

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**RDX 'IN DETONASYONUNDA FARKLI ZEMİNLER ÜZERİNDE
OLUŞTURACAĞI KRATERLERİN SAYISAL
DEĞERLENDİRİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İrfan ÖZSOY

Kimya Anabilim Dalı

ARALIK 2025

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**RDX 'IN DETONASYONUNDA FARKLI ZEMİNLER ÜZERİNDE
OLUŞTURACAĞI KRATERLERİN SAYISAL
DEĞERLENDİRİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İrfan ÖZSOY

Kimya Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Murat TEKER

ARALIK 2025

İrfan ÖZSOY tarafından hazırlanan “Rdx'ın Detonasyonunda Farklı Zeminler Üzerinde Oluşturacağı Kraterlerin Sayısal Değerlendirilmesi” adlı tez çalışması 16.06.2022 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği/oy çokluğu ile Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Anabilim Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi

Jüri Başkanı :

Jüri Üyesi :

Jüri Üyesi :



ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ

Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Lisansüstü Eğitim-Öğretim Yönetmeliğine ve Yükseköğretim Kurumları Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Yönergesine uygun olarak hazırlamış olduğum “RDX 'IN DETONASYONUNDA FARKLI ZEMİNLER ÜZERİNDE OLUŞTURACAĞI KRATERLERİN SAYISAL DEĞERLENDİRİLMESİ ” başlıklı tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmamın tüm aşamalarında yukarıda belirtilen yönetmelik ve yönergeye uygun davrandığımı, tezin içerdiği yenilik ve sonuçları başka bir yerden almadığımı, tezde kullandığım eserleri usulüne göre kaynak olarak gösterdiğimi, bu tezi başka bir bilim kuruluna akademik amaç ve unvan almak amacıyla vermediğimi ve 20.04.2016 tarihli Resmi Gazete’de yayımlanan Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin 9/2 ve 22/2 maddeleri gereğince Sakarya Üniversitesi’nin abonesi olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Enstitü tarafından belirlenmiş ölçütlere uygun rapor alındığını, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun ortaya çıkması halinde doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi beyan ederim.

(17/11/2025).

İrfan ÖZSOY





Bu tezi anneme, babama, eşime ve oğluma ithaf ediyorum ...



TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim boyunca bilgi birikimi, yönlendirmeleri ve ilham verici bakış açısıyla bana rehberlik eden saygıdeğer danışmanım Prof. Dr. Murat TEKER'e en derin şükranlarımı sunarım.

Bu çalışmanın ilerlemesinde gösterdiği özverili katkılar, sabrı ve sürekli akademik desteğiyle bana büyük güven veren değerli hocam Dr. Ayşe USLUOĞLU'na sonsuz teşekkür ederim.

Tez çalışmalarımda testlerin yapılmasında benden yardımlarını esirgemeyen Gürcan YILDIRIM ve Prof. Dr. Nusret AS'a en içten teşekkürlerimi sunarım.

Bu zorlu süreçte benden desteklerini esirgemeyen ve her konuda kolaylık sağlayan mesai arkadaşlarım Bomba Uzmanı Harun ALEMDAR ve Bomba Uzmanı Kadir Oğuzhan ŞİŞMAN'a gönülden teşekkür ederim.

Tez çalışmam süresince daima yanımda olan, sevgileri, anlayışları ve destekleriyle bana güç veren aileme en içten teşekkürlerimi sunarım. Bu süreç boyunca başarıma olan inancı ve göstermiş olduğu özveri için değerli aileme şükranlarımı arz ederim. Varlığı ve duaları, bu çalışmanın tamamlanmasında en önemli motivasyon kaynağım olmuştur. Ayrıca, zorlu anlarda yanımda olup beni motive eden tüm arkadaşlarıma gönülden teşekkür ederim.

İrfan ÖZSOY



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ	v
TEŞEKKÜR	ix
İÇİNDEKİLER	xi
KISALTMALAR	xiii
SİMGELER	xv
TABLO LİSTESİ	xvii
ŞEKİL LİSTESİ	xix
ÖZET	xxi
SUMMARY	xxiii
1. GİRİŞ	1
2. GENEL BİLGİLER	3
2.1. Enerjik Malzemeler	3
2.1.1. Yakıtlar	4
2.1.2. Piroteknikler	4
2.1.3. Patlayıcılar	4
2.1.3.1. Patlayıcı Maddelerin Sınıflandırılması	5
2.2. Patlayıcı Maddelerin Kimyasal Yapıları	7
3. DENEYSEL ÇALIŞMA VE YÖNTEM	15
3.1. Patlayıcı Madde Üzerinde Deneysel Çalışmalar	15
3.1.1. Hassasiyet Testi:	15
3.2. Ahşap Malzemeler Üzerinde Mukavemet Testleri	17
3.2.1. Ahşap Malzemeler	17
3.3. Patlayıcıya Ait Patlama Basıncı Hesaplanması	18
3.4. Ahşap Malzemeler Üzerinde Krater Oluşturma	19
4. SONUÇ VE ÖNERİLER	23
KAYNAKLAR	29
ÖZGEÇMİŞ	33



KISALTMALAR

C-J	: Chapman-Jouguet
HDN	: Hekzamin Dinitrat
HMX	: Oktogen
HMX	: Siklo tetrametilen tetranitramin
IR	: Kızıl Ötesi
KJ	: Kamlet-Jacobs
MA	: Molekül ağırlığı
PI	: Güç indeksi
RDX	: Hexogen
Ti	: Başlangıç sıcaklığı



SİMGELER

C	: Karbon
C°	: Celsius
C-4	: Kompozisyon 4
cm	: Santimetre
D	: Patlama hızı
dk	: Dakika
g	: Gram
H	: Hidrojen
K	: Kelvin
L	: Litre
m	: Metre
mL	: Mililitre
N	: Azot
n	: Mol sayısı
O	: Oksijen
P	: Patlama basıncı
V	: Gaz hacmi
γ	: Adyabatik üs
ρ	: Yoğunluk
Ω	: Oksijen dengesi



TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 2.1. Enerjik Malzemeler	4
Tablo 2.2. Patlayıcı maddelerin moleküler grruplarına göre sınıflandırılması.	8
Tablo 2.3. TNT (2,4,6-Trinitrotoluene) (Hışır, 2013)	9
Tablo 2.4. PETN (Pentaerythritol Tetranitrate).....	10
Tablo 2.5. Pikrik Asit (Picric acid, 2,4,6-trinitrophenol)	11
Tablo 2.6. Tablo adı yazılacak	12
Tablo 2.7. Tablo adı yazılacak	13
Tablo 2.8. Hesaplanan Patlayıcı performansı parametreleri	14
Tablo 3.1. Tablo adı yazılacak	16
Tablo 3.2. Tetikleme enerjileri	17
Tablo 3.3. Ahşap numunelerin Janka sertlik Test ölçüm değerleri	18
Tablo 4.1. (Çam yüzeyinde gerçekleştirilen detanasyon ait veriler)	24
Tablo 4.2. (Meşe yüzeyinde gerçekleştirilen detanasyon ait veriler).....	24
Tablo 4.3. (Kontraplak yüzeyinde gerçekleştirilen detanasyon ait veriler).....	25
Tablo 4.4. (Mdf yüzeyinde gerçekleştirilen detanasyon ait veriler).....	25
Tablo 4.5. (Sunta yüzeyinde gerçekleştirilen detanasyon ait veriler)	25
Tablo 4.6. Yüzey katsayıları.....	26
Tablo 4.7. Yüzey katsayıları.....	27



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1. Patlayıcı maddelerin genel sınıflandırılması	5
Şekil 2.2. Patlayıcı maddelerin ayrıntılı sınıflandırılması	6
Şekil 2.3. TNT'nin molekül yapısı	8
Şekil 2.4. PETN molekül yapısı.....	9
Şekil 2.5. Pikrik Asit [(NO ₂) ₃ C ₆ H ₂ OH] molekül yapısı.....	10
Şekil 2.6. HMX (Octogen, Hexogen's higher analogue)	11
Şekil 2.7. RDX in molekül yapısı	13
Şekil 2.8. RDX ait görüntü ve boyutu	13
Şekil 3.1. Düşen ağırlık darbe testi cihazı ve şematik gösterimi.	15
Şekil 3.2. Patlatma testi diyagramı	16
Şekil 3.3. Janka sertlik Test cihazının şematik görünümü.....	18
Şekil 3.4. Kinney ve Graham tarafından tanımlanan krater boyutları kullanılmıştır. 20	
Şekil 3.5. Çam ve meşe ahşaplarının deney sonrası görünümü	20
Şekil 3.6. Çam ve meşe ahşaplarının ölçümleri	21
Şekil 4.1. RDX'ın detonasyonunda farklı zeminler üzerinde kraterler oluşturma çalışmasının şematik görünümü.	23



RDX 'IN DETONASYONU SONUCU MEYDANA GELEN BASINCIN FARKLI ZEMİNLER ÜZERİNDE OLUŞTURACAĞI KRATERLERİN SAYISAL DEĞERLENDİRİLMESİ

ÖZET

Enerjik malzemeler, uygulama koşullarına bağlı olarak günümüzde çeşitli alanlarda kullanılmaktadır. Kullanım alanının genişlemesi yüksek enerjili kimyasal yapılarından ve alternatif yöntemlere göre daha ekonomik olmasından kaynaklanmaktadır. Bu malzemeler genellikle patlayıcılar (trinitrotoluen, pentaeritrol tetranitrat siklotrimetilenitrinitramin) itici gazlar (kara barut) piroteknik olarak sınıflandırılır. Çalışmada enerjik malzemelerden yüksek patlayıcılara ait inceleme yapılmıştır. Literatürde, patlayıcı malzemeler üzerine savunma sanayi (Erdik, 2017), mühendislik (Atasoy, 2019), endüstriyel uygulamalar (Nagy, 2015) ve bilimsel araştırma (Menekşe, 2024) alanlarında çalışmalar bildirilmiştir. Ayrıca, azitler ve nitraminler gibi nitro organik bileşikler içeren yeni konvansiyonel patlayıcılar geliştirilmektedir. Bu tür bileşiklere örnek olarak 2,4,6-triazido-1,3,5-trinitrobenzen ve 2-azido-1,3-dinitropropan verilebilir (Şen, 2013).

Siklik nitraminler (CNA'lar), yanma reaksiyonu modellemesi ve deneysel davranışları açısından yaygın olarak incelenmektedir (Ermolin ve Zarko, 1998; Strunin ve Nikolaeva, 2010; Strunin ve Nikolaeva, 2013).

Patlayıcı madde kullanımı yaygınlaşması aynı zamanda farklı zeminler üzerinde uygulaması gerekliliğini doğurur. Farklı zeminlerde uygulanması ise farklı krater oluşumu anlamına gelmektedir. Patlayıcılar ile farklı zeminler arasındaki etkileşim üzerine kapsamlı çalışmalara olan ihtiyaç artmaktadır. Bu çalışmanın amacı, RDX patlamasının ahşap yüzeyler üzerindeki yıkıcı etkilerini araştırmak, deneysel krater oluşumu verilerini ampirik krater oluşumu denklemleriyle karşılaştırmak ve elde edilen sonuçlara dayanarak farklı ahşap türleri için krater katsayılarını belirlemektir.

Yüzeylerde krater oluşumları ile ilgili olarak ahşap yüzeyler için yapılmış çalışmalara rastlanılmamıştır. Ahşap yüzeylerde, ahşabın cinsine göre yüzey sertlikleri ve mukavemetleri değiştirmektedir. Bu özellikler ahşabın karakteristik yapısının modifiye edilerek mukavemetlerinin patlamaya karşı oluşturdukları direncin test edilmesini sağlamaktadır.

