"وضعیت گاز مایع (LPG) در جهان، خواص، سازگاری و آلایندگی"

محمدسجاد حبیب اللهی

کارشناس ارشد امور بهبود و توسعه سوخت نوین واحد حمل و نقل

آبان ماه 1401

گاز مایع، LPG

LPG یک سوخت جایگزین کاملاً مناسب است که می تواند در موتورهای جرقه زنی ویژه یا به عنوان سوخت کمکی در موتورهای احتراق تراکمی دوگانه، به عنوان سوخت همراه با روغن دیزل استفاده شود. LPG مخلوطی از پروپان و بوتان و محصول جانبی صنایع گاز و نفت است. استفاده از LPG در حمل و نقل در کشورهای معدودی (کره، ترکیه، روسیه و لهستان) متمرکز است و عمدتاً در وسایل نقلیه سبک دوگانه سوز استفاده می شود.

آلایندگی های منتشره به نوع وسیله نقلیه (بهبود یافته، دو سوختی بودن یا تک سوخته، نوع تزریقی، سن و غیره) بستگی دارد، اما با طراحی مناسب، خودروهای مدرن در مقایسه با خودروهای بنزینی انتشار آلایندگی کمتری دارد. در مقایسه با نفت گاز، انتشار NO_x و ذرات معلق کمتر است ، در حالی که انتشار CO و HC معمولاً با LPG (مشابه بنزین) بیشتر است. در مقایسه با گاز طبیعی، عملکرد انتشار بدتر است، اما توزیع و ذخیره سازی آسان تر است.

اطلاعات عمومی

گاز مایع (LPG) – که به عنوان اتوگاز شناخته می شود - یک سوخت جایگزین پر استفاده است. LPG مخلوطی از پروپان و بوتان است و به عنوان محصول جانبی صنعت پالایش گاز طبیعی و نفت تولید می شود. بر اساس اطلاعات به دست آمده از WLPGA[1]، حدود 60 درصد از مقدار کل LPG تولید شده مستقیماً از میادین نفت و گاز بازیافت می شود که در این صورت نیازی به پالایش واقعی نیست. 40 درصد باقیمانده به عنوان یک محصول جانبی در فرآوری نفت خام یا در مرحله تقطیر یا فرآیندهای پس از تصفیه (کراکینگ) تشکیل می شود.

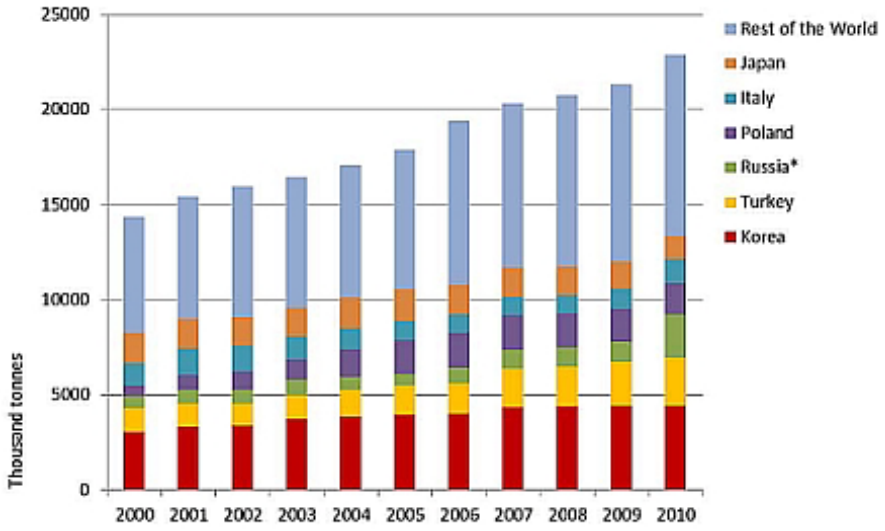
خواص شیمیایی متداول گاز مایع

[1] انجمن جهانی گاز مایع (WLPGA) صدای معتبر صنعت جهانی LPG است که زنجیره ارزش کامل LPG را نمایندگی می کند.

