چشم‌انداز بازار میعانات گازی

سید محمد علی خطیبی طباطبایی
هوتن سالاری

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

خلاصه

این مقاله به رشد بازار میعانات گازی در آینده می‌پردازد. در این زمینه، بعد از تشریح میعانات از نقطه نظر فنی به تحلیل مکانیزم‌های بازار در ارتباط با عرضه، تقاضا و قیمت‌گذاری پرداخته می‌شود. بنابراین پیش‌بینی‌ها عرضه جهانی میعانات طی دهه آینده با افزایش چشمگیری مواجه خواهد شد که عمدتاً این نتیجه افزایش تولید پروژه‌های گازی متعدد در خاورمیانه می‌باشد. پیش‌بینی می‌شود طی سال‌های آینده تقاضای جهانی برای میعانات گازی نیز با افزایش رو به رو می‌گردد. در حال حاضر منطقه آسیا پاسفیک بیشترین سهم تقاضا را به خود اختصاص داده است اما این روند در حال تغییر مسیر به سوی کشورهای خاورمیانه می‌باشد. افزایش حجم مصرف میعانات گازی در خاورمیانه، آسیاپاسفیک و آفریقا ناشی از رشد سریع ظرفیت تولید میعانات می‌باشد در حالی که در دیگر مناطق از میعانات جهت ترکیب با نفت سنگین استفاده می‌گردد.

مکانیزم قیمت‌گذاری میعانات نیز در این مقاله مورد بررسی قرار گرفته است. این مکانیزم در مناطق مختلف متفاوت بوده و نرخ پایه آن براساس نرخ نفت‌خام تا فرآورده‌های نفتی متفاوت است و نهایتاً این مقاله به مطالعه شرایط تولید و عرضه میعانات گازی در ایران به عنوان یکی از بازیگران اصلی این بازار می‌پردازد و برنامه‌های افزایش تولید و ظرفیت پالایش آن را بررسی می‌کند.

مقاله

۱ - مقدمه

تا سال ۲۰۰۱، تجارت میعانات گازی به استثنای بازار آمریکا محدود به معاملات منطقه‌ای بود. اما اکنون شـرایط تغییر کرده است و سهم معاملات منطقه‌ای از سـال ۲۰۰۲ به تدریج و در نتیجه تولید فراینده میعانات گازی کشورهای خاورمیانه افزایش یافته است گرچه حجم معاملات میعانات گازی هنوز در مقایسـه با تجارت جهانی نفت‌خام محدود بوده و درآمد آن کم‌تر می‌باشـد امـا برنامه‌های بلندپروازانه متعددی جهت توسعه جهانی این صنعت به ویژه در منطقه خاورمیانه در حال اجرا می‌باشند. منطقه آسیا پاسفیک و نیز شمال آفریقا از رشد تولید قابل توجهی برخوردار هسـتند. همگام با رشـد عرضه انتظار می‌رود تقاضا نیز افزایش یابد که این امر اهمیت میعانات را در بازار جهانی نفت دو چندان خواهد نمود.

ایران روزانه ۲۰۰ هزار بشکه میعانات از حوزه پارس جنوبی تولید می‌نماید. این حجم تولید مربوط به پنج فاز اول این حوزه می‌باشد و انتظار می‌رود در آینده ۳۰ فاز دیگر به آن افزوده شـود. برنامه کاری مشروح و تفصیلی این پروژه‌ها از قبل تهیه شده است. انتظار می‌رود ۲۰ فاز جدید تا سال ۲۰۱۷ میلادی تکمیل گردد که در آن صورت میزان تولید تا سطح ۰/۹ میلیون بشکه در روز افزایش خواهد یافت.

از سوی دیگر میزان مصرف میعانات در مجتمع‌های پتروشیمی ایران یعنی برزویه و بوعلی به ۸۰ هزار بشکه در روز می‌رسد.

با تکمیل ۳ واحد پالایش میعانات گازی با هدف رفع کمبود بنزین در کشور پیش‌بینی می‌گردد میزان تولید میعانات در کشور به بیش از ۰/٤۸ میلیون بشکه در روز افزایش یابد.

اما توسـعه بازار میعانات در سـال‌های آینده یکـی از چالش‌های اساسـی پیش‌روی ایران به عنوان یکـی از بازیگران اصلی این بازار خواهد بود.

در ایـن مقاله برخی اطلاعات فنی مربوط به میعانات ارائه شـده و سـپس روند عرضه و تقاضا بین سـال‌های ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۷ بررسـی می‌گردد و در انتها مکانیسـم‌های ارزشـیابی و قیمت‌گذاری میعانات مورد توجه قرار خواهد گرفت.

در بخـش ٤ این مقاله به مقوله عرضه و تقاضای میعانات در ایران پرداخته شده است.

۲ - میعانات از نقطه نظر فنی

میعانـات ترکیبی با چگالی پایین از مایعات هیدروکربنی هسـتند که به صورت ترکیبات در گاز طبیعی تولید شده از میدان‌های گازی وجود دارند. میعانات همزمان با کاهش دمای گاز (تا زیر دمای نقطه شبنم هیدروکربن) ازآن جدا می‌گردند.

میعانات گاز طبیعی را میعانات گازی یا در برخی موارد بنزین طبیعی می‌نامند زیرا حاوی هیدروکربن‌هایی با نقطه جوشـی برابر با بنزین می‌باشند. گاز خام از سه نوع چاه استحصال می‌گردد:

چاه نفت‌خام- گاز خام که از چاه‌های نفت‌خام استحصال می‌گردد گاز همراه نامیده می‌شود. این گاز ممکن است مستقل از نفت‌خام در زیرزمین قرار گرفته و یا در آن حل شده باشد.

چاه گاز خشک- این نوع چاه‌ها تنها حاوی گاز طبیعی خام می‌باشند. این نوع گاز "گاز غیرهمراه" نامیده می‌شود.

چاه‌های میعانات گازی- از این چاه‌ها گاز طبیعی به همراه مایعات گازی (NGL) استحصال می گردد. این نوع گاز نیز غیرهمراه است و غالباً از آن به عنوان گاز ترياد می‌گردد.

۲-۱ ترکیب میعانات گاز طبیعی

تعداد بیشماری چاه حاوی گاز تر در جهان وجود دارد و در هر یک از این چاه‌ها میعانات گازی با ترکیبات خاص خود یافت می‌شـود. اما به طور کلی میعانات گازی دارای وزن مخصوص بین ۰/۵ تا ۰/۸ بوده و حاوی مواد زیر می‌باشند:

- سولفید هیدروژن (H_2S)
- تیول‌ها- این مواد به شـکل سنتی "رکاپ تن‌ها" نامیده می‌شوند (RSH کـه R یـک گروه آلی همچون متیل، اتیل و غیره را تشـکیل می‌دهد).
- دی اکسید کربن (CO_2)
- آلکین‌هـای دارای زنجیره مسـتقیم کـه دارای ۲ تا ۱۲ اتم کربن (C_2 تا C_{12}) هستند.
- سیکلوهگزان و دیگر نفتن‌ها
- آروماتیک‌ها (بنزن، تولوئن، گزیلن و اتیل بنزن).

۲-۲- جداساز میعانات از گاز طبیعی خام

تجهیزات متعدد و متفاوتی در پروسـه جداسـازی میعانات از گاز طبیعی‌خام مورد استفاده قرار می‌گیرد.

گاز طبیعی‌خام استحصال شده از یک یا چند چاه به منظور کاهش دمای آن به کم‌تر از نقطه شـبنم سرد می‌گردد و بدین ترتیب قسمت عمـده هیدروکربن‌هـای میعانات گاز اسـتحصال می گردد. سـپس خـوراک مرکـب از گاز، میعانات مایع و آب به یک مخزن جداکننده فشـار قـوی منتقل و در آنجـا آب و گاز طبیعی‌خام از یکدیگر جدا می‌گردنـد. گاز طبیعی‌خـام حاصله سـپس به کمپرسـور اصلی گاز منتقل می‌گردد. میعانات گازی اسـتحصال شـده در جداکننده فشار قوی از داخل یک شـیر کنترل ویژه به یک جداکننده فشـار ضعیف منتقل می‌شـود. کاهش فشار در داخل شـیر کنترل باعث می‌گردد تا میعانات به صورت نسبی تبخیر گردند که این مرحله را تبخیر اشتعالی (flash vaporization) می‌نامند.

گاز طبیعی‌خام خارج شده از جداکننده فشار ضعیف به یک کمپرسور

تقویت‌کننـده منتقل و در آن جا فشـار گاز افزایش یافته و با گذر از داخل یک سردکننده به کمپرسور اصلی گاز می‌رسد. کمپرسور اصلی گاز فشار گازهای دریافتی از جداکننده‌های فشار قوی و فشار ضعیف را تا آن جا افزایش می‌دهد تا بتوان گاز را از طریق خط لوله به واحد فرآوری گاز طبیعی انتقال داد. میزان فشـار خروجی کمپرسور اصلی گاز بسـتگی به فاصله واحد فـرآوری گاز دارد و در صورت نیاز از کمپرسورهای چند مرحله‌ای استفاده می‌گردد.

در واحد فرآوری گاز طبیعی رطوبت گاز گرفته می‌شود و گازهای اسـیدی و دیگر ناخالصی‌ها از گاز جدا می‌گردد. سـپس اتان (C_2)، پروپـان (C_3)، بوتـان (C_4)، و پنتان (C_5) به علاوه هیدروکربن‌های دارای وزن مولکولی بالاتر (C_{5+}) نیز از گاز جدا شـده و به عنوان محصولات جنبی مورد استفاده قرار می‌گیرند.

آب خروجی از جداکننده‌های فشـار قوی و فشـار ضعیف حاوی مقداری سولفید هیدروژن می‌باشد به همین دلیل قبل از استفاده مجدد از این آب یا دفع آن باید این مواد از آن جدا گردند.

۳-۲- کاربردهای میعانات گازی

از میعانات عمدتاً جهت پالایش اسـتفاده می‌شـود. این مواد برای ترکیب با نفت‌خام هم به عنوان خوراک بسیار سبک استفاده می‌شود. از میعانات در جریان تزریق مجدد در پالایشگاه‌ها نیز استفاده می‌شود. در این حالت میعانات به داخل خوراک واحد تقطیر کراکینگ قبل از ورود خوراک به داخل برج تزریق می‌گردند.

میعانات به صورت وسیع در اسپلیترها مورد استفاده قرار گرفته و به برش‌های اصلی یعنی نفتا، نفت سفید، گازوئیل و برخی از برش‌های سنگین‌تر از گازوئیل تقسیم می‌گردند.

از میعانـات بـه عنوان خـوراک کراکرهای اتیلین در شـرکت‌های پتروشیمی استفاده می‌شود.

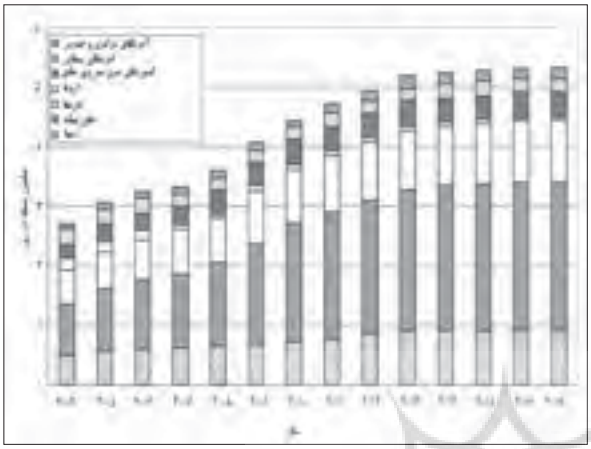
در ایـن رابطه برخی از مصرف‌کنندگان بـه واحدهای کراکینگ مسـتقیم مجهز هسـتند و به همین دلیل امکان استفاده از میعانات تقطیر نشـده و سـنگین برای آنها وجود دارد. این واحدها دارای کاتالیست‌ها و راکتورهایی هستند که برای انجام عملیات سخت و خاص طراحی شده‌اند به این معنی که قادر به شکستن مولکوهای ذرات گازوئیل و نفت سفید موجود در میعانات به اتیلن و پروپیلن می‌باشند.

۳ - بازار میعانات گازی

۳-۱- عرضه

پیش‌بینی‌هـا حکایت از آن دارد که عرضه میعانات گازی در فاصله سـال‌های ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۷ با افزایش قابـل توجهی رو به رو گردیده و به ۵/۳ میلیون بشـکه در روز خواهد رسـید. کشـورهای واقع در خاورمیانه، حوزه آسـیا پاسـفیک و آفریقا بیشـترین نقش را در این افزایش ایفاء خواهند کرد.

شکل ۱- عرضه جهانی میعانت گازی (میلیون بشکه در روز)



پیش‌بینی می‌شود میزان تولید میعانات گازی در خاورمیانه در سال ۲۰۱۷ به ۲/۷ میلیون بشکه در روز افزایش یابد حال آن که این رقم در آفریقا ۱/۰۸ میلیون بشکه در روز خواهد بود.

در دوره زمانی مشـابه کشورهای واقع در حوزه آسیاپاسفیک سطح تولید میعانات گازی خود را تا سطح ۰/۹ میلیون بشکه در روز (حدود ۵۰ درصد) افزایش خواهند داد.

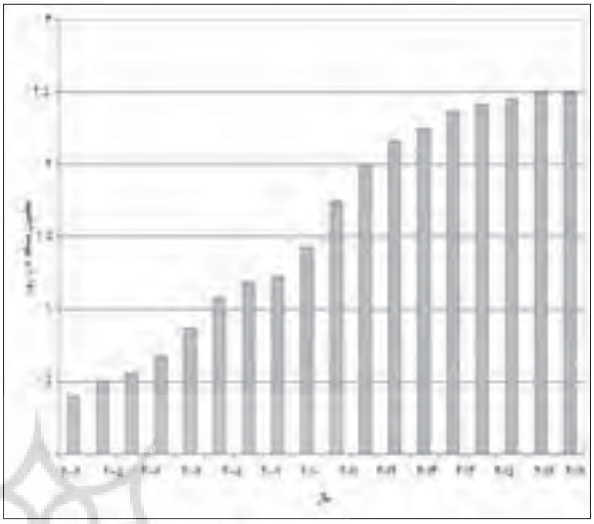
همزمان تولید میعانات در اروپا با کاهشـی ۱۰۰۰۰۰ بشکه در روز رو به رو خواهد شـد و به ٤۰۰۰۰ بشـکه تقلیل می‌یابد. این کاهش تولید که در آمریکای شـمالی ۱۳ درصد است به ۰/۱۹ میلیون بشکه در روز تقلیل می‌یابد. تولید کشورهای آمریکای جنوبی با افزایش ۷۵ درصدی به ۰/۱۸ میلیون بشکه در روز خواهد رسید. میزان تولید در کشورهای عضو اتحاد شوروی سابق با افزایش ۰/۱۳ میلیون بشکه‌ای به ۰/٤٤ میلیون بشکه در روز خواهد رسید (تا سال ۲۰۱۷).

۳-۱-۱ - خاورمیانه

در سال ۲۰۰٦ میزان تولید کشورهای خاورمیانه حدود ۱/۲ میلیون بشـکه در روز بوده که این رقم ۳۷ درصد کل تولید جهانی میعانات را شامل می‌گردد. انتظار می‌رود میزان تولید با سهم بازار ٤۷ درصدی به ۲/۵ میلیون بشکه در روز افزایش یابد که بیشترین سهم از آن ایران و قطر خواهد بود. در سـال ۲۰۰٦ میزان تولید میعانات توسـط قطر ۰/۲۸ میلیون بشـکه در روز بود در حالی کـه ظرفیت اضافی میدان گازی آن کشـور میزان تولید را تا سـال ۲۰۱۷ به ۰/۸۱ میلیون بشکه در روز افزایـش خواهد داد. پروژه‌های گاز مایع طبیعی (LNG) به نام قطر گاز و رأس گاز بیشـترین سـهم را در افزایش تولید قطر به

خود اختصاص داده‌اند.