Deneysel aşamada çeşitli ahşap numuneleri seçilmiş ve her malzemenin mukavemet ve sertlik değerleri ölçülmüştür. Patlama testleri RDX kullanılarak gerçekleştirilmiş ve her testte kullanılan kesin miktarlar dikkatlice hesaplanmıştır. Patlamadan sonra, ahşap yüzeylerde oluşan boşluk ve çatlakların çapları ölçülmüştür. Krater oluşumları ile ilgili yapılan çalışmalarda üretilen ampirik birçok denklem mevcuttur. Bunlardan çalışmalarımıza uygun olan Östmark ve Zhurova çalışmalarında kullanılan Kistiakowsky-Wilson kurallarını esas alan, Kamlet-Jacobs denklemleriyle hesaplandı. Çalışmamızda meydana gelen kraterin sayısal incelemesinden oluşumları ile ilgili hesaplamalarda kullanıldı.

$$D = 1.01(N^{0.5})(M_{ave} Q)^{0.25}(1+1.30\rho) \quad \text{ve}$$

$$P=1.558\rho^2(N)(M_{ave}Q)^{0.5}$$

[Östmark vd (2007), Zhurova, vd (2007)].

Bu denklemler, her ahşap malzeme için krater oluşum katsayılarının belirlenmesini sağlayarak, RDX patlamalarına maruz kalan farklı ahşapların mekanik tepkisini değerlendirmek için karşılaştırmalı bir çerçeve sunulmuştur.

Patlama testleri 2,5 kilogramlık ağırlığı sahip Drop Weight Impact test cihazı kullanıldı. Yapılan testlerde 60 ile 4 santim arasındaki farklı yüksekliklerden ağırlığın serbest düşmesi ile rdx numuneleri patlatıldı. Elde edilen verilerle rdx e ait patlama sınırları tespit edildi. Ölçülen sınır değerler kullanılarak rdx'in ahşap yüzeylerde patlamasıyla ilgili basınç ve enerji değerleri tespit edildi. Belirlenen miktarlardaki rdx yüzeylerde patlatarak krater oluşumları sağlandı. Oluşan kraterler sayısal olarak incelenerek, ahşabın mukavemet ve yüzey hissettik değerleriyle kıyaslanmıştır. Oluşan kraterler referans alınarak katsayı üretilmiştir. Bu katsayılar RDX ve TNT ye göre hesaplanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Enerjik malzemeler, Yüksek patlayıcılar, Krater oluşumu, RDX patlaması, Ahşap yüzey davranışı

NUMERICAL EVALUATION OF CRATERS FORMED BY RDX ON DIFFERENT GROUND DURING DETONATION

SUMMARY

Energetic materials are widely employed in numerous application areas due to their high-energy chemical structures and their relative economic efficiency compared with alternative technologies. In general terms, they are substances capable of rapidly releasing stored chemical energy as heat, gas, and pressure when subjected to stimuli such as impact, shock, friction, or thermal ignition. They are commonly classified as explosives (e.g., TNT, PETN, RDX), propellants (e.g., black powder) and pyrotechnic compositions. In this thesis, attention is focused on high explosives as a sub-group of energetic materials, and their interaction with wooden targets is examined in detail.

In the literature, explosives have been studied in a variety of contexts, including defense industry applications (Erdik, 2017), civil and military engineering (Atasoy, 2019), industrial operations such as mining and demolition (Nagy, 2015), and fundamental research on reaction mechanisms and detonation behavior (Menekşe, 2024). These studies highlight the central role of high explosives in technological development and national security. Parallel to conventional explosives, new nitro-organic energetic compounds—particularly azides and nitramines are being developed to achieve higher performance, controlled sensitivity, and improved environmental behavior. Compounds such as 2,4,6-triazido-1,3,5-trinitrobenzene and 2-azido-1,3-dinitropropane are cited as promising candidates for next-generation conventional explosives (Şen, 2013), illustrating the dynamic and rapidly evolving nature of research in energetic materials.

Among modern high explosives, cyclic nitramines (CNAs) such as RDX are of particular importance. Over recent decades, they have been extensively investigated in terms of combustion and detonation reaction modeling, as well as their experimental behavior under different loading and confinement conditions (Ermolin & Zarko, 1998; Strunin & Nikolaeva, 2010; Strunin & Nikolaeva, 2013). These studies address parameters such as reaction rates, pressure–time histories and temperature profiles, and clarify how microstructural features affect the propagation of the reaction front. The resulting knowledge contributes to safer design, improved damage prediction and optimized explosive formulations for specific applications.

As the use of explosives in both military and civilian settings expands, understanding how they behave on different substrates and ground conditions has become increasingly important. The interaction between an explosive charge and its target environment depends not only on the physical and chemical properties of the explosive itself, but also on the mechanical and structural characteristics of the impacted material. Detonations in or on soil, rock, concrete or wood produce distinct crater geometries and damage patterns. Consequently, there is a need for systematic studies that examine explosive–target interaction, with particular emphasis on crater formation, energy dissipation and stress-wave propagation, and that quantitatively relate target properties to observed crater geometries.

The aim of the present study is to investigate the destructive effects of RDX detonations on wooden surfaces, to compare experimentally observed crater formations with established empirical crater formation equations, and to determine crater coefficients for different wood types. The study thus seeks to develop a comparative framework linking the mechanical properties of selected woods—such as hardness and strength—to the size and morphology of craters generated by controlled RDX detonations. In this way, the work contributes to the understanding of how high explosives interact with anisotropic, heterogeneous and relatively low-density materials such as wood, which are frequently encountered in structural and infrastructural systems.

Although the literature contains many studies on crater formation in soils, rocks and concrete, systematic investigations focusing on wooden surfaces are scarce. Yet wood is a complex, anisotropic material whose behavior is strongly influenced by species, density, grain orientation, moisture content and internal defects. These factors, arising from the cellular and fibrous structure of wood, cause substantial variation in surface hardness and strength among species. Moreover, modification techniques such as densification, impregnation and chemical treatment can significantly alter the microstructure and mechanical properties of wood. Experimental investigations that relate such tailored properties to crater morphology are therefore crucial for the rational design of wood-based protective or sacrificial elements in blast-exposed structures.

In the experimental phase, different wood specimens were selected to represent a range of species and mechanical properties. Their hardness and strength values were measured using standard mechanical test methods prior to detonation. Subsequently, RDX charges of carefully calculated mass were detonated on the wooden surfaces. After each detonation, the diameters and depths of cavities and cracks were measured with appropriate instruments, providing a detailed quantitative description of crater geometry.

The experimental results were evaluated in the light of empirical relationships used to model crater formation. Among the numerous equations proposed in the literature, those used by Östmark et al. (2007) and Zhurova et al. (2007)—based on the Kistiakowsky–Wilson rules and expressed in Kamlet–Jacobs form—were found appropriate for the objectives of this study. In these formulations, detonation velocity (D) and detonation pressure (P) are given by

$$D = 1.01(N^{0.5})(M_{\text{ave}} Q)^{0.25}(1 + 1.30\rho) \quad \text{and} \quad P = 1.558\rho^2(N)(M_{\text{ave}} Q)^{0.5}$$

where N is the moles of gaseous products per gram of explosive, M_{ave} is the average molecular weight of these products, Q is the heat of detonation, and ρ is the explosive density. These relations enable estimation of the fundamental detonation parameters of RDX and their connection to crater dimensions on wooden targets.

By combining the measured crater diameters, depths and volumes with the calculated detonation parameters, crater formation coefficients were derived for each wood type. These coefficients provide compact, comparable indicators of the blast resistance of different woods and support predictive modeling and engineering design where damage to wooden elements under detonative loads must be assessed.

The detonation tests were performed using a 2.5 kg Drop Weight Impact device, with drop heights ranging from 60 cm to 4 cm. Adjusting the drop height controlled the impact energy and allowed the determination of initiation thresholds and safe

operating ranges for the RDX charges. The resulting data were used to identify detonation limits and to calculate associated pressure and energy values for RDX on wooden surfaces. After establishing suitable charge masses and initiation conditions, RDX was detonated on pre-characterized specimens, and the resulting craters were quantified and correlated with mechanical properties such as compressive and bending strength and surface hardness.

From these measurements, reference crater profiles were defined for each wood type and used to compute crater formation coefficients that express the relationship between RDX detonation conditions and damage to wooden targets. For broader applicability, these coefficients were normalized with respect to both RDX and TNT, two widely used high explosives. This normalization enables approximate translation of findings from one explosive system to another, subject to appropriate scaling.

In summary, the study presents a systematic experimental and analytical investigation of crater formation on wooden surfaces subjected to RDX detonations. By integrating mechanical characterization, controlled blast testing, empirical modeling via Kamlet–Jacobs equations and the derivation of crater formation coefficients normalized to RDX and TNT, it offers a coherent framework for assessing the response of wood to high-explosive loading and enriches the broader body of knowledge on explosive interaction with anisotropic, heterogeneous target materials.

Keywords: Energetic materials, High explosives, Crater formation, RDX explosion, Wood surface behavior



1. GİRİŞ

Enerjik malzemelerin Patlayıcılar Yakıtlar Piroteknikler olarak sınıflandırılmaktadır. Patlayıcı maddeler üzerine bir çok inceleme ve araştırmalar yapılmış olup, kullanım alanları ve endüstride kendisine daha fazla yer bulması konusu detaylı olarak açıklanmıştır. Patlayıcı maddelerin günümüzde bu kadar hızlı yaygınlaşmasının sebebi; birçok uygulamada yer bulması, maliyet açısından ekonomik ve yüksek enerjili kimyasal maddeler olmasından kaynaklanmaktadır. Patlayıcı maddeler hakkında literatürde Savunma Sanayi (Erdik, 2017). Endüstri (Nagy, 2015), Mühendislik (Atasoy, 2019), ve Bilimsel alanda (Menekşe, 2024) uygulamalarına ve teorik çalışmalar olduğu görülmüştür. Hatta bilinen nitro içeren organik maddelere azit grupları eklenerek yeni konvansiyonel patlayıcı maddeler üretilmektedir. 2,4,6-triazido-1,3,5-trinitro benzen, 2azido-1,3-dinitro-propan bu bileşiklere örnek verilebilir (Şen, 2013). RDX enerji sistemlerinin de bir parçası haline gelmektedir. Günümüzde döngüsel nitraminlerin (CNA'lar) yanma reaksiyonları modellenmesi ve deneysel çalışmalara ait çok sayıda makale bulunmaktadır (Ermolin ve Zarko, 1998; Strunin ve Nikolaeva, 2013; Strunin vd., 2010),

Patlayıcı maddelerden yüksek verim elde edilmesi ve spesifik özellikleri kontrollü bir şekilde kullanılabilmesi doğru matematiksel hesaplar ve belirlenecek doğru katsayılarla mümkün olmaktadır. Tez de RDX in temel özellikleri belirlenerek gerçekleşen patlama sonucunda meydana gelen kraterlerin sayısal değerlendirilmesi yapılmıştır.

