



# TÜRKİYE MÜVELLİDÜLMA İKTİSADI ÜZERİNE MÜLAHAZALAR

**İskender Gökalp**

*ODTÜ, Makina Mühendisliği Bölümü, Ankara*

*ICARE-CNRS, Orléans, Fransa*

**SABANCI ÜNİVERSİTESİ, IICEC**

**24 Eylül 2020**

# Plan

- *Hidrojen neden bu kadar güçlü bir şekilde gündeme geldi ?  
Hangi sorunlara çözüm getirmesi bekleniyor ?*
- *Hidrojenin var olan sorunlara yenilerini eklememesi için nelere dikkat etmeliyiz ?*
- *Hidrojen Türkiye'nin enerji bağımsızlığı stratejisine ve genel olarak ekonomisine nasıl katkı verebilir ?*

# Hidrojen neden bu kadar güçlü bir şekilde gündeme geldi ?

*Hangi sorunlara çözüm getirmesi bekleniyor ?*

## *Temiz bir yakıt/enerji taşıyıcısı*

- Hidrojenin termokimyasal süreçlerle ısıya dönüştürülmesinin (yanma) yan ürünü sadece **su buharı**
- Hidrojenin elektrokimyasal süreçlerle elektriğe ve ısıya dönüştürülmesinin (yakıt pilleri) yan ürünü yine **su**
- Karbondiyoksit ( $CO_2$ ) salınımı diye bir sorun yok, ne kükürtoksit ne de diğer kirleticiler (partiküller). Hidrojen hava içinde fakir karışım şeklinde yanabildiği için (yanma sonu sıcaklığı düşük) ve yakıt pillerinde de (PEM) sıcaklıklar düşük olduğu için, azotoksit sorunu da yok

# Hidrojen neden bu kadar güçlü bir şekilde gündeme geldi ?

*Hangi sorunlara çözüm getirmesi bekleniyor ?*

## **Döngüsel ekonomi için mükemmel örnek**

- 1 m<sup>3</sup> suda 111 kg hidrojen bulunuyor.  
Hidrojeni sudan temiz bir şekilde üretebilirsek kaynak sorunu yok (Mavi Vatan)
- Hidrojen çeşitli organik atıklardan da üretilebiliyor: çevresel sorunları çözdüğü gibi enerji sorununa da çözüm getiriyor

# Hidrojenin var olan sorunlara yenilerini eklememesi için nelere dikkat etmeliyiz ?

Evrende bildiğimiz en basit atomik yapıya sahip olan hidrojenin

- var olan karmaşık (complex) enerji sistemini sadeleştirmesini istiyoruz
- enerji/çevre etkileşimini sadeleştirmesini istiyoruz
- var olan belirsizlikleri en aza indirgemesini istiyoruz

# HİDROJEN VE METAN GAZININ KARŞILAŞTIRMALI ÖZELLİKLERİ

ÖZELLİK	H2	CH4	H2 / CH4
Yoğunluk (kg/m <sup>3</sup> ) @ 20 °C, 1 atm	0.084	0.65	0.13
Alt ısı değeri (kJ/g) @ 25°C, 1 atm	120	50	2.40
Enerji yoğunluğu (kJ/m <sup>3</sup> ) @ 15°C, 1 atm	10050	32560	0.31
Tutuşma/yanma sınırları (%) @ 1 atm	4 - 75	5.3 - 15	
Parlama/tutuşma sıcaklığı (°C)	585	540	
Minimum parlama enerjisi (mJ)	0.019	0.29	0.066
Alev sıcaklığı (°C)	2045	1875	
Alevin sönme aralığı/darlığı (mm)	0.64	2	0.32
Alev/yanma hızı (cm/s)	265 - 325	20 - 40	9
Alevin geri tepme riski	Yüksek	Az	
Kaçak oluşturma, malzemelere nüfuz etme, malzemeleri gevrekleştirme, kırılma riski	Yüksek	Az	

# Hidrojenin bu özellikleri bazı tehlikeleri de beraberinde getirir

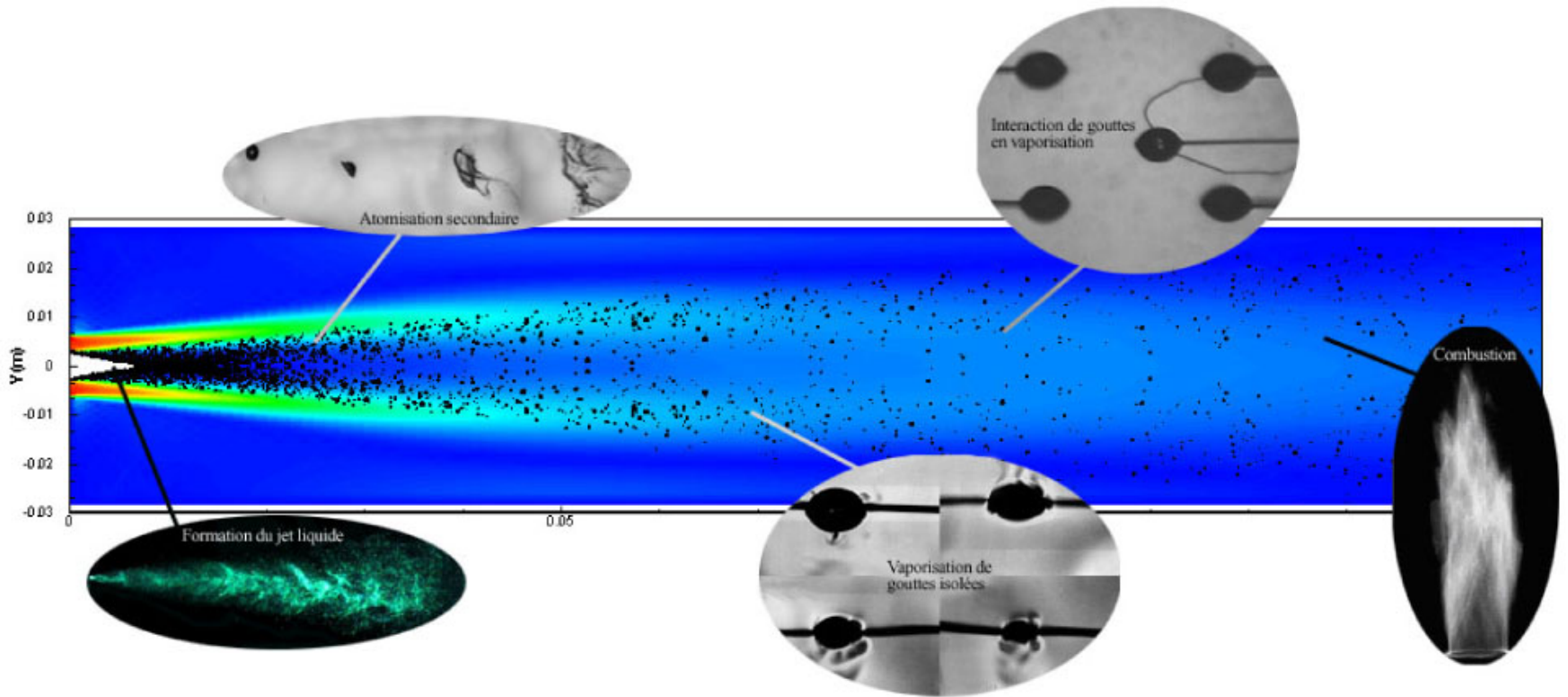
- Isıl gücünün yüksek olması, tutuşma özellikleri ve difüzyon (yayıma) katsayısının yüksek olması hidrojen / hava yanıcı karışımlarının çabuk oluşmasını ve de istenmeyen yanma / yangın başlaması tehlikesini artırır. Ayrıca hidrojen / hava karışımlarının yanmasının patlamaya dönüşmesi de daha kolaydır (**Fukushima**). Bütün bu tehlikeler hidrojenin güvenli taşınması ve depolanması konularının önemini işaretler. Ayrıca hidrojenin taşınması sırasında metallere nüfuz etme ve metallerin kırgınlaşıp çatlaklar ve dolayısıyla kaçaklar oluşturma potansiyeli de yüksektir
- Hidrojenin kitlesel kullanımını tasarlarken böylesi tehlikelerin var olduğunu ve bunları bertaraf etme çabalarının önemini unutmamak gerekir. **Yani hidrojeni yoğurt gibi üfleyerek yemek ve içmek gerekir**
- **İki sonuç: genel geçer bir yakıt olarak kullanılacak hidrojen CO2 salmadan üretilmelidir ve yangın ve patlama tehlikelerini en aza indirecek süreçlerle üretilmeli ve kullanılmalıdır**

