

HİDROJEN DEPOLAMA AMACIYLA KİMYASAL YÖNTEMLE METAL HİDRAT SENTEZİ

İrfan AR1 , M.Cengiz TAPLAMACIOĞLU2 , Figen AR3

1Kimya Mühendisliği Bölümü, Gazi Üniversitesi, Ankara.

2Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Gazi Üniversitesi, Ankara.

3Elektrik İşleri Etüd İdaresi Genel Müdürlüğü, Ankara.

1e-posta: irfanar@gazi.edu.tr 2e-posta: taplam@gazi.edu.tr 3e-posta: far@eie.gov.tr

ÖZET

Hidrojen evrende en bol bulunan elementtir ve enerji taşıyıcı olarak büyük bir potansiyele sahiptir. Petrolden farklı olarak yenilenebilir enerji kaynaklarından kolaylıkla üretilebilir. Diğer taraftan elektrik üretmek amacıyla yakıt hücrelerinde kullanımı esnasında bir kirlilik oluşturmaz; yan ürün olarak sadece ısı ve su açığa çıkar.

Ancak bu temiz enerji kaynağının günlük hayata uygulanmasının önündeki en büyük engel hidrojenin emniyetli bir şekilde depolanıp, son kullanıcıya ulaştırılabilmesi ve emniyetli bir şekilde kullanılmasıdır. Hidrojen gazının 1 gramının atmosferik basınçta 11 litre hacim kapladığı göz önüne alınırsa; gaz olarak depolama çok büyük hacim gerektirdiğinden, pratik bir çözüm olarak gözükmemektedir. Hidrojenin sıvı olarak depolanması ise çok yüksek basınç uygulanmasını ve bunun sonucu olarak yüksek basınç kaplarına ihtiyaç duyulduğundan pahalı bir uygulama olarak görülmektedir. En emniyetli ve ucuz depolama yöntemi olarak bu nedenle hidrojenin metal hidrat halinde depolanması görülmektedir.

Hidrojenin depolanması için en uygun çözüm yöntemi olan metal hidrat halinde saklama, büyük miktarlarda hidrojeni absorplayıp tutabilen alaşımların kullanılması esasına dayanır. Kullanılan alaşımlar hidrojen ile bağ oluşturarak hidratları meydana getirirler ve kendi yapılarını bozmadan hidrojeni desorplayabilirler. Hidrojen depolama alaşımları dört farklı formda olabilirler: AB₅ (LaNi₅ gibi), AB (FeTi), A₂B (Mg₂Ni) ve AB₂ (ZrV₂).

Bazı alaşımlar 250 oC veya daha yüksek sıcaklıklara ısıtıldıklarında kendi ağırlıklarının %5 ile %7'si kadar hidrojen depolayabilirler. Bu değerleri daha yukarıya çekmek için çalışmalar sürdürülmektedir. Metal hidratların sentezinde farklı yöntemler kullanılması da bu çalışmalar arasında önemli bir yer tutmaktadır. Sentez çalışmalarına bakıldığında genel olarak yüksek verimli bilyeli değirmenler kullanılarak veya inert ortamda (genellikle Argon) elektrik arkı kullanılarak indüksiyonla metal hidratların sentezlendiği görülmektedir. Sunulması önerilen bu çalışmada ise gözenekli ve kimyasal yapısı daha kontrollü olarak ayarlanabilen malzemeler (katalizör/adsorbent) sentez etmek için sıklıkla başvurulan ortak çöktürme (co-precipitation) yöntemi kullanılmıştır. Sentezi gerçekleştirilen metal hidratın hidrojen tutma kapasitesi basınç değişimi yöntemi ile belirlenmiştir. Ayrıca bir karşılaştırma yapabilmek amacıyla ticari bir metal hidrat

alınarak aynı şartlarda adsorpsiyon/desorpsiyon deneyleri yapılmış ve elde edilen bulgular bu çalışmada sentezlenen metal hidrat için bulunanlarla karşılaştırılmıştır.

Sentezi gerçekleştirilen metal hidratın hidrojen tutma kapasitesi oldukça yüksek olmakla birlikte, metal hidratların hidrojen depolamada kullanılabilmesi açısından istenilen en önemli özelliklerinden biri olan atmosfer basıncında ve düşük sıcaklıklarda hidrojen desorpsiyonu özelliğinin iyileştirilmesinin gerektiği gözlenmiştir.