Çalışmanın amacı, çeşitli ahşap yüzeylerde RDX'in patlatılmasıyla oluşan kraterlerin RDX miktarına göre krater çapına bağlı olarak değişiminin incelenecek ve ahşap malzemelere ait krater oluşum katsayılarını elde edilecektir. Bu katsayı kullanılarak Güvenlik ve Savunma alanında mühimmat, mühimmat içinde kullanılacak patlayıcı miktarı ve oluşturacağı kraterin hesaplamaları yapılacak olup, mühendislik alanında da kolaylık sağlayacağı düşünülmektedir. Uygulamalı olarak patlayıcıların test edilesi riskli, pahalı, zararlı, çevresel kirlilik oluşturması ve zaman alıcı testler yapılması yerine, farklı olası ihtimaller oluşturulacak matematiksel modellemeler ile sanal

ortamda kolaylıkla incelenebilmesi hedeflenmiştir. Özellikle madencilik ve inşaat sektörüne ait uygulamalarda kullanılmakla beraber bilişim ve makine mühendisliği alanlarında uygun programlar kullanılarak farklı alan ve zeminlerde patlamaya ait modellerin oluşturulmasında kullanılabileceği öngörülmektedir



2. GENEL BİLGİLER

2.1. Enerjik Malzemeler

Enerjik maddeler; Kararlı halde bulunan moleküllerin mekanik enerji ile hızlı bir şekilde bozunma tepkimesi vererek ortama enerji, ısı, ışık ve bozunma ürünleri üreten maddeler olarak tanımlanmaktadır (Politzer ve Murray, 2003).

Enerjik maddeler, reaksiyon gerçekleşmesinden sonra dönüşüme uğrayarak iç enerjisini ortama katı ve gaz olarak verebilir (Atakol, 2015).

Bu enerjik maddeler basınç ve şok etkisi altında moleküler bağlarında sahip olduğu potansiyel enerjiyi ekzotermik olarak açığa çıkarabilir. Bu yayılma süreci oldukça hızlı gerçekleşmektedir. Örneğin RDX in yayılma hızı 8750 m/s dir. Yanma Enerji ile Patlama enerjisi (tahrip gücü) arasında fark vardır. 1 (bir) kg petrolün yanma reaksiyonu sırasında açığa çıkan enerji aynı miktardaki TNT'nin patlama enerjisi ile kıyaslama yapıldığında petrolün enerjisinin yaklaşık 10 kat daha fazla olduğu bilinmektedir.

Tipik ısı değerleri (yaklaşık):

Benzin/hafif hidrokarbon yakıtları: ≈ 44 MJ/kg (metrik megajoule/kilogram).

TNT'nin eşdeğer enerjisi: 1 ton TNT = 4.184×10^9 J = 4.184 MJ.

Hidrokarbon yakıtlar (benzin/petrol) tam yanma sonucu çok daha fazla bağ enerjisi açığa çıkar. Nitro grupları ($-\text{NO}_2$) zaten kısmen “oksitlenmiş” halde olan patlayıcı moleküllerine kıyasla yakıttaki karbon ve hidrojenin oksijenle birleşerek CO_2 ve H_2O oluşturması daha fazla net enerji verir. Ayrıca “enerji miktarı” ile “enerjinin ne kadar hızlı açığa çıktığı (güç/brisans)” farklı kavramlardır: petrol kütle başına daha fazla toplam enerji taşır, ama TNT bunu çok daha kısa zamanda verir; bu yüzden TNT patlaması çok daha yıkıcı olarak hissedildiği bilinmektedir. TNT patlama reaksiyonu sırasında açığa çıkan enerjinin gücü yüz milyon kat daha büyüktür. Bu sebeple patlama enerjisi (tahrip gücü) ile yanma enerjisi karıştırılmamalıdır. Patlayıcı maddeler Patlama enerjisi (tahrip gücü) yüksek malzemelerdir. (Proud, 2013)

İnfilak gücü yüksek patlayıcı maddeler ait kimyasal reaksiyonlar çok hızlı gerçekleşmektedir. Patlama olayını yüksek basınçlı şok dalgası takip eder. İnfilak gücü yüksek patlayıcı maddeler 5500-9500 m/sn arasındaki hızlarda gerçekleşir. İnfilak (detonasyon) hızı (VOD : Velocity of detonation) enerjetik malzemelerin performansları hakkında bilgi verir. TNT, nitrogliserin ve RDX bu sınıfta değerlendirilir.

Enerjik malzemeler; yakıtlar, piroteknikler ve patlayıcılar olmak üzere üçe ayrılmaktadır (Tablo 2.1).

Tablo 2.1. Enerjik Malzemeler

Enerjik Malzemeler	Patlayıcılar	Askeri Patlayıcılar	
		Sivil patlayıcılar	
	Yakıtlar	Sevk yakıtları (Barut vs.)	
		Roket	yakıtları
		(kompozitler)	
	Piroteknikler	Havai fişekler vs.	

2.1.1. Yakıtlar

Yakıtlar günümüz sanayiinde itici güç olarak kullanılmaktadır. Patlayıcılara kıyasla tahrip güçleri daha düşüktür. Amonyum perklorat (AP) ve hidroksil uçlu polibütadien (HTPB) en çok bilinen katı roket yakıtlarıdır. Yanma genellikle oldukça şiddetli bir şekilde gerçekleşir ve buna bir alev veya kıvılcım eşlik eder; ancak infilaklı patlayıcılarda olduğu gibi keskin, yüksek sesli bir patlama meydana gelmemektedir. (Özkasapoğlu, 2022).

2.1.2. Piroteknikler

Piroteknikler milisaniye zaman aralığında reaksiyona girmektedir. Savunma sanayiinde kullanılmakla beraber, sivil amaçlarla da kullanılmaktadır. (Hofmann ve Rüdorff, 1966).

2.1.3. Patlayıcılar

Tarihsel olarak kullanılan ilk patlayıcı “kara barut” adıyla bilinmektedir. Kara barutun yemleme işlemi zor olduğu için 1831 yılında William Bickford’un emniyetli fitili geliştirmiştir. Alman bilim adamlarının atmosfer azotundan nitrik asit ve nitrat tuzları

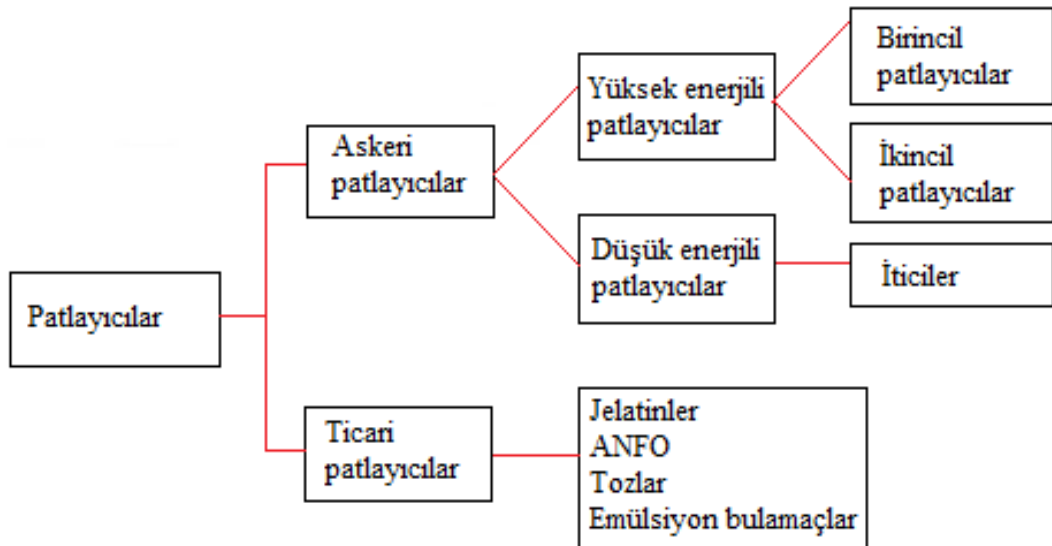
üretimini keşfetmesi patlayıcı maddelerin geliştirilmesi ve kullanımını hızlandırmıştır (Çakırer, 2000).

19. yüzyılda kimya endüstrisi ve bilim adamları yeni enerji maddeler üzerine çalışmalarına hız vermiştir. Nitrolama işlemi enerji maddelerden oluşturulan yeni bileşiklerde kullanılmaya başlandı. Pikrik asit ilk olarak 1771'de Pierre Wulfe tarafından hazırlanmış olup, Alman kimyager Hermann Sprengel tarafından 1871'de bu kimyasalın patlatılabileceğini keşfedilmiştir. 1885'te Fransız kimyager Eugene Turpin, pikrik asidin eritilerek topçu mermilerine döküldüğünde patlayıcı olarak kullanılabileceğini göstermiştir. 1891 yılında Almanya'da trinitrotoluen (TNT) birkaç yıl sonra RDX üretilmeye başlanmıştır. 19. yüzyıl enerji malzemelerin geliştirilmesinde önemli bir dönem olup, savunma sanayi alanında kullanımları bu dönemde geliştirilmiştir. II. Dünya Savaşı'nda RDX, PETN ve EDNA isimli patlayıcılarında kullanıldığı bilinmektedir (Anderson, 1989).

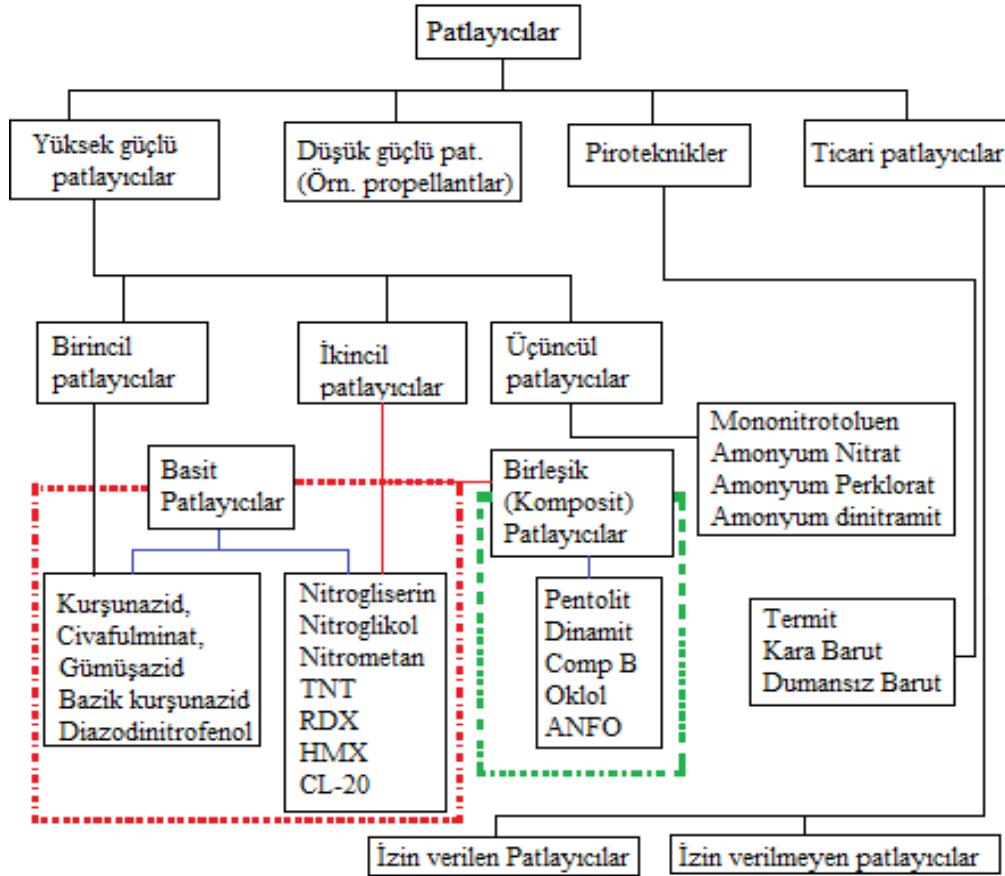
2.1.3.1. Patlayıcı Maddelerin Sınıflandırılması

Patlayıcı maddelere ait farklı sınıflandırmalara örnekler verilmiştir. Mühendislik, savunma sanayi veya askeri açıdan farklı sınıflandırmalarla karşılaşılabılır.