# Arian V fırlatıcısının Vulcain motoru: LOX – LH2





# Vulcain motorunda sıvı oksijenin püskürtülmesi ve hidrojenle karışıp yanması



# Ariane 5 fırlatıcısının hüzünle biten ilk uçuşu

## 4 Haziran 1996



# Fukushima, 14 Mart 2011



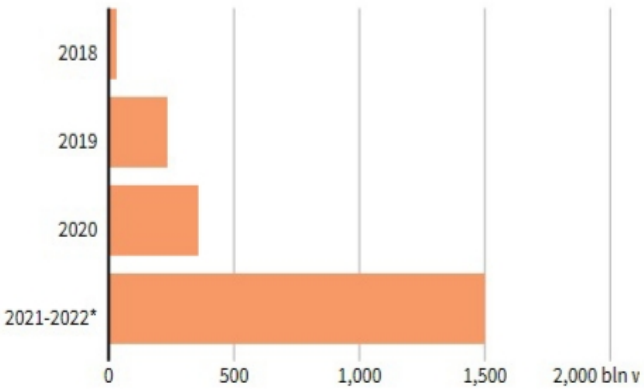
# Güney Kore'nin hidrojen yakıtlı binek aracı stratejisi

## South Korea's push for a hydrogen economy

South Korea, Asia's No.4 economy, sees hydrogen power as the country's "future bread and butter." The Moon Jae-in administration is set to spend about 2.2 trillion won (\$1.8 billion) on hydrogen car sales and refuelling stations from 2018 to 2022, Reuters calculations show.

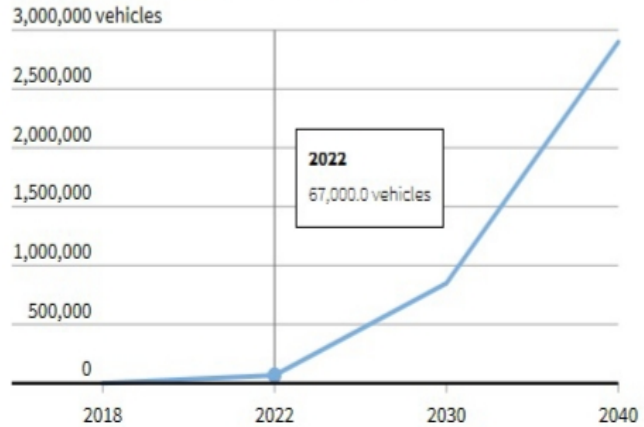
### PLANNED GOVT FUNDING

Source : Reuters calculation based on govt data (in billion Korean won)



### HYDROGEN VEHICLE TARGETS

Source: Ministry of Trade, Industry and Energy



# Güney Kore Mayıs 2019: Gangneung teknokentinde hidrojen tankı geliştirme çalışmaları sırasında oluşan patlama





# Çalışmaların yapıldığı binanın patlama sonrası hali



# NORVEÇ de hidrojen dolum/dağıtım istasyonunda patlama ve yangın, 2019

Hydrogen station explodes, Toyota halts sales of fuel cell cars, is this the end?

Fred Lambert - Jun. 11th 2019 9:28 am ET [@FredericLambert](#)



