

Sodyumborhidrür Bileşiğinin İnsansız Hava Araçlarında Yakıt Depolayıcısı Olarak Kullanılabilirliğinin Araştırılması

Abdullah SAYIM^{1*}, Suha Orçun MERT²

¹İskenderun Teknik Üniversitesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü, Hatay
²İskenderun Teknik Üniversitesi, Petrol ve Doğalgaz Mühendisliği Bölümü, Hatay

*Sorumlu yazar (Corresponding author): a.sayim@hotmail.com

Geliş Tarihi (Received): 12.04.2023

Kabul Tarihi (Accepted): 15.05.2023

Özet

Bu çalışmada, sodyumborhidrür (NaBH_4) bileşiğinin insansız hava araçlarında (İHA) yakıt depolayıcısı olarak kullanılabilirliği incelenmiştir. Çalışmanın temel amacı, NaBH_4 'nin İHA'lar için bir alternatif yakıt olarak kullanılabilirliğini belirlemektir. Çalışma kapsamında, NaBH_4 'ün sentez mekanizması, kimyasal özellikleri, yakıt hücrelerindeki performansı ve enerji yoğunluğu gibi temel özellikleri incelenmiştir. Çalışmada ayrıca, NaBH_4 'nin depolanması, taşınması ve yeniden doldurulması gibi pratik kullanım açısından önemli faktörler de değerlendirilmiştir. Yapılan değerlendirmelerde, hidrojen gazı, diğer geleneksel yakıtlara kıyasla daha temiz bir enerji kaynağı olması nedeniyle NaBH_4 'ün potansiyel olarak İHA'lar için önemli bir hidrojen depolayıcısı olarak kullanılabildiği ve ayrıca hidrojenin, yüksek enerji yoğunluğuna sahip olması nedeniyle İHA'lar için daha uzun uçuş süreleri ve daha geniş menziller sağlayabileceği sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Sodyumborhidrür, İHA, yakıt pili, hidrojen, enerji depolama

Investigation of the Usability of Sodium Borohydride Compound as a Fuel Storage in Unmanned Aerial Vehicles

Abstract

In this study, the usability of sodium borohydride (NaBH_4) compound as fuel storage in unmanned aerial vehicles (UAV) was investigated. The main purpose of the study is to determine the usability of NaBH_4 as an alternative fuel for UAVs. Within the scope of the study, basic properties of NaBH_4 such as synthesis mechanism, chemical properties, performance in fuel cells and energy density were investigated. The study also evaluated important factors for practical use, such as the storage, transport and refilling of NaBH_4 . In the evaluations, it was concluded that NaBH_4 could potentially be used as an important hydrogen storage for UAVs since hydrogen gas is a cleaner energy source compared to other conventional fuels, and also that hydrogen can provide longer flight times and wider ranges for UAVs due to its high energy density.

Keywords: Sodiumborohydride, UAV, fuel cell, hydrogen, energy storage

1. Giriş

Son yıllarda hidrojen enerjisi alanında araştırma ve geliştirme çalışmaları hız kazanmıştır. Hidrojen yakıt hücreleri otomotiv, enerji depolama ve endüstriyel uygulamalarda da kullanılmaya başlanmıştır. Bununla birlikte, hidrojen enerjisi sisteminin daha geniş ölçekte yaygınlaşması için maliyetlerin düşürülmesi, üretim ve depolama altyapısının geliştirilmesi gibi bazı zorlukların aşılması gerekmektedir. Hidrojen depolama sistemleri, hidrojen gazının uzun süreli depolanması ve kullanılması için tasarlanmış sistemlerdir. Hidrojen, temiz ve yenilenebilir bir enerji kaynağı olarak önemli bir potansiyele sahiptir ancak gaz formunda oldukça düşük yoğunluklu olduğu için depolanması zordur. Bu nedenle araştırmacılar tarafından çeşitli Hidrojen depolama sistemleri geliştirilmiş olup bu sistemler hidrojeni güvenli ve verimli bir şekilde depolayarak enerji talebi olduğunda kullanılabilir hale getirmektedirler (Abdelhamid, 2021). Hidrojen depolama sistemleri, enerji depolama ve dönüşümünde önemli bir rol oynamaktadır. Ancak, her bir hidrojen depolama yönteminin avantajları, dezavantajları ve özel gereksinimleri vardır. Gelişen teknolojiyle birlikte Hidrojen depolama yöntemleri ile ilgili çok sayıda çalışma yapılmıştır. Bunlar arasında günümüzde en popüler olan yöntem Hidrojenin Bor bileşiğine tutundurulması sonucu elde edilen SodyumBorHidrür (NaBH_4) bileşiğidir. İyi bir Hidrojen depolayıcısı olan Sodyumborhidrür, kimyasal formülü NaBH_4 olan beyaz kristal veya toz halde bulunan ve patlama riski içermeyen bir bileşiktir. Sodyumun borhidrürle olan bileşiğidir. NaBH_4 , hidrojen gazının sodyum ve borhidrür ile reaksiyonuyla elde edilir (Brack ve ark., 2015). NaBH_4 , birçok kimyasal reaksiyonda indirgeyici bir ajan olarak kullanılır. Özellikle organik sentezde hidrojen kaynağı olarak yaygın bir şekilde kullanılır. Birçok aldehit ve ketonu alkollere indirgeyebilir, böylece birincil ve