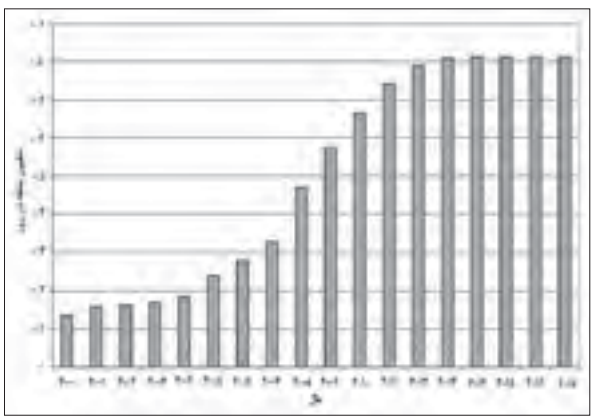
شکل۲- میزان تولید میعانات گازی خاورمیانه (میلیون بشکه در روز)



میـزان تولید پروژه قطـر گاز در فازهای ۱ ، ۲ و ۳ حدود ٦٥ هزار بشکه در روز می‌باشد حال آن که گاز بهره‌برداری شده از میدان‌های ٤ و ٥ در سـال ۲۰۰۸ آغاز خواهد شـد و در پی آن میزان تولید به ۱٦۰ هزار بشکه در روز افزایش می‌یابد. میادین ٦ و ۷ نیز قرار است در سـال‌های ۲۰۰۹ و ۲۰۱۰ به بهره‌برداری برسـند که بدین ترتیب حجـم تولیـد را به میزان ۸۰ هزار و ٤۰ هزار بشـکه در روز افزایش خواهند داد.

نام پروژه دیگر رأس گاز است که دارای ٤ میدان اولیه و تولید ۱۲۰ هزار بشکه در روز می‌باشد. قرار است پروژه میدان ٥ در اوایل سال ۲۰۰۸ و میدان ٦ در اواسط همان سال به بهره‌برداری برسد. میدان ۷ این پروژه آخرین فاز پروژه رأس گاز می‌باشـد که کار تولید آن، در اواخر سال ۲۰۰۸ آغاز خواهد شد و تولید میعانات گازی کشور قطر ۹٥ هزار بشکه در روز افزایش خواهد یافت.

شکل۳- پیش‌بینی تولید میعانات گازی ترش قطر (میلیون بشکه در روز)



با آغاز تولید از پروژه GTL توسـط شـرکت شـل بین سال‌های ۲۰۱۱ و ۲۰۱۲ میـزان عرضه میعانات قطر با افزایش بیشـتری رو به رور خواهد گردید.

اما آینده برخی دیگر از پروژه‌های GTL که از پتانسیل تولید میعانات بیشتری برخوردار هستند نامشخص است. اخیراً شرکت اکسون موبیل پروژه خود به نام نخل (Palm) را متوقف نموده است.

برنامه‌های توسعه مجتمع GTL اوریکس توسط شرکت ساسول نیز به علت مهلت‌های قانونی تحمیل شده از سوی دولت متوقف گردیده است. (تولید اضافه میعانات برای پروژه‌های الخلیج ۱ و دلفین که در سال‌های ۲۰۰٥ و ۲۰۰٦ به بهره‌برداری رسیدند پیش‌بینی شده است) انتظار می‌رود پروژه الخلیج ۲ تا پایان این دهه به بهره‌برداری برسد.

در این منطقه سـه تولیدکننده عمده نفت یعنی عربسـتان، امارات متحده عربی و عمان در افزایش تولید میعانات گازی فعالیت می‌کنند. تولید عربسـتان که در سـال ۲۰۰٦ رقمی برابر با ۰/۹۹ میلیون بشکه در روز بود عملاً در داخل کشـور به مصرف می‌رسد. انتظار می‌رود تولید عربستان تا سال ۲۰۱٥ افزایش یافته و به رقم بالای ۲/٥ میلیون بشکه در روز برسد. این میزان تولید به نظر خوش‌بینانه است. در سال ۲۰۰٦، امارات متحده عربی از واحدهای خود همچون فاز یک توسعه گاز ساحلی (OGD-۱) و فاز ۲ (OGD-۲) و فاز یک توسعه گاز ۱ ساب (AGD-۱) روزانه ۰/۳۲ میلیون بشکه میعانات تولید نمود. انتظار می‌رود پروژه OGD-۳ در سه ماهه دوم سال ۲۰۰۸ با ظرفیت ۰/۱۲ میلیون بشکه در روز تکمیل گردد.

پیش‌بینی می‌شود که تولید میعانات گازی امارات متحده عربی تا سال ۲۰۱۷ به ۰/٤۳ میلیون بشـکه در روز افزایش یابد. پروژه‌های عمده کشور عمان عبارتند از الانجی عمان، الانجی ۳ عمان و حوزه‌های سیح نهایدا و میزان تولید آنها ۱۰۰ هزار بشکه در روز می‌باشد. پروژه کوثر قرار است در سال ۲۰۰۸ به بهره‌برداری رسیده و ظرفیت تولید این کشور را در سال ۲۰۰۹ به ۱۳٥ هزار بشکه در روز برساند.

۲-۱-۳- حوزه آسیاپاسفیک

انتظار می‌رود تولید آسیا تا سال ۲۰۱۷ با یک افزایش ٥٦ درصدی به ۰/۹ میلیون بشکه در روز برسد. اما سهم این منطقه از عرضه جهانی میعانات بدون تغییر و در حدود ۱۷ درصد باقی خواهد ماند. در منطقه آسیا-اقیانوسیه، کشورهای زلاندنو، استرالیا و تیمور بیشترین سهم را از رشـد منطقه به خود اختصاص داده‌اند. اندونزی و مالزی از دیگر تولیدکنندگان منطقه هستند.

همانگونه که پیش‌تر گفته شـد استرالیا یکی از عمده تولیدکنندگان منطقه به شـمار می‌آید و بیشـترین حجم میعانات آن در فلات قاره شـمال غربی تولید می‌گردد. در سال ۲۰۰۲ میزان تولید میعانات این کشـور ۱۱۲ هزار بشکه در روز بود. اما بعد از آن از میزان تولید این

حوزه کاسته شد و در حال حاضر میزان تولید آن تنها ۱۰۰ هزار بشکه در روز اســت. اما از حوزه (فرشــته) تولید میعانات در سه ماهه آخر سال ۲۰۰۸ آغاز خواهد شد و بدین ترتیب ظرفیت تولید میعانات را ۵۰ هزار بشــکه در روز افزایش خواهد داد. در دهه آینده حوزه‌های گازی کیپر و تونا به بهره‌برداری خواهند رسید و ظرفیت تولید کشور را به میزان ۲۵ هزار بشکه در روز افزایش خواهند داد.

همزمــان با آغاز تولید ۳ پروژه الان‌جی به نام‌های گورگون، پلوتو و براوز ۸۵ هزار بشــکه در روز بر ظرفیت تولید این کشــور اضافه خواهد گردید.

پروژه "گریترســان‌رایز" در تیمور شــرقی حدود ۸۰ هزار بشکه در روز به ظرفیت تولید منطقه اضافه خواهد نمود (۲۰۱۲). در زلاندنو، گرچه انتظار می‌رود تولید میدان اصلی کشور به نام "مائویی" با کاهش روبه‌رو گردد اما با شروع فعالیت و تولید حوزه‌های پوهوکورا و کوپ که حوزه‌های بالنسبه کوچکی هستند این کمبود و کاهش جبران خواهد گردید. مجموع تولید میعانات این منطقه بین سال‌های ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۷ با افزایشــی صد در صد روبه‌رو خواهد شد و از ۱۷٤ هزار بشکه در روز به ۳۵۲ هزار بشکه در روز افزایش خواهد یافت.

اندونزی از دیگر تولیدکنندگان عمده میعانات در منطقه می‌باشــد. میزان تولید این کشــور از حوزه‌های ســنی‌پا، بی‌آرسی و چند حوزه کوچک دیگر ۱۲۰ هزار بشکه در روز می‌باشد.

حوزه تانگودر اواخر ســال ۲۰۰۸ به بهره‌برداری خواهد رســید و میزان تولید آن ٤۵ هزار بشــکه در روز پیش‌بینی شده است که جمع ظرفیت تولید کشــور را به بیش از ۱٦۰ هزار بشــکه در روز افزایش خواهد داد.

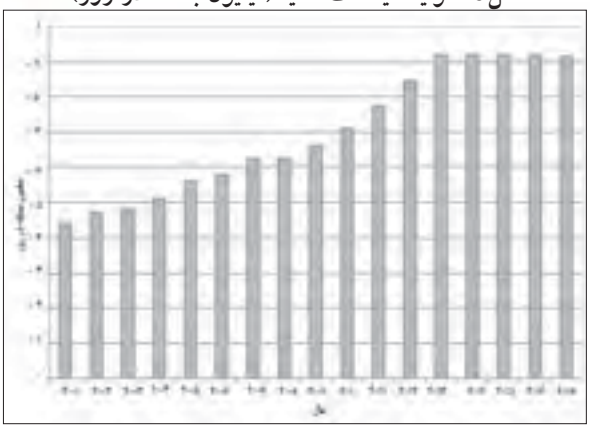
کشور مالزی روزانه حدود ۱٤۰ هزار بشکه میعانات از حوزه بین‌تولو تولیــد می‌نماید. با آغــاز بهره‌برداری از حــوزه گان‌تونگ با ظرفیت تولید ۳۵ هزار بشکه در روز در پایان سال ۲۰۰۷ و برخی حوزه‌های الان‌جی، ظرفیت تولید کشــور را تا ســال ۲۰۱۷ به حدود ۱٦۵ هزار بشکه در روز افزایش خواهد داد.

تایلند با تولید ۷۳ هزار بشکه در روز، فیلیپین با ۷۳ هزار بشکه در روز و میانمار با ۱۵ هزار بشکه در روز از دیگر تولیدکنندگان میعانات در منطقه هستند. انتظار می‌رود ویتنام در آینده اقدام به تولید میعانات گازی به میزان ۳۵ هزار بشکه میعانات در روز نماید (۲۰۱۱).

۳-۱-۳ - آفریقا

آفریقا یکی از عمده‌ترین مناطق تولید میعانات می‌باشد. این منطقه در سال ۲۰۰٦ حدود ۰/٦۹ میلیون بشکه در روز تولید نمود. الجزایر، مصــر و نیجریه عمــده تولیدکنندگان این قاره را تشــکیل می‌دهند. پیش‌بینی می‌شود تولید این قاره تا سال ۲۰۱۷ به بیش از یک میلیون بشکه در روز برسد.

شکل٤- تولید میعانات آسیا (میلیون بشکه در روز)



در قــاره آفریقا کشــور الجزایر مهم‌ترین و عمده‌تریــن تولیدکننده میعانات می‌باشد. این کشور در سال ۲۰۰٦ دو سوم کل تولید منطقه را بــه خود اختصاص داد. با تکیه بر پروژه‌های متعدد توســعه تولید گاز این کشــور در نظر دارد تا ظرفیت تولید میعانات خود را تا سال ۲۰۱۷ به ۰/۵۱ میلیون بشــکه در روز افزایش دهد. اما قسمت عمده این افزایش تولید در داخل و برای تغذیه پالایشگاه در دست ساخت میعانات با ظرفیت ۱۲۰ هزار بشکه در روز به مصرف می‌رسد.

کشور مصر دیگر تولیدکننده میعانات در شمال آفریقا برنامه افزایش ظرفیت تولید خود به ۱۵۰ هزار بشــکه در روز را تا ســال ۲۰۱۷ در دستور کار دارد.

نیجریــه حدود ۱۰۰ هزار بشــکه در روز تولید می‌نماید. کار تولید میعانات از حوزه آکپو در ســال ۲۰۰۸ و با ظرفیت ۱۷۰ هزار بشــکه در روز آغاز خواهد شــد. در این مرحله کشــور نیجریه قادر خواهد بود نســبت به تولید ۰/۲۷ میلیون بشــکه در روز تا سال ۲۰۱۷ اقدام نماید.

آنگولا یکی دیگر از تولیدکنندگان منطقه اســت که تا ســال ۲۰۰۵ هیچ‌گونــه میعاناتی تولید نمی‌کرد. اما بعــد از آن کار تولید از حوزه سان‌ها بلوک B با ظرفیت ۵۰ هزار بشکه در روز آغاز گشته و انتظار می‌رود این کشــور تا ســال ۲۰۱۷ ظرفیت تولید خود را تا ۱۲۰ هزار بشــکه در روز افزایش دهد. پروژه الان‌جی آنگولا نیز بعد از ســال ۲۰۱۰ عملیاتی خواهد شــد و روزانه ۷۰ هزار بشــکه میعانات اضافه تولید خواهد نمود و بدین ترتیب میزان تولید میعانات این کشــور به ۱۹۰ هزار بشکه در روز می‌رسد.

٤-۱-۳ - آمریکا و اروپا

در سال ۲۰۰٦ آمریکای شمالی روزانه ۰/۲۲ میلیون بشکه میعانات تولید خواهد نمود. پیش‌بینی می‌شود این رقم تا سال ۲۰۱۷ به ۰/۱۹ میلیون بشــکه در روز کاهش می‌یابد که ســهم آمریکا از تولید منطقه ۱۱۰ هزار بشکه و مکزیکو ۷۷ هزار بشکه در روز خواهد بود. کانادا

نیز یکی دیگر از تولیدکنندگان میعانات منطقه می‌باشد. اما کلیه میعانات تولید شده در این کشور جهت ترکیب با نفت سنگین استحصال شده از ماسه‌های نفتی مورد استفاده قرار می‌گیرد. در آمریکای مرکزی و جنوبی سه کشور ترینیداد و توباگو، ونزوئلا و پرو از تولیدکنندگان عمده میعانات می‌باشند. سهم ترینیداد و توباگو از این تولید ۱۵ هزار بشکه در روز، ونزوئلا ٤٧ هزار بشکه در روز و پرو ٤٠ هزار بشکه در روز می‌باشد.

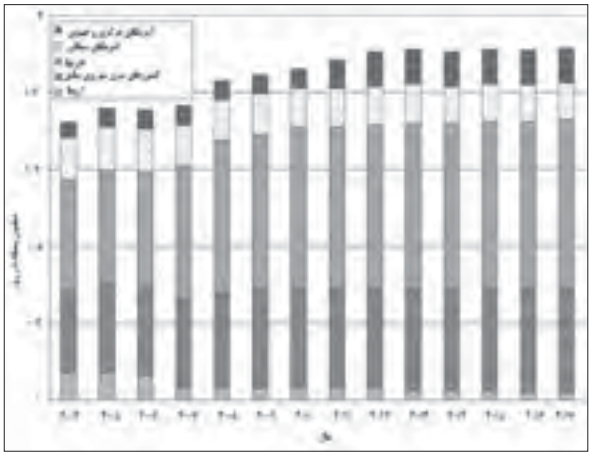
پرو تنها کشوری است که نسبت به افزایش تولید فعلی خود که ٤٢ هزار بشکه در روز است تا سطح ٨٤ هزار بشکه در روز تا سال ۲۰۱۰ اقدام خواهد کرد.

تولید میعانات اروپا در مقایسه با دیگر مناطق نسبتاً ناچیز است. تنها تولیدکننده میعانات اروپا کشور نروژ است. میزان تولید این کشور در سال ۲۰۰۳ حدود ١٤٦ هزار بشکه بود که در سال ۲۰۰٦ به ۱۱۵ هزار بشکه کاهش یافت. علاوه بر آن زمانی که محصول بزرگترین حوزه میعانات نروژ به نام آسگارد با نفت‌خام ترکیب شد خسارت‌های زیادی بر عرضه میعانات کشور وارد گردید.

