



PATLAYICI MADDELER: SINIFLANDIRMA, GÜNÜMÜZ UYGULAMALARI VE GELECEĞE YÖNELİK YÖNELİMLER

Seyhan ATEŞECELOĞLU^{1*}, Bülent İMAMOĞLU²

¹*İstanbul Gedik University, Institute of Graduate Studies, PhD Program in Defense Technologies, 34913, İstanbul, Türkiye*

²*İstanbul Nişantası University, Faculty of Engineering and Architecture, Department of Mechanical Engineering, 34450, İstanbul, Türkiye*

Özet: Antik Çağ'da askerî ve kültürel amaçlarla sınırlı bir kullanım alanına sahip olan patlayıcı maddeler, barut, dinamit ve modern patlayıcıların icadıyla, hem askerî hem de sivil alanlarda geniş bir kullanım alanına ulaşarak stratejik bir önem kazanmıştır. Bu stratejik önem, bilimsel ve teknolojik yeniliklerle desteklenmiş; devletlerin "bölgesel güç", "küresel güç" ve "süper güç" olma hedefleri doğrultusunda hızlanan silâhlı yarışlarıyla daha da artmıştır. Bu çalışmada, patlayıcı maddelerin bağ yapıları, temel elementleri ve atom çekirdek ağırlıkları gibi kriterler detaylı bir şekilde incelenmiş; bu sayede, patlayıcı maddelerin kapsamlı bir sınıflandırmasının yapılması hedeflenmiştir. Araştırma kapsamında, nitel yöntem kullanılarak ulusal ve uluslararası literatür taranmış ve mevcut sınıflandırmaların büyük ölçüde kimyasal patlayıcı maddelere odaklandığı, buna karşın nükleer patlayıcıların ihmal edildiği tespit edilmiştir. Bu eksikliği gidermek amacıyla, kimyasal ve nükleer patlayıcıları bir arada ele alan bütüncül bir sınıflandırma sistemi geliştirilmiş ve bir maddenin, patlayıcı olarak kabul edilebilmesi için gerekli kriterler belirlenmiştir. Ayrıca çalışmada, patlayıcı maddelerin yıkıcı ve yapıcı potansiyelleri ile kullanım alanları değerlendirilmiş; mevcut durumları ve gelecekteki potansiyel yönelimleri bütüncül bir yaklaşımla ele alınmıştır. Çevreye duyarlı ve sürdürülebilir patlayıcı madde teknolojilerinin geliştirilmesi için disiplinler arası araştırmaların teşvik edilmesi gerektiği vurgulanmıştır. Bu kapsamlı analizle, patlayıcı maddeler konusundaki mevcut bilgi birikimine katkıda bulunarak hem akademik literatüre hem de pratik uygulamalara değer sağlanması amaçlanmaktadır.

Anahtar kelimeler: Patlayıcılar, Patlayıcı sınıflandırması, Kimyasal patlayıcılar, Nükleer patlayıcılar

Explosive Materials: Classification, Current Applications and Future Trends

Abstract: Explosives, which had a limited area of use for military and cultural purposes in antiquity, gained strategic importance by reaching a wide range of uses in both military and civilian fields with the invention of gunpowder, dynamite and modern explosives. This strategic importance has been supported by scientific and technological innovations and has increased even more with the accelerated arms races in line with the goals of states to become "regional power", "global power" and "superpower". In this study, criteria such as the bond structures, basic elements and atomic nucleus weights of explosive materials are examined in detail; thus, it is aimed to make a comprehensive classification of explosive materials. Within the scope of the research, national and international literature was reviewed using qualitative methodology and it was found that existing classifications largely focus on chemical explosive materials, whereas nuclear explosives are neglected. In order to overcome this deficiency, a holistic classification system that handles chemical and nuclear explosives together was developed and criteria required for a substance to be considered as an explosive were determined. In addition, the destructive and constructive potentials of explosive materials and their areas of use were evaluated in this study, and potential future directions were discussed with a holistic approach. It is emphasized that interdisciplinary research should be encouraged for the development of environmentally friendly and sustainable explosive technologies. With this comprehensive analysis, it is aimed to provide value to both academic literature and practical applications by contributing to the existing body of knowledge on explosives.

Keywords: Explosives, Classification of explosives, Chemical explosives, Nuclear explosives

*Sorumlu yazar (Corresponding author): İstanbul Gedik University, Graduate School of Education, PhP Program in Defense Technologies, 34913, İstanbul, Türkiye

E mail: atesecelolu@gmail.com (S. ATEŞECELOĞLU)

Seyhan ATEŞECELOĞLU  <https://orcid.org/0009-0000-8060-0281>

Bülent İMAMOĞLU  <https://orcid.org/0000-0002-2833-5510>

Gönderi: 28 Aralık 2024

Kabul: 02 Şubat 2025

Yayınlanma: 15 Mayıs 2025

Received: December 28, 2024

Accepted: February 02, 2025

Published: May 15, 2025

Cite as: Atescelolu S, Imamoğlu B. 2025. Explosive materials: classification, current applications and future trends. BSJ Eng Sci, 8(3): 899-909.

1. Giriş

İnsanlık tarihini derinden etkileyen patlayıcı maddelerin ilk olarak ne zaman ve nerede keşfedildiği net olarak bilinmemekle birlikte, Klapötke (2017)'ye göre kara barut, yaklaşık olarak M.Ö. 220 yılında Antik Çin'de keşfedilmiştir. Ancak Antik Yunan tarihçilerinden Thucydides (1898)'in *Thucydides'in Tarihi* (*Thucydides Historiae*) adlı eserinde yer alan ateş, kükürt ve zift

karışımı (Yunan ateşi), modern patlayıcı maddelerden teknik özellikler ve bileşim açısından farklılık göstermesine rağmen bir tür patlayıcı madde olarak değerlendirilebilir. Bu nedenle, patlayıcı maddelerin tarihte karşılaşılan ilk kullanım örneği, M.Ö. 431-404 yılları arasındaki Peloponnesos Savaşları'na yani M.Ö. V. yüzyıla dayandığından patlayıcı maddelerin keşfinin M.Ö. V. yüzyıl ya da daha öncesine dayandığı anlaşılmaktadır.



En ilkel patlayıcı madde türlerinden biri olarak kabul edilebilecek Yunan ateşinin kimyasal formülü ve bileşimi tam olarak bilinmemekle birlikte, bazı kaynaklarda "Grejuva ateşi", "Bahrî ateş", "âteş-i bahrî" ve "âteş-i Rûmî" gibi isimlerle anılmaktadır (Vasiliev, 1943; Özcan, 1992). Bizans savaş stratejisinin merkezinde yer alan ve reçine, nafta, güherçile, kükürt, zift gibi bileşenlerle zenginleştirilen Yunan ateşi, Bizanslılar tarafından 674 – 678 yılları arasında vuku bulan Bizans – Arap Savaşları sırasında etkili bir şekilde kullanılmıştır.

Öte yandan, M.Ö. III. yüzyıl sonlarına doğru Çinliler tarafından keşfedilen kara barutun, zamanla İpek Yolu üzerinden Asya, Orta Doğu ve Avrupa'ya yayıldığına dair yaygın görüş olsa da, bazı görüşlere göre kara barut, Avrupalılar tarafından Çinlilerden bağımsız olarak keşfedilmiştir. Bu iki görüş arasındaki tartışma, kara barutun keşfi ve yayılımına dair kaynakların sınırlı olmasından ve mevcut verilerin yorumlanmasındaki bakış açılarındaki farklılıklardan kaynaklanmaktadır.

Avrupa'da kara barutun patlayıcı özellikleri, İngiliz Roger Bacon (1249) ve Alman Berthold Schwarz (1320) tarafından yürütülen çalışmalar sonucunda keşfedilmiş ve bu keşif, ateşli silâhların geliştirilmesinde uygulanmıştır (Klapötke, 2017). Avrupa'da Kilise'nin etkisi altında şekillenen bilim anlayışının hâkim olduğu Orta Çağ'ın ardından, deneysel yöntemlerin ve gözlemin öne çıktığı Rönesans dönemi, kara barutun hem askerî hem de sivil alanlarda geniş kapsamlı etkiler yaratmasına zemin hazırlamıştır. Bu etkiler sonucunda kara barut, ateşli silâhlar dışında ilk kez 1627 yılında Slovakya'da bir maden kuyusunun açılması sırasında madencilik sektöründe kullanılmaya başlanmış ve zamanla madencilik sektöründeki kullanımı dünya genelinde yaygınlaşmıştır (ÇSGB, 2015).

Yunan ateşi ve kara barutun icadı, patlayıcı maddelerin gelişim sürecinde önemli bir kilometre taşı olup, ilkel patlayıcı maddelerden modern patlayıcı maddelere geçişin temellerini atmıştır. Atılan bu temeller, 1846 yılında İtalyan kimyacı Sobrero tarafından nitroglicerinin (NG) keşfedilmesi ve 1867 yılında İsveçli mucit Alfred Nobel tarafından dinamitin icat edilmesiyle patlayıcı maddeler yeni boyut kazanarak modern patlayıcı maddelere geçiş sağlanmıştır (Akhavan, 2004). Bu gelişmelerle birlikte, özellikle barut gibi patlayıcı maddelerden çok daha güçlü ve etkili patlayıcı maddelere geçilmiştir. Bu süreç, 20. yüzyılın başından itibaren siklotrimetilen-trinitramin (RDX), siklotetrametilen-tetranitramin (HMX) ve nükleer patlayıcılar gibi daha gelişmiş patlayıcı maddelerin icat edilmesine zemin hazırlamış ve bu patlayıcıların üretimi, patlayıcı madde teknolojilerinin askerî, endüstriyel ve bilimsel alanlardaki kullanımında önemli dönüm noktaları oluşturmuştur.

