

مقایسه مصرف نفتا با هیدرو کربنهای سبک در صنایع پتروشیمی

Utilization of Naphta in Comparison with Light Hydrocarbons in Petrochemical Industries

مهندس حسین علی حجازی
پتروشیمی

واژه‌های کلیدی: نفتا، هیدروکربنهای سبک، اولفینها، اتیلن

چکیده

در این مقاله ابتدا کاربرد نفتا به عنوان فسزآورده نفتی و خوراک صنایع پتروشیمی تشریح شده و سپس ترکیبات هیدروکربن مورد نیاز این صنایع به ویژه واحدهای اولفین از لحاظ اقتصادی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است. در بخشهای بعدی مقاله مقدار هیدروکربنهای سبک حاصل از گازهای همراه نفت خام و گازهای طبیعی تولیدی در ایران محاسبه و نشان داده شده است که مقدار قابل توجه اتان و مایعات گازی در دسترس می‌باشد و در مرحله اول باید از آنها به عنوان خوراک واحدهای اولفین استفاده کرد و حتی الامکان از مصرف نفتا به علت کاربردهای فراوان دیگر آن، به ویژه بنزین موتور، در واحدهای اولفین پرهیز کرد.

مقدمه

توسعه صنایع پتروشیمی به علت وجود ذخایر عظیم هیدروکربن در ایران، چه به صورت نفت خام و چه به صورت گاز طبیعی، و در دسترس بودن آنها با قیمتی کمتر از کشورهای صنعتی و این که خوراک اصلی صنایع پتروشیمی مواد هیدروکربن می‌باشد، امری است توجیه‌پذیر و نسبت به صنایع دیگر می‌تواند اولویت و مکان خاص داشته باشد. قیمت خوراک مصرفی در صنایع پتروشیمی سهم عمده‌ای در هزینه تمام شده فرآورده‌های تولیدی دارد. از طرفی چون این صنایع می‌توانند طیف وسیعی از هیدروکربنها را به عنوان خوراک اولیه به کار برند، بنابراین بررسی نسوع هیدروکربن قابل مصرف در هر طرح پتروشیمی و انتخاب ارزانه‌ترین خوراک، در اقتصاد آن مهم و ضروری است.

تولید نفت خام ایران و فرآورده‌های مشتق از آن، از یک طرف تابع و تحت نظام خاص سهمیه‌بندی است و از طرف دیگر این مواد در بازارهای جهان با قیمت مشخص و با ارز قابل قبول عرضه و فروخته می‌شود. لذا قیمت و ارزش واقعی آنها با قیمت‌های بین‌المللی نمی‌تواند تفاوت ملموسی داشته باشد. در عین حال برای تولید گاز و مایعات گازی حاصل از آن در ایران، اولاً محدودیتی وجود ندارد و ثانیاً عرضه این مواد در بازارهای بین‌المللی متضمن هزینه نسبتاً زیاد می‌باشد. و بنابراین قیمت

و ارزش واقعی آنها در ایران پایینتر از قیمت‌های بین‌المللی است. توجیه اقتصادی طرح‌های پتروشیمی در ایران باید بر اساس قیمت واقعی خوراک انجام گیرد و ضمن انتخاب ارزانه‌ترین خوراک مزایای دیگر طرح از قبیل صنعتی شدن کشور، ارزش افزوده، ایجاد کار، ارتقای سطح زندگی، خوداتکایی و غیره در درجه دوم در نظر گرفته شود. در این مقاله موضوع انتخاب خوراک برای صنایع پتروشیمی از لحاظ اقتصادی مورد بررسی و مقایسه قرار گرفته است.

تعریف نفتا

نفتا در اصطلاح و تعریف کلی آن به برشی از نفت خام گفته می‌شود که شامل هیدروکربنهای پنتان تا اکتان برش (C_5 تا C_8) است. مقدار و مشخصات کلی نفتا در نفت خام‌های مختلف یکسان و مشابه نیست. نفت خام‌های سبک معمولاً به طور طبیعی دارای نفتای بیشتری است و نفت خام‌های سنگین نفتای کمتری دارد.

جدول ۱ مشخصات نفتای برخی از نفت خام‌های دنیا را نشان می‌دهد. نقطه جوش و گستره تقطیر نفتای به دست آمده از نوعی نفت خام حاصل از برج تقطیر به عنوان نمونه در نمودار ۱ رسم شده است. به طوری که در جدول ۱ ملاحظه می‌شود مقدار برش نفتا به طور طبیعی در نفت خام‌های مختلف دنیا بین ۹/۵ و حداکثر ۲۲ درصد می‌باشد. در جدول ۱ نیز دیده می‌شود که مقدار ترکیبات پارافین، نفتین و آروماتیک برش نفتا (که اصطلاحاً PNA نامیده می‌شود) متفاوت است. مقدار پارافینها از ۳۸ تا ۷۸ درصد، نفتینها از ۱۶ تا ۴۳ درصد و آروماتیکها از ۶ تا ۲۱ درصد تغییر می‌کند.

در ضمن دو نوع نفتا به نام نفتای سبک و نفتای سنگین در صنعت نفت ساخته و به بازار عرضه می‌شود. نفتای سبک حاوی ترکیبات هیدروکربن C_6 تا C_7 با چگالی حدود ۰/۶۵ و نفتای سنگین دارای

Key Words: Petrochemicals, Naphta, Light Hydrocarbons, Otelins, Etylen

کشور	عدد اکتان	عدد اکتان	عدد اکتان	عدد اکتان	عدد اکتان	عدد اکتان
امریکا (لوئیزیانا)	۸۲۱۰	۱۹	۲۳	۲۸	۹/۵	۰.۷۳۳(۵۹)
امریکا (کالیفرنیا)	۸۹۱۶	۱۵	۲۲	۲۳	۱۲/۲	۰.۷۴۷(۵۸)
ونزوئلا (لتونا)	۸۶۱۰	۲۱	۲۰	۵۹	۱۱/۹	۰.۷۳۳(۶۱/۵)
انگلستان (نپیان)	۷۸۱۰	۹	۲۳	۵۷	۱۹/۸	۰.۷۱۷(۶۶)
نروژ (اکوفیش)	۸۰۸	۱۲	۲۲	۵۲	۱۹/۲	۰.۷۳۸(۶۳)
لیبی (ساریر)	۷۶۱۵	۳	۲۳	۶۲	۱۵	۰.۷۱۵(۶۶/۵)
ایران (سیک)	۷۹۱۰	۱۰	۲۵	۵۵	۱۸/۷	۰.۷۱۲(۶۶/۸)
کویت	۷۵۲	۶	۱۶	۷۸	۱۷/۶	۰.۷۰۲(۶۹/۷)
ابوظهبی	۷۰۱۰	۱۰	۱۷	۷۳	۲۱/۸	۰.۷۱۷(۶۶)

الف) اندازه‌ای از عدد اکتان (octane, F-I) پس از اضافه کردن ۰/۷۹ گرم سرب تترااتیل در هر لیتر

ترکیبات C_۸ تا C_{۱۰} با چگالی حدود ۰/۷۲ است.

نفتا را می‌توان توسط عملیات و فرایندهای مختلف از قسیل شکستن برشهای سنگینتر نفت خام از جمله نفت کوره و مشتقات آن و همچنین الکیل‌دار کردن هیدروکربنهای سبک به دست آورد. ولی بدیهی است این عملیات مستلزم هزینه‌های اضافی و همچنین از دست دادن مقداری از خوراک به صورت گاز سوخت می‌شود که در نتیجه قیمت نفتای تولیدی را افزایش می‌دهد. کاربرد نفتا و ارزش آن

مهمترین مصرف برش نفتا برای تولید بنزین موتور و سائط نقلیه است. برش نفتای طبیعی برای مصرف و سوختن در اکثر موتورهای احتراقی مناسب می‌باشد. به طوری که در جدول ۱ دیده می‌شود، عدد اکتان یا خوب سوختی برش نفتای طبیعی حتی با اضافه کردن ۰/۷۹ گرم سرب تترااتیل در هر لیتر به حداکثر (و در یک مورد به ۸۹/۶) می‌رسد، در صورتی که حداقل عدد اکتان برای بنزین موتور معمولی ۹۰ است.

جهت بهبود کیفیت نفتا برای احتراق بدون مصرف سرب تترااتیل یا حداقل مصرف آن از فرایند تبدیل کاتالیزوری (catalytic reforming) و ایزومری شدن ترکیبات پارافین نرمال و غیره استفاده می‌شود.

در اثر فرایند تبدیل کاتالیزوری، مقداری از نفتا به هیدروکربنهای سبک تبدیل می‌شود و در نتیجه فرآورده مایع حاصل به نام رفرمات (reformate)، که به طور مستقیم می‌تواند به عنوان بنزین موتور مصرف شود، بین ۷۵ تا ۸۵ درصد حجم خوراک واحد تبدیل را تشکیل می‌دهد. به عبارت دیگر، در اثر تبدیل نفتا به فرآورده بنزین موتور حدود ۱۵ تا ۲۵ درصد از حجم نفتا کاسته می‌شود.

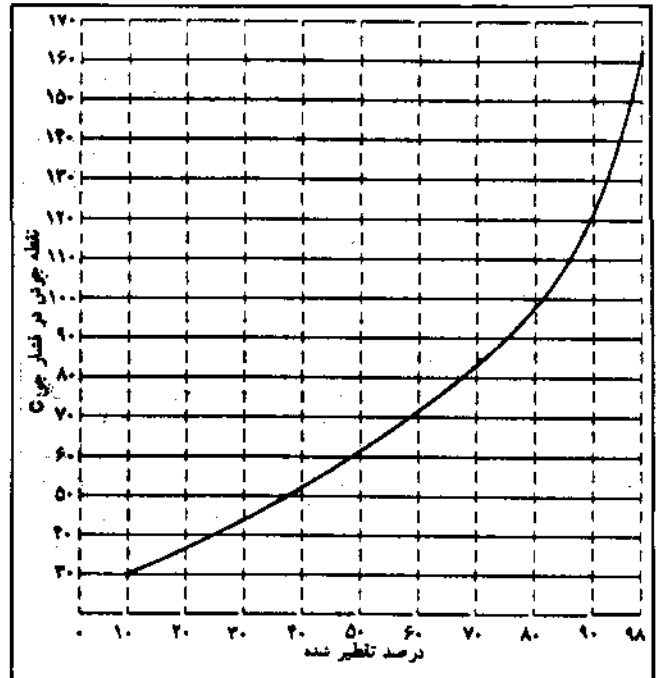
مقدار مصرف بنزین موتور در کشورهای مختلف و درصد حجمی نفتای معادل آن نسبت به نفت خام مصرفی در آن کشورها در جدول ۲ نشان داده شده است.

