تولید برق پاک از پسماندهای سنگین پالایشگاهی با استفاده از فرآیند گازی کردن

مهدی پروینی
دانشجوی دکترای
مهندسی شیمی
دانشگاه صنعتی امیرکبیر

داود رشتچیان
عضو هیئت علمی
دانشکده مهندسی شیمی
دانشگاه صنعتی شریف

مقالهٔ علمی

چکیده:

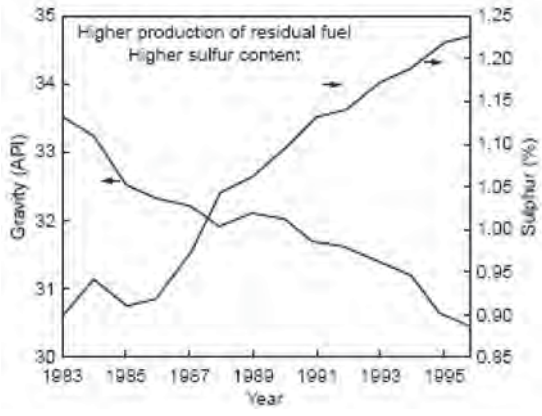
کاهش کیفیت نفت خام و افزایش فشار قوانین زیست‌محیطی سبب شده است گرایش عمده‌ای برای استفاده از تکنولوژیهای جدید از جمله gasification برای بهره برداری از پسماندهای ضایعاتی پالایشگاهها، حاصل شده از نفت خام به‌وجود آید. در این زمینه، تولید برق پاک بدون آلوده کردن محیط زیست از اهمیت به‌سزایی برخوردار است. تولید برق در سیکلهایی با بازدهی ۴۰ درصد با هزینهٔ نهایی ۱۳۶۵ دلار به ازای یک کیلووات، به میزان حدوداً ۳۲ کیلو وات به ازای هر بشکه پسماند سنگین نفتی جذابیت فراوانی برای استفاده از فرآیند gasification در جهت تولید برق ایجاد می‌کند. مخصوصاً وقتی صرفه‌جوییهای وسیعی درمحدودهٔ ۱۳۰۰۰ تا ۵۲۴۰۰ دلار در هر روز تقویمی برای پالایشگاهها در پی داشته باشد.

واژه‌های کلیدی:

برق پاک، پسماندهای سنگین، بهینه‌سازی، گازی کردن.

۱- مقدمه

نفت خام به عنوان حامل با ارزش انرژی پس از استخراج از اعماق زمین جهت تبدیل به مواد با ارزش‌تر به پالایشگاهها ارسال می‌شود. در پالایشگاهها محصولاتی نظیر گازهای سبک سوختی، بنزین، نفت سفید، گازوئیل، روغن موتور، نفت کوره، قیر و سایر مواد که عمدتاً خود، مادهٔ اولیهٔ تولید مواد پتروشیمیایی با ارزش‌تری هستند، تولید می‌شود. در حین پالایش نفت خام مواد هیدروکربنی سنگینی در پسماند برج تقطیر در خلأ یا برخی دیگر از دستگاه‌های پالایشگاه بر جا می‌ماند که عمدتاً به منظور سوخت تأسیسات حرارتی پرقدرت یا در جاده‌سازیها و نیز نفوذناپذیر کردن ساختمانها از آنها استفاده می‌شود. همانطوری که از شکل ۱ دیده می‌شود کیفیت نفت خام استخراجی روز به روز در حال نزول است. این کاهش کیفیت با افزایش گوگرد موجود در نفت خام اولیه و کاهش گرانیته همراه است. قوانین زیست‌محیطی نیز هر روز بیش از پیش بر پالایشگاهها فشار وارد می‌کند.



شکل ۱- درصد گوگرد موجود در نفت خام امریکا و گرانروی آن

دو عامل ذکر شده یعنی کاهش کیفیت نفت خام و افزایش فشار قوانین زیست‌محیطی منجر به تحول عمیق و وسیعی در پالایشگاههای دنیا شد تا هرچه بیشتر در جهت کاهش ضایعات و آلودگیهای خود بکوشند.