به دلیل کاهش محصول دیگر میادین نروژ پیش‌بینی می‌شود تولید میعانات نروژ در سال ۲۰۰۷ به ٦٠ هزار بشکه در روز کاهش یابد. میزان تولید در سال ۲۰۱۷ به ۳۹ هزار بشکه در روز کاهش خواهد یافت.

روسیه در حال حاضر روزانه ۲۳۰ هزار بشکه میعانات تولید می‌نماید و ۸۰ هزار بشکه نیز از قزاقستان وارد می‌کند. میزان تولید از حوزه‌های ساخالین و نواتک که انتظار می‌رود در سال ۲۰۰۸ به بهره‌برداری برسند ظرفیت تولید میعانات روسیه را ۸۵ هزار بشکه افزایش خواهد داد. تمامی تولیدات این میادین برای صادرات در نظر گرفته شده است. رشد تولید میعانات در جمهوری‌های اتحاد جماهیر شوروی سابق بیشتر در قزاقستان صورت‌خواهد گرفت.

شکل ۵- عرضه میعانات به استثناء آسیا و خاورمیانه (میلیون بشکه در روز)



۲-۳- تقاضا

در سال ۲۰۰٦ تقاضای جهانی برای میعانات حدود ۳ میلیون بشکه در روز بود. پیش‌بینی می‌شود میزان تقاضا تا سال ۲۰۱۷ حدود ۵۰ درصد رشد یافت به ٤/٦ میلیون بشکه در روز افزایش یابد. کشورهای حوزه آسیا پاسفیک به علاوه منطقه خاورمیانه بیشترین نقش را در این افزایش بازی می‌نماید. کشورهای منطقه آسیا پاسفیک با تقاضایی برابر با ۱/۰٦ میلیون بشکه در روز ۳۵ درصد کل تقاضای جهانی برای این محصولات در سال ۲۰۰٦ را به خود اختصاص دادند. در سال ۲۰۰٤ میزان تقاضا در خاورمیانه ۱۹ درصد کل تقاضای جهانی برای میعانات را شامل گردید اما این رقم در طول چند سال گذشته افزایش یافته و پیش‌بینی می‌گردد تا سال ۲۰۱۷ از مرز ۲۹ درصد گذر نماید. میزان تقاضا در آفریقا به ۱۱۰ هزار بشکه در روز افزایش خواهد یافت و دلیل این امر ساخت یک پروژه پالایش میعانات در الجزایر می‌باشد. در کلیه مناطق دیگر، نرخ رشد تقاضا برای میعانات کمابیش همانند تقاضا برای دیگر محصولات نفتی می‌باشد زیرا از میعانات جهت ترکیب با نفت‌خام سنگین استفاده می‌شود.

۱-۲-۳ خاورمیانه

تقاضای منطقه خاورمیانه برای میعانات ۲۳ درصد کل تقاضای جهانی را تشکیل می‌دهد که انتظار می‌رود این رقم تا سال ۲۰۰۷ به ۲۹ درصد افزایش یابد. این تحول ناشی از رشد سریع ظرفیت مراکز پالایشگاهی در خاورمیانه و مصرف روزافزون داخلی این محصولات می‌باشد. محتوای ٤٠ تا ٦٠ درصدی نفتا و گازوئیل و میزان ناچیزی از محصولات سنگین‌تر دیگر در میعانات باعث می‌گردد تا این ماده، خوراکی مناسب برای پالایشگاه‌های میعانات گازی با هدف استحصال فرآورده های سبک باشد.

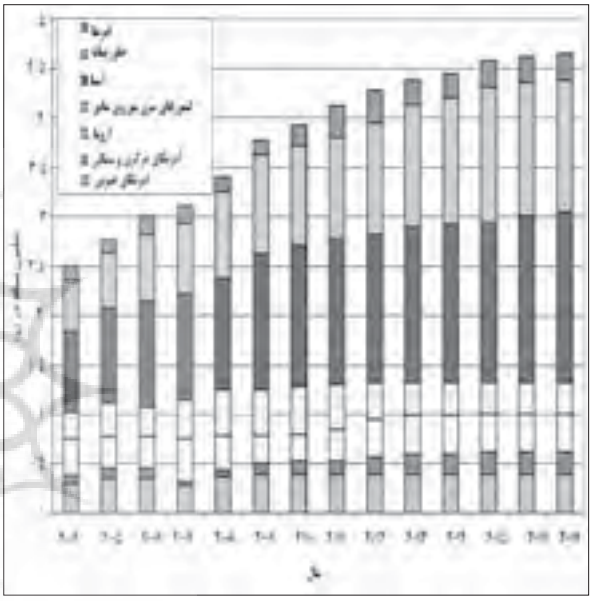
ازآن جا که خاورمیانه در حال حاضر بیشترین تولید میعانات گازی جهان را به خود اختصاص داده است جای تعجب نسبت که تولیدکنندگان منطقه نقشی راهبردی در ایجاد واحدهای جدید پالایش میعانات گازی ایفاء نمایند. در حال حاضر چهار واحد جدید با ظرفیت ۵۰٦ هزار بشکه در روز در منطقه در حال ساخت است که تا سال ۲۰۱۷ ظرفیت را به ۱/۳۵ میلیون بشکه در روز افزایش خواهد داد. ایران به تنهایی قصد دارد نسبت به ساخت ۳ واحد از این نوع اقدام نماید که در بخش بعدی این مقاله به آن پرداخته خواهد شد.

علاوه بر ایران، کشور قطر نیز در حال اضافه کردن واحدهای پالایش جدید می‌باشد. پالایشگاه ١٤٦ هزار بشکه‌ای رأس‌لفان توسط شرکت نفت دولتی قطر در حال ساخت است و پیش‌بینی می‌گردد تا سال ۲۰۰۸ به بهره‌برداری برسد. این واحد جهت

فرآوری میعانات استحصال شده از حوزه گاز شمالی جهت تولید LPG، نفتا، نفت سفید و گازوئیل جهت صادرات مورد استفاده قرارخواهدگرفت.

در ابوظبی شرکت ملی نفت ابوظبی دو واحد پالایش میعانات با ظرفیت ۱۴۰ هزار بشکه در روز در روایس راه‌اندازی کرده است که بخشی از میعانات گازی مورد نیاز وارد می‌شود و علت آن نیز کمبود خوراک می‌باشد. بنابراین انتظار می‌رود شرکت ملی نفت ابوظبی توجه خود را بیشتر معطوف بر افزایش تولید نماید.

شکل ٦- تقاضا برای میعانات در شرق سوئز (میلیون بشکه در روز)



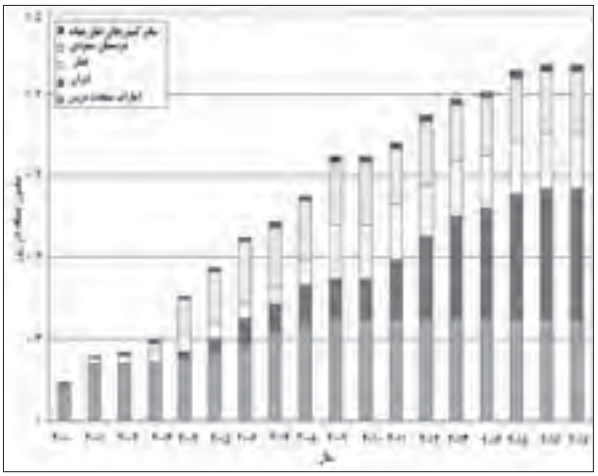
واحد پالایش ۲۲۵ هزار بشکه‌ای عربستان در پالایشگاه رأس تنوره تقریباً با ظرفیت کامل فعالیت می‌نماید و از محصول نفتای آن جهت تغذیه مجتمع‌های پتروشیمی سعودی آرامکو استفاده می‌گردد. گرچه عربستان معمولاً یک تولیدکننده عمده میعانات می‌باشد اما کلیه این مواد در داخل کشور به مصرف می‌رسد.

۲-۲-۳ -آسیا پاسفیک

علاوه بر واحدهای پالایش جدید، تقاضای فزاینده در این منطقه ناشی از استفاده از خوراک بسیار سبک جهت ترکیب با نفت‌خام سنگین برای پالایشگاه‌ها به‌ویژه در کشورهایی مثل ژاپن، کره‌جنوبی، تایوان و چین می‌باشد. علاوه بر آن تغییر در نوع استفاده از میعانات و تمایل بیشتر جهت بکار بردن این مواد در واحدهای پالایش در سال‌های آینده از شدت بیشتری برخوردار خواهد گشت.

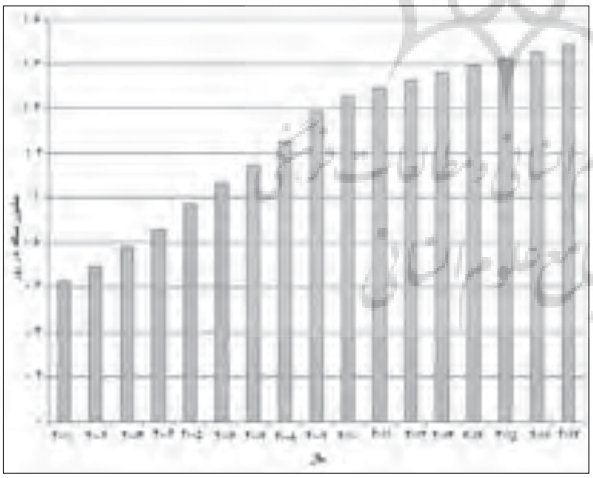
طی دو سال گذشته سه واحد جدید پالایش در منطقه آسیاپاسفیک ساخته شده است و ٤ واحد جدید دیگر با ظرفیت کلی ۳۹۲ هزار بشکه در روز تا پایان دهه کنونی ساخته خواهد شد. به این ترتیب

شکل ۷- تقاضای میعانات گازی خاورمیانه (میلیون بشکه در روز)



در سال ۲۰۱۵ کل ظرفیت تولید میعانات در این منطقه به ۸۷۱ هزار بشکه در روز خواهد رسید. یک واحد پالایش میعانات با ظرفیت ۲۰ هزار بشکه در روز (علاوه بر واحد قبلی با ظرفیت ۵۰ هزار بشکه در روز) در تایلند تکمیل و به بهره‌برداری رسیده است. در سال ۲۰۰٤ مجوز ساخت دومین واحد تولید آروماتیک در همان محل صادر گردید. این مجتمع جدید شامل یک واحد پالایش میعانات با ظرفیت ۳۸ هزار بشکه در روز می‌باشد و قرار است در نیمه دوم سال ۲۰۰۸ به بهره‌برداری برسد.

شکل ۸- تقاضای میعانات گازی در آسیا (میلیون بشکه در روز)



پروژه‌های قدرتمند دیگر در ژاپن و استرالیا پیش‌بینی شده‌اند. در حالی که پالایشگاه نفت کاهیما در ژاپن برنامه ساخت یک واحد پالایش میعانات گازی ٦۰ هزار بشکه‌ای در روز را در دست مطالعه دارد موسسه انرژی ژاپن در صدد نصب یک واحد پالایش ۳٤ هزار بشکه ای در داخل پالایشگاه مینروشیما می‌باشد. این دو واحد در سال‌های ۲۰۰۸ و ۲۰۰۹ تکمیل خواهند گردید. شرکت استرالیایی سوخت‌های پاک داروین برنامه‌های خود جهت ساخت یک واحد

فرآوری میعانات با ظرفیت ۵۰ هزار بشـکه در روز را تا سـال ۲۰۰۹ اعلام کرده است.

همزمـان دو واحد جدید پالایش میعانات در سـال ۲۰۰٦ در چین و اندونزی به بهره‌برداری رسـیدند. واحد پالایش میعانات گازی ۸۰ هزار بشـکه‌ای چین واقع در پالایشگاه هویی‌ژو که با سرمایه‌گذاری مشـترک چین و هلند ساخته شد قرار است خوراک مورد نیاز واحد پتروشیمی واقع درمنطقه را تأمین نماید.

در اندونـزی، شـرکت TPPI کار سـاخت یک واحـد صد هزار بشـکه ای را در مجتمع پتروشـیمی خود در استان جاده شرقی آغاز نموده اسـت. این واحد جدید ظرفیت تقطیر میعانات اندونزی را به ۱۸۰ هزار بشـکه در روز افزایش خواهد داد و بدین‌ترتیب اندونزی مقام اول فرآوری میعانات در منطقه را به خود اختصاص می‌دهد.

ظرفیت پالایش میعانات در مالزی ۸۹ هزار بشـکه در روز، تایوان ۷۰ هزار بشکه در روز، پاکستان ۳ هزار بشکه و ویتنام ۱۷ هزار بشکه در روز می‌باشد.

۳-۲-۳ - دیگر مناطق

در دیگر مناطق جهان تنها پروژه پالایش میعانات که در سـال‌های آینده به بهره‌برداری خواهد رسید در کشور الجزایر واقع شده است. این واحد قابلیت و توان فرآوری روزانه ۱۲۰ هزار بشکه میعانات را دارا می‌باشد. این واحد قرار است تا سال ۲۰۰۹ به بهره‌برداری برسد.

گرچه در آغاز این مقاله تحولات مربوط به تقاضا به شکل خوش‌بینانه منعکس و پیش‌بینی شـده‌اند اما این امکان وجوددارد که تقاضا برای میعانـات در آینده حتی بیش از میزان پیش‌بینی باشـد، بخش عمده تقاضـای واقعی بـه عملکرد بازیگران اصلی ایـن حوزه یعنی چین، ایران و قطر بستگی دارد.

در حالـی که احتمال سـاخت واحد پالایـش میعانات در چین در آینـده وجود دارد اما دو تولیدکننده عمده میعانات یعنی ایران و قطر ممکن است به شکل فزاینده‌ای از میعانات تولیدی خود برای ترکیب با نفت‌خام سنگین استفاده نمایند.

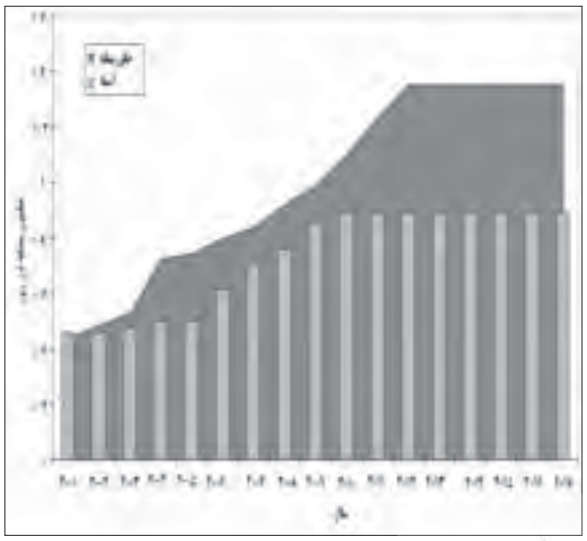
٤ - میعانات گازی در ایران

۱-٤- عرضه

تولیـد آتـی میعانات گازی در ایران بر توسـعه میدان عظیم پارس جنوبی و پروژه‌های مرتبط با آن متمرکز اسـت. حوزه پارس جنوبی که بین آبهای مرزی ایران و قطر واقع شـده اسـت بزرگترین میدان گازی جهان می‌باشـد و ذخیره میعانات آن بین ۳ تا ٤ میلیارد بشـکه برآورد شده است. ایران قصد دارد حوزه پارس جنوبی را در ۳۰ فاز توسعه دهد.

