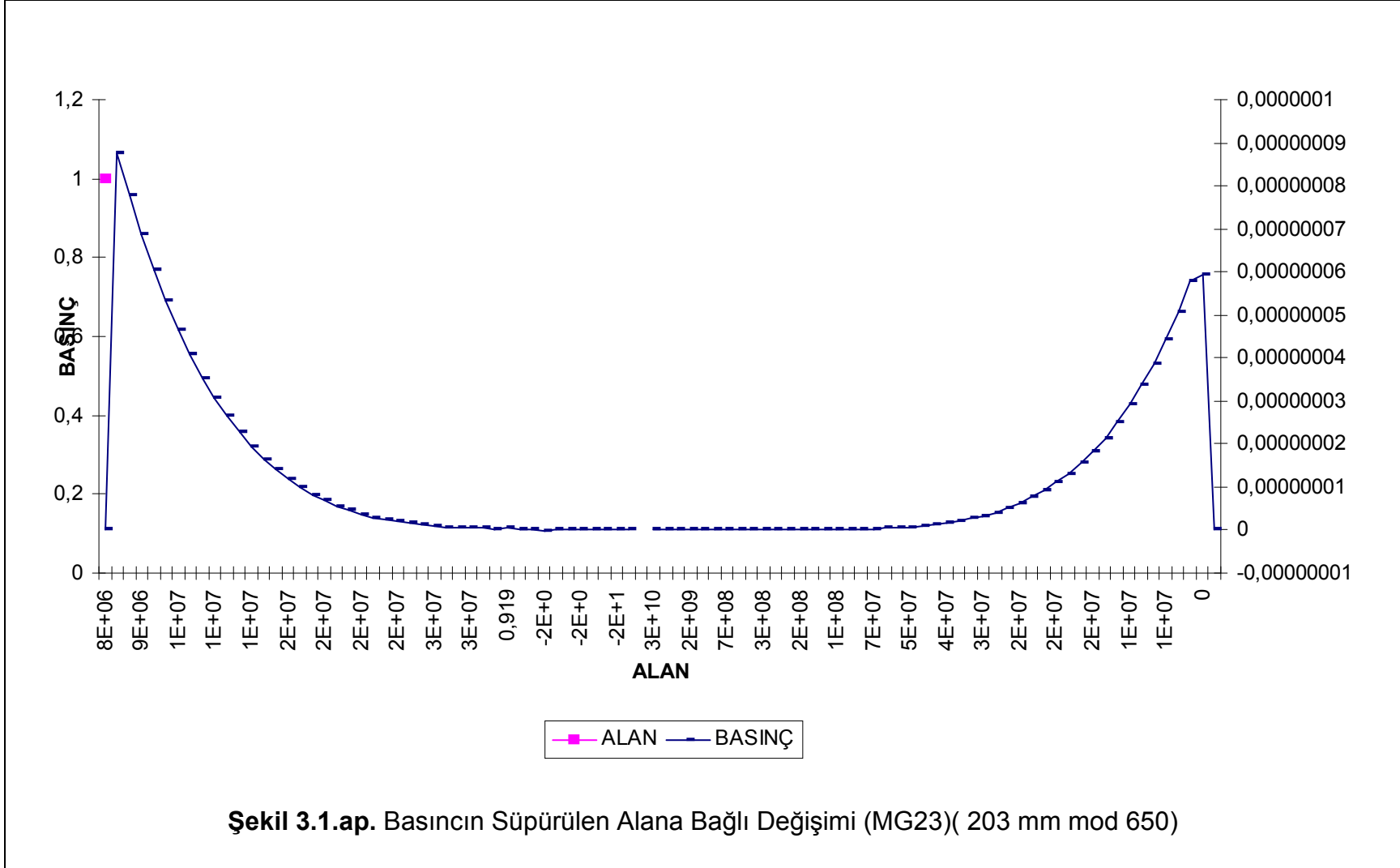


Şekil 3.1.am. Basıncın Süpürülen Alana Bağlı Değişimi (MG20)(203 mm mod 650)

