

فرصت های فولاد سبز در منطقه خاورمیانه و شمال آفریقا (منا)¹

منطقه منا می تواند در استفاده از هیدروژن سبز در بخش فولاد پیشرو باشد

گرد آوری و ترجمه: آیدین صادقیان پور

۱. خلاصه مدیریتی

- صنعت فولاد نگاهی به انتقال به احیا مستقیم با استفاده از هیدروژن سبز دارد تا میزان انتشار کربن را کاهش دهد. بر خلاف فرایندهای کوره بلند-کنورتور اکسیژنی که از ذغال برای تولید آهن استفاده می کند، مسیر احیا مستقیم-کوره قوس غالباً از گاز طبیعی استفاده می کند و بهمین خاطر انتشار کربن کمتری دارد.
- احیا مستقیم سنگ آهن فرایندی است که برای حذف اکسیژن سنگ آهن بدون ذوب آن، از ترکیب گازهای مونوکسید کربن و هیدروژن که از گاز طبیعی بدست آمده اند استفاده می کند.
- حدود ۵۵٪ گازهای احیایی در فرایند احیا مستقیم (میدرکس و سایر روش ها) گاز هیدروژن می باشد. با استفاده از هیدروژن خالص امکان تولید فولاد کربن خنثی می باشد.

منطقه منا بصورت بالقوه در موقعیت خوبی برای شروع به تولید فولاد کربن خنثی یا فولاد سبز قرار دارد

- منطقه منا پتانسیل بالای تولید فولاد کربن خنثی یا فولاد سبز را دارد، زیرا این منطقه مزایای زیادی نسبت به سایر نقاط دارد.
- روش احیا مستقیم، فرایند غالب بخش فولاد این منطقه می باشد که تامین گندله گرید اسفنجی تثبیت شده دارد. موانع فنی می تواند افزایش تولید سنگ آهن گرید اسفنجی را مشکل می سازد.

¹ Middle East and North of Africa (MENA)

- منطقه منا تنها ۳٪ تولید فولاد خام جهان را بخود اختصاص داده در حالی که ۴۶٪ (۵۵ میلیون تن) از تولید آهن اسفنجی جهان را بخود اختصاص داده است. تعدادی از بزرگترین تولید کنندگان گندله در این منطقه می باشند و بر خلاف سایر نواحی تامین گندله گرید اسفنجی مشکل نمی باشد.

- آژانس بین المللی انرژی در سناریو انتشار کربن صفر سهم احیا مستقیم هیدروژنی - کوره قوس را در تولید فولاد تا سال ۲۰۵۰ ، ۲۹٪ پیش بینی کرده است. بلمبرگ در پیش بینی دیگری سهم این روش را ۵۶٪ (۸۴۰ میلیون تن) از تولید فولاد در سال ۲۰۵۰ پیش بینی کرده است.

- بدلیل داشتن تعداد زیادی پلنت احیا مستقیم در مقایسه با سایر مناطق، انتقال منطقه منا به احیا مستقیم هیدروژنی - کوره قوس می تواند سریعاً آغاز شود.

- ابتدا امکان جایگزینی ۳۰٪ گاز طبیعی با هیدروژن وجود دارد بدون آنکه نیاز به اصلاح اساسی تجهیزات وجود داشته باشد. سپس امکان جایگزینی ۱۰۰٪ گاز طبیعی با هیدروژن برای تولید فولاد کربن خنثی می باشد.

- منطقه منا منابع عالی انرژی خورشیدی برای تولید هیدروژن از منابع تجدید پذیر دارد. بانک جهانی اعلام نموده که منطقه منا بالاترین پتانسیل انرژی فوتولتائیک را دارد و بطور تئوریکال می تواند روزانه ۵٫۸ کیلووات ساعت در هر مترمربع انرژی تولید کند.

- مارکیت^۲ پیش بینی نموده که این منطقه تا سال ۲۰۵۰ ظرفیت ۸۳ گیگا وات برق بادی و ۳۳۴ گیگا وات برق خورشیدی اضافه خواهد نمود که سهم این انرژی ها از ۱٪ و ۲٪ کنونی بترتیب به ۹٪ و ۲۴٪ افزایش خواهد یافت.

منطقه منا دسترسی خوبی به انرژی خورشیدی دارد که امکان تولید هیدروژن سبز با قیمت رقابتی را فراهم می آورد

- دسترسی به این میزان منابع غنی انرژی خورشیدی امکان تولید هیدروژن سبز با قیمت رقابتی را فراهم می آورد.
- هزینه تولید هیدروژن از راه الکترولیز در منطقه خاورمیانه از هزینه تولید هیدروژن آبی پایین تر است .

² IHS Markit

- در جولای ۲۰۲۲ هزینه الکترولیز قلیایی در قطر ۲،۵۹ دلار بر کیلوگرم، در عربستان ۳،۲۰ دلار بر کیلوگرم و در امارات ۵،۱۴ دلار بر کیلوگرم بوده است. هزینه تولید غشا الکترولیت پلیمری در حدود ۱ دلار بر کیلوگرم از تکنولوژی قلیایی بالاتر است. هزینه تولید هیدروژن آبی از اصلاح بخارمتان و جذب ذخیره کربن حدود ۷ دلار بر کیلوگرم می باشد.
- طبق اعلام آژانس بین المللی انرژی هزینه تولید هیدروژن تا سال ۲۰۵۰ در منطقه منا پایین تر از ۱ دلار بر کیلوگرم خواهد بود.
- زمانی که هزینه انتقال احیا مستقیم گازی به احیا مستقیم هیدروژنی سبز در منطقه منا با هزینه انتقال از مسیر کوره بلند-کنورتور به مسیر احیا مستقیم -کوره قوس در سایر مناطق مقایسه شود، پایین تر می باشد. چالش سایر مناطق شامل سرمایه گذاری جدید برای انتقال از کوره بلند-کنورتور به احیا مستقیم-کوره قوس، مدیریت زنجیره تامین شامل تولید گندله گرید اسفنجی و تولید هیدروژن سبز میباشد.
- تقاضا برای فولاد سبز بطور جهانی در حال افزایش است و توسط شرکت های خودروسازی اروپایی رهبری می شود. با تصویب قریب الوقوع مکانیزم تنظیم مرز کربن در اتحادیه اروپا فولاد منطقه منا مزایای زیادی خواهد داشت اگر تولید فولاد آن کربن خنثی شود.
- تا سال ۲۰۲۶ وارد کنندگان اروپایی فولاد از خارج از اروپا باید گواهی مکانیزم تنظیم مرز کربن خریداری کنند، چارچوب مقرراتی که شامل گزارش انتشار مستقیم و غیر مستقیم کربن در تولید محصول نهایی می باشد.
- بدلیل آنکه مسیر احیا مستقیم -کوره قوس انتشار کربن کمتری در مقایسه با مسیر کوره بلند-کنورتور دارد، فولاد سازان منطقه منا از نظر موقعیت بازار در جایگاه بهتری هستند و اگر انتقال به تولید فولاد کربن خنثی از مسیر احیا مستقیم هیدروژنی - کوره قوس را شتاب دهند همچنان پیشرو خواهند بود.
- منطقه منا پتانسیل رهبری تولید فولاد سبز جهان را دارد.

Contents

۱	خلاصه مدیریتی	۱
۵	مقدمه	۲
۵	نگاهی به تکنولوژی‌های فولادسازی	۳
۵	نگاهی به صنعت فولاد منطقه منا (منطقه خاورمیانه و شمال آفریقا)	۴
۵	تولید	۴.۱.
۷	توسعه ظرفیت	۴.۲.
۷	انتشار دی اکسید کربن	۴.۳.
۸	صادرات	۴.۴.
۸	تامین انرژی و انرژی‌های تجدید پذیر	۵.
۱۰	هیدروژن سبز	۶.
۱۱	ظرفیت و پتانسیل آینده	۶.۱.
۱۱	پروژه‌ها	۶.۲.
۱۲	افزایش مقیاس	۶.۳.
۱۳	هزینه	۶.۴.
۱۵	تامین گندله گرید اسفنجی	۷.
۱۵	تعهد کربن خنثی	۸.
۱۶	عوامل بازدارنده	۹.
۱۶	افزایش ظرفیت انرژی‌های تجدید پذیر و الکترولایزر	۹.۱.
۱۶	کمبود آب	۹.۲.
۱۷	نتیجه‌گیری	۱۰.