Patlayıcı maddeler, kimyasal yapıları göz önünde bulundurularak iki sınıfa ayrılabilir (Akhavan, 2004). Şekil 2.1 ve Şekil 2.2 de patlayıcıların genel ve ayrıntılı olarak sınıflandırılması verilmiştir.



Şekil 2.1. Patlayıcı maddelerin genel sınıflandırılması



Şekil 2.2. Patlayıcı maddelerin ayrıntılı sınıflandırılması

Patlayıcı maddelerin reaksiyonları patlama olayı olarak tanımlanmaktadır. Patlama olayı yüksek hızlarda gerçekleşen bir reaksiyon sırasında molekülün parçalanarak yüksek ısı meydana getirerek ani genleşme tepkimesidir. Patlama olayı yanma reaksiyonları sırasında da gerçekleşebilir. Bu duruma yanma reaksiyonunda oluşan gaz moleküllerinin genleşmesi patlama meydana gelir. Patlayıcı maddeler tutuşturuldukları zaman patlama olayı gerçekleşmeyebilir. Patlamanın gerçekleşmesi kıvılcım etkisinin yanında darbe etkisi gerekebilir. İkisi beraber etki ettiğinde reaksiyon sonucunda ortaya çıkan gazlarda yüksek ısı basınç ve ses etkisi gözlemlenmektedir (Öz, 2010).

Bir patlayıcının sahip olduğu potansiyel, kimyasal ve nükleer enerji şeklinde üç temel kaynaklı olabilir. (Joas ve Klapötke, 2014); Patlayıcı maddelere duyarlı ve duyarsız olarak temel bir sınıflandırma yapılırsa En çok kullanılan duyarlı patlayıcılara örnek olarak, Kurşun azit, Cıva fulminat, Diazodinitrofenol ve Tetrazendir.

Duyarsız patlayıcıların tahrip gücü daha yüksek duyarlılığı daha düşüktür. Bu özellikleri reaksiyonun başlatma yöntemini farklı kılmaktadır. Duyarlı patlayıcılarla

aynı yöntem kullanılmamaktadır. Duyarsız patlayıcıların patlama enerjisi için en düşük limit değeri 4 J, sürtünme de ise 80 N altında olup detonasyon hızı 6500-9000 m/s arasındadır (Joas ve Klapötke, 2014). Duyarsız patlayıcılara, Dinamit, TNT, RDX, HMS, HNS ve PETN örnek olarak verilebilir. (Oyler, Mehta, Cheng, 2015). Duyarsız patlayıcıların detonasyonu kıvılcım etkisi ile beraber darbe etkisi de gerekebilir. Duyarsız patlayıcıların bu özelliklerinden dolayı detonasyonlarında yemlemeye ihtiyaç duyulmaktadır (Özcasapoğlu, 2022). Yemleme mekanizması ise genellikle duyarlı patlayıcıların detonasyonu sonucu meydana gelen şok dalgaları ile sağlanmaktadır. Başka bir yolu ise pirotekniklerin veya yakıtların yanması sonucu meydana gelen yüksek sıcaklıktaki gazlar marifetiyle duyarsız patlayıcı detonasyonu gerçekleşmektedir (Joas, 2014).

Sınıflandırmanın çok daha iyi bir yolu, performansa ve kullanım alanlarına göre yapılır. Bu sınıflandırmayı kullanarak patlayıcılar üç sınıfa ayrılabilir; birincil patlayıcılar, ikincil patlayıcılar ve itici maddeler. Bu sınıflandırma Şekil 2.1’de görülmektedir.

2.2. Patlayıcı Maddelerin Kimyasal Yapıları

Patlayıcı maddeler molekül yapılarındaki fonksiyonel gruplara göre tanımlanabilir. Bu gruplara örnekler şunlardır:

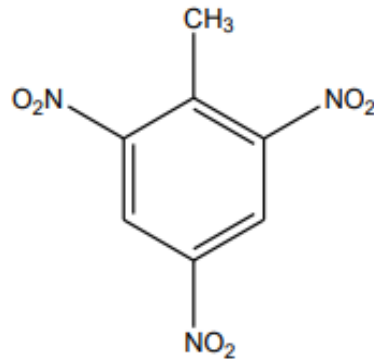
- 1) Azidler,
- 2) Klorik ve perklorik asit türevleri,
- 3) Nitraminler,
- 4) Nitro bileşikler,
- 5) Nitrik esterler,
- 6) Patlama özelliğine sahip moleküller (azotça zengin olan tetrazenler, fulminatlar, ozonitler, peroksitler ve asetilenürler).

Bir molekülün patlayıcı özellikleri ile yapısı arasındaki ilişki, sistematik olarak 1909 yılında van't Hoff ve 1953'te Plets tarafından ortaya atılmıştır. Plets'e göre, herhangi bir maddenin patlayıcı özellikleri belirli yapısal grupların mevcut olmasıyla mümkündür. Plets, moleküllerin patlayıcı olmasına yol açan fonksiyonel grupları Tablo 2.2’de gösterildiği gibi sınıflandırmıştır (Akhavan, 2004).

Tablo 2.2. Patlayıcı maddelerin moleküler grruplarına göre sınıflandırılması.

Gurup	Patlayıcı Bileşik
-O-O-O-	Anorganik ve organik ozonitler
-N-X ₂	Halojenür bileşikleri
-N=N=N-	Anorganik ve organik azitler
-C≡C-	Asetilen ve metal asetilenler
-O-O-	Anorganik ve organik peroksitler
-OClo ₂ ve -OClo ₃	Anorganik ve organik nitro ve nitratlar
-NO ₂ ve -ONO ₂	Anorganik ve organik nitro ve nitratlar
-N=C	Fulminatlar
M-C	Bazı organikmetalik yapıların karbon bağlı metal bileşikleri

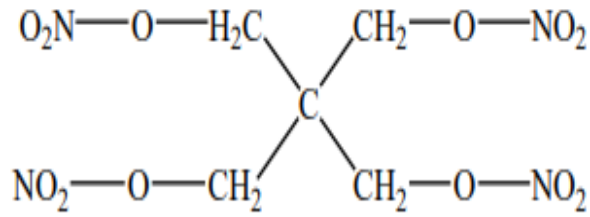
TNT ilk olarak Alman kimyager Joseph Wilbrand tarafından 1863 yılında sentezlenmiştir (Wilbrand, 2025). Toluen, nitrik asit ve sülfürik asit karışımı (nitrasyon karışımı) ile tepkimeye sokularak mononitrotoluenler (ortho ve para karışımı) elde edilir. Tekrar nitrasyon karışımı ile tepkimeye sokularak dinitrotoluenlere (başlıca 2,4-DNT) dönüştürülür. 2,4-DNT sülfürik asit içinde çözünmüş kükürt trioksit ve nitrik asit karışımı ile tepkimeye sokularak son ürün olan 2,4,6-trinitrotoluen elde edilir (Şekil 2.3). Bir ton TNT'nin patlamasıyla açığa çıkan enerji 4.184 gigajoule'dür.

**Şekil 2.3.** TNT'nin molekül yapısı

Tablo 2.3. TNT (2,4,6-Trinitrotoluene) (Hışır, 2013)

Özellik	Değer / Açıklama
Kimyasal formül	$C_7H_5N_3O_6$
Molekül kütlesi	$227.13 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$
Yoğunluk	$\approx 1.65 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ (varies with form)
Eritme	$\sim 80^\circ\text{C}$.
Ayrışma	$\sim 240^\circ\text{C}$.
Detonasyon hızı (VoD)	$\sim 6.9\text{--}7.1 \text{ km}\cdot\text{s}^{-1}$
CJ basıncı (örnek/edilgin)	$\sim 21 \text{ GPa}$
Hassasiyet	Göreceli olarak stabil; düşük hassasiyetli sekonder patlayıcı

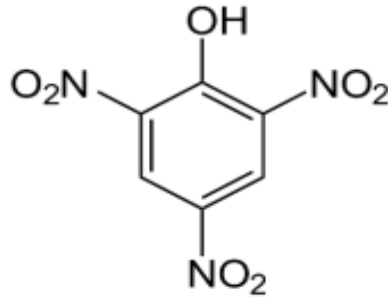
PETN, 1894 yılında pentaeritritolün nitrasyonu ile hazırlanmıştır. Askeri alanda kullanılan ve fabrikasyon olarak üretilen en güçlü patlayıcılardandır. PETN suda çözünmez bu özelliği onu sualtı tahripleri için elverişli hale getirmektedir. Şok ve darbelere karşı hassastır.

**Şekil 2.4.** PETN molekül yapısı

Tablo 2.4. PETN (Pentaerythritol Tetranitrate)

Özellik	Değer / Açıklama
Kimyasal formül	$C_5H_8N_4O_{12}$
Molekül kütlesi	$316.14 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$
Yoğunluk	$\approx 1.77\text{--}1.78 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$
Eritme /	$\sim 141 \text{ }^\circ\text{C}$
Ayrışma	$\sim 210^\circ\text{C}$
Detonasyon hızı (VoD)	$8.3\text{--}8.6 \text{ km}\cdot\text{s}^{-1}$ (yüksek performanslı sekonder)
CJ basıncı (örnek/edilgin)	Yüksek detonasyon basınçları; literatürde çeşitli deneysel raporlar mevcut
Hassasiyet	Yüksek enerji içeriğine rağmen RDX'den daha hassas; özellikle basınç ve elektrostatik etkilerinde dikkat

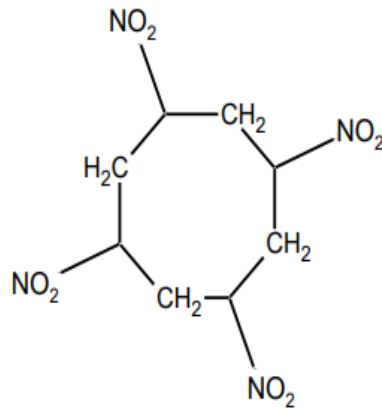
Fenolün saflaştırılıp daha sonra nitrolanması ile elde edilir.

**Şekil 2.5.** Pikrik Asit $[(NO_2)_3C_6H_2OH]$ molekül yapısı

Tablo 2.5. Pikrik Asit (Picric acid, 2,4,6-trinitrophenol)

Özellik	Değer / Açıklama
Kimyasal formül	$C_6H_3N_3O_7$ (or $C_6H_2(NO_2)_3OH$)
Molekül kütlesi	$229.10 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$
Yoğunluk	$\approx 1.77 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$
Çözünürlük	Orta derecede suda çözünür; nem ile ıslatılmış depolama tavsiye edilir
Erime	$121-122 \text{ }^\circ\text{C}$
Ayrışma	$\sim 300 \text{ }^\circ\text{C}$
Detonasyon hızı (VoD)	
CJ basıncı (örnek/edilgin)	
Hassasiyet	Kuru halde duyarlı; metallerle tuzlar oluşturarak çok daha hassas hale gelir (metal pikratlar)

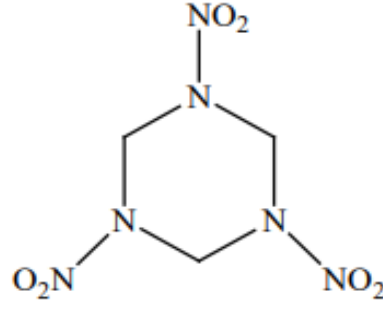
HMX, Amerika Birleşik Devletleri tarafından üretilmiştir. Oktagen veya cyclotetramethylenetetranitramine olarak adlandırılmaktadır. RDX üretiminde sentez yöntemine balı olarak HMX, %5 civarında, yan ürün olarak ortaya çıkmaktadır.