Patlayıcı maddelerin icadı ve kullanım alanlarındaki bu gelişmeler, yalnızca bilimsel ve teknolojik ilerlemeleri değil, aynı zamanda çevresel, güvenlik ve etik sorunlarını da beraberinde getirmiştir. Bu minvalde, bilimsel ve teknolojik gelişmelere paralel olarak modern

patlayıcıların artan gücü ve etkinliği, her ne kadar uluslararası ilişkilerde caydırıcılık etkisi yaratarak güç dengesini etkilemiş olsa da, savaşların yıkıcılığını artırmış ve sivil alanlarda yanlış kullanım veya kazara meydana gelen patlamalar, doğada ve canlılar üzerinde onarılması neredeyse imkânsız olan ciddi çevresel ve ekolojik tahribatlara yol açmıştır.

Özellikle, Amerika Birleşik Devletleri tarafından İkinci Dünya Savaşı sırasında uranyum ve plütonyum atomlarının fisyon reaksiyonlarıyla üretilen "*Little Boy*" ve "*Fat Man*" isimli atom bombalarının 1945'te Hiroşima ve Nagazaki'ye atılması, ABD'nin askerî gücünü sergilemiş olsa da, her iki kentteki canlılar ve doğa üzerinde yarattığı tahribat, insanlık tarihinde kalıcı izler bırakmıştır. Bu felaket, savaşın sona ermesinde belirleyici bir rol oynamış ancak doğa ve insanlar üzerinde uzun vadeli ve kalıcı trajik sonuçlar doğurmuştur. Bu durum, uluslararası ilişkilerde devletler arasında önemli bir caydırıcılık unsuru oluşturarak, savaş sonrası dönemde Soğuk Savaş sürecini ve silâhlıma yarışını başlatmasının yanı sıra, patlayıcı maddelerin etik boyutuna ilişkin tartışmaları da gündeme getirmiştir. Bu tartışmalar, patlayıcı maddelerin çevre, ekosistem ve gelecek nesiller üzerindeki etkileri açısından sorgulanmasını ve özellikle de nükleer silâhların yayılmasının önlenmesine yönelik uluslararası çabaların artmasını sağlamıştır. Bu nedenle, patlayıcı maddeler dünya tarihinin en etkileyici icatlarından biri olmakla birlikte, doğa ve insanlar açısından da tehlikeli ve tartışmalı icatlardan biri olarak öne çıkmaktadır. Bu durum, patlayıcı maddelerin üretimi ve kullanımı konusunda daha dikkatli ve sorumlu bir yaklaşım gerektiren önemli sorunu gündeme getirmiştir. Ancak patlayıcı maddeler sadece askerî alanda stratejik bir mesele olmadığından, üretiminde ve kullanımında mevcut yararları göz önünde bulundurularak çevre, ekosistem ve canlılar üzerindeki bugünkü ve gelecekteki olumsuz etkilerinin de göz önüne alınması gerekmektedir.

Bu çalışma, dünya tarihinin önemli icatlarından biri olan patlayıcı maddelerin bağ yapıları, türlerine bağlı olarak yapılarındaki temel elementler ve atom çekirdeklerinin ağırlığı dikkate alınarak kapsamlı ve özgün bir sınıflandırma yapılmasını ve patlayıcı maddelerin mevcut kullanım alanları ile gelecekteki potansiyel yönelimlerinin ele alınmasını amaçlamaktadır. Bu amaç doğrultusunda, tarihsel ve teknik bakış açılarıyla patlayıcı maddelerin gelişim süreçleri incelenerek, yenilikçi teknolojiler ve sektöre kazandırılan gelişmeler ışığında çevre, ekosistem ve canlılar üzerindeki etkileriyle uluslararası ilişkilerdeki caydırıcılık etkisi ve stratejik önemi dikkate alınarak patlayıcı maddelerin mevcut durumu ve geleceği hakkında kapsamlı bir anlayış geliştirilmesi hedeflenmektedir. Bu çerçevede yürütülecek çalışma, birincil ve ikincil kaynaklardan yararlanılarak giriş dâhil olmak üzere üç bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde, patlayıcı maddelerin tarihsel süreci ile hem devletler hem de insanlar için

önemi ele alınacak olup; İkinci bölümde patlayıcı maddelerin tanımı üzerinde durularak, patlayıcı maddelerin özgün bir sınıflandırması yapılacaktır. Üçüncü bölümde ise patlayıcı maddelerin mevcut kullanım alanları ve yeni nesil patlayıcılar, çevre dostu teknolojiler ve sürdürülebilirlik konuları üzerinden patlayıcı maddelerin gelecekteki kullanım potansiyeli ele alınacaktır. Son olarak, üç bölümde ele alınan bilgilerin bir sentezi yapılarak patlayıcı maddelerin geleceği ile ilgili öneriler sunulacaktır.

2. Patlayıcı Maddelerin Tanımı ve Sınıflandırılması

2.1. Patlayıcı Madde Tanımı

Patlayıcı maddeler; kimya, fizik, mühendislik, savunma, güvenlik, tıp, uzay ve havacılık gibi geniş bir disiplin yelpazesinde uygulama alanlarına sahip olduğundan patlayıcı madde kavramı, her disiplinin kendi bakış açısıyla ele alınarak kendine özgü bir şekilde tanımlamaya çalışılmasından dolayı literatürde birbirinden farklı tanımlamalar yer almaktadır. Ancak son yıllarda yapılan bilimsel ve mühendislik araştırmaları veya çalışmaları çerçevesinde patlayıcı maddelerin "enerjik maddeler" olarak da adlandırıldığı görülmektedir. Bu farklı adlandırma, her patlayıcı maddenin bir enerjik madde olmasına karşın her enerjik maddenin bir patlayıcı madde olmamasından dolayı patlayıcı maddelerle ilgili alanlarda bir kavram karmaşasına yol açmaktadır. Bu nedenle, patlayıcı maddeler enerjik maddelerin yalnızca bir alt kategorisini oluşturmakla birlikte, sahip oldukları özgün özellikler ve kullanım alanlarındaki farklılıklar nedeniyle "patlayıcı madde" ve "enerjik madde" kavramlarının birbirinin yerine kullanılması, yanlış anlamalara neden olmaktadır. Özellikle terminolojik hassasiyetin önem taşıdığı disiplinler arası çalışmalarda, bu tür yanlış anlamaların ve kavram karmaşasının önlenmesi için her iki kavramın bağlamına uygun bir şekilde ve doğru terminolojiyle kullanılması gerekmektedir.

Literatürde patlayıcı maddelere ilişkin yapılan tanımlamalar, ortak özellikler içeren benzer ifadelerin yanı sıra kavramsal farklılıklar barındıran çeşitli yaklaşımların varlığını ortaya koymaktadır. Bu durum, patlayıcı maddelerin çok yönlü ve karmaşık doğasının farklı disiplinlerden gelen perspektiflerle ele alınmasına olanak sağlamaktadır. Genel olarak, patlayıcı maddeler; moleküler yapıları, kimyasal bileşimleri ve reaksiyon mekanizmaları gibi karakteristik özellikleri ile birlikte, sahip oldukları enerji potansiyelleri temel alınarak tanımlanmaktadır.

Nitekim patlayıcı maddeler, "tek başına veya birbirleriyle karıştırılmış, yarı kararlı durumda bulunan ve bu nedenle atmosferik oksijen gibi reaktanların katılımı olmaksızın hızlı bir kimyasal reaksiyona girebilen katı veya sıvı maddeler" (Meyer vd., 2007) şeklinde tanımlanmaktadır. Bu tanımın dipnotunda, gaz borularındaki sızıntılar, solvent tankları ve kömür madenciliğinde grizu gibi

durumlarda gaz karışımlarının genellikle kendiliğinden oluştuğu ve bu nedenle gazların ve gaz karışımlarının da patlayıcı madde kategorisine dâhil edilebileceği belirtilmektedir. Meyer vd. (2007) tarafından yapılan bu tanım, patlayıcı maddelerin yalnızca katı veya sıvı halleriyle sınırlı kalmadığını, aynı zamanda gaz karışımlarının da patlayıcı potansiyel taşıyabileceğini ve bu maddelerin çevresel koşullara bağlı olarak reaksiyona girme özelliklerinin önemini vurgulamaktadır.

Patlayıcı maddeler, ayrıca enerji salınımı ve sonuçları göz önünde bulundurularak, "hızlı kimyasal değişime uğrayabilen ve dışarıdan oksijen desteği olmaksızın, genellikle sıcak gazların salınmasıyla birlikte büyük miktarlarda enerji açığa çıkarabilen madde veya madde karışımı" (Dursun, 2007) olarak tanımlanmaktadır. Öz ve Atakol (2020) ise patlayıcı maddeleri, "ısı veya şok etkisi ile kimyasal değişikliğe uğrayan; yüksek derecede ısı, çok hacimde gaz meydana getiren; katı, sıvı veya gaz halindeki kimyasal madde" olarak tanımlamaktadır. Bu tanım, patlayıcı maddelerin kimyasal değişim sonucu büyük miktarda enerji ve gaz üretme özelliklerine vurgu yapmaktadır.