LPG بیشتر از پروپان (C_3H_8) و بوتان (C_4H_{10}) تشکیل شده است که به راحتی در فشار متوسط قابل مایع شدن هستند. ترکیب شیمیایی LPG بسته به مکان و زمان سال متفاوت است. به عنوان مثال، LPG فروخته شده در هلند به طور متوسط حاوی 60٪ پروپان و 40٪ بوتان است، اما در مناطق شمالی مانند کانادا، ایالات متحده آمریکا یا سوئد، LPG بیشتر از پروپان تشکیل شده است. در دماهای پایین، فشار بخار بوتان آنقدر کم است که از مخزن خارج نمی شود. LPG مورد استفاده در حمل و نقل باید تا حد امکان حاوی الفین های کمی (مانند پروپن) باشد. الفین ها دارای عدد اکتان پایینی هستند و باعث رسوب کربن در موتورها می شوند.

بازار LPG در جهان

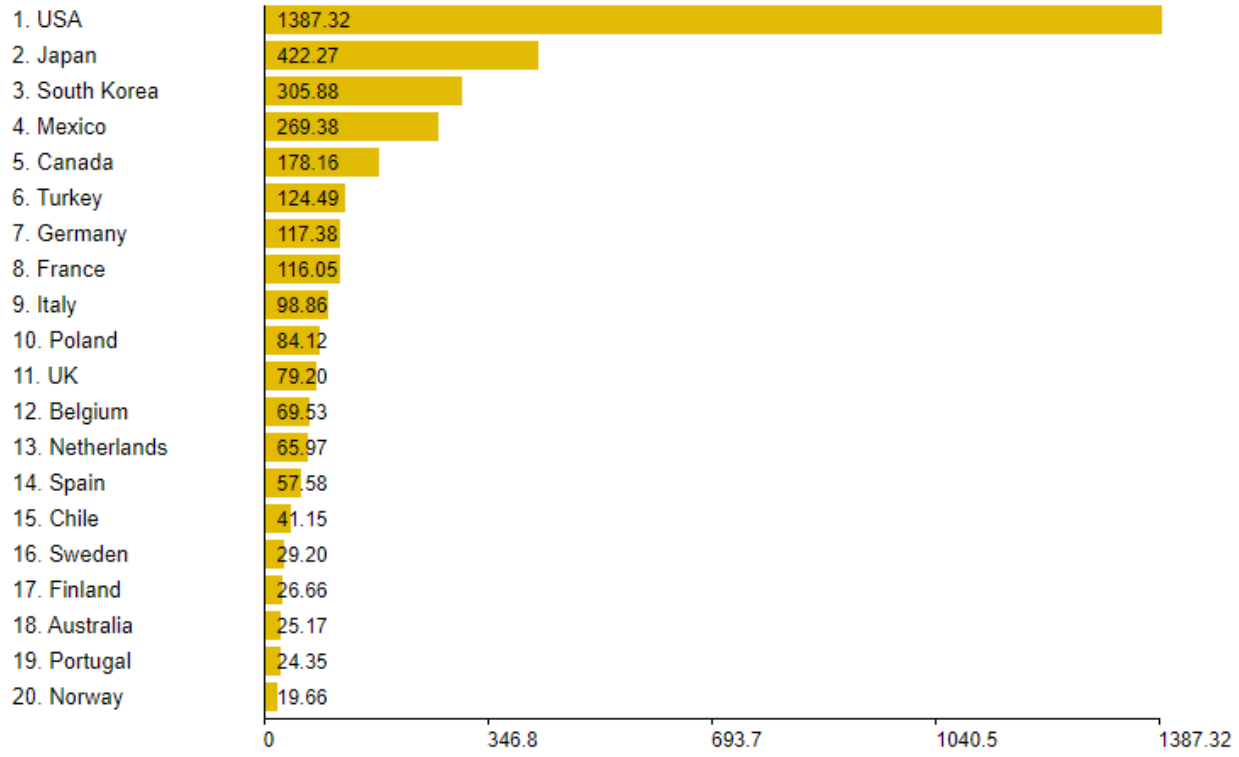
در سال 2010 از LPG برای تامین انرژی بیش از 17 میلیون خودرو در سراسر جهان استفاده شد. کمی بیش از 9 درصد از مصرف جهانی LPG در حمل و نقل استفاده می شود. بقیه LPG به عنوان مثال در گرمایش فضا و آب، پخت و پز، تولید برق و در بسیاری از فرآیندهای صنعتی استفاده می شود. استفاده از اتوگاز در تعداد کمی از بازارها متمرکز شده است: کره، ترکیه، روسیه، لهستان و ایتالیا نیمی از مصرف جهانی را در سال 2010 و ده کشور برتر مصرف کننده، 75 درصد را به خود اختصاص دادند. در کره و ژاپن، به دلیل مشوق ها و مقررات، بیشتر LPG در تاکسی ها و سایر وسایل نقلیه ناوگان سبک استفاده می شود. در اروپا LPG بیشتر در بخش خصوصی (در اتومبیل هایی که با تجهیزات LPG مجهز شده اند) استفاده می شود، این در حالی است که کره جنوبی تجهیزات اصلی خودروهای LPG را تولید می کند .گاز مایع در خودروهای سنگین زیاد استفاده نمی شود. روند افزایشی استفاده از اتوگاز را می توان از شکل 1 مشاهده کرد.