# Yanma tipleri: Bunsen beki alevi

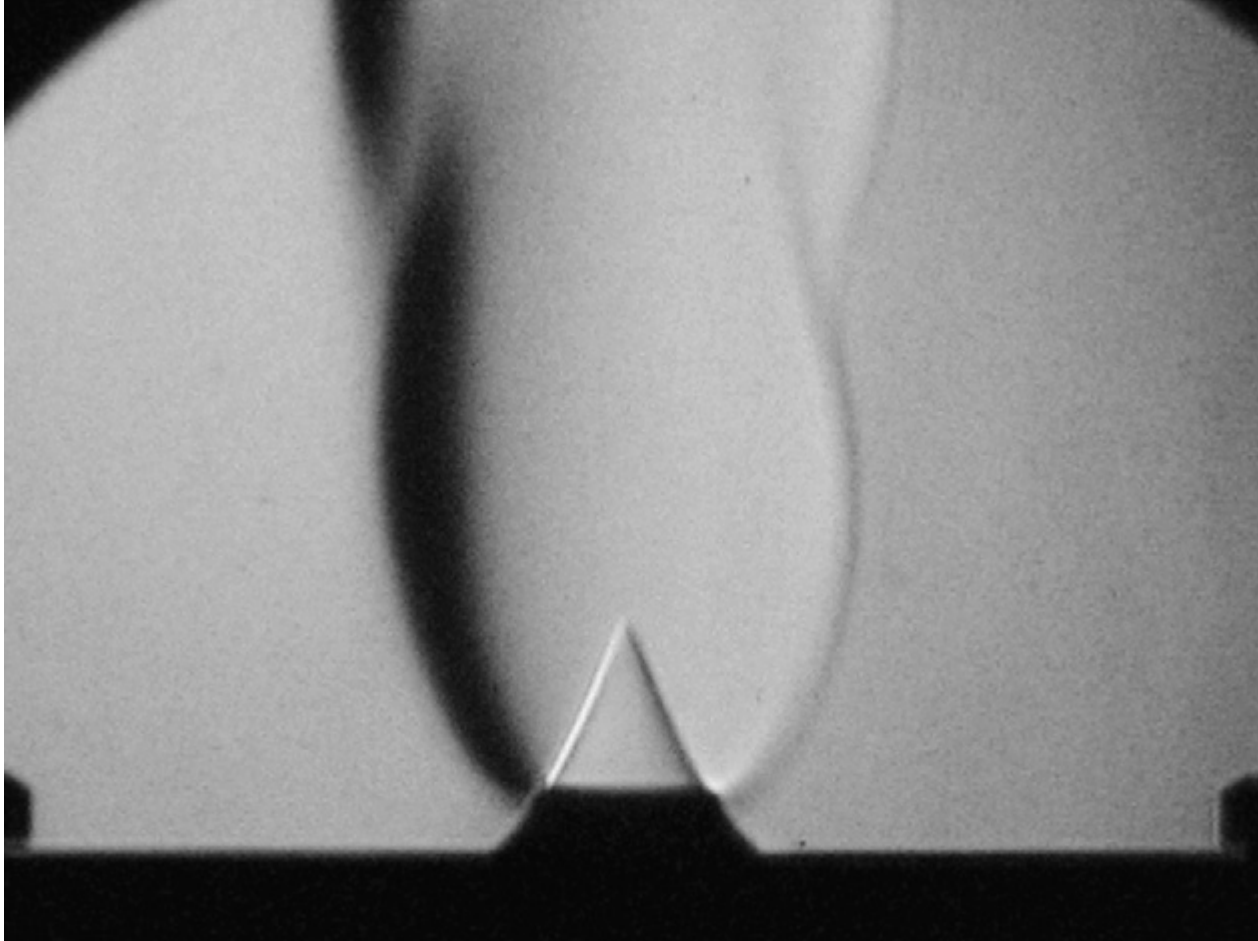
## Ön karışımli yanma / alev örneği



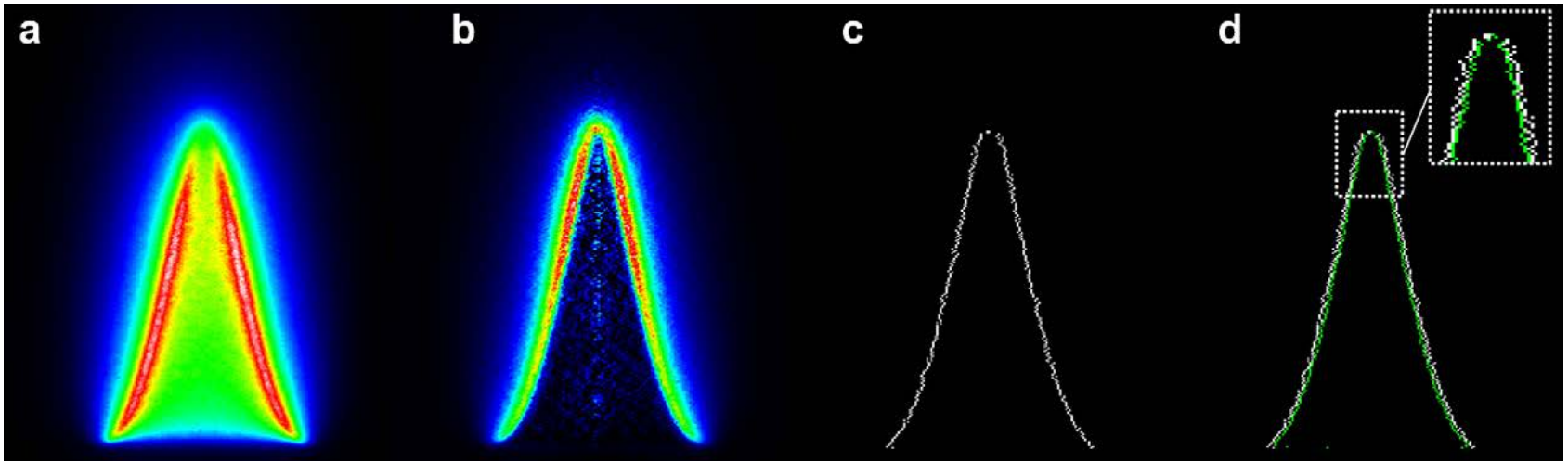
**Fig. 1** - Details of the straight burner setup: (a) Burner exit with sharp edge and perforated plate for the pilot flame tests, (b) Syngas conical flame stabilized with the CH<sub>4</sub>/air pilot flame.