تکنولوژیهایی برای استفادهٔ بهینه از پسماند و تبدیل آنها به مواد باارزش‌تر از قبل از سال ۱۹۸۰ مورد توجه قرار گرفت. شکست کاتالیستی پسماندهای سیال (RFCC)، دی‌متانیزاسیون پسماندها، آسفالت‌زدایی با حلال و پدیدهٔ گازی کردن (gasification) قیر و کک گزینه‌هایی بودند که پسماندها را به شکل اقتصادی مورد استفاده قرار می‌دادند. اما اساساً انتخاب هر استراتژی از دو عامل زیر متأثر می‌شد:

۱- درجهٔ سازگاری پالایشگاهها با خوراکهای سنگین حاوی فلزات سنگین

۲- سود اقتصادی به‌دست آمده از تبدیل پسماندهای بی‌ارزش به مواد باارزش سوختی، هیدروژن و برق.

در ایالات متحده delayed coking به‌طور سنتی به‌عنوان گزینه‌ای مناسب جهت مصرف پسماندها استفاده می‌شد. در اروپا فرآیند رایج مورد استفادهٔ شکست حرارتی Thermal cracking یا Visbreaking بود که عمدتاً جهت تهیهٔ سوختهای سنگین مورد استفاده کشتیهای اقیانوس‌پیما استفاده می‌شود. گزینهٔ جدیدی که در سالهای اخیر به‌خصوص در اروپا مطرح شد اکسیداسیون جزئی پسماندهای برج تقطیر در خلأ و سایر پسماندهای از این نوع یا فرآیند گازی کردن (gasification) بود.

۲- فرآیند گازی کردن یا gasification

این فرآیند یک فرایند اکسیداسیون جزئی است که به‌منظور تبدیل هیدروکربنهای مختلف به گاز سنتز تمیز جهت تولید توان الکتریکی، مواد شیمیایی، سوختها، کودها و گازهای صنعتی به‌کار می‌رود. این فرآیند تولید محصولات اشاره‌شده را در موقعیتها، اندازه‌ها و قیمتهایی که قبلاً باور نکردنی بود، شدنی کرده است.

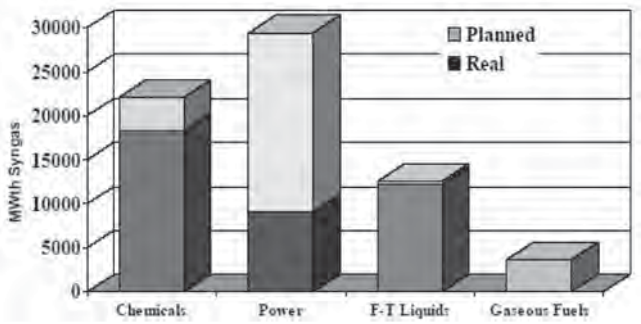
واکنش خالص gasification را به شکل زیر می‌توان نوشت:

$$2CH_n + O_2 \rightarrow 2CO + nH_2 \quad (1 < n < 4)$$

محصولاتی که از اکسیداسیون هیدروکربنها حاصل می‌شود مواد اولیهٔ بسیاری از مواد

شیمیایی، پتروشیمیایی و کشاورزی‌اند. آنچه فرآیند تولید می‌کند عبارت است از:

- گاز سنتز، منواکسیدکربن و هیدروژن برای واکنشهای شیمیایی
- هیدروژن برای فرآیندهای پالایشگاهی و شیمیایی
- گاز سنتز جهت تولید سوختهای سبک طی فرآیند F-T تولید سوختهای سبک گازی
- گاز سنتز جهت تولید انرژی



شکل ۲- درصد محصولات فرآیند gasification در دنیا در سال ۲۰۰۱[۵]

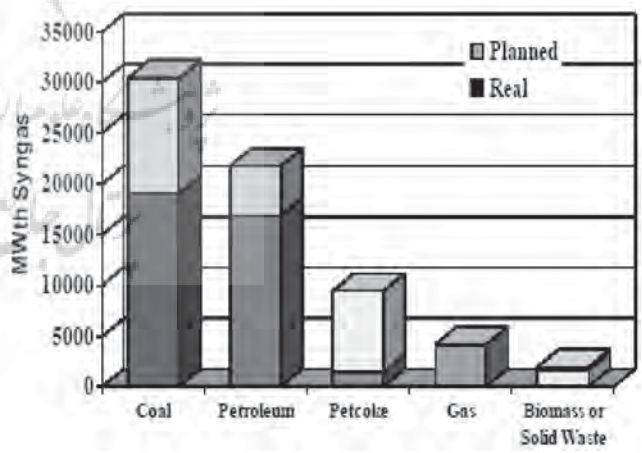
۳- خوراک فرآیند gasification

خوراک فرآیند به‌طوری که در شکل ۳ نشان داده شده، بسیار متفاوت است. هزینهٔ خوراک کم‌ارزش جهت تولید محصولات مطلوب پایین است. همچنین وقتی که مواد کم‌ارزش برای تولید غیراقتصادی باشند، مواد باارزشی چون گاز طبیعی می‌تواند جهت تبدیل به مواد حیاتی تحت فرآیند gasification قرار گیرد.