صنعت فولاد مسئول انتشار ۷ درصد گاز کربنیک جهانی می‌باشد. اگر تولید جهانی فولاد یک کشور فرض شود، سومین کشور منتشر کننده دی اکسید کربن بعد از آمریکا و چین خواهد بود. احتمالاً بزرگ برنده استفاده از هیدروژن در فولادسازی می‌باشد، موضوعی که در صدر تمام مطالعات کربن زدایی اخیر قرار می‌گیرد. فولاد سبز با استفاده از هیدروژن در احیای مستقیم و سپس استفاده از کوره قوس الکتریکی با برق تجدید پذیر برای ذوب آن تولید می‌شود. برخی از تولید کنندگان فولاد در حال برنامه‌ریزی برای حرکت به سمت احیای مستقیم - کوره قوس الکتریکی به عنوان راه حل نویدبخش رسیدن به سطح کربن خنثی می‌باشند. برای زمان طولانی تولید کنندگان منطقه منا (خاورمیانه و شمال آفریقا) در حال استفاده از این تکنولوژی بودند. به دلیل آنکه تولید در این کشورها احیای مستقیم با گاز طبیعی می‌باشد، فرصت بزرگی برای کربن زدایی این فرایند با حرکت به سمت احیای مستقیم هیدروژنی - کوره قوس وجود دارد که می‌تواند در مقیاسی بزرگ فولاد سبز تولید کند. منطقه منا در مسابقه کربن زدایی موقعیت رقابتی دارد، حداقل یک گام از بقیه فولاد سازان جلوتر است. اما برای انتقال به سمت فولاد سبز، سرمایه‌گذاری جدید در بخش انرژی‌های تجدید پذیر و متعاقباً بخش هیدروژن سبز ضروری می‌باشد.

۳. نگاهی به تکنولوژی‌های فولادسازی

در حال حاضر فولاد از سه روش اصلی تولید می‌شود، عمده‌ترین روش کوره بلند - کنورتور اکسیژنی می‌باشد که در آن اکسید آهن با کک (که از زغال کک‌شو به دست آمده) درون کوره بلند احیا می‌شود. سپس چدن مذاب حاصل در کنورتور اکسیژنی، جایی که اکسیژن به درون مذاب غنی از کربن دمیده می‌شود، تبدیل به فولاد می‌شود. در سال ۲۰۲۱، ۷۱ درصد فولاد جهان از مسیر کوره بلند- کنورتور تولید شده است. مسیر عمده دیگر ذوب آهن اسفنجی در کوره قوس الکتریکی می‌باشد. آهن اسفنجی که با احیای مستقیم سنگ آهن بدون ذوب آن تولید می‌شود، معمولاً از ترکیب مونوکسید کربن و هیدروژن تولید شده از گاز طبیعی برای احیا استفاده می‌کند. البته این ترکیب از ذغال هم می‌تواند به دست آید. شرکت‌های فولادی بطور فزاینده‌ای در جستجوی توسعه تکنولوژی‌هایی برای استفاده ۱۰۰ درصدی از هیدروژن در فرایند احیای مستقیم - کوره قوس می‌باشند. هیدروژن تولید شده از طریق الکترولیز با استفاده از انرژی‌های تجدید پذیر، اگر قیمت رقابتی پیدا کند، پتانسیل آن را دارد که هیدروژن سبز باشد. به عنوان جایگزینی برای فولادسازی از مسیر اصلی، قراضه می‌تواند در کوره قوس مورد استفاده قرار گیرد. کوره قوس با به کارگیری قراضه دیگر نیازی به سنگ آهن و کک ندارد. برق مورد نیاز کوره قوس می‌تواند از منابع تجدید پذیر تامین شود که در این صورت انتشار کربن تقریباً صفر می‌شود. در سال ۲۰۲۱ فولاد تولید شده از کوره‌های قوس ۲۹ درصد کل تولید فولاد خام بوده است. بخشی از آن در کشورهایی مثل ایران و هند از مسیر احیای مستقیم و کوره قوس تولید شده است، اما عمده آن از طریق ذوب قراضه انجام شده است.

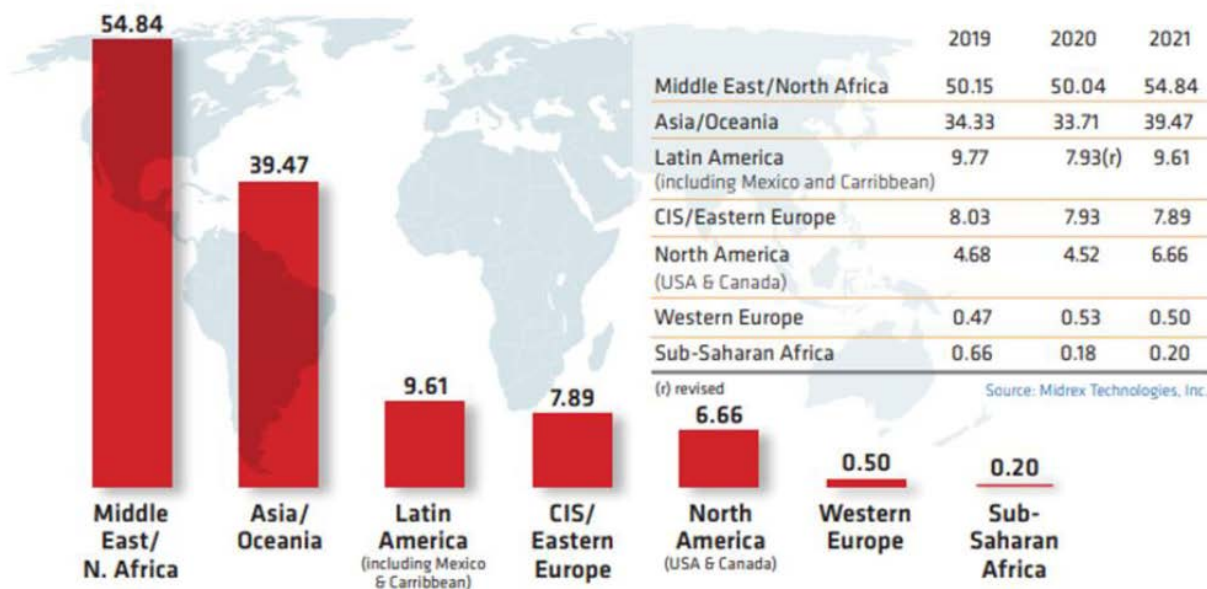
۴. نگاهی به صنعت فولاد منطقه منا (منطقه خاورمیانه و شمال آفریقا)

۴.۱. تولید

در سال ۲۰۲۱، منطقه منا نیمی از آهن اسفنجی دنیا را تولید نموده است. این منطقه تنها ۳ درصد فولاد خام جهان را تولید نموده که ۹۵٪ آن غالباً با روش احیای مستقیم - کوره قوس به وسیله کوره قوس تولید شده است. این رویه با فراوانی گاز طبیعی در این منطقه

و همچنین کمبود منابع زغال سنگ ککشو قابل تفسیر است. شکل یک تولید آهن اسفنجی دنیا را نشان می‌دهد. منطقه خاورمیانه و شمال آفریقا (منا) با ۵۵ میلیون تن تولید رتبه نخست را دارد و پس از آن آسیا و اقیانوسیه (شامل هند) با ۳۹ میلیون تن رتبه دوم را دارد. هند بزرگترین تولید کننده آهن اسفنجی با بهره‌گیری از زغال حرارتی می‌باشد، روشی که کربن بیشتری در مقایسه با روش گاز طبیعی منتشر می‌کند.

Figure 1: World DRI Production by Region (million tonnes), 2021



Source: Midrex, 2021 World Direct Reduction Statistics, 2022.

شکل ۱. تولید آهن اسفنجی جهان در نواحی مختلف برحسب میلیون تن

ایران، عربستان سعودی و مصر تولید کنندگان پیشرو در ناحیه منا می‌باشند و بیش از ۸۰٪ کل تولید این ناحیه را بخود اختصاص داده‌اند. جدول ۱ تولید فولاد خام و آهن اسفنجی این ناحیه را در سال ۲۰۲۱ نمایش می‌دهد. به درون کوره قوس الکتریکی میتوان آهن اسفنجی، قراضه و حتی چدن مذاب شارژ نمود. در برخی از کشورها تمام فولاد تولیدی از فرایند قراضه - کوره قوس تولید می‌شود. تولید یک تن فولاد خام به ۱،۱۱ تا ۱،۱۷ تن آهن اسفنجی نیاز دارد. عموماً فولادسازان از ترکیبی از آهن اسفنجی و قراضه استفاده می‌کنند. نرخ تبدیل آهن اسفنجی به فولاد خام و همچنین درصد شارژ آهن اسفنجی، ترکیب شارژ کوره قوس را تعریف نموده و فاصله بین تولید آهن اسفنجی فولاد خام را توضیح می‌دهد. به دلیل کمبود قراضه در خاورمیانه درصد شارژ قراضه حدود ۱۰ درصد می‌باشد و مابقی شارژ کوره آهن اسفنجی می‌باشد. خاورمیانه در سال ۲۰۲۱ بیش از ۴۵ میلیون تن فولاد خام تولید نموده است که از این مقدار ۹۴٪ آن به روش کوره قوس و مابقی به روش کوره بلند - کنورتور بوده است. ایران تنها کشوری بوده است که از کوره بلند - کنورتور استفاده می‌نماید و در این سال ۲،۸ میلیون تن فولاد خام از این روش تولید نموده است. برای شمال آفریقا همین نسبت برقرار است.