I. GİRİŞ

Günümüzde dünyada enerji ihtiyacının büyük bir kısmının karşılanmasında kullanılan fosil yakıtlar (petrol, doğal gaz, kömür) hızla tükenmektedir. Ayrıca bu yakıtların yanma ürünleri sera etkisi, ozon delinmesi, asit yağmuru, hava kirliliği gibi global problemlere neden olmaktadır. Bu problemler çok ciddi çevresel problemler yaratmasının yanında gezegenimizin üzerindeki tüm hayatı tehdit etmektedir. Birçok bilim adamı ve mühendis bu global probleme çözüm olarak şu anda kullanılan fosil yakıtların yerini hidrojen enerjisinin alması gerektiği konusunda görüş birliği içerisinde. Hidrojenin yanma ürünlerinin sera etkisi, ozon tabakasını delme, asit yağmuru, hava kirliliği gibi etkileri yoktur. Hidrojen yenilenebilir bir enerji kaynağından üretildiği takdirde değiştirilmesi gerekmeyen, kalıcı bir enerji sistemi olur.

Çevre kirliliğine yol açmadan çeşitli alanlarda kullanılacak esnek bir yakıt olan hidrojen, 21. yüzyılın yakıtı olarak düşünülmekte; üretimi, taşınması, depolanması ve kullanılmasına ilişkin teknolojilerin geliştirilmesi için çok kapsamlı programlar yürütülmektedir. Hidrojenin üretiminde kullanılacak kaynaklar arasında hidrolik enerji, güneş enerjisi, rüzgar enerjisi, deniz-dalga enerjisi, jeotermal enerji ve nükleer enerji sayılabilir. Ayrıca biyokütleden, doğalgazdan, biyoyakıtlardan ve metanol gibi alkollerden çevre dostu teknolojiler kullanılarak hidrojen üretimi konusunda önemli gelişmeler kaydedilmiştir. Hidrojenin son kullanımı ile ilgili teknolojilerde de önemli bir sorunun olmadığı kabul edilebilir. Ancak hidrojenin taşınması ve depolanması ile ilgili problemler, hidrojen enerjisine geçişteki en önemli engeller olarak varlıklarını sürdürmektedirler.

Her ne kadar hidrojenin gaz veya sıvı fazda saklanması, taşınması veya kullanımı mümkünse de gaz fazında saklama veya kullanma çok büyük hacimler gerektirmektedir. Bu da hidrojenin yakıt olarak kullanılmasının düşünüldüğü cihaz ve taşıtların anormal ölçülerde olmasını gerektirir. Sıvı olarak depolama çok yüksek basınçlarda çalışmayı gerektirdiğinden maliyetlerde çok büyük artışlara neden olduğu gibi emniyetli kullanım açısından da çeşitli risklere neden olur. Diğer taraftan hidrojenin katı olarak saklanması, taşınması bütün bu sakıncaları bertaraf ettiği gibi yangın, kaza gibi tehlikeli durumlarda hidrojenin patlama tehlikesini de ortadan kaldırır.

Metal hidratların uygulama alanları içerisinde, bu çalışmanın konusunu oluşturan hidrojen depolama amacıyla kullanılmalarının yanısıra ısı deposu, elektrik deposu, ısıtma/soğutma çevrimleri, elektrik üretimi, pompalama veya basınç artırma, hidrojenin saflaştırılması, döteryumun (deuterium) saflaştırılması ve yakıt hücreleri için yine hidrojen deposu olarak kullanılması sayılabilir. Bu nedenle çalışmada sentezi yapılmaya çalışılan metal hidratlar, özellikle enerjinin vazgeçilmez bir unsur olduğu günümüzün

modern dünyasında enerji ile ilgili çalışmalarda çok önemli rol oynamaları nedeniyle, üzerinde önemle durulması gereken bir konudur.

