

زنجیره تامین هیدروژن، از داده‌های آشفته تا آینده پایدار

حسام جعفری
دکتر هادی صاحبی



دانشگاه علم و صنعت ایران
دانشکده مهندسی صنایع

رئوس مطالب



کلیات تحقیق



مرور ادبیات



روش تحقیق



نتایج و تفسیر



پیشنهادهات

مقدمه و اهمیت هیدروژن

- **چالش‌های انرژی و محیط زیست:**
جهان امروز با مسائلی مانند تغییرات اقلیمی، آلودگی هوا و نیاز به منابع انرژی پایدار مواجه است. این چالش‌ها جامعه جهانی را به سمت راه‌حل‌های نوآورانه سوق داده است.
- **نقش هیدروژن در گذار انرژی جهانی:**
هیدروژن به عنوان یک حامل انرژی پاک و انعطاف‌پذیر، پتانسیل بالایی در کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای و افزایش امنیت انرژی دارد. همچنین، هیدروژن می‌تواند به عنوان راه‌حلی برای ذخیره‌سازی انرژی‌های تجدیدپذیر مانند خورشیدی و بادی عمل کند.
- **کاربردهای هیدروژن:**
هیدروژن در حوزه‌های مختلفی مانند سوخت خودروها، تولید برق، گرمایش ساختمان‌ها و فرآیندهای صنعتی کاربرد دارد و می‌تواند تحولی در بخش‌های مختلف اقتصاد ایجاد کند.



ضرورت تحقیق

ضرورت پیش‌بینی دقیق
روندهای آینده برای
برنامه‌ریزی و
سیاست‌گذاری

چالش‌های توسعه
صنعت هیدروژن و
اهمیت تحلیل
داده‌محور

پتانسیل هیدروژن در
کاهش انتشار گازهای
گلخانه‌ای و افزایش
امنیت انرژی

تعریف مساله

- تحلیل داده‌ها برای شناسایی الگوها و پیش‌بینی‌ها:

جمع‌آوری و تحلیل داده‌های جهانی پروژه‌های هیدروژنی می‌تواند به شناسایی الگوها، چالش‌ها، روندها و ارائه پیش‌بینی‌های دقیق برای آینده صنعت کمک کند.

- تنوع فناوری‌های تولید و نیاز به تحلیل مقایسه‌ای:

فناوری‌های مختلف تولید هیدروژن (مانند الکترولیز و استفاده از سوخت‌های فسیلی) مزایا و معایب خود را دارند و تحلیل دقیق و مقایسه‌ای برای انتخاب بهینه ضروری است.

اهداف و سوالات تحقيق

هدف اصلی:
تحليل جامع وضعيت کنونی و آینده



0
1

پیش بینی ظرفیت تولید
هیدروژن جهانی

“

02

تحلیل روندهای فناوری

“

03

تحلیل توزیع جغرافیایی پروژه‌های هیدروژنی

“

0
4

تحلیل بخش‌های مصرف نهایی

“

05

بررسی ادغام انرژی‌های تجدیدپذیر

“

06

مطالعه امکان سنجی اقتصادی

“

07

ارزیابی پتانسیل کاهش
انتشار کربن

“

08

تحلیل زمان بندی توسعه پروژه‌ها

“

09

بهینه‌سازی زنجیره تأمین

“

10

تحليل تأثير سياستها

“

1
1

مقایسه کارایی فناوری‌ها

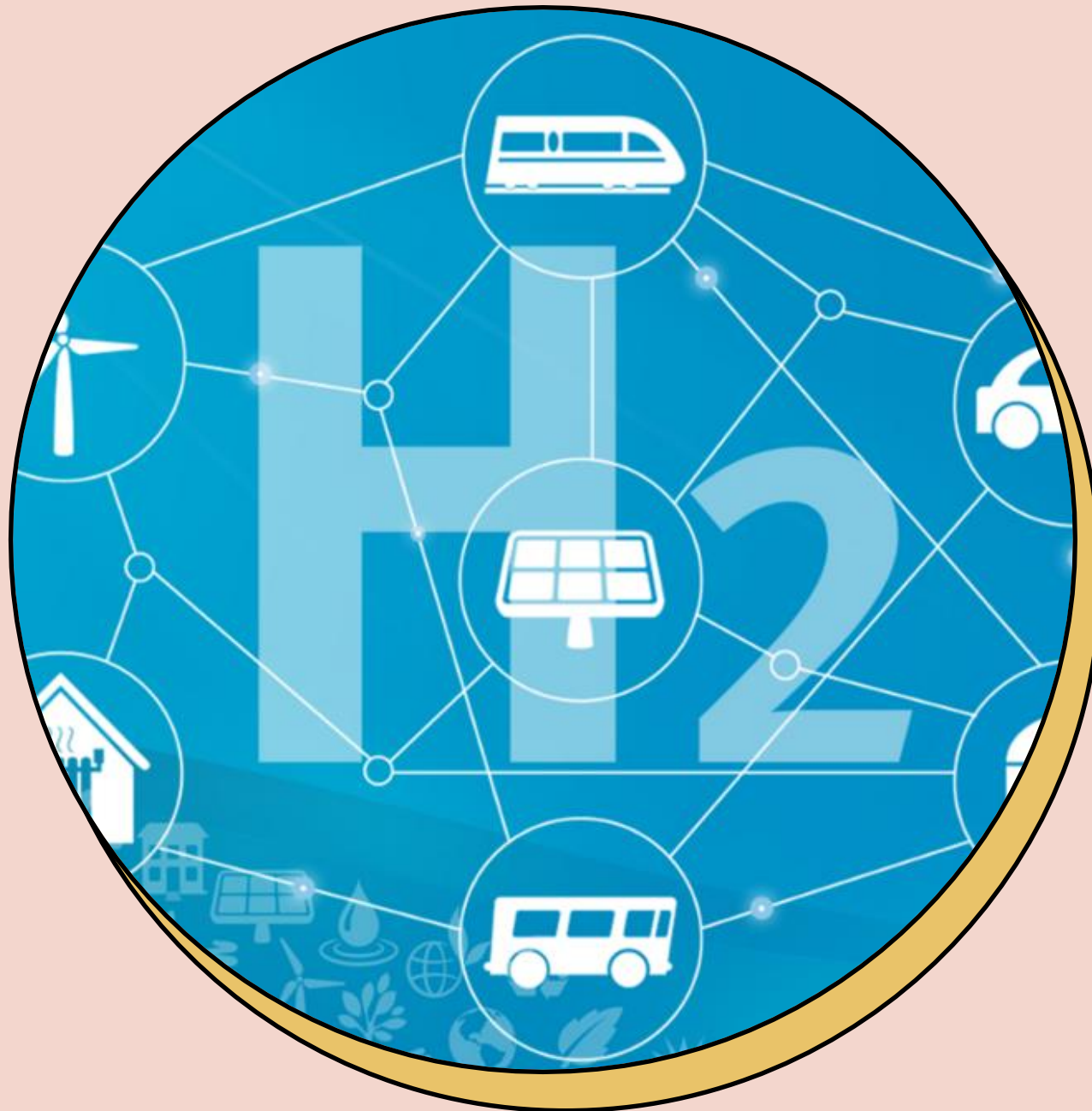
“

1
2

تحلیل روندهای سرمایه‌گذاری

“

مبانی نظری و مروار ادیات



فناوری‌های تولید هیدروژن

زیست توده

سوخت
فسیلی با
جذب CO2

الکترولیز آب
ALK
PEM
SOEC

الکترولیز آب

- الکترولايزر قلبيائي Alkaline Electrolyzer - ALK
- الکترولايزر غشاي تبادل پروتون Proton Exchange Membrane - PEM
- الکترولايزر اکسيد جامد Solid Oxide Electrolyzer - SOEC

سوخت فسیلی با جذب CO2

- CCUS مخفف Carbon Capture, Utilization, and Storage به معنای جذب، استفاده و ذخیره‌سازی کربن است.
- این فناوری برای کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای در فرآیندهای تولید هیدروژن از سوخت‌های فسیلی استفاده می‌شود.

CCUS

زغال سنگ با CCUS:

فرآیند: گازی سازی زغال سنگ

مواد اولیه: انواع زغال سنگ و مشتقات آن

گاز طبیعی با CCUS:

فرآیندها:

* اصلاح بخار

* اصلاح خودگرمایی

* سایر فناوری های پیشرفته اصلاح

نفت با CCUS:

فرآیندها:

* اصلاح محصولات نفتی

* شکست محصولات نفتی

* گازی سازی محصولات نفتی

محصولات نهایی

- CH_4 متان مصنوعی
- H_2 هیدروژن در شکل مولکولی
- LOHC حامل‌های هیدروژن آلی مایع
- متانول
- آمونیاک
- سوخت‌های مصنوعی: معادل بنزین، دیزل، سوخت جت

مصارف نهایی

- تزریق به شبکه گاز
- تولید همزمان برق و گرما
- گرمایش خانگی
- سوخت‌های زیستی
- سوخت‌های مصنوعی
- تزریق متان مصنوعی به شبکه
- حمل و نقل متان مصنوعی
- پالایش
- آمونیاک
- متانول
- آهن و فولاد
- سایر صنایع
- حمل و نقل
- نیرو

اقتصاد هیدروژنی

1. کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای
2. افزایش امنیت انرژی از طریق تنوع‌بخشی به منابع انرژی
3. بهبود کیفیت هوا در مناطق شهری
4. ایجاد فرصت‌های شغلی جدید در صنایع مرتبط با هیدروژن
5. امکان ذخیره‌سازی انرژی‌های تجدیدپذیر در مقیاس بزرگ