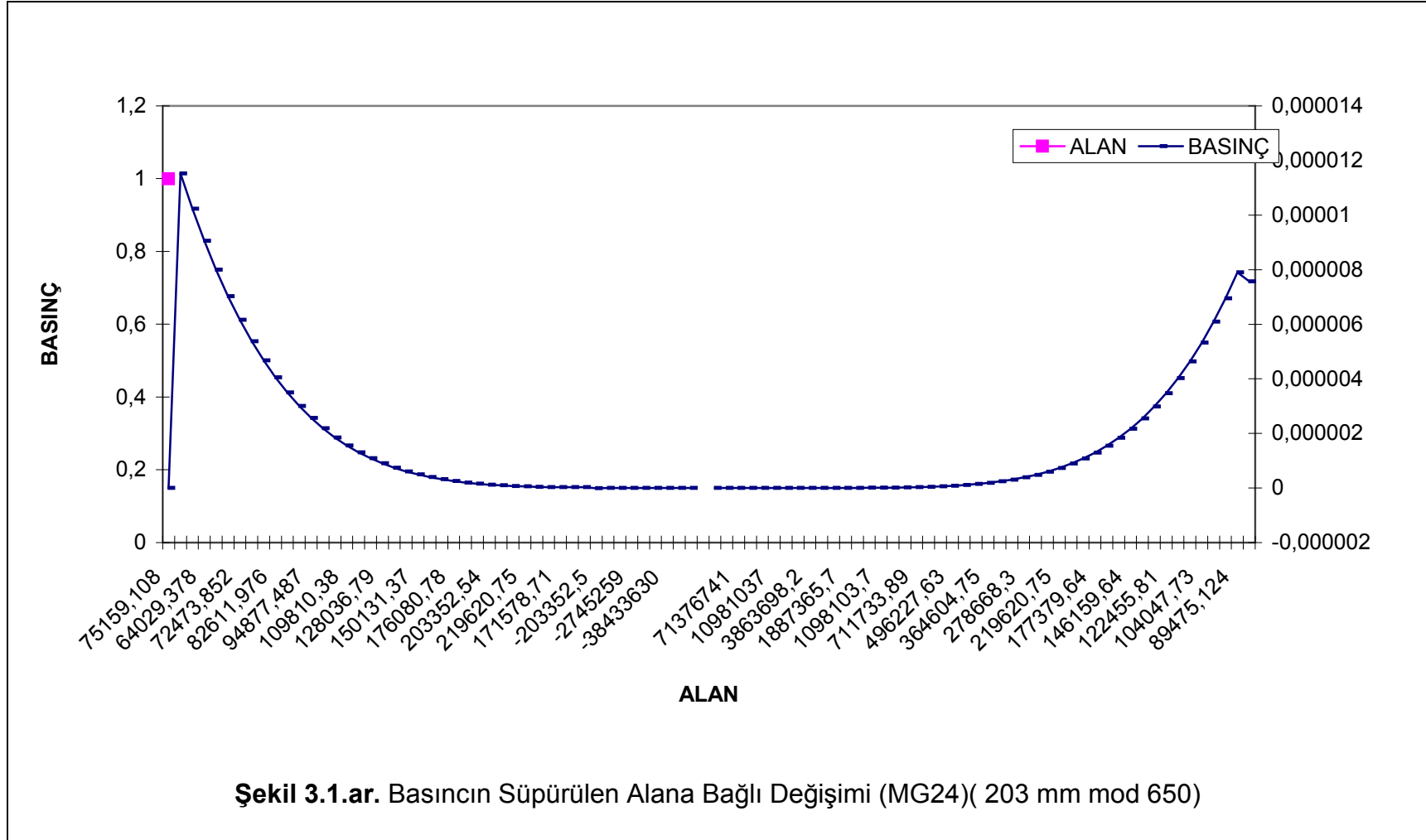


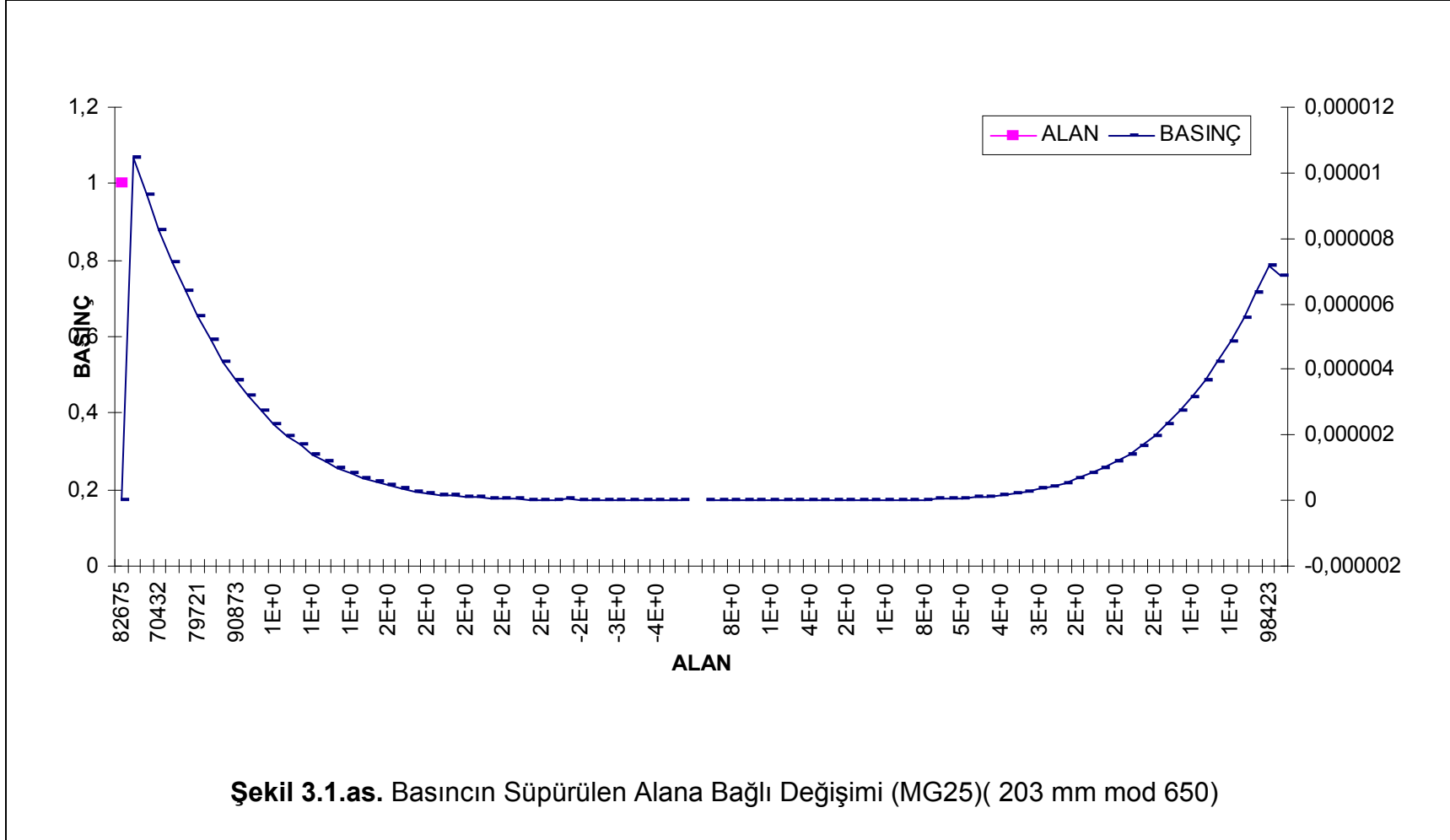
Şekil 3.1.an. Basıncın Süpürülen Alana Bağlı Değişimi (MG21)(203 mm mod 650)