Metal hidratların hidrojen depolama amacıyla kullanılmasında ortaya çıkan problemler çoğunlukla yüzeyde oluşan olaylardan kaynaklanmaktadır (1). Kimyasal adsorpsiyon ve reaksiyon prosesleri küçük miktarlardaki safsızlıklardan etkilenebilirler (1,2) Bunlar katalitik zehir etkisi yaparlar. Zehirlenme prosesi hidrat oluşturabilen farklı metaller ve alaşımlar için değişiklik gösterir. Ancak yapılan çalışmalar sonucunda geçiş metalleri, nadir toprak metalleri ve aktinitlerin hidratlarının hepsinin özellikleri arasında iyi bir ilişki oluşturulması başarılmıştır.

Metal hidrat sentezi ile ilgili çalışmalarda saf metallerden yüksek verimli bilyeli değirmenlerde öğütme veya elektrik arklı fırınlarda indüksiyon yöntemleri kullanılmışsa da ender olarak metal hidrat sentezinin kimyasal yöntemlerle gerçekleştirildiği çalışmalara da literatürde rastlamak mümkündür (3,4). Araştırmacılar kimyasal yolla üretilen metal hidratın konvansiyonel ark eritmesiyle üretilenlere göre daha küçük özgül yüzey alanına sahip olduğunu, değişik yüzey halleri ve hidrojen adsorpsiyon/desorpsiyon çevrimleri için daha düşük aktivasyon enerjisi ve daha iyi elektrot karakteristiğine sahip olduğunu ifade etmişlerdir.

Metal hidrat uygulamalarına iyi bir örnek olarak Vanhanen ve arkadaşları (5) tarafından yapılan çalışma gösterilebilir. Söz konusu araştırmacılar bir elektroliz cihazı, metal hidrat, hidrojen deposu ve bir yakıt hücresinden oluşan, küçük ölçekli bir enerji depolama sistemi üzerinde çalışmışlardır. Elektrolizleyici-metal hidrat-yakıt hücresi enerji depolama sistemleri üzerinde yapılan fizibilite çalışmalarına göre katı polimer elektrolizleyiciler ve yakıt hücreleri en iyi seçeneklerdir. Bir döngüde %30 verime ulaşılmıştır. Söz konusu sistemler yüksek hacimsel kapasite ve güvenliğin gerektiği durumlarda küçük ölçekli, kendi kendine yeterli, küçük uygulamalar için çok uygundur.

Bu çalışmada hidrojen depolamak amacıyla kullanılması planlanan ve literatürdeki çalışmalardan yüksek bir hidrojen tutma kapasitesine sahip olduğu belirlenen LaNi₅ sentezi ortak çöktürme (co-precipitation) yöntemiyle yapılmaya çalışılmış ve elde edilen metal hidrat ile adsorpsiyon/desorpsiyon döngüleri gerçekleştirilerek metal hidratın hidrojen depolama kapasitesi belirlenmeye çalışılmıştır. Metal hidratın hidrojen tutma kapasitesi literatürde verilen ve aynı şartlarda adsorpsiyon/desorpsiyon döngüleri gerçekleştirilen, piyasadan temin edilen bir metal hidratın hidrojen depolama kapasitesi ile karşılaştırılmıştır.

2. YÖNTEM

Literatürde yer alan çalışmalarda metal hidrat sentezinde ya fiziksel yöntemler (yüksek verimli bilyeli değirmenlerde öğütme gibi) veya argon ortamında elektrik ark fırınında indüksiyonla alaşım haline getirme gibi yöntemler yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu çalışmada ise hidrojen adsorpsiyon kapasitesini artırabilmek için daha gözenekli bir metal hidrat elde etmek amacıyla adsorbent/katalizör sentezinde kullanılan ortak çöktürme yöntemi kullanılmıştır.