Benzer şekilde, "darbe, sürtünme, kıvılcım veya şok gibi bir etki sonucu reaksiyona girerek gaz ürünler oluşturan ve bu esnada büyük miktarda basınç, ısı, ışık, ses yayan ve bu reaksiyon için dışardan oksijene ihtiyaç duymayan kimyasal bileşim ve karışımlar" (EGM, 2023) olarak da tanımlanmıştır. Ayrıca, patlayıcı maddeler tetiklenme ve çevreye bağımlı olmadan reaksiyona girme gibi özellikleri dikkate alınarak da tanımlanmıştır. Bu bağlamda, patlayıcı maddeler; ısı, sarsıntı, sürtme, tutuşturma ve darbe gibi dış etkenler yardımıyla fakat çevreden herhangi bir elemanın kimyasal katkısı olmaksızın hızlı bir şekilde detonasyona giren; ısı, ışık, gaz, ses veya basınç meydana getiren katı, sıvı veya gaz hâlindeki kimyasal bileşikler veya karışımlardır (Ateşceceloğlu, 2011). Bu maddeler, kazara veya kasıtlı olarak sağlanan başlatma enerjisi arasında ayrım yapmamaktadır (OSHA, 2017).

Öte yandan, patlama yeteneğine sahip her madde patlayıcı madde olarak kullanılmaya uygun olmadığından, bir maddenin patlayıcı olarak seçilmesi veya tasarlanması sırasında kolay kullanılabilirlik, stabilite, yüksek verimlilik, fiziksel form ve kontrol edilebilirlik gibi özelliklerinin de dikkate alınması gerekmektedir. Bu özellikler, patlayıcı maddelerin hem etkinliği hem de güvenliği açısından kritik öneme sahiptir.

Görüldüğü üzere, yapılan bu tanımlar, araştırmacıların farklı kriterleri göz önünde bulundurarak geliştirdiği ve birbirlerini tamamlar nitelikteki açıklamalardır. Ancak patlayıcı madde tanımlanmasından önce, bir maddenin patlayıcı madde olarak kabul edilebilmesi için aşağıda belirtilen kriterlerin en azından tamamını karşılaması gerekmektedir:

1. Doğal yollardan oluşan değil, insan müdahalesiyle özel amaçlar doğrultusunda tasarlanarak üretilmiş olmalıdır.

2. Reaksiyon, kimyasal patlayıcılarda uygun fiziksel bir dış etki, nükleer patlayıcılarda ise yüksek sıcaklık, yüksek basınç veya nötron bombardımanına maruz kalmadıkça kendiliğinden başlamamalıdır.
3. Reaksiyon, ekzotermik olmalıdır.
4. Reaksiyon, hızlı gerçekleşmeli ve patlayıcı maddenin türüne göre reaksiyon ürünlerine dönüşmelidir.
5. Reaksiyon başladıktan sonra, dışarıdan herhangi bir fiziksel veya kimyasal dış desteğe ihtiyaç duymaksızın kendiliğinden tamamlanmalıdır.

Patlayıcı maddelerin diğer enerjik maddelerden ayrılmasını sağlayan temel niteliklerini tanımlayan bu kriterler doğrultusunda patlayıcı madde olarak kabul edilebilecek maddeler için kapsayıcı bir tanımlama yapılacak olursa; patlayıcı maddeler, uygun bir dış etkiyle ani ve kontrolsüz bir şekilde reaksiyon gerçekleştirmesi sonucu büyük miktarda enerji açığa çıkaran ve türüne bağlı olarak farklı bileşim ve özelliklere sahip patlama ürünleri oluşturan maddeler, bileşimler veya bileşikler olarak tanımlanabilir. Bu tanımda;

- *Uygun bir dış etki:* Kimyasal patlayıcılarda fiziksel bir dış etkiyi, nükleer patlayıcılarda ise yüksek sıcaklık, yüksek basınç veya nötron bombardımanını,
- *Açığa çıkan enerji:* Kimyasal patlayıcılarda kimyasal bağ enerjisini, nükleerde ise atom çekirdeği içindeki nükleer bağ enerjisini,
- *Patlama ürünleri:* Kimyasal patlayıcılarda ısı, ışık, ses, şok, gaz ve basınç gibi unsurları, nükleer patlayıcılarda ise radyasyon (özellikle gama ışınları), yüksek sıcaklık, yüksek basınç, nötronlar ve yoğun elektromanyetik dalgalar gibi unsurları

ifade etmektedir. Bu tanım, patlayıcı maddelerin yalnızca kimyasal ve fiziksel özelliklerini değil, aynı zamanda kullanım amacına yönelik tasarımlarında dikkate alınması gereken tüm unsurları da kapsamaktadır. Bu kapsamlı yaklaşım, patlayıcı maddelerin doğasının daha iyi anlaşılmasına önemli ölçüde katkı sağlamaktadır.

2.2. Patlayıcı Maddeler Sınıflandırması

Patlayıcı maddelerin tarihsel kökeni, büyük ölçüde askerî alandaki stratejik hedeflere ulaşma ve kültürel etkinliklerde eğlence ya da kutlama amacıyla kullanılmalarına dayanmaktadır. Ancak tarih boyunca gerçekleşen teknolojik ilerlemeler ve bilimsel gelişmeler sonucunda patlayıcı maddelerin kullanım alanları oldukça genişlemesine rağmen, günümüzde üzerinde uzlaşılmış evrensel bir patlayıcı madde sınıflandırması bulunmamaktadır. Literatürde, farklı disiplinlerin öncelikleri, hedefleri ve ihtiyaçları doğrultusunda patlayıcı maddelerin özelliklerine farklı ölçüde ağırlıklar verilerek yapılan birbirinden küçük de olsa farklılıklar içeren birçok sınıflandırmaya rastlanılmaktadır. Örneğin, belirli bir disiplin alanında yapılan bir sınıflandırmada patlayıcı maddeler, patlama hızına ve kullanım alanlarına odaklanılarak ele alınırken, başka bir disiplin alanında

patlayıcı maddelerin kimyasal yapısı ve reaksiyon mekanizmaları ön plana çıkarılmaktadır. Benzer şekilde, güvenlik alanında yapılan sınıflandırmalarda ise patlayıcı maddelerin tehlike seviyeleri ve kontrol edilebilirlik gibi özellikleri dikkate alınmaktadır. Bu durum, literatürdeki patlayıcı maddelere ilişkin sınıflandırmaların, araştırmacıların disiplin dallarına göre farklılık göstermesi nedeniyle evrensel bir sınıflandırma oluşturulabilmesi için patlayıcı maddelere çok boyutlu bir yaklaşım geliştirilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır.

Patlayıcı maddelerin sınıflandırılması konusunda Weinheimer (2002), bir maddenin patlayıcı madde olarak sınıflandırılabilmesi için aşağıdaki 5 koşulun tamamını sağlaması gerektiğini ileri sürmüştür:

1. Kimyasal reaksiyon hızına ilişkin temel koşulları sağlamalıdır.
2. Reaksiyon, uygun bir başlatıcı uyarıcı uygulanmadıkça gerçekleşmemelidir.
3. Reaksiyon şiddetli olmalı, madde tamamen veya neredeyse tamamen gaz ürünlere dönüşmelidir.
4. Reaksiyon ekzotermik olmalıdır.
5. Reaksiyon, harici bir oksijen kaynağına veya enerjiye (örneğin, ısı) ihtiyaç duymadan, yalnızca başlatma için gerekli olan enerji dışında, kendi kendine sürdürülebilir olmalıdır.

Bu koşullar, kimyasal patlayıcı maddelerin tanımlanması ve sınıflandırılmasında önemli bir temel oluşturmaktadır. Ancak patlayıcı maddeler yalnızca kimyasal patlayıcılarda sınırlı olmayıp, aynı zamanda nükleer patlayıcıları da kapsamaktadır. Bu doğrultuda, Weinheimer (2002) tarafından belirtilen bu koşullar yalnızca kimyasal patlayıcılar için geçerli olup, nükleer patlayıcıları kapsamamaktadır. Dolayısıyla sadece kimyasal patlayıcıları kapsayan bu koşullar, patlayıcı maddelerin tüm çeşitlerini açıklamak için yetersiz kalmaktadır. Bu eksiklik, patlayıcı maddelerin sınıflandırılmasında daha geniş ve kapsayıcı bir perspektifin benimsenmesi gerekliliğini açıkça ortaya koymaktadır.