به طوری که در جدول ۲ دیده می‌شود، مصرف بنزین موتور در اکثر کشورهای جهان به ویژه کشورهای پیشرفته و صنعتی دنیا به مراتب از مقدار متوسط ۱۵ درصد، که از نفتای موجود در نفت خام به دست می‌آید، فزونی دارد و در برخی از کشورها این رقم به بیش از ۳ برابر می‌رسد. بنابراین، برای تأمین نیاز بنزین موتور این کشورها به اجبار با صرف هزینه از برشهای دیگر نفت خام استفاده می‌شود.

جدول ۲ - مصرف بنزین موتور در برخی از کشورهای جهان [3]

کشور	مصرف بنزین (درصد)	مصرف نفتا (درصد)	مصرف گاز (درصد)	مصرف سایر (درصد)	مصرف کل (درصد)
انگلستان	۲۸۲	۵۱۰	۶۰۲	۱۹۸۶	۲۲۱۶
فرانسه	۲۱۲	۳۲۵	۵۱۵	۱۹۸۶	۱۶۷۵
آلمان غربی	۵۲۲	۵۲۶	۶۸۰	۱۹۸۶	۲۵۲۵
آمریکا	۷۱۰۰	۱۷۷۰	۸۷۵	۱۹۸۹	۱۲۸۵۰
ژاپن	۶۲۲	۳۰۰	۷۷	۱۹۸۶	۲۱۱۷
ایران	۱۵۰	۱۷۵	۱۸۷	۱۹۸۹	۷۵۰

الف) فرض شده است که ۸۰ درصد نفتا به بنزین موتور تبدیل گردد.



نمودار ۱ - نقطه جوش و گستره تطهیر برش کامل نمونه نفتا در نفت خام [2]

دو عامل درصد نفتای مصرفی را برای تولید بنزین موتور افزایش می‌دهد. یکی از این عوامل ازدیاد مصرف سرانه بنزین موتور در جهان، به ویژه در کشورهای در حال رشد است و عامل دیگر جانشینی برشهای نفت، که به عنوان سوخت مصرف می‌شود، به وسیله سوختهای غیرهیدروکربنی از قبیل زغال سنگ، هسته‌ای و خورشیدی است. این جانشینی باعث می‌شود که برشهای سنگین نفت حاصل در برجهای تقطیر پالایشگاهها به فرآورده‌های سبکتر از قبیل نفتا و مواد میان تقطیر تبدیل شود. در نتیجه (در صورت ثابت ماندن مصرف این فرآورده‌ها) از نیاز به نفت خام کاسته می‌شود و درصد نفتای مصرفی به عنوان بنزین موتور بالا می‌رود.

نفتا علاوه بر منبع اصلی تولید و تأمین بنزین موتور، یکی از مواد اولیه مهم و اصلی در صنایع پتروشیمی است. مهمترین فرآورده‌های اصلی حاصل از نفتا اولفینها، آروماتیکها و حلالها می‌باشند که در تهیه بسیاری از فرآورده‌های میانی و نهایی پتروشیمی مصرف می‌شوند. منبع قابل استفاده دیگر برای تولید مواد آروماتیک، بنزین پیرولیز حاصل از واحدهای اولفین است. در حالی که نفتا مهمترین ماده اولیه برای تولید بنزین موتور، آروماتیکها و حلالهاست ولی در مورد اولفینها مواد اولیه دیگر، به ویژه هیدروکربنهای سبک و گسازوئیل، مورد مصرف قرار می‌گیرند.

ارزش حقیقی نفتا

قیمت بنزین موتور به طور مستقیم با قیمت نفتا و به طور غیرمستقیم با قیمت نفت خام بستگی دارد. طبق مجله زانویه ۱۹۸۹ اویک [4]، قیمت متوسط هر بشکه نفتا و بنزین موتور معمولی در ترندام (Rotterdam) در سال ۱۹۸۸ به ترتیب حدود ۱۶/۱۶ (حدود ۱۴۵ دلار برای هر تن) و ۱۹/۳۲ دلار، با تفاوت ۳/۱۶ دلار برای هر بشکه، بوده است. در همین مجله قیمت صادراتی نفت خام سبک ایران ۱۳/۳۶ دلار برای هر بشکه گزارش شده است. این تفاوت صرف نظر از قیمت نفت خام (که خود متأثر از عرضه و تقاضا می‌باشد) و تغییرات موقت، همیشه وجود دارد. چنانچه قیمت نفت خام ۲۰ دلار برای هر بشکه باشد، انتظار می‌رود که قیمت نفتا به همان نسبت، یا به ۲۲/۸ دلار برای هر بشکه (حدود ۲۰۵ دلار هر تن)، افزایش یابد.

همچنین روشن است که حتی اگر قیمت نفت خام ثابت بماند، در صورت افزایش مصرف بنزین موتور به سطحی که نتوان به آسانی از برشهای دیگر نفت خام تهیه نمود، قیمت نفتا، و به تبع آن قیمت بنزین موتور، نیز افزایش می‌یابد.

حقیقت غیر قابل انکار این است که قیمت واقعی نفت خام و فرآورده‌های آن برابر است با قیمت مواد مشابه که از منابع دیگر مانند زغال سنگ، سنگهای آغشته به نفت (shale oil) و شنهای آغشته به قیر (tar sand) ساخته می‌شود. این قیمت هم اکنون افزون بر ۴۰ دلار برای هر

بشکه است.

با توجه به محدودیت ذخایر نفت خام در مقایسه با سایر منابع یاد شده (حدود ۱۴۰ میلیارد تن برای نفت خام و ۴۴۶،۷۵۰ و ۳۳۸ میلیارد تن معادل نفت به ترتیب برای زغال سنگ، سنگهای آغشته به نفت و شنهای آغشته به قیر) افزایش قیمت نفت خام و فرآورده‌های آن (از جمله نفتا) در دو حالت زیر اجتناب ناپذیر است [5].

الف - کشورهای صاحب ذخایر عمده تولید خود را با تقاضا متعادل کنند، به طوری که تولید نفت و فرآورده‌های آن از شنهای آغشته به قیر (که کمترین هزینه را نسبت به سایر منابع دارد) ضرورت پیدا کند.

ب - ذخایر کنونی و قدرت تولید نفت خام از تقاضا کمتر شود. این حالت در دراز مدت (بین ۲۰ تا ۴۰ سال آینده) پیش خواهد آمد. در جدول ۳ مصرف بنزین موتور در ایران در سالهای مختلف و درصد حجمی آن نسبت به نفت خام مصرفی نشان داده شده است.

به طوری که در جدول ۳ مشاهده می‌شود، مصرف سرانه بنزین موتور در ایران که در سال ۱۳۵۰ حدود ۵۰ لیتر بوده و در سال ۱۳۶۹ به حدود ۱۷۶ لیتر رسیده است. این روند افزایش علی رغم مشکلات جنگ، رکود اقتصادی و محدودیتهای خرید و استفاده از اتومبیل است. در صورت بازسازی، نوسازی، افزایش تولید ناخالصی ملی و ارتقای سطح زندگی افراد در ایران مصرف بنزین موتور (یا نفتای مورد نیاز برای تبدیل آن به بنزین موتور) و در نتیجه ارزش حقیقی آن افزایش می‌یابد.

پدیده روشن دیگر از جدول ۳، روند افزایش «درصد حجمی نفتای معادل بنزین موتور نسبت به نفت خام» می‌باشد. این نسبت در سال ۱۳۵۰ برابر ۱۴/۱ درصد (یا نزدیک مقدار نفتای طبیعی در نفت خام) بوده و در سال ۱۳۶۹ به حدود ۲۷ درصد رسیده است. به عبارت دیگر، نفتای موجود در نفت خام پاسخگوی نیاز بنزین موتور نمی‌باشد و لازم است کمبود آن از برشهای دیگر نفت خام تولید و تأمین گردد.

مواد اولیه واحدهای اولفین
مهمترین مواد اولفین مورد مصرف در صنایع پتروشیمی اتیلن، جدول ۳ - مصرف بنزین موتور در ایران در سالهای ۱۳۵۰ تا ۱۳۶۹ [5]

سال	مصرف بنزین (لیتر در روز)	مصرف نفتا (لیتر در روز)	مصرف بنزین معادل (لیتر در روز)	درصد بنزین معادل نسبت به نفتا
۱۳۵۰	۲۹۶	۲۹	۳۲۵	۱۴/۱
۱۳۵۵	۳۳۷	۱۳۸	۴۷۵	۲۲/۳
۱۳۶۰	۳۸۸	۱۱۲	۵۰۰	۱۹/۳
۱۳۶۵	۴۶۷	۱۲۱	۵۸۸	۲۲/۶
۱۳۶۹	۵۷۱ (ب)	۱۷۶	۷۴۷ (ب)	۲۶/۹

(الف) فرض شده است که ۸۰ درصد نفتا به بنزین موتور تبدیل گردد.
(ب) پیش‌بینی شده

جدول ۴ مواد اولیه واحدهای اولفین و فرآورده های اصلی آن را

نشان می دهد.

جدول ۴ - درصدوزنی فرآورده های اصلی واحداولفین از خوراکهای

مختلف [8]

نوع خوراک	اتان	پروپیلن	بوتادی ان	پروپیلن	بوتادی ان	پروپیلن	بوتادی ان
اتان	۸۰ - ۸۱	۱ - ۳	۱	۱ - ۲	الف	۱ - ۲	۱۲ - ۱۶
پروپیلن	۲۲ - ۲۶	۱۵ - ۱۷	۱ - ۲	۲ - ۴	الف	۲ - ۴	۲۸ - ۳۰
بوتادی ان	۲۵ - ۲۸	۱۶ - ۱۸	۱ - ۲	۱۲ - ۱۴	الف	۱۲ - ۱۴	۳۰ - ۳۲
نفتا	۳۱ - ۳۳	۱۲ - ۱۶	۲ - ۵	۲ - ۵	۲ - ۵	۲ - ۵	۱۵ - ۱۸
گازوئیل	۲۲ - ۲۶	۱۲ - ۱۶	۲ - ۵	۲ - ۶	۲ - ۶	۲ - ۶	۲۰ - ۲۱

(الف) در مقدار گاز سوخت گنجانیده شده است.