واکنش gasification، واکنش گرمازایی است که تولید گاز سنتز شامل CO و H_2 را به‌همراه دارد. دمای واکنش ۱۳۰۰ تا ۱۴۰۰ درجهٔ سانتی‌گراد است. درنتیجه واکنش، مقدار کمی کربن واکنش نداده هم ایجاد می‌شود که مقدار آن در حدود ۰/۵ تا ۱ درصد وزنی خوراکهای مایع و ppm ۵۰ تا ۲۰۰ وزنی در خوراکهای گازی است.

محدودهٔ فشار عملیاتی از فشار اتمسفری تا فشار ۶۵ بار است و به راحتی با شرایط تولید گاز سنتز منطبق می‌شود که البته مقدار این فشار برحسب کاربرد گاز سنتز در مرحلهٔ بعد تنظیم می‌شود.

محدودهٔ وسیعی از خوراک برای استفاده در این فرآیند مورد توجه است. از جامدات و مایعات گرفته تا گازها در این حیطه قرار دارند. سوختهای هیدروکربنی نظیر گاز طبیعی، سوخت بونکر C، پسماندهای برج تقطیر در خلأ، پسماندهای فلش‌شده در خلأ، آسفالت، ضایعات مایع و Orimulsion به‌عنوان خوراک فرآیندهای gasification قابل استفاده است.



شکل ۳- خوراک فرآیند gasification و درصد استفاده از هرکدام در سال ۲۰۰۱

۴- تولید برق برای پالایشگاه

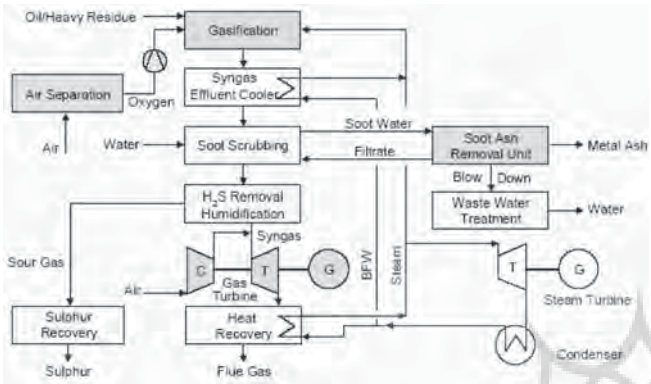
برق را در پالایشگاه می توان با استفاده ازیک تکنولوژی سیکل ترکیبی با به کارگیری گاز سنتز به‌دست آمده از فرآیند gasification تولید کرد که سیکل ترکیبی روش احتراق مستقیم بسیار پربازده‌تر است.

بهبودهای جزئی احتراق توربین گازی و سیستم گرمایشی سوخت توسعه یافته است و هم‌اکنون به‌طور تجاری در صنایع مورد استفاده قرار می‌گیرد. این اصلاحات به‌منظور جبران ارزش حرارتی پایین گاز سنتز (تا گاز طبیعی) انجام می‌شود. برای بهینه کردن اقتصادی تولید برق در پالایشگاه می‌توان دو واحد سیکل ترکیبی مذکور و واحد گازی‌کننده gasification را در کنار یکدیگر به‌کار برد.

بخار تولیدی در کولر گاز سنتز، در محفظهٔ بازیابی حرارتی توربین گازی سوپرهیت می شود. اخیراً در طرحهای سیکل ترکیبی همراه با گازی‌کننده‌ها، واحدی جهت استخراج هوا از توربین گازی به‌منظور تأمین هوای واحد تفکیک هوا درنظر گرفته می‌شود که در این واحد نیتروژن به صورت NO_x به توربین گازی برگردانده می‌شود که این مورد، هم افزایش توان الکتریکی خالص و هم کاهش آلودگی را به‌همراه خواهد داشت.