زنجیره ارزش هیدروژن



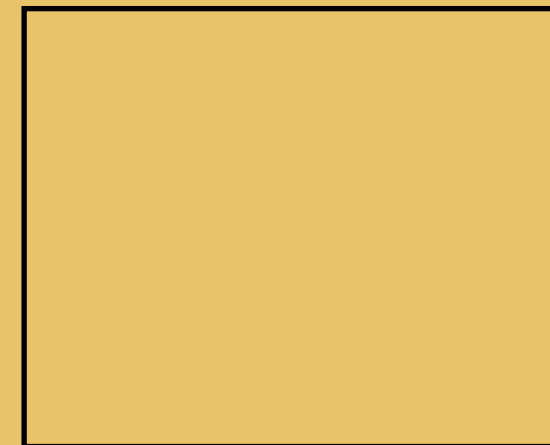
تولید



پالایش و خالص سازی



ذخیره سازی



حمل و نقل



توزیع



مصرف نهایی



سیاست‌ها و مقررات

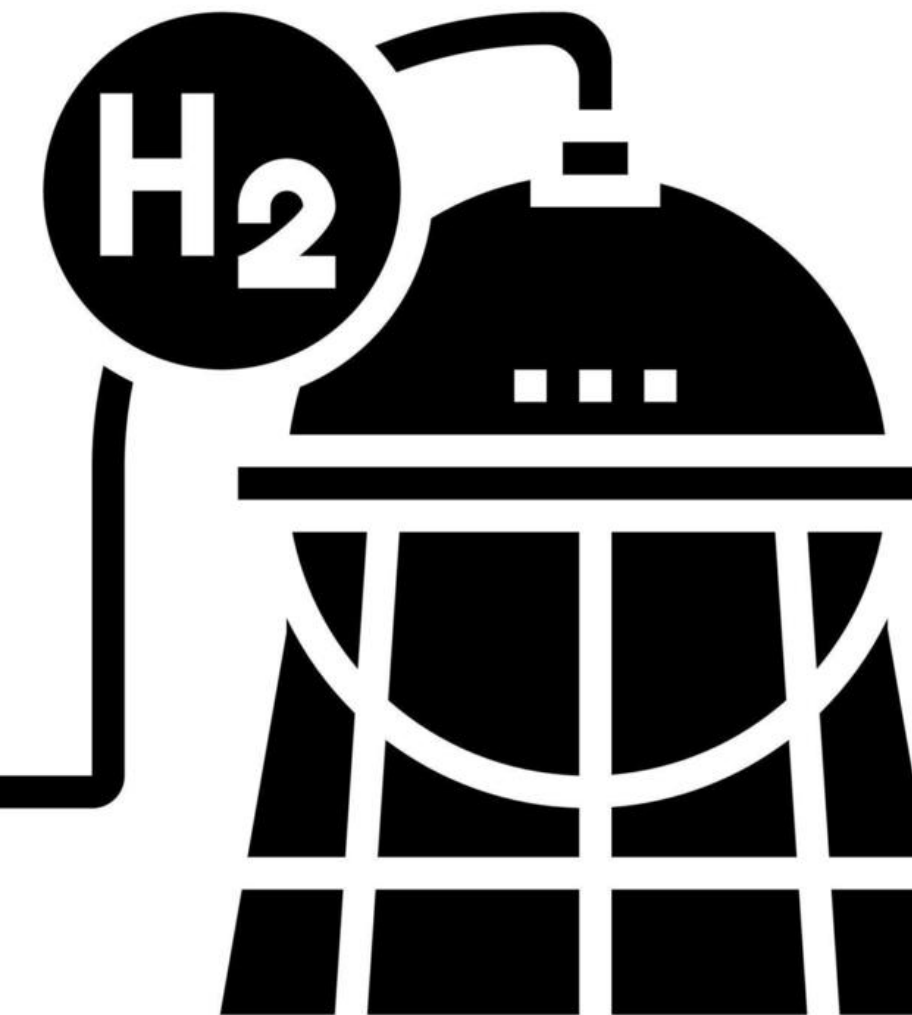
یارانه‌ها و
مشوق‌های
مالی

استانداردها
فنی و ایمنی

قوانین
کربن‌زدایی و
سیاست
صنعتی

سرمایه‌گذاری
در تحقیق و
توسعه

همکاری‌های
بین‌المللی



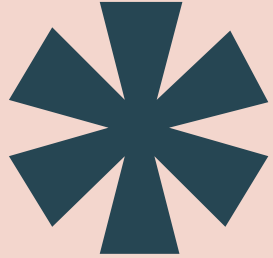
نظریه‌های نوآوری و انتقال فناوری

تعامل بین بازیگران
مدل چند سطحی گذار
نظریه انتشار نوآوری
مدل نوآوری باز

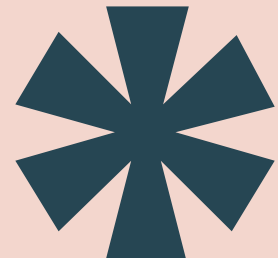
تحلیل اقتصادی هیدروژنی



- تحلیل هزینه-فایده
- تحلیل حساسیت
- ارزیابی ریسک
- تحلیل زنجیره ارزش



مروری بر ادبیات موضوع



روند جستجو و انتخاب مقالات



پیش‌بینی تقاضا و تولید انرژی

- اهمیت پیش‌بینی: برنامه‌ریزی تولید، ذخیره‌سازی و توزیع هیدروژن
 - ابزارهای پیش‌بینی: شبکه‌های عصبی، زنجیره مارکوف، SVM
 - کاربرد شبکه‌های عصبی: پیش‌بینی توان خروجی سیستم‌های انرژی تجدیدپذیر
-

شبکه‌های عصبی مصنوعی ANNs

- ویژگی کلیدی: یادگیری روابط غیرخطی بین متغیرهای ورودی و خروجی
 - کاربرد: سیستم‌های انرژی تجدیدپذیر هیبریدی
 - نتایج: دقت بالای پیش‌بینی (99.32%)
-

یادگیری آنلاین زنجیره مارکوف

- ویژگی کلیدی: مدل سازی وابستگی های متوالی
 - مزیت: به روزرسانی مداوم مدل با داده های جدید
 - کاربرد: پیش بینی تقاضای بار و تولید انرژی
-

ماشین بردار پشتیبان SVM

- ویژگی کلیدی: مدل سازی روابط غیرخطی، مقاومت در برابر اورفیتینگ
- کاربرد: پیش بینی در زنجیره تامین هیدروژن
- مقایسه: عملکرد کمتر از زنجیره مارکوف ولی مفید

مدل‌های ترکیبی و هیبریدی

- ترکیب مدل‌ها: LSTM، GRU، CNN-LSTM
- نتیجه: دقت بالاتر نسبت به مدل‌های منفرد
- مزیت: یادگیری وابستگی‌های طولانی‌مدت، کارایی بالاتر

بهینه‌سازی طراحی و عملکرد سیستم

- هدف: بهینه‌سازی ابعاد، پیکربندی، استراتژی‌های عملیاتی
- ابزارها: الگوریتم‌های فراابتکاری، یادگیری تقویتی عمیق
- کاربرد: زنجیره تامین هیدروژن

الگوریتم‌های فراابتکاری

- ویژگی‌ها: حل مسائل پیچیده و غیرخطی
- کاربرد: طراحی میکروگریدها
- نمونه‌ها: HSA ،ACO ،PSO ،GA

یادگیری تقویتی عمیق

- ویژگی کلیدی: یادگیری سیاست‌های بهینه در محیط‌های غیرقطعی
- کاربرد: سیستم‌های انرژی هیدروژن-فتوولتائیک-برق‌آبی
- مزیت: بهبود پایداری و سرعت همگرایی

برنامه‌ریزی چندهدفه

- ویژگی‌ها: حل مسائل با اهداف متضاد
- روش‌ها: وزن‌دهی، محدودیت اپسیلون، بهینه‌سازی پارتو
- کاربرد: مکان‌یابی و کنترل پسماند در زنجیره هیدروژن

مدل سازی و کنترل پیش بین

- کنترل پیش بین مدل MPC: بهینه سازی در زمان واقعی
- مزایا: مقابله با عدم قطعیت، بهینه سازی مداوم
- کاربرد: میکروگریدهای متصل به شبکه

تحلیل داده‌های عملیاتی

- روش‌ها: هوش مصنوعی قابل توضیح XAI، تحلیل داده‌های بزرگ
- کاربرد: بهبود بهره‌وری و عملکرد زنجیره تامین
- مزایا: شفافیت، بهبود اعتماد، شناسایی نقاط بهبود

شناسایی فناوری‌های نوپهور

- روش‌ها: متن‌کاوی، تحلیل پتنت
- کاربرد: شناسایی روندها و همکاری‌های بین‌المللی
- نتیجه: ایجاد نقشه راه فناوری برای زنجیره تامین هیدروژن

طبقه‌بندی و ارزیابی سوخت‌ها

- روش‌ها: مدل‌های ترکیبی یادگیری عمیق CNN-LSTM ،GRU ،LSTM
- کاربرد: ارزیابی سوخت‌های جامد
- مزیت: دقت بالا و مقاومت در برابر نویز

بهینه‌سازی مکان‌یابی و لجستیک

- روش‌ها: مدل‌های بهینه‌سازی چندهدفه، الگوریتم‌های مسیریابی هوشمند
- کاربرد: انتخاب مکان‌ها و بهینه‌سازی حمل و نقل هیدروژن

مدیریت ریسک و پایداری

- روش‌ها: تحلیل پیش‌بینانه ریسک، بهینه‌سازی پایداری
- کاربرد: مدیریت پویای زنجیره تامین هیدروژن
- نتایج: کاهش ریسک و هزینه‌های عملیاتی

یکپارچه‌سازی با فناوری‌های دیجیتال

- فناوری‌ها: اینترنت اشیا، تحلیل داده‌های بلادرنگ
- کاربرد: پایش تجهیزات، ردیابی محموله‌ها
- مزیت: بهبود بهره‌وری و دقت تصمیم‌گیری

چالش‌ها و فرصت‌های تحقیقاتی



کیفیت و دسترسی به داده‌ها



مقیاس‌پذیری و قابلیت انتقال مدل‌ها



تفسیرپذیری و اعتمادپذیری



یکپارچه‌سازی با سیستم‌های فیزیکی



مدیریت عدم قطعیت



بهینه‌سازی چند سطحی و چند مقیاسی



یادگیری تقویتی برای مدیریت پویا



هوش جمعی و سیستم‌های خودسازمانده

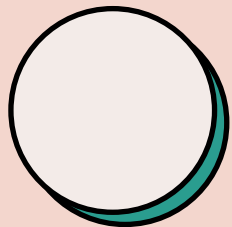
جدول مرور ادبیات

ردیف	نویسنده	ژورنال	سال	موضوعی				روشی				
				بهینه‌سازی سیستم‌های انرژی تجدیدپذیر	زنجیره تأمین هیدروژن	پیش‌بینی مصرف انرژی و انتشار کربن	ارزیابی اقتصادی و زیست‌محیطی	الگوریتم‌های فراابتکاری	یادگیری ماشین و هوش مصنوعی	کنترل پیش‌بین مدل	تحلیل متن کلوی	ارزیابی چرخه عمر
1	Lee et al.	Sustainability	2024			*			*			
2	Ramezani et al.	Renewable and Sustainable Energy Reviews	2024		*			*				
3	Zhao et al.	IET Renewable Power Generation	2024	*	*				*	*		
4	Shamoushaki & Koh	Scientific Reports	2023		*		*					*
5	Su et al.	Journal of Physics: Conference Series	2022	*	*				*			
6	Frankowska et al.	Energies	2022		*							*
7	Yu et al.	Sustainability	2022		*							*
8	Mohseni & Brent	International Journal of Hydrogen Energy	2020	*			*	*				
9	Li & Roche	Energy	2020	*						*		
10	Zhang et al.	Journal of Cleaner Production	2019	*		*		*	*			

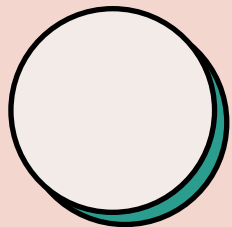
روش تحقيق



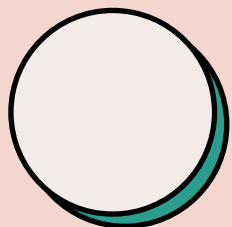
مساله تحقيق



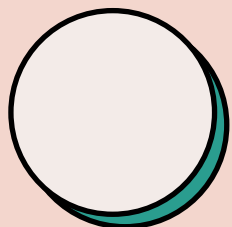
بررسی و تحلیل داده‌های مربوط به پروژه‌های تولید
هیدروژن در سطح جهانی



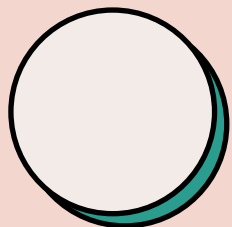
از تکنیک‌های پیشرفته داده‌کاوی برای شناسایی و تجزیه و
تحلیل روندهای کلیدی



زمینه فناوری‌های تولید هیدروژن، ظرفیت‌های تولید،
موقعیت‌های جغرافیایی و کاربردهای نهایی



ارائه یک نمای جامع از وضعیت فعلی و آینده تولید
هیدروژن به‌ویژه در زمینه هیدروژن سبز



تحلیل دقیق این داده‌ها، الگوها و روندهای مرتبط



جمع‌آوری داده‌ها

طراحی مطالعه

- شناسایی و ثبت تمام پروژه‌های هیدروژن سبز
- جمع‌آوری اطلاعات ظرفیت تولید، فناوری مورد استفاده، موقعیت جغرافیایی و کاربردهای نهایی
- ارزیابی وضعیت فعلی هر پروژه
- ثبت اطلاعات مربوط به سرمایه‌گذاران و شرکای هر پروژه

تعیین معیارهای ورود و خروج

- دقت اطلاعات
- معیارهای ثبت اطلاعات
- حداقل اطلاعات ضروری
- به روزرسانی مداوم
- اجتناب از تکرار
- کیفیت اطلاعات
- فرمت استاندارد
- تجزیه و تحلیل
- گزارش دهی
- حریم خصوصی و امنیت
- مقیاس پروژه ها

منابع داده

• منابع اولیه

- گزارش‌های رسمی شرکت‌ها و سازمان‌های دولتی
- پایگاه‌های داده صنعتی مانند IEA Hydrogen Projects
- مقالات علمی و گزارش‌های فنی از ژورنال‌های معتبر

• منابع ثانویه

- اخبار و گزارش‌های رسانه‌های تخصصی انرژی
- وبسایت‌های شرکت‌های فعال در حوزه هیدروژن سبز
- گزارش‌های سالانه و اعلامیه‌های مطبوعاتی شرکت‌ها

روش جمع آوری

"green hydrogen project"
"renewable hydrogen production"
"electrolysis plant"
"power-to-gas"
"hydrogen economy"
"clean hydrogen initiative"

جستجوی نظام مند

- تعریف کلیدواژه‌های جستجو
- انتخاب پایگاه‌های داده و موتورهای جستجو
- اجرای جستجو



جمع آوری داده‌ها

مقالات علمی

گزارش‌های
دولتی

پایگاه‌های
داده صنعتی

منابع آنلاین

منابع خبری

روش گلوله برفی

- پس از شناسایی پروژه‌های اولیه از روش گلوله برفی برای یافتن پروژه‌های مرتبط دیگر استفاده شد.
- این روش شامل بررسی منابع و ارجاعات ذکر شده در گزارش‌های پروژه‌های شناسایی شده بود.