به طوری که از جدول ۴ پیدا است، تقریباً تمام هیدروکربنهای نفتی به غیر از متان قابل تبدیل به اتیلن می باشند، ولی مقدار اتیلن تولیدی بسیار متفاوت است.

مقدار اتیلن تولیدی از اتان بیش از ۸۰ درصد بوده در حالی که برای بقیه هیدروکربنها بین ۲۵ تا حداکثر حدود ۴۵ درصد است. در مقابل، مقدار پروپیلن حاصل از شکستن اتان بسیار ناچیز است. در صورتی که حدود ۱۵ درصد پروپیلن از شکستن هیدروکربنهای سنگینتر به دست می آید. به طور کلی، جمع مقدار اولفینهای تولیدی از شکستن اتان حداکثر بوده و با افزایش شماره کربن یا سنگینتر شدن خوراک کاهش می یابد. در ضمن از جدول ۴ پیداست که مقدار بنزین پیرولیز (و در نتیجه مقدار مواد آروماتیک) تولیدی با سنگینتر شدن خوراک زیاد می شود.

اهمیت نوع خوراک واحدهای اولفین

هزینه تولید مواد اولفینی در ارتباط با عامل خوراک، بستگی زیاد به قیمت خوراک واحد دارد و هزینه تولید اتیلن علاوه بر عامل خوراک، بستگی به قیمت دیگر اولفینهای تولیدی و بنزین پیرولیز و همچنین ارزش گاز حاصل به عنوان سوخت دارد.

قیمت متوسط و تقریبی فرآورده های واحد اولفین را با توجه به قیمت های ده سال گذشته و همچنین بهای سال ۱۹۹۰، می توان به شرح جدول ۵ فرض کرد.

ارزش واقعی فرآورده های واحد اولفین برای یک تن مواد اولیه مختلف در جدول ۶ محاسبه شده است.

نتایج به دست آمده در جدول ۶ نشان می دهد که ارزش فرآورده های حاصل از یک تن خوراک اتان ۴۸۶ دلار است، در حالی که این مبلغ