شکل 1- میزان استفاده از گاز مایع در حمل و نقل در جهان

رتبه بندی کشورها

میانگین مصرف گاز مایع در سال 2021 بر اساس 36 کشور، 101.02 هزار بشکه در روز بوده است. بیشترین مقدار مربوط به آمریکا: 1387.32 هزار بشکه در روز و کمترین مقدار مربوط به ایسلند بوده است. : 0.09 هزار بشکه در روز. این شاخص از سال 1980 تا 2021 در دسترس است. در شکل 2 نموداری برای 20 کشور اول که داده‌ها در آن‌ها موجود است، ارائه شده است.



شکل 2. مصرف گاز مایع، هزار بشکه در روز، 2021

سازگاری LPG با موتورها

مشابه گاز طبیعی، LPG به راحتی یک مخلوط همگن با هوا تشکیل می دهد. این ترکیب با ساختار شیمیایی نسبتاً ساده LPG، به طور تمیز می سوزد و برای موتورهای جرقه زنی SI[2] (بنزینی) مناسب است. برای موتورهای احتراق تراکمی CI [3] (دیزلی)، LPG به عنوان تنها سوخت مناسب نیست.

در موتورهای SI فرایند احتراق مخلوط هوا و سوخت توسط جرقه ناشی از شمع، صورت می گیرد. بر خلاف موتورهای CI که برای شروع فرایند احتراق، گرمای تولید شده از فشرده سازی همراه با تزریق سوخت و بدون نیاز به جرقه، کافی است.

[2] Spark Ignition (SI)
[3] Compression Ignition (CI)

خودروهای LPG به عنوان خودروهای بهبود یافته (خودروهایی که صرفا به منظور سوزاندن LPG تولید نشده اند و با افزودن تجهیزات مورد نیاز و یا اصلاح فرایندهای موجود، بعدا مناسب سوزاندن گاز مایع شده اند) در دسترس هستند. بطور کلی خودروهای با قطعات اصلی بهتر از خودروهای بهبود یافته عمل می کنند. LPG بیشتر در خودروهای دوگانه سوز که با بنزین روشن می شوند استفاده می شود. موتورهای جرقه زنی با استفاده از بنزین را می توان به راحتی با تغییر سیستم سوخت یا اضافه کردن یک سیستم سوخت موازی برای LPG به موتورهای LPG یا دوگانه سوز تبدیل کرد. LPG مایع یا گاز به صورت متوالی در درگاه های ورودی موتور تزریق می شود. کیت LPG تقریباً در تمام خودروهای بنزینی قابل استفاده است. خودروهای LPG پیشرفته دارای سیستم کنترل مخصوصی هستند که عملکرد کاتالیزور خوبی را ممکن می‌سازد. (Verbeek et al. 2008).