در حال حاضر تنها مشـخصات ۲٤ فاز اول این پروژه تعیین شـده

شکل۹ - ظرفیت پالایشی میعانات گازی در آسیا و خاورمیانه (میلیون بشکه در روز)



است. پنج فاز اول پروژه به بهره‌برداری رسیده است و قابلیت تولید روزانه ۲۰۰ هزار بشکه میعانات را دارا می‌باشند.

فازهای ٦ و ۷ و ۸ این پروژه در سال ۲۰۰۸ به بهره‌برداری خواهند رسید و ظرفیت تولید حدود ۱۵۲ هزار بشکه میعانات را در روز دارا می‌باشند. فازهای ۹ و ۱۰ پروژه در اواخر سال ۲۰۰۸ به بهره‌برداری خواهند رسید و روزانه ۸۰ هزار بشـکه میعانات به ظرفیت تولید ایران اضافه خواهند نمود. فازهای ۱۱ و ۱۲ شامل پروژه‌های الانجی پارس و ایران الانجی می‌باشد در حالی که فازهای ۱۳ و ۱٤ شامل پروژه پرشین الانجی خواهد بود. ظرفیت تولید پروژه پارس الانجی ٦٦ هزار بشکه در روز خواهدبود در حالی که تولید میعانات از پروژه‌های ایران الانجی و پرشین الانجی در حدود ۱۱۰ هزار و ۱۰۵ هزار بشکه در روز خواهد بود. انتظار می‌رود کار تولید در فازهای ۱۵ تا ۱۸ در سـال ۲۰۱۷ آغاز گردد (فاز ۱۵ و ۱٦ به عنوان یک پروژه و فاز ۱۷ و ۱۸ به عنوان یک پروژه دیگر). ظرفیت تولید هر یک از این پروژه‌ها. ۸۰ هزار بشکه در روز می‌باشد. فازهای ۱۹ تا ۲٤ نیز به مناقصه گذاشته شده‌اند (بنابراین در چشم‌انداز تولید میعانات مربوط به سـال ۲۰۱۷ آنها در نظر گرفته نشـده‌اند. با این حال، ظرفیت تولید فازهای ۱۹ تا ۲۱ حدود ۱۲۰ هزار بشکه در روز خواهند بود. اما پروژه فازهای ۲۲ تا ۲٤ حدود ۵۵ هزار بشـکه در روز به ظرفیت تولید میعانات گازی ایران اضافه خواهند نمود.

۲-٤- تقاضا

ایران روزانه حدود ۸۰ هزار بشکه میعانات را به عنوان خوراک در مجتمع‌های پتروشـیمی برزویه و بوعلی مورد اسـتفاده قرار می‌دهد. ایران قصد دارد تا نسـبت به ساخت ۳ واحد پالایش میعانات گازی هر یک به ظرفیت ۱۲۰ هزار بشـکه در روز به منظور غالب آمدن بر مشکل کمبود بنزین اقدام نماید. همچنین بخش خصوصی ایران کار

ساخت یک واحد تقطیر را به عهده خواهد گرفت.

شـــرکت ملی پالایش و پخش مواد نفتـــی ایران برنامه‌ای را جهت ساخت واحدهای پالایش میعانات گازی در جنوب ایران و در نزدیکی حوزه گازی پارس جنوبی ارائه کرده است. انتظار می‌رود اولین واحد در طول ســـال‌های آتی و کلیه واحدها ســـال‌های ۲۰۱۱ تا ۲۰۱٤ به بهره‌برداری رسند.

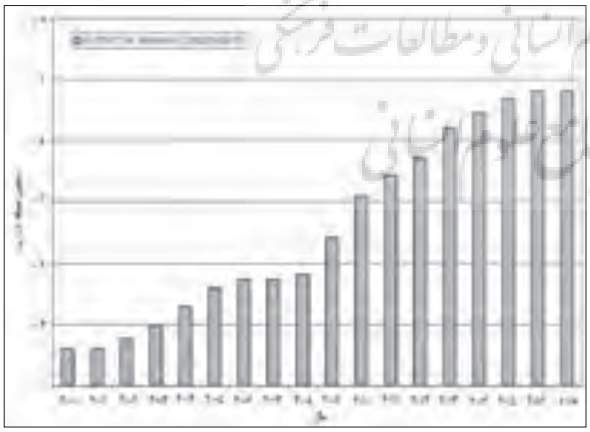
۵ - ارزیابی و قیمت‌گذاری میعانات گازی

۱-۵- ارزیابی میعانات

همانگونه که قبلاً بدان پرداختیم میعانات کاربردهای گوناگونی دارند. از میعانات در پالایشگاه‌ها و مجتمع‌های پیشرفته شیمیایی و پتروشیمی استفاده می‌شود. بنابراین به منظور ارزیابی میعانات جنبه‌های گوناگون کاربرد آنها باید مورد ملاحظه قرار گیرد.

در کاربردهـــای مربوط به پالایش، شـــرکت‌های پالایشـــی مجهز به ظرفیت‌های خاص و واحدهای ویـــژه گوگردزدایی مصرف‌کنندگان نهایی این مواد را تشکیل می‌دهند. به طور کلی این شرکت‌ها محتوای گوگـــرد را به عنوان محصول میعانات ارزشـــیابی نمی‌کنند. زیرا این

شکل ۱۰- پیش‌بینی تولید میعانات ایران (میلیون بشکه در روز)



واحدها معمولاً به هنگام فرآوری نفت‌خام گوگرد بیشتری استحصال می‌کنند. اما محتوای نفتین، آروماتیک میعانات که به ســـادگی به بنزن و تولوئـــن و گزیلین تبدیل می‌شـــوند از اهمیت بیشـــتری برخوردار اســـت، زیرا محتـــوای نفتین و آروماتیک نفتای ســـنگین اجزاء گران قیمت بنزین و نیز خوراک شیمیایی BTX به شمار می‌آیند. البته در

برخـی موارد محتوای گوگرد میعانـات نیز مورد توجه قرار می‌گیرد اما یک عامل اساسـی به شـمار نمی‌آیند زیرا مصرف کنندگان نهایی این گونه کاربرد صرفاً شـرکت‌های پالایشگاهی مجهز به واحدهای گوگردزدایی می‌باشـند. در ارتباط با کاربرد کراکینگ میعانات، از آن جـا که این محصول به عنوان خـوراک در واحدهای کراکینگ اتیل به‌کار برده می‌شـود عامل کلیدی ارزیابی همان محصول بدست آمده می‌باشد (نتیجه کار بستگی به میزان نفتای بدست آمده دارد).

البته ارزشـیابی میعانات در مناطق مختلف نیز با تفاوت‌هایی همراه اسـت. برای مثال برخلاف بازار آمریکا مشخصه کلیدی میعانات در بازار شرق دور همان سهم ناچیز استفاده از این مواد جهت کراکینگ (تولید الفین‌ها) می‌باشد. به عبارت دیگر غالب شرکت‌های پتروشیمی حاضـر در ایـن منطقه امکان فـرآوری فیزیکی میعانات سـنگین را ندارند. بنابراین اکثر خریداران میعانات در این منطقه را شـرکت‌های پالایشگاهی تشکیل می‌دهند که بیشتر به میزان محصول بدست آمده توجه می‌کنند و به محتوای گوگرد آن توجهی ندارند.

اما برخی از مصرف‌کنندگان چینی میعانات گوگردزدایی شده را به میعانات سنگین ترجیح می‌دهند.

در بازار ژاپن T-۹۰ و T-۹۵ (تقطیر ۹۰ و ۹۵ درصد) و EP نیز از اهمیت به سزایی برخوردارند. زیرا در این بازار تقاضا برای گازوئیل و مشتقات سنگین‌تر بیش از عرضه است.

۵ - مکانیزم‌های قیمت‌گذاری

فروش میعانات براسـاس قیمت‌های پایه جهانی و بسـته به منطقه تولیـد و مصرف و نیز میزان محتوای گوگرد موجود در آنها صورت می‌پذیـرد. برای مثال در خاورمیانه قیمت پایـه نفت‌خام دبی ملاک قیمت‌گذاری است در حالی که در استرالیا ملاک قیمت‌گذاری نفت‌خام تاپیس (Tapis) می‌باشد.

همانگونه که قبلاً ذکر شد از آن جا که میزان محصول بدست آمده از میعانات جنبه بسـیار مهمی از ارزشیابی را شامل می‌گردد بنابراین یکی از ملاک‌های عمده و اصلی قیمت‌گذاری میعانات نفتا می‌باشـد کـه در واقع محصول اصلی میعانات را تشـکیل می‌دهد. البته اخیراً صحبت از آن اسـت که حتی می‌توان میعانات را براسـاس سبدی از محصولات همچون نفتـا و گازوئیل قیمت‌گذاری نمود. جدول زیر نشـانگر تعیین قیمت پایه میعانات در خاورمیانه می‌باشـد قابل ذکر

جدول ۱۱- فرمول‌های قیمت‌گذاری میعانات گازی خاورمیانه

منطقه بارگیری	راس لفان	مسائید	راس لفان	راس لفان	(قطر)	(امارات متحده عربی)	(امارات متحده عربی)	پارس جنوبی (ایران)
شاخص قیمت‌گذاری	نفت‌خام دبی	نفت‌خام نفتا	نفت‌خام دبی	نفت‌خام نفتا	نفت‌خام موربان	نفت‌خام موربان	نفتا، دبی یا برنت

اسـت که در برخـی از موارد ترکیبی از مکانیزم‌هـای مختلف مورد اسـتفاده قرار می‌گیرند تا ریسـک قیمت‌گذاری برای فروشندگان و مصرف‌کنندگان کاهش یابد.

۶ - خلاصه:

پیش‌بینی‌هـا حکایت از عرضـه فزاینده میعانات گازی در فاصله زمانـی بین سـال‌های ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۷ دارنـد. در این دوره زمانی عرضه میعانات از مرز ۵/۳ میلیون بشـکه در روز خواهد گذشت. کشورهای واقع در خاورمیانه، منطقه آسیاپاسفیک و آفریقا بیشترین نقـش را در ایـن افزایش ایفا خواهند نمود. در سـال ۲۰۰۶ تولید میعانـات خاورمیانـه ۱/۲ میلیون بشـکه در روز یعنی ۳۷ درصد کل تولیـد میعانـات جهان را به خود اختصاص داد. انتظار می‌رود میزان تولید در این منطقه تا سـال ۲۰۱۷ به ۲/۵ میلیون بشـکه در روز افزایش یابد که در آن صورت سهم بازار آن ۴۷ درصد خواهد بود. ایران و قطر بیشترین نقش را در این افزایش ایفا خواهند کرد. تولید آسیا نیز تا سال ۲۰۱۷ با افزایش ۵۶ درصدی به ۰/۹ میلیون بشکه در روز خواهد رسید. اما سهم آسیا از عرضه جهانی میعانات بـدون تغییر و در حـدود ۱۷ درصد باقی خواهد ماند. آفریقا یکی دیگر از مناطق عمده تولید میعانات می‌باشـد. حجم تولید در این قاره در سـال ۲۰۰۶ حدود ۰/۶۹ میلیون بشکه در روز بود. عمده کشورهای آفریقایی تولیدکننده میعانات را الجزایر، مصر و نیجریه تشکیل می‌دهند. پیش‌بینی می‌شود میزان تولید در این قاره تا سال ۲۰۱۷ به یک میلیون بشـکه در روز افزایش یابد.

انتظـار می‌رود میـزان تقاضا برای میعانات با افزایش چشـمگیری روبه‌رو گردد. در سال ۲۰۰۶ تقاضای جهانی برای میعانات در حدود ۳ میلیون بشکه در روز بود که پیش‌بینی می‌شود این رقم با رشد ۵۰ درصدی تا سال ۲۰۱۷ به ۴/۶ میلیون بشکه در روز افزایش یابد.

کشـورهای خاورمیانه و منطقه آسیاپاسفیک محرک‌های این افزایش هستند. پیش‌بینی می‌شود تقاضا در آفریقا نیز به میزان ۱۱۰ هزار بشکه در روز افزایش یابد و علت آن نیز ساخت یک پروژه تقطیر میعانات در الجزایر می‌باشد. در کلیه مناطق دیگر میزان رشد تقاضا برای میعانات گازی کما بیش دنباله‌روی فرمول تقاضا برای دیگر محصولات نفتی را خواهند نمود زیرا از میعانات برای ترکیب با نفت‌خام سنگین هم استفاده می‌شود.

به منظور ارزش‌گذاری میعانات، جنبه‌های گوناگونی همچون محتوای گوگرد و بازده محصول مورد توجه قرار می‌گیرند. به طور کلی میعانات براساس قیمت‌های پایه متفاوت در جهان قیمت‌گذاری می‌شوند و این مهم به منطقه تولید و مصرف و محتوای گوگرد محصول نیز بستگی دارد. برای مثال در خاورمیانه میعانات براساس قیمت پایه نفت‌خام دبی و در استرالیا براساس قیمت پایه نفت‌خام تاپیس (Tapis) قیمت‌گذاری و به فروش می‌رسند.

***منابع در دفتر نشریه موجود می‌باشد**

مکان یابی ساخت نیروگاه‌های بادی در ایران

مصطفی حیدری
کارشناس محیط زیست

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

چکیده

کمبود نیروی برق در شبکه، هزینه‌های زیاد ساخت نیروگاه‌های فسیلی و سدی و آلوده سازی محیطی آن‌ها و تجدید ناپذیر بودن سوخت آن‌ها، همه، دلایلی است که ما را مجبور به ساخت نیروگاه‌هایی جدید با سوخت‌هایی پاک و تجدیدپذیر می‌کند. نیروی باد یکی از انواع انرژی‌های تمیز و تجدید پذیر در دنیا است.

هدف از نگارش این مقاله، مکان یابی بر پایه سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)، جهت یافتن بهترین مکان یـا مکان‌ها برای احداث نیروگاه‌های بادی در ایران می‌باشـد. نتایـج کار به ما می‌گوید که منطقه کوچکی در اطراف منجیل در جنوب گیلان و نزدیک به استان‌های زنجان و قزوین و همچنین در مرتبه بعد منطقه کوچک دیگری در شرق کشور و اطراف زهک و زابل در استان سیستان بلوچستان و در مرتبه بعد مناطقی در جنوب استان خراسان بزرگ برای این منظور از بقیه مناطق کشور مناسب تر می‌باشند.

مقاله

مقدمه

استفاده از انرژی بادی یعنی تبدیل نیروی باد وزیده شده به یکی از انواع مفید و قابل استفاده انرژی مانند انرژی برق و یا انرژی مکانیکی. استفاده از نیروی باد و تبدیل انرژی آن به نوعی مفید و کاربردی، پیشینه ای تاریخی دارد. شاید اولین بهره‌برداری از نیروی باد در کشتی‌های بادبانی بوده باشد. بعد از آن، آسیاب‌های بادی، دانه و خرمن‌کوب‌های بادی و پمپ‌های آب بادی نمونه‌هایی از ماشین‌های مکانیکی تاریخی با سوخت تمیز باد هستند که حتی امروزه هم کاربرد دارند؛ برای مثال سازمان محیط زیست جهت تامین آب آبشخورهای زیستگاه‌های تحت حفاظت و دور از دسترس خود، این پمپ‌های بادی را بر چاه‌ها نصب می‌کند تا با وزیدن باد و چرخش پره‌های آنها، آب از چاه کشیده شود و در آبشخور جاری شود تا حیات وحش منطقه از آن سیراب گردند.