Öte yandan, patlayıcı maddelerin kimyasal yapılarına ve patlayıcı özelliklerine odaklanılarak yapılan bir sınıflandırmada, tüm patlayıcı maddeler aşağıda belirtilen sekiz ana grupta toplanmaktadır:

1. $-NO_2$ ve $-ONO_2$ hem organik hem de inorganik bileşiklerde,
2. $-N = N-$ ve $-N = N = N-$ inorganik ve organik azitlerde,
3. $-NX_2$, örneğin NCl_3 (X- bir halojen)
4. $-N = C$, fulminatlarda,
5. $-OCIO_2$ ve $-OCIO_3$, sırasıyla inorganik ve organik kloratlar ve perkloratlarla,
6. $-O - O -$ ve $-O - O - O -$, sırasıyla inorganik ve organik peroksitler ve ozonitlerde,
7. $-C \equiv C-$, asetilen ve metal asetilenlerde,
8. $M - C$, metal ile C bağlı bazı organometalik bileşiklerde. (Urbanski, 1964)

Bu sınıflandırmada, bir molekülün patlayıcı özellikleri ile yapısı arasındaki ilişkiye yönelik geliştirilen sistematik

bir yaklaşım yönteminden farklı olarak, Akhavan (2004) patlayıcı maddeleri kimyasal yapıları, performans özellikleri ve kullanım alanları temelinde ele alarak sınıflandırmış ve bu doğrultuda iki ana gruba ayırmıştır: Kimyasal patlayıcılar ve patlayıcı amaçlı kullanılmayan ticari kimyasallar. Kimyasal patlayıcılar ise üç alt grupta incelenmiştir: Birincil patlayıcılar, ikincil patlayıcılar ve itici güç yakıtları. Bununla birlikte, ikincil patlayıcılar askerî ve ticari patlayıcılar olarak; itici güç yakıtları ise silâh ve roket iticiler olarak alt kategorilere ayrılmıştır (Akhavan, 2004).

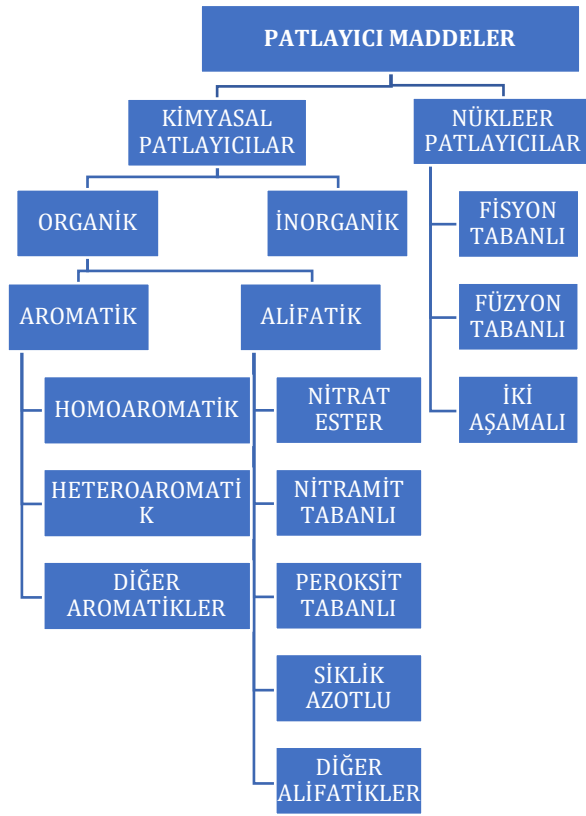
Patlayıcı maddelerin kimyasal özellikleri, kullanım amaçları, güçleri ve üretim şekilleri temel alınarak bir sınıflandırma gerçekleştiren Öz ve Atakol (2020) ise, bu maddeleri ayrıntılı bir biçimde incelemiş ve kapsamlı bir şekilde şu başlıklar altında sınıflandırmıştır:

1. Kimyasal özelliklerine göre
 - Azotürler ve Fulminatlar
 - Nitrolu patlayıcılar
 - Nitratlı patlayıcılar
 - Kloratlı patlayıcılar
 - Perkloratlı patlayıcılar
 - Dinamitler
 - Kara barutlar ve benzeri karışımlar
2. Kullanım amaçlarına göre
 - Tahrip edici patlayıcılar
 - Ateşlemeye yarayan patlayıcılar (detonatörler)
 - Askerî patlayıcılar
 - Fırlatıcı yakıt olarak kullanılan patlayıcılar (propellantlar)
 - Diğer patlayıcılar
3. Güçlerine göre
 - Alçak patlayıcılar
 - Yüksek patlayıcılar
4. Üretim şekillerine göre
 - Fabrikasyon patlayıcılar
 - El yapımı patlayıcılar

Yukarıda bahsedilen bu sınıflandırmalardan farklı bir yaklaşım benimseyen Cooper (1996), patlayıcı maddeleri, kimyasal yapılarına ve moleküler düzeydeki davranışlarına odaklanarak değerlendirmiş ve bu doğrultuda iki ana gruba ayırmıştır: Organik ve inorganik patlayıcılar. Cooper (1996), organik patlayıcı maddeleri de kendi içinde aromatik ve alifatik olarak iki alt grupta sınıflandırmıştır. Benzer şekilde, kimyasal yapıya odaklanan bir diğer çalışmada Türker ve Varış (2009), Cooper (1996)'ın yaptığı sınıflama ile büyük ölçüde örtüşen bir yaklaşım sergileyerek patlayıcı maddeleri benzer kategorilerde ele almıştır. Ancak her iki sınıflandırmada da dikkat çeken önemli bir eksiklik, nükleer patlayıcı maddelere yer verilmemesidir. Bu durum, söz konusu sınıflandırmaların yalnızca kimyasal patlayıcı maddelere yönelik bir çerçeve sunduğunu açıkça ortaya koymakta ve bu sınıflandırmaların, patlayıcı maddelerin genel sınıflandırmasından ziyade kimyasal patlayıcı maddelere özgü sınıflandırmalar olarak değerlendirilmesi gerektiğini göstermektedir.

Ayrıca, yukarıda bahsedilen literatürdeki başlıca sınıflandırmaların da nükleer patlayıcıları içermemesi, patlayıcı madde sınıflandırmaları açısından önemli bir eksiklik teşkil etmektedir. Nükleer patlayıcılar, bileşimleri, fiziksel ve kimyasal özellikleri, etkileri ve sınıflandırılma kriterleri açısından kimyasal patlayıcı maddelerden belirgin şekilde farklılık göstermektedir. Bu nedenle, patlayıcı maddelere ilişkin bütüncül bir sınıflandırmanın hem kimyasal hem de nükleer patlayıcıları kapsayacak şekilde geliştirilmesi gerekmektedir. Aksi takdirde, yalnızca kimyasal patlayıcıları içeren bir sınıflandırma, patlayıcı maddelerin genel bir sınıflandırması olarak değerlendirilemeyeceği gibi, nükleer patlayıcıların patlayıcı madde olarak kabul edilmediği şeklinde yanlış bir algıya yol açabilir. Bunun yanı sıra, patlayıcı maddelerin kullanım alanları, etkileri ve potansiyel tehlikeleri hakkında eksik bir anlayış, bu maddelerin operasyonel süreçlerine yönelik etkili yaklaşımlar geliştirilmesini engelleyebilir. Dolayısıyla, kapsamlı ve bütüncül bir sınıflandırma, patlayıcı maddelerle ilgili akademik çalışmalara ve uygulamalara önemli katkılar sağlayabilir. Patlayıcı maddeler, mevcut sınıflandırmalardan farklı olarak, yapısal ve kimyasal özellikleri, moleküler ve atomik düzeydeki nitelikleri, reaksiyon türleri ve patlama şekilleri gibi kriterler temel alınarak Şekil 1'de gösterildiği üzere daha bütüncül bir yaklaşımla sınıflandırılabilir.

Bu sınıflandırmada, patlayıcı maddeler kimyasal ve nükleer patlayıcılar olarak iki ana gruba ayrılmaktadır. Kimyasal patlayıcılar, dışarıdan reaksiyon aktivasyon enerjisini en az karşılayacak büyüklükteki fiziksel bir etkiyle ani bir şekilde ekzotermik reaksiyon göstererek enerjisini ısı, ışık, ses, şok ve gaz gibi değişik formlarda açığa çıkaran kimyasal bileşikler ya da karışımlardır. Bu grup patlayıcı maddeler, yüksek enerjili tepkimeleri gerçekleştirme kapasitesi ve etkin sonuçlar sağlama potansiyeli nedeniyle özellikle askerî uygulamalar başta olmak üzere madencilik faaliyetleri ve endüstriyel projelerde geniş bir kullanım alanına sahiptir. Kimyasal patlayıcı maddeler, Şekil 1'de de belirtildiği üzere; organik ve inorganik patlayıcılar olmak üzere iki ana gruba ayrılmaktadır.



Şekil 1. Patlayıcı maddeler sınıflandırması.

Organik patlayıcılar, yapılarında karbon (C), hidrojen (H), oksijen (O) ve azot (N) gibi atomlar bulunduran ve patlayıcı özellik gösteren kimyasal bileşiklerdir. Patlayıcı maddelerin büyük bir çoğunluğu, organik patlayıcılar sınıfında yer almaktadır (Altgilbers vd., 2011). Organik patlayıcılar, aromatik ve alifatik patlayıcılar olmak üzere iki alt grupta sınıflandırılmaktadır.