در موتورهای جرقه زنی، نسبت تراکم گاز مایع معمولاً مشابه با بنزین استفاده می شود، حتی اگر عدد اکتان LPG (112 برای پروپان، 94 برای بوتان) بیشتر از بنزین باشد. این به این دلیل است که هنگام استفاده از LPG دمای احتراق بالاتر است و این باعث کاهش حد ضربه[4] به خصوص در بارهای زیاد موتور می شود. استثنا در این مورد موتورهایی هستند که LPG در آنها به صورت مایع تزریق می شود. در خودروهای دوگانه سوز، حد بالا برای نسبت تراکم، توسط بنزین محدود می شود. کارایی موتورهای LPG مشابه موتورهای بنزینی است.

هنگامی که موتورهای دیزلی که معمولاً در اتوبوس ها و کامیون ها استفاده می شوند، به استفاده از LPG تبدیل می شوند، سیستم جرقه زنی باید اضافه شود. علاوه بر این، نسبت تراکم باید کاهش یابد، محفظه احتراق باید تغییر شکل داده شود و البته کل سیستم سوخت باید جایگزین شود. با این حال، می توان از LPG در موتورهای نفت گاز به عنوان سوخت کمکی مشابه متان استفاده کرد. در سیستم گاز-دیزل، نفت گاز به عنوان سوخت احتراق مورد نیاز است و گاز می تواند سوخت اصلی باشد. موتورهای گاز-دیزلی روی فرآیند دیزل کار می کنند و راندمان انرژی قابل قبول است. در قسمت کنترل عملکرد گذرا، دوگانه سوز کردن گاز-دیزل، پیچیده تر و دشوارتر از موتورهای گاز سوز جرقه زن است.

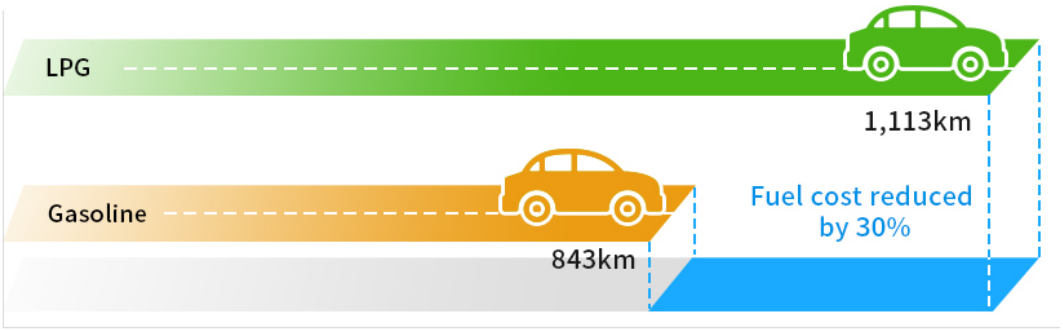
زیر ساخت

[4] knock

تفاوت عمده بین سوخت های رایج و LPG در ذخیره سازی است، زیرا LPG در دمای اتاق و فشار اتمسفر گازی است. بنابراین مخازن ذخیره سازی تحت فشار هم در جایگاه های سوخت رسانی و هم در وسایل نقلیه مورد نیاز است.

در مقایسه با گاز طبیعی، توزیع LPG ساده تر است و جایگاه های سوخت به طور قابل توجهی ارزان تر هستند، زیرا LPG در حال حاضر در فشار متوسط مایع است. برای جایگاه های سوخت، LPG معمولا توسط کامیون های تانکر که فشار کمتر از 25 بار دارند حمل می شود. در وسایل نقلیه، مخازن فشار ثابت با سطوح فشار معمولاً در محدوده 5 تا 15 بار استفاده می شود (با دریچه ایمنی روی 25 بار). با توجه به ساختار ضد فشار، مخازن LPG نسبت به مخازن بنزین یا نفت گاز تا حدودی گرانتر، سنگین تر و به فضای بیشتری نیاز دارند.