ikincil alkol sentezinde kullanılabilir. Ayrıca, bazı metal tuzlarını da indirgeyebilir (Bairbir, 2005). NaBH_4 , hidrolize karşı oldukça duyarlıdır ve suyla temas ettiğinde hidrojen gazı açığa çıkarır. Bu nedenle, sodyumborhidrür manipülasyonu dikkatli bir şekilde yapılmalı ve suyla temasından kaçınılmalıdır (Hansu, 2015). Sodyumborhidrürden hidrojeni daha hızlı ayırmak için uygulamada çoğu kez katalizör malzemelerden yararlanılır. Son yıllarda bu tür metal katalizörler konusunda da çok sayıda çalışma yapılmış olup etkinlik derecesi yüksek olan Nikel, Krom, Kobalt bazlı çok sayıda katalizör bileşikler üretilmiştir (Hansu, 2015). Günümüzde insansız hava araçları teknolojisi hızla gelişmekte olup, gelecekte daha da yaygınlaşması ve daha farklı alanlarda kullanılması beklenmektedir. Bu teknoloji, birçok sektörde yeni fırsatlar sunarken, aynı zamanda etik, hukuki ve güvenlik açısından da dikkatle yönetilmesi gereken bir alan olarak kalacaktır (Bone ve Bolkcom, 2003). İHA'lar, uzaktan kumanda edilen veya önceden programlanmış rotaları takip ederek uçabilirler. Ayrıca bazı gelişmiş İHA'lar, kendi kendine uçabilen ve engelleri algılayabilen yapay zekâ sistemleriyle donatılmıştır (Bone ve Bolkcom, 2003). İnsansız hava araçları, askeri ve sivil alanlarda çeşitli uygulamalara sahiptir. İHA'lar askeri keşif ve gözetleme, hava saldırıları, keşif ve kurtarma operasyonları, sınırları koruma, hedef belirleme ve daha birçok askeri operasyon için kullanılabilirler. Aynı zamanda doğal afetlerde hasar tespiti, arama kurtarma operasyonları, yangın söndürme, tarım alanında bitki sağlığı izleme, coğrafi haritalama, haberleşme altyapısı olmayan bölgelerde iletişim sağlama gibi sivil uygulamalarda da yaygın olarak kullanılırlar (Bone ve Bolkcom, 2003). İnsansız hava araçları, genellikle kamera, termal görüntüleme cihazları, sensörler ve veri toplama sistemleri gibi çeşitli donanımlarla donatılmıştır. Bu sayede, çevresel verileri toplayabilir, görüntü ve

video kaydedebilir, haritalama yapabilir ve gerektiğinde gerçek zamanlı verileri aktarabilirler (Bone ve Bolcom, 2003; Hong ve Kim, 2018). İnsansız hava araçlarının en önemli sorunu yakıt sorunudur ve genellikle iki farklı yönden ele alınır: Bunlar, enerji kaynakları ve uçuş süreleridir. İHA'ların çoğu, uçuşlarını desteklemek için elektrik veya yakıt hücresi gibi alternatif enerji kaynaklarından güç alır. Elektrikle çalışan İHA'lar, şarj edilebilir piller kullanır ve genellikle daha küçük boyutlarda ve daha kısa menzillerde kullanılır. Yakıt hücreleri ise hidrojen veya benzin gibi yakıtlardan elektrik üretebilir ve daha uzun menzilli ve daha büyük İHA'lar için tercih edilebilir. Enerji depolama sistemleri, bu araçların menzilini artırabilir ve şarj altyapısının etkinliğini artırarak elektrikli araç kullanımını önemli oranda teşvik eder (Bone ve Bolcom, 2003; Hong ve Kim, 2018). İnsansız hava araçlarının uçuş süreleri, kullanılan enerji kaynağına ve İHA'nın boyutuna bağlı olarak değişir. Elektrikle çalışan İHA'lar genellikle 20 dakika ila 1 saat arasında bir uçuş süresine sahip olabilirken, yakıt hücreli İHA'lar daha uzun uçuş sürelerine sahip olabilir, bazıları birkaç saate kadar uçabilir. Ancak, yakıt hücreli İHA'ların da yakıt depolama kapasitesi sınırlıdır ve daha uzun sürelerde havada kalabilmek için yakıt ikmali yapmaları gerekebilir (Hong ve Kim, 2018). Yakıt sorununu çözmek için araştırmalar ve geliştirmeler devam etmektedir. Daha verimli ve hafif bataryaların geliştirilmesi, enerji depolama kapasitesini artırarak İHA'ların daha uzun süre havada kalmasına yardımcı olabilir. Aynı şekilde, yakıt hücrelerinin verimliliğini artıran çalışmalar da yapılmaktadır (Hong ve Kim, 2018).

2. Mataryel ve Yöntemler

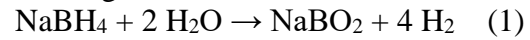
2.1. Sistemin mekanizması

Hidrojen gazı, renksiz, kokusuz ve yanıcı bir gazdır. Düşük yoğunluğa sahip olduğu için havadan daha hafiftir. Hidrojen, yüksek oranda enerji taşıyabilen bir yakıttır ve genellikle yakıt hücreleri ve roketler gibi alanlarda kullanılır (Çetinkaya ve

Karaosmanoğlu, 2003). Yakıt hücreleri, hidrojeni oksijenle birleştirerek elektrik enerjisi üreten cihazlardır. Bu süreçte sadece su ve ısı açığa çıkar, zararlı emisyonlar oluşmaz. Bu nedenle hidrojen, temiz ve sürdürülebilir bir enerji kaynağı olarak kabul edilir (Çetinkaya ve Karaosmanoğlu, 2003). NaBH_4 formülüne sahip katı, inorganik bir toz bileşik olan sodyumborhidrür, çok yönlü bir indirgeme maddesidir. NaBH_4 , aşağıdaki birleşik avantajlar nedeniyle en yoğun ilgiyi görmüştür (Hung ve ark., 2008):

- Yüksek hidrojen depolama kapasitesi (ağırlıkça %10,8);
- Alkali çözeltilerde yüksek stabilite ve yanıcılık olmaması;
- Desteklenen katalizörlerle hidrojen üretim hızı üzerinde optimum kontrol;
- Düşük sıcaklıklarda bile kabul edilebilir hidrojen üretim hızı;
- Kullanılabilirlik ve kolay kullanım;

Bu kimyasal bileşik, su ile hidroliz edildiğinde verimli bir hidrojen kaynağı haline gelir:



NaBH_4 , hidrolize karşı oldukça duyarlıdır ve suyla temas ettiğinde hidrojen gazı açığa çıkarır. Bu nedenle, sodyumborhidrür manipülasyonu dikkatli bir şekilde yapılmalı ve suyla temasından kaçınılmalıdır (Hung ve ark., 2008).