Table 1: MENA Crude Steel and DRI Production in 2021 (million tonnes)

Country	Crude Steel Production	Share of Electric Furnace (%)	Share of Basic Oxygen Furnace (%)	DRI Production*
Iran	28.5	90.3	9.7	31.85
Saudi Arabia	8.7	100	-	6.13
Egypt	10.3	100	-	5.23
UAE	3.0	100	-	3.66
Algeria	3.5	87.5 (2020)	12.5 (2020)	3.08
Oman	2.0	100	-	1.70
Bahrain	0.7	100	-	1.51
Libya	0.5	100	-	0.88
Qatar	1.2	100	-	0.79

Source: World Steel Association and Midrex*

Note: At the time of writing, 2021 crude steel production figures for Bahrain, Libya and Qatar were not published and 2020 figures were applied.

Table excludes countries in the region that produce steel from scrap-EAF: Morocco, Tunisia, Kuwait, Jordan and Israel.

جدول ۱. تولید فولاد خام و آهن اسفنجی منطقه منا در سال ۲۰۲۱ (میلیون تن)

۴.۲. توسعه ظرفیت

آژانس بین‌المللی انرژی در سناریوی کربن خنثی در سال ۲۰۲۱ سهم تولید با هیدروژن را تا سال ۲۰۵۰، ۲۹ درصد مدل کرده است، در حالی که بلومبرگ سهم ۵۶ درصدی برای تولید به همین روش را مدل کرده است، که معادل با تولید ۸۴۰ میلیون تن فولاد می‌باشد. سهم کنونی روش آهن اسفنجی - کوره قوس الکتریکی کمتر از ۵ درصد می‌باشد ولی آینده برای این تکنولوژی روشن بوده و منطقه خاورمیانه و شمال آفریقا به دلیل مزایای رقابتی ناحیه یکی از بازیگران پیشرو خواهد بود. در سال ۲۰۲۰ ظرفیت تولید خاورمیانه ۷،۲ میلیون تن افزایش داشت. به دلیل توسعه بخش فولاد ایران این ظرفیت در دهه پیش رو رشد بیشتری خواهد داشت. ایران، بزرگترین فولادساز ناحیه خاورمیانه و شمال آفریقا، برای افزایش ظرفیت کنونی از ۲۹ میلیون تن به ۵۵ میلیون تن در سال ۲۰۲۵ هدف گذاری کرده است. تقریباً تمام ظرفیت‌های در حال توسعه، آهن اسفنجی - کوره قوس می‌باشند. در شمال آفریقا عمده پروژه‌های توسعه بر مبنای کوره قوس می‌باشد. اما این پروژه‌ها به دلیل پاندمی کرونا با تاخیر مواجه هستند و به همین دلیل در این بخش منطقه منا رشد آهسته‌تر می‌باشد.

۴.۳. انتشار دی‌اکسید کربن

در مقایسه با بقیه دنیا صنعت فولاد خاورمیانه و شمال آفریقا نسبتاً کم انتشار می‌باشد. در بقیه دنیا تولید فولاد به روش کوره بلند انجام می‌شود و از زغال سنگ استفاده می‌شود، زغال سنگ هم به عنوان منبع انرژی هم به عنوان عامل احیا می‌باشد. بر اساس اعلام آژانس بین‌المللی انرژی، انتشار مستقیم و غیر مستقیم کربن در روش کوره بلند - کانورتور ۲،۲ تن به ازای هر تن فولاد خام می‌باشد در حالی که انتشار در روش آهن اسفنجی - کوره قوس ۱،۴ تن می‌باشد. به دلیل آنکه گاز طبیعی مولکول‌های هیدروژن بیشتری از زغال دارد، احیای

سنگ آهن در روش آهن اسفنجی - کوره قوس عمدتاً از طریق هیدروژن است و آب به عنوان محصول جانبی تولید می‌شود. در کوره بلند، گاز احیا مونوکسید کربن می‌باشد که پس از واکنش با اکسیژن سنگ آهن تبدیل به دی اکسید کربن به عنوان محصول جانبی می‌شود. ۵۵ درصد از گاز احیایی (گاز سنتز) تولید شده از گاز طبیعی در روش میدرکس هیدروژن می‌باشد. با جایگزینی گاز سنتز با هیدروژن سبز امکان تولید فولاد کربن خنثی می‌باشد.

۴.۴. صادرات

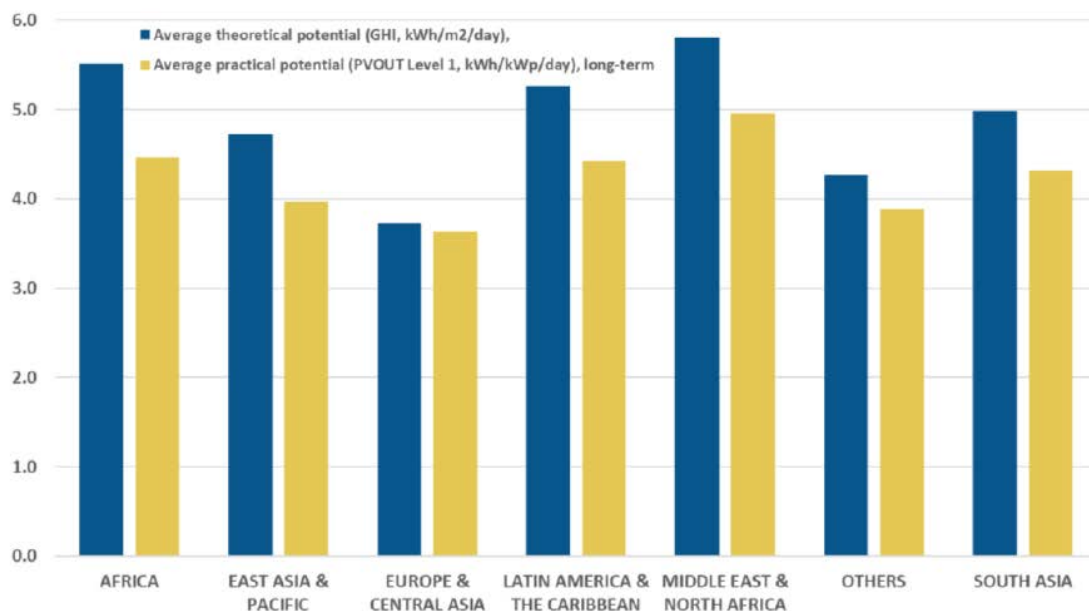
عمده کشورهای منطقه منا کشورهای با نیاز بالا به فولاد و در حال توسعه می‌باشند، در نتیجه مصرف داخلی نسبتاً بالایی دارند. همچنین کشورهای منطقه منا می‌توانند به بازارهایی که رشد تقاضا برای فولاد سبز دارند، مانند صنعت اتومبیل اروپا، صادرات داشته باشد. اعلام همکاری بین فولادسازان و تولید کنندگان اتومبیل با ضمانت بی کربن بودن فولاد علامتی بر این ادعا می‌باشد. در این خصوص ولوو، مرسدس، بی ام دبلیو، جنرال موتورز و فولکس واگن جاه طلب‌ترین تولید کنندگان خودرو برای استفاده از فولاد سبز می‌باشند. آفریقا و خاورمیانه در سال ۲۰۲۰ وارد کننده فولاد بودند. گرچه در زمینه تولید برخی محصولات خاص، به عنوان مثال محصولات تخت، منطقه منا می‌تواند در بازار منطقه‌ای و جهانی نقش آفرین باشد. از سال ۲۰۲۶ وارد کنندگان اروپایی فولاد از خارج از اروپا لازم است تا گواهی مکانیزم تنظیم مرز کربن^۳ را خریداری نمایند. اتحادیه اروپا چهارچوب مقرراتی را برای وارد کنندگان فولاد وضع نموده است که شامل گزارش میزان انتشار مستقیم و غیر مستقیم کربن در محصولات نهایی می‌باشد. به دلیل آنکه مسیر احیای مستقیم - کوره قوس انتشار کربن کمتری در مقایسه با مسیر کوره بلند-کنورتور دارد، تولید کنندگان فولاد منطقه منا در بازار موقعیت خوبی دارند. آنها میتوانند با شتاب گرفتن در انتقال به سمت فولاد بی کربن از مسیر احیای هیدروژنی - کوره قوس مزایای رقابتیشان را ارتقا دهند.