فرم استخراج داده

 <p>نام پروژه</p>	 <p>موقعیت (کشور)</p>	 <p>تاریخ شروع عملیات</p>	 <p>وضعیت فعلی</p>
 <p>فناوری مورد استفاده</p>	 <p>ظرفیت‌های تولید</p>	 <p>منبع انرژی تجدید پذیر</p>	 <p>محصول و کاربرد نهایی</p>

پاکسازی و پردازش داده

استاندارد
سازی
واحدها

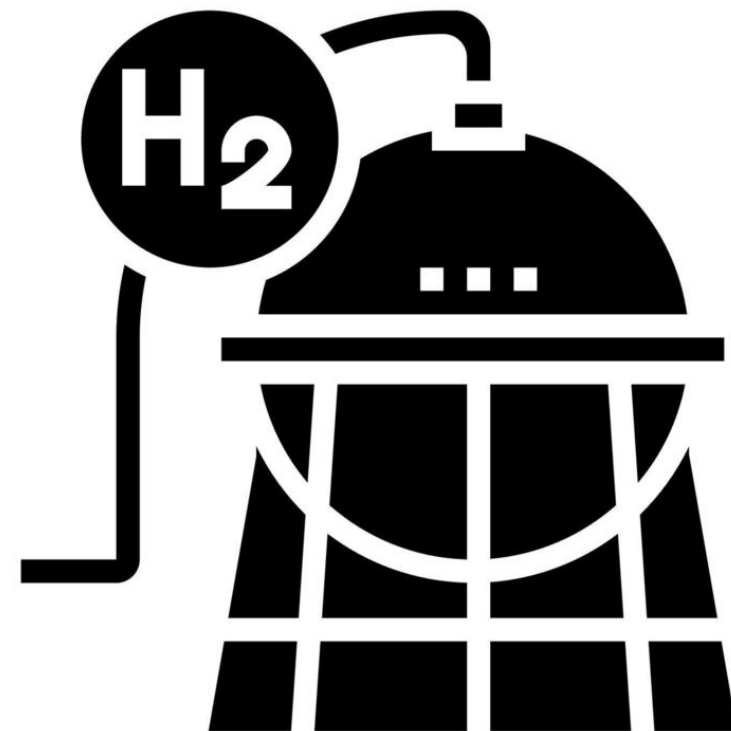
کدگذاری
متغیرهای
کیفی

شناسایی و
حذف
داده‌های
تکراری

مدیریت
داده‌های
گمشده

بررسی
داده‌های پرت

ظرفیت تولید و نرمال سازی



روش

- ظرفیت تولید هیدروژن در پروژه‌های مختلف بر اساس خروجی توان (به مگاوات برای هیدروژن) محاسبه و استانداردسازی می‌شود.
- برای انجام این کار، ظرفیت تولید هیدروژن به شکل حجمی یا ظرفیت‌های نامی الکترولایزرها محاسبه می‌شود.
- پروژه‌ها بسته به نوع فناوری الکترولیز، از عوامل تبدیل مختلفی استفاده می‌کنند.

نوع فناوری الکترولیز	عامل تبدیل (MW به ازای هر $\text{Nm}^3 \text{H}_2$ در ساعت)
ALK الکترولایزر قلیایی	0.0046
PEM الکترولایزر غشایی	0.0052
SOEC الکترولایزر اکسید جامد	0.0038
PtX نامشخص	0.0045

روش

- اگر ظرفیت تولید به جای توان مصرفی، به شکل خروجی هیدروژن اعلام شده باشد، از یک سری ضریب‌های ظرفیت برای تعیین مقدار استفاده می‌شود که این ضریب‌ها به نوع منبع برق بستگی دارد.

- برق شبکه: ضریب 0.57
- برق شبکه + انرژی‌های تجدیدپذیر: ضریب 0.70
- نیروگاه‌های تجدیدپذیر اختصاصی: ضریب 0.80
- نیروگاه‌های خورشیدی: ضریب 0.30
- نیروگاه‌های بادی: بسته به نوع، مثل 0.40 برای بادی خشکی و 0.55 برای بادی دریایی

روش

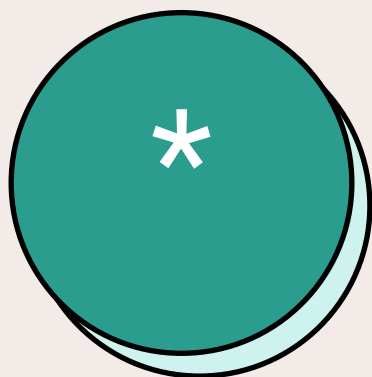
- برای پروژه‌هایی که از سوخت‌های فسیلی به همراه جذب CO_2 استفاده می‌کنند، ظرفیت تولید هیدروژن "بدون کربن" با استفاده از ضریب جذب CO_2 تخمین زده می‌شود.
- مثلاً اگر یک واحد تولید هیدروژن با ظرفیت 100 هزار تن در سال ktH_2/yr باشد و 60 درصد از CO_2 آن جذب شود، ظرفیت تولید هیدروژن بدون کربن آن 60 هزار تن در سال محاسبه می‌شود.
- در نهایت، میزان انتشار CO_2 برای نیروگاه‌های مبتنی بر گاز طبیعی (0.9105 کیلوگرم CO_2 به ازای Nm^3 هیدروژن) و زغال سنگ (1.9075 کیلوگرم CO_2 به ازای Nm^3 هیدروژن) نیز در نظر گرفته می‌شود.

وضعیت پروژه‌ها

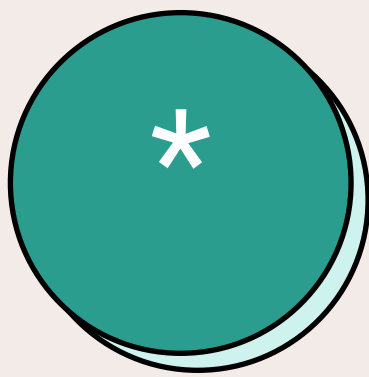
- عملیاتی: پروژه‌هایی که در حال حاضر فعال هستند.
- در حال ساخت: پروژه‌هایی که مرحله ساخت را آغاز کرده‌اند.
- مطالعه امکان‌سنجی: پروژه‌هایی که در مرحله بررسی اولیه هستند.
- مفهومی: پروژه‌هایی که در مرحله ایده‌پردازی اولیه قرار دارند.
- نمایشی: پروژه‌های آزمایشی که برای نمایش فناوری راه‌اندازی شده‌اند.

این تنوع در وضعیت پروژه‌ها امکان بررسی روند توسعه فناوری‌های هیدروژن را فراهم می‌کند.

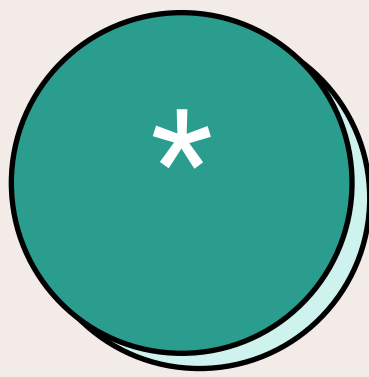
تحلیل کیفیت داده



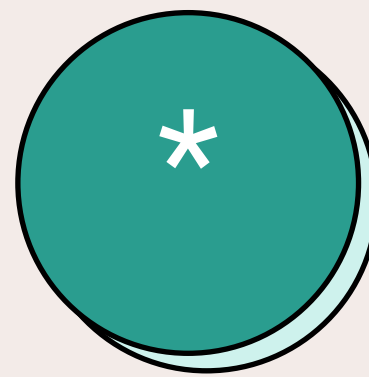
ارزیابی جامعیت



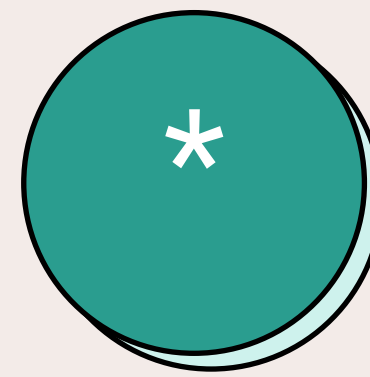
ارزیابی دقت



ارزیابی سازگاری



استفاده از
داده‌های عمومی



ارزیابی تحلیل
پذیری

تکنیک‌های تحلیل داده

- تحلیل آماری توصیفی
- تحلیل روند زمانی
- تحلیل خوشه‌ای
- تحلیل همبستگی
- تحلیل جغرافیایی
- تحلیل شبکه
- تحلیل هزینه‌ای
- مدل‌سازی پیش‌بینی



مدلسازی

تشریح مفاهیم و روش‌های مورد استفاده در مدل‌سازی و
تحلیل داده‌ها

پیش‌بینی ظرفیت تولید هیدروژن

- استفاده از مدل سری زمانی Prophet
 - توسعه‌دهنده: Facebook
 - ویژگی‌ها: مناسب برای داده‌های با روندهای فصلی و غیرخطی
- استخراج و تجمیع داده‌های ظرفیت تولید سالانه هیدروژن
- تبدیل داده‌ها به فرمت مورد نیاز برای Prophet
- آموزش مدل و پیش‌بینی ظرفیت تولید در 10 سال آینده
- مزایای Prophet:
 - مدل‌سازی روندهای غیرخطی و اثرات فصلی
 - مدیریت داده‌های گمشده و مقاومت در برابر نویز داده

تحلیل روندهای فناوری

- روند پذیرش فناوری‌های مختلف در طول زمان
- توزیع فناوری‌ها در کشورهای مختلف
- مشاهده تغییرات در محبوبیت فناوری‌های تولید هیدروژن
- تحلیل خوشه‌بندی:
- گروه‌بندی پروژه‌ها بر اساس ویژگی‌های فنی
- شناسایی الگوهای پنهان و درک ارتباطات بین ویژگی‌های پروژه‌ها

تحلیل توزیع جغرافیایی پروژه‌ها

- تولید نقشه حرارتی برای نمایش تراکم پروژه‌ها در مناطق مختلف جهان
- شناسایی:
- مناطق با تمرکز بالای پروژه‌ها
- مناطقی با پتانسیل توسعه بیشتر
- شناسایی الگوهای فضایی مانند خوشه‌بندی یا پراکندگی

تحلیل بخش‌های مصرف نهایی

- تحلیل توصیفی:
 - استفاده از نمودارهای خطی و میله‌ای برای نمایش روند مصرف هیدروژن در بخش‌های مختلف (پالایش، تولید آمونیاک، حمل و نقل و غیره)
 - شناسایی تغییرات و بخش‌های با رشد سریع
- مدل‌سازی پیش‌بینی:
 - استفاده از Random Forest Regressor برای پیش‌بینی تقاضای آینده
 - مدل‌سازی روابط غیرخطی و مقاوم در برابر overfitting
 - آموزش مدل جداگانه برای هر بخش مصرف نهایی
 - به کارگیری ویژگی‌های تأخیری lag features برای بهبود درک الگوهای زمانی

مطالعه امکان‌سنجی اقتصادی

- محاسبه هزینه سطح‌بندی شده هیدروژن LOCH
- معیاری برای محاسبه هزینه تولید هیدروژن در طول عمر پروژه.
- امکان مقایسه اقتصادی بین پروژه‌های مختلف.
- محاسبه LCOH
- استفاده از داده‌های مربوط به هزینه‌های سرمایه‌گذاری، هزینه‌های عملیاتی، ظرفیت تولید و عمر پروژه
- تحلیل توزیع LCOH
- استفاده از تحلیل‌های آماری و نمودارهای جعبه‌ای برای مقایسه توزیع LCOH در فناوری‌های مختلف
- مدل‌های رگرسیون
- بررسی عوامل مؤثر بر LOCH مانند مقیاس پروژه، نوع فناوری، موقعیت جغرافیایی و قیمت انرژی