نوع خوراک	اتان	پروپیلن	بوتادی ان	پروپیلن	بوتادی ان	پروپیلن	بوتادی ان
اتان	۶۰۰	۴۲۰	۳۶۰	۳۰۰	۲۲	۱	۰.۷
پروپیلن	۴۲۰	۳۶۰	۳۰۰	۲۲	۰.۷	۰.۶	۰.۵
بوتادی ان	۳۶۰	۳۰۰	۲۲	۰.۷	۰.۶	۰.۵	۰.۴
پروپیلن	۳۰۰	۲۲	۰.۷	۰.۶	۰.۵	۰.۴	۰.۳
بوتادی ان	۲۲	۰.۷	۰.۶	۰.۵	۰.۴	۰.۳	۰.۲
پروپیلن	۰.۷	۰.۶	۰.۵	۰.۴	۰.۳	۰.۲	۰.۱
بوتادی ان	۰.۶	۰.۵	۰.۴	۰.۳	۰.۲	۰.۱	۰.۰۵
پروپیلن	۰.۵	۰.۴	۰.۳	۰.۲	۰.۱	۰.۰۵	۰.۰۲
بوتادی ان	۰.۴	۰.۳	۰.۲	۰.۱	۰.۰۵	۰.۰۲	۰.۰۱
پروپیلن	۰.۳	۰.۲	۰.۱	۰.۰۵	۰.۰۲	۰.۰۱	۰.۰۰۵
بوتادی ان	۰.۲	۰.۱	۰.۰۵	۰.۰۲	۰.۰۱	۰.۰۰۵	۰.۰۰۲
پروپیلن	۰.۱	۰.۰۵	۰.۰۲	۰.۰۱	۰.۰۰۵	۰.۰۰۲	۰.۰۰۱
بوتادی ان	۰.۰۷	۰.۰۴	۰.۰۲	۰.۰۱	۰.۰۰۵	۰.۰۰۲	۰.۰۰۱
پروپیلن	۰.۰۶	۰.۰۳	۰.۰۱	۰.۰۰۵	۰.۰۰۲	۰.۰۰۱	۰.۰۰۰۵
بوتادی ان	۰.۰۵	۰.۰۲	۰.۰۱	۰.۰۰۵	۰.۰۰۲	۰.۰۰۱	۰.۰۰۰۵
پروپیلن	۰.۰۴	۰.۰۱	۰.۰۰۵	۰.۰۰۲	۰.۰۰۱	۰.۰۰۰۵	۰.۰۰۰۲
بوتادی ان	۰.۰۳	۰.۰۱	۰.۰۰۵	۰.۰۰۲	۰.۰۰۱	۰.۰۰۰۵	۰.۰۰۰۲
پروپیلن	۰.۰۲	۰.۰۰۵	۰.۰۰۲	۰.۰۰۱	۰.۰۰۰۵	۰.۰۰۰۲	۰.۰۰۰۱
بوتادی ان	۰.۰۱	۰.۰۰۵	۰.۰۰۲	۰.۰۰۱	۰.۰۰۰۵	۰.۰۰۰۲	۰.۰۰۰۱
پروپیلن	۰.۰۰۷	۰.۰۰۴	۰.۰۰۲	۰.۰۰۱	۰.۰۰۰۵	۰.۰۰۰۲	۰.۰۰۰۱
بوتادی ان	۰.۰۰۶	۰.۰۰۳	۰.۰۰۱	۰.۰۰۰۵	۰.۰۰۰۲	۰.۰۰۰۱	۰.۰۰۰۰۵
پروپیلن	۰.۰۰۵	۰.۰۰۲	۰.۰۰۱	۰.۰۰۰۵	۰.۰۰۰۲	۰.۰۰۰۱	۰.۰۰۰۰۵
بوتادی ان	۰.۰۰۴	۰.۰۰۱	۰.۰۰۰۵	۰.۰۰۰۲	۰.۰۰۰۱	۰.۰۰۰۰۵	۰.۰۰۰۰۲
پروپیلن	۰.۰۰۳	۰.۰۰۱	۰.۰۰۰۵	۰.۰۰۰۲	۰.۰۰۰۱	۰.۰۰۰۰۵	۰.۰۰۰۰۲
بوتادی ان	۰.۰۰۲	۰.۰۰۰۵	۰.۰۰۰۲	۰.۰۰۰۱	۰.۰۰۰۰۵	۰.۰۰۰۰۲	۰.۰۰۰۰۱
پروپیلن	۰.۰۰۱	۰.۰۰۰۵	۰.۰۰۰۲	۰.۰۰۰۱	۰.۰۰۰۰۵	۰.۰۰۰۰۲	۰.۰۰۰۰۱
بوتادی ان	۰.۰۰۰۷	۰.۰۰۰۴	۰.۰۰۰۲	۰.۰۰۰۱	۰.۰۰۰۰۵	۰.۰۰۰۰۲	۰.۰۰۰۰۱
پروپیلن	۰.۰۰۰۶	۰.۰۰۰۳	۰.۰۰۰۱	۰.۰۰۰۰۵	۰.۰۰۰۰۲	۰.۰۰۰۰۱	۰.۰۰۰۰۰۵
بوتادی ان	۰.۰۰۰۵	۰.۰۰۰۲	۰.۰۰۰۱	۰.۰۰۰۰۵	۰.۰۰۰۰۲	۰.۰۰۰۰۱	۰.۰۰۰۰۰۵
پروپیلن	۰.۰۰۰۴	۰.۰۰۰۱	۰.۰۰۰۰۵	۰.۰۰۰۰۲	۰.۰۰۰۰۱	۰.۰۰۰۰۰۵	۰.۰۰۰۰۰۲
بوتادی ان	۰.۰۰۰۳	۰.۰۰۰۱	۰.۰۰۰۰۵	۰.۰۰۰۰۲	۰.۰۰۰۰۱	۰.۰۰۰۰۰۵	۰.۰۰۰۰۰۲
پروپیلن	۰.۰۰۰۲	۰.۰۰۰۰۵	۰.۰۰۰۰۲	۰.۰۰۰۰۱	۰.۰۰۰۰۰۵	۰.۰۰۰۰۰۲	۰.۰۰۰۰۰۱
بوتادی ان	۰.۰۰۰۱	۰.۰۰۰۰۵	۰.۰۰۰۰۲	۰.۰۰۰۰۱	۰.۰۰۰۰۰۵	۰.۰۰۰۰۰۲	۰.۰۰۰۰۰۱
پروپیلن	۰.۰۰۰۰۷	۰.۰۰۰۰۴	۰.۰۰۰۰۲	۰.۰۰۰۰۱	۰.۰۰۰۰۰۵	۰.۰۰۰۰۰۲	۰.۰۰۰۰۰۱
بوتادی ان	۰.۰۰۰۰۶	۰.۰۰۰۰۳	۰.۰۰۰۰۱	۰.۰۰۰۰۰۵	۰.۰۰۰۰۰۲	۰.۰۰۰۰۰۱	۰.۰۰۰۰۰۰۵
پروپیلن	۰.۰۰۰۰۵	۰.۰۰۰۰۲	۰.۰۰۰۰۱	۰.۰۰۰۰۰۵	۰.۰۰۰۰۰۲	۰.۰۰۰۰۰۱	۰.۰۰۰۰۰۰۵
بوتادی ان	۰.۰۰۰۰۴	۰.۰۰۰۰۱	۰.۰۰۰۰۰۵	۰.۰۰۰۰۰۲	۰.۰۰۰۰۰۱	۰.۰۰۰۰۰۰۵	۰.۰۰۰۰۰۰۲
پروپیلن	۰.۰۰۰۰۳	۰.۰۰۰۰۱	۰.۰۰۰۰۰۵	۰.۰۰۰۰۰۲	۰.۰۰۰۰۰۱	۰.۰۰۰۰۰۰۵	۰.۰۰۰۰۰۰۲
بوتادی ان	۰.۰۰۰۰۲	۰.۰۰۰۰۰۵	۰.۰۰۰۰۰۲	۰.۰۰۰۰۰۱	۰.۰۰۰۰۰۰۵	۰.۰۰۰۰۰۰۲	۰.۰۰۰۰۰۰۱
پروپیلن	۰.۰۰۰۰۱	۰.۰۰۰۰۰۵	۰.۰۰۰۰۰۲	۰.۰۰۰۰۰۱	۰.۰۰۰۰۰۰۵	۰.۰۰۰۰۰۰۲	۰.۰۰۰۰۰۰۱
بوتادی ان	۰.۰۰۰۰۰۷	۰.۰۰۰۰۰۴	۰.۰۰۰۰۰۲	۰.۰۰۰۰۰۱	۰.۰۰۰۰۰۰۵	۰.۰۰۰۰۰۰۲	۰.۰۰۰۰۰۰۱
پروپیلن	۰.۰۰۰۰۰۶	۰.۰۰۰۰۰۳	۰.۰۰۰۰۰۱	۰.۰۰۰۰۰۰۵	۰.۰۰۰۰۰۰۲	۰.۰۰۰۰۰۰۱	۰.۰۰۰۰۰۰۰۵
بوتادی ان	۰.۰۰۰۰۰۵	۰.۰۰۰۰۰۲	۰.۰۰۰۰۰۱	۰.۰۰۰۰۰۰۵	۰.۰۰۰۰۰۰۲	۰.۰۰۰۰۰۰۱	۰.۰۰۰۰۰۰۰۵
پروپیلن	۰.۰۰۰۰۰۴	۰.۰۰۰۰۰۱	۰.۰۰۰۰۰۰۵	۰.۰۰۰۰۰۰۲	۰.۰۰۰۰۰۰۱	۰.۰۰۰۰۰۰۰۵	۰.۰۰۰۰۰۰۰۲
بوتادی ان	۰.۰۰۰۰۰۳	۰.۰۰۰۰۰۱	۰.۰۰۰۰۰۰۵	۰.۰۰۰۰۰۰۲	۰.۰۰۰۰۰۰۱	۰.۰۰۰۰۰۰۰۵	۰.۰۰۰۰۰۰۰۲
پروپیلن	۰.۰۰۰۰۰۲	۰.۰۰۰۰۰۰۵	۰.۰۰۰۰۰۰۲	۰.۰۰۰۰۰۰۱	۰.۰۰۰۰۰۰۰۵	۰.۰۰۰۰۰۰۰۲	۰.۰۰۰۰۰۰۰۱
بوتادی ان	۰.۰۰۰۰۰۱	۰.۰۰۰۰۰۰۵	۰.۰۰۰۰۰۰۲	۰.۰۰۰۰۰۰۱	۰.۰۰۰۰۰۰۰۵	۰.۰۰۰۰۰۰۰۲	۰.۰۰۰۰۰۰۰۱
پروپیلن	۰.۰۰۰۰۰۰۷	۰.۰۰۰۰۰۰۴	۰.۰۰۰۰۰۰۲	۰.۰۰۰۰۰۰۱	۰.۰۰۰۰۰۰۰۵	۰.۰۰۰۰۰۰۰۲	۰.۰۰۰۰۰۰۰۱
بوتادی ان	۰.۰۰۰۰۰۰۶	۰.۰۰۰۰۰۰۳	۰.۰۰۰۰۰۰۱	۰.۰۰۰۰۰۰۰۵	۰.۰۰۰۰۰۰۰۲	۰.۰۰۰۰۰۰۰۱	۰.۰۰۰۰۰۰۰۰۵
پروپیلن	۰.۰۰۰۰۰۰۵	۰.۰۰۰۰۰۰۲	۰.۰۰۰۰۰۰۱	۰.۰۰۰۰۰۰۰۵	۰.۰۰۰۰۰۰۰۲	۰.۰۰۰۰۰۰۰۱	۰.۰۰۰۰۰۰۰۰۵
بوتادی ان	۰.۰۰۰۰۰۰۴	۰.۰۰۰۰۰۰۱	۰.۰۰۰۰۰۰۰۵	۰.۰۰۰۰۰۰۰۲	۰.۰۰۰۰۰۰۰۱	۰.۰۰۰۰۰۰۰۰۵	۰.۰۰۰۰۰۰۰۰۲
پروپیلن	۰.۰۰۰۰۰۰۳	۰.۰۰۰۰۰۰۱	۰.۰۰۰۰۰۰۰۵	۰.۰۰۰۰۰۰۰۲	۰.۰۰۰۰۰۰۰۱	۰.۰۰۰۰۰۰۰۰۵	۰.۰۰۰۰۰۰۰۰۲
بوتادی ان	۰.۰۰۰۰۰۰۲	۰.۰۰۰۰۰۰۰۵	۰.۰۰۰۰۰۰۰۲	۰.۰۰۰۰۰۰۰۱	۰.۰۰۰۰۰۰۰۰۵	۰.۰۰۰۰۰۰۰۰۲	۰.۰۰۰۰۰۰۰۰۱
پروپیلن	۰.۰۰۰۰۰۰۱	۰.۰۰۰۰۰۰۰۵	۰.۰۰۰۰۰۰۰۲	۰.۰۰۰۰۰۰۰۱	۰.۰۰۰۰۰۰۰۰۵	۰.۰۰۰۰۰۰۰۰۲	۰.۰۰۰۰۰۰۰۰۱
بوتادی ان	۰.۰۰۰۰۰۰۰۷	۰.۰۰۰۰۰۰۰۴	۰.۰۰۰۰۰۰۰۲	۰.۰۰۰۰۰۰۰۱	۰.۰۰۰۰۰۰۰۰۵	۰.۰۰۰۰۰۰۰۰۲	۰.۰۰۰۰۰۰۰۰۱
پروپیلن	۰.۰۰۰۰۰۰۰۶	۰.۰۰۰۰۰۰۰۳	۰.۰۰۰۰۰۰۰۱	۰.۰۰۰۰۰۰۰۰۵	۰.۰۰۰۰۰۰۰۰۲	۰.۰۰۰۰۰۰۰۰۱	۰.۰۰۰۰۰۰۰۰۰۵
بوتادی ان	۰.۰۰۰۰۰۰۰۵	۰.۰۰۰۰۰۰۰۲	۰.۰۰۰۰۰۰۰۱	۰.۰۰۰۰۰۰۰۰۵	۰.۰۰۰۰۰۰۰۰۲	۰.۰۰۰۰۰۰۰۰۱	۰.۰۰۰۰۰۰۰۰۰۵
پروپیلن	۰.۰۰۰۰۰۰۰۴	۰.۰۰۰۰۰۰۰۱	۰.۰۰۰۰۰۰۰۰۵	۰.۰۰۰۰۰۰۰۰۲	۰.۰۰۰۰۰۰۰۰۱	۰.۰۰۰۰۰۰۰۰۰۵	۰.۰۰۰۰۰۰۰۰۰۲
بوتادی ان	۰.۰۰۰۰۰۰۰۳	۰.۰۰۰۰۰۰۰۱	۰.۰۰۰۰۰۰۰۰۵	۰.۰۰۰۰۰۰۰۰۲	۰.۰۰۰۰۰۰۰۰۱	۰.۰۰۰۰۰۰۰۰۰۵	۰.۰۰۰۰۰۰۰۰۰۲
پروپیلن	۰.۰۰۰۰۰۰۰۲	۰.۰۰۰۰۰۰۰۰۵	۰.۰۰۰۰۰۰۰۰۲	۰.۰۰۰۰۰۰۰۰۱	۰.۰۰۰۰۰۰۰۰۰۵	۰.۰۰۰۰۰۰۰۰۰۲	۰.۰۰۰۰۰۰۰۰۰۱
بوتادی ان	۰.۰۰۰۰۰۰۰۱	۰.۰۰۰۰۰۰۰۰۵	۰.۰۰۰۰۰۰۰۰۲	۰.۰۰۰۰۰۰۰۰۱	۰.۰۰۰۰۰۰۰۰۰۵	۰.۰۰۰۰۰۰۰۰۰۲	۰.۰۰۰۰۰۰۰۰۰۱
پروپیلن	۰.۰۰۰۰۰۰۰۰۷	۰.۰۰۰۰۰۰۰۰۴	۰.۰۰۰۰۰۰۰۰۲	۰.۰۰۰۰۰۰۰۰۱	۰.۰۰۰۰۰۰۰۰۰۵	۰.۰۰۰۰۰۰۰۰۰۲	۰.۰۰۰۰۰۰۰۰۰۱
بوتادی ان	۰.۰۰۰۰۰۰۰۰۶	۰.۰۰۰۰۰۰۰۰۳	۰.۰۰۰۰۰۰۰۰۱	۰.۰۰۰۰۰۰۰۰۰۵	۰.۰۰۰۰۰۰۰۰۰۲	۰.۰۰۰۰۰۰۰۰۰۱	۰.۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰۵
پروپیلن	۰.۰۰۰۰۰۰۰۰۵	۰.۰۰۰۰۰۰۰۰۲	۰.۰۰۰۰۰۰۰۰۱	۰.۰۰۰۰۰۰۰۰۰۵	۰.۰۰۰۰۰۰۰۰۰۲	۰.۰۰۰۰۰۰۰۰۰۱	۰.۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰۵
بوتادی ان	۰.۰۰۰۰۰۰۰۰۴	۰.۰۰۰۰۰۰۰۰۱	۰.۰۰۰۰۰۰۰۰۰۵	۰.۰۰۰۰۰۰۰۰۰۲	۰.۰۰۰۰۰۰۰۰۰۱	۰.۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰۵	۰.۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰۲
پروپیلن	۰.۰۰۰۰۰۰۰۰۳	۰.۰۰۰۰۰۰۰۰۱	۰.۰۰۰۰۰۰۰۰۰۵	۰.۰۰۰۰۰۰۰۰۰۲	۰.۰۰۰۰۰۰۰۰۰۱	۰.۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰۵	۰.۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰۲
بوتادی ان	۰.۰۰۰۰۰۰۰۰۲	۰.۰۰۰۰۰۰۰۰۰۵	۰.۰۰۰۰۰۰۰۰۰۲	۰.۰۰۰۰۰۰۰۰۰۱	۰.۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰۵	۰.۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰۲	۰.۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰۱

در مطالعات مشابهی که در سال ۱۹۷۷ انجام گرفته است، این هزینه‌ها برای صدور ۶۰۰ میلیون فوت مکعب گاز طبیعی ایران به ساحل شرقی آمریکا حدود 3730 MMBTU برآورد شده است [12].