۵. تامین انرژی و انرژی‌های تجدید پذیر

کربن زدایی فولاد بر تغییر منبع انرژی فرایند متکی می‌باشد. تولید کنندگان از کربن، عمدتاً به شکل زغال در سطح جهانی و گاز طبیعی در منطقه منا استفاده می‌کنند. در این موضوع که تقریباً تمام تکنولوژی‌های پیشرفته فولادسازی سبز از نظر تکنیکی وابسته به الکتریسیته و احیای مستقیم هیدروژنی می‌باشند شکی وجود ندارد. با توجه به کاهش قابل ملاحظه هزینه انرژی‌های تجدید پذیر در ۱۰ سال گذشته، انرژی خورشیدی فوتوولتائیک و انرژی باد می‌توانند با برق فسیلی (تولید شده از زغال سنگ یا گاز طبیعی) در اکثر نقاط رقابت کنند. همچون صنعت فولاد در منطقه منا، تولید برق در این ناحیه نیز متکی به نیروگاه‌های گازسوز می‌باشد. در حال حاضر با وجودی که این ناحیه پتانسیل بالایی برای استفاده از انرژی خورشیدی دارد سهم انرژی‌های تجدید پذیر در منطقه منا بسیار کمتر از متوسط جهانی می‌باشد. بر اساس اعلام بانک جهانی در حقیقت منا بالاترین پتانسیل جهانی برق فوتوولتائیک را دارد.

³ Carbon Border Adjustment Mechanism

Figure 2: Global Photovoltaic Power Potential by Region



Source: World Bank.

شکل ۲. پتانسیل برق فوتوولتائیک در نواحی مختلف (ستونهای آبی پتانسیل تئوری و ستون های زرد پتانسیل عملی را نشان می دهند)

سرمایه گذاری روی انرژی های تجدید پذیر در منطقه مناغالباً به علت کاهش شدید هزینه پروژه های فوتوولتائیک شتاب گرفته است. هزینه تراز شده جهانی برق خورشیدی از ۰٫۱۸۳ دلار بر کیلووات ساعت در سال ۲۰۱۰ به ۰٫۰۵۷ دلار بر کیلووات ساعت در سال ۲۰۲۰ کاهش یافته است که معادل کاهش ۸۵ درصدی طی ۱۰ سال می باشد. در سال ۲۰۲۰ مناقصات فوتوولتائیک خورشیدی کف قیمتی جدیدی را در خاورمیانه ثبت کرده است. از ۰٫۱۵۷ دلار بر کیلووات ساعت در قطر تا ۰٫۱۳۵ دلار بر کیلووات ساعت در امارات متحده عربی و حتی ۰٫۱۰۴ دلار بر کیلووات ساعت در عربستان سعودی. بر اساس ارزیابی آژانس بین المللی انرژی های تجدید پذیر^۴ تولید برق خورشیدی فتوولتائیک در خاورمیانه با قیمت ۰٫۰۱ دلار بر کیلووات ساعت امکان پذیر است. پروژه های بزرگ در عربستان سعودی، امارات متحده عربی، اسرائیل و مصر در حال ساخت می باشد. آژانس بین المللی انرژی تخمین زده که رشد ظرفیت انرژی های تجدید پذیر طی سال های ۲۰۲۱ تا ۲۰۲۶ در مقایسه با دوره ۵ ساله قبلی دو برابر شده و از ۱۵ گیگاوات به ۳۲ گیگاوات برسد.

برخی از آخرین پروژه های انرژی های تجدید پذیر در منطقه منا به شرح زیر است:

➤ پروژه خورشیدی القسیم در عربستان سعودی که یک گیگاوات ظرفیت دارد و سرمایه گذاری آن ۴۵۰ میلیون دلار تخمین زده شده است.

➤ سود ایر، مزرعه دیگر خورشیدی با ظرفیت یک و نیم گیگاوات با همکاری آرامکو و AGWA نمونه دیگریست. عربستان رسیدن به سهم ۵۰ درصدی انرژی های تجدید پذیر در سال ۲۰۳۰ را در نظر گرفته است، هدفی جاه طلبانه برای این پادشاهی به منظور کاهش وابستگی به نفت خام.

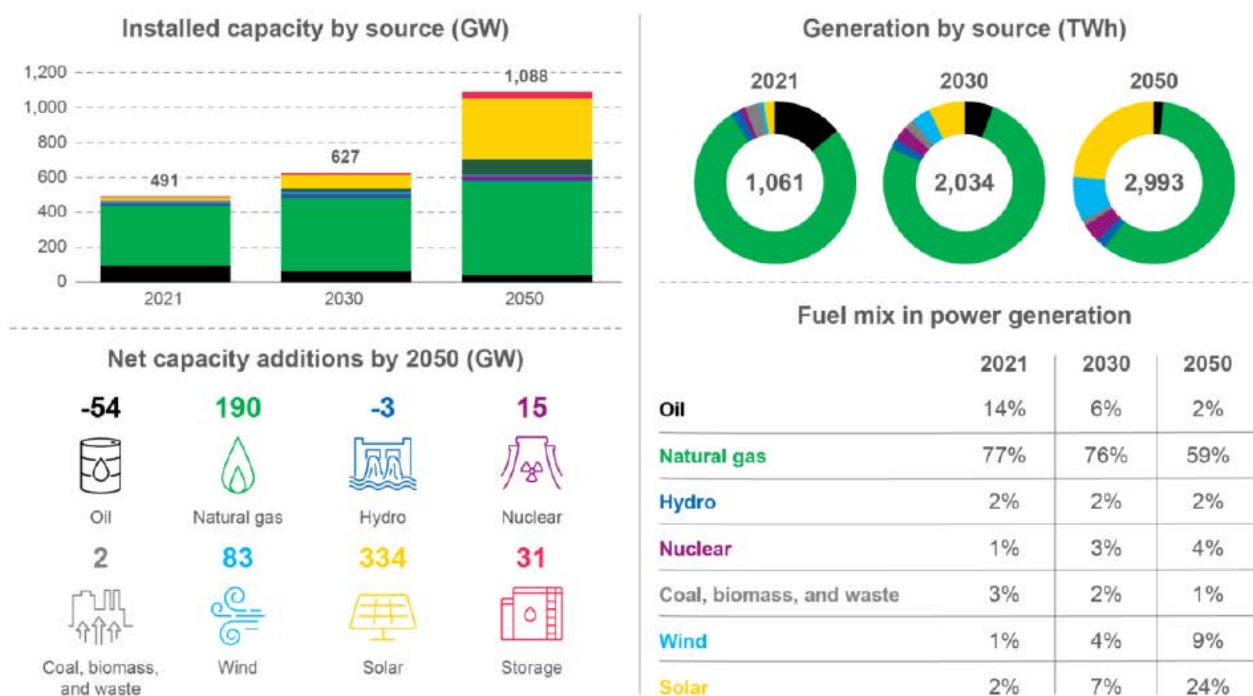
⁴ IRENA

➤ امارات متحده عربی قصد دارد با سرمایه‌گذاری ۱۶۳ میلیارد دلاری به هدف بلند پروازانه ۴۴ درصد انرژی پاک در سبد انرژی تا سال ۲۰۵۰ برسد. پروژه ۲ گیگاواتی الزهرا انتظار می‌رود تا سال ۲۰۲۲ تکمیل شود که بهره‌برداری آن با ظرفیت ۱۰۰ درصدی می‌تواند سالانه انتشار کربن راتا ۲،۴ میلیون تن کاهش دهد.

➤ پارک‌های ۱ و ۲ منّا در عمان با ظرفیت ترکیبی یک گیگاوات، انتظار می‌رود تا سال ۲۰۲۴ به بهره‌برداری برسند. سرمایه‌گذاری اولیه آنها ۷۸۰ میلیون دلار بوده است.