سیکل ترکیبی فرآیند گازی کردن به‌طور انتگراسیونی یا IGCC شامل واحدهای زیر می‌شود:

- توربین گازی سیکل ترکیبی که گاز تصفیه‌شده را به برق تبدیل می‌کند.
- مبدل بازیافت حرارتی که از حرارت گازهای خروجی از توربین گازی برای گرمایش بخار سیکل بخاری تولید توان استفاده می‌کند.
- توربین بخار که در سیکل تولید توان از آن برق می‌گیرند.



شکل ۴- فرآیند gasification بر مبنای IGCC

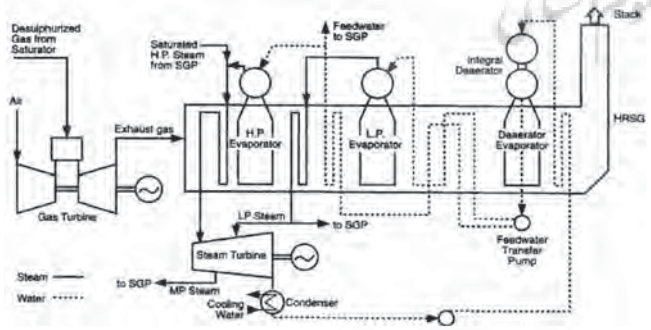
واحد گازی‌کننده سوخت اولیه را تبدیل به گاز می‌کند و ناخالصیهای زاید و جامد آن گاز نیز در بخش دفع، از گاز جدا می‌شوند. این گاز پس از سرد شدن و دفع مواد جامد وارد توربین گازی می‌شود و برق تولید می‌کند. گازهای داغ خروجی پس از خروج از توربین وارد مبدل حرارتی بازیافت شده و حرارت خود را به بخار جهت تولید الکتریسته در سیکل بخار می‌دهد. این رویکرد باعث افزایش بازدهی تبدیلی واحد می‌شود به شرط آنکه:

۱- تمام عناصر واحد به‌طور کارآمدی در کنار هم واقع شوند، به‌طوری که توازنی بین واحد تفکیک هوا و واحد توربینهای تولید برق به‌منظور کاهش توان مصرفی ایجاد شود.

۲- از نیتروژن به‌عنوان یک محصول جانبی برای کاهش آلودگیهای NO_x استفاده شود.

۳- از حرارت به‌دست آمده از بخار تولیدی در واحد کولر جریان گاز سنتز در سیکل بخار ترکیبی فرایند گازی‌کننده به منظور افزایش بازدهی تبدیلی آن استفاده شود.

۴- از حرارت سطح پایین واحدهای توربین و بخش عملیاتی گازی برای پیش‌گرم کردن و اشباع گاز سنتز استفادهٔ بهینه شود تا بازدهی تبدیلی افزایش یابد.



شکل ۵- سیکل ترکیبی تولید برق

بهینه‌سازی عوامل اصلی در واحد تولید برق سطح بازدهی را افزایش می‌دهد. (در حدود ۴۵ درصد بر مبنای LHV) به‌منظور رعایت ملزومات محیط زیستی این نوع واحد توان می‌تواند با واحدهای تبدیلی سوختهای دیگر همچون زغال سنگ رقابت کند.

توانایی واحد تولید برق در تهیهٔ گاز تصفیه‌شده برای کابردهایی چون (هیدروژن ـ

اکسوگاز، منواکسیدکربن و غیره) از خوراک کم‌ارزش (حاوی فلزات سنگین و گوگرد) باعث ایجاد توازن اقتصادی بالاتری از واحدهای تولیدی توان با گاز طبیعی ارزان می‌شود.

در کنـار یکدیگر قرار دادن واحدهای گازی‌کننده و سـیکل ترکیبی تولید توان باعث افزایش شـاخص عملکرد هر دو واحد در کاهش آلودگیها و هزینه‌های سرمایه‌ای می‌شود. نیتـروژن در توربین گازی به منظور کاهش آلودگی NO_x (که از احتراق گاز سـنتز تصفیه شـده در توربین تولیدی برق ایجاد شـده است) تفکیک می‌شـود. پایین بودن آلودگیهای اتمسـفری اندازه‌گیری‌شده برای یک واحد IGCC ، اهمیت این واحد را در رعایت مسائل زیست‌محیطی نشان می‌دهد.