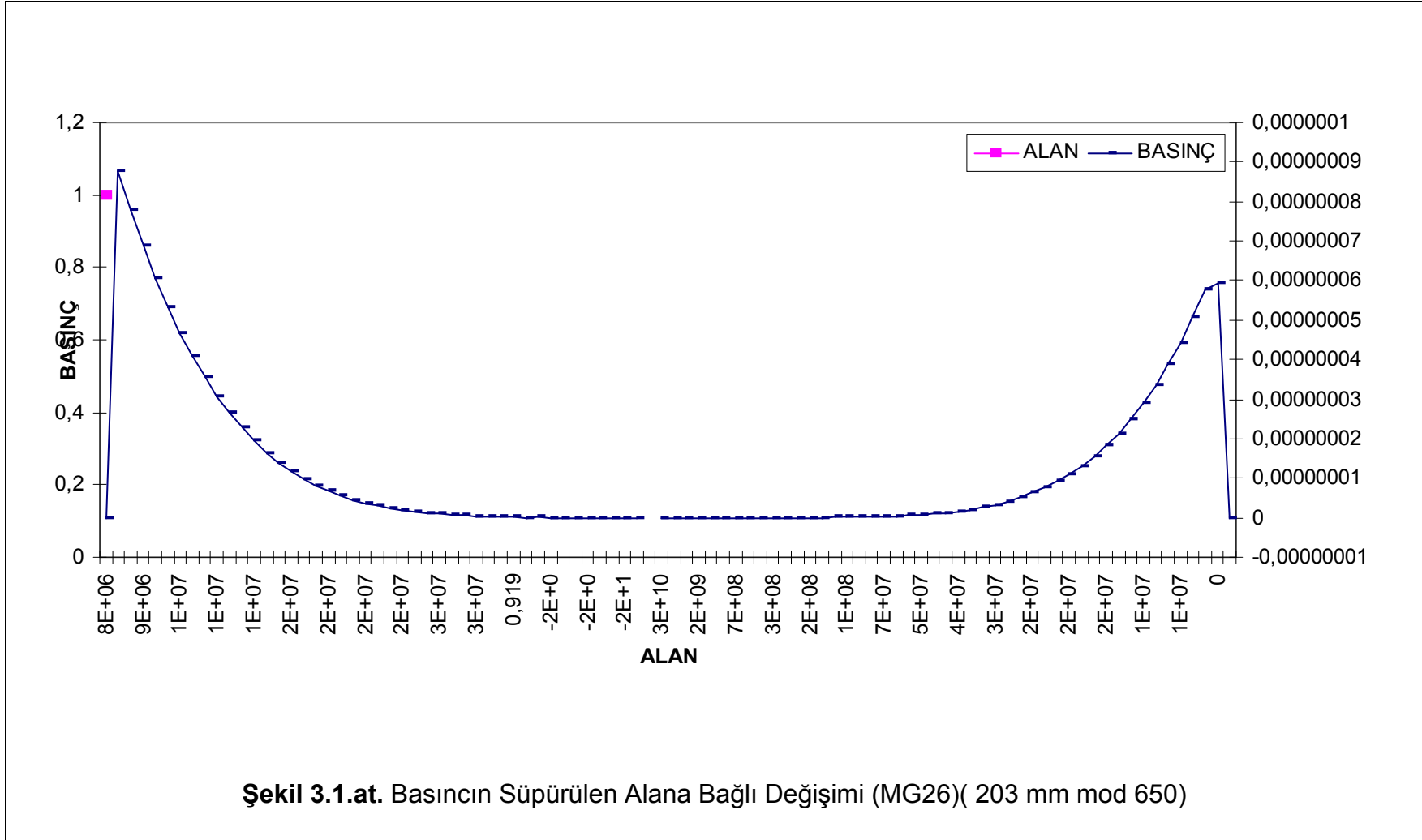


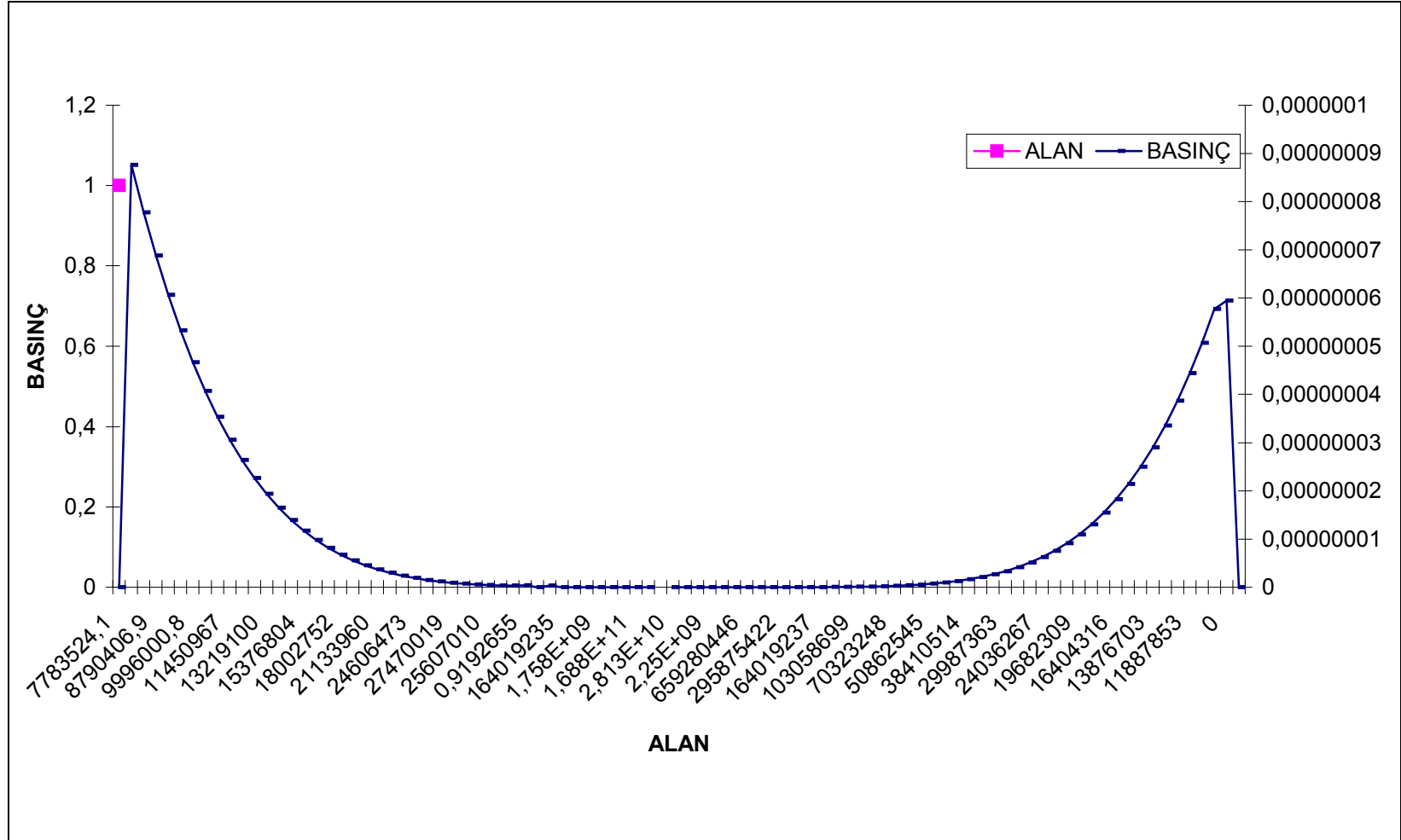


Şekil 3.1.ap. Basıncın Süpürülen Alana Bağlı Değişimi (MG23)(203 mm mod 650)