**Şekil 2.6.** HMX (Octogen, Hexogen's higher analogue)

Tablo 2.6. HMX (Cyclotetramethylenetetranitramine)

Özellik	Değer / Açıklama
Kimyasal formül	$C_4H_8N_8O_8$
CAS No	2691-41-0
Molekül kütlesi	$296.16 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$
Görünüm	Renksiz/beyaz kristal
Yoğunluk	$\approx 1.90 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ (25 °C)
Çözünürlük	Su içinde çok düşük (~5–7 mg/L)
Eritme	~276–286 °C
Ayrışma	
Detonasyon hızı (VoD)	~9.0 km·s ⁻¹ (yüksek yoğunlukta)
CJ basıncı (örnek/edilgin)	Çok yüksek CJ basınçları raporlanır (ölçüme göre değişir)
Hassasiyet	Sekonder patlayıcı; RDX'e benzer veya biraz daha az hassas/benzer hassasiyet

RDX birçok askeri mühimmatın temel bileşenidir. Bunlardan biri Kompozit A5 olarak adlandırılan, %99 RDX ve %1 balmumu içeren bir patlayıcıdır. Bir diğeri ise %60 RDX, %39 oranında TNT ve %1 vaks içermektedir ki Kompozit B olarak adlandırılır. Kompozit C ise yüksek oranda RDX içeren plastik patlayıcıdır. Genellikle C3 ve C4 türlerinin kullanılmasına rağmen C1 ve C2 türüne de rastlamak mümkündür. RDX farklı prosesler ile üretilmektedir. Örneğin KA ve K prosesleri iki farklı yöntem olarak kullanılmaktadır. KA prosesi heksametilentetramin doğrudan nitratlanır. Bu yöntemde Nitrik asit, amonyum nitrat, asetik anhidrit ve asetik asit karışımı kullanılarak üretim yapılır (Rice vd., 2002). K prosesi ise asetik anhidrit yoktur, heksamin dinitrat, amonyum nitrat ve nitrik asitten RDX sentezi yapılmaktadır. RDX su ile yıkama işleminden sonra asetondan geçirilip yeniden kristallendirilir. RDX sentezini 1899 yılında Henning tarafından yapılmış tedavi amacıyla kullanılmıştır. Patlayıcı olarak 1920 yılında Hertz tarafından kullanılmıştır. RDX'in üretimi 2. Dünya savaşı sırasında geliştirilmiş ve artırılmıştır.



Şekil 2.7. RDX in molekül yapısı



Şekil 2.8. RDX ait görüntü ve boyutu

Tablo 2.7. RDX (siklotrimetilen-trinitramin)

(Siklotrimetilentrinitramin)	
Kimyasal formül	$C_3H_6N_6O_6$
Molekül kütlesi	$222.24 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$
Yoğunluk	$\approx 1.80\text{--}1.82 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$
Eritme	Eritme $\sim 204 \text{ }^\circ\text{C}$
Ayrışma	$\sim 260 \text{ }^\circ\text{C}$
Detonasyon hızı (VoD)	$\sim 8.75 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$
CJ basıncı	34 GPa
Hassasiyet	Sekonder patlayıcı; PETN'den daha az hassas, güvenli işleme avantajı sağlar

Hesaplanan oksijen dengesi (α), standart oluşum ısısı ($\Delta_f H^\circ$), patlama (Q) kimyasal enerjisi, yoğunluk (ρ), patlama hızı (D) ve basınç (P) değerleri Tablo 10'da

listelenmiştir. $C_4H_6O_6N_4$ tipi patlayıcı için, oksijen dengesi (Ω) kaynaklara göre hesaplanmıştır (Kamlet ve Adolph, 1979).

Tablo 2.8. Hesaplanan Patlayıcı performansı parametreleri

Maddeler	Ω	$\Delta_f H^\circ$	Q	ρ	D	P
	(%)	(kJ.mol ⁻¹)	(kcal.g ⁻¹)	(g.cm ⁻³)	(km.s ⁻¹)	(Gpa)
	-21,6	70,3	1,38	1.82	8.75	34,9

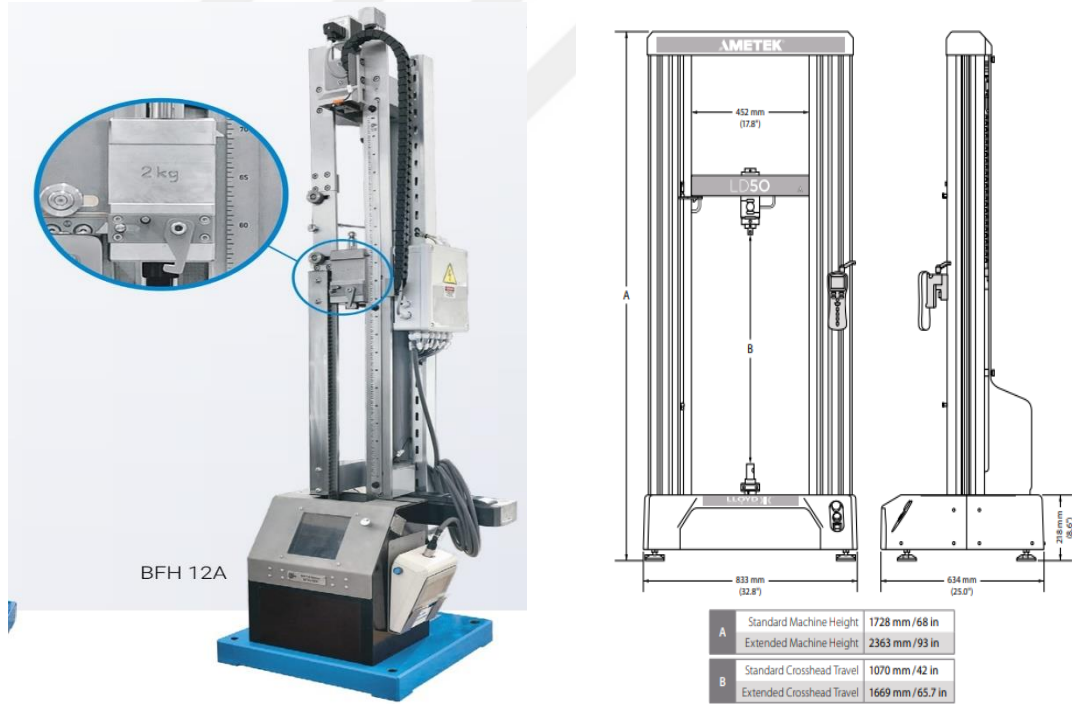
RDX genellikle askeri patlayıcı olarak kullanılmaktadır. Üç ayrı yöntem ile laboratuvar ortamında sentezlenen RDX' üretimi çalışmalarında amonyum nitrat kullanılmaktadır. Birinci yöntemde RDX direkt olarak HDN 'den üretimi yapılır. Bu sentez yöntemiyle %61 lik verimle RDX üretilir. İkinci yöntem de, HDN'ye amonyum nitrat eklenerek reaksiyon başlatılır ve %60 verimle RDX üretilir. Üçüncü yöntemde ise diğer parametreler sabit tutularak sıcaklık değiştirilir ve %73,62 verimle RDX elde edilir (Politzer ve Murray, 1996).

3. DENEYSEL ÇALIŞMA VE YÖNTEM

3.1. Patlayıcı Madde Üzerinde Deneysel Çalışmalar

3.1.1. Hassasiyet Testi:

Patlayıcıların hassasiyeti herhangi bir darbe ile karşılaştığında enerjik bir maddenin nasıl davranacağı ile ilgilenir. Hassasiyet çeşitlerini sürtünme, kıvılcım, şok, ısı ve darbe olarak sıralayabiliriz. Patlayıcıların darbe hassasiyeti fiziksel testlerle yapılmaktadır. Bu testler çekiç testi olarak tanımlanır. Bilinen bir m kütlesi h yüksekliğinden enerjik bir malzemenin üzerine atılarak gerçekleştirilen deneyde hangi yükseklikte patlamaya olayı gerçekleştiği saptanır (Varış, 2013). Nitro bileşiklerinin moleküldeki bağ ayrışma enerji değerleri ne kadar yüksek olursa, molekül kararlılığı o kadar azdır.



Şekil 3.1. Düşen ağırlık darbe testi cihazı ve şematik gösterimi.

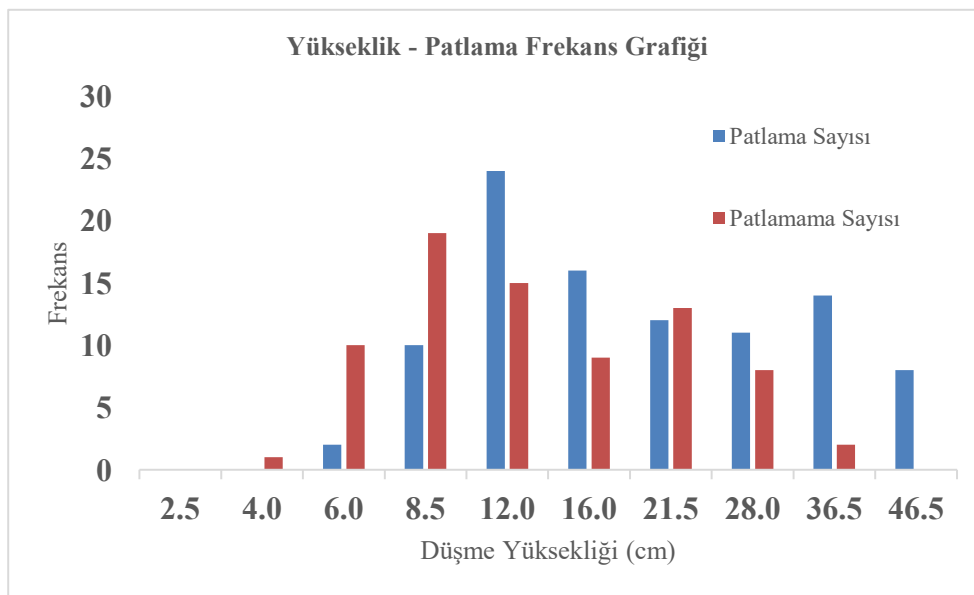
Düşen ağırlık darbe testi (Drop Weight Impact Test), patlayıcı maddelerin mekanik şoka duyarlılığını belirlemek için kullanılır. Bu Cihaz (OZM-BFH 12), 2.5 Kg ağırlık kullanılarak 100 cm ile 7 cm arasında serbest düşme ile maddenin patlayıcı özelliğini test etmektedir.

Patlayıcıların hassasiyeti herhangi bir darbe ile karşılaştığında enerjik bir maddenin nasıl davranacağı ile ilgilenir. RDX in detanasyon testleri Drop Weight İmpact Test Cihazı kullanılarak RDX in detanasyonu sonucu oluşturacağı basınç hesaplanmıştır.