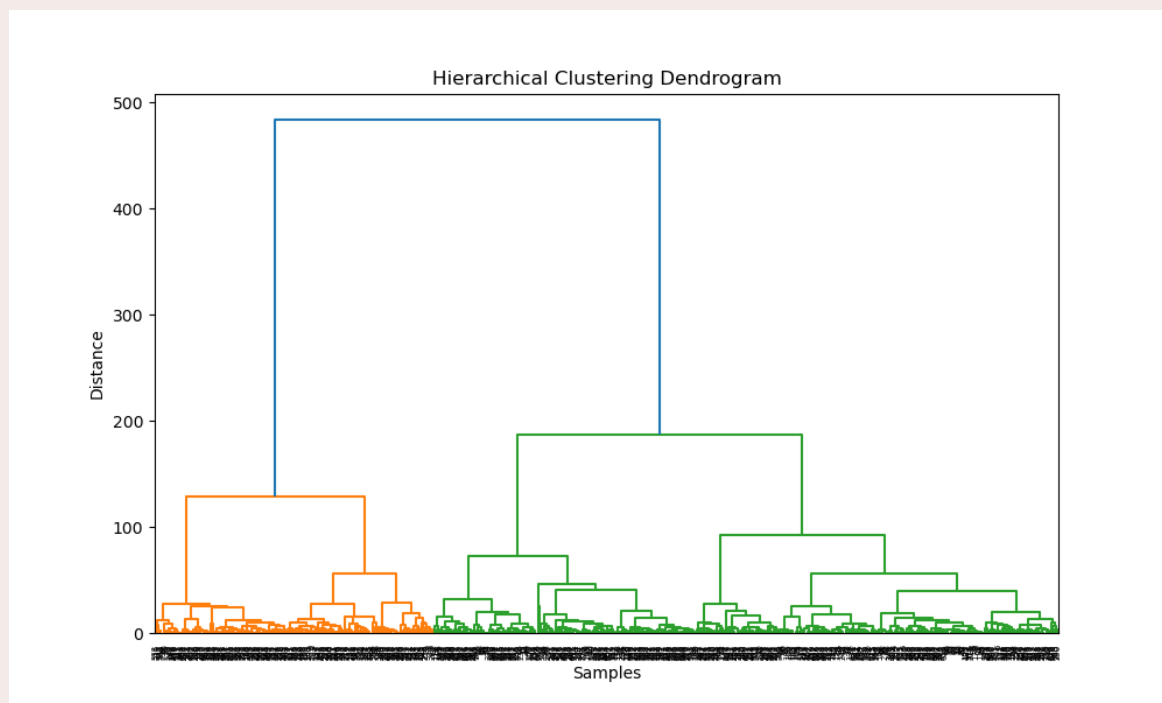
تحلیل پتانسیل کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای

- محاسبه میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای:
- محاسبه برای هر پروژه بر اساس فناوری و منبع انرژی
- تحلیل توزیع کاهش انتشار:
- استفاده از روش‌های آماری توصیفی برای بررسی توزیع کاهش انتشار در پروژه‌های مختلف
- پیش‌بینی کاهش انتشار:
- استفاده از مدل‌های سری زمانی برای پیش‌بینی کاهش انتشار در سال‌های
- تحلیل سناریو:
- بررسی تأثیر سیاست‌های مختلف (مانند افزایش مالیات کربن یا یارانه‌های انرژی پاک) بر میزان کاهش

تحلیل زمان‌بندی توسعه پروژه

- تحلیل بقا (Survival Analysis)
- استفاده از مدل Cox Proportional Hazards برای بررسی تأثیر عوامل مختلف (نوع فناوری، مقیاس پروژه، کشور میزبان و غیره) بر زمان تکمیل پروژه
- نمودارهای Kaplan-Meier
- مقایسه احتمال عدم تکمیل پروژه در طول زمان بین گروه‌های مختلف (فناوری‌ها، کشورها)

خوشه بندی پروژه‌ها

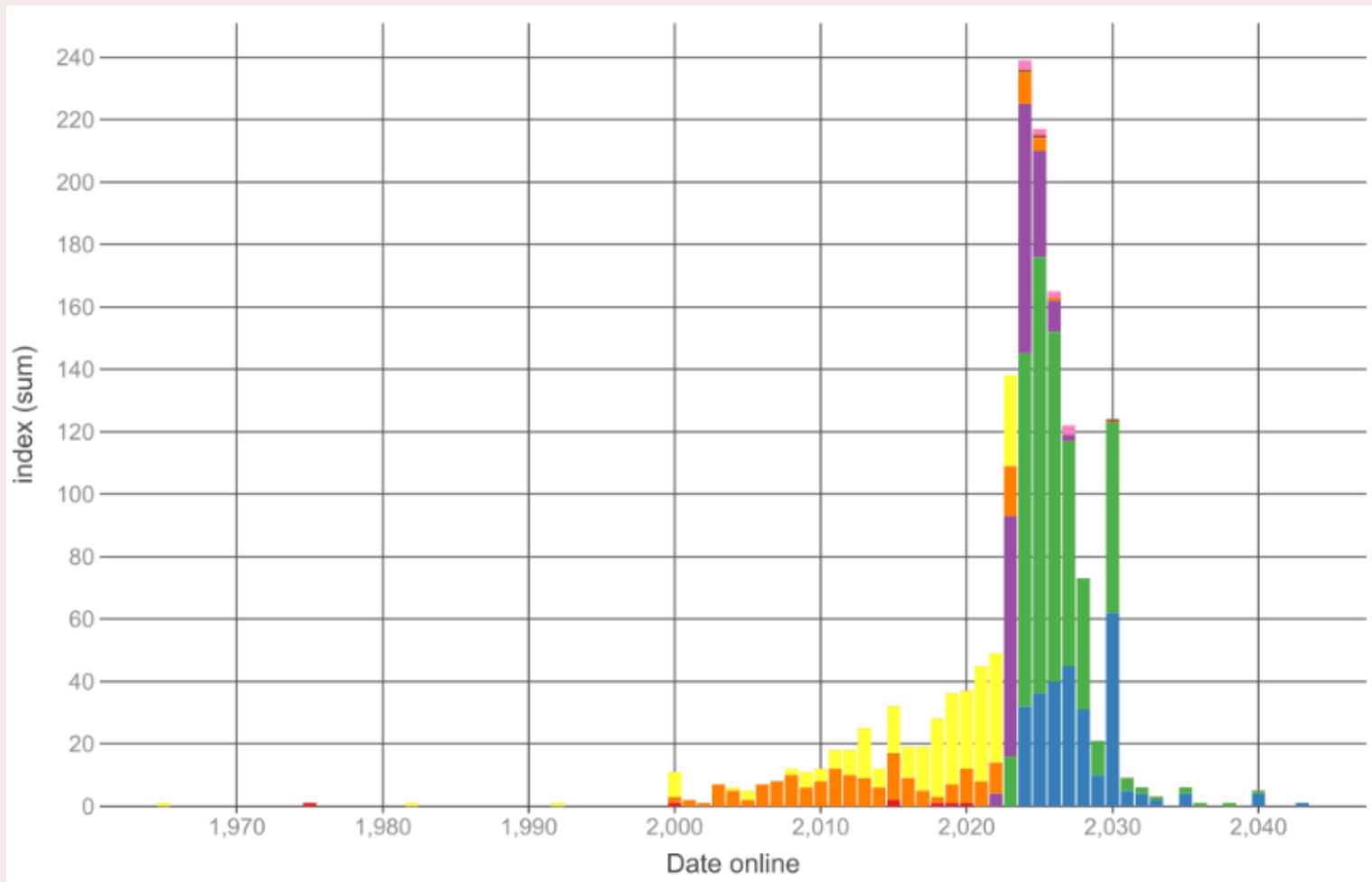


- تحلیل سیاست‌ها
- روند سرمایه گذاری
- کارایی فناوری‌ها

نتایج و تفسیر



روند کلی توسعه پروژه‌های هیدروژن

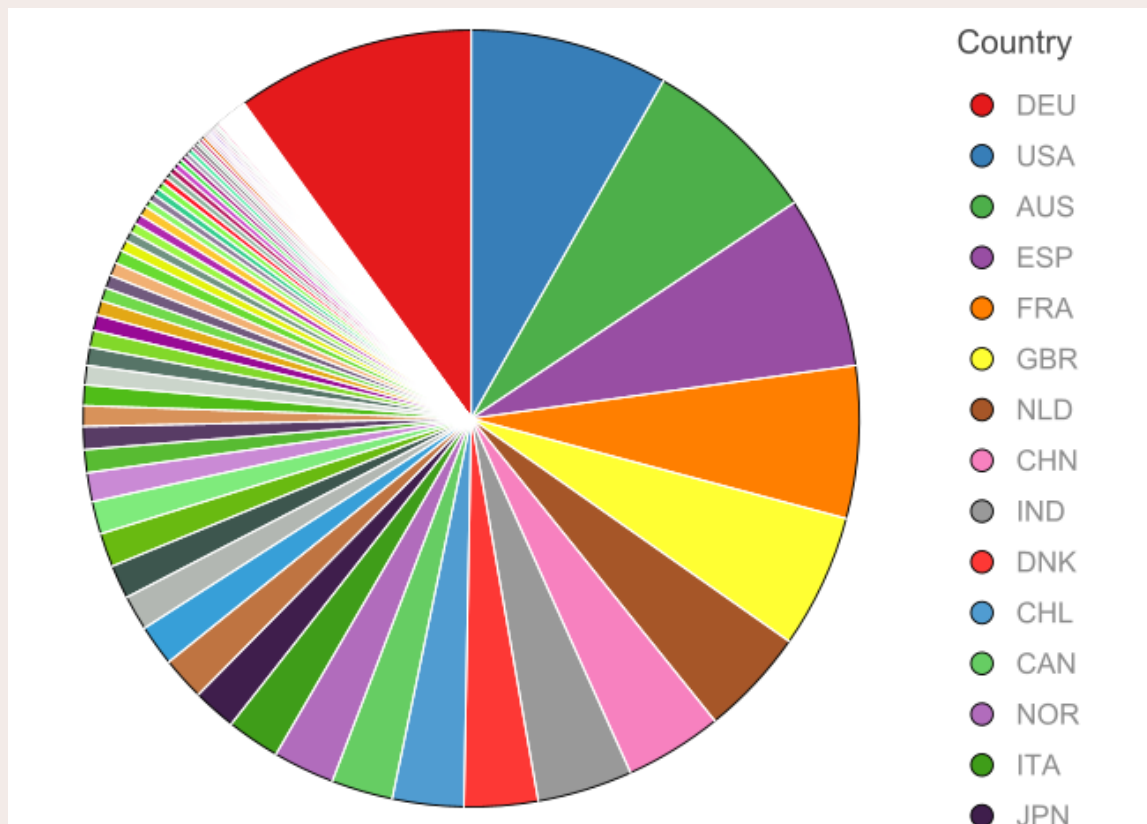


- نارنجی: آزمایشی
- زرد: عملیاتی
- آبی: مفهومی
- سبز: امکان‌سنجی
- بنفش: در حال ساخت

روند صعودی

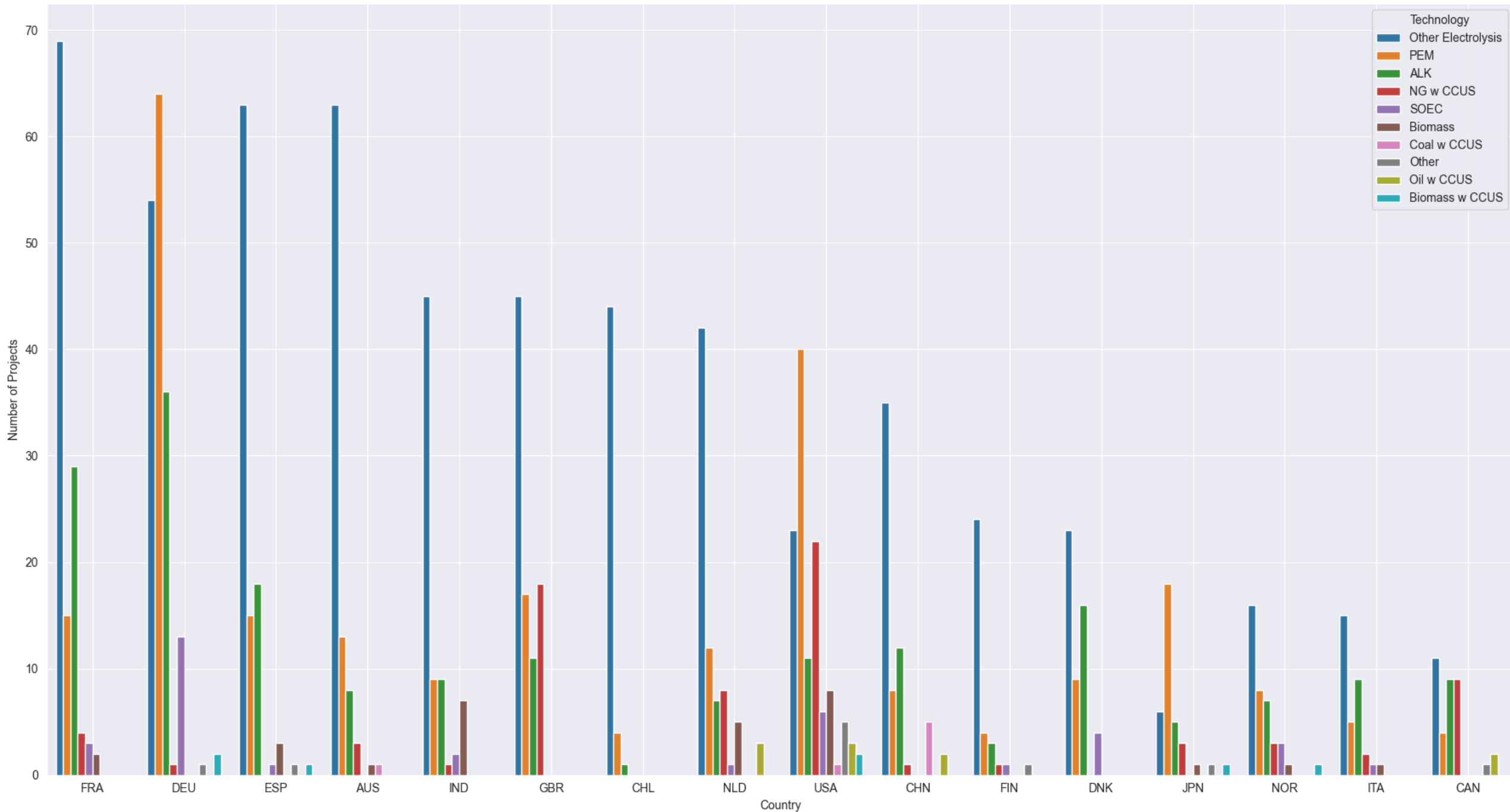
- 1) افزایش نگرانی‌های جهانی در مورد تغییرات اقلیمی و نیاز به کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای
- 2) پیشرفت‌های فناوری در زمینه الکترونیک که منجر به کاهش هزینه‌های تولید هیدروژن سبز شده است
- 3) سیاست‌های حمایتی دولت‌ها و سرمایه‌گذاری‌های کلان در این حوزه
- 4) افزایش تقاضا برای انرژی‌های پاک در بخش‌های مختلف صنعتی و حمل و نقل