هزینه‌های مشابه برای اتان از گاز طبیعی مایع کمتر است، زیرا نقطه جوش اولی ۸۹- و دومی حدود 150°C - است. ولی چون اتان به علل مشکلات جداسازی، مایع کردن و حمل و نقل به صورت فرآورده مایع صادر نمی‌شود، لذا ارقام صحیح برای هزینه‌های یاد شده در دست نیست. در مورد گاز مایع (پروپان و بوتان) اطلاعات کافی در دسترس است، زیرا این مواد سالهای متعددی است که از کشورهای تولیدکننده (از جمله ایران، کویت و عربستان سعودی) به کشورهای صنعتی مثل ژاپن صادر می‌شود. هزینه‌های اضافی مربوط به صدور برخی از فرآورده‌ها در جدول ۷ نشان داده شده است.

هزینه‌های اضافی حمل منعکس در جدول ۷ در اکثر موارد، مصرف هیدروکربنهای سبک به عنوان خوراک واحدهای اولفین در کشورهای فاقد این مواد را از لحاظ اقتصادی توجیه نمی‌کند. بنابراین، در هر نقطه لازم است ابتدا مطالعات و بررسیهای فنی - اقتصادی از نقطه نظر خوراکهای موجود و ارزش حقیقی آنها برای تولید فرآورده‌های اولفین با توجه به سرمایه‌گذاری واحد انجام گیرد و سپس بهترین حالت و گزینه در مورد محل و ظرفیت واحد اولفین انتخاب شود.

اهمیت و ارزش نوع خوراک واحدهای اولفین در ایران نتیجه‌گیری پیش گفته در مورد مصرف هیدروکربنهای سبک به عنوان خوراک واحد اولفین برای کشور ایران صحیح نیست. علت این امر آن است که در ایران اتان و هیدروکربنهای سبک در دسترس بوده و جدول ۷ - هزینه‌های اضافی مربوط به صدور و حمل برخی از فرآورده‌های نفتی از ایران به ژاپن [13]

فرآورده	دولار آمریکا / تن	دولار ایران / تن	دولار ایران / تن
	BTU	(۱۱)	(۱۲)
گاز طبیعی مایع	۳۸۵	۱۲۹	۷۸
اتان	۲۱۰۰	۹۰/۰	۵۳۵
پروپان (الف)	۰/۱۸۹	۲۸۹۶	۲/۱۵
بوتان (الف)	۰/۱۸۱	۳۳۹۹	۲/۲۲
نفتا	۰/۱۵۲	۲۱۸۹	۲/۲۲
گازوئیل	۰/۱۵۲	۲۱۸۹	۲/۸۰
نفت خام	۰/۲۲۹	۱۲۱۰۶	۲/۶۵

الف - شامل ذخیره‌سازی و بارگیری در محل تولید (۱/۲) دلار برای هر بشکه پروپان و ۱ دلار برای هر بشکه بوتان می‌باشد.

صرف هزینه‌های اضافی برای مایع کردن و حمل و نقل آنها ضرورت ندارد.

طبق جدول ۷ این هزینه‌ها را در مورد اتان برای کشور ایران مثل ژاپن حدود ۹۰ دلار برای هر تن می‌توان پیش‌بینی کرد. به عبارت دیگر، ارزش حقیقی اتان به عنوان خوراک واحد اولفین در ایران می‌تواند معادل همین مبلغ کمتر باشد یا قیمت اتان معادل قیمت گاز سوخت به اضافه هزینه‌های مربوط به جداسازی آن است. به علاوه به طوری که در بخشهای بعدی شرح داده خواهد شد، چون مصرف این مواد جزء سهمیه تولید و صادرات نفت ایران محسوب نمی‌شود، لذا، قیمت آنها به ریال است.

این نتیجه‌گیری در صورت مصرف خوراک نفتا در طرحهای پتروشیمی صادق نیست زیرا، به طوری که پیش از این اشاره شده، نفتای تولیدی در پالایشگاهها کلاً از نفت خام پالایش شده به دست می‌آید که تابع ضوابط و مقررات سهمیه‌بندی اوپک می‌باشد. به عبارت دیگر، کلیه فرآورده‌های مشتق از نفت خام که در ایران مصرف می‌شود از جمله نفتا به طور مستقیم از درآمد ارزی کسر می‌گردد و بنابراین ارزش حقیقی آنها قیمتی است به ارز که در بازار بین‌المللی فروخته می‌شود.

این امر در مورد گازهای همراه با نفت خام و گاز طبیعی و هیدروکربنهای سبک مشتق از آنها صادق نیست زیرا، از یک طرف سهمیه برای تولید گاز طبیعی وجود ندارد و از طرف دیگر ذخایر گاز طبیعی در ایران قابل توجه و در بسیاری از نقاط ایران در دسترس می‌باشد.

ضرورت اصلی برای جانشینی فرآورده‌های نفتی، که به عنوان سوخت در ایران مصرف می‌شوند، و فور گاز است. مثلاً، اگر قیمت هر لیتر نفت سفید ۲۰ سنت باشد و بتوان روزانه ده میلیون لیتر نفت سفید را، که در ایران مصرف می‌شود، با گاز جانشین کرد این عمل درآمد ارزی حدود ۲ میلیون دلار در روز را به دنبال خواهد داشت.

قیمت نفتای تحویلی به صنایع پتروشیمی یا به طور کلی هر فرآورده حاصل از نفت خام که در شرایط جنوی به صورت مایع ذخیره شود و معمولاً برای صدور آنها به کشورهای صنعتی و کسب ارز مشکلی وجود ندارد، عبارت است از قیمت آن فرآورده در محل مصرف منهای هزینه حمل و نقل از محل تولید تا محل مصرف.

در مورد نفتا و فرآورده‌های نفتی مایع، هزینه حمل و نقل تقریباً یکسان است. ولی هزینه‌های حمل و نقل هیدروکربنهای سبک از قبیل اتان، پروپان / بوتان با یکدیگر متفاوت و از نفتا و فرآورده‌های مشابه مایع به مراتب بیشتر است. در جدول ۸ این تفاوت هزینه حمل و نقل و قیمت آنها در مقصد و ارزش حقیقی آنها در ایران نشان داده شده است.

به طوری که در جدول دیده می‌شود، اگر قیمت یک تن اتان و نفتا را در یک کشور صنعتی مثل ژاپن به ترتیب ۱۸۵ و ۲۲۵ دلار فرض کنیم، ارزش حقیقی یک تن از این مواد در ایران به ترتیب ۹۵ و ۲۰۳ دلار می‌شود. ارقام مندرج در جدول ۸ قیمت واقعی خوراک برای هر طرح

جدول ۸ - هزینه‌های اضافی مربوط به صدور برخی از فرآورده‌های نفتی از ایران به ژاپن و ارزش آنها در ایران

ارزش در ایران		ارزش در ژاپن		ارزش در ایران		ارزش در ژاپن		فرآورده
دلار (هر بشکه)	دلار (هر تن)	دلار (هر بشکه)	دلار (هر تن)	دلار (هر بشکه)	دلار (هر تن)	دلار (هر بشکه)	دلار (هر تن)	
۰/۶۷	۱۲	۰/۳۰	۷۸۹	۱۶۳	۲/۳۵	۷/۱۲	۱۲۹	گاز طبیعی
۵/۶۵	۹۵	۲/۱۲	۱۱/۰۰	۱۸۵	۲/۱۲	۵/۳۵	۹۰/۰	مایع اتان (الف)
۱۱/۸۰	۱۲۶/۰۲	۲/۳۳	۱۲/۸۵	۱۸۵	۲/۳۲	۲/۱۵	۲۸/۹۶	پروپان
۱۲/۲۶	۱۵۵/۰۲	۲/۵۹	۱۷/۲۸	۱۹۰	۲/۲۰	۲/۲۲	۲۲/۹۹	پوتان
۲۱/۶۳	۲۰۳/۲۹	۲/۸۹	۲۵/۰۵	۲۲۵	۵/۳۱	۲/۳۲	۲۱/۷	نفتا
۲۵/۱۷	۱۸۸/۲۹	۲/۵۰	۲۸/۰۷	۲۱۰	۵/۰۲	۲/۹۰	۲۱/۷	گازوئیل

در نظر بگیریم، قیمت تمام شده یک تن اتیلین طبق جدول ۱۰ به دست می‌آید.

هزینه ارزی تولید اتیلین از پنج نوع خوراک در جدول ۱۱ محاسبه شده است. در این محاسبات فرض شده است که ۵۰ درصد عامل سرمایه‌گذاری (شامل خدمات جانبی) و ۵۰ درصد قیمت پروپان و بوتان (با توجه به امکان صادرات و همچنین جانتا بنی با بنزین موتور) و صد درصد قیمت نفتا و گازوئیل هزینه‌های ارزی و بقیه هزینه‌ها ریالی است.

به طوری که در جدول ۱۱ دیده می‌شود، هزینه ارزی یک تن اتیلین تولیدی در ایران از خوراک اتان و نفتا به ترتیب ۸۸/۲ و ۳۹۲/۵ دلار است.