Nitroalifatiklerde, nitratlarda ve nitrat esterlerinde, nitro grupları zayıf bağlıdır. Zayıf bağlı gruplar enerjik maddelerin ayrışmasında önemli bir özelliktir. Küçük bir darbe ile kopar ve patlamaya yol açmaktadır. RDX in detanasyon testleri Drop Weight İmpact Test Cihazı kullanılarak RDX in testleri yapılmıştır. (Tablo 3.1) Elde edilen sonuçlar grafik haline getirilmiştir. (Tablo 12)

Tablo 3.1. Düşen ağırlık darbe testine ait veriler

Yükseklik (cm)	Patlama Sayısı	Patlamama Sayısı
2,5		
4,0	0	1
6,0	2	10
8,5	10	19
12,0	24	15
16,0	16	9
21,5	12	13
28,0	11	8
36,5	14	2
46,5	8	0



Şekil 3.2. Patlatma testi diyagramı

En düşük 6 cm de patlama gerçekleşti. 4 cm ile 46,5 cm arasında testler yapıldı. Elde edilen verilerin doğru bir şeklide değerlendirilebilmesi için cihaza ait bazı değerlerin bilinmesi gerekmektedir. Düşen ağırlık darbe testi sonrasında elde edilen değerler potansiyel enerji formülü kullanılarak reaksiyon vermesi için gerekli enerji miktarı hesaplanmıştır. (Tablo 3.2)

Tablo 3.2. Tetikleme enerjileri

Düşme Yüksekliği (cm)	Yükseklik (m)	Potansiyel Enerji (J)
2.5	0.025	0.613
4.0	0.040	0.981
6.0	0.060	1.471
8.5	0.085	2.084
12.0	0.120	2.942
16.0	0.160	3.923
21.5	0.215	5.271
28.0	0.280	6.865
36.5	0.365	8.949
46.5	0.465	11.400

3.2. Ahşap Malzemeler Üzerinde Mukavemet Testleri

3.2.1. Ahşap Malzemeler

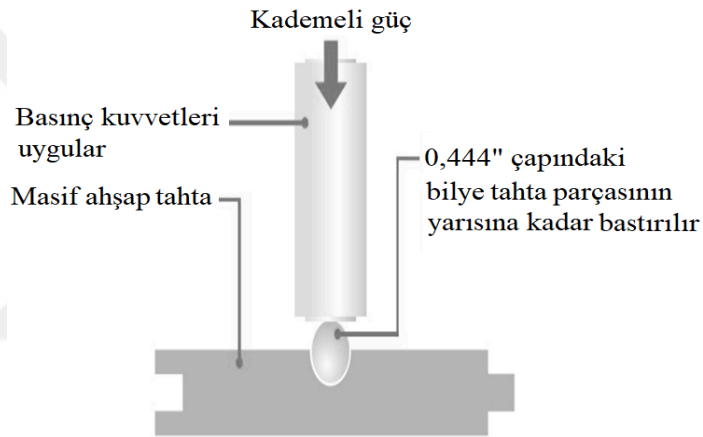
Deneysel aşamada, farklı fiziksel ve mekanik özelliklere sahip çeşitli ahşap numuneleri seçilmiş ve her malzemenin mukavemet ve sertlik değerleri ölçülmüştür.

Janka Sertlik değeri “odunun statik sertliğinin tayini” TS 2479 nolu standarda göre belirlenmiştir (TS 2479, 1976). Sertlik ölçüm yöntemlerinden en fazla kullanılanlardan birisi Janka sertliğidir. Janka sertliği ahşap türleri arasındaki farkları ortaya çıkarmaktadır. Bu sertlik testleri, mühendislik ve metalurji alanları için geliştirilen standartlaştırılmış bir sertlik testi olan Brinell ölçeğinden geliştirilmiştir (Bozkurt ve Erdin, 1997). Sertlik testi 1922'den beri kullanılmakta ve 1927'de bir ASTM standardı haline gelmiştir. Janka Sertlik testi, 11,28 mm (0,444 in) apındaki bir elik bilyeyi çapraz tane çapının yarısına kadar bir tahta bloğuna bastırmak için gereken kuvveti ölçer (Şekil 3.3). Bu kuvvet hem pound-kuvvet (lbf) hem de kilo-Newton (kN) cinsinden kaydedilir (Korkut ve Kocaefe, 2009).

Çalışmada önceden belirlediğimiz ahşap ürünlere ait sertlik ve basınç testleri yapıldı ve Tablo 3.3 te verildi.

Tablo 3.3. Ahşap numunelerin Janka sertlik Test ölçüm değerleri

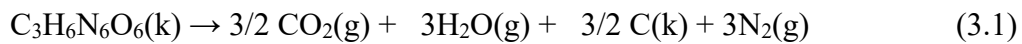
MALZEME	SERTLİK (Newton)	BASINÇ (MPa)
ÇAM	2334	6,2
MEŞE	3604	9,7
KONTRAPLAK	3681	8,5
MDF	3902	12,8
YL (SUNTA)	2175	4,5



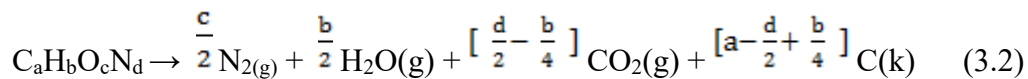
Şekil 3.3. Janka sertlik Test cihazının şematik görünümü.

3.3. Patlayıcıya Ait Patlama Basıncı Hesaplanması

RDX gibi yüksek patlayıcıların detanasyonundan sonra, oluşan ürünler, açığa çıkan enerji, üretilen gaz hacmi ve patlama sırasında oluşan sıcaklık incelenecektir. Patlamada gaz hacmi, tepkime sıcaklığı ve entalpik ısı, şok dalgası oluşturup iş yapma kapasitesini ortaya çıkarmaktadır. İş yapma kapasitesi üzerinden oluşturacağı kraterin sayısal analizini yapılmıştır. 1 mol RDX'in patlamasına ait detenasyon tepkimesi;



Patlayıcıya ait basıncın ve patlama hızının hesaplanmasında Kamlet – Jacobs denklemi kullanılır.



$$N = \frac{2c+2d+b}{48a+4b+56c+64d} \quad (3.3)$$

$$M = \frac{56c+88d-8b}{2c+2d+b} \quad (3.4)$$

$$Q = \frac{28.9b+47.0\left(d-\frac{b}{2}\right)+\Delta H_f^0}{12a+b+14c+16d} \quad (3.5)$$

$C_aH_bO_cN_d$ kapalı formülüne sahip bir patlayıcı türü için N , M_{ave} ve Q parametrelerinin hesabında kullanılan stokiyometrik ilişkiler aşağıdaki denklemde yerlerine konularak Denklem (1) ve Denklem (2) de Patlama hızı ve basıncı hesaplanmıştır.

$$\text{Denklem (1): } D = 1.01 \cdot (N^{0.5}) \cdot (M_{ave} \cdot Q)^{0.25} \cdot (1 + 1.30 \cdot \rho) \quad (3.6)$$

$$\text{Denklem (2): } P = 15.58 \cdot \rho^2 \cdot (N) \cdot (M_{ave} \cdot Q)^{0.5} \quad (3.7)$$

N : Gaz Ürünlerinin Mol Sayısı

M_{ave} : Gaz Ürünlerinin Ortalama Moleküler Ağırlığı

Q : Reaksiyon Isısı

ρ : Yükleme Yoğunluğu

D : Detonasyon hızı

P : Patlama basıncı

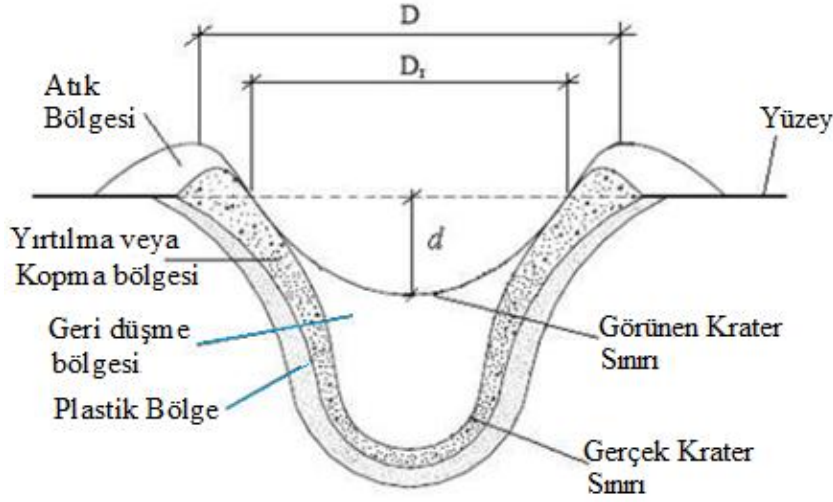
(Qiu vd. 2006) (Mott vd. 1967), (Nellist vd 1982).

Patlama Hızı (D): Yaklaşık 8.89 km/s

Patlama Basıncı (P): 356.8 kbar

3.4. Ahşap Malzemeler Üzerinde Krater Oluşturma

Patlama testleri RDX kullanılarak gerçekleştirilmiş ve her testte kullanılan kesin miktarlar dikkatlice hesaplanmıştır. Patlamadan sonra, ahşap yüzeylerde oluşan boşluk ve çatlakların çapları ölçülmüştür. Her ahşap türü için krater katsayılarını hesaplamak için aşağıdaki ampirik denklemler uygulanmıştır:



Şekil 3.4. Kinney ve Graham tarafından tanımlanan krater boyutları kullanılmıştır.

$$D [m] = 0.8[W(Kg)]^{1/3} \quad (3.8)$$

200 farklı kazadan elde edilen ortalama değer (Nagy 2015)

(Plastic) Plastik Bölge: Toprağın normal yoğunluğundan daha yüksek bir yoğunluğa deforme olduğu ve sıkıştığı bölgedir.

- 1) Yırtılma veya Kopma bölgesi: Patlama nedeniyle parçalanan ve hasarlı bölgedir.
- 2) Geri düşme bölgesi: Bunun ötesinde, fırlatılan toprağın boşluğa geri döndüğü, gerçek (orijinal) krater sınırını gizleyen ve görünen kraterin sınırını oluşturan üçüncü bölge
- 3) Atık Bölgesi: Krater kenarının dış kısmını oluşturan son bölgedir.

Kinney ve Graham tarafından tanımlanan krater boyutları (Şekil 3.4) kullanılarak yapılan testlere ait veriler ve şekiller aşağıda sıralanmıştır.