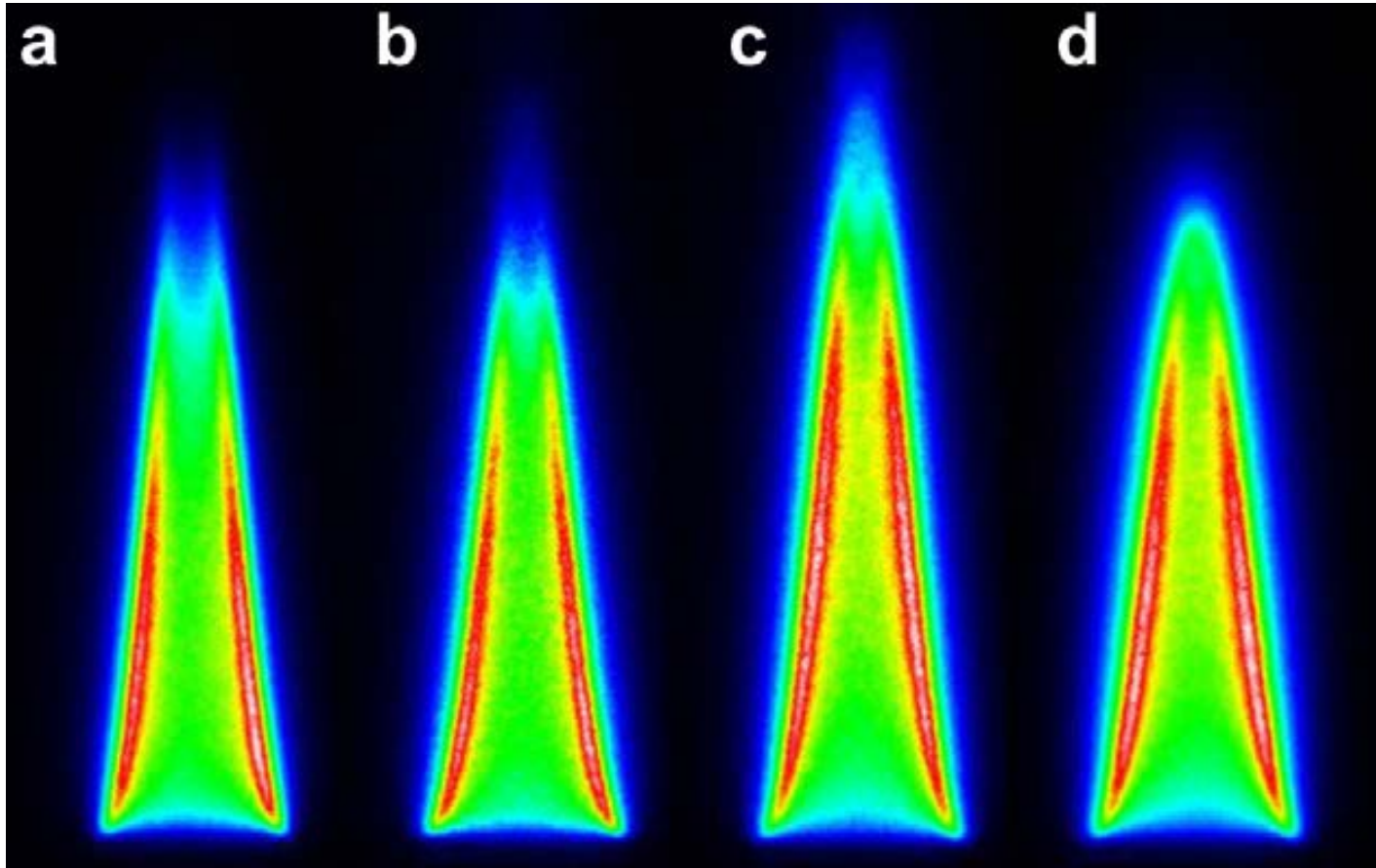
# Yanma konusunu bugün nasıl çalışıyoruz? Görüntüleme teknikleri çok önemli



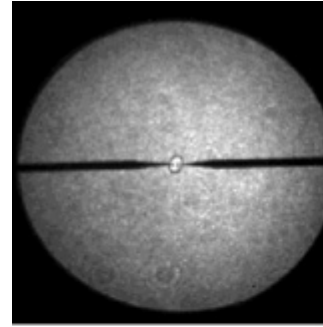
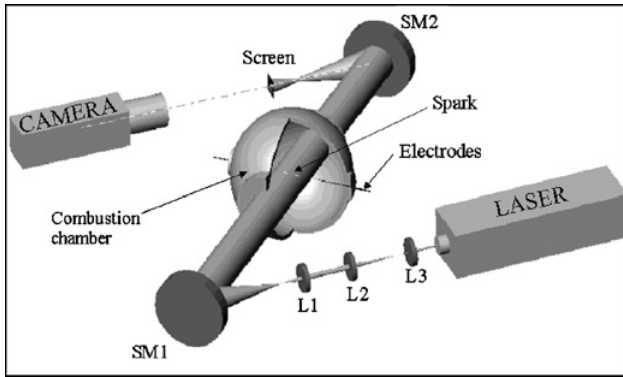
# Alev alanını belirlemek için lazer ile görüntüleme teknikleri kullanıyoruz



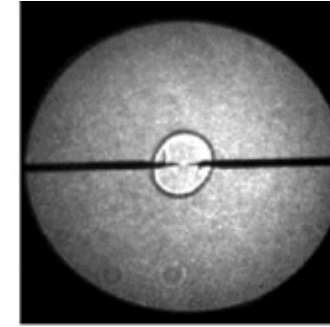
**Saf hidrojen/hava ve çeşitli sentetik gaz /hava karışımlarında  
Bunsen alevi tepesinin açılması olayı (a) 100% H<sub>2</sub> and (b) 80/20%,  
(c) 60/40%, (d) 40/60% H<sub>2</sub>/CO**



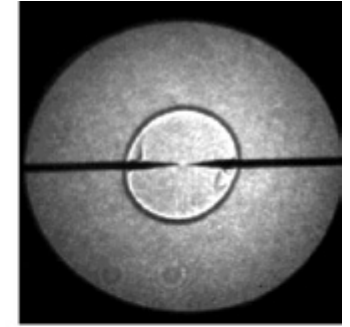
# Küresel yanma odasında alevin görüntülenmesi ve laminer alev/yanma hızının ölçülmesi