شاید حتی خیلی از ما، با شنیدن عبارت آسیاب بادی به یاد آسیاب‌های بادی هلند یا داستان‌های دن کیشوت بیفتیم، ولی باید دانست که اولین آسیاب‌های بادی در جهان، در ایران ساخته شده و تکنولوژی آنها، از این مهد تمدن به چین و اروپا راه یافته است. محور گردان این آسیاب‌ها، عمودی بوده است و دارای شش تا دوازده تیغه مستطیل شکل دراز و پوشیده شده از چوب، پارچه یا برگ درختان نخل بوده‌اند که اطراف محور، آویخته می‌شده است. بخشی از این آسیاب‌ها در جنوب خراسان بزرگ، امروزه نیز همچنان پا بر جاست که قدمت آن را حداقل ۱۳۰۰ سال می‌دانند و همچنین در سیستان و شهر زابل و همچنین با تکیه بر بقایای آنها، در شهر سوخته نیز آسیاب‌های بادی با قدمتی چند هزار ساله، از زمان پیش از تاریخ وجود داشته است. اینها نشان می‌دهد نیاکان ما در باستان، در زمینه بهره برداری از نیروی بادی نیز در جهان پیشتاز بوده‌اند. لذت ساخت و چرخش یک فرفره بادی نیز برای کودکان، تجربه ای از استفاده از نیروی باد می‌باشد که می‌تواند پیش زمینه ای برای آنان در استفاده از این نیروی تمیز در آینده خود و کشورشان باشد.

رفته رفته، با همه‌گیر شدن انرژی سوخت‌های فسیلی و برق، نیروی باد از یاد رفت و آسیاب‌های بادی یک به یک تعطیل شدند و یا موتورهای دیزلی یا برقی جای پره‌های بادی آنها را گرفت و کم کم آسیاب‌های بادی داشتند به تاریخ می‌پیوستند که در دهه ۱۹۷۰ میلادی، بحران انرژی پیش آمد و همه آگاه شدند که سوخت‌های فسیلی نیز به زودی به اتمام خواهند رسید؛ در دهه‌های بعد نیز زنگ خطر بحران زیست محیطی حاصل از استفاده فراوان از سوخت‌های فسیلی به صدا در آمد و اینها همه، سبب شد تا جهانیان دوباره به فکر استفاده از نیروی باد بیفتند.

آنچه امروزه در جهان و در این نگاشته از انرژی بادی برداشت می‌شود، تبدیل نیروی باد به انرژی برق توسط توربین‌های بادی پیشرفته می‌باشد؛ که به انرژی برق تولید شده، انرژی برق – بادی می‌گوییم. اساس بیشتر این توربین‌های جدید همان پره‌های آسیاب بادی‌های قدیمی‌است با این تفاوت که چرخش محور پره‌ها در اینجا به یک جعبه دنده منتقل و پس از افزایش کافی سرعت به ژنراتور الکتریکی منتقل می‌شود و به زبان ساده با چرخش یک آهنربا در میان سیم پیچ، جریان برقی متناسب با سرعت باد و پارامترهای مربوط به طراحی توربین ایجاد می‌شود. مقیاس نیروگاه‌های بادی می‌تواند برای رفع نیاز یک منزل، یک مزرعه، یک روستا و یا حتی برای پیوستن به شبکه ملی توزیع برق باشد.

در انتهای سال ۲۰۰۶ میلادی توان تولیدی برق ژنراتورهای بادی، ۷۳/۹ گیگا بایت بوده است. هرچند این مقدار، تنها ۱درصد از میزان برق تولیدی در جهان می‌باشد ولی کشورهایی نیز هستند که بخش عمده ای از تولیدات برق خود را از این راه به دست می‌آورند. برای مثال در دانمارک ۲۰درصد، در اسپانیا ۹درصد، و در آلمان ۷درصد از تولیدات برق، توسط انرژی بادی تولید می‌شود. میزان تولید برق از انرژی بادی نیز در طی سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۶ بیش از ٤ برابر شده است.

نیروی بادی، انرژی ای فراوان، مداوم، تجدید پذیر، تمیز و با توزیعی وسیع است که جایگزینی آن با نیروگاه‌های سوخت فسیلی باعث کاهش گازهای سمی‌و گلخانه ای می‌شود. به مراکزی که در آنها توربین‌های بادی به طور وسیع و گسترده نصب می‌شوند، مزارع یا پارک‌ها بادی می‌گویند. البته انرژی زیاد را فقط از تعداد فراوان توربین‌های کوچک بادی نمی‌توان برداشت کرد، بلکه می‌توان یک توربین بسیار غول پیکر نیز طراحی و نصب کرد که بتواند انرژی فراوانی از باد بگیرد.

توربین‌های بادی، انواع گوناگونی دارند. از مهمترین انواع پروانه‌ای با محور افقی، می‌توان مدل یک، دو و سه پره‌ای، مدل مزرعه‌ای (پُر پره ای) و از مهمترین انواع با محور عمودی، می‌توان مدل ساوینوس و مدال داریوس (مانند ته هم زن دستی) را بر شمرد. هر مدلی، کاربرد، هزینه، کارآیی و شرایط استفاده خود را دارد و برای طراحی و ساخت و نصب یک توربین بادی بزرگ، به همکاری تخصص‌های فراوان و حتی چندین وزارتخانه از دولت احتیاج است.

با برخورد باد به پره‌های توربین بادی و در نتیجه چرخش روتور، انرژی باد استخراج و تبدیل به انرژی الکتریسیته می‌شود. مقدار این انرژی به طور مستقیم با چگالی هوا، مساحت دایره جاروب شده توسط پره‌ها و مکعب سرعت باد رابطه مستقیم دارد که فرمول آن بدین شرح است:

فرمول ۱:

$$P=\frac{1}{2}\alpha\rho\pi r^2 v^3$$

P: انرژی تولید شده به واحد وات

α: ضریب راندمان توربین (بستگی به طراحی توربین دارد و طبق قانون آلبرت بتز هیچ گاه از ۵۹,۳درصد فراتر نمی‌رود.)

ρ: چگالی هوا به واحد کیلوگرم در مترمکعب

π: عدد پی (تقریباً برابر با ۳,۱٤)

r: شعاع پره‌های توربین بادی به واحد متر

v: سرعت باد به واحد متر بر ثانیه

روش کار

همانگونه که از فرمول۱ مشخص است، سه گروه از عوامل هستند که بر مقدار انرژی برق – بادی تولیدی، اثر می‌گذارند:

عوامل ثابت: عامل‌هایی هستند که همواره ثابت هستند که در این فرمول، ضریب ۰/۵ و عدد π از این دسته هستند.

عوامل مربوط به طراحی توربین: عواملی هستند که تنها به توربین طراحی شده توسط کارخانه بستگی دارند و همواره برای یک نوع توربین واحد، در هر جا که نصب شود، ثابت هستند. در این فرمول r یا شعاع پره‌های توربین و α یا ضریب راندمان یا کارآیی توربین که توسط کارخانه سازنده و پس از انجام آزمایشات به دست می‌آید جزء این دسته از عوامل هستند. همانطور که گفته شد، طبق قانون منتشر شده در سال ۱۹۱۹ میلادی توسط آلبرت بتز (Albert Betz، فیزیکدان آلمانی)، به خاطر رفتارهای باد پس از برخورد با پره‌ها و تغییر سرعت و جهت آن، توربین‌های بادی حداکثر قابلیت استخراج ۵۹/۳ درصد انرژی بادی را خواهند داشت. به سخن دیگر توربین ایده آل توربینی است که α آن ۰/۵۹۳ باشد.

عوامل مربوط به محیط: عواملی هستند که به خواص محیط نصب این توربین‌ها بستگی دارند. در این فرمول ρ یا چگالی هوا و v یا سرعت باد دو خاصیتی هستند که در حیطه پارامترهای آب و هواشناسی هستند و توسط سازمان‌های مربوطه سال‌هاست‌اندازه‌گیری و ضبط می‌شوند.

آنچه برای مکان‌یابی، قابل تحلیل و بررسی است تنها عوامل محیطی است، که شامل سرعت باد و چگالی هوا می‌باشند. این عوامل آب و هواشناختی و مخصوصاً عامل سرعت باد، نقش بسیار مهمی‌را در تعیین مکان‌های مناسب برای ایجاد مزارع و پارک‌های بادی بازی می‌کنند؛ ولی نمی‌توان تنها با تکیه بر آنها بهترین مناطق را مشخص کرد. با بررسی عوامل آب و هواشناسی که در این نگاشته نیز نتایجش خواهد آمد، تنها می‌توان بهترین مناطق را برای بررسی‌ها و انجام آزمون‌هایی بیشتر نامزد کرد. هرچند سرعت باد، هرچه بیشتر باشد، برق بیشتری تولید می‌شود، ولی اگر در مواقعی ازحد بگذرد و بادهای ویرانگری بوزد، بسیار برای توربین‌ها خطرناک است. مناطق ایده‌آل برای احداث مزارع بادی مناطقی هستند که در طول سال، به طور مداوم بادی افقی و بدون تلاطم در یک جهت در حال وزیدن باشد. تعداد زیاد روزهای یخبندان در سال و رسیدن دمای هوا به ۲۰°C- نیز می‌تواند برای توربین‌ها خطرآفرین باشد و صدمات زیادی به تاسیسات وارد سازد. عامل نزدیکی به محل مصرف انرژی یا خطوط انتقال شبکه نیز از عوامل موثر در مکان‌یابی پارک‌ها یا مزارع بادی است.

البته این همه دقت برای مکان‌یابی بهترین منطقه، برای احداث مزارع بادی ای با مقیاس ملی است وگرنه در جایی که باد، نسبتاً خوب بوزد، افراد می‌توانند از انرژی آن برای کار مکانیکی یا تولید برق در خانه و مزرعه خود بهره ببرند.

معمولاً پس از نامزد شدن مناطقی برای احداث مزارع بادی که از اهداف این نگاشته است، بایستی آزمون‌های بیشتری در هر یک از آن مناطق انجام شود. یکی از این کارها نصب برج‌های هواشناسی ویژه‌ای در منطقه می‌باشد که به طور دقیق و علمی، سرعت و جهت باد را در ارتفاعات مختلف،اندازه گیری می‌کنند. این برج‌ها با ارتفاع ۳۰ تا ٦۰ متر ساخته می‌شوند که در فواصل ارتفاعی مشخصی، یک بادنما و یک بادسنج دقیق بر آنها نصب شده است. این تجهیزات در طول حداقل یک یا دو سال، همواره داده‌های مرتبط با سرعت و جهت باد را در ارتفاعات مختلف ثبت و ذخیره می‌کنند و سپس داده‌ها را برای ذخیره سازی و تجزیه و تحلیل به سرور مرکزی انتقال می‌دهند. بعد از انجام ماموریت، این برج‌ها پیاده می‌شوند و می‌توانند در منطقه ای دیگر نصب شوند.اندازه گیری در ارتفاع‌های مختلف، برای دستابی به پروفیل سرعت باد در ارتفاع‌های مختلف منطقه است؛ هرچند که افزایش تندی و یکنواخت‌تر شدن جهت باد با افزایش ارتفاع تقریباً امری مسلم است و سرعت باد تقریباً از قانون پروفیل انرژی باد پیروی می‌کند. قانون پروفیل انرژی باد می‌گوید که سرعت باد متناسب با ریشه هفتم ارتفاع تغییر پیدا می‌کند. طبق این قانون با دو برابر کردن ارتفاع توربین‌ها، باد در آنجا با سرعتی ۱۰درصد بیشتر می‌وزد و درنتیجه این افزایش سرعت، طبق فرمول ۱/ ۳٤ درصد انرژی برق – بادی بیشتری تولید می‌شود.

مسلماً پس از طی این مراحل، مسئله یافتن نقاط دقیق نصب توربین‌ها و ارتفاع آنها و فاصله هر دکل توربین از هم و نصب چه تعداد توربین بر یک دکل پیش می‌آید که هر کدام باید جداگانه و به طور دقیق و علمی‌تعیین گردد.

آنچه در این نگاشته هدف است، بررسی عوامل محیطی یا آب و هواشناختی موثر بر انرژی بادی است که نتیجه آن تولید نقشه‌های پایه و نامزد کردن مناطقی برای تحقیقات بیشتر که در بالا گفته شد می‌باشد. مسلماً اگر صنایعی و یا اهدافی باشند که بایستی در مناطقی با حداقل باد اجرا شوند نیز این نگاشته می‌تواند برای آن منظور نیز مفید باشد.

سه نوع ایستگاه آب و هوا و اقلیم شناختی در ایران به ثبت

پارامترهای محیطی مشغول‌اند:

ایستگاه‌های بارانسنجی: تحت نظر سازمان‌های آب کشور و وزارت نیرو که تنها آمار میزان بارش‌ها را ثبت می‌کنند.

ایستگاه‌های کلیماتولوژی یا اقلیم شناسی: تحت نظر سازمان‌های هواشناسی کل کشور که داده‌های مربوط به اقلیم مانند دما، رطوبت، فشار و باران را ثبت می‌کنند.

ایستگاه‌های سینوپتک: استانداردترین و کامل‌ترین نوع ایستگاه‌ها و تحت نظر سازمان‌های هواشناسی کل کشور که تمام پارامترهای استاندارد هوا و اقلیم شناسی را ثبت می‌کنند؛ یعنی علاوه بر موارد ذکر شده در ایستگاه‌های کلیماتولوژی، داده‌های مربوط به پدیده طوفان و غبار، قابلیت دید، ابرناکی، ساعت آفتابی و باد را نیز ثبت می‌کنند.

از آنجا که پارامترهای باد، تنها در ایستگاه‌های سینوپتیک اندازه‌گیری می‌شوند، برای بررسی داده‌های آب و هواشناسی مرتبط، تمام ۱۵۲ ایستگاه سینوپتیک فعال کشور که همه دارای حداقل ۱۰سال آمار می‌باشند را برای تحقیق، انتخاب می‌کنیم. نقشه این ۱۵۲ ایستگاه سینوپتیک و پراکنش جغرافیایی آن‌ها در شکل ۱ آمده است. در تهیه نقشه‌های بعدی نیز از داده‌های همین ایستگاه‌ها استفاده شده است. لازم به ذکر است، تمام پارامترهایی که در این تحقیق به طور سالانه بررسی خواهند شد، به صورت ماهانه نیز قابل استخراج می‌باشند. نقشه‌هایی که در زیر می‌آیند چون برای آگاهی از وضع کلی مناطق کشور می‌باشند به صورت متوسط‌های سالانه تولید شده‌اند که در تحقیقات دقیق‌تر و جزیی‌تر، به صورت فصلی و یا حتی ماهانه نیز می‌توانند تولید شوند.

شکل ۱: نقشه ۱۵۲ ایستگاه سینوپتیک مورد مطالعه و پراکنش جغرافیایی آن‌ها

همانطور که شکل ۱ مشخص است، تراکم ایستگاه‌ها، از غرب تا شمال کشور، زیاد و در کویرهای مرکزی و مناطق جنوب شرق ایران کم می‌باشد.

تحلیل سرعت باد ایران

حرکات افقی هوا را باد (Wind) گویند. این حرکات موجب می‌شوند تا اختلافات مربوط به دما، رطوبت و فشار که در جهات افقی جو وجود دارند، از بین رفته و هوا به حالت تعادل در آید؛ ولی هیچ وقت این تعادل پایدار نمی‌ماند و تغییر دیگری، این پایداری را بر هم می‌زند؛ بنابراین باد نیز هیچگاه متوقف نمی‌شود. حرکات عمودی هوا که در ستون‌هایی از جو به وجود می‌آید را جریان هوایی یا (Current) گویند.