جدول ۹ - هزینه‌های عملیاتی واحد اولفین با ظرفیت ۵۰۰ هزار تن در سال اتیلین در ایران [7]
(ارقام به میلیون دلار بجز دو ستون آخر سمت چپ)

نوع هزینه	تولید اتیلین	تولید پروپان	تولید بوتان	تولید نفتا	تولید گازوئیل	تولید اتان	تولید پروپان	تولید بوتان	تولید نفتا	تولید گازوئیل
سرمایه ثابت	۲۰۵	۵۰۶	۱۰۳۸	۳۷۱	۱۱/۷	۱۱/۷	۱۲۳	۳۹۰	۲۶۸	۱۱۸
سرمایه متغیر	۱۲۲	۳۸۸	۱۱۷۸	۳۸۲	۱۳/۸	۱۳/۸	۱۵۸	۲۶۰	۵۵۲	۱۵۸
سرمایه جاری	۱۲۹	۳۷۸	۱۱۵۶	۳۸۶	۱۳/۲	۱۳/۲	۱۵۲	۲۳۸	۵۳۸	۱۵۲
سرمایه کل	۴۵۶	۱۲۷۲	۳۳۷۲	۱۱۲۷	۳۷/۷	۳۷/۷	۴۲۳	۱۳۸۸	۱۶۳۸	۴۲۸
سرمایه کل (میلیون دلار)	۴۵۶	۱۲۷۲	۳۳۷۲	۱۱۲۷	۳۷/۷	۳۷/۷	۴۲۳	۱۳۸۸	۱۶۳۸	۴۲۸

(الف) هزینه‌های متفرقه شامل مواد شیمیایی، کاتالیزور، خدمات جانبی، بیمه خدمات فروش و بهره سرمایه در گردش است.

(ب) اتیلین معادل از حاصل جمع اتیلین، ۰/۷ برابر پروپان، ۰/۶ برابر بوتان و ۰/۴ (جدول ۵) و ۰/۶ به دست آمده است.

(الف) ارقام مربوط به اتان با توجه به ارقام مشابه برای گاز طبیعی و پروپان پیش‌بینی شده است.

پتروشیمی در ایران است و در محاسبات اقتصادی می‌تواند به کار رود. به علاوه، چون کسب ارزی یکی از مزایای مهم اجرای هر طرح پتروشیمیایی در ایران است، لذا در مورد مصرف نفتا باید معادل مبلغی که در صورت صدور آن به دست می‌آید، از کل درآمد ارزی طرح کسر شود.

قیمت تمام شده اتیلین

جدول ۸ نشان می‌دهد که عامل خوراک مصرفی در واحدهای اولفین در ایران برای هر تن اتان ۹۵۰۰ ریال (معادل ۹۵ دلار) است در صورتی که برای هر تن نفتا ۲۰۳ دلار می‌باشد. توضیح آنکه در کلیه محاسبات این مقاله یک دلار معادل یکصد ریال فرض شده است.

در جدول ۱۰ هزینه خوراک برای تولید یک تن معادل اتیلین در ایران در مورد اتان و نفتا به ترتیب حدود ۱۱۷ و ۳۲۸ دلار به دست آمده است.

سایر عوامل مؤثر بر هزینه که علاوه بر عامل خوراک برای تولید مواد اولفین باید در نظر گرفته شود، عبارت‌اند از: استهلاک، تعمیرات، نیروی انسانی، بیمه، مواد شیمیایی و کاتالیزور، خدمات جانبی، دانش‌های فنی هزینه‌های بالاسری (از قبیل مدیریت، فضای دفتری، خدمات اداری و...) بهره سرمایه در گردش و غیره. جدول ۹ هزینه‌های واحد اولفین را براساس خوراکیهای مختلف برای ظرفیت مشابه (۵۰۰ هزار تن اتیلین در سال) نشان می‌دهد. به طوری که در این جدول نشان داده شده است، اکثر این عوامل برای واحد اولفین که با خوراک نفتا و مواد سنگین‌تر کار می‌کند، بیش از واحد اولفین با خوراک اتان است.

محاسبات جدول ۹ نشان می‌دهد که هزینه‌های عملیاتی اتیلین از اتیلین از خوراک اتان در ایران به طور متوسط حدود ۲۰۵ دلار برای هر تن در مقابل ۱۲۷ دلار از خوراک نفتاست. این ارقام بدون در نظر گرفتن قیمت مواد اولیه است. حال اگر قیمت خوراک را طبق محاسبات جدول ۸

خوراک	کل خوراک هزار تن در سال (جدول ۴ و ۶)	قیمت هر تن خوراک (جدول ۸) به دلار	قیمت تمام شده خوراک	قیمت تمام شده خوراک برای هر تن اتیلن (جدول ۴)	قیمت تمام شده خوراک به دلار اتیلن به دلار
اتان	۶۲۵	۹۵	۵۰۶	۲۰۵	۲۲۲/۲
پروپان	۱۱۱۱	۱۲۶/۰۲	۶۷۸	۱۷۲	۴۱۲/۳
پوتان	۱۲۸۹	۱۵۵/۰۲	۷۷۸	۱۲۹	۲۲۵/۸
نفتا	۱۵۶۲	۹۶۸	۲۰۲/۲۹	۱۲۷	۲۷۵/۰
گازوئیل	۲۰۰۰	۱۸۸/۲۹	۱۲۰۰	۱۲۸	۲۵۱/۸

به طوری که در جدول ۱۰ دیده می شود، قیمت تمام شده یک تن اتیلن از خوراک اتان و نفتا به ترتیب ۲۲۲/۲ و ۲۷۵/۰ دلار است.

غیرمستقیم از قبیل توسعه تکنولوژی، استقلال نسبی صنعتی، خود اتکایی و ایجاد کار را باید علاوه بر مزایای اقتصادی در نظر گرفت.

منابع هیدروکربنهای سبک در ایران

هیدروکربنهای سبک در این مقاله به اتان، پروپان، بوتان و برش سبک نفتا یا مخلوط پنتان / هگزان اطلاق می شود. مهمترین منابع هیدروکربنهای سبک، گازهای تولیدی همراه نفت خام و گازهای طبیعی می باشند.

گازهای همراه نفت

ترکیب و مقدار تقریبی گازهای تولیدی همراه نفت، با فرض سطح تولید ۳ میلیون بشکه در روز مخلوطی از نفت خامهای ایران و نسبت گاز به نفت خام (gas oil ratio) برابر ۸۱۰ فوت مکعب برای هر بشکه، در جدول ۱۲ منعکس شده است. به طوری که دیده می شود مقدار اتان و هیدروکربنهای سنگینتر حدود ۲۵ درصد گازهای تولیدی همراه نفت خام را تشکیل می دهد.

بر اساس این تجزیه و تحلیل و محاسبات می توان نتیجه گیری کرد که مصرف اتان و مواد سبک به عنوان خوراک واحد اولفین در ایران، به ویژه در نقاطی که چنین موادی در دسترس باشند، نسبت به نفتا از اولویت برخوردار است.

یادآور می شود که به علل مختلف، سرمایه گذاری برای واحد اولفین (یا به طور کلی صنایع پتروشیمی) در ایران حداقل ۲۰ درصد بیش از سرمایه گذاری مشابه در کشورهای صنعتی است و از این جهت، عوامل هزینه واحد اولفین (به استثنای خوراک) نیز در ایران نسبت به کشورهای صنعتی بیشتر است [7]. از طرف دیگر، هزینه های حمل و نقل خوراک از ایران به کشورهای صنعتی و وارد کردن فرآورده ها از کشورهای صنعتی به بازار ایران قابل توجه است. این عوامل می توانند در بسیاری موارد هزینه بیشتر سرمایه گذاری واحدها را در ایران جبران کنند. بنابراین، مزایای خوراک واحدهای اولفین در ایران اعم از اینکه اتان یا نفتا به عنوان خوراک مصرف شود همچنان به قوت خود باقی است و سرمایه گذاری در واحدهای تولید مواد اولفین کاملاً توجیه پذیر است. در ضمن مزایای

جدول ۱۱ - هزینه های ارزی (عملیاتی و خوراک) واحد اولفین با ظرفیت ۵۰۰ هزار تن اتیلن در سال (ارقام به میلیون دلار جز ستون آخر سمت چپ)

خوراک	هزینه های عملیاتی (میلیون دلار)		هزینه های خوراک (میلیون دلار)		کل هزینه (میلیون دلار)
	سال اول	سال دوم	سال اول	سال دوم	
اتان	۱۹/۵	۱۱/۷	۱۳/۵۵	۲۲/۵۵	۸۸/۲
پروپان	۲۳/۱	۱۳/۸	۱۲/۲	۵۱/۰۰	۱۹۲/۹
پوتان	۲۲/۳	۱۳/۳	۱۲/۳	۵۰/۸۰	۲۰۲/۸
نفتا	۲۸/۲۵	۱۷/۱	۱۶/۸۵	۶۱/۳۰	۳۹۲/۵
گازوئیل	۲۳/۱۵	۱۹/۹	۱۸/۲۵	۷۱/۵۰	۲۳۲/۲

جدول ۱۲ - ترکیب و مقدار هیدروکربنهای سبک در گازهای همراه نفت خام تولیدی [7] (تولید = ۳ میلیون بشکه در روز، نسبت گاز به نفت = ۸۱۰ فوت مکعب برای هر بشکه)

ترکیب	درصد حجم	درصد جرم	درصد انرژی	درصد اکتان
متان و گازهای غیر هیدروکربن	۷۵/۱	۱۸۲/۵	۳۶۹۳/۰	۱۳۳۸/۰
اتان	۱۲/۳	۲۹۹	۱۱۳۳/۰	۲۱۲/۰
پروپان	۶/۹	۱۶۸	۹۳۵/۰	۳۳۱/۰
بوتان	۳/۵	۸۵	۶۲۲/۰	۲۲۷/۰
پنتان	۱/۳	۳۳	۳۰۹/۰	۱۱۳/۰
هگزان و سنگینتر	۰/۸	۱۹	۲۳۰/۰	۸۲/۰
جمع	۱۰۰/۰	۲۳۳/۰	۶۹۲۳/۰	۷۵۲۷/۰

مقدار اتان موجود در گازهای تولیدی همراه نفت خام حدود ۴ میلیون تن در سال برآورد می‌شود که با فرض بازیابی ۵۰ درصد آن و بازده ۸۰ درصد، سالانه، بیش از ۱/۶ میلیون تن اتیلن از آن ساخته می‌شود. این مقدار اتیلن بیش از دو برابر کل اتیلن ساخته شده در ایران پس از تکمیل طرحهای در دست انجام و حدود ۳/۳ درصد کل اتیلن تولیدی جهان است [7].