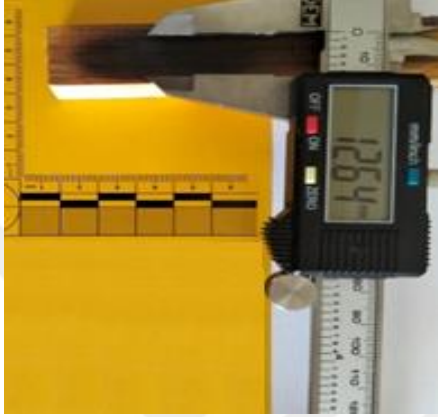
Şekil 3.5. Çam ve meşe ahşaplarının deney sonrası görünümü



Şekil 3.6. (çam 1)



Şekil 3.7. (Meşe 1)



(çam 2)



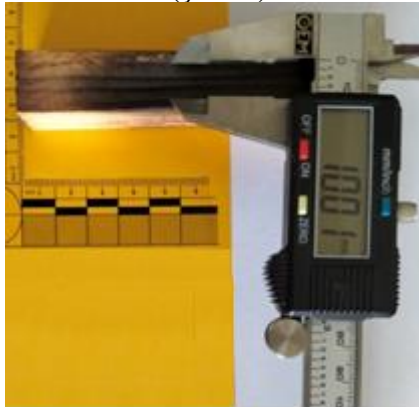
(Meşe 2)



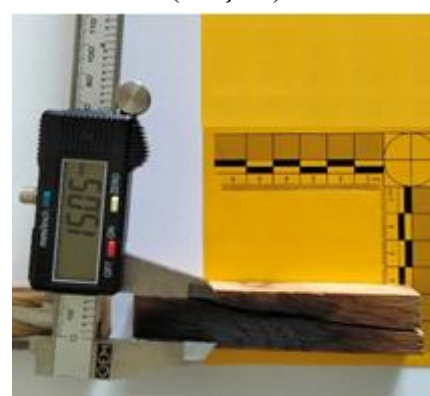
(çam 3)



(Meşe 3)



(çam 4)



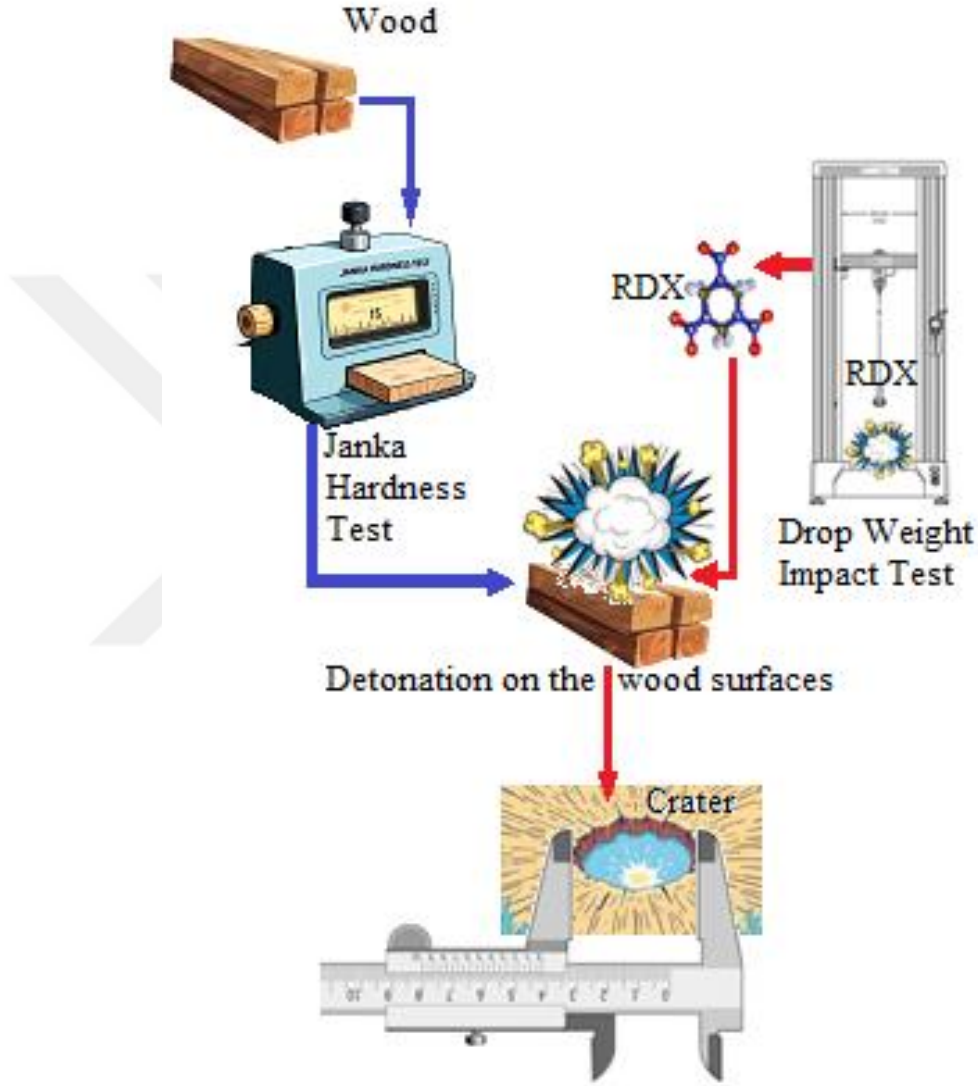
(Meşe 4)

Şekil 3.6. Çam ve meşe ahşaplarının ölçümleri



4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Çalışmanın şematik sunumu şekil 4.1 de verilmiştir.



Şekil 4.1. RDX'in detonasyonunda farklı zeminler üzerinde kraterler oluşturma çalışmasının şematik görünümü.

Çalışmamızda yapılan testlere ait sonuçlardan elde edilen veriler ile yeraltı patlamalarına ait literatürden ulaşılmış bilgiler karşılaştırılmıştır. Kinney ve Graham tarafından nispeten büyük patlamalarda yaklaşık 200 kazara yer üstü patlamasının istatistiksel çalışmalarına ait verilerden elde edilen ampirik denklem ve katsayısı kıyaslama için kullanılmıştır.

$$D[m] = 0.8W [Kg]^{1/3} \quad (3.8)$$

Ek deneysel kanıt, EMRTC (Energetic Materials Research Center of the Mineralogical and Technologic Institute of New Mexico) tarafından gerçekleştirilen yüzey patlamaları sırasında elde edilmiştir. EMRTC, patlatma gücünü kontrol etmenin alternatif yollarını araştırmak için deneysel belirlemeler yapmıştır. Bu programda, zemin seviyesine yerleştirilmiş 250 kg TNT'nin patlaması, 3.8 m çapında bir krater oluşturmuştur.

Deneylerde kullanmak için RDX isimli patlayıcı seçildi. Ahşap zeminler üzerinde detanasyon gerçekleştirildi. Oluşan kraterlerin ölçümleri yapıldı. Literatürde tanımlanan patlayıcı madde dönüşüm oranları kullanılarak veriler TNT cinsinden tekrar hesaplanarak tabloda yer verilmiştir. (Tablo 4.1, Tablo 4.2, Tablo 4.3, Tablo 4.4, Tablo 4.5)

Tablo 4.1. (Çam yüzeyinde gerçekleştirilen detanasyon ait veriler)

AHŞAP TÜRÜ	TNT (gr)	RDX (gr)	RDX KRATER(CM)
ÇAM	0.0032	0.002	1.10
	0.0048	0.003	1.26
	0.0064	0.004	1.30
	0.0080	0.005	1.50

Tablo 4.2. (Meşe yüzeyinde gerçekleştirilen detanasyon ait veriler)

AHŞAP TÜRÜ	TNT (gr)	RDX (gr)	RDX KRATER(cm)
MEŞE	0.0032	0.002	0.74
	0.0048	0.003	0.84
	0.0064	0.004	0.93
	0.0080	0.005	1.00 (parçalandı)

Tablo 4.3. (Kontraplak yüzeyinde gerçekleştirilen detanasyon ait veriler)

AHŞAP TÜRÜ	TNT (gr)	RDX (gr)	RDX KRATER(CM)
KONTRAPLAK	0.0032	0.002	0.82
	0.0048	0.003	0.93
	0.0064	0.004	0.96
	0.0080	0.005	1.10

Tablo 4.4. (Mdf yüzeyinde gerçekleştirilen detanasyon ait veriler)

AHŞAP TÜRÜ	TNT (gr)	RDX (gr)	RDX KRATER(CM)
MDF	0.0032	0.002	0.55
	0.0048	0.003	0.63
	0.0064	0.004	0.65
	0.0080	0.005	0.75

Tablo 4.5. (Sunta yüzeyinde gerçekleştirilen detanasyon ait veriler)

AHŞAP TÜRÜ	TNT (gr)	RDX (gr)	RDX KRATER(CM)
YL (SUNTA)	0.0032	0.002	1.55
	0.0048	0.003	1.75
	0.0064	0.004	1.82
	0.0080	0.005	2.08

Patlatma deneyleri sonrasında elde edilen veriler tablo haline getirilmiştir. Veriler kullanılarak farklı ahşap zeminlere ait katsayılar üretilmiştir. Yapılan araştırmalarda toprak yüzeyinde yapılan çalışmalardan elde edilen Denklem 3.8 deki katsayıyla karşılaştırıldı.

Krater oluşuna ait kıyaslamada toprak zemin üzerinde yapılan çalışmalardan elde edilen veriler de kullanılmıştır. (Ambrosini ve Luccioni, 2006).

$$D [m] = 0.42 [W (Kg)]^{1/3} \quad (4.2)$$

Toprak zeminde programla elde edilen sonuç

$$D [m] = 0.61 [W (Kg)]^{1/3} \quad (4.3)$$

Toprak zeminde deneysel edilen sonuç

(Gorodilov LV, 1996)(Ambrosini, 2002).

Farklı zeminler üzerinde yapılan çalışmalarda elde edilen katsayılar üzerinde kıyaslama yapılmıştır. Aralarında sertlik hiyerarşisi oluşturulmuştur. (Tablo 5.6)

Tablo 4.6. Yüzey katsayıları

	(RDX)	(TNT)
ÇAM	$D [m] = 0.87 [W (Kg)]^{1/3}$	$D [m] = 0.74 [W (Kg)]^{1/3}$
MEŞE	$D [m] = 0.58 [W (Kg)]^{1/3}$	$D [m] = 0.50 [W (Kg)]^{1/3}$
KONTRAPLAK	$D [m] = 0.65 [W (Kg)]^{1/3}$	$D [m] = 0.53 [W (Kg)]^{1/3}$
MDF	$D [m] = 0.44 [W (Kg)]^{1/3}$	$D [m] = 0.36 [W (Kg)]^{1/3}$
YL (SUNTA)	$D [m] = 1.23 [W (Kg)]^{1/3}$	$D [m] = 1.03 [W (Kg)]^{1/3}$

Amprik olarak hesaplanan sonuçlara göre krater oluşumu sırasıyla YL (SUNTA)> ÇAM > TOPRAK > KONTRAPLAK > MEŞE > MDF şeklindedir. Hesaplanan değerler karşılaştırıldığında en düşük mukavemet değeri sunmaya ait en yüksekine ise Çam'a ait olduğu görüldü. Elde edilen sonuçlar 200 patlamadan elde edilen katsayıya göre mukavemet katsayıları oranları Tablo 5.7 de verilmiştir.

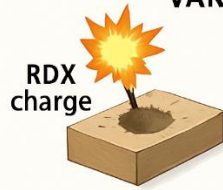
Tablo 4.7. Yüzey katsayıları

Zemin Tipi	Ahşap Deneysel Katsayısı (k)	Ortalama Deneysel Katsayısı (k)	Oran
TOPRAK	0.61	0,80	%23
MDF	0.44	0,80	%45
MEŞE	0.58	0,80	%27.50
KONTRAPLAK	0.65	0,80	%18.75
ÇAM	0.87	0,80	%8.75
YL (SUNTA)	1.23	0,80	%53.75

Sıralama bize malzemelerin basıncı nasıl sönümlendiğine dair bilgi vermektedir. Çalışmaların literatürdeki benzerlerine paralel seyrettiği ve yakın sonuçlar elde edildiği gözlemlenmiştir. Deneysel veriler ve edinilen teorik bilgi çerçevesinde malzemelerin mukavemet değerleri ile krater oluşumları arasındaki ilişki matematiksel denklemlerle ifade edilmiştir.