حرکت هوا در سطوح پایین جو و نزدیک به سطح زمین، به شدت تحت تاثیر اصطکاک سطحی و همرفت گرمایی (اگر سطح زمین گرمتر از هوا باشد که سبب صعود هوا شود) قرار دارد. این دو عامل باعث تلاطم و حرکات پیچکی باد در این سطوح می‌شود. درجه تلاطم هوا با افزایش سرعت باد نیز زیاد می‌شود. به طور کلی هرچه از سطح زمین بالاتر رویم، هم تندی باد بیشتر می‌شود و هم جهت حرکتش یکنواخت‌تر و مستقیم‌تر می‌شود.

چون حرکات پیچکی باد در سطح زمین به دلایل گفته شده زیاد است چنین نتیجه گرفته می‌شود که در سطح آب که این عوامل حذف می‌شوند، باد باید یکنواخت باشد. علاوه بر مسیر یکنواخت‌تر، چون عوامل گفته شده سرعت باد را نیز کاهش می‌دهند بنابراین بادها در شرایط مساوی هواشناسی، روی دریا از سرعت بیشتری برخوردارند تا روی خشکی.

با افزایش ارتفاع نسبت به سطح زمین، اصطکاک سطحی و همرفت گرمایی کاهش یافته و در نتیجه تلاطم باد از بین رفته و سرعت و ماندگاری آن افزایش می‌یابد. با افزایش ارتفاع از لایه‌های نزدیک سطح زمین، سرعت باد به شدت افزایش می‌یابد؛ به طوری که سرعت آن در ۱۰ متر اولیه از سطح زمین، دو برابر می‌شود؛ و از آن به بعد تا ارتفاع ۴۵۰ الی ۶۰۰ متری، آهنگ افزایش سرعت باد نسبتاً کند است.

برای تجزیه و تحلیل بادهای کشور بایستی پارامترهایی که مربوط به باد هستند را بررسی کرد. داده‌های مربوط به باد، تحت ٤ پارامتر در ایستگاه‌های سینوپتیک کشور ثبت می‌شوند. از این چهار پارامتر، دو تایش بیشتر می‌تواند برای بررسی بادها با هدف مکان‌یابی مزارع بادی مفید باشد که این دو بدین شرح‌اند:

متوسط سرعت باد به واحد نات

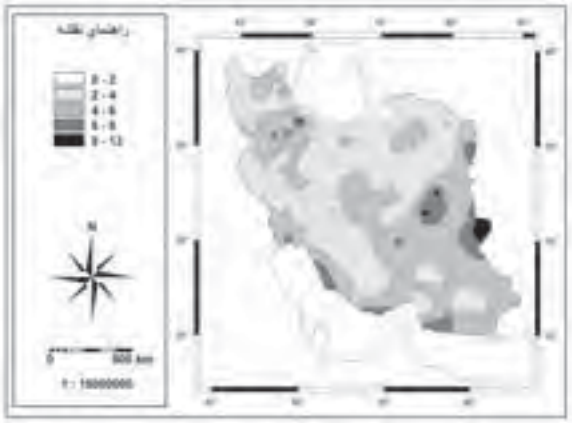
این پارامتر، میانگین سرعت باد در یک ایستگاه را به واحد نات در اختیار ما قرار می‌دهد. هر نات یا گره دریایی برابر ۱/۸۵۲ کیلومتر در ساعت می‌باشد. بسته به مقیاس زمانی مد نظر ما که در اینجا سالانه است، مقدار این پارامتر، متوسطی از سرعت باد در تمام اوقات سال

است. به عبارت دیگر میزان سالانه این پارامتر برابر با مقدار چرخش بادسنج در طول یک سال می‌باشد. این میانگین، زمان‌های سکون هوا را نیز به حساب می‌آورد و اینگونه نیست که مقدار این پارامتر، تنها میانگین سرعت بادها باشد، بلکه در زمان آرامش جو نیز عدد صفر به عنوان سرعت باد ساکن وارد محاسبات شده و مقدار میانگین را می‌کاهد.

پس، ارزیابی این پارامتر و تهیه نقشه آن برای کل کشور برای هدف این تحقیق، اولین گام و بسیار مفید می‌تواند باشد. نکته نگران‌کننده این پارامتر این است که این پارامتر، هر بادی با هر جهتی را به حساب آورده است. اگر توربین‌های بادی نصب شده توانایی چرخش و قرارگیری خودکار در مسیر باد را نداشته باشند، که توربین‌های با محور افقی و غول پیکر معمولاً همین گونه‌اند، این موضوع می‌تواند ما را در تصمیم‌گیری نهایی دچار اشتباه کند؛ بدین صورت که مثلاً ممکن است متوسط سالانه سرعت باد ایستگاه A برابر ۲۰ نات و ایستگاه B برابر ۱۰ نات باشد. اگر تنها با تکیه بر این پارامتر، ایستگاه A را مناسب‌تر بدانیم شاید اشتباه کرده باشیم؛ چون ممکن است این ۲۰ نات حاصل ٤ دسته باد ۵ ناتی در ٤ جهت مختلف باشد در حالی که ایستگاه B مثلاً باد غالبش در یک مسیر خاص ۸ نات و در سایر مسیرها نیز ۲ نات باشد. این جا است که اگر توربین‌ها توانایی کار با بادهایی با جهت‌های مختلف را نداشته باشند مسئله باد غالب پیش می‌آید که در این پارامتر به حساب نمی‌آید. البته نام صحیح‌تر این پارامتر، به جای متوسط سرعت باد، متوسط تندی باد است چون سرعت، بردار است و خواستار جهت ولی این پارامتر فارغ از جهت است.

برای این منظور، ابتدا داده‌های متوسط سرعت باد به نات همه ۱۵۲ ایستگاه سینوپتیک کشور را استخراج کرده و سپس با استفاده از میان‌یابی، نقشه GIS میزان متوسط سرعت باد به نات ایران را رسم کرده‌ایم. کمترین مقدار متوسط سالانه سرعت باد برای کاشان در اصفهان با ۱/۱ نات و سپس گنبد قابوس در گلستان با ۱,۷ نات و بیشترین میزان با ۱۲/۳ نات برای منجیل در گیلان و سپس با ۱۰/۲ نات برای زابل در سیستان بلوچستان و سپس با ۹/۹ نات برای خور بیرجند در خراسان جنوبی می‌باشد. میانگین کل کشور نیز ٤/۸۰ نات می‌باشد. همانطور که بعداً در شرح نقشه تهیه شده خواهیم گفت، همین عدد میانگین کل کشور می‌تواند به ما نشان دهد که ایران به طور گسترده مستعد تامین برق از طریق انرژی بادی نمی‌باشد. در جدول ۱، داده‌های مربوط به میزان متوسط سالانه سرعت باد به نات چند ایستگاه آمده است. شکل ۲ نقشه GIS متوسط سالانه سرعت باد به نات ایران است که با استفاده از میانیابی اطلاعات ۱۵۲ ایستگاه سینوپتیک رسم شده است.

شکل ۲: نقشه GIS متوسط سالانه سرعت باد در ایران



همانطور که در شکل ۲ مشخص است، دو لکه سفید رنگ کوچک اطراف ایستگاه‌های کاشان و گنبد قابوس، نشانگر کم بادترین مناطق کشور هستند. در این شکل با افزایش تن رنگ خاکستری، طبق راهنمای آن، بر میزان متوسط سالانه تندی باد افزایش می‌یابد. نوارهای تیره باریک و منقطع در سواحل جنوبی، دارای تندی باد ٦ تا ۸ نات می‌باشد. لکه سیاه رنگ کوچکی در جنوب گیلان، لکه دیگری در شرق کشور و همچنین دو لکه کوچک در جنوب خراسان با تندی باد بین ۸ تا ۱۰ نات، به ترتیب، پرباد ترین مناطق کشور می‌باشند. از میان جزایر جنوبی نیز جزایر کیش و سیری با مقداری حدود ۸ نات، از شرایط خوب بادی برخوردارند.

یک قانون پایه و عمومی می‌گوید مناطقی که می‌توان به طور مقرون به صرفه و در مقیاسی بزرگ از انرژی بادی آنها برق مناسبی تولید کرد بایستی دارای حداقل متوسط سرعت باد ۸ نات در سال باشند. با در نظر گرفتن این قانون و شکل ۲ به این نتیجه می‌رسیم که تنها منطقه کوچکی دراطراف منجیل در جنوب گیلان و مناطقی در شرق کشور در اطراف زابل و زهک چسبیده به مرز در دو استان سیستان بلوچستان و خراسان و دو منطقه کوچک در جنوب خراسان و با تخفیف، دو جزیره کیش و سیری هستند که از اولین و پایه‌ای ترین آزمون انرژی بادی نمره قبولی می‌گیرند. جالب آنکه آسیاب‌های بادی باستانی ایران که با محور عمودی خود با بادهایی با جهت‌هایی مختلف می‌توانسته‌اند به کار بیفتند نیز در همین مناطق یعنی اطراف زابل و جنوب خراسان وجود دارند. با نظر به کوچکی این مناطق، بر خلاف و در مقایسه با استعداد فراوان و گسترده ایران در بهره گیری از انرژی خورشیدی (که شرح آن در مقاله ای به قلم نگارنده و چاپ شده در شماره ۱۷ مجله نفت و انرژی بیان شد)، ایران استعداد گسترده‌ای برای بهره‌گیری از انرژی بادی ندارد.

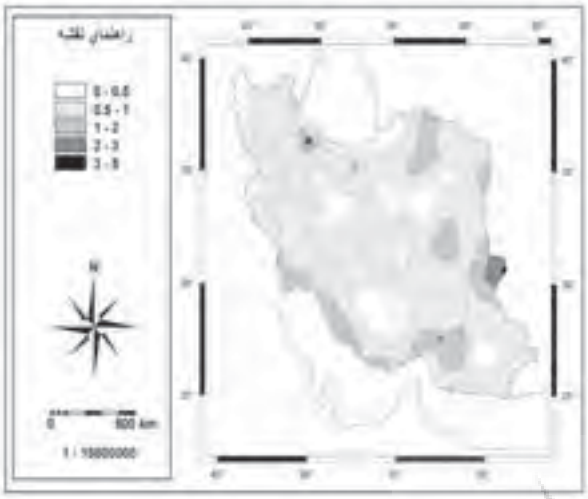
جهت و سرعت به واحد نات و میزان درصد باد غالب

باد غالب، بادی اســت که غالباً از جهت معینی بوزد و وفور آن از سایر بادهای آن منطقه بیشتر باشد. در صورتی که توربین‌های بادی توانایی چرخش و قرار گرفتن در مسـیر باد را نداشـته باشـند که اکثـر توربین‌های با محـور افقی و بزرگ جثه و معمولی نیز همین گونه‌اند، این پارامتر، بهترین پارامتر برای تحقیق و مکان‌یابی مزارع بادی می‌باشـد؛ زیرا تنها با باد غالب منطقه سـر و کار دارد. جهت باد غالب، سـرعت باد غالـب و همچنین میزان درصد زمان وزش باد غالب از جمله اجزایی اسـت که در این پارامتر ثبت می‌شـود. در ایـن پارامتر همچنین میـزان درصد آرامش جو نیز اندازه‌گیری می‌شود. باید توجه داشت که سرعت ذکر شده به واحد نات برای باد غالب که در این پارامتر ارایه می‌شـود، تنها متوسط سرعت باد در اوقاتی اسـت که باد غالب در حال وزیدن باشـد. بنابراین باید توجه شـود که برای مقایسـه باد غالب دو ایستگاه با هم، نبایستی تنها سرعت باد غالب را در نظر داشت؛ چون برای مثال، ایستگاهی با باد غالب با سرعت ۱۰ نات و میزان ۱۰درصد از ایستگاهی با باد غالب با سـرعت ۵ نات و میزان ۳۰درصد کم بادتر می‌باشد چون تداوم بیشـتر باد در ایستگاه دوم سرعت بیشتر باد در ایستگاه اول را جبـران می‌کنـد و از نظر حجم باد عبوری، از آن جلو می‌زنـد.

برای این منظور، سـرعت بـه نات و میزان درصد باد غالب همه ۱۵۲ ایسـتگاه سینوپتیک کشور استخراج شد. برای تهیه یک نقشه واحـد از این دو پارامتر، ابتدا پارامتری به نام سـرعت نسـبی باد غالب تعریف شد که میزان آن برابر حاصل ضرب متوسط سرعت باد غالب در میزان درصد آن قرار داده شـد و سـپس این پارامتر جدید برای تک تک ایستگاه‌ها محاسبه شد. همچنین در ضمن این محاسـبات، واحد باد از نات به واحد استاندارد متر بر ثانیه تبدیل شد، تا بتواند وارد فرمول انرژی برق – بادی شود. برای مثال اگر متوسـط سرعت باد غالب آباده در فارس ۸/۹ نات و میزان درصد آن ۱۱/٤درصد باشـد، سرعت نسـبی باد غالب آن ایستگاه برابر با ۰/۵۲ متر بر ثانیه می‌باشـد.

کمترین مقدار متوسـط سالانه سرعت نسبی باد غالب مربوط به کاشان در اصفهان با ۰/۱۰ متر بر ثانیه و سپس خوی در آذربایجان غربـی با ۰/۲۰ متر بر ثانیه و بیشـترین میـزان با ٤/۹۹ متر بر ثانیه برای منجیل در گیلان و سـپس با ۳/۳۹ متر بر ثانیه برای زهک و سپس با ۲/٦۲ متر بر ثانیه برای زابل هر دو در سیستان بلوچستان می‌باشـد. میانگین کل کشـور نیز ۰/۸۲ متر بر ثانیه می‌باشـد. در جدول ۱، داده‌های مربوط به میزان متوسـط سـالانه سرعت نسبی باد غالب به متر بر ثانیه چند ایسـتگاه آمده اسـت. شـکل ۳ نقشه GIS متوسـط سالانه سرعت نسـبی باد غالب به متر بر ثانیه ایران است که با استفاده از میانیابی اطلاعات ۱۵۲ ایستگاه سینوپتیک رسم شده است.

شکل ۳: نقشه GIS متوسط سالانه سرعت نسبی باد غالب در ایران



همانطور که در شکل ۳ مشخص است، فقط لکه‌های کوچک سیاه رنگ در اطراف ایسـتگاه منجیل در جنوب گیلان و سـپس در شرق کشـور، چسبیده به مرز، اطراف ایستگاه زهک در سیستان بلوچستان از سـرعت نسـبی باد غالب ۳ تا ۵ متر بر ثانیه برخوردارند. علاوه بر اطراف این دو ناحیه، منطقه کوچکی در اطراف ایسـتگاه کهنوج در کرمان نیز با سرعت نسبی باد غالب ۲ تا ۳ متر بر ثانیه نیز از نظر باد غالب، شـرایط بهتری نسبت به سـایر بخش‌های کشور دارد. جزایر نامبرده در قسـمت قبل نیز باد غالب مناسـب و چشمگیری ندارند. طبق شکل ۳ و اطلاعات جدول ۱، منطقه بسیار کوچک و سیاه رنگ اطراف منجیل دارای بهترین شـرایط از نظر متوسـط سالانه سرعت نسبی باد غالب در ایران می‌باشد.

تحلیل چگالی هوای ایران

چگالی، غلظت یا جرم حجمی‌هوا عبارت است از جرم ملکولهای هـوا در واحد حجم که بـا واحد کیلوگرم بـر مترمکعب در فرمول انرژی بادی وارد می‌شـود و به طور مستقیم بر آن اثر می‌گذارد؛ زیرا اگر سایر شرایط جوی و شرایط باد عبوری از منطقه مانند سرعت آن را مسـاوی در نظر گیریم، بادی با چگالی بیشتر، ملکول‌های بیشتری را به پره‌های توربین می‌کوبد و این، سـبب چرخش بیشـتر توربین می‌شـود. سرعت باد، سـرعت حرکت ملکول‌ها و چگالی هوای باد، میزان تراکم آن ملکول‌ها در واحد حجم است و دقیقاً همین ملکول‌ها هسـتند که می‌توانند با برخورد خود به اجسام به آنها نیرو وارد کنند و کار انجام دهند.