با این حال، فشار مورد نیاز تنها حدود یک دهم فشار مورد نیاز برای گاز طبیعی فشرده است. محتوای انرژی حجمی LPG کمتر از بنزین یا نفت گاز است (حدود 70 درصد انرژی نفت گاز). مقایسه مصرف سوخت گاز مایع با بنزین نشانگر پیمایش حدود 30٪ بیشتر با گاز مایع نسبت به بنزین است. علاوه بر این، فرآیند دیزل نیز کارآمدتر از چرخه اتو است. بنابراین، حجم مخازن LPG در خودروها باید حدود دو برابر حجم مخازن خودروهای دیزلی برای طی مسافت یکسان باشد.



شکل 3. مقایسه مصرف سوخت بنزین با LPG

گازهای خروجی اگزوز

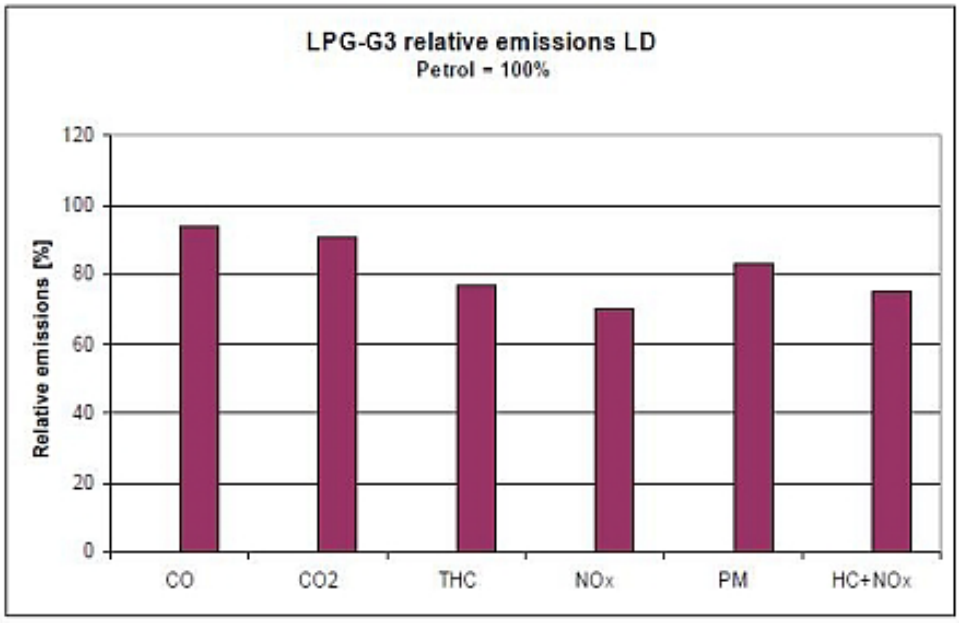
الزامات صدور گواهینامه و آلایندگی خودروهای LPG متفاوت است .(Verbeek 2008) مصرف سوخت و انتشار CO_2 معمولاً با سوختLPG ، یکسان یا کمی کمتر از بنزین است. در مقایسه با موتورهای دیزل، موتور LPG

زمانی که در محدوده بهینه خود کار می کند 10 تا 15 درصد کارایی کمتری دارد. در عمل، سهم بار جزئی[5] غالب است، بنابراین در "دنیای واقعی" تفاوت کارایی موتور در مقایسه با دیزل می تواند بیشتر باشد.