ظرفیت‌های جدید ترکیب انرژی در ناحیه منّا را تا سال ۲۰۵۰ تغییر خواهد داد. مارکیت^۵ پیش‌بینی نموده ۸۳ گیگاوات برق بادی و ۳۳۴ گیگاوات برق خورشیدی در این منطقه اضافه شود که در نتیجه آن سهم برق بادی و برق خورشیدی در سبد انرژی از یک و دو درصد به ۹ و ۲۴ درصد افزایش خواهد یافت.

Figure 3: Power Market in MENA



Source: IHS Markit.

شکل ۳. بازار انرژی در منطقه منّا

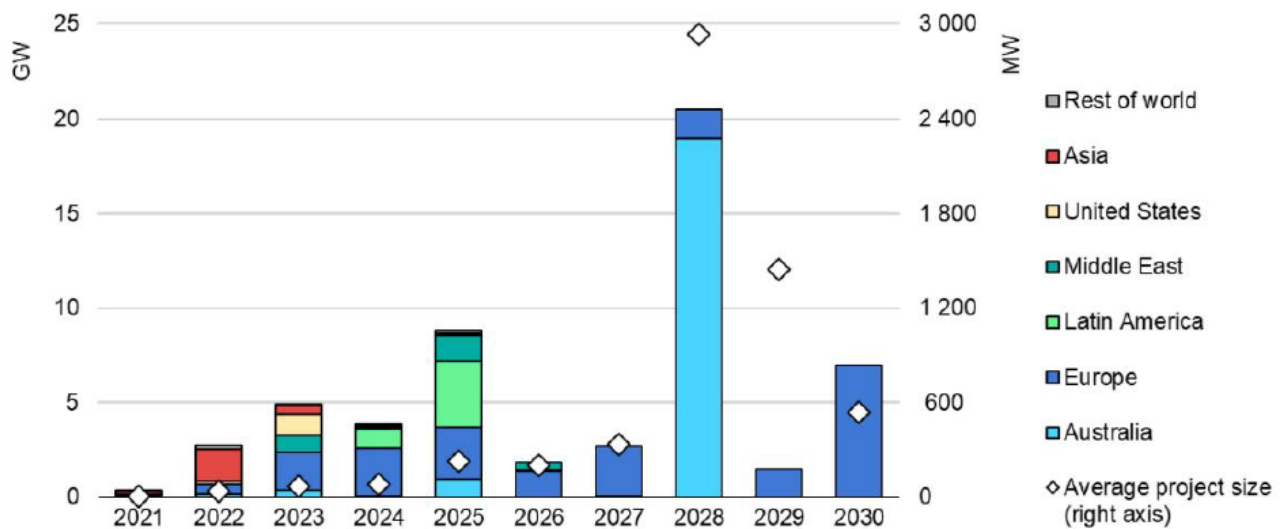
۶. هیدروژن سبز

در میان نویدبخش‌ترین منابع انرژی تجدید پذیر آینده، هیدروژن سبز پتانسیل کاربرد قابل توجهی دارد که شامل گرمایش، حمل و نقل، تولید نیرو و ساخت می‌باشد. هیدروژن سبز با جدا کردن پیوند بین هیدروژن و اکسیژن در مولکول آب تولید می‌شود. تولید هیدروژن سبز به برق تجدید پذیر نیاز دارد که هنوز به قیمت رقابتی نرسیده است.

⁵ HIS Markit

با شتاب گرفتن جهانی انتقال انرژی، هیدروژن سبز یکی از مهم‌ترین گزینه‌های سرمایه‌گذاری در بخش انرژی می‌باشد. آژانس بین‌المللی انرژی پیش‌بینی نموده تا سال ۲۰۳۰ ظرفیت الکترولایزرهای نصب شده به ۵۴ گیگاوات برسد و خاورمیانه با ۳ گیگاوات بعد از اروپا، استرالیا و آمریکای لاتین قرار بگیرد. منطقه‌ی پروژه‌های هیدروژن صادرات محور را توسعه می‌دهد. عربستان سعودی و مراکش در بین کشورهای با موقعیت ممتاز برای شکوفا شدن به عنوان تولیدکنندگان عمده هیدروژن سبز تا سال ۲۰۵۰ می‌باشند. در عمده کشورهای حوزه‌ی منا و خصوصاً در کشورهای حوزه خلیج فارس نرخ مصرف هیدروژن کمتر از نرخ تولید آن می‌باشد و همین موضوع پتانسیل زیادی برای صادرات ایجاد می‌کند.

Figure 4: New Installed Electrolyser Capacity Based on Projects Under Construction or Planned, 2021–2030



Source: IEA, Global Hydrogen Review 2021.

شکل ۴. ظرفیت‌های الکترولایزر جدید براساس پروژه‌های در حال ساخت و برنامه ریزی شده ۲۰۲۱-۲۰۳۰

۶.۲. پروژه‌ها

حرکت جهانی به سمت انرژی‌های تجدید پذیر کشورها و نواحی نفتخیز را برای بازبینی استراتژی‌های بلند مدتشان مجاب کرده است. در پاسخ به این حرکت جهانی شرکت‌های بزرگ انرژی در ناحیه‌ی منا پروژه‌های هیدروژن سبز و الکترولیت سبز را آغاز نمودند. در آخرین موارد فورت اسکیو^۷ یکی از پیشگامان صنعت هیدروژن سبز-سرمایه‌گذاری جدید خود در منطقه‌ی منا را اعلام نموده است. وی از قصد خود برای ساخت زیرساخت تولید هیدروژن بادی در مصر پرده برداشت. همچنین این شرکت پروژه هیدروژن سبز دیگری را در استرالیا آغاز نمود و در حال توسعه این صنعت در نواحی دیگر پتانسیل انرژی‌های تجدید پذیر می‌باشد.

⁶ International Energy Agency

⁷ Fortescue

در می ۲۰۲۱، شرکت انرژی زیمنس^۸ و شرکت آب و برق دبی^۹ و اکسپوی ۲۰۲۰ دبی بهره برداری از نخستین پلنت هیدروژن سبز که از پارک انرژی خورشیدی محمد بن رشید آل مکتوب الکتریسیته می گرفت را آغاز کردند. این پارک انرژی خورشیدی تا سال ۲۰۳۰ به میزان ۵ گیگاوات ساعت برق تولید خواهد کرد و یکی از بزرگترین پارک‌ها در جهان می‌باشد. در آگوست ۲۰۲۱، شرکت امارات استیل و شرکت ملی انرژی ابوظبی تفاهم‌نامه‌ای را برای تاسیس پلنت هیدروژن سبز برای تولید نخستین فولاد سبز در ناحیه منامضا نمودند. عربستان سعودی با هدف تبدیل شدن به بزرگترین تولید کننده هیدروژن، در اکتبر ۲۰۲۱ اعلام نمود که از میدان گازی ۱۱۰ میلیارد دلاری برای تولید هیدروژن آبی استفاده خواهد نمود. عربستان سعودی برنامه‌ریزی کرده تا سال ۲۰۲۶ شروع به تولید هیدروژن سبز از پلنتی با ظرفیت روزانه ۶۵۰ تن خواهد نمود که می‌تواند در نوع خود بزرگترین باشد. این پلنت با سرمایه‌گذاری اولیه ۵ میلیارد دلار انرژی خود را از انرژی خورشید و بادی با ظرفیت ۴ گیگاوات خواهد گرفت. در ژوئن ۲۰۲۱ عمان هم اعلام نمود که برنامه‌ای برای ساخت پلنت جدید هیدروژن سبز دارد. کنسرسیومی متشکل از شرکت نفت و گاز دولتی، شرکت انرژی بین‌المللی توسعه دهنده هیدروژن که در هنگ کنگ واقع شده است و شرکت کویتی انرتک^{۱۰} تا سال ۲۰۳۸ سرمایه‌گذاری ۳۰ میلیارد دلاری با هدف تولید ۱٫۸ میلیون تن هیدروژن سبز و ۱۰ میلیون تن آمونیاک انجام خواهد داد. پروژه صلال H2 پروژه دیگر هیدروژن سبز و آمونیاک در عمان می‌باشد که دارای ظرفیت ۴۰۰ مگاوات الکترولیز بوده برای آن یک میلیارد دلار سرمایه‌گذاری انجام شده است. پروژه هلیوس در امارات، مگا پروژه هیدروژن سبز ACME و هایپورت در عمان، پروژه هیدروژن اسکاتک در مصر دیگر پروژه‌های هیدروژنی می‌باشند که در مراحل نخستین برنامه‌ریزی هستند.