Aromatik patlayıcılar, yapısında π elektronlarının delokalizasyonuna sahip, Hückel Kuralı'na ($4n+2$ π elektronu) uyan ve halkalı bir yapı içeren, genellikle benzen veya türevleri temelinde oluşturulmuş organik patlayıcılar. Bu tür patlayıcılar, homoaromatik, heteroaromatik ve diğer aromatik patlayıcılar olarak üç alt grupta incelenmektedir. Homoaromatik patlayıcılar, aromatik halkaların yalnızca karbon (C) atomlarından oluşan patlayıcı türleridir. Bu gruptaki örnekler arasında 2,4,6-trinitrotoluen (TNT), tetril ve pikrik asit (TNP) gibi patlayıcı maddeler yer almaktadır. Heteroaromatik patlayıcılar, aromatik halkada bir veya daha fazla heteroatom içeren organik patlayıcı türleridir ve bunlara örnek olarak 4,4'-dinitro-3,3'-diazonofuroksan (DDF) verilebilir. Diğer aromatik patlayıcılar, klasik aromatiklik kriterlerine uymayan ancak yine de π elektronlarının delocalize elektron sistemleriyle aromatiklik gösteren organik patlayıcılar; kurşun stiftat bu gruba örnek gösterilebilir.

Alifatik patlayıcılar, yapılarında π elektronlarının delokalizasyonu bulunmayan, açık zincirli (düz veya dallanmış) ya da aromatik olmayan halkalı yapıya sahip, genellikle oksijence zengin ve enerjik gruplar içeren organik patlayıcılar. Bu grup patlayıcılar, seri üretilen

ilk modern patlayıcılar (Cooper ve Kurowski, 1996). Alifatik patlayıcılar, nitrat ester, nitramit tabanlı, peroksit tabanlı, siklik azotlu alifatik ve diğer alifatik patlayıcılar olmak üzere beş alt gruba ayrılmaktadır. Alifatik nitrat ester patlayıcılar, yapısında π elektronlarının delokalizasyonu olmayan, açık zincirli (düz veya dallanmış) olan, bünyesinde nitrat ester (-ONO₂) grubu bulunduran ve patlayıcı özellik gösteren organik bileşiklerdir. Bu tür patlayıcılara nitrogliserin (NG), metil nitrat gibi patlayıcılar örnek verilebilir. Alifatik nitramit tabanlı patlayıcılar ise; yapısında π elektronlarının delokalizasyonu olmayan, açık zincirli (düz veya dallanmış) olan, bünyesinde nitramit grubu (-NO₂) bulunduran ve patlayıcı özellik gösteren organik bileşiklerdir. Etilendinitramin (EDNA) ve nitroguanidin (NQ) bu tür patlayıcılara örnek olarak verilebilir. Alifatik peroksit tabanlı patlayıcılar, yapısında π elektronlarının delokalizasyonu olmayan, açık zincirli (düz veya dallanmış) olan, bünyesinde peroksit grubu (-O-O-) bulunduran ve patlayıcı özellik gösteren organik bileşiklerdir; örnek olarak aseton peroksit (AP ya da TATP) ve metil etil keton peroksit verilebilir. Siklik azotlu alifatik patlayıcılar, aromatik olmayan siklik yapıya sahip olmakla beraber yapısında π elektronlarının delokalizasyonu olmayan, azot içeren ve genellikle oksijen açısından zengin, enerjik gruplar bulunduran, aromatik patlayıcılara kıyasla daha düşük kararlılığa sahip ve patlayıcı özellik gösteren organik bileşiklerdir. Siklotrimetilenitrinitrin (RDX) ve siklotetrametilen tetranitrin (HMX) bu gruba örnek gösterilebilir. Diğer alifatik patlayıcılar ise, ilk dört gruptaki alifatiklik kriterlerine uymayan ancak yine de alifatik özellik gösteren ve patlayıcı özelliklere sahip organik bileşikler olarak tanımlanmaktadır. Bu tür patlayıcılara triazidometan ve üre nitrat örnek gösterilebilir.

Kimyasal patlayıcı türlerinden inorganik patlayıcılar, bünyesinde özellikle karbon (C) ve hidrojen (H) atomlarını aynı anda bulundurmamayan, metal ve ametal atomları arasında iyonik bağlar tesis etmiş ve/veya metallerin oksitleri, nitratları, kloratları, peroksitleri, sülfatları veya diğer inorganik tuz bileşenlerinden meydana gelen kimyasal patlayıcılar. İnorganik patlayıcılara örnek olarak kurşun azotür ve gümüş azotür verilebilir.

Patlayıcı maddeler sınıflandırmasının ana gruplarından biri olan nükleer patlayıcılar ise, atom çekirdeklerinin yüksek sıcaklık, yüksek basınç veya nötron bombardımanı gibi dış etkenler sonucunda, kontrolsüz bir hızla gerçekleşen fisyon (çekirdek parçalanması) veya füzyon (çekirdek birleşmesi) reaksiyonları ile büyük miktarda enerji açığa çıkaran maddeler olarak tanımlanmaktadır. Çok ağır atom çekirdekleri ile çok hafif atom çekirdekleri düşük bağlanma enerjilerine sahip olduklarından ağır bir çekirdek parçalandığında (fisyon) enerji salacağı ve iki hafif çekirdek birleştiğinde (füzyon) de enerji salacağı anlamına gelmektedir (Siracusa, 2008). Bu süreçte, enerjiye ek olarak radyasyon (özellikle gama ışınları), yüksek sıcaklık,

yüksek basınç, serbest nötronlar ve yoğun elektromanyetik dalgalar gibi unsurlar da üretilmektedir. Nükleer patlayıcılar denildiğinde genellikle ilk akla Hiroşima ve Nagazaki'ye atılan atom bombaları gelse de, başta ABD, Çin, Rusya, Fransa ve İngiltere gibi ülkeler tarafından gerçekleştirilen, ancak nispeten daha az gündeme gelen nükleer denemeler de bu kapsamda örnek gösterilebilir. Bu tür patlayıcı maddeler, Şekil 1'de de belirtildiği üzere; fisyon tabanlı, füzyon tabanlı ve iki aşamalı nükleer patlayıcılar olmak üzere üç ana gruba ayrılmaktadır.

Fisyon tabanlı nükleer patlayıcılar, ağır atom çekirdeklerinin nötron bombardımanı sonucunda zincirleme bir şekilde parçalanarak daha hafif atom çekirdeklerine bölünmesiyle büyük miktarda enerji, radyasyon (özellikle gama ışınları), nötronlar, radyoaktif maddeler ve izotoplar ile yüksek sıcaklık ve basınç gibi unsurlar açığa çıkaran maddelerdir. Bu tür nükleer patlayıcılara demir-56'dan büyük olan ağır atom çekirdeklerinden uranyum-235 ve plütonyum-239'un çekirdek bölünmesi örnek verilebilir. Fisyon tabanlı patlayıcılar, füzyon tabanlı ve iki aşamalı nükleer patlayıcılara kıyasla daha az karmaşık bir yapıya sahip olup, atom çekirdeklerinin parçalanması yoluyla enerji üretirken daha basit tasarım ve teknik gereksinimlere ihtiyaç duydukları için genellikle geliştirilmesi ve üretilmesi diğerlerine nazaran daha kolay olarak değerlendirilmektedir.

Füzyon tabanlı nükleer patlayıcılar, hafif atom çekirdeklerinin yüksek sıcaklık ve basınç altında birleşerek daha ağır çekirdekler oluşturmaları sonucu büyük miktarda enerji, radyasyon, yüksek sıcaklık ve basınç, serbest nötronlar ve yoğun elektromanyetik dalgalar gibi patlama ürünlerinin açığa çıkmasına neden olan maddelerdir. Bu tür nükleer patlayıcılara demir-56'dan küçük olan hafif atom çekirdeklerinden döteryum ve trityum'un birleşmesi örnek verilebilir. Füzyon tabanlı nükleer patlayıcıların performansı, fisyon tabanlı nükleer patlayıcılara kıyasla daha güçlüdür. Ancak fisyon aşamasına ihtiyaç duymayan saf bir füzyon tabanlı patlayıcının teorik olarak geliştirilmesi mümkün olmasına rağmen bugüne kadar geliştirilmemiştir (Agrawal, 2010).

İki aşamalı nükleer patlayıcılar ise, fisyon patlaması sonucu açığa çıkan enerjinin, füzyon patlamasını tetiklemek için ihtiyaç duyulan enerjiyi sağlamasının ardından, büyük miktarda enerji, radyasyon (özellikle gama ışınları), serbest nötronlar, radyoaktif maddeler ve izotoplar ile yüksek sıcaklık, yüksek basınç ve yoğun elektromanyetik dalgalar gibi unsurların ortaya çıkmasına neden olan maddelerdir. Ancak patlama enerjisinin çoğu, füzyon reaksiyonlarından elde edilir (Swahn, 1992). Bu tür patlayıcılara, hidrojen bombası örnek verilebilir.

3. Günümüz Uygulamaları ve Geleceği

3.1. Günümüz Uygulamaları

Patlayıcı maddeler, tarihi süreç içerisinde bilimsel ilerlemeler ve teknolojik gelişmelerle birlikte toplumsal ve kültürel değişimlere de bağlı olarak farklı kullanım alanlarında önemli roller üstlenmiştir. İlk keşfedildikleri dönemlerde genellikle sınırlı bir şekilde, askerî ya da kültürel amaçlarla kullanılan bu maddeler, modern patlayıcıların geliştirilmesiyle birlikte devletlerin ve toplumların ihtiyaçlarına göre çeşitlenerek kullanım alanları yelpazesi genişlemiştir.