در مطالعه ای توسط Tasic و همکاران. (2011) انتشار گازهای گلخانه ای با بنزین و LPG با استفاده از یک خودروی Opel Zafira مدرن با موتور چهار سیلندر 1800 سی سی Ecotec به عنوان وسیله نقلیه آزمایشی مقایسه شد. موتور با کیت Landi Renzo تبدیل شده بود تا با LPG نیز کار کند. نتایج نشان داد که انتشار گازهای گلخانه ای به وضوح کمتر از نفت گاز بود. با توجه به اندازه‌گیری‌های TNO (سازمان تحقیقات علمی کاربردی هلند)، انتشارات آلایندگی وسایل نقلیه LPG مجهز به قطعات اصلی معمولاً معادل یا کمتر از وسایل نقلیه بنزین‌دار است (شکل 4، جدول 1، Verbeek et al. 2008) .وسایل نقلیه دیزلی انتشار CO، HC، NH_3 و CO_2 کمتری نسبت به LPG داشتند، در حالی که سایر انتشارات وسایل نقلیه LPG کمتر از نفت گاز بود. انتشار ذرات معلق از وسایل نقلیه دیزلی در مقایسه با وسایل نقلیه LPG بالا بود. همچنین سایر انتشارات وسایل نقلیه LPG (هیدروکربن های پلی آروماتیک، آلدئیدها و هیدروکربن های منفرد) را مورد مطالعه قرار داد. به طور کلی، اثرات سلامت انسان برای LPG با موتور داغ بسیار کم بود. خودروهای دوگانه سوز LPG معمولاً با بنزین استارت می خورند. بنابراین در هنگام شروع سرد و گرم کردن، رفتار انتشار وسایل نقلیه LPG شبیه خودروهای بنزینی است.

Aakko و Nylund (2003) سوخت های جایگزین مختلف را در دمای معمولی، +5 و -7 درجه سانتیگراد مطالعه کردند. خودروی LPG در این مطالعه یک نمونه اولیه بود. خودروهای با سوخت LPG نسبت به خودروهای بنزینی انتشار CO، HC و NO_x بیشتری تولید می‌کردند (شکل 3). در مقایسه با خودروهای دیزلی، ال‌پی‌جی آلاینده‌های NO_x و ذرات معلق کمتری را نشان داد. انتشار فرمالدئید برای خودروهای LPG بیشتر از خودروهای بنزینی بود، اما در همان سطح خودروهای دیزلی بود. انتشار CO، HC و هیدروکربن منفرد در دماهای پایین در مقایسه با دمای معمولی، مشابه خودروهای بنزینی، بطور قابل ملاحظه ای افزایش یافت. در مطالعه Nylund و همکاران (1996) خودروی LPG در مقایسه با خودروهای بنزینی و دیزلی در آن زمان در همه شرایط آلایندگی کمی نشان داد.