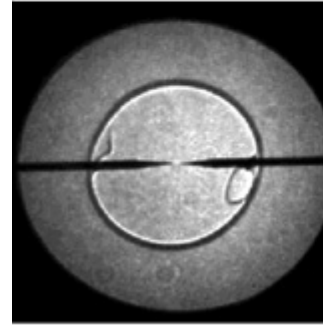
$t = 0.3$  ms



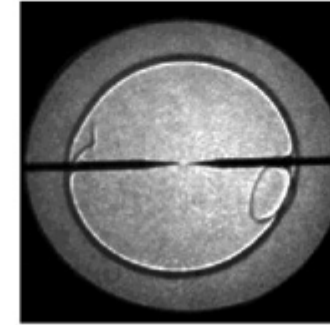
$t = 4.7$  ms



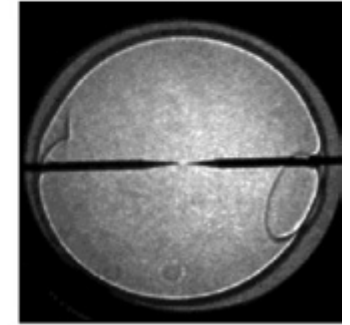
$t = 9.2$  ms



$t = 13.7$  ms

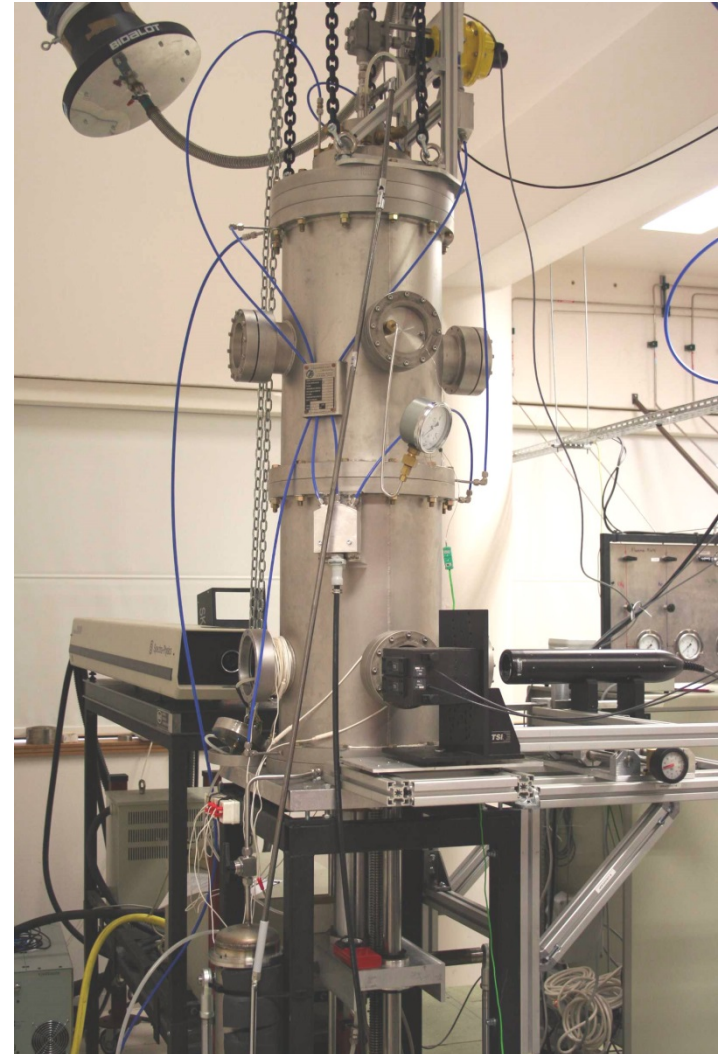
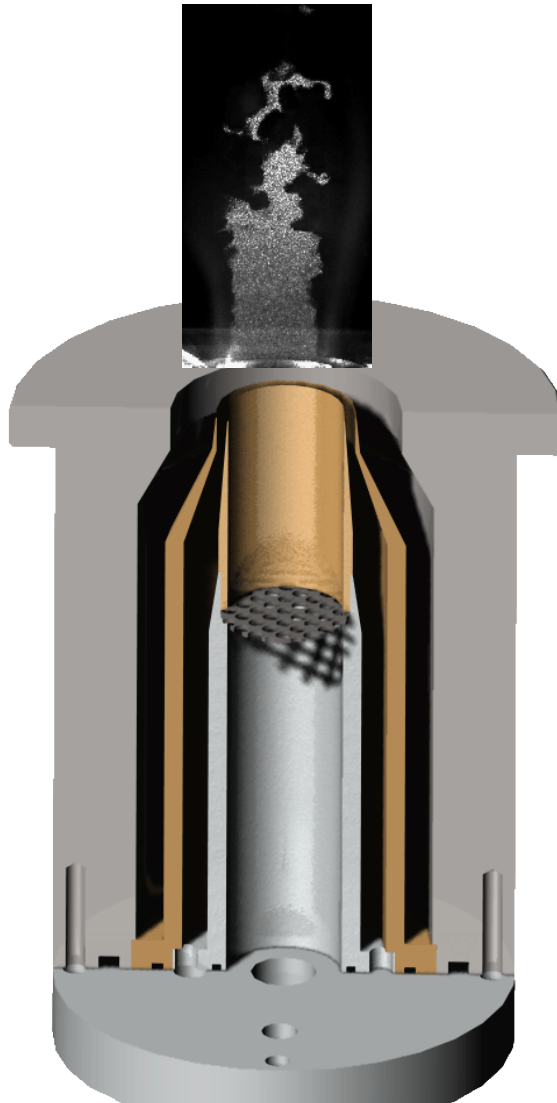


$t = 18$  ms

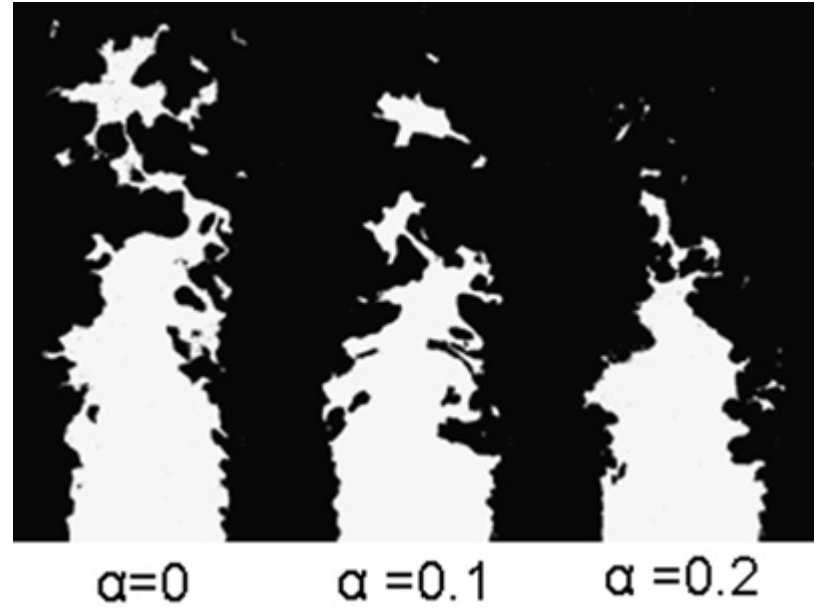
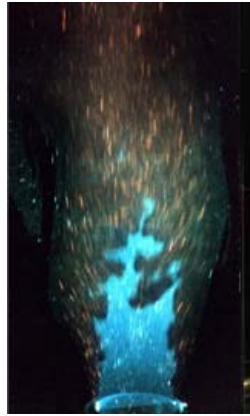