توزیع جغرافیایی پروژه‌ها

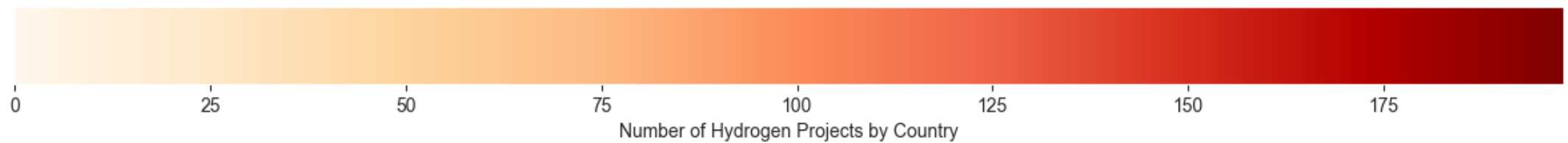
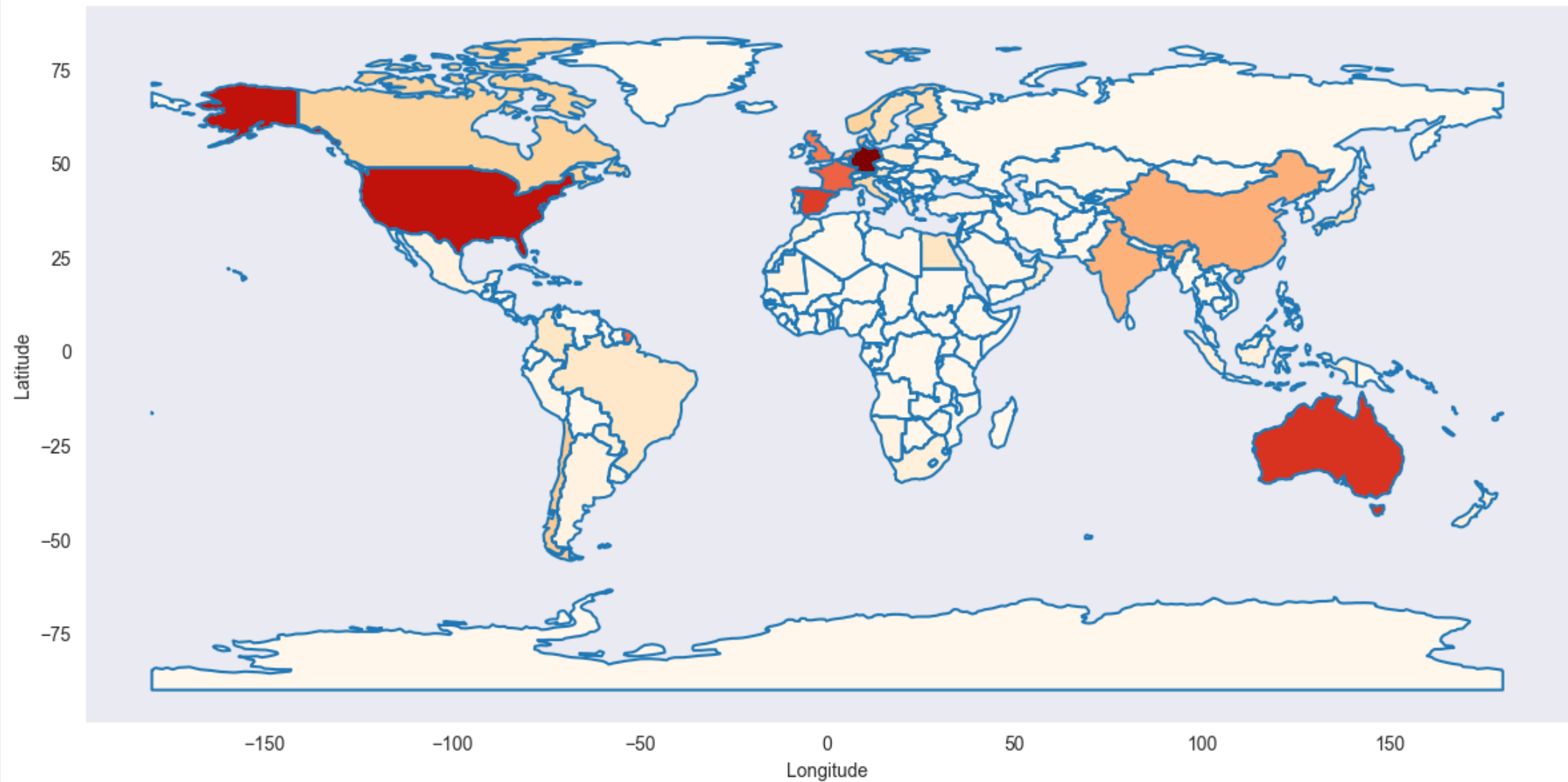


- اروپا با توجه به اهداف بلندپروازانه خود در زمینه کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای و تعهد به انرژی‌های پاک، پیش‌تاز این حوزه است. سیاست‌های حمایتی اتحادیه اروپا، از جمله استراتژی هیدروژن اروپا، نقش مهمی در این پیش‌تازی داشته است.
- چین، استرالیا و آمریکا

Technology Adoption by Country

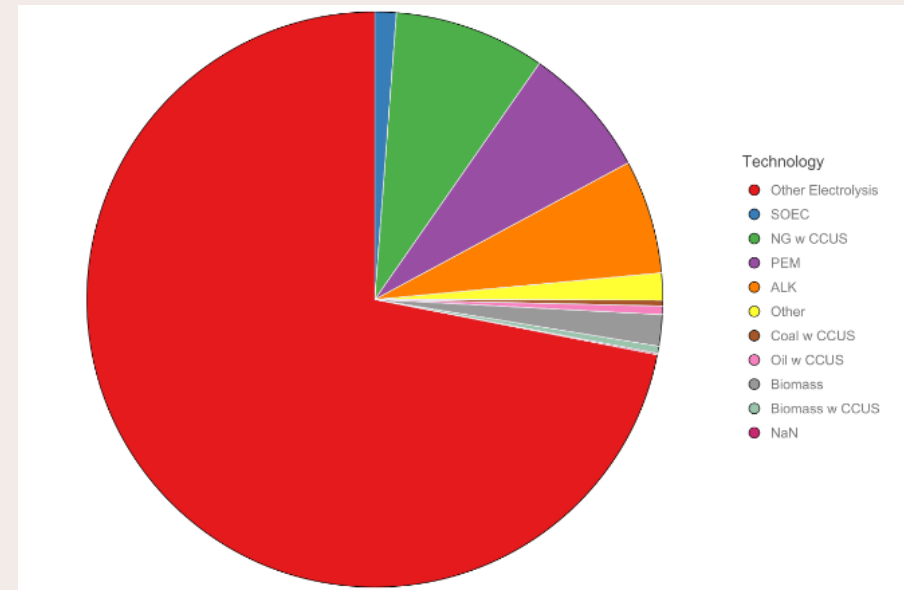
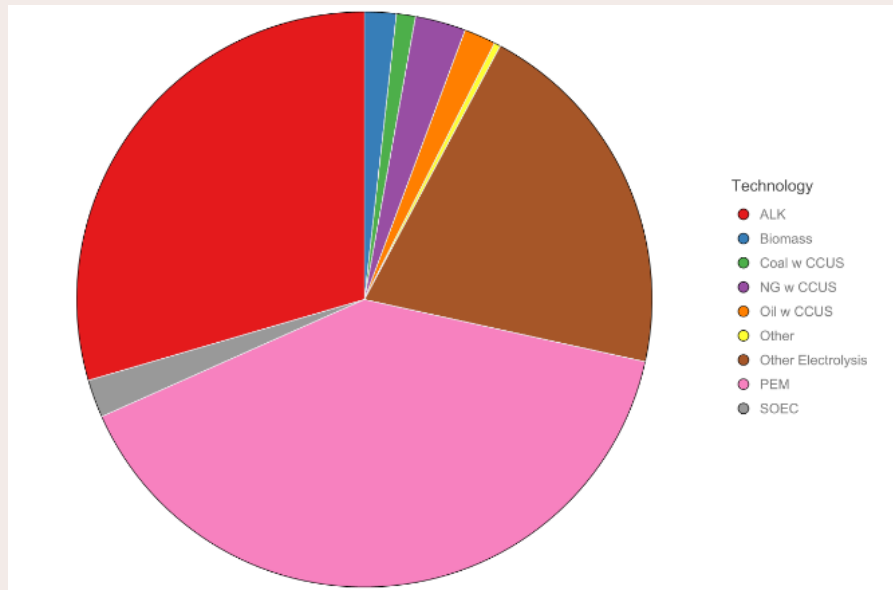