گازهای همراه نفت خام تولیدی پس از جداسازی ناخالصیها و تنظیم نقطه شبنم آن، هم اکنون در خط لوله سراسری کشور مورد استفاده قرار می‌گیرد. تنظیم نقطه شبنم (C ۱۰ - در فشار ۸۰ بار) با جداسازی بخشی از مواد سنگینتر گازهای همراه انجام می‌شود. برای صرفه‌جویی در هزینه عملیات و همچنین عدم تقاضا برای ترکیبات اتان و سنگینتر، در حال حاضر مقدار قابل توجهی از این ترکیبات در گاز شبکه (یا گاز شهری) باقی می‌ماند. بدیهی است چنانچه با ایجاد صنایع پتروشیمی در ایران به این ترکیبات نیاز پیدا شود، با اضافه کردن تاسیسات، به‌ویژه تجهیزات سرد کردن در دمای پایین (cryogenic) این امر میسر خواهد بود.

اشاره می‌شود که در کشورهای صنعتی دارای منابع نفت خام همراه با گاز و گاز طبیعی، معمولاً تا حدود ۹۰ درصد اتان از گاز جدا شده و به مصرف تولید فرآورده‌های پتروشیمی می‌رسد. به عنوان مثال، خوراک بیش از ۷۰ درصد واحدهای اولفین در ایالات متحده آمریکا را اتان و دیگر هیدروکربنهای سبک تشکیل می‌دهند [7].

علاوه بر اتان در گازهای همراه نفت تولیدی در ایران، مقادیر قابل توجه (بیش از ۷ میلیون تن در سال) ترکیبات پروپان و مواد سنگینتر موجود است. کلیه این مواد، همان‌طور که در جدول ۴ نشان داده شده

است، قابل تبدیل به مواد اولفینی از جمله اتیلن می‌باشد. به علت نقطه جوش پایین اتان (C ۸۹ - در فشار جو و C ۱۸ - در فشار ۱۵ بار) حمل و نقل آن بسیار مشکل و پرهزینه است ولی انتقال پروپان (نقطه جوش C ۲۲ - در فشار جو و C ۴۵ در فشار ۱۵ بار) و بوتان (نقطه جوش C ۵ - در فشار جو و C ۴۵ در فشار ۴ بار) نسبتاً ساده و با هزینه کم انجام می‌گیرد.

از بحث بالا می‌توان نتیجه گرفت که به طور کلی مصرف اتان به صورت سوخت صحیح نیست و بهتر است در محل تولید به عنوان خوراک واحد اولفین به مصرف رسد. مصرف پروپان و بوتان (که اصطلاحاً گاز مایع نامیده می‌شوند) به صورت سوخت نیز صحیح نیست، ولی چون حمل و نقل آنها به صورت مایع میسر و با هزینه نسبتاً کم انجام می‌گیرد لذا، برای نقاطی که مصرف سوخت کم بوده و رساندن سوخت گازی متضمن هزینه زیاد می‌باشد عرضه گاز مایع به عنوان سوخت، اقتصادی خواهد بود.

همچنین مصرف گاز مایع به عنوان سوخت و سائط نقلیه به جای بنزین موتور یا گازوئیل گذشته از کمک به نقصان آلودگی، با صرفه است زیرا، به طوری که پیش از این اشاره شد، بنزین موتور و گازوئیل فرآورده‌های حاصل از نفت خام هستند که به آسانی قابل صدور بوده و از فروش آنها ارز اضافی به دست می‌آید.

پنتان و هگزان، که پس از گاز مایع سبکترین ترکیبات در مایعات گازی حاصل از گازهای همراه نفت خام‌اند، به علت بالا بودن فشار بخار آنها در دمای محیط قابل صدور نمی‌باشند و از این جهت مصرف آنها در واحدهای اولفین اقتصادی خواهد بود. به علاوه، از شکستن آنها مقداری اولفینهای سنگینتر از جمله بوتادیان بدست می‌آید که مصارف عیدیه در ساخت فرآورده‌های پتروشیمی دارد. در ضمن، با ایزومری کردن پارافینهای نرمال ترکیبات پنتان و هگزان و بهبود شماره اکتان، می‌توان آنها را به برشهای بنزین موتور تا حد فشار بخار مجاز تزریق کرد.

برش هپتان و برشهای سنگینتر حاصل از گازهای همراه، که معمولاً بنزین پایدار شده (stabilized gasoline) نامیده می‌شوند، در شرایط عادی به صورت مایع در مخازن ذخیره شده و چون برای ساخت بنزین موتور و مواد آروماتیک مناسب‌اند لذا، مصرف آنها در ایران به عنوان خوراک واحد اولفین از لحاظ اقتصادی توجیه‌پذیر نیست.

گازهای طبیعی

طبق گزارشها و آمارهای منتشر شده، ایران دارای ذخایر عظیم از گازهای طبیعی است. به طوری که در رده دوم کشورهای جهان (پس از اتحاد جماهیر شوروی) قرار می‌گیرد. ذخایر گاز طبیعی کشورهای خاورمیانه حدود ۳۷/۸ هزار میلیارد متر مکعب برآورد شده است که نزدیک به نیمی از آن (یا حدود ۱۷ هزار میلیارد متر مکعب) متعلق به ایران است که خود بیش از ۱۴ درصد کل ذخایر گاز جهان را تشکیل می‌دهد

[10]. این ذخایر از لحاظ ارزش گرمایی، معادل بیش از ۱۰۰ میلیارد بشکه نفت خام یا برابر ذخایر ثابت شده نفت خام ایران می‌باشد.

با توجه به این حقیقت که افزایش قیمت یا ارزش حقیقی نفت خام در نیا در سالهای آینده غیر قابل اجتناب است و صدور و فروش گازهای طبیعی به هر صورت متضمن هزینه‌های اضافی (از لحاظ سرمایه‌گذاری، هزینه‌های عملیاتی و مصرف انرژی برای انتقال) می‌باشد، لذا در کشورهایی که از ذخایر هر دو نوع هیدروکربن (گاز طبیعی و نفت خام) بهره‌مندند، باید خوراک مورد نیاز صنایع شیمیایی و پتروشیمی خود را در مرحله اول از گازهای طبیعی تأمین کنند.

در جدول ۱۳ ترکیب تقریبی از گازهای طبیعی در ایران داده شده و بر اساس آن مقادیر هیدروکربنهای سنگینتر از متان برای تولید ۲۰، ۴۰، ۶۰، ۸۰ و ۱۰۰ میلیارد متر مکعب در سال محاسبه شده است.

به طوری که پیش از این توضیح داده شد، برای انتقال گاز طبیعی به وسیله لوله و مصرف آن به عنوان گاز شهر یا تزریق آن به حوزه‌های نفت لازم است که، ناخالصیهای آن، به ویژه ترکیبات گوگردی، جدا شده و همچنین نقطه شبنم آن با سردسازی (refrigeration) گاز و جداسازی ترکیبات سنگینتر هیدروکربن تنظیم گردد.

در جدول ۱۳ دیده می‌شود که مقدار اتان و گاز مایع (پروپان و بوتان) موجود در ۲۰ میلیارد متر مکعب تولید گاز طبیعی در سال، به ترتیب حدود ۶۲۰ و ۲۷۰ هزار تن و مقدار پنتان و مواد سنگینتر حدود ۷۴۰ هزار تن است. با توجه به اینکه سیاست وزارت نفت جانشینی سوختهای مایع به وسیله گاز و همچنین تزریق گاز به حوزه‌های نفتی برای بازیابی ثانوی نفت می‌باشد، بنابراین باید انتظار داشت که تولید گاز در سالهای آتی افزایش یابد و به حد بالای ۱۰۰ میلیارد متر مکعب در سال نزدیک شود.

جدول ۱۳ - ترکیب تقریبی و مقدار اتان و مواد سنگینتر در گازهای طبیعی ایران

ترکیب	درصد حجمی مخلوط فرضی گاز	مقدار بر حسب هزار تن در سال برای تولید گاز بر حسب میلیارد متر مکعب در سال				
		۱۰۰	۸۰	۶۰	۴۰	۲۰
اتان	۰/۲۳۳	۳،۱۰۰	۲،۴۸۰	۱،۸۶۰	۱،۲۴۰	۶۲۰
پروپان	۰/۱۶۵	۱،۲۵۰	۱،۰۰۰	۷۵۰	۵۰۰	۲۹۰
بوتان	۰/۱۴۳	۱،۱۰۰	۸۸۰	۶۶۰	۴۴۰	۲۲۰
پنتان	۰/۱۲۰	۵۵۰	۴۴۰	۳۳۰	۲۲۰	۱۱۰
هگزان و سنگینتر	۰/۱۷۸	۳،۱۵۰	۲،۵۲۰	۱،۸۹۰	۱،۲۶۰	۶۳۰
جمع	۴/۳۹	۹،۱۵۰	۷،۳۲۰	۵،۴۹۰	۳،۶۶۰	۱۸۳۰

با تولید این مقدار گاز مقدار اتان و ترکیبات سنگینتر ۵ برابر ارقام پیش گفته خواهد بود. حتی با جداسازی ۷۰ درصد اتان و ۹۰ درصد پروپان، بوتان و پنتان موجود در سطح تولید حدود ۴۰ میلیارد متر مکعب در سال می‌توان بیش از یک میلیون تن اتیلن در سال ساخت که بدین ترتیب محدودیتی از لحاظ مواد اولیه حاصل از گازهای تولیدی برای خوراک واحدهای اولفین وجود نخواهد داشت.

اشاره می‌شود که جداسازی اتان برای تنظیم نقطه شبنم ضرورتی ندارد ولی در صورت نیاز به این ترکیب به عنوان خوراک واحد اولفین، سیستم سردسازی و جداسازی متفاوت خواهد بود و جداسازی اتان و ترکیبات سنگینتر در دمای پایینتر انجام خواهد گرفت.