Sodyumborhidrür, birçok endüstriyel uygulamada, farmasötik üretimde, metal işleme ve kimyasal sentezlerde kullanılır. Aynı zamanda birçok araştırma laboratuvarında da yaygın olarak kullanılan bir kimyasal bileşiktir.

İnsansız hava araçları (İHA), insansız olarak uçabilen ve çeşitli görevleri yerine getirebilen hava araçlarıdır. İHA'lar, gelişen teknoloji ile birlikte önemli bir ilerleme kaydetmiş ve birçok farklı alanda kullanılmaya başlanmıştır.

İHA'lar, askeri, sivil ve ticari alanlarda kullanılan çeşitli tiplerde olabilir. İşlevlerine ve tasarımlarına bağlı olarak, İHA'lar keşif, gözetleme, istihbarat toplama, hava fotoğrafçılığı ve video çekimi, tarım alanlarında bitki hastalıkları

tespiti, yangın söndürme, afet durumlarında arama kurtarma gibi birçok farklı amaç için kullanılabilirler. İHA'ların teknolojisi sürekli olarak gelişmektedir. Daha hafif ve dayanıklı malzemelerin kullanılması, gelişmiş sensör ve kameraların entegrasyonu, daha uzun uçuş süreleri için geliştirilen pil teknolojileri, otonom uçuş kabiliyeti için yapay zekâ ve otomatik pilot sistemleri gibi faktörler İHA'ların daha etkili ve kullanışlı hale gelmesini sağlamıştır. Bu teknoloji, bir dizi avantajlar sunmaktadır. İnsansız hava araçları, tehlikeli veya zorlu ortamlarda insanların yerine geçerek riskleri azaltabilir. Ayrıca, İHA'lar insanların ulaşması zor olan alanlara erişim sağlayarak keşif ve gözetleme faaliyetlerini kolaylaştırır. Tarım sektöründe kullanılan İHA'lar, bitki hastalıklarını tespit ederek verimliliği artırabilir ve tarım alanlarını daha sürdürülebilir hale getirebilir. Ancak, İHA teknolojisinin bazı zorlukları da vardır. Uçuş güvenliği, hava trafik yönetimi, veri gizliliği ve güvenliği gibi konular, İHA'ların yaygın kullanımını sınırlayan faktörler arasında yer almaktadır. Bu zorlukların üstesinden gelmek için hükümetler, düzenleyici kurumlar ve teknoloji şirketleri, İHA kullanımına ilişkin politika ve yönetmelikleri geliştirmektedirler (Min ve ark., 2023). Günümüzde insansız hava araçları teknolojisi hızla ilerleyen bir alandır ve birçok sektörde önemli bir rol oynamaktadır. İleriki zamanlarda bu alanda daha fazla gelişme ve iyileştirme beklenmektedir, bu da İHA'ların daha da yaygın bir şekilde kullanılacağı anlamına gelmektedir.

2.2. Yöntem

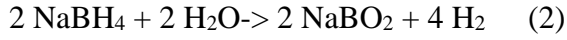
İHA'lar için sodyumborhidrürden hidrojen üretimi için literatürde bildirilen çok sayıda çalışma vardır. Kim & Kwon, yakıt piliyle çalışan bir İHA tasarladı ve geliştirdi. Ticari bir PEM yakıt hücresi ile entegre bir hidrojen jeneratörü ürettiler ve yaklaşık 2 saat boyunca uçak uçuş testleri gerçekleştirdiler. Kim ve ark. İHA'nın görev yeteneklerini geliştirmek için ticari

bir PEM yakıt hücresinin modifikasyonu ile bir yakıt hücresi sistemi ürettiler. Başka bir çalışmada, yakıt hücresi sisteminin hacimsel yoğunluğunu artırmak için hacim değişimli bir yakıt tankı kullanılmıştır. NaBH₄ ve NaBO₂ çözeltileri arasındaki hacim değişimli yakıt tankının basit mekanizması için bir lastik torba kullanılmıştır. Kim ve ark. tarafından başlatma özelliklerini geliştirmeye ve katalizör yatağı boyutlandırmasını basitleştirmeye yönelik yöntemler araştırılmıştır. Yukarıda belirtilen çalışmalara ek olarak bu çalışmada NaBH₄ tabanlı İHA'ların uzun uçuş sürelerini yakalayabilmesi için gerekli olan yakıt desteğinin sağlanması amacıyla sodyumborhidrür bileşiğinden hidrojen üretimi prensibine dayanan yeni bir öneri sunulmuştur (Kwon ve ark., 2019; Kim ve Kwon 2012). Metal katalizörler kullanılarak sodyum borohidrürden hidrojen üretimi son zamanlarda sıkça kullanılan bir yöntemdir ve sodyumborhidrür (NaBH₄), hidrojeni depolama ve güvenli bir şekilde taşıma için yaygın olarak kullanılan bir bileşiktir. Aşağıda, bu işlemi gerçekleştirmek için kullanılan bazı yaygın metal katalizörler ve genel bir reaksiyon yol haritası verilmiştir (Durbin ve Malardier-Jugroot, 2013; Kim ve ark., 2016). Palladyum (Pd) katalizörü: Palladyum, sodyum borohidrürden hidrojenin ayrıştırılması için sıkça kullanılan bir katalizördür. Palladyum katalizörü, hidrojenin sodyum borohidrürle tepkimeye girerek hidrojen gazına dönüştürülmesini kolaylaştırır. Platin (Pt) katalizörü: Platin katalizörü de sodyum borohidrürden hidrojen üretimi için yaygın olarak kullanılan bir seçenektir. Pt katalizörü, sodyum borohidrürün hidroliz reaksiyonunu hızlandırır ve hidrojenin serbest bırakılmasını sağlar. Reaksiyon yol haritası aşağıdaki adımlardan oluşur: Adım 1: Sodyum borohidrür ve su karışımı hazırlanır. Bu karışım, hidrojen gazının serbest bırakılması için gereklidir.