$t = 22.6$  ms

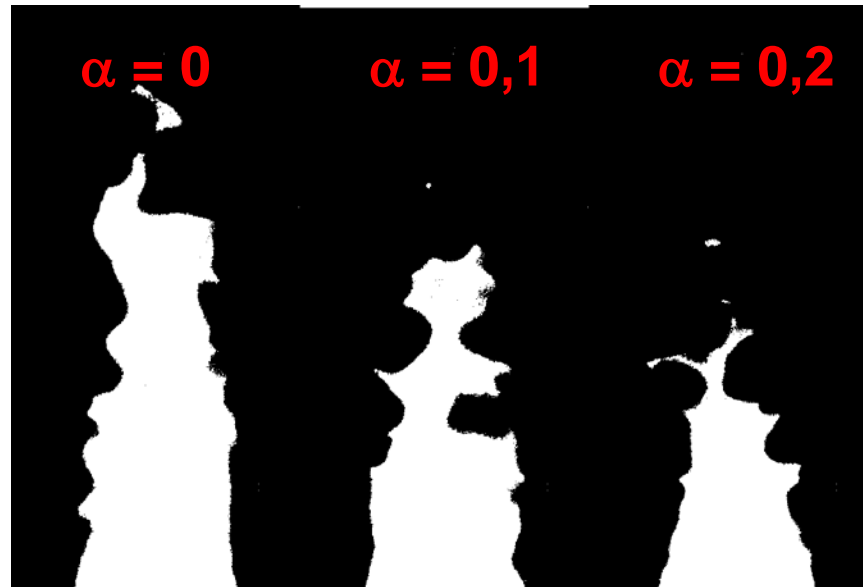
# Laboratuvarda türbülanslı alev nasıl elde edilir?



# Türbülanslı yanma odasında alevin görüntülenmesi



# Hidrojenin doğalgaz yanmasına etkisi



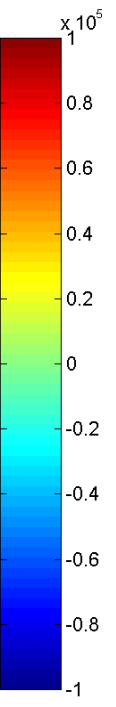
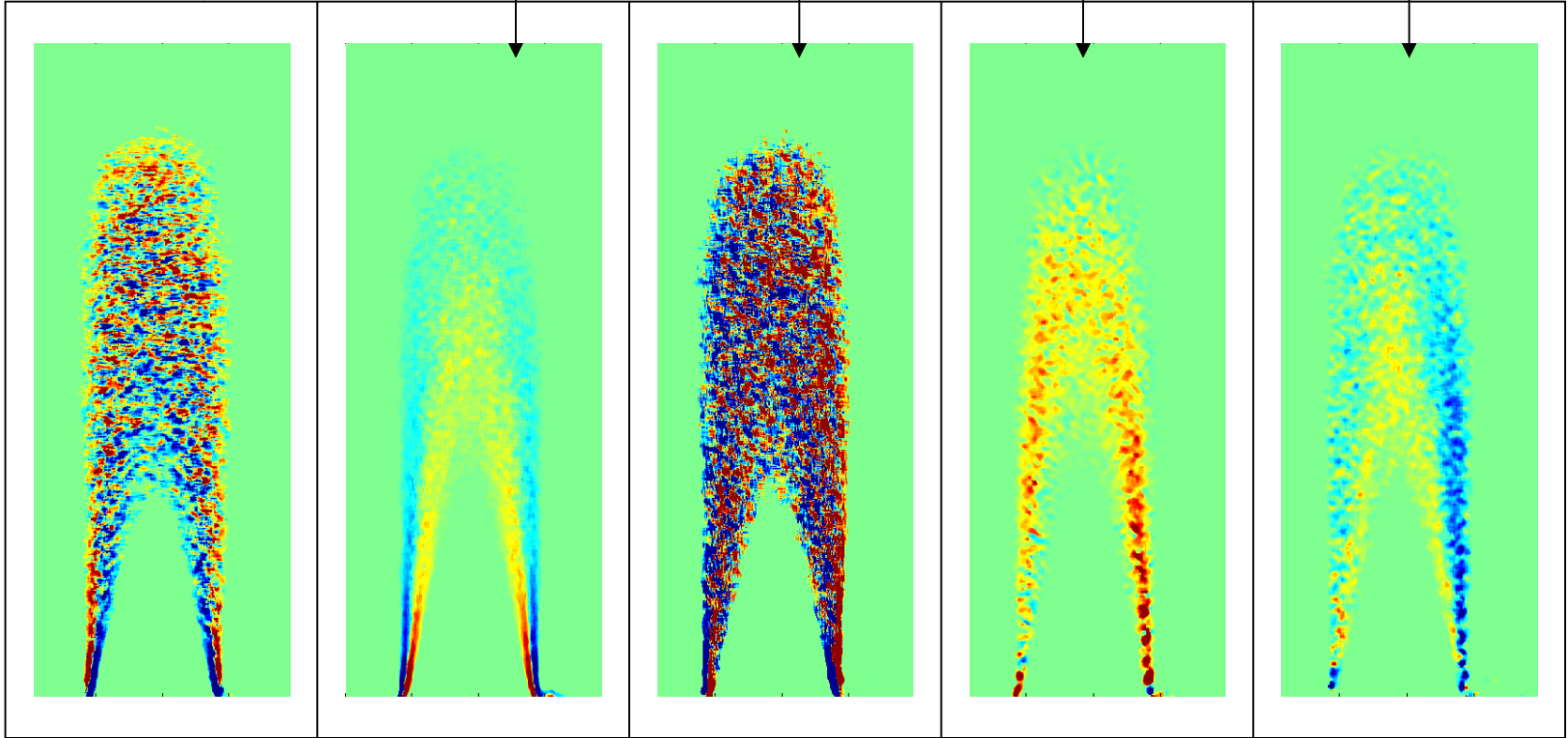
**YANMA BİLİMİ SADECE DENEYSEL DEĞİL,  
MATEMATİK VE SAYISAL HESAPLAMA SEVENLERE  
DE YER VAR**