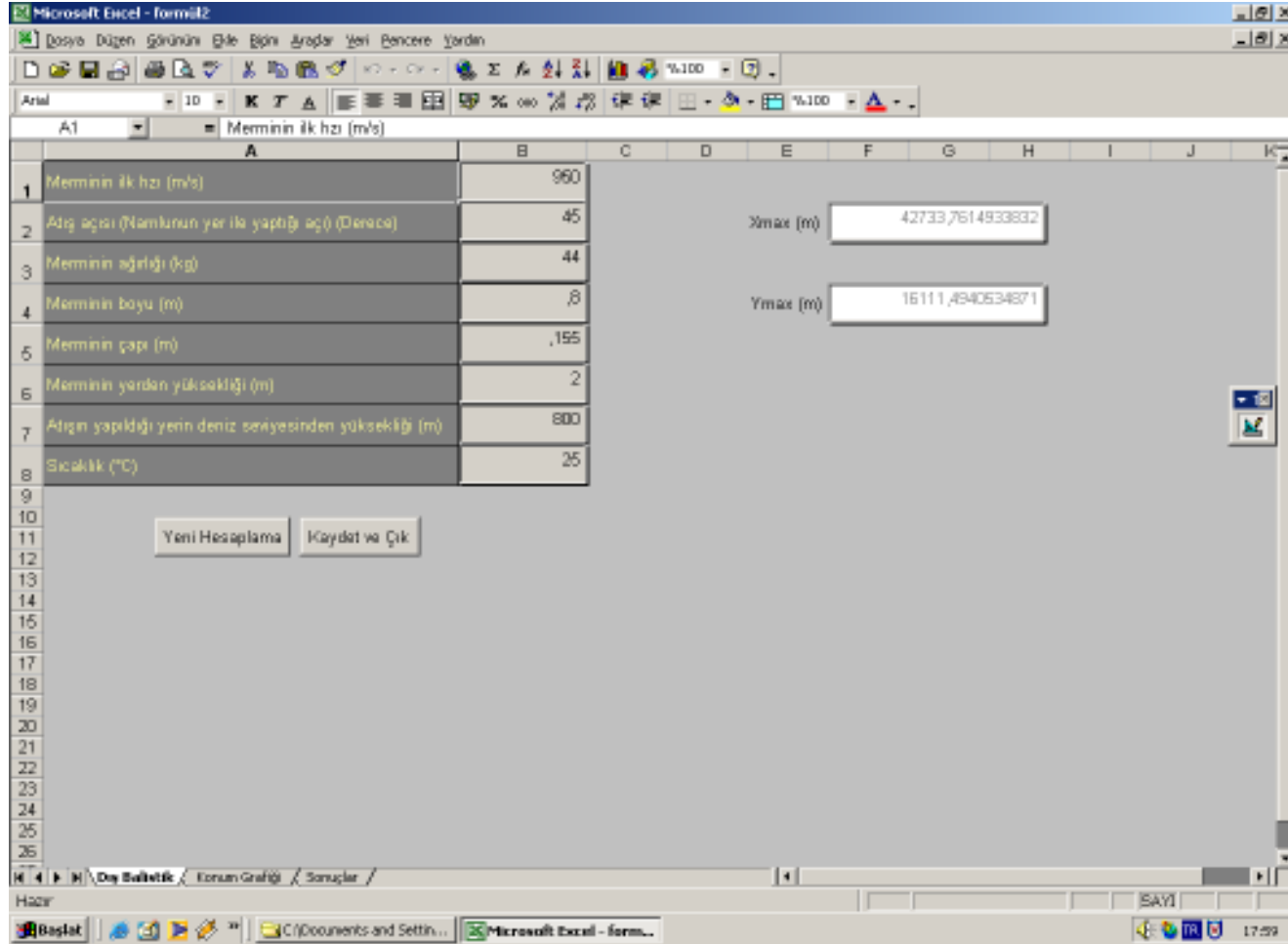




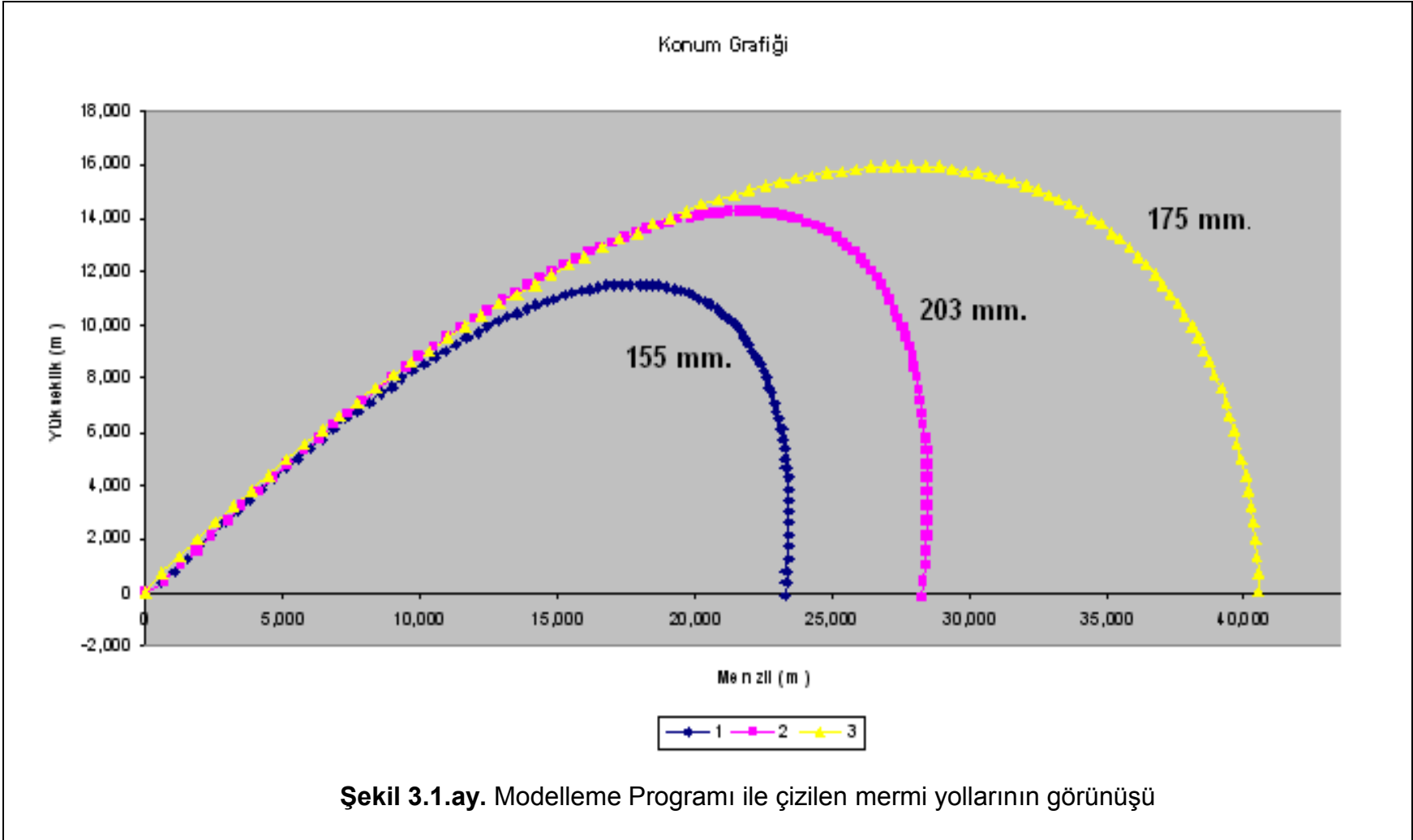




Şekil 3.1.au. Basıncın Süpürülen Alana Bağlı Değişimi (MG27)(203 mm mod 650)



Şekil 3.1.av. Örnek Modelleme Programının ekrandaki görünümü