۶.۳. افزایش مقیاس

در آینده اقتصاد هیدروژنی، داشتن انرژی خورشیدی ارزان قیمت مزیت رقابتی کشورهای منطقه منامی‌باشد. گرچه افزایش مقیاس ظرفیت انرژی خورشیدی برای تولید هیدروژن سبز چالش بزرگی است اما این کشورها دو مزیت اصلی شامل در دسترس بودن زمین و تابش فراوان خورشید را در اختیار دارند. به دلیل آنکه سلول‌های خورشیدی تنها در طی روز می‌توانند برق تولید کنند، ضریب ظرفیت برای این تکنولوژی بین ۲۲ تا ۲۵ درصد می‌باشد. در مقایسه با استفاده از برق شبکه (برق فسیلی) افزایش ظرفیت سلول‌های خورشیدی و الکترولایزرها برای تولید همان مقدار الکتریسیته و هیدروژن سبز اجتناب‌ناپذیر است. تخمین زده شده که حدود ۱٫۲ تا ۱٫۳ گیگاوات ظرفیت الکترولایزر (با استفاده از برق شبکه) برای تولید ۴ میلیون تن فولاد هیدروژنی در اروپا مورد نیاز است. ولی برای استفاده از سلول‌های خورشیدی به جای برق شبکه، ظرفیت الکترولایزر باید تا ۴٫۵ تا ۵ گیگاوات افزایش یابد. به دلیل آنکه در منطقه منامپتانسیل بالاتر انرژی خورشیدی وجود دارد، فولادسازی هیدروژنی حتی می‌تواند رکورد قیمت پایین‌تر انتقال به فولاد سبز را در مقایسه با اروپا بشکند. جدول ۲ تفاوت بین کشوری اروپایی و کشوری از شمال آفریقا را بر حسب ظرفیت مورد نیاز و هزینه تولید برای انتقال تکنولوژی پلنت فولادسازی با ظرفیت ۴ میلیون تن از کوره بلند - کنورتور به احیای مستقیم هیدروژنی - کوره قوس با استفاده از

⁸ Siemens Energy

⁹ Dubai Electricity and Water Authority (DEWA)

¹⁰ Enertech

هیدروژن سبز نشان می‌دهد. بر حسب محاسبات شرکت هیدروژن یورو^{۱۱}، تونس به ۳۱ درصد ظرفیت سلول‌های خورشیدی کمتر و در نتیجه ظرفیت الکترولایزر کمتر نیاز دارد.

Table 2: Impact of Location Choice on Hydrogen Price

Item	Romania	Tunisia
PV installed power (GW)	6.4	4.4
PV LCOE (€/MWh)	44	29
Electrolysis power (GW)	4.5	3.3
Hydrogen LCOH (€/MWh)	4	2.9
Required storage (t)	47,000	20,500
Storage cost (€/kg)	0.9	0.36
H2 delivery price (€/kg)	5.3	3.7

Source: Hydrogen Europe, Steel from Solar Energy.

جدول ۲. تاثیر انتخاب محل پلنت در قیمت تمام شده هیدروژن (مقایسه رومانی در اروپا با تونس در منطقه منا)

۶،۴. هزینه

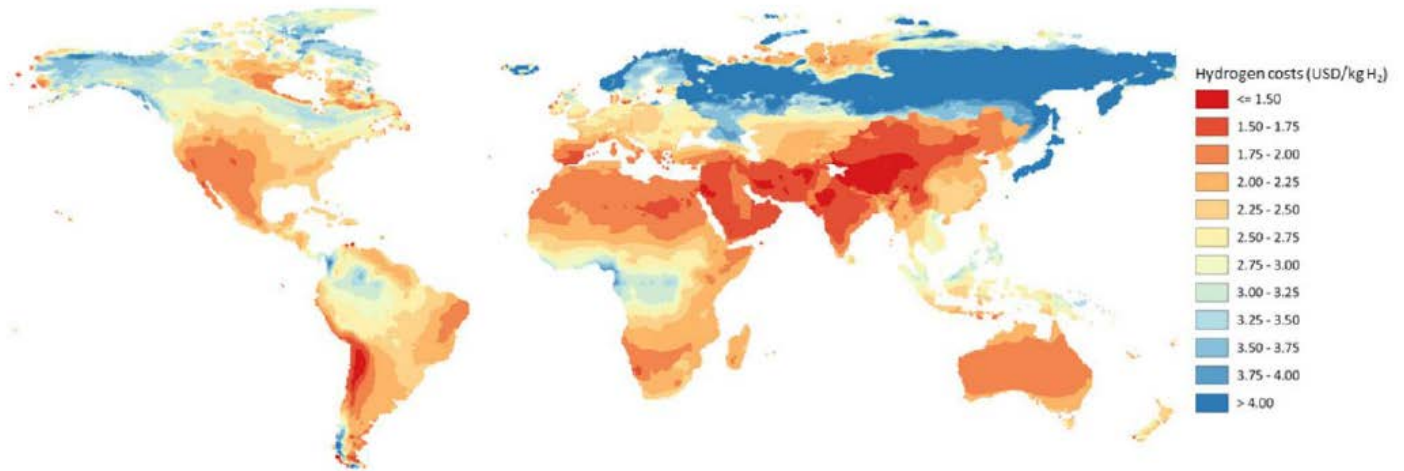
در حال حاضر در کشورهای خاورمیانه هزینه تولید هیدروژن از راه الکترولیز از هیدروژن آبی^{۱۲} پایین تر است. در جولای ۲۰۲۲ هزینه الکترولیز قلیایی در قطر ۲،۵۹، در عربستان ۳،۲۰، در امارات ۵،۱۴ دلار بر کیلوگرم بوده است. هزینه الکترولیز پلیمری غشایی حدود یک دلار بر کیلوگرم از تکنولوژی قلیایی بالاتر بوده است. هزینه هیدروژن آبی که با ترکیب اصلاح بخار متان و جذب و ذخیره کربن^{۱۳} تولید می‌شود در خاورمیانه حدود ۷ دلار بر کیلوگرم می‌باشد. آژانس بین المللی انرژی گزارش کرده که تا سال ۲۰۳۰ هزینه تولید هیدروژن در خاورمیانه با استفاده از سلول‌های خورشیدی می‌تواند کمتر از یک و نیم دلار بر کیلوگرم باشد و هزینه سرمایه ای آن ۳۲۰ دلار بر کیلووات و برق آن ۱۷ دلار بر مگاوات ساعت خواهد بود. تا سال ۲۰۵۰ قیمت هیدروژن میتواند کاهش بیشتری یابد و به یک دلار بر کیلوگرم برسد زیرا هزینه‌های سرمایه‌ای و الکتروسیته ای بترتیب تا ۲۵۰ دلار بر کیلووات و ۱۲ دلار بر مگاوات ساعت کاهش خواهد یافت.

¹¹ Hydrogen Euro

¹² هیدروژنی آبی به هیدروژنی گفته می‌شود که از شکست گاز طبیعی بدست می‌آید

¹³ Carbon Capture and Storage (CCS)

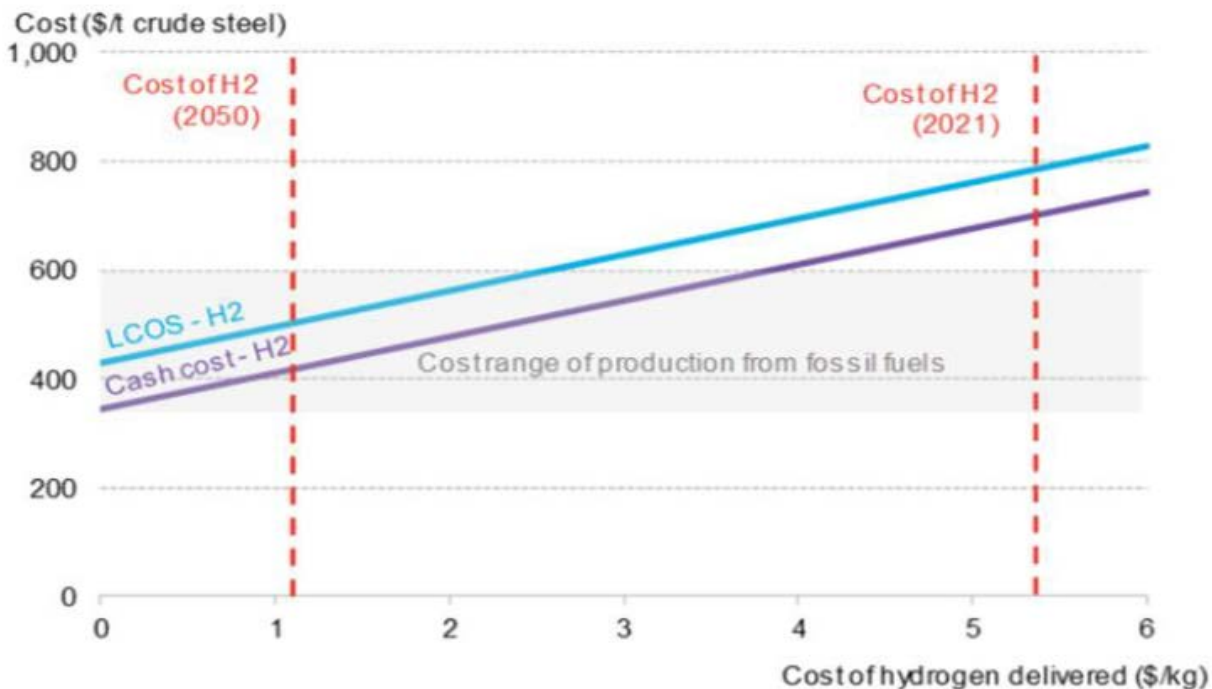
Figure 5: Hydrogen Costs from Hybrid Solar PV and Wind Systems in 2030