**Bugün deneysel ve sayısal çalışmalar el ele yürüyor**



# SAYISAL HESAPLAMALARLA DENEYSEL SONUÇLARI KARŞILAŞTIRMA

$$\frac{\partial \Sigma}{\partial t} = \underbrace{-\nabla \cdot (\tilde{\mathbf{U}} \Sigma)}_{a_1} + \underbrace{\left( -\nabla \cdot (\langle w \mathbf{n} \rangle_S \Sigma) + \langle w \nabla \cdot \mathbf{n} \rangle_S \Sigma \right)}_{a_2} - \underbrace{\nabla \cdot (\langle \mathbf{u}'' \rangle_S \Sigma)}_{a_3} + \underbrace{(\nabla \cdot \tilde{\mathbf{U}} - \langle \mathbf{nn} \rangle_S : \nabla \cdot \tilde{\mathbf{U}}) \Sigma}_{A_r} + \underbrace{\langle \nabla \cdot \mathbf{u}'' - \mathbf{nn} : \nabla \mathbf{u}'' \rangle_S \Sigma}_{a_r}$$



# Türkiye bağlamında hidrojen konusuna nasıl yaklaşabiliriz ?

- **Doğalgaz ihtalatı** Türkiye için önemli bir **dış ticaret açığı** unsurudur. Dolayısıyla **doğalgaz ithal ikamesi** Türkiye için önemlidir. Böylesi bir stratejinin Türkiye'nin **karbon ayak izini** azaltmasına da katkısı olmalıdır. Elbette **kaş yaparken göz çıkarmamaya** dikkat edilmelidir yani hidrojenleneceğiz diye daha güvensiz bir sistem oluşturulmamalıdır.
- Kısacası **Türkiyenin doğalgaz ithalatını ve karbon ayakizini azaltacak, güvenli ve de teknolojide hamle yaptıracak bir hidrojen stratejisi oluşturmalıyız**

# Türkiye için 3 yol

- **1. Yenilenebilirlerden, linyitlerimizden ve organik atıklardan hidrojen ve diğer sentetik yakıtların üretilmesi**
  - Linyit ve organik atıklardan gazlaştırma yoluyla  $CO+H_2$
  - Yenilenebilirlerden (bilhassa rüzgar) artık elektrik ve elektroliz yoluyla  $H_2$
  - $CO_2 + H_2 + katalizörler$  yolu ile metan gazı, metanol, DME
- **2. Ulaştırma, savunma ve hidrojen**
  - İstenildiği zaman ve istenildiği yerde istenildiği kadar hidrojen üretilmesi; yani depolama gerekmeden
- **3. Isı ve hidrojen**
  - Doğalgaz şebekesine hidrojen ilavesi: nerde, nasıl, hangi kullanım için

# 1. Yol

## Temiz kömür teknolojilerinin geliştirilmesi Türkiye linyitlerinin gazlaştırılması projesi: OPTIMASH



AB projesi OPTIMASH (2011-2016)  
Yüksek küllü ve nemli Türkiye ve Hindistan linyitlerinin elektrik üretilmesi amacıyla gazlaştırılması projesi  
CNRS, ECN, THERMAX, TKİ, Hacettepe Üniv.

THERMAX'in Pune şehrindeki tesislerinde 1MWth gücünde 10 bar basınçta çalışan dolaşimli akışkan yataklı pilot sistem kuruldu ve Saray/Tekirdağ ve Tunçbilek linyitlerinin gazlaştırılması için tasarlandı ve test edildi.

# 15 milyar tonluk soru



← Unut veya Umut →



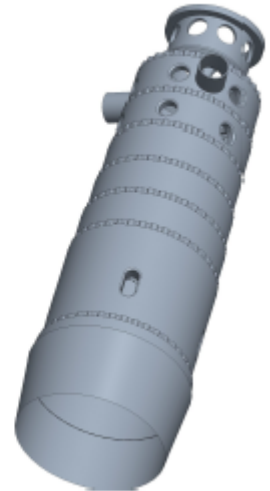
- Linyit rezervlerimizi unutacak mıyız kullanacak mıyız ?
- Temiz ve verimli şekilde kullanamazsak ne yatırım imkanı var ne de “bankable” bir proje
- Tek çare linyitlerimizi gazlaştırmak



# Projenin genel amaçları

- Türkiye linyitlerini deęerlendirmek
- Türkiye'nin doğalgaz ithalatını azaltmak
- Türkiye'nin karbon ayak izinin azaltılmasına katkıda bulunmak
- *Türkiye'nin gaz türbini teknolojisine sahip olmasına katkıda bulunmak*

*EÜAŞ da var olan doğalgaz yanma odalarının sentetik gaza uyarlanması çalışmaları*