با وجود کیفیت پایین خوراک، آلودگیها در سطح پایینی هستند. بازدهی بازیابی گوگرد بر مبنای نسـبت گوگرد بازیابی‌شده مایع به گوگرد موجود در خوراک بالاتر از ۹۹/۵ درصد است.

در پالایشـگاه‌ها، فرآیند گازی کردن هنگامیکه به‌همراه تولید برق اسـتفاده می‌شـود بسیار جذاب‌تر است چون:

– پالایشـگاه‌هایی که برای کاهش SO_2 و NO_x تولیدی خود به شدت تحت فشارند ممکن اسـت از فرایند gasification برای اسـتفاده از گاز سنتز در مشعلها و بویلرهایشان بتوانند استفاده کنند.

– یک فاکتور کلیدی در حل مسـئلهٔ CO_2 در آینده به قیمت‌گذاری انرژی و رقابت، مرتبـط خواهد بود. بهبود بازدهیها و چرخه‌های تولید بسـته و نیز تولید همزمان راه‌حلهای مسئلهٔ موجود است.

– تولید همزمان توان و هیدروژن جهت حل مسـائل آینده پالایشـگاه‌ها در ارتباط با ضایعات نفت خام، سوختهای پاک و کاهش آلودگی بسیار مهم خواهد بود.

– حرارت در پالایشـگاه اغلب در سـطح بخار فشـار متوسـط (MP) توزیع می‌شود. این حرارت خواه به‌طور مسـتقیم از مبدل بازیابی حرارت خواه از حرارت توربین بخار قابل استحصال است.

– فرآیندهـای تجاری گازی‌کننده همچـون فرآیند شـرکت Shell هرگونه خوراک سـنگین را می‌تواند به‌کار گیرد درنتیجه پالایشگاه‌ها می‌توانند در محدودهٔ اقتصادی بیشتر دوام داشته باشند.

۴- بررسی یک مورد مطالعاتی

آنچه در ادامه می‌آید بررسی یک واحد نمونه جهت بررسی بازدهی و عملکرد فرآیندی است. سیکل بخار در واحد مورد نظر یک فرآیند گرمایش مجدد سه‌مرحله‌ای است و اجزای اصلی آن شامل مبدل بخار بازیافت حرارت (HRSG)، توربینها (فشار بالا، میانی و پایین)، کندانسور، بلید بخار برای سرد کردن توربین گازی و ... است.

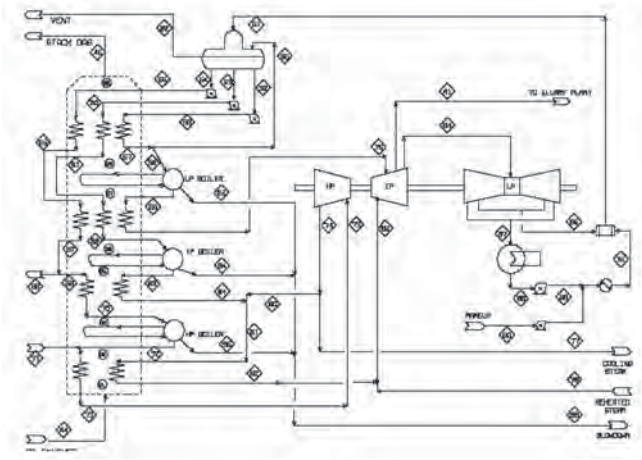
در شکل ۶ ، سیکل بخار به همراه فرایند گرمایش مجدد سه مرحله‌ای و جریان فرآیند به روشنی واضح است. در جدول ۱ شرایط سیکل بخار آورده و در جدول۲، توان تولیدی و بازدهی کلی فرآیند فهرست شده است.

Pressure Level	Steam Pressure (psi)	Condirions Saturation Temp (°F)
Low	72.5	305
Intermediate	352	432
High	1911	629

جدول ۱- شرایط سیکل بخار

Pressure Level	Steam Pressure (psi)
Gass Turbine (MWe)	272.8
Steam Turbine (MWe)	172.2
Miscellanceous (MWe)	-32.0
Auxiliary (MWe)	-12.4
Plant Total (MWe)	400.6
Overall Process Efficiency (HHV, ٪)	45.0
Overall Process Efficiency (LHV, ٪)	46.7

جدول ۲- تولید برق



شکل۶- سیکل بخار واحد مورد مطالعه

۵- نتیجه گیری

۱- پس از بررسـی تعدادی از پالایشـگاه‌های امریکا به نتایج منعکس شده در جدول ۳ رسیدیم:

۲- با گازی کردن ۱۰۰۰ بشـکه در روز از پسـماند نفت سـنگین در حدود ۳۲ MW الکتریسیته خالص قابل استحصال است.