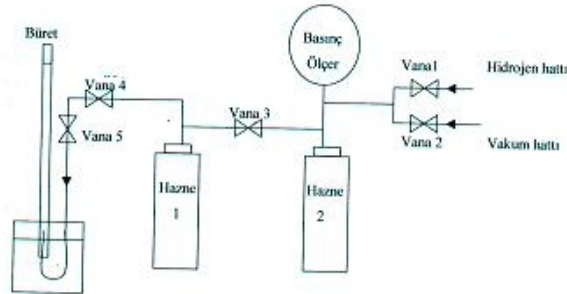
2.1 METAL HİDRATIN SENTEZLENMESİ

Elde edilmek istenen metal hidrat LaNi_5 olduğu için LaCl_3 ve NiCl_2 tuzlarından La/Ni oranı 1/5 olacak şekilde stokiometrik oranlarda alınarak damıtık suda çözüldü. Isıtıcı manyetik karıştırıcıda çözelti 65-70 oC aralığında sabit sıcaklıkta tutulurken damla damla sitrik asit ve sonra da çöktürme amacıyla sodyum karbonat ortama yavaş yavaş ilave edildi. Böylece La ve Ni'in karbonatları veya hidroksitleri şeklinde birlikte çökelmeleri sağlandı. Çözeltinin viskozitesi iyice artıncaya kadar ısıtıcı üzerindeki karıştırma işlemine devam edildi. Daha sonra elde edilen çökelek süzülerek çözeltiden ayrıldı ve yaklaşık 8 ila 10 saat 70oC'daki etüvde kurutuldu. Kuruyan çökelek hidrojenle temas yüzeyini artırmak amacıyla havanda dövülerek iyice toz haline getirildi. Elde edilen toz daha sonra U şeklinde bükülmüş quartz tüp içerisine konularak tüp fırın içine yerleştirildi. Çökelek içerisindeki karbonatları parçalayıp oluşan CO_2 'i ve çökelekte kalma olasılığı bulunan Cl gibi safsızlıkları uzaklaştırmak amacıyla toz fırın içerisinde 900 oC'da 2 saat süreyle hidrojen ortamında kalsine edildi. Oksitleri ve kloru uzaklaştırılan çökelek aktifleştirilmeye hazır bir metal hidrat haline gelmiştir. Bu da metal hidratın mekanik olarak elde edilemeyecek kadar küçük boyutlara indirgenmesi ile gerçekleştirilebilir.

2.2 METAL HİDRATIN AKTİFLEŞTİRİLMESİ VE ABSORBSİYON KAPASİTESİNİN BELİRLENMESİ

Elde edilen metal hidratın aktifleştirilmesi ve metal hidratın özelliklerinin belirlenmesi için Şekil 1'de verilen düzenek kullanılmıştır. Bu düzenekte Hazne 2 basınç haznesi, Hazne 1 ise metal hidratın yerleştirildiği numune haznesidir. Her iki hazne de paslanmaz çelikten yapılmıştır ve 10 cm³ hacindedir. Sistemde görülen bütün vanalar açma/kapama (on/off) vanası olup, sadece 4 no'lu vana hidrojen akış hızı ayarı için kullanılan iğne vanadır.

Metal hidrat tarafından tutulan hidrojenin hacmini ölçmek amacıyla kullanılan büret 50 cm³'lük normal cam, laboratuvar büretidir. Basınç ölçer 30 atm skalalı ve 0.5 atm hassasiyetle ölçüm yapabilen bir basınç ölçerdir. Sistemdeki bağlantı elemanları pirinç olduğu ve pirinç ile bakırın genleşmedeki uyumu, pirinç ile çeliğinkinden daha iyi olduğu için bakır borular kullanılmıştır.



Şekil 1. Deney düzeneğinin şematik gösterimi.

Metal hidrat Hazne 1'e yerleştirildikten sonra Vana 1 kapatılıp diğer bütün vanalar açılarak sistem vakumlanmıştır. Böylelikle sistemden oksijen ve azot uzaklaştırılarak metal hidratın bu gazları absorplaması sonucu aktivitesini yitirmesinin ve ölçüm hatalarına sebebiyet vermesinin önüne geçilmiş olur. Daha sonra Vana 2, Vana 3 ve