Adım 2: Palladyum veya platin gibi uygun bir metal katalizörü reaksiyon kabına yerleştirilir.

Adım 3: Sodyum borohidrür-su karışımı katalizörün üzerine eklenir.

Adım 4: Katalizörün varlığında gerçekleşen reaksiyon sonucunda, sodyum borohidrür hidroliz olur ve hidrojen gazı açığa çıkar. Bu reaksiyon şu şekildedir:



Adım 5: Hidrojen gazı toplanır ve kullanılması gereken herhangi bir alanda depolanabilir veya kullanılabilir.

Bu işlem, hidrojenin sodyumborhidrürden çıkarılması ve kullanılabilir bir formda elde edilmesini sağlar. Metal katalizörler, reaksiyon hızını artırarak ve enerji gereksinimlerini azaltarak bu süreci optimize eder. Ancak, reaksiyon koşulları ve katalizör seçimi gibi faktörler, hidrojen üretimi verimliliğini etkileyebilir ve belirli uygulamalara yönelik optimize edilmiş katalizör sistemlerinin kullanılmasını gerektirebilir. Sodyumborhidrür (NaBH_4) bileşiği yanma veya patlama riski taşıyan bir madde değildir. NaBH_4 , yanıcı değildir ve oda sıcaklığında hava ile reaksiyona girmez. Ancak, NaBH_4 su ile temas ettiğinde hidrojen gazı üretme eğilimindedir. Bu durum, suyla temas ettiğinde sodyumborhidrürün yavaşça hidrojen gazına ve sodyum hidroksite (NaOH) ayrıştığı anlamına gelir. Bu reaksiyonun sonucunda hidrojen gazı açığa çıkar ve hidrojen gazı yanıcıdır. Bu nedenle, NaBH_4 'nin suyla temas etmesi veya su içeren ortamlarda kullanılması durumunda yanma veya patlama riski ortaya çıkabilir (Kim ve ark., 2016). NaBH_4 'nin güvenli bir şekilde kullanılması için, su veya nemden uzak tutulmalı ve kapalı bir ortamda saklanmalıdır. Ayrıca, NaBH_4 ile çalışırken uygun güvenlik önlemleri almak önemlidir. Bu önlemler arasında uygun kişisel koruyucu ekipmanların (gözlük, eldiven, laboratuvar önlüğü) kullanılması, iyi havalandırılan bir alanda çalışılması ve yangın söndürme ekipmanlarının yakın olması yer alır (Hua ve ark., 2017). Her durumda, NaBH_4 veya herhangi bir

kimyasal maddeyle çalışırken, güvenlik talimatlarını takip etmek ve kimyasalın güvenli kullanımı hakkında yetkin bir kişi veya kuruluşun rehberliğinden faydalanmak önemlidir.

3. Bulgular ve Tartışma

İHA'lar üzerine günümüze kadar birçok araştırma yapılmıştır. Bununla birlikte, günümüzdeki İHA'ların güç sistemleri tamamen içten yanmalı motorlara veya ikincil pillere bağlıdır. İçten yanmalı motorlar düşük ısı verime ve gürültüye ve yüksek ısı emisyonuna sahiptirler. Bu özellikler askeri uygulamalar için pek uygun değildir. Ayrıca ikincil piller, düşük enerji yoğunluğu nedeniyle görev menziline sınırlamalara yol açar. Son zamanlarda gelişmiş ülkeler arasında görev yapan İHA'lar için alternatif güç kaynağı olarak yakıt pili sistemleri üzerine çalışılmaktadır. Yakıt hücresi basit bir konfigürasyona ve yüksek enerji yoğunluğuna ve yüksek verimliliğe sahiptir çünkü bu sistemlerde kimyasal enerji doğrudan elektrik enerjisine dönüştürülür. Ayrıca gürültü ve titreşim sistemleri yoktur. Bu da askeri açıdan büyük bir avantaj anlamına gelmektedir. Proton değişim membranlı yakıt hücrelerini (PEMFC'ler) çalıştırmak için gaz halindeki hidrojen gereklidir. Hidrojen depolama sistemleri, yakıt hücresi sistemlerinin ağırlığının büyük bir bölümünü oluşturmaktadır ve bu nedenle uygun bir hidrojen kaynağının seçilmesi önemlidir. Sıkıştırılmış hidrojen ve metal hidrürler söz konusu olduğunda, gerekli enerji yoğunluğunu karşılamak için büyük hacimli ve ağır olmaktadırlar. Kimyasal hidrürler, yüksek enerji yoğunluklarından dolayı yeni hidrojen kaynakları olarak öne çıkmışlardır. Son yıllarda bu hidrürlerden en önemli olanlarından biri NaBH_4 alkali solüsyonu olarak bilinmektedir ve bu solüsyonun bazı üstün avantajları vardır: kararlı, yanmaz, toksik olmayan ve yüksek hidrojen kapasitesine (ağırlıkça %10,8) sahip olmasıdır. Ayrıca katalitik hidroliz ile hidrojen üretimini sistem yönetimi