۳- بر اثر استفاده از فرآیند gasification در پالایشگاه صرفه جوییهای زیر اتفاق خواهد افتاد:

- مصرف ضایعات: ۲۰۰۰ تا ۳۰۰۰ دلار به ازای هر روز تقویمی
- هیدروژن با درجهٔ خلوص بالا: ۳۰۰۰ تا ۲۲۰۰۰ دلار به ازای هر روز تقویمی
- نیتروژن پالایشگاه: ۲۵۰۰ دلار به ازای هر روز تقویمی
- صرفه جویی کلی در محدوده: ۱۳۰۰۰ تا ۵۲۴۰۰ دلار به ازای هر روز تقویمی

۴- هزینهٔ تولید یک کیلو وات برق معادل ۱۳۶۵ دلار ارزیابی می‌شود.

جدول ۳- برآورد پیش‌بینی عملکرد سیکل ترکیبی واحد gasification

	Units*	Representative / Average		Normal Range	
		CC mode	Cogen mode		
Power Produced					
GT Net Power (LHV)	kWh/ton	3002	[illegible]		
ST Net Power (HRSG)	"	1114	0		
ST Net Power (SGC)	"	532	0		
Total Power Produced	kWh/ton	[illegible]	[illegible]		
Power Consumed					
ASU + Gasifier + AGR	kWh/ton	528	[illegible]		
Misc. CHP	"	21	[illegible]		
BOP (OSBL @ 0.05% Gross)	"	29	15		
Total Power Consumed	kWh/ton	[illegible]	[illegible]		
Net Power Produced				range of IGCC circa 1999	
Net Power Produced	kWh/ton	4076	2438	3355	3818
Steam Balance					
Gasifier Production	M lb/ton	-	6.83		
HRSG Production	"	-	11.52		
ASU + Gasifier + AGR Cons.	"	-	1.83		
Net Steam Produced	M lb/ton	0	[illegible]		
Plant Efficiency					
Overall Efficiency (HHV)	-	40.2%	73.3%		<75%
Overall Efficiency (LHV)	-	42.3%	77.0%		

* Per Ton (2000 lb) of Heavy Oil (dry)

ماهنامهٔ «تازه‌های انرژی» پل ارتباطی میان پژوهشگران، صنعتگران، مسئولان، مشاوران و ارائه دهندگان خدمات فنی و مهندسی است.
از کلیهٔ شرکتها و مؤسسـات فعال در حوزهٔ انرژی، صمیمانه دعوت می‌شود با مراجعه به پایگاه اینترنتی یا برقراری تماس با روابط عمومی ماهنامـه و معرفـی رابط مطبوعاتی، یاریگـر ما در ارائـهٔ آخرین اخبار و دستاوردهای علمی، تحقیقاتی و صنعتی باشند.

تلفن: ۸۸۵۳۰۰۲۰ - فاکس: ۸۸۵۳۰۰۱۹

info@energynewcomes.com

هیئت علمی ماهنامهٔ «تازه‌های انرژی» با تأکید بر این نکته که دانشجویان همواره در ایجاد ایده‌های علمی، آموزشـی و پژوهشـی پیشـرو هستند و ایران، همیشـه شاهد درخشـش علمی این دانشـمندان جوان در عرصه‌های داخلی و بیـن‌المللی بوده اسـت، از کلیهٔ دانشـجویان و دانش‌پژوهان عزیز که خواسـتار همکاری علمی، انتشـار مقالات و دستاوردهای پروژه‌های تحقیقاتی و پژوهشی خود هستند، دعوت به همکاری می‌کند.
برهمین اسـاس، خواهشمند اسـت در صورت تمایل، با مراجعه به پایگاه اینترنتی و ارسـال پست الکترونیک یا تماس با روابط عمومی ماهنامه، آمادگی خود را برای همکاری اعلام فرمایید.

تلفن: ۸۸۵۳۰۰۲۰ - فاکس: ۸۸۵۳۰۰۱۹

info@energynewcomes.com