Geographical Distribution of Hydrogen Projects

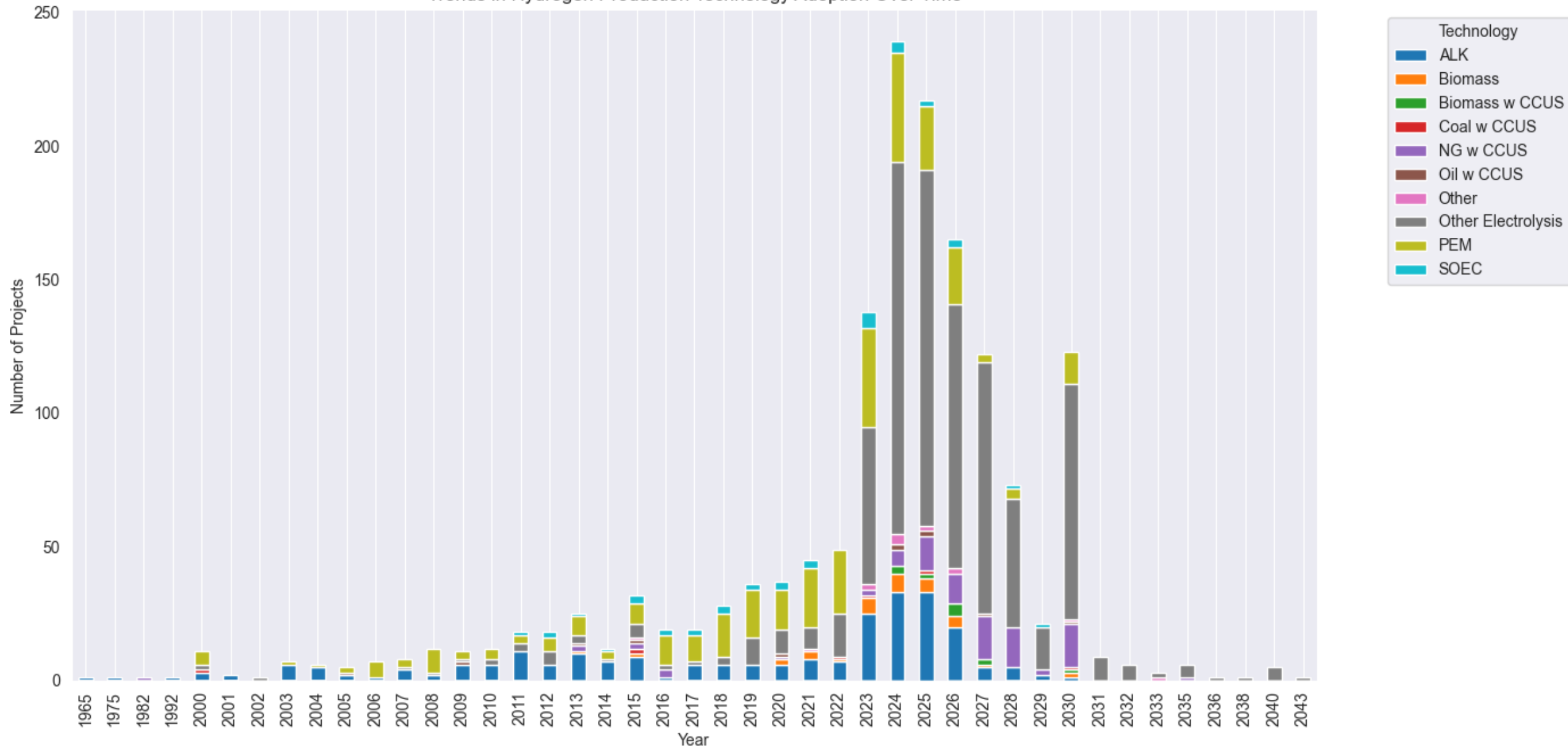


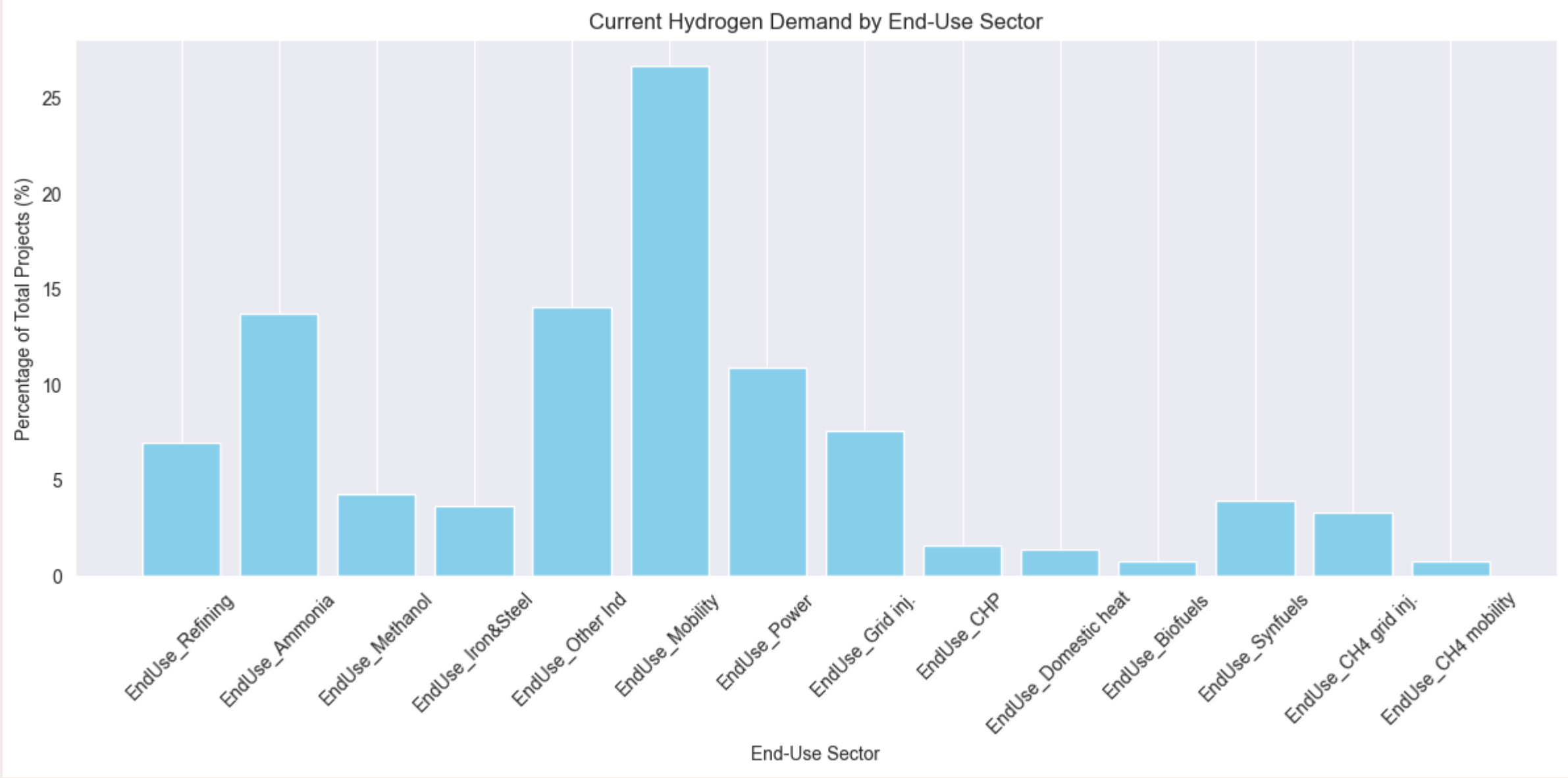
فناوری‌های مورد استفاده

ALK و PEM •
SOEC •

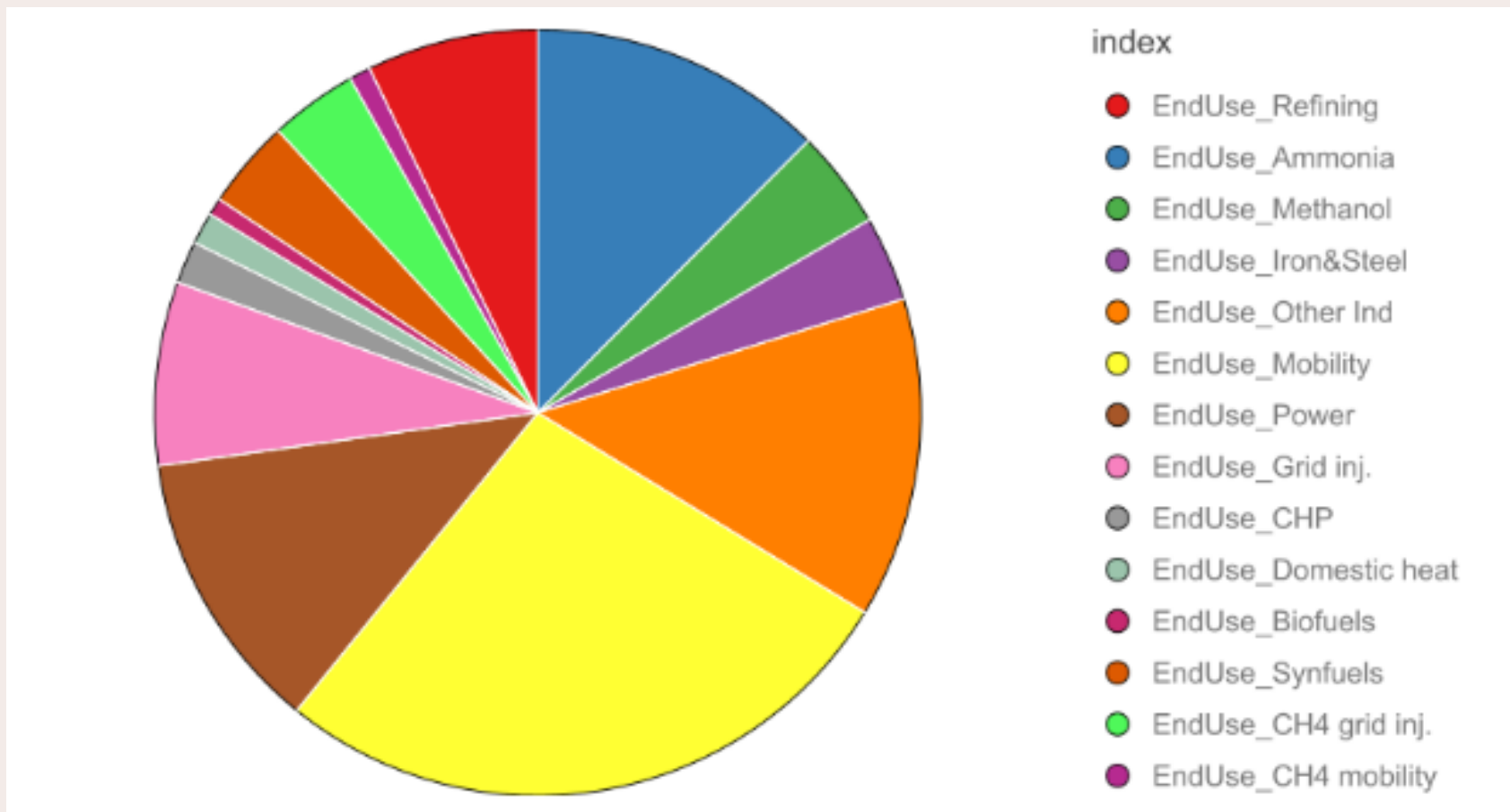


Trends in Hydrogen Production Technology Adoption Over Time

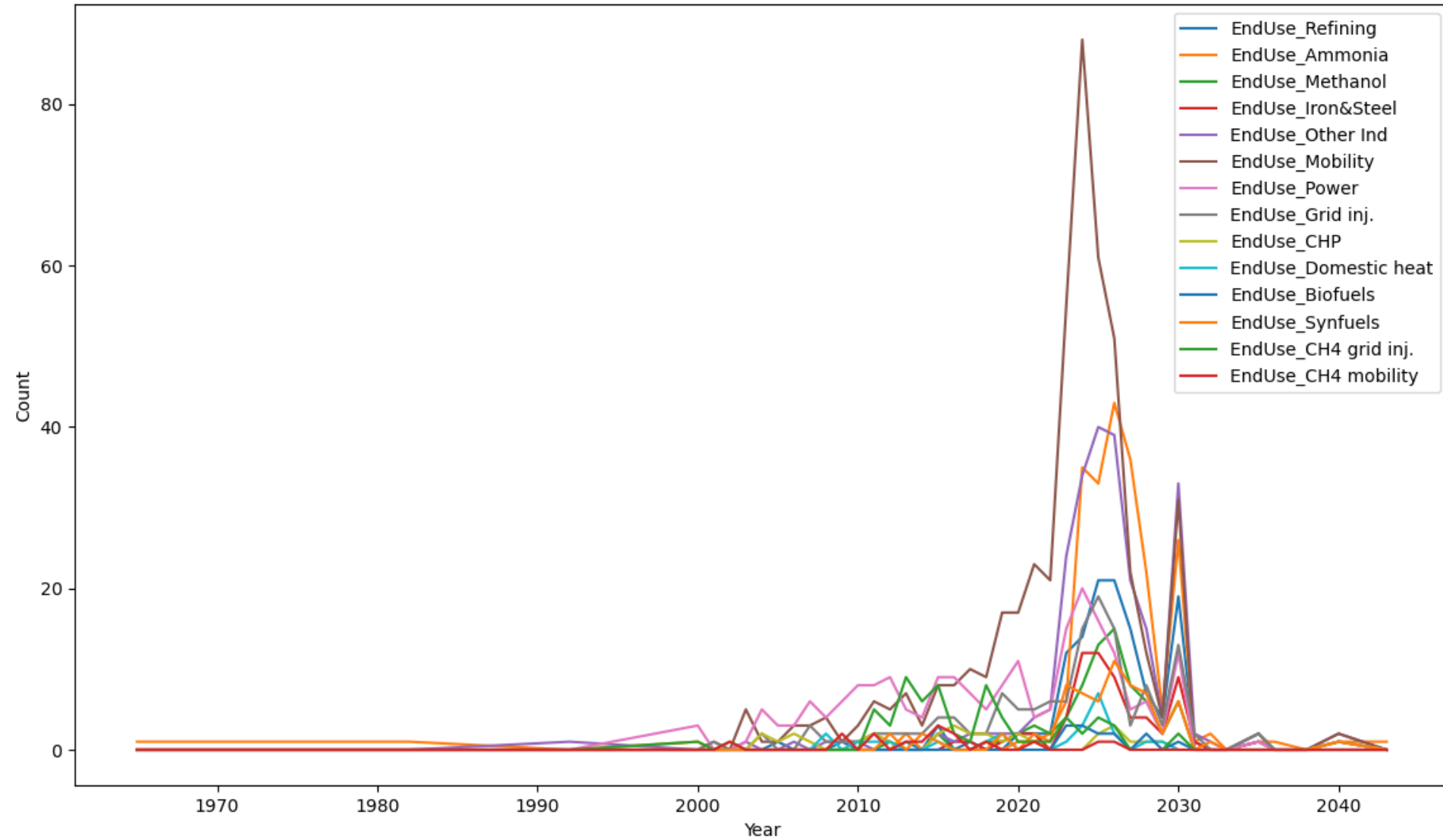




نقش مهم هیدروژن در کربن زدایی



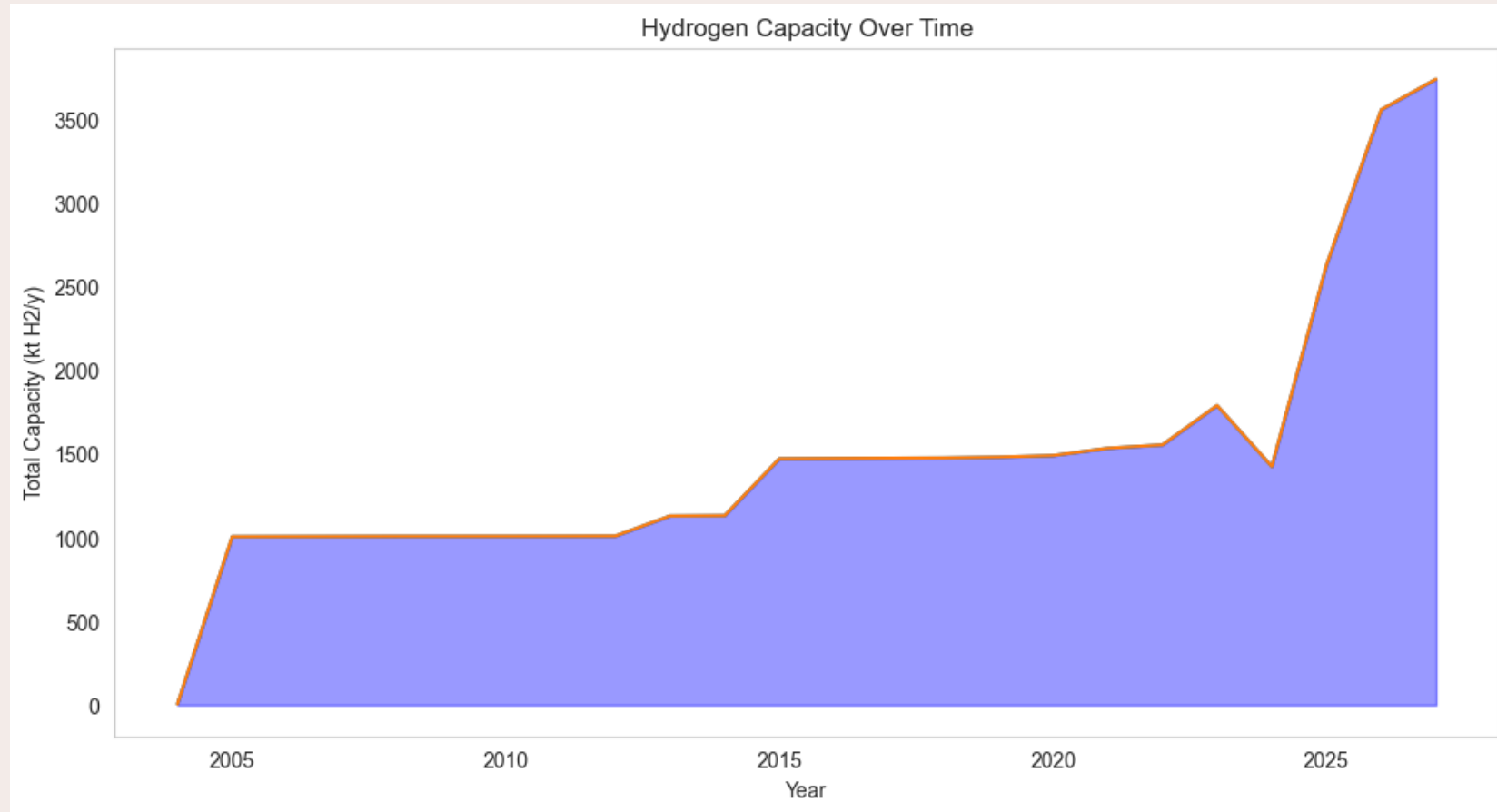
Trends in Hydrogen End-use Sectors Over Time



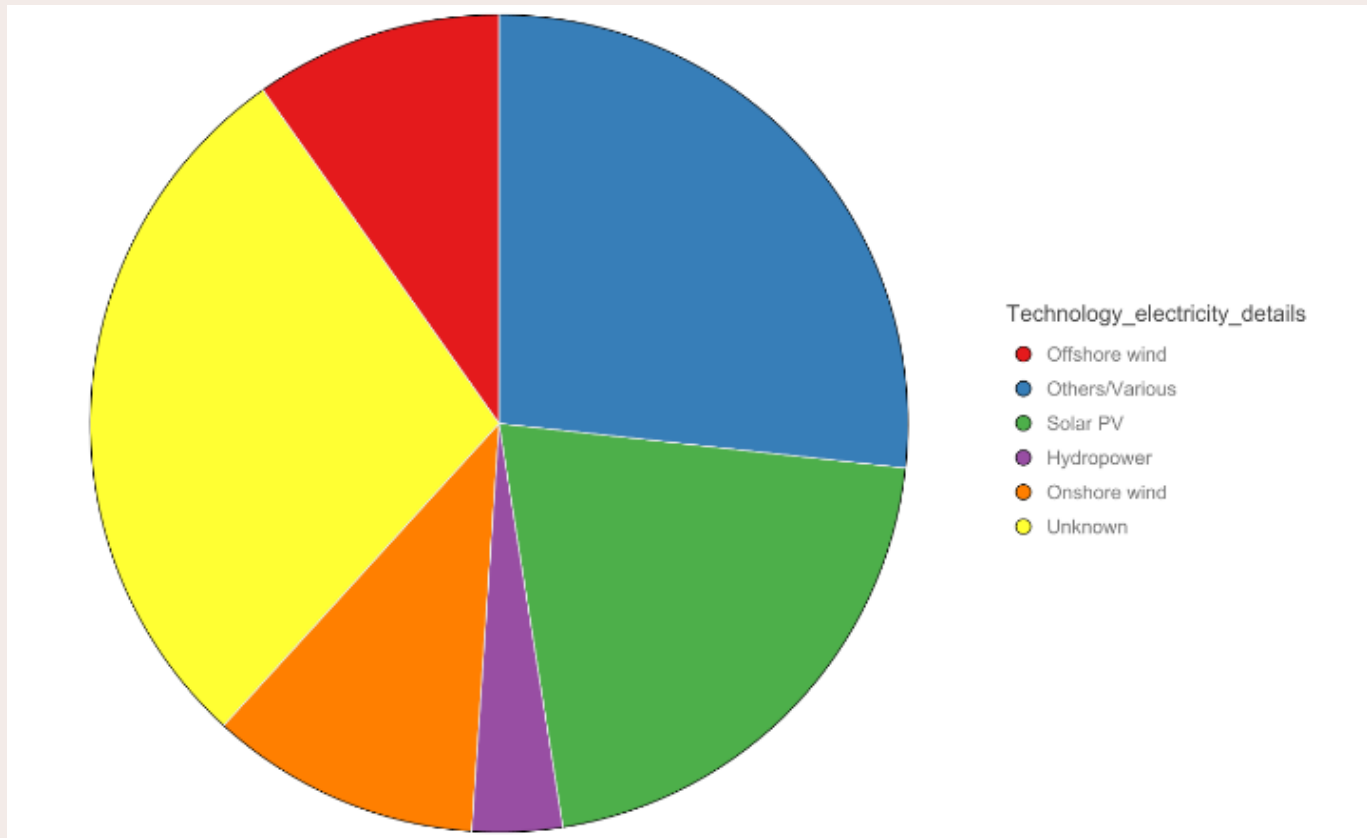
ظرفیت تولید