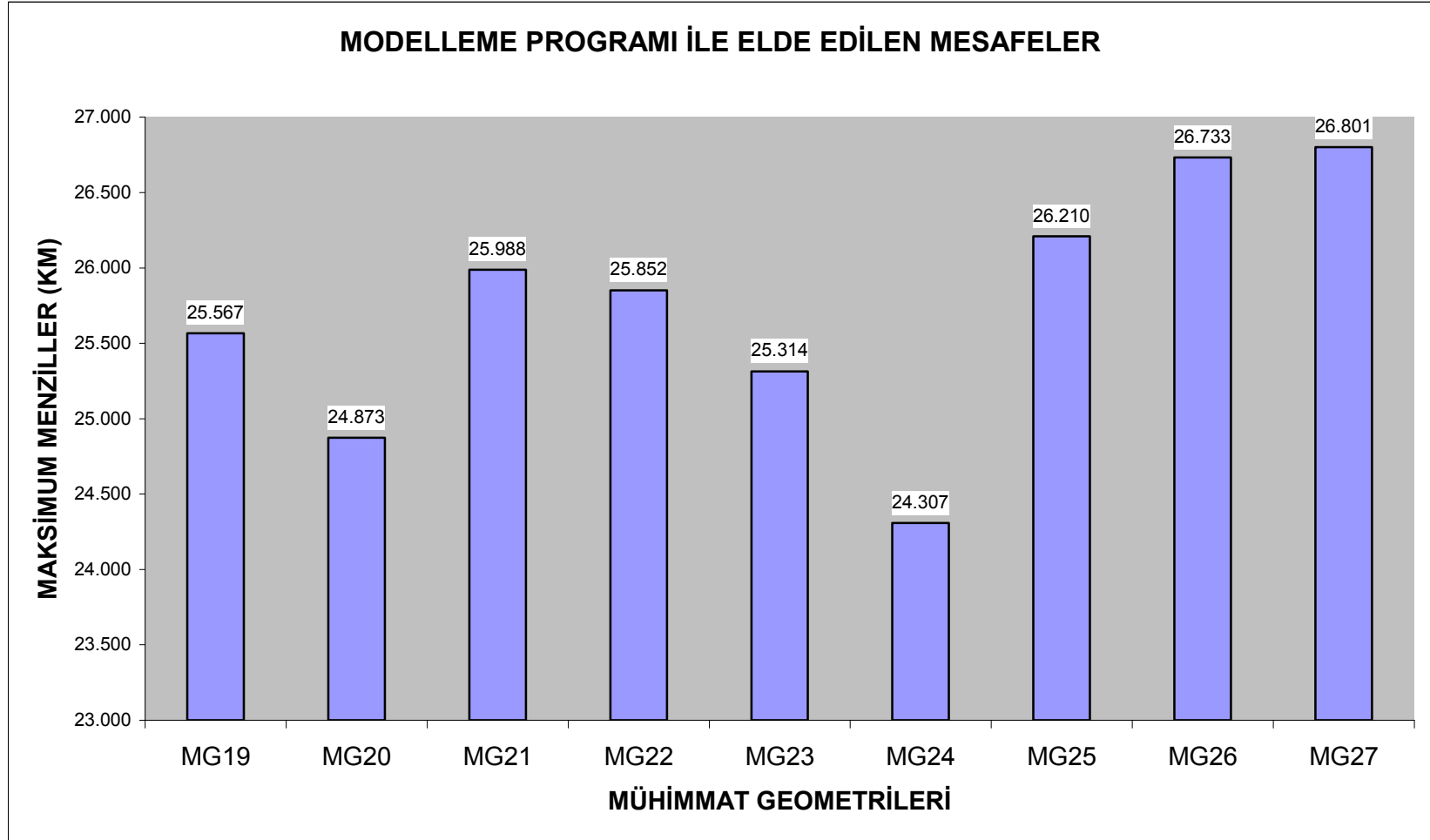


Mermi üzerindeki değişken kuvvetler incelendikten sonra model programı ile menzilleri hesaplanmış, tablo olarak oluşturulmuştur.