açısından kontrolü oldukça kolaydır (Min ve ark., 2023; Kim, 2014). Günümüzde İHA'ların uçuş dayanıklılığını artıracak bir güç kaynağı geliştirme üzerine çok sayıda çalışma yürütülmektedir ve hâlihazırda bu hususta önemli aşamalar da kaydedilmiştir. İHA'lar için güç kaynağı olarak bir yakıt hücresi sisteminin tasarımı ve üretimi büyük önem arz etmektedir. Bu konuda çok sayıda ve çeşitlilikte yakıt hücresi modelleri geliştirilmiş ve geliştirilmeye çalışılmaktadır. Yakıt hücresi sistemi genel olarak üç alt sistemden oluşur: bir yakıt hücresi yığını, hidrojen jeneratörü ve hibrit güç yönetim sistemidir. Araç ve mobil uygulamalar için yüksek verimliliğe, yüklere hızlı cevap verebilen ve kararlı çıkış gücüne sahip olan PEMFC'ler tercih edilmektedirler. İHA'ların genel enerji yoğunluğunu karşılamak için yüksek bir hidrojen ağırlık yoğunluğu gereklidir. Önemli avantajlar sunması nedeniyle Hidrojen kaynağı olarak genellikle sodyumborhidrür (NaBH_4) bileşiği seçilir. Hidrojen, katalitik bir hidroliz reaksiyonuyla üretilir. Etkili güç yönetimi için bazen hibrit sistem olarak bir lityum batarya sistemi de ek olarak kullanılabilir. Yakıt pili sistemi İHA test platformuna entegre edilerek uçuş testleri gerçekleştirilebilir (Lapeña-Rey ve ark., 2017). Sodyumborhidrür (NaBH_4), kimyasal formülü NaBH_4 olan bir bileşiktir. Genellikle bir indirgen olarak kullanılır ve hidrojen kaynağı olarak işlev görebilir. İnsansız Hava Araçları (İHA'lar) için yakıt olarak kullanılabilirliğini araştırmak için, NaBH_4 'ün bazı özelliklerini ve potansiyel avantajlarını incelemek önemlidir. NaBH_4 , hidrojen gazını salmak suretiyle enerji sağlayabilir. Bu özelliği nedeniyle İHA'lar gibi hafif ve taşınabilir uçan sistemlerde

enerji kaynağı olarak önemli bir potansiyel sunar. NaBH_4 'ün İHA yakıtı olarak kullanılabilirliği hakkındaki bazı noktalar aşağıda verilmiştir (Gadalla ve Zafer 2016; Prosini ve Gislou 2006). Yüksek hidrojen içeriği: NaBH_4 , %10'a kadar hidrojen içerebilir, bu da yakıt olarak kullanıldığında yüksek enerji yoğunluğu sağlar. Bu durum, İHA'ların daha uzun uçuş süreleri için yeterli enerji sağlamalarını sağlayabilir. Güvenli depolama ve taşıma: NaBH_4 , hidrojen gazına kıyasla daha güvenli bir şekilde depolanabilir. Katı bir formda olduğu için sıkıştırılmış hidrojen gazının güvenlik endişeleri olmadan taşınması ve depolanması mümkündür. Düşük toksisite: NaBH_4 , çoğu diğer hidrojen depolama bileşiklerine kıyasla düşük toksisiteye sahiptir. Bu da işletme ve kullanım açısından avantajlı olabilir. Kolay hidrojen salınımı: NaBH_4 , uygun katalizörler kullanılarak hidrojen gazını verimli bir şekilde salabilir. Bu da, İHA'ların ihtiyaç duydukları enerjiyi hızlı bir şekilde sağlayabilmelerini sağlar.

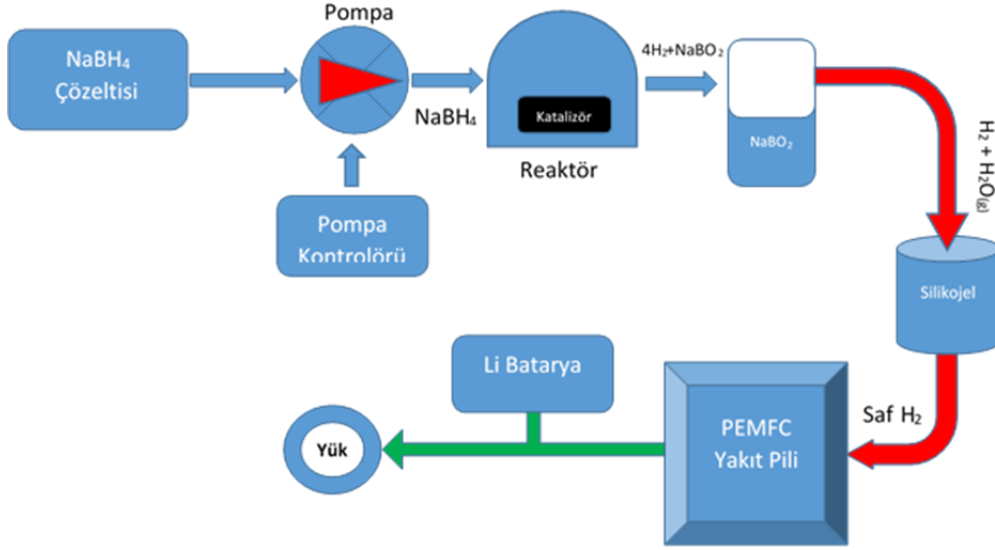
NaBH_4 'ün bazı zorlukları da vardır:

Reaktiflik: NaBH_4 , su ve diğer reaktif maddelerle temas ettiğinde hidrojen gazı üretebilir. Bu, güvenlik ve depolama açısından dikkate alınması gereken bir faktördür.

Ağırlık: NaBH_4 , diğer hidrojen depolama bileşiklerine göre daha yoğun olabilir. Bu, İHA'ların taşıma kapasitesini etkileyebilir ve uçuş sürelerini sınırlayabilir.

Maliyet: NaBH_4 , diğer hidrojen depolama yöntemlerine göre maliyetli olabilir. Büyük miktarlarda üretimi ve kullanımı maliyetlerin artmasına neden olabilir.

Yakıt hücresi sisteminin genel çalışma prensibini sembolize eden şema Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Yakıt hücresi sisteminin çalışma prensibi.