شکل ۵. هزینه هیدروژن هیبرید از سلول خورشیدی و نیروگاه بادی در سال ۲۰۳۰ بر حسب دلار

بلومبرگ می گوید با تحویل هیدروژن سبز با قیمتی زیر ۱٫۵ دلار بر کیلوگرم ، تکنولوژی آهن اسفنجی هیدروژنی - کوره قوس می تواند تا سال ۲۰۵۰ رقابتی شود. به دلیل آنکه منطقه منا می تواند هیدروژن تولید کند، هزینه انتقال آن برای فولاد سازان کمتر از نواحی دیگر می باشد. قیمت انتقال با توجه به حامل هیدروژن و فاصله متفاوت می باشد. منطقه منا زیرساخت و خط لوله خوبی دارد که می تواند تسهیلات انتقال داخلی ارزان قیمت هیدروژن را فراهم آورد.

Figure 6: Levelised Cost of Steel (LCOS) with Green Hydrogen Price, 2050



Source: BloombergNEF.

Note: Capex, opex and hydrogen prices assumptions are based on Germany.

شکل ۶. هزینه تراز شده فولاد بر حسب قیمت هیدروژن، ۲۰۵۰

۷. تامین گندله گرید اسفنجی

تکنولوژی آهن اسفنجی - کوره قوس به مواد شارژی متنوعی برای رسیدن به ویژگی‌های سفت و سخت فیزیکی و کیفی نیاز دارد. گندله گرید اسفنجی باید حداقل شامل ۶۷٪ آهن باشد که نیاز به فرآوری بیشتر سنگ آهن دارد. برخی فولادسازان در حال بررسی تکنولوژی‌های ترکیبی جدید می‌باشند که امکان استفاده از سنگ آهن گرید پایین در تولید آهن اسفنجی را فراهم می‌آورد. در حال حاضر بخش فولاد و معدن ناحیه منا سرمایه‌گذاری در زنجیره ارزش بالادستی را انجام داده است و می‌تواند گندله با کیفیت به کارخانجات فولاد تحویل دهد. ایران بزرگترین تولیدکننده پلت در منطقه منا می‌باشد که ظرفیت آن در پلنت‌های احیای مستقیم داخلی مصرف می‌شود، ایران در سال منتهی به مارچ ۲۰۲۱ حدود ۴۶ میلیون گندله برای مصرف داخلی پلنت‌های احیا تولید کرده است. در ۱۰ ماهه منتهی به ۲۰ ژانویه ۲۰۲۲ ایران ۳۱ میلیون تن گندله تولید کرده است و معادن داخلی کنسانتره مورد نیاز پلنت‌های گندله‌سازی را تامین نموده‌اند. دیگر پلنت‌های گندله‌سازی بزرگ با ظرفیت مازاد برای ارائه به بازار عمان و بحرین می‌باشند. فولاد بحرین یکی از تامین‌کنندگان عمده گندله کلاس اسفنجی ناحیه منا می‌باشد که در سال ۲۰۲۱ حدود ۱۲ میلیون تن تولید داشته است. این پلنت سنگ آهن را از برزیل کانادا و سوئد وارد می‌کند و عمده گندله تولیدی را به فولادسازان ناحیه منا صادر می‌کند. واله، بزرگترین تولیدکننده گندله جهان، پلنتی را در عمان بهره‌برداری می‌کند که عمدتاً کنسانتره وارداتی از برزیل را فرآوری می‌کند. این پلنت در سال ۲۰۲۱ حدود ۸٫۲ میلیون تن تولید داشته است. باقی نیاز پلت گرید اسفنجی توسط الکاب^{۱۴} سوئد، IOC کانادا، متینوست^{۱۵} و فرکسپو^{۱۶} از اوکراین و متالواینوست^{۱۷} از روسیه تامین می‌شود.

۸. تعهد کربن خنثی

برخی از کشورهای منطقه منا متعهد به توافقنامه پاریس بوده و روی هدف کربن خنثی کار میکنند. عربستان سعودی، بزرگترین تولیدکننده و صادرکننده نفت متعهد به اجرای کربن خنثی تا سال ۲۰۶۰ شده است، تعهدی کمتر نسبت به کشورهای مثل ژاپن، اتحادیه اروپا و آمریکا که این تعهد را برای سال ۲۰۵۰ داده‌اند. امارات متحده که میزبان همایش COP28 در سال ۲۰۲۳ می‌باشد، نخستین کشوری در خاورمیانه است که انتشار کربن خنثی را تا سال ۲۰۵۰ اعلام نموده است و نیز هدف میان مدت کاهش انتشار به میزان 23/5 درصد تا انتهای دهه را اعلام نموده است. عمان و بحرین نیز به ترتیب تا سال ۲۰۵۰ و ۲۰۶۰ متعهد به اجرای کربن خنثی شده‌اند. ایران بزرگترین تولیدکننده آهن اسفنجی گازی بوده و تاکنون تعهدی به اهداف کربن خنثی اعلام نکرده است. کشورهای شمال آفریقا هیچگونه تعهدی به کربن خنثی شدن ندارند. مصر استراتژی‌های تغییرات اقلیمی خود را در کنفرانس COP26 بدون تعهد به کربن خنثی شدن اعلام نمود. از اصلی‌ترین چالش‌های انتقال در منطقه منا عدم وجود حمایت‌های دولتی است. برخی از کشورهای این ناحیه بر کمک‌های جهانی برای سرمایه‌گذاری روی تکنولوژی‌های سبز تکیه دارند.

¹⁴ LKAB

¹⁵ Metinvest

¹⁶ Ferexpo

¹⁷ Metalloinvest

علاوه بر موانع فنی در راه استفاده از هیدروژن برای تولید آهن اسفنجی در مقیاس تجاری، سایر موانع شامل تامین گندله گریداسفنجی بمنظور پروژه‌های توسعه بیشتر، بالا بردن مقیاس زنجیره ارزش هیدروژن سبز، انرژی‌های تجدید پذیر و این واقعیت که این منطقه دچار استرس‌های آبی هست می‌باشد. افزایش قابل توجه مقیاس ظرفیت جهانی پلنت‌های احیا مستقیم با استفاده از هیدروژن سبز برای رسیدن به کربن خنثی در سال ۲۰۵۰ به سنگ آهن بیشتری که مناسب احیا مستقیم باشد نیاز دارد. کیفیت متوسط سنگ آهن سال‌هاست که در حال کاهش می‌باشد زیرا گریدهای بالای معادن مصرف شده است. گرچه منطقه منا برای ظرفیت‌های فعلی پلنت‌های احیا دسترسی به گندله با گریداسفنجی دارد، اما هرگونه توسعه بیشتر و افزایش ظرفیت باید به طور همزمان با هدف بالانس تمام زنجیره ارزش بر اساس احیای مستقیم هیدروژنی - کوره قوس برنامه‌ریزی شود.