- (1) بهبود فناوری و کاهش هزینه‌ها که امکان ساخت تأسیسات بزرگتر را فراهم می‌کند
- (2) افزایش تقاضا برای هیدروژن سبز در بخش‌های مختلف صنعتی و حمل و نقل
- (3) سیاست‌های حمایتی دولتی که سرمایه‌گذاری در پروژه‌های بزرگ مقیاس را تشویق می‌کنند
- (4) نیاز به کاهش هزینه‌های تولید از طریق اقتصاد مقیاس

طی زمان

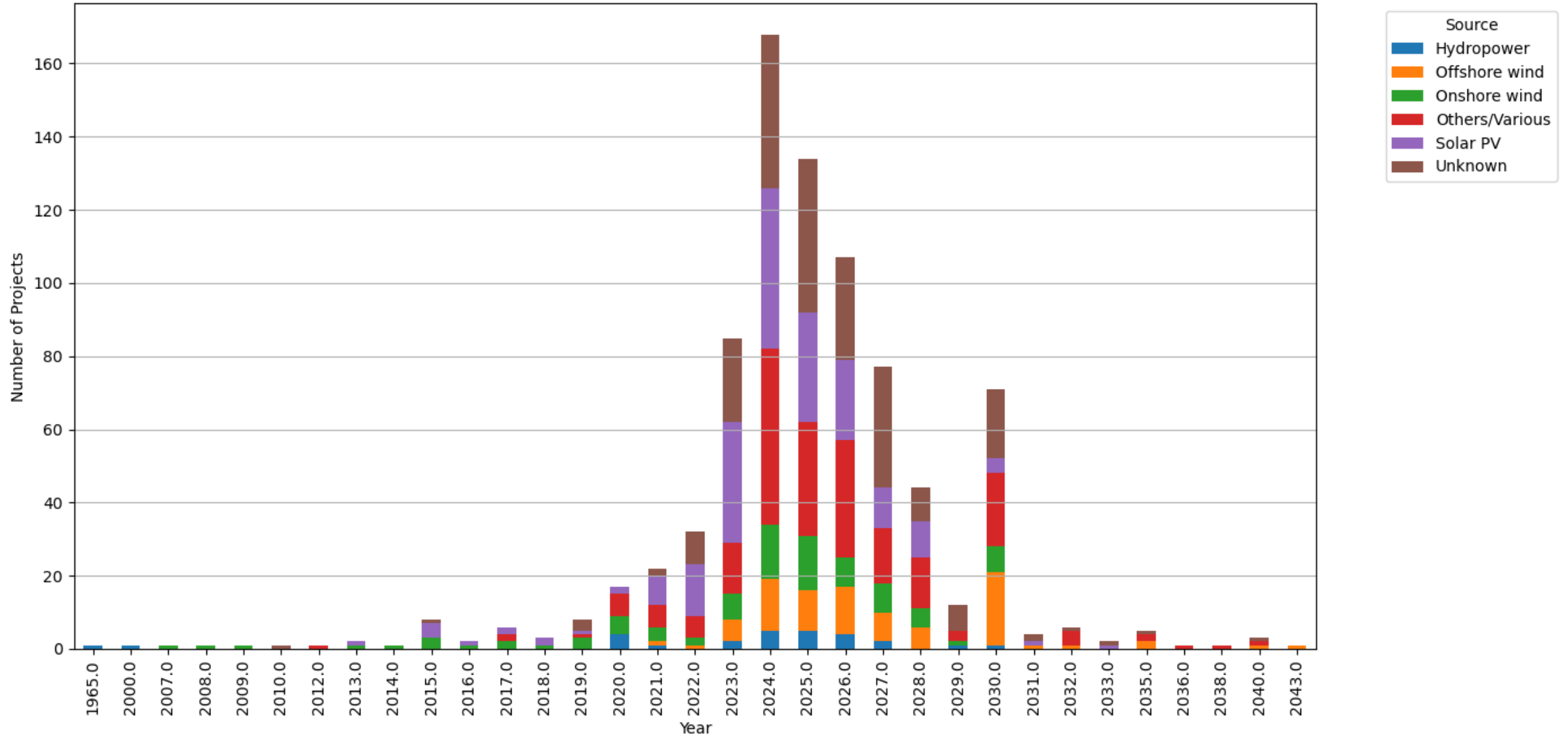


منابع انرژی تجدید پذیر



- سهم انرژی خورشیدی در حال حاضر بالاتر از بقیه منابع است اما پروژه‌های آینده در حال افزایش سهم انرژی‌های بادی و کاهش جذابیت انرژی خورشیدی است.