چگالی گازها پارامتری اسـت پیرو سـایر پارامترهای گاز که روابط بین این پارامترها فرموله شـده‌اند. یکی از این فرمول‌ها

کـه شـکلی از معادلـه گازهای ایده آل اسـت و خـود حاصل تلفیق قوانین و معادلات بویل، شـارل و گیلو سـاک می‌باشـد، بدین‌شـرح اسـت:

فرمول ۲:

$$P=\frac{\rho RT}{M}$$

P: فشار هوا به واحد پاسکال

ρ: چگالی هوا به واحد کیلوگرم بر مترمکعب

R: عدد ثابت گازها (برابر ۸/۳۱٤٤۷۲ با واحد مترمکعب پاسـکال بر کلوین مول یا واحد ژول بر کلوین مول)

T: دمای مطلق هوا به واحد کلوین

M: جرم مولی هوا به واحد مول

حال اگر فرمول را بر حسب چگالی هوا بنویسیم و عدد ثابت فرمول و جرم مولی هوا را که مرتبط با پارامترهای هواشناسی وهمچنین در کنترل آنها نیستند و می‌توان برای همه جا ثابت در نظرشان گرفت را از فرمول برداریم نتیجه می‌شود:

فرمول ۳:

$$\rho=\frac{P}{T}$$

از رابطه نسـبی فرمول ۳ مشـخص می‌شود که چگالی هوا با فشار هوا ارتباط مستقیم و با دمای هوا ارتباط معکوس دارد و در نتیجه با فشـار تقسـیم بر دما ارتباط دارد. طبق این رابطه، در دمای ثابت اگر فشـار را زیاد کنیم، چگالی بیشـتر می‌شود و همچنین در فشار ثابت نیز اگر دما را بالا بریم چگالی کم می‌شود که در واقع هم همین اتفاق می‌افتد. بنابراین از پارامترهای فشار و دمای هوا می‌توانیم به چگالی هوا برسیم و این راهی است که ما را از دو پارامتر فشار و دمای هوا که توسط ایستگاه‌های سینوپتیک اندازه گیری می‌شود به پارامتر چگالی هوا که جایی‌اندازه گیری نمی‌شود، می‌رساند. مسلماً با افزایش ارتفاع نیز چگالی هوا کم می‌شود که این معلول کاهش فشار است و نه خود ارتفاع. پس اینک با بررسی این دو پارامتر یعنی فشار و دمای هوا در ایران، به چگالی هوای ایران می‌رسیم.

فشار هوا

فشـار اتمسـفر عبارت است از وزن ستون عمودی‌ای از هوا که در بالای یک سطح معینی باشد. فشار هوا با افزایش ارتفاع، کاهش می‌یابد. اگر دما ثابت بماند، زمانی که فشـار هوا افزایش می‌یابد ملکول‌های بیشتری در یک حجم معین از هوا وجود خواهد داشت؛ پس چگالی هوا بیشـتر می‌شود و زمانی که فشار هوا کاهش می‌یابد، ملکول‌های کمتری در آن حجم از هوا وجود خواهند داشـت؛ یعنی چگالی هوا کمتر می‌شود. واحد استاندارد جهانی فشار هوا، پاسکال است.

برای تجزیه و تحلیل فشـار هوای کشـور بایسـتی پارامترهایی که مربوط به فشـار هوا هسـتند را بررسی کرد. داده‌های مربوط به فشار هوا تحت ١٤ پارامتر در ایستگاه‌های سینوپتیک کشور ثبت می‌شوند. این ١٤ پارامتر شامل فشار بخار یا مه و همچنین کمینه، بیشینه و انواع متوسط سه نوع فشار هوای‌اندازه گیری شده QFF، QFE و QNH می‌باشـد. از آنرو که ما با متوسـط سالانه و همچنین فشار واقعی هر ایستگاه کار داریم، تنها یک پارامتر از این ١٤ نوع، با نام متوسط فشار هوای QFE به واحد هکتو پاسکال به کار این تحقیق می‌آید که اوضاع فشار هوای ایران را توسط این پارامتر بررسی خواهیم کرد.

متوسط فشار هوای QFE به واحد هکتو پاسکال:

فشـار هوای QFE همان فشارحقیقی و واقعی ایستگاه هواشناسی است که توسط دستگاه فشارسنجی که در محل همان ایستگاه نصب شـده، ثبت می‌شود. مقدار این عدد برخلاف پارامترهای فشار هوای QFF و QNH، نسـبت به ارتفاع یا شـرایط جوی دیگری همچون دما تصحیح نمی‌شـود؛ بنابراین فشـار حقیقی ایستگاه، همین پارامتر می‌باشد و چون ما چگالی واقعی همان منطقه ایستگاه را می‌خواهیم، عددی که به عنوان فشـار بایسـتی وارد فرمول چگالی هوا شود نیز مقدار همین پارامتر است. پارامترهای دیگر فشار، فشار واقعی منطقه را نشـان نمی‌دهند چون هر کدام از آنها حاصل تصحیح همین فشار واقعی در شرایطی خاص و استاندارد هستند. هر هکتو پاسکال برابر ۱۰۰ پاسکال می‌باشد.

تولید نقشه متوسط سالانه فشار هوای QFE از ایران، ما را در درک اوضاع واقعی فشـار هوای کشـور آشنا می‌کند و همچنین در فرمول محاسبه چگالی هوا، با تقسیم آن بر دما، ما را به نقشه چگالی هوای کشور می‌رساند. برای رعایت اختصار، از آوردن این نقشه خودداری می‌کنیم. کمترین مقدار متوسـط سالانه فشار هوای QFE مربوط به ایستگاه آلودگی سـنجی فیروزکوه در تهران با ٧١١/٦ هکتو پاسکال و سـپس آبعلی در تهران با ٧٥٧/٩ هکتو پاسکال و بیشترین میزان با ١٠١٩/٤ هکتو پاسکال برای آستارا و سپس با ٣/١٠١٩ هکتو پاسکال برای بندر انزلی هر دو در گیلان می‌باشـد. میانگین حسـابی متوسط سـالانه فشار هوای QFE ایستگاه‌های سینوپتیک نیز ٨٩٧/١٥ هکتو پاسکال می‌باشد. در جدول ۱، داده‌های مربوط به میزان متوسط سالانه فشار هوای QFE به هکتو پاسکال چند ایستگاه آمده است.

دمای هوا

درجه حرارت یا دما، میزان سـرعت یا میانگین انرژی جنبشـی هر ملکول از ملکول‌های هوا؛ و گرما، انرژی برخاسته از حرکت تصادفی تمام ملکول‌های موجود در جسـم اسـت. بنابراین درجه حرارت یا

دما نمودی از شـدت انرژی گرمایی جسـم می‌باشد. دمای هوا یکی از اساسی‌ترین و آشناترین پارامترهای هواشناسی است. اساسی‌ترین عامل ایجاد دمای هوا، انرژی حاصل از جذب تابش‌های با طول موج کوتاه خورشید در سطح زمین است.

برای تجزیه و تحلیل دمای هوای کشـور بایسـتی پارامترهایی که مربوط به دمای هوا هسـتند را بررسی کرد. داده‌های مربوط به دمای هوا تحت ۱۲ پارامتر در ایستگاه‌های سینوپتیک کشور ثبت می‌شوند. این ۱۲ پارامتـر عبارتند از میانگین دماهای کمینه و میانگین دماهای بیشـینه و میانگین دما و همچنین دمای‌های کمینه و بیشینه مطلق در یک ماه. همچنین میانگین دماهای نقطه شـبنم و اختلاف بین متوسط کمینه و بیشـینه‌ها و ثبت تعداد روزهایی با اوضاع دمایی خاص نیز در این دسـته می‌باشـند. از میان این پارامترها، بیشتر از همه، پارامتر میانگین دمای هوا به سانتی‌گراد می‌تواند به ما کمک کند چون نمودی از متوسط کلی هوای منطقه می‌باشد.

میانگین دمای هوا به سانتی گراد:

این پارامتر، متوسط حسابی دمای تمام لحظه‌های مقیاس زمانی مد نظر ما که در اینجا سال است، می‌باشد و به ما می‌گوید به طور متوسط دمای هوا در یک سال چند است. البته این پارامتر تفاوت میان دماهای حداقل و حداکثر را نشان نمی‌دهد. برای مثال اگر در ایستگاه مرطوبی همواره دما ۱۰°C و در ایسـتگاه خشکی نیمی‌از اوقات دما به ۰ C° و نیم دیگر به ۲۰°C برسـد، این پارامتر برای هر دو ایستگاه یکسان و برابر ۱۰°C اندازه گیری و ثبت می‌شود.

مانند پارامترهای قبلی که از متوسـط سالانه آنها استفاده شد، برای درک وضع دمای کشـور برای رسـیدن به میزان چگالی نیز، متوسط سالانه این پارامتر، مناسب ترین پارامتر دما می‌باشد. پس، تولید نقشه متوسـط سـالانه دمای هوا از ایران ما را در درک اوضاع دمای هوای کشـور آشـنا می‌کند و همچنین در فرمول محاسبه چگالی با تقسیم شـدن فشـار هوای QFE بر این پارامتر، ما را به نقشه چگالی هوای کشور می‌رساند. برای رعایت اختصار، از آوردن این نقشه خودداری می‌کنیم. کمترین مقدار متوسـط سـالانه دمای هوا مربوط به ایستگاه آلودگـی سـنجی فیروز کوه در تهـران با ۵/۵ درجه سـانتی گراد و سـپس زرینه اوباتو در کردستان با ۸/۵ درجه سانتی گراد و بیشترین میزان با ۲۸/۶ درجه سـانتی گراد برای میناب و سپس با ۲۸/۰ درجه سـانتی‌گراد برای جزیره سیری هر دو در هرمزگان می‌باشد. میانگین حسابی متوسط سالانه دمای هوای ایستگاه‌های سینوپتیک نیز ۱۸/۰۱ درجه سـانتی گراد می‌باشـد. در جدول ۱، داده‌های مربوط به میزان متوسط سالانه دمای هوا به سانتی گراد چند ایستگاه آمده است.

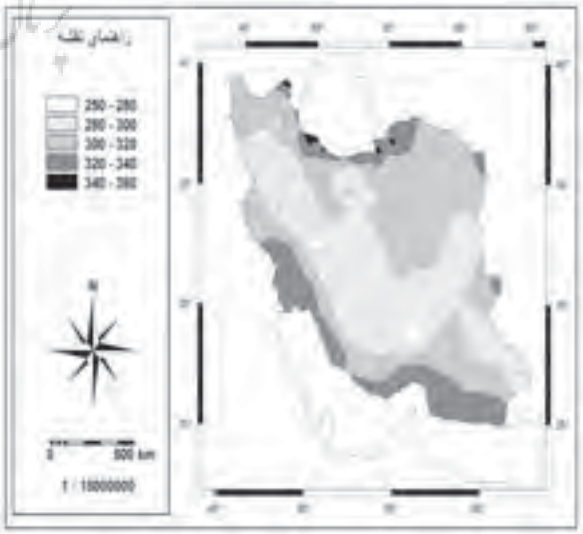
نتیجه تحلیل چگالی هوای ایران

همانطور که در رابطه نسـبی فرمول ۳ ذکر شـد، با تقسـیم فشار با واحد پاسکال بر دما با واحد کلوین، می‌توانیم به چگالی هوا برسیم. حال که این دو نقشـه آماده شـده، ابتدا واحد نقشه‌ها را استاندارد و سپس با تقسیم اولی بر دومی، به نقشه چگالی هوای ایران می‌رسیم.

چون از نقشه‌های متوسط سالانه فشار و همچنین متوسط سالانه دمای هوای ایستگاه‌ها استفاده کرده‌ایم، حاصل کار، نقشه متوسط سالانه چگالی هوای ایران می‌باشد. البته بایستی توجه داشت که چون ما برای رسیدن به رابطه نسبی فرمول ۳، عدد ثابت گازها و جرم مولی هوا را از فرمول ۲ حذف کرده‌ایم پس مقادیر نقشه، اعداد واقعی و آنچه در طبیعت وجود دارد نمی‌باشند بلکه اعداد آنها نسبت متوسط سالانه چگالی بین نقاط مختلف را نشان می‌دهد.

پس از تصحیح واحد نقشه‌های متوسط سالانه فشار هوای QFE و دمای هوای کشور به ترتیب به واحدهای استاندارد پاسکال و کلوین، برای رسیدن به نقشه چگالی کشور، طبق رابطه نسبی فرمول ۳ عمل کرده و برای هر ایستگاه، فشار هوای QFE آن را بر دمای هوای همان ایستگاه تقسیم می‌کنیم. حاصل این تقسیم را به عنوان متوسط سالانه چگالی هوای همان ایستگاه ثبت می‌کنیم. کمترین مقدار متوسط سالانه چگالی هوا مربوط به ایستگاه آلودگی سنجی فیروزکوه در تهران با ۲۵۵/۵ کیلوگرم بر مترمکعب و سپس آبعلی در تهران و بافت در کرمان هر دو با ۲۶۸/۹ کیلوگرم بر مترمکعب و بیشترین میزان با ۳۵۴/۰ کیلوگرم بر مترمکعب برای آستارا و سپس با ۳۵۲/۷ کیلوگرم بر مترمکعب برای بندر انزلی هر دو در گیلان می‌باشد. میانگین سالانه چگالی کل کشور نیز ۳۰۵/۵۵ کیلوگرم بر مترمکعب می‌باشد. در جدول ۱، داده‌های مربوط به میزان متوسط سالانه چگالی هوا به کیلوگرم بر مترمکعب چند ایستگاه آمده است. شکل ٤ نقشه GIS متوسط سالانه چگالی هوا به کیلوگرم بر مترمکعب ایران است که با استفاده از میانیابی اطلاعات ۱۵۲ ایستگاه سینوپتیک رسم شده است.

شکل ٤: نقشه GIS متوسط سالانه چگالی هوای ایران؛ واحد: کیلوگرم بر مترمکعب



همانطور که در شکل ٤ مشخص است، چگالی هوا در اغلب مناطق کشور به غیر از آشفتگی‌هایی در سلسله کوه‌های البرز، دارای ارتباطی معکوس با ارتفاع می‌باشد؛ یعنی سلسله کوه‌های زاگرس، البرز و فلات مرتفع ایران دارای تن رنگ سفیدتری که نشان دهنده چگالی هوای کمتر است، می‌باشد و هرچه از مرکز به خطوط سواحل شمالی و جنوبی نزدیک بشویم که ارتفاع نیز کاهش می‌یابد، مناطق دارای تن رنگ تیره تر یا چگالی هوای بیشتری می‌شوند، به نحوی که در بعضی از مناطق سواحل دریای خزر که ارتفاع از صفر نیز کمتر می‌باشد، تیره‌ترین طبقات نقشه و یا چگال‌ترین هواها را داریم. در شرق کشور نیز اطراف زهک و زابل در سیستان بلوچستان با تمام شدن فلات ایران، افزایش چگالی هوا را شاهدیم.

نتیجه نهایی

همانطور که قبلاً نیز درباره فرمول ۱ یا فرمول انرژی برق – بادی گفته شد، این فرمول از عوامل ثابت، عوامل مربوط به طراحی توربین بادی و عوامل مربوط به محیط تشکیل شده است؛ به زبان دیگر میزان برق تولید شده از توربین‌های بادی توسط این سه نوع عامل کنترل می‌شوند.