Karbon safsızlığı olmayan saf hidrojen, hidroliz ile elde edilebilir. NaBH₄'ün temel hidroliz reaksiyonu aşağıdaki gibidir (Brack ve ark., 2015; Hung ve ark., 2008):

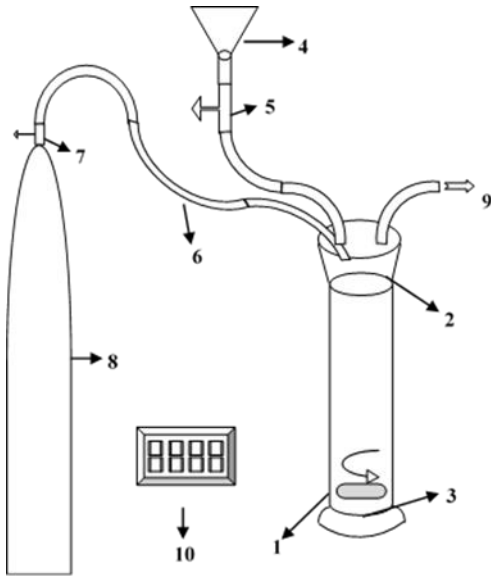


Denklem 3'e bakıldığında, Hidrojen, reaksiyondaki tek gaz üründür ve borat yan ürünü ayrıştırıldıktan sonra saf hidrojen elde edilir. Kreevoy ve Jacobson, NaBH₄'ün hidrolizinin aşağıdaki şekilde *pH* ve sıcaklığa bağlı olduğunu ileri sürmüştür:

$$\text{Log}_{10}t_{1/2} = \text{pH} - (0.034T - 1.92) \quad (4)$$

Burada $t_{1/2}$ (dak), NaBH₄ çözeltisinin kendi kendine hidrolizi için yarılanma ömrüdür; *pH*, hidrojenin kimyasal aktivitesi; ve *T*,

depolama sıcaklığıdır (^oK). Bu nedenle sulu NaBH₄ çözeltisinin kendi kendine hidrolizini önlemek için *pH* > 12 ile alkali halde bulunması daha etkilidir. En verimli değerlerin elde edilmesi için genellikle ağırlıkça %15 NaBH₄ alkali çözeltisi hazırlanır ve ağırlıkça %15 NaBH₄, ağırlıkça %5 NaOH ve ağırlıkça %80 sudan oluşturulabilir. NaBH₄ çözeltisinin kendi kendine hidrolizini sınırlandırmak için ise kontrol bileşeni olarak sodyum hidroksit (NaOH) bileşiği kullanılır. Ni, Cr veya Co katalizörlerinin sentez işlemi için oluşturulan düzeneğin genel şeması Şekil 2'de verilmiştir.



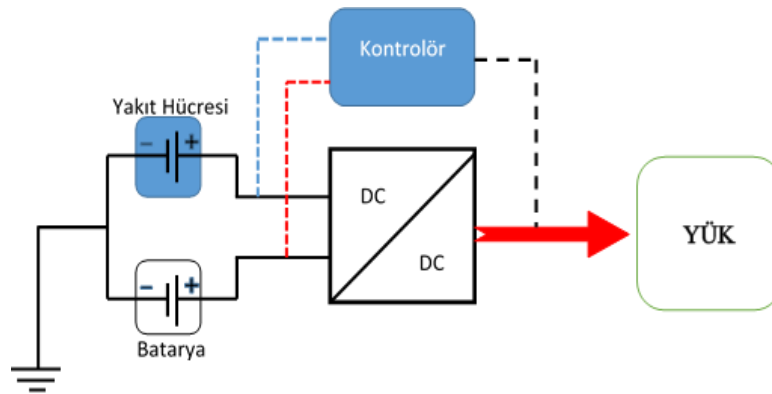
AÇIKLAMALAR

- | | |
|----|--------------------------------|
| 1 | Cam Reaktör |
| 2 | Lastik Tıpa |
| 3 | Magnet karıştırıcı |
| 4 | NaBH ₄ Çözelti Kabı |
| 5 | Ayarlanabilir Vana |
| 6 | Silikon Hortum |
| 7 | Vana |
| 8 | Azot Tüpü |
| 9 | Gaz çıkışı |
| 10 | Kronometre |

Şekil 2. Ni, Cr veya Co Katalizörlerinin sulu çözeltili sentezleri için deney düzeneği şeması

Yakıt hücrelerinin çalışma gerilimi değişkendir ve yük arttıkça azalır. Bu temelden yola çıkarak yakıt pili ile batarya arasındaki voltaj dengesini kullanarak hibrit bir sistem kurulabilir. Şekil 3'te batarya ve yakıt hücresi, çıkış gerilimini istenilen seviyeye göre düzenleyebilen bir DC-DC

dönüştürücüye bağlanarak gerekli entegrasyonun sağlandığı devre verilmiştir. DC-DC dönüştürücünün çıkışı ise doğrudan bir elektrik yüküne (İHA motoruna) bağlanarak sistem kolay kontrol edilebilecek şekilde beslenebilir.