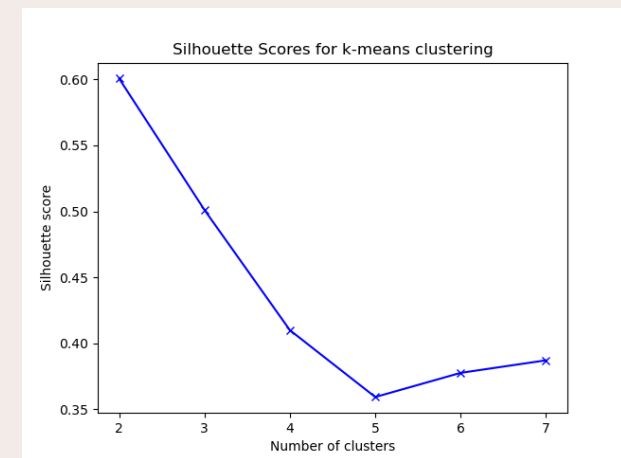
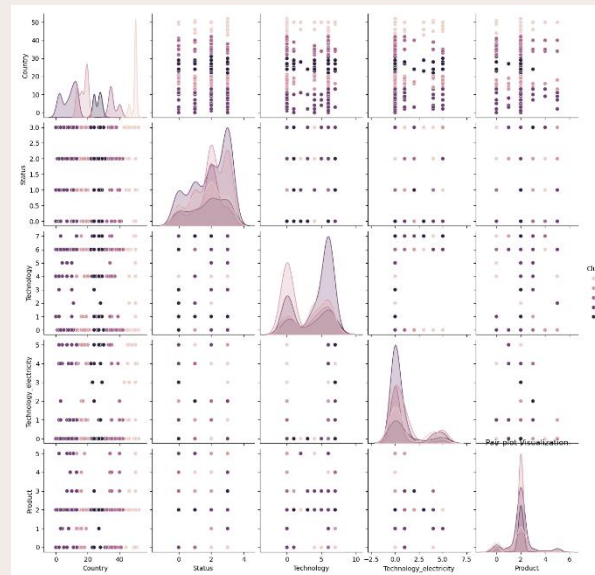
Trends in Green Hydrogen Sources Over Time



منابع تجدید پذیر

- این توزیع نشان‌دهنده تطابق خوب بین منابع انرژی تجدیدپذیر و تولید هیدروژن سبز است. انرژی بادی و خورشیدی به عنوان دو منبع اصلی، مزایای قابل توجهی دارند:
 - (1) هزینه‌های رو به کاهش
 - (2) گستردگی جغرافیایی
 - (3) مکمل بودن
- زیست توده و زمین گرمایی
- اتریش، اسپانیا، امریکا و آلمان

تحلیل خوشه‌ای



خوشه 1: پروژه‌های بزرگ مقیاس با فناوری CCUS

این خوشه شامل پروژه‌های بزرگی است که از فناوری‌های مبتنی بر سوخت‌های فسیلی با جذب و ذخیره‌سازی کربن استفاده می‌کنند. اکثر این پروژه‌ها در کشورهای توسعه یافته مانند ایالات متحده، کانادا و استرالیا قرار دارند. ظرفیت تولید هیدروژن و جذب CO₂ در این خوشه بسیار بالاست.

اطلاعات

- میانگین ظرفیت تولید هیدروژن: $185,000 \text{ Nm}^3/\text{h}$
- میانگین ظرفیت جذب CO_2 : $1,200,000 \text{ تن/سال}$
- فناوری غالب: NG w CCUS گاز طبیعی با CCS
- کشورهای اصلی: ایالات متحده، کانادا، استرالیا
- محصولات اصلی: هیدروژن و آمونیاک
- وضعیت پروژه‌ها: اکثراً در مرحله مطالعه امکان‌سنجی

بینش‌ها

- این خوشه نشان‌دهنده تمرکز بر فناوری CCS در مقیاس بزرگ است که عمدتاً در کشورهای با منابع فسیلی غنی انجام می‌شود.
- پروژه‌های این خوشه پتانسیل بالایی برای کاهش انتشار CO2 دارند، اما همچنان به سوخت‌های فسیلی وابسته هستند.
- تمرکز بر تولید هیدروژن و آمونیاک نشان‌دهنده هدف‌گذاری برای صنایع سنگین و حمل و نقل است.

خوشه 2: پروژه‌های متوسط مقیاس با فناوری الکترولیز

- این خوشه شامل پروژه‌هایی است که از فناوری‌های الکترولیز ALK، PEM، SOEC استفاده می‌کنند.
- اکثر این پروژه‌ها در اروپا و آسیا قرار دارند.
- ظرفیت تولید متوسط و استفاده از منابع تجدیدپذیر برای تأمین انرژی از ویژگی‌های این خوشه است.

اطلاعات

- میانگین ظرفیت تولید هیدروژن: $20,000 \text{ Nm}^3/\text{h}$
- فناوری غالب: ALK الکترولیز قلیایی و PEM الکترولیز غشاء تبادل پروتون
- منبع انرژی اصلی: انرژی‌های تجدیدپذیر (بادی و خورشیدی)
- کشورهای اصلی: آلمان، اسپانیا، هلند، دانمارک
- محصول اصلی: هیدروژن
- وضعیت پروژه‌ها: ترکیبی از عملیاتی و در حال ساخت

بینش‌ها

- این خوشه نشان‌دهنده رشد سریع فناوری‌های الکترولیز در اروپا است.
- استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر نشان می‌دهد که این پروژه‌ها بر تولید هیدروژن سبز تمرکز دارند.
- مقیاس متوسط این پروژه‌ها نشان‌دهنده تلاش برای مقیاس‌پذیری تدریجی فناوری الکترولیز است.

خوشه 3: پروژه‌های کوچک مقیاس و آزمایشی

- این خوشه شامل پروژه‌های کوچک و آزمایشی است که اغلب در مراحل اولیه توسعه قرار دارند.
- تنوع فناوری در این خوشه زیاد است و شامل انواع مختلف الکترولیز و فناوری‌های نوظهور می‌شود.
- این پروژه‌ها در کشورهای مختلف پراکنده هستند و اغلب با هدف تحقیق و توسعه انجام می‌شوند.

اطلاعات

- میانگین ظرفیت تولید هیدروژن: $500 \text{ Nm}^3/\text{h}$
- فناوری‌های متنوع: SOEC، ALK، PEM
- کشورهای اصلی: ژاپن، آلمان، فرانسه، سوئیس
- محصولات: هیدروژن، متان، متانول
- وضعیت پروژه‌ها: اکثراً عملیاتی

بینش‌ها

- این خوشه نشان‌دهنده تلاش‌های گسترده در زمینه تحقیق و توسعه فناوری‌های مختلف تولید هیدروژن است.
- تنوع محصولات نشان می‌دهد که این پروژه‌ها به دنبال کاربردهای مختلف هیدروژن هستند.
- حضور قوی کشورهای پیشرو در فناوری مانند ژاپن و آلمان در این خوشه قابل توجه است.

خوشه 4: پروژه‌های تولید محصولات مشتق از هیدروژن

- این خوشه شامل پروژه‌هایی است که هدف اصلی آنها تولید محصولات مشتق از هیدروژن مانند آمونیاک، متانول و سوخت‌های مصنوعی است.
- این پروژه‌ها اغلب در کشورهای با صنایع پتروشیمی قوی مانند چین، ژاپن و کشورهای خاورمیانه قرار دارند.

اطلاعات

- میانگین ظرفیت تولید هیدروژن: $100,000 \text{ Nm}^3/\text{h}$
- فناوری غالب: ALK
- منبع انرژی اصلی: انرژی بادی فراساحلی
- کشورهای اصلی: استرالیا، هلند، آلمان
- محصولات اصلی: هیدروژن و آمونیاک
- وضعیت پروژه‌ها: اکثراً در مرحله مطالعه امکان‌سنجی

بینش‌ها

- این خوشه نشان‌دهنده تلاش برای مقیاس‌پذیری فناوری الکترونیک در سطح صنعتی است.
- تمرکز بر انرژی بادی فراساحلی نشان می‌دهد که این پروژه‌ها به دنبال منابع انرژی تجدیدپذیر پایدار و مقیاس‌پذیر هستند.
- حضور قوی استرالیا در این خوشه نشان‌دهنده پتانسیل این کشور برای تبدیل شدن به یک صادرکننده بزرگ هیدروژن سبز است.

خوشه 5: پروژه‌های مبتنی بر زیست‌توده

- این خوشه شامل پروژه‌هایی است که از زیست‌توده برای تولید هیدروژن استفاده می‌کنند.
- این پروژه‌ها اغلب در کشورهای با منابع زیست‌توده فراوان مانند برزیل، هند و کشورهای اسکاندیناوی قرار دارند.
- ظرفیت تولید در این خوشه متوسط است و اغلب با هدف کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای انجام می‌شوند.

اطلاعات

- میانگین ظرفیت تولید هیدروژن: $15,000 \text{ Nm}^3/\text{h}$
- فناوری‌های متنوع: PEM، ALK، زیست‌توده
- کشورهای اصلی: چین، هند، برزیل
- محصولات اصلی: آمونیاک، متانول، سوخت‌های مصنوعی
- وضعیت پروژه‌ها: ترکیبی از عملیاتی و در حال ساخت

بینش‌ها

- این خوشه نشان‌دهنده تنوع در کاربردهای هیدروژن و محصولات مشتق از آن است.
- حضور قوی کشورهای در حال توسعه مانند چین و هند نشان می‌دهد که این کشورها به دنبال استفاده از هیدروژن برای توسعه صنعتی پایدار هستند.
- تنوع فناوری‌ها در این خوشه نشان می‌دهد که کشورها در حال آزمایش روش‌های مختلف تولید هیدروژن هستند.

نتایج

تنوع فناوری

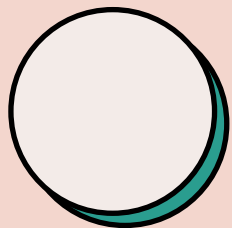
اهمیت
مقیاس و
مراحل
توسعه

تفاوت‌های
منطقه‌ای

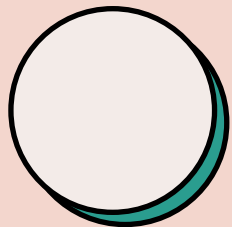
اهمیت
انرژی‌های
تجدیدپذیر

تنوع
محصولات

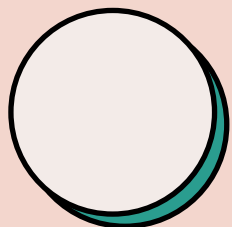
پیشنهادات



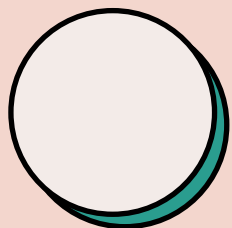
سیاست‌گذاری و مقررات



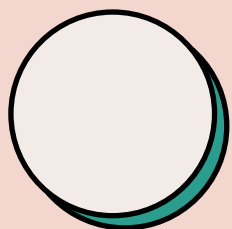
تحقیق و توسعه



همکاری‌های بین‌المللی

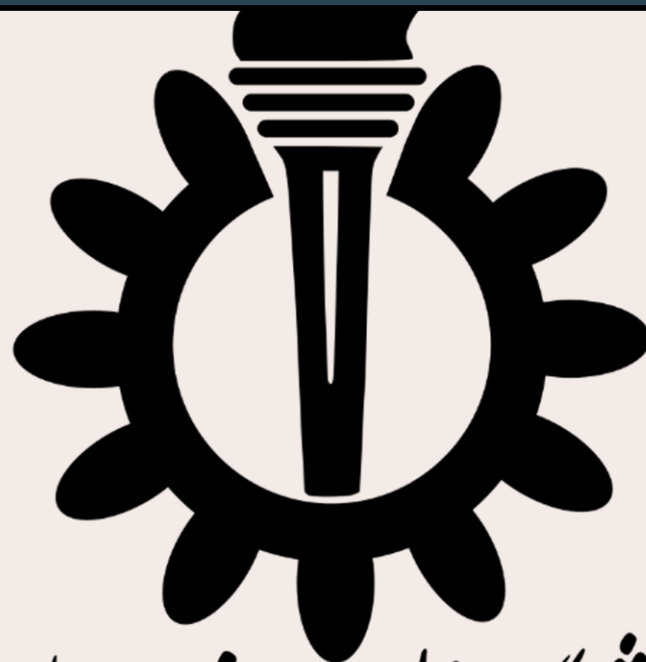


آموزش و ظرفیت‌سازی



یکپارچه‌سازی سیستم انرژی

با تشکر از
توجه شما



دانشگاه علم و صنعت ایران

دانشکده مهندسی صنایع