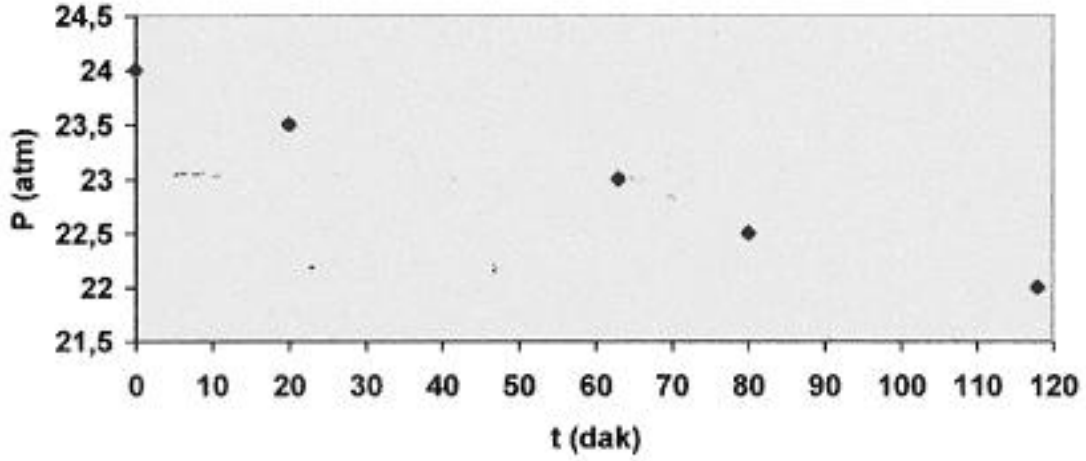
Vana 5 kapatılıp Vana 1 açılarak Hazne 2'ye hidrojen verilerek basıncın, aktifleştirmenin yapılacağı basıncın iki katına ulaşması sağlanmıştır. Arzu edilen basınca ulaşıldığında Vana 1 kapatılmış ve Vana 3 açılarak Hazne 1'e hidrojen verilmiştir. İlk deneylerde Hazne 1 boş tutularak kalibrasyon ölçümleri yapılmış ve ölçümlerde bağlantı elemanları ve borulardaki ölü hacim nedeniyle yapılması muhtemel ölçüm hataları ortadan kaldırılmaya çalışılmıştır. Kalibrasyon deneylerinden sonra Hazne 1'e sentezi yapılan metal hidrat numunesi konularak yukarıda anlatılan işlemler gerçekleştirilmiştir. Vana 3 açıldıktan sonra basınç ölçerden zamana karşı basınç verileri alınarak basıncın sabit kaldığı denge değeri belirlenmiştir. Kalibrasyon deneylerindeki denge basıncı ile hazneye metal hidrat konularak yapılan deneylerdeki denge basıncı değeri arasındaki fark, absorplanan hidrojen nedeniyle meydana gelen basınç azalmasının bir sonucudur. Oda sıcaklığında gerçekleştirilen bu absorpsiyon işleminden sonra desorpsiyon işlemi için metalhidrat haznesi 80 oC'da tutulan sıcak su banyosuna yerleştirilmiştir.

Absorpsiyon/desorpsiyon ardışık işlemleri 10 defa tekrarlanarak metal hidratın aktif hale getirilmesine çalışılmıştır. Bu işlem otokatalitik bir işlemdir; metal hidrat hidrojeni absorpladıkça parçalanır, parçalandıkça yüzey alanı artar ve daha çok hidrojen absorplar.

Aktif hale getirilen metal hidratların absorpsiyon/desorpsiyon ve hidrojen tutma kapasiteleri yukarıda belirtilen işlemler takip edilerek gerçekleştirilmiştir. Ancak bu defa daha düşük basınçlarda çalışılmıştır. Absorpsiyon işlemi sırasında zamana karşı basınç düşmesi değerleri alınırken desorpsiyon sırasında metal hidrat tarafından serbest bırakılan hidrojen miktarı büretteki sıvı seviyesindeki düşüşten belirlenmiştir. Bu amaçla absorpsiyon işleminin sona erdiği basıncın sabit kalması gözlenmek suretiyle belirlendikten sonra Vana 3 kapatılmış, Hazne 1, 80 oC'daki su banyosuna yerleştirilmiştir. Vana 5 açılmış ve büretteki sıvı seviyesindeki azalmadan desorplanan hidrojen miktarı belirlenmiştir. Oda sıcaklığında farklı basınçlarda gerçekleştirilen absorpsiyon deneylerinden elde edilen değerleri karşılaştırmak amacıyla bu işlem referans olarak piyasadan temin edilen metal hidrat kullanılarak 11 atm'de tekrarlanmıştır.