Günümüzde patlayıcı maddeler, yalnızca savaşlarda üstünlük sağlamak, toprak kazanmak veya savunma yapmak gibi askerî hedeflerin gerçekleştirilmesinde ya da kültürel ritüellerde kullanılmakla kalmayıp, aynı zamanda endüstriyel faaliyetlerden bilimsel araştırmalara, madencilik sektöründen sağlık sektörüne, arama ve kurtarma operasyonlarından yangın söndürme faaliyetlerine, enerji üretiminden uzay ve havacılık sektörüne, petrol ve doğal gaz sektöründen eğlence sektörüne kadar geniş bir kullanım alanına sahiptir. Bu geniş kullanım yelpazesi ve uygulama çeşitliliği Tablo 1'de detaylandırılmıştır.

Patlayıcı maddelerin böylesine geniş bir yelpazede kullanımı, bu maddelerin benzersiz enerji salınımı ve bu enerjinin farklı amaçlara yönelik hassas bir şekilde kontrol edilebilmesine ve yönlendirilebilmesine imkân tanıyan özelliklerinden kaynaklanmaktadır. Bu özellikleri sayesinde patlayıcılar, söz konusu alanlardaki ihtiyaçların karşılanmasında önemli rol oynayarak modern dünyanın şekillenmesinde ve insan yaşamının pek çok yönünün kolaylaştırılmasında etkili bir unsur haline gelmiştir. Ayrıca, patlayıcı maddelerin doğru ve güvenli şekilde kullanılması, hem ekonomik kalkınma hem de toplumsal güvenliğin sağlanması açısından büyük bir önem taşımaktadır.

Öte yandan, yüksek enerjili kimyasal reaksiyonlardan kaynaklanan hızlı gaz salınımı, basınç artışı, sıcaklık yükselmesi ve şok dalgaları, patlayıcı maddelerin etkin bir şekilde kullanılmasını sağlayan temel faktörlerdir. Bu fiziksel süreçler, patlayıcı maddelerin askerî, endüstriyel ve diğer çeşitli uygulamalarda güçlü bir enerji kaynağı olarak kullanılmasına olanak tanımaktadır. Patlama sırasında meydana gelen hacimsel genişleme, çevrede yüksek basınç oluştururken bu basıncın hızla yayılması şok dalgalarını tetiklemekte ve şok dalgaları ile sıcaklık artışının birleşik etkisi, çevredeki malzemelerin kırılmasına, parçalanmasına veya şekil değiştirmesine yol açmaktadır. Bu özellikler, patlayıcı maddelerin özellikle enerji aktarımı ve malzeme işleme gerektiren çeşitli uygulamalarda etkin bir şekilde kullanılmasını sağlamaktadır. Patlayıcı maddelerin enerjisi hem hassas hem de yıkıcı görevlerde kullanılacak şekilde yönlendirilebildiğinden minimum risk ve optimum verimlilikle hedeflenen sonuçlara ulaşılabilmesini mümkün kılmaktadır.

Öte yandan, nükleer patlayıcı kullanımının çevre, sağlık ve güvenlik açısından oluşturduğu riskler, özellikle ikinci

Dünya Savaşı'nın ardından uluslararası toplumun gündemine gelmiş olmasına rağmen, küresel veya bölgesel güç olma hedefi taşıyan bazı devletler, 21. yüzyılın başlarında bile nükleer test denemelerini sürdürmüşlerdir. Ancak "Nükleer Denemelerin Kapsamlı Yasaklanması Antlaşması'nın (The Comprehensive Nuclear-Test-Ban Treaty, CTBT) 24 Eylül 1996 tarihinde tüm devletlerin imzasına açılması" (CTBTO, 1996) ile birlikte, son yıllarda nükleer test denemeleri gerçekleştirilmemiştir. Yine de, geçmişte nükleer silâhlanma yarışına giren bazı devletlerin bu antlaşmayı imzalamasına rağmen onaylamamaları, nükleer silâh

denemelerinin sona erdiğini ve bu kullanım alanının tamamen ortadan kalktığını iddia etmeyi güçleştirmektedir. Bu bağlamda, Rusya'nın 2023 yılında CTBT Antlaşması'ndan çekilmesi, bu iddiayı güçlendirmektedir. Bu durum, söz konusu antlaşmayı onaylayan devletlerin dahi antlaşmadan çekilerek uluslararası baskılara rağmen, nükleer silâh geliştirme veya test denemeleri yapma olasılıklarının her zaman mevcut olduğunu göstermektedir. Nükleer silâhlarla ilgili bu tür stratejik adımlar, küresel güvenlik açısından ciddi bir tehdit oluşturmaya devam etmektedir.

Tablo 1. Patlayıcı maddelerin günümüzdeki kullanım alanları ve uygulama türleri*

Kullanım Alanı	Uygulama Türleri
Askerî	Klasik mühimmatlar, füzeler, roket ve nükleer silah sistemleri vs. Mayınların etkisiz hale getirilerek güvenli bölge oluşturulması Düşman hedeflerinin yok edilmesi, yeraltı ve yerüstü stratejik yapıların tahrip edilmesi vs. Askeri yeraltı üsleri ve savunma sığınaklarının inşası Sismik aramalar, yeraltı kuyuları ve galerilerin açılması vs.
Madencilik	Yeraltı madenciliğinde hazırlık, üretim ve tavan göçertme işlemleri vs. Taş ocaklarında ve açık maden sahalarında dekopaj işlemleri, basamak patlatmaları vs. Rezervuar ve yan kayaçların gevşetilmesi, kırılması, çatlatılması işlemleri vs. Karayolu, demiryolu, metro, su ve kanalizasyon tünellerinin açılması Baraj ve gölet inşasında zeminin hazırlanması, su yolları için derivasyon tünelleri açılması vs.
İnşaat	Yol ve köprü yapımında sert zemin katmalarının kırılması, köprü temelleri ve ayaklarının inşası Binaların ve beton yapıların temel kazıları sırasında kayaçların kırılması vs. Yapıların kontrollü ve güvenli bir şekilde yıkımı
Uzay ve Havacılık	Roket fırlatmalarında ve uzay aracı itiş sistemlerinde Füze sistemleri ile uyduların imhası
Enerji	Nükleer santrallerde radyoaktif ağır atom çekirdeklerinin kontrollü olarak fisyon reaksiyonu gerçekleştirmesiyle elektrik üretiminde Petrol ve gaz sondajları sırasında yeraltı yapılarının tespit edilmesi, sismik aramalar vs. Petrol ve gaz sondajları sırasında yeraltındaki kayaçların kırılması ve sondaj yapılmasında
Petrol ve Doğal Gaz	Rezervuar açma ve gaz çıkarma işlemleri için kaya çatlatma tekniklerinde Yeraltı depolama alanlarında Yeni petrol boru hatları döşenmeden önce hattın açılması için patlatma işlemlerinde Petrol kuyularındaki yangının söndürülmesinde
Bilimsel ve Teknolojik Araştırmalar	Enerji yoğunluğu yüksek testler ve deneylerde Yeni malzeme türlerinin şok ve dayanıklılık testlerinde
Sağlık	Tıbbi cihazlar ve ilaç tedavisinde mikro patlamalarla kontrollü salınım yapılması vs. Böbrek taşlarının mikro patlayıcılarla kırılmasında (litotripsi), kalp damarlarında yapılan mikro cerrahi operasyonlarında vs.
Tarım ve Ormancılık	Orman yangınlarını söndürmek için yangın hatları açmak ve kontrol sağlamak amacıyla Orman ve tarım alanlarında ağaç köklerinin çıkarılması işlemlerinde Su geçirmez kayaçların çatlatılmasında
Arama ve Kurtarma	Tünel, maden, mağara gibi yerlerde büyük kaya parçalarının çökmesi veya düşmesi gibi durumlarda enkaz altındaki kişilere ulaşmak için patlatma operasyonlarında Derin su altı operasyonlarında, batık nesneleri bulma, kurtarma ve çıkartma çalışmalarında
Eğlence ve Gösteri	Kutlamalar, festivaller ve gösterilerde Sinema ve sahne gösterilerinde özel efektler oluşturmada

*Bu tablo, Ateşceeloğlu (2011) ve Agrawal (2010) tarafından sunulan bilgiler ışığında tarafımızca hazırlanmıştır.

Günümüzde, nükleer patlayıcıların çevre, sağlık ve güvenlik açısından risklerini en aza indirmek için uluslararası düzeyde çeşitli tedbirler alınmaya çalışılırken, ilerleyen bilim ve gelişen teknolojiyle daha spesifik ve verimli patlayıcıların geliştirilmesi hedeflenmektedir. Kontrolsüz kullanıldıklarında büyük tahribatlara ve felaketlere yol açmalarına karşın, kontrollü bir şekilde kullanıldıklarında birçok uygulama alanında önemli faydalar sağladıkları tartışmasız bir gerçektir. Patlayıcı maddelerin daha güvenli, verimli ve çevreye daha duyarlı bir şekilde kullanılmasına yönelik araştırmalar ve çalışmalar günümüzde de sürdürülmektedir.

3.2. Geleceğe Yönelik Eğilimler ve Sürdürülebilir Yaklaşımlar

Geçmişte olduğu gibi günümüzde de patlayıcı maddeler, teknolojik ve bilimsel araştırmalardaki ilerlemelere paralel olarak üretim, kullanım ve güvenlik alanlarında sürekli bir evrim sürecinden geçmektedir. Yaşanan bu gelişim, yenilikçi formülasyonlar, ileri mühendislik uygulamaları ve dijital teknolojilerin sunduğu imkânlarla her geçen gün daha sofistike bir hale gelmektedir.