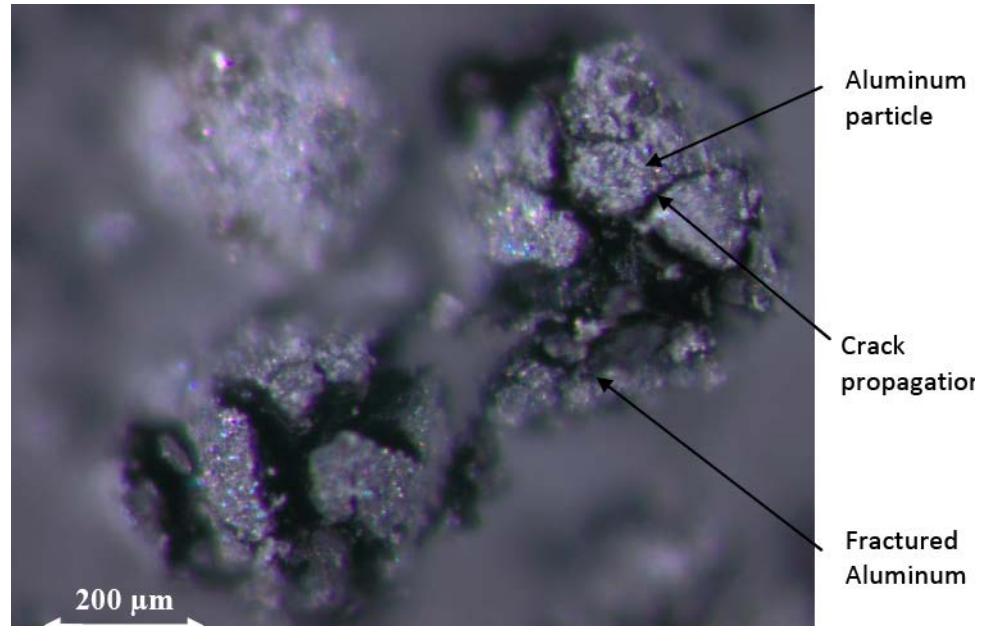
SCALE 0.200

## 2. Yol

### Hidrojen üretiminde ve kullanılmasında taşıma ve depolama safhalarını en aza indirebilirmiyiz ?

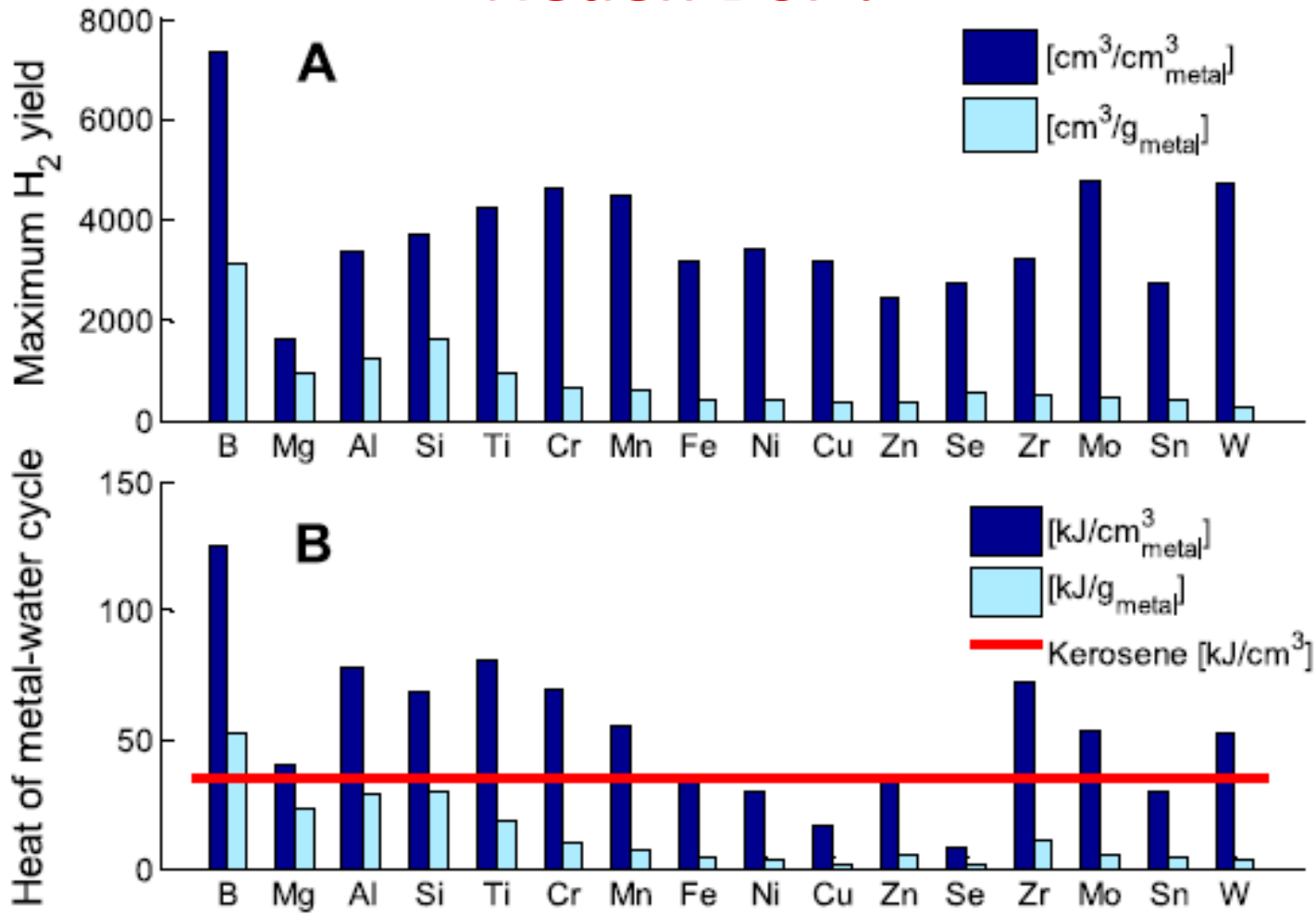
- Bu yöntem « yerinde, istenildiği kadar ve zamanda » hidrojen üretimi diyoruz
- Yöntemlerden bir tanesi « hafif metallerin hidrolizi yoluyla hidrojen üretilmesi »
- Hedef metallerimiz alüminyum, manyezyum ve...**bor**

**Alüminyumun su ile kimyasal tepkimeye girebilmesi için alüminyumun aktive edilmesi gerekiyor yani bir şekilde oksit tabakasının berteraf edilmesi**





# Neden Bor ?



Both for hydrogen generation and heat produced, boron is the most attractive metal, gravimetrically as well as volumetrically

**(A) Volumetric and gravimetric maximum theoretical hydrogen yield of the reaction of water with different metals; and (B) Volumetric and gravimetric reaction heat of the metal-water cycle for the different metals examined in this study. The cycle heat is a combination of both the metal-water reaction heat and the combustion heat of the hydrogen produced**



### 3. Yol

## Kıyıköy / Vize / Kırklareli üçgeni

\* Yerli elektrolizör geliştirilmesi  
dışa bağımlılığı sıfırlayacak yaklaşımlarla

\* Doğalgazın / metan gazının  
katalitik yöntemlerle hidrojen ve  
karbona ayrıştırılması

\* Hidrojen ve doğalgaz/hidrojen  
karışımlarının evsel kullanımlarda  
güvenliğinin sağlanması



Alevin geri tepmesi koşullarının  
incelenmesi



(a)

(b)

# TÜRKİYE HİDROJEN STRATEJİSİNİ NERDE ve NASIL ARAMALIYIZ ?

- **Enerji sistemlerinin karmaşık toplumsal-tekniik sistemler olduğunun farkında olan**
- **Kaynak ve teknoloji bağımsızlığı sorununa çözüm içeren**
- **Çevre ve atık sorununa çözüm içeren**
- **Yenilikçi enerji ve çevre teknolojileri dünya pazarında pay kapmayı hedefleyen**
- **Yenilenebilir enerji teknolojilerine geçişi hızlandıran**
- **Döngüsel sürdürülebilir enerji ve ekonomi sistemini hedefleyen**
- **Enerji bilim ve teknolojilerinin savunma, havacılık ve uzay teknolojileri ile büyük ölçüde örtüştüğünü bilen**
- **Bütünsel ve sürekliliği olan yaklaşımlarda aramalıyız**