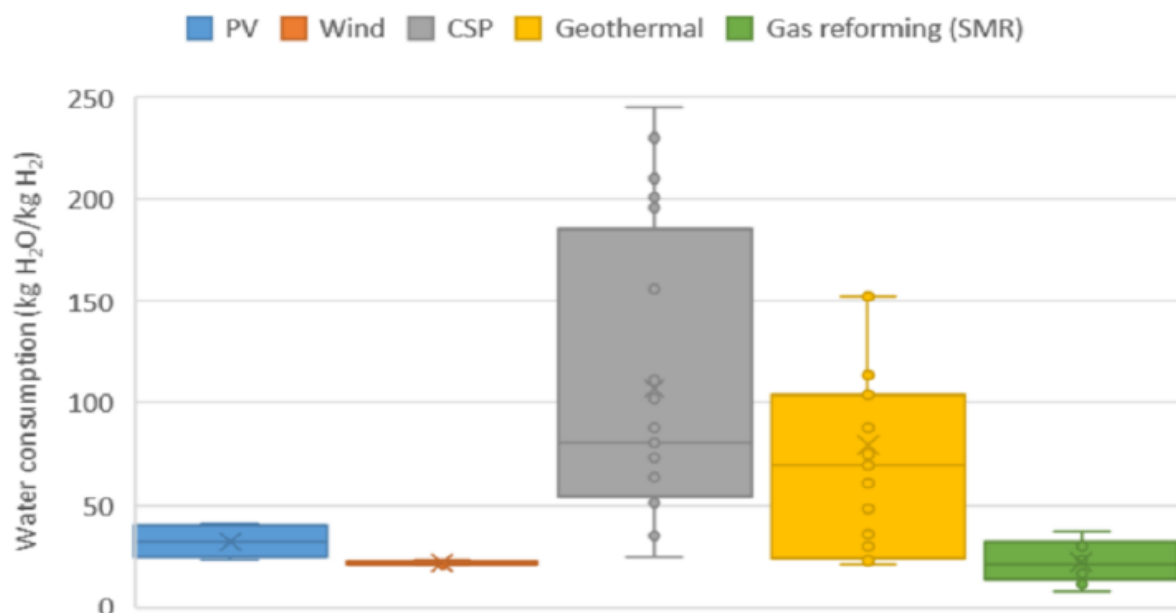
۹.۱. افزایش ظرفیت انرژی‌های تجدید پذیر و الکترولايزر

تولید یک میلیون تن فولاد سبز بر اساس تکنولوژی احیای مستقیم هیدروژنی - کوره قوس الکتریکی به ظرفیت بالای سالانه یک گیگاوات الکترولايزر سلول‌های خورشیدی نیاز دارد. با توجه به ظرفیت پروژه‌های فعلی خط لوله، تغییر مجموعه پلنت‌های احیای مستقیم - کوره قوس الکتریکی به فرایندهای هیدروژن محور که با انرژی‌های تجدید پذیر تغذیه شود حتی در منطقه منا چالش بزرگی می‌باشد. همچنین سلول‌های خورشیدی و الکترولايزرها هکتارها زمین را اشغال می‌کنند. نصب یک گیگاوات سلول خورشیدی به فضایی در حدود ۲۴ تا ۳۲ کیلومتر مربع نیاز دارد، موضوعی که در ناحیه منا مشکل به حساب نمی‌آید زیرا زمین‌های غیرقابل سکونت زیادی وجود دارد که از تابش کافی برخوردار است.

۹.۲. کمبود آب

۱۲ کشور از ۱۷ کشور با بالاترین میزان تنش آبی در منطقه منا می‌باشند. قرار گرفتن در زمینی چنین خشک برای هر صنعتی چالش بزرگی به حساب می‌آید. تحت تاثیر تغییرات اقلیمی، کمبود آب وخیم تر شده و برخی نواحی با چالش‌های بی‌سابقه‌ای روبرو شده‌اند. بیش از ۷۰ درصد GDP منطقه منا در نواحی با استرس آبی بالا تولید می‌شود که کمبود آبی آنها احتمالاً روی اقتصادشان تاثیر می‌گذارد. برای تولید یک کیلوگرم هیدروژن سبز از طریق سلول‌های خورشیدی و باد به طور متوسط به ترتیب به ۳۲ و ۲۲ کیلوگرم آب نیاز است. این ارقام شامل مصرف کلی برای آب فرایند و تولید (الکترولايز) به علاوه آب مورد نیاز در تولید انرژی می‌باشد. این ارقام با آب مورد استفاده در تولید هیدروژن از گاز طبیعی (۲۲ کیلوگرم به ازای یک تن هیدروژن) قابل مقایسه است (شکل ۷)

Figure 7: Life Cycle Water Consumption for Various Hydrogen Production Pathways



Source: energypost.eu

شکل ۷. مصرف آب چرخه عمر برای تولید هیدروژن از منابع انرژی مختلف^{۱۸}

حتی با وجود رشد تصاعدی در مصرف آب مورد نیاز برای الکترولیزرها، نیاز هیدروژن سبز به آب بسیار کمتر از سایر بخش ها می باشد. در سال ۲۰۵۰ مصارف کشاورزی، صنعت و آب شهری به ترتیب ۲،۷۶۹، ۷۶۸ و ۴۶۴ میلیارد مترمکعب خواهد بود در حالیکه برای تولید هیدروژن تقاضای آب تنها ۲۵ میلیارد مترمکعب خواهد بود. با وجود سهم پایین تقاضای آب بخش هیدروژن نسبت به کل تقاضای آب، بدلیل کمبود منابع در منطقه ناآرام آب قابل اطمینان سخت خواهد بود. عمده کشورهای حوزه خلیج فارس آب خود را از طریق پلنت های شیرین سازی به دست می آورند. حدود ۵۰ درصد ظرفیت شیرین سازی آب جهانی در منطقه منا می باشد و عربستان سعودی بزرگترین تولید کننده آب شیرین سازی شده می باشد. تصفیه آب و باز چرخانی آن در بین گزینه هایی هستند که اخیراً در بخش صنعت زیاد به کار گرفته می شود. آژانس بین المللی انرژی پیش بینی می کند افزایش انرژی از طریق شیرین سازی قیمت هیدروژن را تنها ۰،۰۱ تا ۰،۰۲ دلار در کیلوگرم افزایش می دهد، لذا آب از عوامل افزایش قیمت نمی باشد. در بررسی دیگر آژانس بین المللی انرژی های تجدید اعلام نموده استفاده از پلنت های شیرین سازی در نواحی دچار بحران آبی قیمت هیدروژن را تا ۰،۰۵ دلار بر کیلوگرم افزایش می دهد که ناچیز است.

۱۰. نتیجه گیری

گرچه کشورهای توسعه یافته شامل استرالیا، آلمان، آمریکا و چین در استفاده از هیدروژن سبز پیشرو می باشند ولی اگر منطقه منا به سمت استفاده از هیدروژن سبز و انرژی های تجدید پذیر حرکت کند می تواند رهبر جهانی کربن زدایی از صنعت فولاد شود. تنها یک

¹⁸ Concentrate Solar Power (CSP)

راه حل برای کربن زدایی سریع از صنعت فولاد وجود ندارد. هر کشوری به راه حل هایی متناسب با قابلیت ها و مزایای رقابتی اقتصادی خود نیاز دارد. علاوه بر تولید هیدروژن برای صادرات ، منطقه منا می تواند آن را در داخل استفاده نموده و فولاد کم انتشار برای صادرات تولید نماید. تولید برق سبز که در بسیاری از نقاط دنیا چالش بزرگی محسوب می شود در منطقه منا با موانع کمتری مواجه می باشد. منطقه منا با پتانسیل فراوان انرژی های تجدید پذیر می تواند در صنایع شدیداً کربن زا که کاهش کربن آنها به سختی ممکن است ، مثل فولاد پیشرو باشد. در مقایسه با سایر نواحی ، منطقه منا ظرفیت بالقوه احیای مستقیم - کوره قوس الکتریکی دارد و این بدین معنی می باشد که نیازی به سرمایه گذاری زیاد برای جایگزین کردن تکنولوژی موجود ندارد. تمام سرمایه گذاری جدید می تواند معطوف به تولید هیدروژن سبز و توسعه انرژی های تجدید پذیر باشد. منطقه منا احتمالاً میتواند در پلنت های احیا مستقیم موجود ۳۰٪ مصرف گاز طبیعی را با هیدروژن جایگزین کند بدون آنکه نیاز به اصلاح عمده تجهیزات داشته باشد، سپس در فاز بعدی به سمت ۱۰۰٪ استفاده از هیدروژن سبز گام بردارد. بسیاری از شرکت های معدنی با چالش کیفیت سنگ آهن و تولید گندله گرید اسفنجی مواجه می باشند. مورد اول در منطقه منامشکلی ندارد ولی یافتن منابع قابل اطمینان برای توسعه آتی می تواند برای فولادسازان منطقه منا چالشی باشد. دانش منطقه منا در زمینه فولاد سرمایه باارزشی است . در بین مهمترین ستونهای کربن زدایی ، این دانش تولید ، همراه با کاربیشتر روی غنی سازی سنگ آهن ، گندله سازی و پلنت آهن اسفنجی کمک شایان توجهی به انتقال سبز در منطقه منا می کند.