Nitekim günümüzde, yüksek termal kararlılığa sahip ve darbe ya da sürtünmeye karşı düşük hassasiyet gösteren patlayıcılar öncelikli olarak tercih edildiğinden patlayıcı teknolojilerindeki araştırmalar da özel uygulamalara yönelik patlayıcıların tasarımı ve sentezine odaklanmıştır (Agrawal ve Hodgson, 2007). Bilimsel ve teknolojik ilerlemelerin ivme kazanmasıyla birlikte, bu alandaki çalışmaların gelecekte daha hızlı ve etkili bir şekilde devam etmesi öngörülmektedir.

Patlayıcı maddelerin geleceği, daha güvenli, çevre dostu ve kontrollü kullanım üzerine odaklanmaktadır. Güvenlik, çevresel sürdürülebilirlik ve hassas kullanım alanlarında kaydedilecek yenilikler, patlayıcı madde teknolojilerinin gelecekteki evriminde kilit rol oynayacak unsurlar olarak öne çıkmaktadır. Özellikle nanoteknoloji, biyoteknoloji, yenilikçi malzeme bilimi, yapay zekâ ve bilgisayar destekli modelleme gibi alanlardaki gelişmelerin, patlayıcı maddelerin geleceği üzerinde önemli bir etki yaratması beklenmektedir. Bu yenilikler, sadece mevcut patlayıcı maddelerin performansını artırmakla kalmayıp, yeni nesil malzemeler ve teknolojilerle patlayıcı maddeler ve sistemlerinde köklü değişikliklere yol açma potansiyeline sahiptir. Nanoteknoloji ve yeni nesil malzemeler, patlayıcı maddelerin bileşiminde köklü değişiklikler yaparak güç, stabilite ve güvenlik gibi kritik özelliklerin optimize edilmesine olanak tanıyacağından gelecekte hem askerî hem de endüstriyel amaçlarla kullanılan patlayıcıların üretiminde bu tür ileri malzemelerin yaygın olarak tercih edilmesi beklenmektedir. Bu tür malzemelerin kullanımı, patlayıcıların mikroskobik boyutta tasarlanmasına ve hedefler üzerinde daha hassas patlamalar gerçekleştirilmesine olanak tanıyacağından güvenlik risklerinin minimize edilme potansiyeli de taşımaktadır. Bu avantajlar, patlayıcı maddelerin daha verimli ve kontrollü bir enerji salınımı gerçekleştirerek

patlamaların gücünü artırmanın yanı sıra, yanıcı özelliklerinin azaltılmasına ve daha hassas bir patlama kontrolünün sağlanmasına imkân tanıyarak çevresel etkilerin minimize edilmesini ve sürdürülebilirlik açısından önemli bir katkı sağlaması da beklenmektedir. Patlayıcı maddelerin tasarımından kullanımına kadar ki süreçlerin her aşamasında yapay zekâ, yenilikçi çözümler sunma potansiyeline sahiptir. Bu durum, patlayıcı maddelerin her aşamasının izlenmesini ve olası tehlikelerin önceden tespit edilerek çözüm üretilmesini ve hatta yapay zekâ destekli algoritmalar yardımıyla taşınma ve depolanma süreçlerindeki muhtemel risklerin de minimize edilmesini sağlayabilir. Dolayısıyla, yapay zekâ, gelecekte patlayıcı maddeler konusunda köklü değişimlere ve devrim niteliğinde yeniliklere de zemin hazırlayabilir.

Öte yandan nükleer patlayıcılar, her ne kadar devletler açısından savaşları önlemede caydırıcı bir araç olarak görülse de çevre, sağlık ve güvenlik açısından ciddi tehditler oluşturmaktadır. Bu tehditlerle mücadele etmek ve küresel barışı tesis etmek amacıyla CTBT antlaşması, uluslararası toplum için kritik bir adım olarak değerlendirilmektedir. Ancak, geçmişte Marshall Adaları'nda nükleer testler gerçekleştiren ABD ile Doğu Türkistan'da "16 Ekim 1964 – 29 Temmuz 1996 tarihleri arasında 44 nükleer silâh denemesi" (Aslan ve Işık, 2024) yaptığı bilinen Çin'in yanı sıra, Kuzey Kore ve İsrail gibi ülkelerin bu antlaşmayı henüz onaylamamış olmaları geleceğe yönelik ciddi belirsizlikler yaratmaktadır. Dahası, Rusya'nın 2023'te kendi isteğiyle antlaşmadan çekilmesi, bu belirsizliği daha da derinleştirmektedir. Özellikle, nükleer silâh sahibi ülkelerin uluslararası düzeyde siyasi ve stratejik çıkarlarını korumak için bu tür antlaşmalardan uzak durmayı tercih etmeleri, uluslararası iş birliğini zayıflatarak silâhlanma yarışını yeniden tetikleme riskini artırmaktadır.

Gelecekte, nükleer patlayıcı geliştiren ülkelerin bu patlayıcıları deneme ve olası bir savaşta kullanma ihtimali olduğundan büyük kitleler ve ekosistem üzerinde ciddi bir tehdit oluşturmaya devam edecektir. Ve hatta bilimsel ve teknolojik ilerlemelerle mevcut nükleer patlayıcıların yıkıcı performansının çok daha ötesine geçen yeni modellerin üretilmesi de ihtimal dâhilindedir. Gelecekte nükleer patlayıcıların daha yıkıcı bir şekilde evrilme ihtimali karşısında kimyasal patlayıcıların gelişiminde çevresel sürdürülebilirlik önemli bir yönelim olarak öne çıkmaktadır. Günümüzde kullanılan patlayıcıların üretimi ve kullanımı çevresel kirlilik ve toksik atık sorunlarına yol açmasının yanı sıra doğal kaynakların kirlenmesine ve ekosistem dengesinin de bozulmasına etkileri olduğundan çevre dostu patlayıcıların geliştirilmesi zaruret haline gelmiştir. Bu sebeple, gelecekte hem askerî hem de endüstriyel amaçlı patlayıcı maddelerin geliştirilmesinde ve kullanımında çevresel etkilerin azaltılması ve daha sürdürülebilir süreçlerin benimsenmesine yönelik önemli bir eğilim beklenmektedir.

Özetle, patlayıcı maddelerin gelecekteki eğilimleri, kullanım alanları ve amaçlarına bağlı olarak, performanslarının artırılması, güvenlik risklerinin minimize edilmesi, çevresel etkilerinin azaltılması ve maliyetlerinin düşürülmesi gibi bir dizi faktörü göz önünde bulunduran bir yaklaşımla şekilleneceği tahmin edilmektedir. Bu doğrultuda, bilimsel ve teknolojik ilerlemelerle birlikte çevresel sürdürülebilirlik ve güvenlik anlayışından ödün vermeksizin, patlayıcı maddelerin daha verimli ve etkili bir şekilde üretilip kullanılmasına yönelik eğilimlerin öncelik kazanacağı düşünülmektedir.

4. Sonuç

Patlayıcı maddeler, tarihsel süreç boyunca gerek askeri gerekse sivil alanlarda kritik bir rol oynamış, günümüzde ise hem kullanım alanları hem de kontrol mekanizmaları açısından önemli bir dönüşüm yaşamaktadır. Bu çalışmada, patlayıcı maddelerin karmaşık doğasını ve modern dünyadaki çok yönlü rollerini anlamak için patlayıcı maddelerin sınıflandırılması, güncel uygulamaları ve geleceğe yönelik eğilimleri nitel bir yaklaşımla incelenmiş ve bu alandaki mevcut durum ile olası gelecek senaryoları detaylı bir şekilde değerlendirilmiştir.

Nitekim ulusal ve uluslararası literatür taraması neticesinde, üzerinde uzlaşılmış evrensel bir patlayıcı tanımının ve sınıflandırmasının bulunmayışının yanı sıra sınıflandırmaların genellikle kimyasal patlayıcı odaklı olması ve nükleer patlayıcıları yeterince kapsamadığı görülmüştür. Patlayıcı maddeler alanında önemli bir eksiklik olarak öne çıkan bu durum, patlayıcı maddelerin hem kimyasal hem de nükleer yönlerini bütüncül bir şekilde ele alan bir sınıflandırma sisteminin gerekliliğini ortaya koymaktadır. Bu eksikliği gidermek amacıyla patlayıcı maddeleri daha geniş bir perspektiften ele alan kapsamlı ve daha anlaşılır bir sistematik yaklaşım önerilmiştir. Önerilen bu yaklaşımda, patlayıcı maddeler bağ yapıları göz önünde bulundurularak kimyasal ve nükleer patlayıcılar olmak üzere iki ana grupta sınıflandırılmış olup kimyasal patlayıcılar, yapılarındaki temel elementler, nükleer patlayıcılar ise atom çekirdeklerinin büyüklüğü dikkate alınarak alt sınıflara ayrılmıştır.