Şekil 3. Güç yönetimi test devresinin şematik diyagramı

Büyük ölçekli İHA'lar, genellikle jet motorları veya turboprop motorları kullanırlar. Bu tür İHA'ların yakıt tüketimi daha yüksektir ve saatte yüzlerce litre veya

daha fazla yakıt tüketebilir. Ancak, bu İHA'lar genellikle uzun menzilli ve uzun süreli keşif veya askeri operasyonlar için tasarlanmıştır. Yakıt tüketimi ayrıca

İHA'nın uçuş profiline ve görevine de bağlıdır. Örneğin, İHA'nın sabit bir hızda düz uçuş yapması, daha az yakıt tüketimiyle sonuçlanabilirken, hızlı manevralar veya dikey kalkış ve inişler gibi daha enerji yoğun uçuş hareketleri daha fazla yakıt tüketimine neden olabilir (Stroman ve ark., 2014; Bradley ve Parekh 2009). Hidrojen gazının İnsansız Hava Araçları (İHA'lar) için yakıt olarak kullanılması, çevre dostu ve sürdürülebilir bir enerji kaynağı arayışının bir parçası olarak önemli bir araştırma alanıdır. Hidrojen, yüksek enerji yoğunluğu, temiz yanma özellikleri ve yenilenebilir bir kaynak olarak kabul edilmesi nedeniyle ilgi çekmektedir. İHA'larda hidrojen gazının kullanımına yönelik çalışmalar çok yönlü olarak sürdürülmektedir. Bu çalışma alanları aşağıdaki gibi özetlenebilir. Yakıt hücreleri, kimyasal enerjiyi doğrudan elektrik enerjisine dönüştüren cihazlardır. Bu cihazlar, genellikle hidrojen ve oksijen gibi yakıtları kullanarak elektrik üretirler. Yakıt hücreleri, birçok farklı türde mevcut olmasına rağmen, en yaygın kullanılan türler arasında proton değişim membranlı yakıt hücreleri (PEMFC), katı oksit yakıt hücreleri (SOFC) ve metanol yakıt hücreleri (DMFC) bulunmaktadır. PEMFC'ler, hidrojen yakıtı kullanarak elektrik üreten ve su buharı gibi yan ürünler üreten yakıt hücreleridir. Bu tür yakıt hücreleri, düşük çalışma sıcaklığı ve hızlı devreye alma süresi gibi avantajlara sahiptir. Bu nedenle, taşınabilir elektronik cihazlarda ve otomobillerde kullanım için yaygın olarak araştırılmaktadırlar. Hidrojen gazı, yakıt hücreleri aracılığıyla elektrik enerjisine dönüştürülebilir ve bu elektrik enerjisi İHA'nın motorlarını çalıştırmak için kullanılabilir. Yakıt hücreleri, hidrojeni oksijenle birleştirerek su üretirken elektrik üretirler. Bu sistemlerin avantajı, sadece su buharı ve termal enerji üretmeleridir, böylece emisyon salınımı minimum düzeydedir. Hidrojenin İHA'larda kullanılabilmesi için etkili bir şekilde depolanması ve taşınması gerekmektedir. Bu bağlamda, hidrojenin sıkıştırılarak veya

sıvılaştırılarak depolanması gibi farklı yöntemler araştırılmaktadır. Sıkıştırılmış hidrojenin yüksek basınç gerektirmesi ve sıvılaştırılmış hidrojenin düşük sıcaklıklarda depolanması gerektirmesi, bu alanda bazı zorluklar doğurmaktadır.

4. Sonuçlar

Bu tez çalışmasında sodyumborhidrürün insansız hava araçlarında yakıt depolayıcısı olarak kullanılıp kullanılmayacağı konusu ele alınmıştır. Çalışma kapsamında sodyumborhidrürün hidrojen depolayıcısı olarak kullanılabilirliği ile ilgili günümüze kadar yapılmış olan bazı önemli çalışmalar incelenmiş ve konuyla ilgili olumlu ve olumsuz yönleri nazara alınarak uygulanabilirlik açısından değerlendirilmiştir. Yapılan teknik araştırma, inceleme ve yorumlamalar neticesinde varılan sonuçlar aşağıda sıralanmıştır:

- 1- NaBH₄ (sodyumborhidrür) bir yakıt olarak kullanılabilir, ancak İnsansız Hava Araçları (İHA'lar) için pratik bir yakıt seçeneği olarak bazı sınırlamaları vardır.
- 2- NaBH₄, hidrojen gazını serbest bırakan bir bileşiktir. Yakıt hücresi teknolojisi kullanılarak NaBH₄, hidrojen gazı elde etmek için suyla tepkimeye sokulabilir. Bu hidrojen gazı daha sonra bir yakıt hücresinde oksijenle reaksiyona girerek elektrik enerjisi üretebilir.
- 3- NaBH₄, potansiyel olarak İHA'lar için yakıt olarak kullanılabilir çünkü hidrojen gazı, diğer geleneksel yakıtlara kıyasla daha temiz bir enerji kaynağıdır. Hidrojen, yüksek enerji yoğunluğuna sahip olduğundan, daha uzun uçuş süreleri ve daha geniş menziller sağlayabilir.
- 4- NaBH₄ bazlı yakıt hücrelerinde, bazı zorluklarla karşılaşılabilir. Bunlar arasında yakıt depolama ve taşıma zorlukları, sistem ağırlığı ve hacmi, enerji yoğunluğu, yakıt hücresinin verimliliği ve güvenlik önlemleri yer alır.
- 5- NaBH₄ hidrojen depolamak için iyi bir seçenek gibi görünse de, saf hidrojen gazının depolanması ve taşınması genellikle

zorluklarla doludur. Hidrojen gazı yüksek enerjili ve yanıcı olduğundan, güvenlikle ilgili endişeler söz konusudur. Yukarıda sıralanmış olan nedenlerden dolayı, İHA'lar için NaBH_4 bazlı yakıt hücresi sistemleri geliştirmek için daha fazla araştırma ve mühendislik çalışması gerekmektedir. Yakıt hücresi teknolojisinin iyileştirilmesi ve hidrojenin depolanması, taşınması ve güvenli bir şekilde kullanılması konularında ilerlemeler sağlanırsa, NaBH_4 tabanlı yakıtlar İHA'lar için daha cazip bir seçenek haline gelebilir. Ancak günümüzde, geleneksel yakıtlar ve batarya teknolojileri İHA'larda daha yaygın olarak kullanılmaktadır.

Yazarların Katkı Beyanı

Yazarlar makaleye eşit katkıda bulduklarını, makalenin yayına hazır son halini gördüklerini/okuduklarını ve onayladıklarını beyan ederler.