Sonuç olarak Enerjik malzemelerin (patlayıcılar, iticiler, piroteknikler) günümüzde, özellikle savunma sanayinde yaygın olarak kullanıldığı bilinmektedir. Bu yaygınlığın nedeni olarak, yüksek enerjili kimyasal yapılarının yanı sıra alternatif yöntemlere göre daha ekonomik olmaları gösterilmiştir. Literatürde patlayıcı malzemeler üzerine savunma, mühendislik, endüstriyel uygulamalar ve bilimsel araştırma alanlarında çalışmalar olduğu görülmüştür. Deneysel aşamada, ahşap numunelerin mukavemet ve sertlik değerlerinin ölçülmüştür. RDX'e ait detanasyonuna ait literatür verileri araştırılıp reaksiyona ait denklemlerle hesaplamalar yapılmıştır. Ahşap yüzeylerde krater oluşumu sağlanarak, oluşan kratere ait sayısal incelemenin verileri, ampirik krater oluşumu denklemleriyle karşılaştırıldı. Deneyler sonucunda, farklı ahşap türlerinin RDX patlamalarına karşı mekanik tepkisini değerlendirildi. Örnekler üzerinden krater oluşum katsayılarının belirlendi ve bu katsayıların RDX ve TNT'ye göre hesaplamaları yapıldı.

EXPERIMENTAL AND EMPIRICAL ANALYSIS OF CRATER FORMATION BY RDX DETONATION ON VARIOUS WOODEN SURFACES



Inverse Correlation:
Janka Hardness
⇔ Crater Formation
Coefficient (K)

MDF		12.8MPa	
Oak		10.5 MPa	
Plywood		7,6 MPa	
Pine		5.0 MPa	
YL/Chipboard		4,5 MPa	

$$D = K \times W^{\frac{1}{3}}$$

KAYNAKLAR

- A. Zhurova, V. V. Zhurov and A. A. Pinkerton, “ Structure and Bonding in β -HMX-Characterization of a Trans-Annular N...N Interaction.”, JACS, 129(45), 13887-13893, (2007)..
- Akhavan, J. (2004). *The chemistry of explosives* (2nd ed.). Royal Society of Chemistry.
- Ambrosini, R.D., Luccioni B.M “CRATERS PRODUCED BY EXPLOSIONS ON THE SOIL SURFACE”. Journal of Applied Mechanics, 73(6) 890-897, (2006).
- Ambrosini, R.D., Luccioni B.M., Danesi R.F., Riera J.D. and Rocha M.M. “Size of Craters Produced by Explosive Charges on or Above the Ground Surface”. Shock Waves, Springer Verlag. 12(1), 69-78, (2002).
- Anderson, K. J. (1989). Energetic materials, part II: Tnt and other military explosives. *MRS Bulletin*, 14(12), 63-64.
- Atakol, M. (2015). Amino, Nitro, Azido Grupları İçeren Tek ve İki Halkalı Aromatik Enerjik Maddelerin Kromatografik Yöntemlerle Analizlerinin Araştırılması, Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi
- Atasoy, A. (2019). *Laboratuvar Ölçekte Siklotrimetilen Trinitramin (RDX) Üretimi ve Karakterizasyonu* (Yayınlanmamış yüksek lisans tezi). Kırıkkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Savunma Teknolojileri Anabilim Dalı, Kırıkkale.
- Bozkurt, Y., & Erdin, N. (1997). *Ağaç teknolojisi ders kitabı* (Yayın No. 445). İstanbul Üniversitesi, Orman Fakültesi Yayınları.
- Çakırer, O. (2000). *Kimya*. Ankara: Kara Harp Okulu Basımevi, ss. 115-141.
- Çırnal Menekşe, B. (2024). *Wiberg Bağ İndeksi Hesaplamalarını Kullanarak Bazı Nitroaromatik Bileşiklerin Tetik Bağ Analizleri*” Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Anabilim Dalı, Balıkesir.
- Dobratz, B. M., & Crawford, P. C. (1985). "LLNL Explosives Handbook: Properties of Chemical Explosives and Explosive Simulants
- Drucker, D.C., Prager, W. (1952) “*Soil Mechanics And Plastic Analysis Or Limit Design*” Quart. Appl. Math. 10, 157.
- E. Mizuno, W.F. Chen, 1990. Nonlinear Analysis in Soil Mechanics Theory and Implementation, Elsevier Science, Amsterdam
- Erdik, A. (2017). *Mayın Patlamasına Maruz Kalan Zırhlı Bir Aracın Sayısal Simülasyon Modelinin Geliştirilmesi* (Doctoral dissertation, Sakarya Üniversitesi (Turkey)).
- Ermolin, N. E., ve Zarko, V. E. (1998). Modeling of Cyclic-Nitramine Combustion. *Combustion, Explosion and Shock Waves*, 34(5), 485-501.
- Ford, J.; et al. Nitromethane decomposition via automated reaction discovery and an ab initio corrected kinetic model. *J. Phys. Chem. A* 2021, 125, 1447–1460.

- Gorodilov LV, Sukhotin AP, "Experimental investigation of craters generated by explosions of underwater surface charges on sand". Combustion, Explosion, and Shock Waves, Vol. 32, No 3, pp 344-346 (1996).
- Hibbitt, Karlsson, Sorensen, 2002. ABAQUS Theory Manual, version 6.4, Hibbitt, Karlsson & Sorensen, Incorporated.
- Hofmann, K. A. (2013). *Anorganische Chemie*. Springer-Verlag.
- Hofmann, U. and Rüdorff, W. 1966. *Anorganische Chemie*, 35, Sohn, Braunschweig.
- Joas, M. B. (2014). *Investigations concerning the laser ignition of energetic coordination compounds* (Doctoral dissertation, lmu).
- Joas, M., Klapötke, T. M., & Szimhardt, N. (2014). Photosensitive Metal (II) Perchlorates with 1, 2-Bis [5-(1-methylhydrazinyl) tetrazol-1-yl] ethane as Ligand: Synthesis, Characterization and Laser Ignition. *European Journal of Inorganic Chemistry*, 2014(3), 493-498.
- Kamlet, M. J., & Adolph, H. G. (1979). The relationship of impact sensitivity with structure of organic high explosives. II. Polynitroaromatic explosives. *Propellants, Explosives, Pyrotechnics*, 4, 30–34.
- Kamlet, M. J., & Jacobs, S. J. (1968). "Chemistry of Detonations. I. A Simple Method for Calculating Detonation Properties of C-H-N-O Explosives." *The Journal of Chemical Physics*.
- Korkut, S., & Kocaefe, D. (2009). Isıl işlemin odun özellikleri üzerine etkisi. *Düzce Üniversitesi Ormancılık Dergisi*, 5(2), 11–34.
- Menekşe, B. Ç. (2024). *Wiberg Bağ İndeksi Hesaplamalarını Kullanarak Bazı Nitroaromatik Bileşiklerin Tetik Bağ Analizleri* (Master's thesis, Balıkesir University (Turkey)).
- Mott, N. F., & Baker, W. E. (1967). *Explosion Effects and Properties of Explosives*.
- Mu, Y., Wang, X., Liu, H., & Zhang, L. (2022). Observations on detonation growth of lead azide. *Journal/Repository*. (Lütfen derginin tam adını ve DOI varsa belirtiniz.)
- N.M. Nagy, Numerical Evaluation of Craters Produced by Explosions on the Soil Surface, Special issue of the International Conference on Computational and Experimental Science and Engineering (ICCESN 2014).
- Nagy, N. (2015). Numerical Evaluation Of Craters Produced By Explosions On The Soil Surface. *Acta Physica Polonica A*, 128(2B).
- Nellist, P., & White, D. (1982). Surface Explosion Crater Models. NATO STANAG raporları / teknik notlar
- Oyler, K. D., Mehta, N., & Cheng, G. (2015). *Overview of explosive initiators* (No. ARMETTR15017).
- Östmark H., Wallin S., and Goede P., "High energy density materials (HEDM): overview, theory and synthetic efforts at FOI.", *CEJEM*, 4(1-2), 83-108, (2007).

- Öz, S. (2010). Bazı Yeni Patlayıcı Maddelerin Termal Analiz Yöntemleriyle İncelenmesi, Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi
- Özkasapoğlu, G. (2022). *Duyarsız patlayıcıların detonasyonu için lazer tetikli detonatör düzeneği geliştirilmesi* (Doktora tezi). Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı, Ankara.
- Politzer, P., & Murray, J. S. (1996). Relationships between dissociation energies and electrostatic potentials of C–NO₂ bonds: Applications to impact sensitivities. *Journal of Molecular Structure: THEOCHEM*, 376, 419–424.
- Politzer, P., ve Murray, J. S. (2003). *Energetic materials: part 2. Detonation, combustion* (Vol. 13). Elsevier.
- Proud, W.G., Ignition and detonation in energetic materials: an introduction, Technical Report, STO-EN-AVT-214, S&T Organization, 2013.
- Qiu, L., Xiao, H., Gong, X., Ju, X., & Zhu, W. (2006). Theoretical studies on the structures, thermodynamic properties, detonation properties, and pyrolysis mechanisms of spiro nitramines. *Journal of Physical Chemistry B*, 110(10), 3797–3807.
- Rice, B. M., Sahu, S., & Owens, F. J. (2002). Density functional calculation of bond dissociation energies for NO₂ scission in some nitroaromatic molecules. *Journal of Molecular Structure: THEOCHEM*, 583, 69–72.
- Sakano, M. N.; et al. Unsupervised Learning-Based Multiscale Model of Thermochemistry in 1,3,5-Trinitro-1,3,5-triazinane (RDX). *J. Phys. Chem. A* 2020, 124, 9141–9155.
- Strunin, V. A., & Nikolaeva, L. I. (2013). Combustion Mechanism Of Rdx And Hmx and Possibilities Of Controlling The Combustion Characteristics Of Systems Based On Them. *Combustion, Explosion, and Shock Waves*, 49(1), 53-63.
- Strunin, V. A., Nikolaeva, L. I., & Manelis, G. B. (2010). Modeling of HMX combustion. *Russian Journal of Physical Chemistry B*, 4(4), 627-633.
- Şen, N. (2013). *Azit ve Nitro Grubu İçeren Organik Patlayıcı Maddelerin Termal Analiz Yöntemleri ile İncelenmesi Ve Yüksek Basıncılı Sıvı Kromatografisi Kullanarak Analiz Olanaklarının Araştırılması* (Doctoral dissertation, Ankara Üniversitesi (Turkey)).
- Türk Standartları Enstitüsü (TSE). (1976). *TS 2479: Odunda statik sertliğin tayini*. Ankara: TSE Yayınları.
- Wilbrand.J. <https://tr.wikipedia.org/wiki/> Son erişim tarihi 12/11/2025
- Varış, S. (2013). Molecular Modelling of Some Explosives and Propellants, Doktora Tezi, ODTÜ, Ankara
- Yuan, X. (2024). The detonation pressure measurement of lead azide based on PDV technology. *Journal of Physics: Conference Series*. (Cilt ve sayfa bilgisi eklenmeli.)



ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : İrfan ÖZSOY

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2006 yılı İnönü Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

- 2004-2005 Ülker Gıda Sanayi AR-GE Laboratuvarı
- 2007-2008 Askerlik yaptı (Mikrobiyoloji Laboratuvarında Gıda Kontrol Subayı)
- 2008-2025 Emniyet Genel Müdürlüğünde Polis Memuru (Bomba Uzmanı) olarak halen görev yapmakta

TEZDEN TÜRETİLEN ESERLER:

- 5th International Thales Congress On Life, Engineering, Architecture And Mathematics October 16-18, 2025 Online & In-Person Participation Zoom & Cairo, Egypt.ISBN: 978-9952-8605-2-8
DOI: <https://doi.org/10.30546/19023.978-9952-8605-2-8.2025.087>.