Bununla birlikte, patlayıcı maddelerin günümüzdeki kullanımı, bilimsel ilerlemeler ve teknolojik gelişmeler doğrultusunda önemli bir evrim geçirerek askeri alanın yanı sıra sivil ve endüstriyel alanlarda da yaygın olarak kullanıldığı görülmektedir. Patlayıcı maddeler, yalnızca yıkıcı potansiyellere sahip olmakla kalmayıp, aynı zamanda yapıcı işlevlerde de önemli roller üstlenmektedir. Ancak yüksek enerji salınımı kapasiteleri sayesinde ekonomik ve işlevsel çözümler sundukları halde, bu süreçlerin kimyasal ve nükleer atıklar ile çevresel emisyonlara yol açması önemli bir dezavantaj olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu durum, çevresel etkilerin minimize edilmesine yönelik bilimsel araştırmaların artırılmasını ve yenilikçi teknolojilerin

geliştirilmesini gerekli kılmaktadır. Bu alandaki günümüz araştırmaları, özellikle nanoteknoloji, yapay zekâ ve akıllı kontrol sistemleri gibi alanlardaki ilerlemelerle patlayıcı maddelerin daha hassas, kontrollü ve güvenli şekilde kullanılmasını sağlayacak yeni teknolojilerin geliştirilmesi üzerine yoğunlaşmaktadır.

Gelecekte, disiplinler arası yaklaşımların ve yenilikçi teknolojilerin patlayıcı maddelerin tasarımı, üretimi ve kullanımı üzerindeki etkisinin daha da belirginleşmesi öngörülmektedir. Özellikle mühendislik, malzeme bilimi, kimya ve bilgi teknolojilerindeki gelişmeler, hem askeri hem de sivil uygulamalarda daha güvenli, çevre dostu ve sürdürülebilir çözümler geliştirilmesine olanak tanıyacağı düşünülmektedir. Ayrıca biyoteknoloji ve nanoteknoloji gibi disiplinlerin bu alana entegrasyonu, daha kontrollü ve hedef odaklı enerji salınımları sağlayan yeni nesil patlayıcı maddelerin ortaya çıkmasını sağlayacak bir potansiyel taşımaktadır. Bu tür ilerlemeler, yalnızca mevcut zorlukların giderilmesini sağlamakla kalmayıp yeni nesil patlayıcı maddelerin geliştirilmesine, yeni kullanım alanlarının keşfedilmesine ve daha geniş bir perspektiften değerlendirilebilmesine olanak tanıyacaktır. Buna ek olarak, patlayıcı madde teknolojilerinin geleceği, performans, güvenlik ve çevresel sürdürülebilirlik arasında denge kurmayı hedefleyen bütüncül yaklaşımlar doğrultusunda şekillenebilir. Bu doğrultuda, patlayıcı maddelerle ilgili kamu kurumları, özel sektör ve akademik kuruluşlar arasında etkin iş birliklerinin kurulması, araştırma ve geliştirme (Ar-Ge) çalışmalarına daha fazla kaynak ayrılması ve yenilikçi teknolojilerin benimsenmesi, bu alandaki bilimsel ilerlemeleri ve teknolojik gelişmeleri de beraberinde getirecektir. Patlayıcı maddeler, hem günümüzde hem de gelecekte farklı alanlardan gelen yaklaşımlar ve inovasyonlarla daha güvenli, verimli ve çevresel açıdan sürdürülebilir bir düzeye ulaşma potansiyeline sahiptir.

Sonuç olarak; bu çalışma, patlayıcı maddelere dair mevcut bilgilerin kapsamlı bir analizini sunmanın yanı sıra, kimyasal ve nükleer patlayıcıları bir arada kapsayan yeni bir sınıflandırma yaklaşımı ortaya koyarak hem akademik literatüre hem de pratik uygulamalara önemli katkılar sunmaktadır. Patlayıcı maddelerin stratejik öneminin giderek arttığı bir dönemde, çevresel, sosyal ve ekonomik faktörleri gözetten sürdürülebilir teknolojilerin geliştirilmesi, gelecekteki bilimsel ve teknolojik yeniliklerin temelini oluşturacaktır. Bu doğrultuda, bu çalışmanın konuya dair daha ileri araştırmalara ve pratik uygulamalara rehberlik etmesi beklenmektedir.

Katkı Oranı Beyanı

Yazarların katkı yüzdeleri aşağıda verilmiştir. Yazarlar makaleyi incelemiş ve onaylamıştır.

	S.A.	B.İ.
K	100	
T	100	
Y	100	
VTI	50	50
VAY	50	50
KT	50	50
YZ	50	50
KI	100	
GR	100	

K= kavram, T= tasarım, Y= yönetim, VTI= veri toplama ve/veya işleme, VAY= veri analizi ve/veya yorumlama, KT= kaynak tarama, YZ= Yazım, KI= kritik inceleme, GR= gönderim ve revizyon.

Çatışma Beyanı

Yazarlar bu çalışmada hiçbir çıkar ilişkisi olmadığını beyan etmektedirler.

Destek ve Teşekkür Beyanı

Bu makale, Doktora tezinden üretilmiştir.

Kaynaklar

- Agrawal JP. 2010. High energy materials: propellants, explosives and pyrotechnics. Wiley-VCH, Weinheim, Germany, pp: 464.
- Agrawal JP, Hodgson RD. 2007. Organic chemistry of explosive. John Wiley & Sons, Chichester, England, pp: 383.
- Akhavan J. 2004. The chemistry of explosives. The Royal Society of Chemistry, Cambridge, UK, pp: 179.
- Altgilbers LL, Baird J, Freeman BL, Lynch CS, Shkuratov SI, 2011. Explosive pulsed power. Imperial College Press, Singapore, India, pp: 596.
- Aslan C, Işık G. 2024. Çin'in Doğu Türkistan'da uyguladığı nükleer denemeler ve bunun dünya basınına yansımaları. URL: <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/3860163> (accessed date: January 25, 2024).
- Ateşceloğlu S. 2011. Endüstriyel patlayıcı madde portföyü ve performansa dayalı seçim kriterleri. MSc thesis, Okan University, Graduate School of Natural and Applied Sciences, İstanbul, Türkiye, pp: 151.
- Cooper PW. 1996. Explosives engineering. Wiley-VCH Inc., New York, USA, pp: 460.
- Cooper PW, Kurowski SR, 1996. Introduction to the technology of explosives. Wiley-VCH Inc., New York, USA, pp: 224.
- CTBTO. 1996. Comprehensive nuclear-test-ban treaty (CTBT)

and text on the establishment of a preparatory commission for the comprehensive nuclear-test-ban treaty organization. URL: https://www.ctbto.org/sites/default/files/Documents/CTBT_English_withCover.pdf (accessed date: July 10, 2024).

ÇSGB. 2015. Yer altı ve yer üstü kömür ocaklarında çalışma faaliyet gösteren diğer maden ocaklarında çalışma koşullarının iyileştirilmesi programlı teftiş sonuç raporu. URL: <https://www.csgeb.gov.tr/rtb/yayinlar/> (accessed date: April 5, 2023).

Dursun H. 2007. Determination of the postexplosion residues of nitro group containing explosives in soil with gas chromatography-mass spectrometry and gas chromatography-thermal energy analyser. MSc thesis, Middle East Technical University, Institute of Science, Ankara, Türkiye, pp: 71.

EGM. 2023. Sivil kullanım amaçlı patlayıcı maddeler. URL: <https://www.egm.gov.tr/kurumlar/egm.gov.tr/lcSite/ozelguvenlik/SIVIL-KULLANIM-AMACLI-PATLAYICI-MADDELER-KITABI.pdf> (accessed date: February 18, 2024).

Klapötke TM. 2017. Chemistry of high-energy materials. De Gruyter, Boston, Germany, pp: 385.

Meyer R, Köhler J, Homburg A. 2007. Explosives. Wiley-VCH, Weinheim, Germany, pp: 421.

OSHA. 2017. Process safety management for explosives and pyrotechnics manufacturing. URL: <https://www.osha.gov/sites/default/files/publications/OSHA-3912.pdf> (accessed date: November 25, 2024).

Öz S, Atakol O. 2020. Bazı patlayıcı maddelerin termal analiz yöntemleriyle incelenmesi. İKSAD Publishing House, Ankara, Türkiye, pp: 154.

Özcan A. 1992. Âteş-i rûmî. In: Kollektif, editors. Türkiye Diyanet Vakfı İslam Ansiklopedisi. Türkiye Diyanet Vakfı Vakıf Yayınları, İstanbul, Türkiye, 4, pp: 559.

Siracusa JM. 2008. Nuclear weapons: a very short introduction. Oxford University Press, New York, USA, pp: 143.

Swahn J. 1992. The long-term nuclear explosives predicament: the final disposal of militarily usable fissile material in nuclear waste from nuclear power and from the elimination of nuclear weapons. PhD thesis, Chalmers University of Technology, Technical Peace Research Group, Göteborg, Sweden, pp: 250.

Thucydides. 1898. Thucydides historiae. Hude C, editors. Aedibus B G Teubneri, Leipzig, Germany, pp: 352.

Türker L, Varış S, 2009. A review of polycyclic aromatic energetic materials. URL: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/10406630903135971> (accessed date: April 16, 2023).

Urbanski T. 1964. Chemistry and technology of explosives. Pergamon Press, New York, USA, pp: 635.

Vasiliev AA. 1943. Bizans İmparatorluğu tarihi (Mansel AM, trans.). Maarif Matbaası, İstanbul, Türkiye, pp: 540.

Weinheimer R. 2002. Properties of selected high explosives. URL: https://www.academia.edu/34451320/Properties_of_Selected_High_Explosives (accessed date: January 18, 2024).