Çizelge 3.1.az. Modelleme programı ile elde edilen mesafeler

Mühimmatın Geometrisi	Merminin Uçuş Menzili (km)
MG19(203 mm mod 650)	25.567
MG20 (203 mm mod 650)	24.873
MG21 (203 mm mod 650)	25.988
MG22 (203 mm mod 650)	25.852
MG23 (203 mm mod 650)	25.314
MG24 (203 mm mod 650)	24.307
MG25 (203 mm mod 650)	26.210
MG26 (203 mm mod 650)	26.733
MG27(203 mm mod 650)	26.801

Tablodan görüldüğü gibi, 203 mm.çapındaki mermilerin uçuş menzilleri mühimmatın geometrisine bağlı olarak değişmektedir. MG27 rumuzlu mühimmat, kendi basınç-alan grafiğinde görüldüğü gibi üzerinde en az sürtünme kuvveti oluşan ve dolayısı ile diğerleri içinde en uzun mesafeye gidebilen geometriye sahip mühimmat olarak değerlendirilmektedir.



Şekil 3.1.ba. Modelleme programı ile elde edilen mesafelerin grafiği(203 mm mod 650)

Tasarlamış olduğumuz farklı mermi geometrileri üzerindeki oluşan kuvvetlerin değişimleri ve bu mermilerin ulaşabileceği maksimum menziller incelenmiştir.

Yapılan bu çalışmada, mermi çapı ile mermi boyu arasındaki bağıntı ile mermi uç geometrisindeki değişimlerin merminin menziline etkileri modelleme programı ve atışlardan elde edilen sonuçlar değerlendirilerek araştırılmıştır.

Çalışmaların sonucunda atış şartlarında mermi uç geometrisindeki değişimlerle merminin aynı atış şartlarında farklı mesafelere gittiği tespit edilmiştir. Hava direnci merminin biçimine bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Aynı atış şartlarında uç geometrisindeki açı daraldıkça merminin uçuş menzili artmaktadır. Uç geometrisinin sivri olması hava direnç kuvvetlerini düşürmektedir. Ancak bu sivriliğin merminin uçuş esnasında kararlı gidebilmesi için belli sınırlar içinde olduğu, kararlılık sınırı aşıldığında mermide yalpalama başlayacağı daha önce yapılan atışlardan tecrübi olarak bilinmektedir. Seçilen mermi geometrilerinde bu husus dikkate alınmıştır.

Çeşitli çapta mermilerin model programla ve atış sonucunda elde edilen menzil değerleri birbiriyle karşılaştırılmış ve bu hesaplamalar sonucunda elde edilen sapma değerleri çizelge halinde aşağıya çıkarılmıştır.

Çizelge 3.1.bb. Model programla elde edilen çeşitli çapta mermi menzillerinin
mühimmat geometrisi yönünden karşılaştırılması

155 mm		175 mm		203 mm	
Rumuz	Menzil (m)	Rumuz	Menzil (m)	Rumuz	Menzil (m)
MG1	19.567	MG10	40.567	MG19	25.567
MG2	20.743	MG11	40.873	MG20	24.873
MG3	20.678	MG12	40.988	MG21	25.988
MG4	21.320	MG13	41.210	MG22	25.852
MG5	22.643	MG14	42.733	MG23	25.314
MG6	22.921	MG15	42.901	MG24	24.307
MG7	21.682	MG16	41.852	MG25	26.210
MG8	21.424	MG17	41.314	MG26	26.733
MG9	21.301	MG18	41.307	MG27	26.801

- 155 mm.mermi için MG6 rumuzlu mühimmat geometrisinde max menzil,
 - 175 mm.mermi için MG15 rumuzlu mühimmat geometrisinde max menzil,
 - 203 mm.mermi için MG27 rumuzlu mühimmat geometrisinde max menzil
- elde edildiği çizelgede görülmektedir.

Çizelge 3.1.bc. Model programla ve atış sonucunda elde edilen çeşitli çapta mermi menzillerinin karşılaştırılması ve sapmanın hesaplanması

Çap (mm)	Rumuz	Model programla elde edilen menzil (m)	Atış sonucu elde edilen menzil (m)	Fark (m)	Model programla hesaplama daki sapma yüzdesi
155	MG6	22 921	22 800	+ 121	% 0,53+
175	MG15	42 901	42 500	+401	% 0,94+
203	MG27	26 801	26 000	+801	% 3,08+

4.SONUÇ:

Merminin üzerinde oluşan kuvvetlerin minimum seviyede olması, mermi menzilin maksimum seviyeye ulaşması anlamına gelmektedir.

Alan-basınç grafiklerinin incelenmesi sonucunda, 155 mm, 175 mm ve 203 mm.lik mermi geometrileri içerisinde en fazla mesafeye giden MG6, MG15 ve MG27 rumuzlu mermilerin, şekil bakımından üzerindeki standart kuvvetleri minimuma indiren bir yapıya sahip olduğu değerlendirilmektedir.