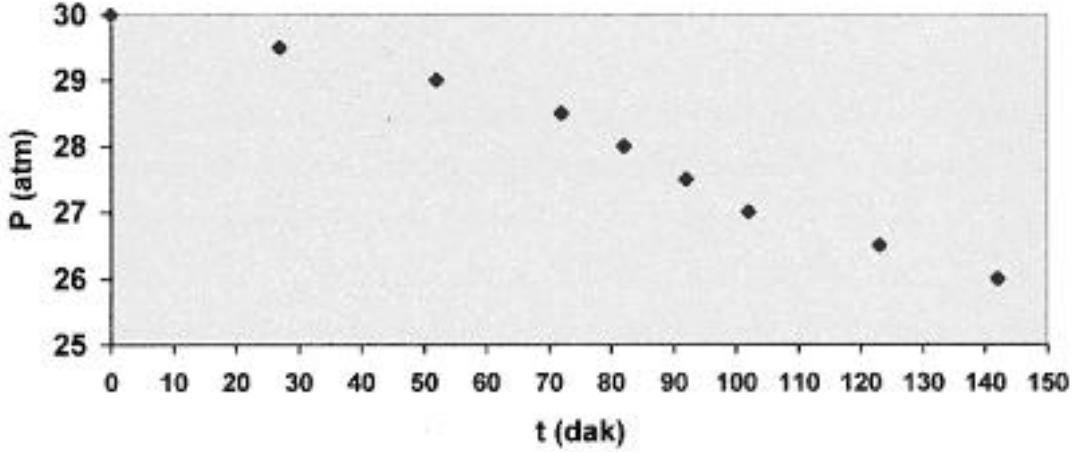
3. GENEL DEĞERLENDİRME

Önceki bölümde ayrıntıları verilen yöntem kullanılarak 4 gram metal hidrat hazırlanmıştır. Tüp fırında kalsinasyon deneyleri yapıldıktan sonra, 1 gram metal hidrat alınarak, kalibrasyonu yapılmış bulunan deney düzeneğindeki Hazne 1'e konulmuştur. Aktivasyon işlemleri gerçekleştirildikten sonra 24 atm basınçta yapılan ilk absorpsiyon deneyinden elde edilen veriler aşağıda Şekil 2'de sunulmuştur. Vana 1 kapatılıp Vana 3'ün açıldığı an $t=0$ başlangıç anı olarak alınarak yapılan ölçümlerde, sistem 120 dakikanın sonunda 22.1 atm basınçta dengeye gelmiştir. Denge basıncına ulaşıldıktan sonra Vana 3 kapatılmış, Hazne 1, 80 oC'daki su banyosuna yerleştirilmiştir.



Şekil 2. 24 atm'de yapılan ilk absorpsiyon deneyinden elde edilen basınç-zaman verileri

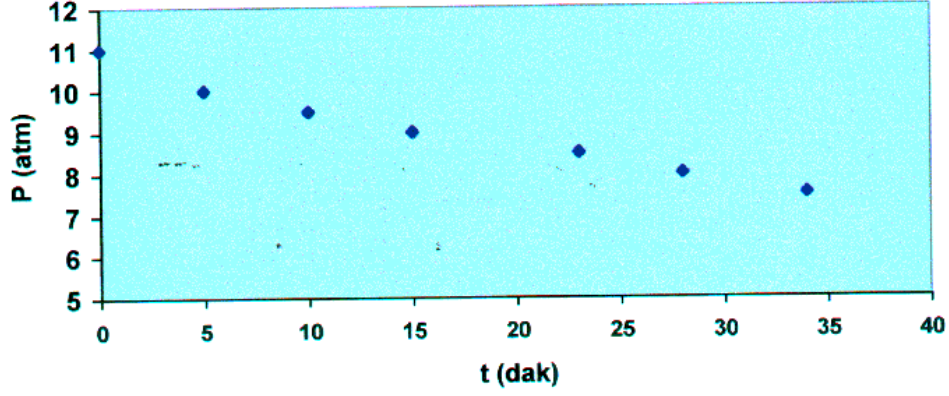
Vana 5 açılmış ve büretteki sıvı seviyesindeki azalmadan desorplanan hidrojen miktarı belirlenmeye çalışılmıştır. Ne yazık ki bu deneyde ve 30 atm'de yapılan ikinci absorpsiyon deneyinde kayda değer bir hidrojen çıkışı gözlenmemiştir. Gerek Şekil 2 ve Şekil 3'de verilen ilk ve ikinci absorpsiyon deneyleri verilerinden gerekse Tablo 1'deki verilerden hidrojenin absorplandığı görülmektedir. Desorpsiyon verisi elde edilememiş olması absorpsiyonun tersinmez-kimyasal absorpsiyon olduğu izlenimini vermektedir. İlginç bir diğer nokta ise 11 atm basınçta gerçekleştirilen üçüncü absorpsiyon/desorpsiyon döngüsü sonuçlarında gözlenmektedir.