Çıkar Çatışması Beyanı

Tüm yazarlar, bu çalışma için herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan etmektedir.

Kaynaklar

Abdelhamid, H.N. 2021. A review on hydrogen generation from the hydrolysis of sodium borohydride. *International Journal of Hydrogen Energy*, 46(1): 726-765.

Brack, P., Dann, S.E., Wijayantha, K.U. 2015. Heterogeneous and homogenous catalysts for hydrogen generation by hydrolysis of aqueous sodium borohydride (NaBH_4) solutions. *Energy Science & Engineering*, 3(3): 174-188.

Çetinkaya, M., Karaosmanoğlu, F., 2003. Yakıt Pilleri, Tesisat Mühendisliği, 75, s: 18-33

Durbin, D.J., Malardier-Jugroot, C., 2013. Review of hydrogen storage techniques for on board vehicle applications. *International Journal of Hydrogen Energy*, 38(34): 14595-14617.

Bone, E., Bolcom, C., 2003. Unmanned Aerial Vehicles: Background and Issues

for Congress, Congressional Research Service, Library of Congress.

- Bairbir, F. 2005. PEM Fuel Cells: Theory and Practice, Elsevier Academic Press, New York.
- Kim, H., Oh, T.H., Kwon, S. 2016. Simple catalyst bed sizing of a NaBH_4 hydrogen generator with fast start up for small unmanned aerial vehicles. *International Journal of Hydrogen Energy*, 41: 1018-1026.
- Hansu, F. 2015. The effect of dielectric barrier discharge cold plasmas on the electrochemical activity of Co–Cr–B based catalysts. *Journal of the Energy Institute*, 88(3): 266-274.
- Hong, B.K., Kim, S.H., 2018. Recent advances in fuel cell electric vehicle technologies of Hyundai. *Ecs Transactions*, 86(13): 3-11.
- Hua, T.Q., Roh, H.S., Ahluwalia, R.K. 2017. Performance assessment of 700-bar compressed hydrogen storage for light duty fuel cell vehicles. *International Journal of Hydrogen Energy*, 42(40): 25121-25129.
- Hung, A.J., Tsai, S.F., Hsu, Y.Y., Ku, J.R., Chen, Y.H., Yu, C.C. 2008. Kinetics of sodium borohydride hydrolysis reaction for hydrogen generation. *International Journal of Hydrogen Energy*, 33(21): 6205-6215.
- Kim, K., Kim, T., Lee, K., Kwon, S., 2011. Fuel cell system with sodium borohydride as hydrogen source for unmanned aerial vehicles. *Journal of Power Sources*, 196(21): 9069-9075.
- Kim, T., Kwon, S., 2012. Design and development of a fuel cell-powered small unmanned aircraft. *International Journal of Hydrogen Energy*, 37(1): 615-622.
- Kwon, S.M., Kim, M.J., Kang, S., Kim, T. 2019. Development of a high-storage-density hydrogen generator using solid-state NaBH_4 as a hydrogen source for unmanned aerial vehicles. *Applied Energy*, 251: 113331.

- Lapeña-Rey, N., Blanco, J. A., Ferreyra, E., Lemus, J. L., Pereira, S., Serrot, E. 2017. A fuel cell powered unmanned aerial vehicle for low altitude surveillance missions. *International Journal of Hydrogen Energy*, 42(10): 6926-6940.
- Gadalla, M., Zafer, S. 2016. Analysis of a hydrogen fuel cell-PV power system for small UAV. *International Journal of Hydrogen Energy*, 41: 6422-6432.
- Min, X., Chai, D., Ding, K., Li, R., Zhang, X., 2023. Hydrogen generation by hydrolysis of solid sodium borohydride for portable PEMFC applications. *Fuel*, 350: 128777.
- Okumus, E., San, F.G.B., Okur, O., Turk, B. E., Cengelci, E., Kilic, M., Yazici, M.S. 2017. Development of boron-based hydrogen and fuel cell system for small unmanned aerial vehicle. *International Journal of Hydrogen Energy*, 42(4): 2691-2697.
- Prosini, P.P., Gislou, P., 2006. A hydrogen refill for cellular phone. *Journal of power sources*, 161(1): 290-293.
- Stroman, R.O., Schuette, M.W. Swider-Lyons, K., Rodgers, J.A., Edwards, D.J. 2014. Liquid hydrogen fuel system design and demonstration in a small long endurance air vehicle. *International Journal of Hydrogen Energy*, 39: 11279-11290.
- Kim, T., 2014. NaBH₄ (sodium borohydride) hydrogen generator with a volume-exchange fuel tank for small unmanned aerial vehicles powered by a PEM (proton exchange membrane) fuel cell. *Energy*, 69: 721-727.
- Bradley, T.H., Moffitt, B.A., Mavris, D.N., Parekh, D.E., 2007. Development and experimental characterization of a fuel cell powered aircraft. *Journal of Power Sources*, 171(2): 793-801.
- Bradley, T.H., Parekh, D.E., 2009. Comparison of design methods for fuel-cell-powered unmanned aerial vehicles. *Journal of Aircraft*, 46(6): 1945-1956.

Atıf Şekli: Sayım, A., Mert, S.O., 2023. Sodyumborhidrür Bileşiminin İnsansız Hava Araçlarında Yakıt Depolayıcısı Olarak Kullanılabilirliğinin Araştırılması. *MAS Uygulamalı Bilimler Dergisi*, 8(3): 492-502.

DOI: <http://dx.doi.org/10.5281/zenodo.8179053>.

To Cite: Sayım, A., Mert, S.O., 2023. Investigation of the Usability of Sodium Borohydride Compound as a Fuel Storage in Unmanned Aerial Vehicles. *MAS Journal of Applied Sciences*, 8(3): 492-502.

DOI: <http://dx.doi.org/10.5281/zenodo.8179053>.