Çizelge 3.1.bb'de , 155 ve 175 mm.lik mermiler içinde en fazla mesafeye giden MG6 ve MG15 rumuzlu mermilerin çap/uzunluk oranı 1/4 olmasına karşılık, 203 mm.lik mermiler içinde en fazla mesafeye giden M27 rumuzlu merminin çap/uzunluk oranının 1/5 olduğu görülmektedir. Buradan, ağır silah mühimmatı olarak bilinen 155,175 ve 203 mm.lik mermilerin maksimum mesafeye erişebilmeleri için yapılacak bilgisayarlı modelleme çalışmalarında, mermi boy/uzunluk oranı değişiklikleri için, klasik hesaplamalarda kullanılan (k) gibi herhangi bir sabitenin kullanılmasına gerek olmadığı ortaya çıkmaktadır. Uzak mesafelere atılması planlanan yeni modern tip mermilerin içinde bulunması gereken ilave sevk tertibatları mermi ebadında değişikliklere yol açmakta, modern mermilerin uzunluğu bilinen ve alışılmış klasik mermi uzunluğundan daha fazla olmaktadır.

Çizelge 3.1.bc'nin yorumlanmasında ise, 155 ve 175 mm.lik mermilerin modelleme çalışmalarından elde edilen sapma sonuçlarının %0,53+ ve %0,94+ oranlarla gerçeğe yakın bir sonuç olduğu değerlendirilmektedir. 203 mm.lik

mermilerin modelleme çalışmalarından elde edilen %3,08+'lik sapma sonucunun ise modelleme programında mermi yoluna etki eden bazı faktörlerin yok olarak kabul edilmesinden kaynaklandığı değerlendirilmektedir.

Model programla ve atış sonucunda elde edilen çeşitli çapta mermi menzillerinin birbirleriyle karşılaştırılması sonucunda ; modelleme programı ile amaca yönelik somut sonuçlar alındığı değerlendirilmektedir.

KAYNAKLAR

1. Cranz, C. , “Lehrburch der Balistik (Manual of Ballistic) “ , Vol 2, Berlin, 1-261,1926.
2. Durak Umut, Dayanç Koray , Elaldı Faruk , Anlağan Ömer,(Tübitak-Sage, PK.16 Mamak ANKARA ,{udurak, kdayanc}@sage. tubitak.gov.tr. K.K.K'lığı,K.H.O ANKARA, elaldi@kho.edu.tr Tübitak, Tübitak Kavaklıdere ANKARA, omer.anlagan@tubitak.gov.tr)
3. Cranfield Üniversitesi makaleleri. www.cranfield.ac.uk. (Kasım 2006).
4. Öztürk, A. R. , “Dış Balistik” , Makine ve Kimya Endüstrisi Kurumu Mühimmat Fabrikası Genel Müdürlüğü Özel Yayınları, Kırıkkale, 1979.
5. Tuomainen, A. H., “Calibration of The Interior Ballistic Thermodynamic Model” , Edition 1, NATO, STANAG 4367, 1-45, 2001.
6. Tuomainen, A. H., “ The Thermodynamic Model of Interior Ballistic” , University of Helsinki, Helsinki, 1-78, 1996.
7. Fox, C. , “An Introduction to the Calculus of Variations” , Oxford University Pres, London, 25-120, İkinci Baskı.
8. Akçay, M., “Balistik” , Fen Edebiyat Fakültesi Ofset Tesisleri , Erzurum, 55-320, 1993.
9. Leeming, D.W., “Ballistics Group”, Royal Military College of Science, Shrivenham, UK, 1-95, 1996.
10. Hermann, E.E. “External Ballistics” ,Annapolis, Maryland, USA, 1-128, 1935.
11. Çengel, Y. A., Boles, M. A., “Thermodynamic an Engineering Approach” , Uluslararası Baskı, McGraw-Hill Company, Inc.,150-450, 1994.

12. Eğrican, A.N. “Çözümlü Termodinamik Problemleri”, Emin Ofset, İstanbul, 150-420, 1987.
13. “Anti-personel Weapons”, Stockholm International Peace Research Institute, Taylor and Francis Ltd. , London, 1-250, 1978.
14. Goldsmith, W. , and Backman, M.E. , “The Mechanics of Penetration of Projectiles into Targets” , Int. J. Engng. Sci. Vol. 99 pp. 1-99, Pergamon Press, Pergamon, 1978.
15. “International Ballistics” , HMSO, London, 1-180, 1951.
16. “Textbook of ballistics and Gunnery” , edited by Longdon L.W. , HMSO, London, 5-152, 1983.
17. Akçay, M., “Balistik” , Fen Edebiyat Fakültesi Ofset Tesisleri , Erzurum, 55-320, 1993.
18. EDOK, “YY 06-2 Geliştirilmiş Topçu Mühimmatı” ,Ankara,2004
19. Dorf, R. C., Bishop, R. H. , “Modern Control Systems ” , Prentice Hall, Inc., New Jersey, 1-106, Dokuzuncu Baskı, 2001.
20. Kreyszing, E., “Advanced Engineering Mathematics”, Seventh Edition, John Wiley & Sons Inc ., New York, 50-125, 1993.