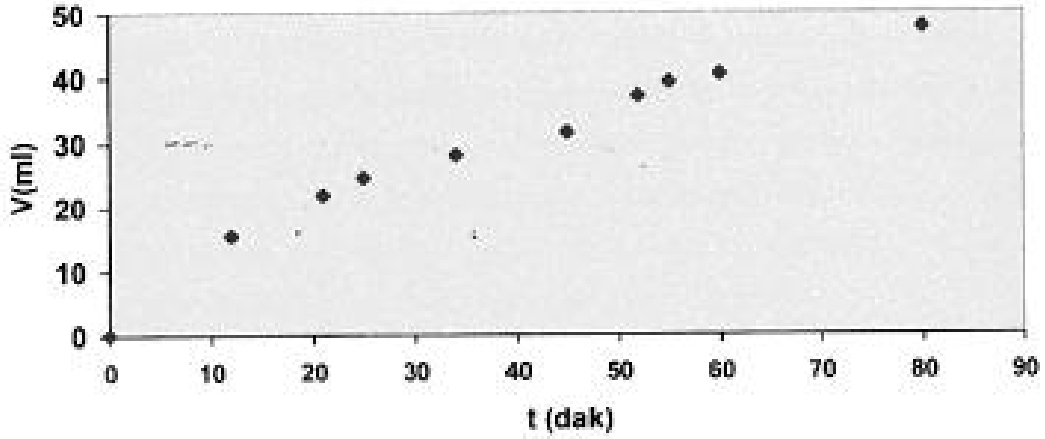
Şekil 3. 30 atm'de yapılan absorpsiyon deneyinden elde edilen basınç-zaman verileri.

Şekil 4'de sunulan sonuçlar ve bu sonuçlardan hesaplanan Tablo 1'deki absorplanan hidrojen miktarları, başlangıç basıncı daha düşük olmasına karşın bu döngüde absorplanan hidrojen miktarının 30 atm basınçta gerçekleştirilen deneydeki absorpsiyon miktarına yakın olduğunu göstermektedir. Ayrıca ilk defa bu döngüde desorpsiyon

sonucu ortama geri verilen hidrojen miktarı ölçülebilmıştır. Desorpsiyonda elde edilen veriler Şekil 5’de sunulmuştur.



Şekil 4. 11 atm’de yapılan absorpsiyon deneyinden elde edilen basınç-zaman verileri



Şekil 5. 11 atm’deki desorpsiyon deneyinden elde edilen hacim-zaman verileri

Bu deneysel verilerden hesaplanan absorplanan ve desorplanan hidrojen miktarları Tablo 1’de sunulmuştur.

Tablo 1 Deneysel verilerden hesaplanan adsorplanan/desorplanan hidrojen miktarları.

Başlangıç basıncı (atm)	Absorplanan Hidrojen (gmol H ₂ /g MH)	Desorplanan Hidrojen (gmol H ₂ /g MH)
24	8.38x10 ⁻⁴	
30	1.68x10 ⁻³	
11	1.67x10 ⁻³	1.38x10 ⁻³
Ref. MH* 11	2.11x10 ⁻³	1.89x10 ⁻³

• : Referans olarak pil yapımında kullanılan ve piyasadan temin edilen ticari metal hidrat kullanılmıştır.