اگر از فرمول ۱، عوامل ثابت یعنی نیم و عدد پی و عوامل مرتبط با طراحی دستگاه توربین که ارتباطی با ایستگاه ندارد، یعنی α و r را حذف کنیم، به رابطه ساده زیر می‌رسیم:

فرمول ٤:

$$P \approx \rho v^3$$

رابطه نسبی فرمول ٤ علاوه بر تعیین روابط محیط و انرژی برق تولیدی، گویای این مطلب نیز هست که سرعت باد چون با توان سوم وارد رابطه می‌شود تاثیر بسیار بیشتری تا چگالی هوا بر انرژی برق – بادی تولید شده دارد. از این رابطه نسبی در می‌یابیم که از نظر محیط، انرژی برق – بادی قابل تولید، به طور مستقیم بستگی با چگالی هوا و مکعب سرعت باد آن منطقه دارد. همین دو عامل محیطی هستند که با بررسی آنها می‌توان به میزان برق قابل تولید هر منطقه نیز پی برد و درنتیجه بهترین مکان‌ها را برای احداث مزارع بادی شناخت.

ما نیز تمام مراحل بالا در این نگاشته را انجام دادیم تا به نقشه این دو پارامتر در سطح کشور برسیم. حال که رسیدیم اگر متوسط سالانه چگالی هوا به واحد کیلوگرم بر مترمکعب هر نقطه از کشور را در توان سوم یا مکعب متوسط سالانه سرعت باد به متر بر ثانیه همان نقطه ضرب کنیم، به نقشه متوسط سالانه انرژی برق قابل تولید از نیروی باد به وات در کشور می‌رسیم؛ البته همانطور که قبلاً نیز گفته شد نه به خود عدد صحیح برای نقاط، بلکه به نسبتی صحیح

در بین نقاط.

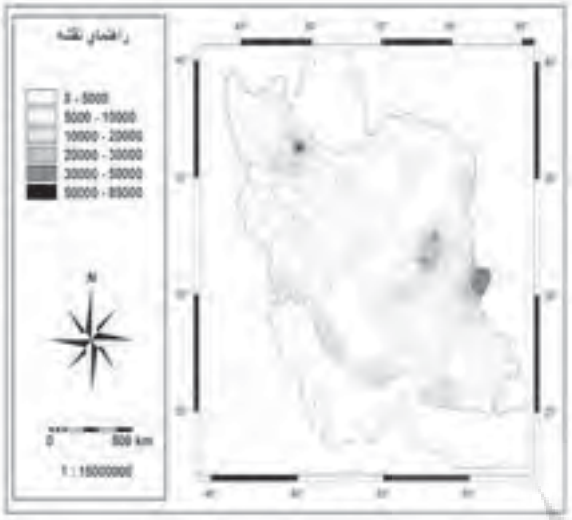
همانطور که گفته شـد توربین‌ها بادی بر دو نوع هستند. عده ای از آنهـا بـا بادهایی که از تمام جهات می‌وزند یا بادهای هرجهته به کار می‌افتند، مانند توربین‌های با محور عمودی و یا توربین‌های کوچکی با محور افقی که همراه خود یک بادنما نیز دارند که در جهت باد قرار می‌گیرند. نوع دوم، توربین‌هایی هسـتند که دارای محور افقی هستند و جثـه بزرگی هم دارند که توانایـی چرخیدن با هر بادی را ندارند. در بخش ۳،۱. با عنوان تحلیل سـرعت باد، ما هر دو نوع سرعت باد را یعنی سـرعت کلی باد منطقه و سرعت باد غالب را بررسی کردیم و بنابراین با به کارگیری این دو نقشه در رابطه نسبی ٤، به دو نقشه متفاوت از انرژی برق – بادی ایران خواهیم رسید که یکی مربوط به بادهای هرجهته و دیگری مربوط به بادهای غالب منطقه می‌باشد.

انرژی برق قابل تولید از بادهای هرجهته ایران

همانطورکه در رابطه نسـبی فرمول ٤ مشـاهده می‌شـود، برای رسـیدن به نقشـه متوسـط سـالانه انرژی برق – بادی قابل تولید از بادهای هرجهته، بایسـتی متوسـط سـالانه چگالی هوا به واحد کیلوگرم بر مترمکعب هر نقطه از کشور را در توان سوم یا مکعب متوسـط سالانه سـرعت متوسـط باد همان منطقه به واحد متر بر ثانیه ضرب کنیم. این کار را برای همه ایسـتگاه‌ها انجام می‌دهیم. کمترین مقدار متوسـط سـالانه انرژی برق – بـادی قابل تولید از بادهـای هر جهته مربوط به کاشـان در اصفهـان با ٥٦/٠ وات و سـپس گنبد قابوس در گلستان با ۲۳۰/۹ وات و بیشترین میزان با ۸٥۲۷۹/٥ وات برای منجیل در گیلان و سـپس با ٤٦٦۸۲/٤ وات برای زابل در سیسـتان بلوچستان و سپس با ۳۹۷٥۰/٦ وات برای خور بیرجند در خراسـان جنوبی می‌باشد. میانگین متوسط سالانه انـرژی برق – بادی قابل تولید از بادهای هرجهته کل کشـور نیز ٦۷۷۲/۹۱ وات می‌باشـد. در جـدول ۱، داده‌های مربوط به میزان متوسـط سـالانه انرژی برق – بادی قابل تولید از بادهای هرجهته چند ایستگاه آمده است. شکل ٥ نقشه GIS متوسط سالانه انرژی برق – بادی قابل تولید از بادهای هرجهته ایران است که با استفاده از میانیابی اطلاعات ۱٥۲ ایسـتگاه سینوپتیک رسم شـده اسـت.

همانطور که در شـکل ٥ مشـخص اسـت، اکثر مناطق کشـور قابلیت بسـیار پایینـی در تولید انرژی برق – بادی با اسـتفاده از بادهـای هر جهته دارند. تیـره ترین لکه کوچک در اطراف منجیل در جنـوب گیـلان، بهترین منطقه بـرای تولید انرژی برق – بادی با اسـتفاده از بادهای هرجهته می‌باشـد. پـس از آن همانگونه که در شـکل ٥ و از اطلاعات جدول ۱، مشـخص است، مناطقی در شـرق کشور، اطراف زابل در سیسـتان بلوچستان و پس از آن دو منطقه کوچک در جنوب خراسـان بهترین مناطق برای این منظور

شکل ٥: نقشه GIS متوسط سالانه انرژی برق – بادی قابل تولید از بادهای هرجهته در ایران؛ واحد: وات

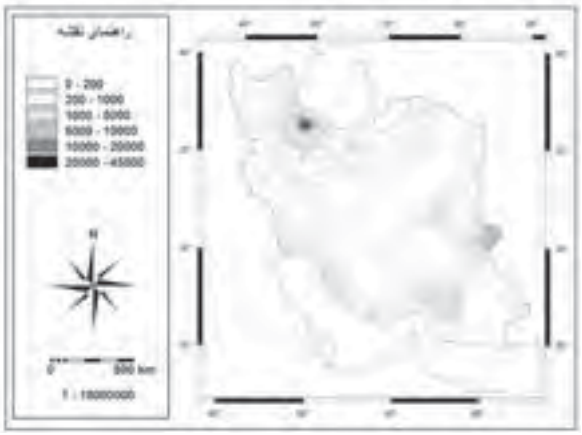


می‌باشند. اگر به هر دلیلی منطقه منجیل را دور از دسترس ایرانیان باستان بدانیم سـایر مناطق مساعد، همان مناطقی هستند که نیاکان ما اولین آسـیاب‌های بادی در جهان را در آنجا تاسـیس کرده‌اند؛ آسـیاب‌هایی با محورهای عمودی که قابلیت کار کردن با بادهایی با جهت‌های مختلف را داشـته‌اند.

انرژی برق قابل تولید از باد غالب ایران

همانطورکه در رابطه نسـبی فرمول ٤ مشـاهده می‌شـود، برای رسـیدن به نقشه متوسط سـالانه انرژی برق – بادی قابل تولید از باد غالب بایسـتی متوسط سـالانه چگالی هوا به واحد کیلوگرم بر مترمکعب هر نقطه از کشـور را در توان سـوم یا مکعب متوسـط سـالانه سرعت نسـبی باد غالب همان منطقه به واحد متر بر ثانیه ضرب کنیم. این کار را برای همه ایستگاه‌ها انجام می‌دهیم. کمترین مقدار متوسـط سـالانه انرژی برق – بادی قابل تولید از باد غالب مربوط به کاشـان در اصفهان با ۰/۳ وات و سـپس برای خوی در آذربایجان غربی با ۲/٥ وات و بیشـترین میزان با ٤۱۸۲۳/۱ وات بـرای منجیل در گیلان و سـپس بـا ۱۲٥۰۱/۷ وات برای زهک و سـپس با ٥۸۱۰/۹ وات برای زابل هر دو در سیسـتان بلوچسـتان می‌باشـد. میانگین متوسـط سـالانه انرژی برق – بادی قابل تولید از باد غالب کل کشـور نیز ٥٦٦/٥٤ وات می‌باشـد. در جدول ۱، داده‌های مربوط به میزان متوسـط سالانه انرژی برق – بادی قابل تولید از باد غالب چند ایسـتگاه آمده اسـت. شـکل ٦ نقشه GIS متوسـط سـالانه انرژی برق – بادی قابل تولید از باد غالب ایران اسـت که با اسـتفاده از میانیابی اطلاعات ۱٥۲ ایستگاه سینوپتیک رسم شده است.

شکل ٦: نقشه GIS متوسط سالانه انرژی برق – بادی قابل تولید از باد غالب در ایران؛ واحد: وات



همانطور که در شکل ٦ مشخص است، اکثر مناطق کشور قابلیت بسیار پایینی در تولید انرژی برق – بادی با استفاده از باد غالب دارند. تیره‌ترین لکه کوچک در اطراف منجیل در جنوب گیلان، بهترین منطقه برای تولید انرژی برق – بادی با استفاده از باد غالب می‌باشد. پس از آن منطقه ای کوچک در شرق کشور، اطراف زهک در سیستان بلوچستان و چسبیده به مرز، بهترین منطقه برای این منظور می‌باشد.

نتیجه گیری

همانگونه که به تفصیل در این نگاشته گفته شد، در صورت تمایل به بهره برداری از هر نوع توربین بادی ای، چه توربین‌هایی که با بادهای هرجهته کار می‌کنند و چه توربین‌هایی که تنها با بادهایی با یک جهت ثابت کار می‌کنند، بهترین منطقه برای تولید انرژی برق – بادی، منطقه اطراف منجیل در جنوب گیلان و نزدیک به استان‌های زنجان و قزوین می‌باشد. در صورت کار با توربین‌هایی که تنها با باد غالب کار می‌کنند پس از منجیل، منطقه زهک در شمال شرق سیستان بلوچستان و شرق و چسبیده به مرز ایران و در صورت کار با توربین‌هایی که با بادهای هرجهته کار می‌کنند پس از منجیل، منطقه زابل در شمال شرق سیستان بلوچستان و شرق و نزدیک به مرز ایران و پس از آن مناطقی در جنوب خراسان برای این منظور مناسب می‌باشند. همچنین کم بادترین ایستگاه کشور از هر نظر کاشان در اصفهان می‌باشد.

جدول ۱: داده‌ها و اطلاعات آماری برخی از ایستگاه‌های سینوپتیک ایران

ایستگاه	سرعت باد	سرعت باد غالب	درصد باد غالب	سرعت نسبی باد غالب	دمای هوا	فشار هوای QFE	چگالی هوا	انرژی برق از بادهای هرجهته	انرژی برق از باد غالب
Abali	۳/٦	۸/۷	۱۳/٦	۰/٦۱	۸/۸	۷۵۷/۹	۲٦۸/۹	۱۷۰۸/۱	٦۱/۰
Ahvaz	۵/۰	۷/۱	۲٤/٤	۰/۸۹	۲٦/۲	۱۰۰۷/٦	۳۳٦/۸	۵۷۳۱/۹	۲۳۷/٤
Astara	۲/۳	٦/۷	۹/۳	۰/۳۲	۱۵/۰	۱۰۱۹/٤	۳۵٤/۰	۵۸٦/٤	۱۱/٦
BandareAnzali	۳/۸	٦/۹	۱٤/۲	۰/۵۰	۱٦/۰	۱۰۱۹/۳	۳۵۲/۷	۲٦۳٤/۹	٤٤/۱
Baft	۵/۱	۱۰/۵	۱۲/۰	۰/٦۵	۱۵/۳	۷۷۵/۳	۲٦۸/۹	٤۸۵٦/٤	۷۳/۸
FiroozKooheAloodegi	۸/۷	۱۲/۲	۳۸/٦	۲/٤۲	۵/۵	۷۱۱/٦	۲۵۵/۵	۲۲۹۰٦/۸	۳٦۲۱/۱
GonbadeGhaboos	۱/۷	۵/۳	۱۰/۲	۰/۲۸	۱۹/۷	۱۰۱۰/٤	۳٤۵/۲	۲۳۰/۹	۷/٦
JazireieSiri	۷/۷	۱۰/۷	۲۲/۷	۱/۲۵	۲۸/۰	۱۰۰۸/٦	۳۳۵/۱	۲۰۸۲۸/۷	٦۵٤/۵
Kashan	۱/۱	٦/۵	۳/۰	۰/۱۰	۱۹/۸	۹۰٤/۸	۳۰۹/۰	۵٦/۰	۰/۳
Kerman	٦/۲	۹/۷	۱۱/۵	۰/۵۷	۱۷/۰	۸۲٤/۵	۲۸٤/۳	۹۲۲۵/۰	۵۲/۷
KhooreBirjand	۹/۹	۱٦/٤	۲۱/٤	۱/۸۱	۲۲/۱	۸۸۸/۱	۳۰۰/۹	۳۹۷۵۰/٦	۱۷۸٤/۳
Khoy	۲/۱	٦/٦	۵/۸	۰/۲۰	۱۲/۵	۸۸۸/۲	۳۱۱/۱	۳۹۲/۳	۲/۵
Manjil	۱۲/۳	۲٤/۳	۳۹/۹	٤/۹۹	۱۷/۰	۹۷٦/۱	۳۳٦/٦	۸۵۲۷۹/۵	٤۱۸۲۳/۱
Mashhad	٤/۱	۵/۸	۱۲/۳	۰/۳۷	۱۳/۹	۹۰۳/۰	۳۱٤/۷	۲۹۵۳/۰	۱۵/۹
MehrAbadeTehran	۵/۲	۱۰/۹	۱۸/۸	۱/۰۵	۱۷/۲	۸۸۱/۱	۳۰۳/٦	۵۸۱۲/۰	۳۵۱/۵
Minab	۲/۸	۷/٤	۱٦/۹	۰/٦٤	۲۸/٦	۱۰۰۵/٦	۳۳۳/٤	۹۹٦/٤	۸۷/٤
Tabriz	٦/۰	۸/۷	۲۵/٤	۱/۱٤	۱۲/۰	۸٦۳/۰	۳۰۲/۸	۸۹۰٤/۸	٤٤۸/٦
Yazd	۵/۰	۸/۸	۱۵/۲	۰/٦۹	۱۹/۳	۸۷٦/۸	۳۰۰/۰	۵۱۰۵/٦	۹۸/٦
Zabol	۱۰/۲	۱۷/۰	۳۰/۰	۲/٦۲	۲۲/۷	۹۵۵/۵	۳۲۳/۱	٤٦٦۸۲/٤	۵۸۱۰/۹
Zahak	۹/٦	۱٦/۲	٤۰/۷	۳/۳۹	۲٤/٤	۹۵٤/٤	۳۲۰/۹	۳۸٦۵٤/٤	۱۲۵۰۱/۷
ZarrineObato	٦/۹	۱۲/۸	۱۷/۵	۱/۱۵	۸/۵	۷۸٦/٤	۲۷۹/٤	۱۲٤۹٦/۵	٤۲٤/۹