در حال حاضر با وجود مقادیر قابل توجه مایعات گازی حاوی اتان، پروپان و مواد سنگینتر، که فقط به ضرورت تنظیم نقطه شبنم جدا شده و در دسترس می‌باشند جداسازی اتان از لحاظ اقتصادی در ایران توجیه نمی‌شود، ولی بدیهی است موقعی که تولید مواد اولفین در ایران از حدود ۵ میلیون تن در سال تجاوز کند، جداسازی اتان کاملاً اقتصادی و توجیه‌پذیر خواهد بود. به طوری که بیش از این اشاره شد موضوع قابل توجه و اهمیت در مورد گاز طبیعی، مقدار ذخایر آن در ایران است که حدود هفده هزار میلیارد متر مکعب برآورد شده است. این مقدار معادل یکصد و هفتاد سال مصرف در سطح تولید ۱۰۰ میلیارد متر مکعب گاز در سال است.

خلاصه و نتیجه‌گیری

از بخشهای مختلف مقاله می‌توان خلاصه و نتیجه‌گیری زیر را به دست آورد:

۱ - تولید نفت خام در ایران به علل تعیین سهمیه و همچنین حفظ منابع ملی و منافع نسلهای آینده کشور محدود است و به طور کلی، به هر میزانی که از نفت خام و فرآورده‌های آن در داخل کشور مصرف شود از صادرات آنها کاسته می‌شود. بنابراین ارزش حقیقی نفتهای حاصل از نفت خام برای هر نوع مصرف خواه بنزین موتور یا خوراک صنایع پتروشیمی معادل قیمت صادراتی آن به ارز است.

۲ - بنزین موتور ساخته شده از نفتای موجود در نفت خام تصفیه شده در ایران کمتر از مقدار مصرف می‌باشد و برای تأمین کمبود به اجبار از برشهای دیگر نفت با صرف هزینه اضافی استفاده می‌شود. از طرفی چون خوراک واحدهای اولفین از منابع دیگر قابل تأمین است، بنابراین مصرف نفتا در این واحدها از لحاظ اقتصادی و حفظ منافع کشور صحیح نیست.

۳ - عملیات مربوط به صدور گاز از جمله مایع کردن در دمای بسیار پایین، حمل با کشتیهای مخصوص و ذخیره‌سازی در محل مصرف متضمن هزینه‌های زیاد می‌باشد و از این جهت ارزش حقیقی و خالص آن برای تولیدکننده بسیار پایینتر از هیدروکربنهایی است که می‌تواند در شرایط جوی به صورت مایع صادر شود.

۴ - گازهای تولیدی همراه نفت خام و گازهای طبیعی، حاوی مقادیر قابل توجه اتان و دیگر هیدروکربنهای سبک است که می‌تواند خوراک واحدهای اولفین ایران را برای سالهای متمادی تأمین کند.



REFERENCES

- [1] Kirk Othmer, "Encyclopedia of Chemical Technology" Vol. 4 P. 268. 3rd ed. 1978.
- [2] Nelson W. L., "Petroleum Refinery Engineering", 4TH ed. P. 227. 1958. McGraw. Hill.
- [3] Oil and Products Statistics, Sept. 22, 1986.
- [4] OPEC Bulletin, Jan. 1989, P. 33, 34.
- [5] A, BP Statistical Review of World Energy, June, 1990. B, M Grathwohn, "World Energy Supply", 1982.
- [6]
- [7] Lee, A. K. K., and A. M. Aitan, oil and Gas Journal, "Saudi ethylene plants move toward more feed flexibility". Sept. 10, 1990.
- [8] Waddams A. L., "Chemicals From Petroleum", 4TH ed., P. 29
- [9] European Chemical News, Dec. 31, 1990/7 Jan. 1991, P. 8
- [10] Oil and Gas Journal, Vol. 88 No. 53 Dec. 31, 1990, "Worldwide Oil and Gas at a Glance".
- [11] Platt's Week, January 15, P. 1 1990.
- [12] Hajarizadeh H. A., "Factors Dominating Petrochemicals Planning in the Middle East Oil Producing Countries", Presented at 3rd. Iranian Congress of Chemical Engineers, Nov. 10, 1977, Shiraz.
- [13] Brewery Shipping Statistics, June - July, 1990.

دسته‌ای از ترکیبات آلی فلزی را معرفی کرد که حاوی نیتان یا آلومینیوم بودند و به عنوان کاتالیزورهایی برای پلیمر شدن اتیلن، یکی از مهمترین اولفینها، کاربرد داشت. این ترکیبات که نانا آنها را «کاتالیزورهای زیگلر» و زیگلر آنها را «کاتالیزورهای مولهیم» (Mulheim) می‌نامید، از شاخه‌دار شدن زنجیرها طی فرایند پلیمر شدن جلوگیری می‌کردند. نتیجه این عمل تولید پلاستیکهای پلیمری محکمی بود که با خیساندن در آب داغ، نرم نمی‌شدند. این فرایند جدید می‌توانست در دما و فشاری بسیار پایینتر از روش قدیمی انجام گیرد.

نانا که دکترای خود را در مهندسی شیمی از مؤسسه پلی‌تکنیک میلان در ۱۹۲۲ دریافت کرد در سالهای ۱۹۳۰ تحقیقات صنعتی خود را بر روی پلیمرها آغاز کرد، سالهایی که دولت مشوق خودکفایی ملی در منابع مواد حیاتی بود. طی این دوره اولیه وی بر روی توسعه لاستیک مصنوعی کار کرد و روشهای ساختن کاتالیزوری متانول، فرم آلدئید و بوتیرآلدئید را ابداع کرد. کار چندی وی درباره بلورشناسی تفرق الکترون و اشعه ایکس که آن نیز در این زمان انجام گرفت، منجر به بینش بعدی وی در ارتباط با فرایندهای درشت مولکولی شد.

در ۱۹۳۸، نانا بر سرسیاهی خود را روی پلیمر شدن اولفینها و سینتیک این واکنشها آغاز کرد. با آگاهی از کارهای زیگلر بر روی پلیمر کردن اتیلن در فشار پایین و آرزوی درک مکانیسمهای واکنش، نانا حوزه کار خود را تا پلیمر شدن سایر اولفینها، به ویژه α اولفینهای نظیر پروپیلن گسترش داد که در مقادیر زیاد و ارزان در پالایش نفت در فرایند پروپان تولید می‌شدند (در C_3 در هر پروپان، پروپیلن ۱۰ مرتبه ارزانتر از اتیلن بود) پلیمر شدن پروپیلن تا حدی موفق بود، اما محصول یک پلاستیک نامرغوب و شکننده بود که معمولاً در معرض هوا و نور تجزیه می‌شد. در اوایل سال ۱۹۵۴، نانا با استفاده از کاتالیزورهای زیگلر، پلیمرهایی از پروپیلن، سایر α اولفینها و استیرن با خواص مطلوبی به دست آورد که تفاوت بسیار با پلیمرهایی داشت که قبلاً از این مونومرها تهیه شده بود. وی بلورینگی و سایر خواص غیر معمول آنها را نه تنها به وزن مولکولی بالا نسبت نداد بلکه آنها را به ساختار فضایی متفاوت این درشت مولکولها نسبت داد.

در این پلیمرها تمام گروههای متیل به جای اینکه توزیعی تصادفی در جهات متفاوت داشته باشند (آتاکتیک)، این گروهها در جهت یکسان آرایش یافته بودند (ایزوتاکتیک) (این اصطلاحهای جدید توسط هسمر نانا، روزیتا (Rosita) که معلم ادبیات دانشگاه میلان بود پیشنهاد شد و ریشه یونانی دارد).

این پلی اتیلن ایزوتاکتیک می‌توانست در هر شکل دلخواه تهیه شود، یعنی به صورت اشیای جامدی قالبگیری شود که محکمتر و در برابر گرما مقاومتر از پلی اتیلن قدیمی باشد، از نظر ظاهر و بافت حالت موسمی کمتری نسبت به آن داشته باشد، به شکل ایفای رسیده شود که به محکمی نایلون ولی از آن بسبکتر باشد، به صورت فیلمی پهن شود که از شفافیت سلفوفان برخوردار گردد و به صورت لوله‌هایی اکستروژن شود که با لوله‌های فلزی رقابت کند.

در ۱۹۵۷ مونت کاتینی (Monte Catini)، شرکت شیمیایی ایتالیایی بزرگی که کمک هزینه تحقیقات نانا را می‌پرداخت، پروپیلن ایزوتاکتیک را در مقیاس صنعتی با نام تجاری مولین (Moplen) تولید کرد. نانا آرایش دقیق زنجیرهای موجود در شبکه پلی اتیلن ایزوتاکتیک و سایر پلیمرهای بلوری فضاویزه را که خود کاشف آنها بود، تعیین کرد.

Journal of Chemical Education
Vol. 67, No. 5, Sep. 1990

منبع:

Ziegler and Natta

زیگلر و نانا

پنجاه و پنجمین جایزه نوبل در شیمی (۱۹۶۳) به کارل زیگلر آلمانی (۱۹۱۳ - ۱۸۹۸) مدیر مؤسسه ماکس پلانک و جولیانو نانا (۱۹۷۹ - ۱۹۰۳) (اولین ایتالیایی برنده جایزه نوبل شیمی) مدیر مرکز پژوهشی شیمی صنعتی مؤسسه پلی‌تکنیک میلان، برای کشفیات آنها در زمینه شیمی و تکنولوژی پلیمرهای بزرگ، تعلق گرفت. (به افتخار کشف آنها شمیری چاپ شد که عتکوتی را در حال تبدیل یک نار پلیمری بسیار منظم که مدلی از پروپیلن ایزوتاکتیک و جهت‌گیری فضاویزه مولکولهای مونومر است، نشان می‌دهد).

در اوایل زندگی کاری، زیگلر به ترکیبات آلی فلزی علاقه‌مند شد و بر روی واکنشگرهای گرینارد تحقیقاتی را آغاز کرد. این پژوهش، به طور غیر منتظره‌ای، منجر به سنتز پلیمرهایی گردید که طی سالهای ۱۹۳۰ و ۱۹۴۰ به وسیله واکنشهای پلیمر شدن تولید می‌شدند که این واکنشها منجر به جهت‌یابی تصادفی مونومرها و شاخه‌دار شدن زنجیر پلیمر می‌شد و محصولاتی ضعیف با نقطه ذوب پایین تولید می‌کرد. در ۱۹۵۳ زیگلر