Tablo 1'deki değerler, deneysel veriler, Hazne 1 boşken yapılan kalibrasyon deneylerinden elde edilen sonuçlara göre düzeltildikten sonra hesaplanan değerlerdir. İlk iki absorpsiyon deneyinde yüksek basınca karşılık absorplanan hidrojen miktarının düşük olması ve desorpsiyon deneyinden olumlu sonuç alınamaması öncelikle sentez sırasında çöktürülen metal tuzlarının tam olarak indirgenemediğini, yüksek sıcaklıkta hidrojen geçirilmesi sırasında sistemden klorların HCl olarak uzaklaşırken metal oksite dönüştüklerini düşündürmektedir. Diğer bir deyişle çözeltilerdeki hidroksit ve karbonat iyonları H ve CO₂ halinde klor ise HCl olarak uzaklaşırken metaller oksitleri halinde karışımın içinde kalmış olabilir. Bu da absorpsiyon olayının kimyasal absorpsiyon olduğunu ve desorpsiyon verisi elde edilememesini büyük ölçüde açıklığa kavuşturmuştur. Bu olasılığın doğruluğunu anlamak için malzemenin X-ışını kırınımı desenlerinin çekilmesi gerekmektedir.

Üçüncü absorpsiyon deneyinde düşük basınçta çalışılmasına rağmen 30 atm basınçta elde edilen verilere yakın değerler elde edilmesi aktivasyon için 10 döngünün yeterli olmadığını göstermektedir. Literatürde çeşitli metal hidratlarla yapılan çalışmalarda aktivasyon için 30 (6) döngüye kadar çıktığı belirtilmektedir. Saf metallerle yapılan söz konusu çalışmalarda bu kadar çok sayıda döngüye ihtiyaç duyulması, metal tuzları ile yapılan bu çalışmadaki döngü sayısının yetersiz olabileceğini düşündüren bir başka neden olmaktadır.

4. SONUÇ

Bu çalışma ile piyasadan temin edilen ticari metal hidrata yakın değerler elde edilmiş olması bu konudaki araştırmalar için umut vericidir. Mevcut çalışmada alternatif enerji kaynağı olan Hidrojenin aktif bir şekilde depolanması için yeni bir yöntem olan Metal Hidrat sentezi üzerine deneysel bir çalışma yapılmıştır. Aynı deneysel şartlarda elde edilen değerler arasındaki farklılığı tam olarak açıklayabilmek için her iki metal hidratın da X-ışını kırınım desenlerinin, gözenek yapılarının, yüzey alanlarının ve diğer morfolojik ve yapısal özelliklerinin çok iyi incelenmesi gerekmektedir. Bundan sonra çalışmanın devamında metal hidratların yukarıda belirtilen özelliklerinin belirlenmesi çalışmalarının yanısıra farklı sıcaklıklarda absorpsiyon deneylerini sürdürerek absorpsiyon izotermelerinin elde edilmesi, Van't Hoff bağıntısı yardımıyla absorpsiyon denge sabiti, ΔH ve ΔG gibi termodinamik parametrelerin belirlenmesi çalışmalarının yapılması planlanmaktadır.

4. KAYNAKLAR:

- (1) Ward, J.W, “Electronic Structure, Bonding and Chemisorption in Metallic Hydrides”, Journal of Less-Common Metals, Vol.73, pp.183-192, (1980).
- (2) Andrievski, R.A., B.P. Tarasov, I.L. Korobov, N.G. Mozgina, S.P.Shilskin, “Hydrogen Absorption and Electrocatalytic Properties of Ultrafine LaNi₅ Powders”, International Journal Of Hydrogen Energy, Vol .21, pp.949-954, (1996).
- (3) Chen, J., Bradhurst, D.H., Dou, S.X., Liu, H.K., “Properties of Chemically Prepared MmNi_{4.52}Mn_{0.49} Alloy”, Journal of Alloys and Compounds, Vol. 260, pp.260-264, (1997).
- (4) Aiello, R., Matthews, M.A., Reger, D.L., Collins, J.E., “Production of Hydrogen Gas From Novel Chemical Hydrides”, International Journal Of Hydrogen Energy, Vol.23, pp. 1103-1108, (1998).
- (5) Vanhanen, J.P., Lund, P.D., Tolonen, J.S., “Electrolyser-Metal hydride-Fuel Cell System for Seasonal Energy Storage”, International Journal Of Hydrogen Energy, Vol.23, pp.267-271, (1998).
- (6) Zhang, Q.A., Lei, Y.Q., Yang, X.G., “Phase Structures and Electrochemical Properties of Cr Added V₃TiNi_{0.56}Hf_{0.24}Mn_{0.15} Alloys”, International Journal Of Hydrogen Energy, Vol 25, pp.977-982, (2000).