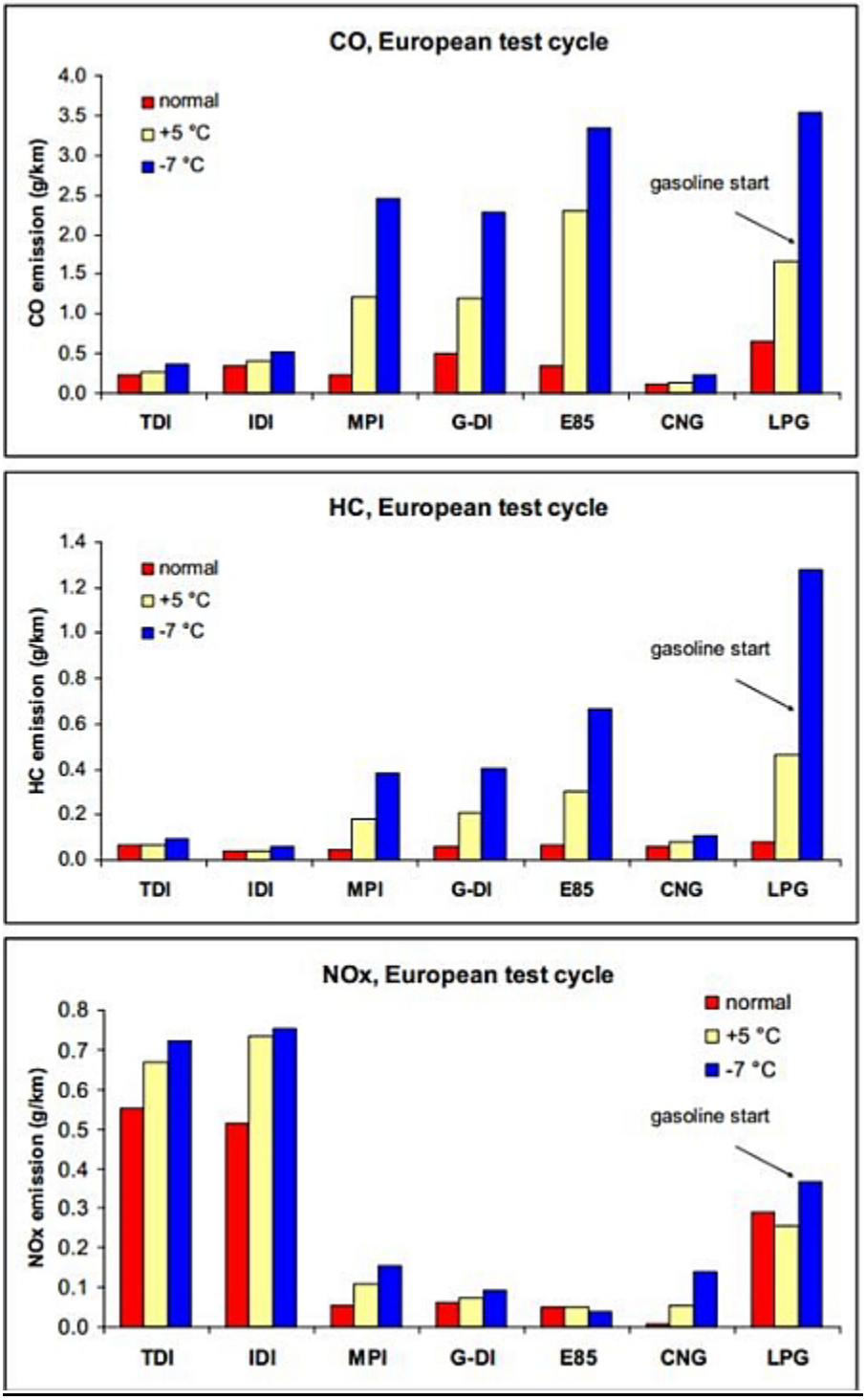
[5] Partial load



شکل 4. انتشار گازهای گلخانه ای با وسیله نقلیه LPG در مقایسه با خودروهای بنزینی. بنزین = 100٪ (هندریکسن 2003).

جدول 1. نمونه ای از انتشار گازهای گلخانه ای با خودروهای بنزینی، دیزلی و LPG

	Petrol	Diesel	LPG
CO, g/km	1.48	0.10	1.39
HC, g/km	0.13	0.02	0.10
NO_x, g/km	0.10	0.80	0.07
HC+NO_x, g/km	0.24	0.83	0.18
NO_2,mg/km	0.02	0.37	0.01
PM, g/km	0.006	0.046	0.005
CO_2, g/km	208.1	180.5	189.3
Fuel consumption, l/100km	8.86	6.78	11.74
NH_3,mg/km	17.3	0.9	50.6
SO_2,mg/km	8.9	3.7	2.8
N_2O,mg/km	3	7	3
OC/EC,mg/km	1.1/0.6	11.5/26.1	0.4/0.2



شکل 5. انتشارات تنظیم شده با نفت گاز (TDI، IDI) ، بنزین (MPI، G-DI) ، E85، CNG، و سوخت گاز مایع

(Aakko and Nylund 2003)

References

Aakko, P. and Nylund, N-O. (2003) Particle emissions at moderate and cold temperatures using different fuels. IEA/AMF Task 32. Project report PRO3/P5057/03. EN 589:2008+A1:2012, JRC (2007) Well-to-Wheels analysis of future automotive fuels and powertrains in the European context, WELL-to-WHEELS Report Version 2c, March 2007.

JRC (2008) Well-to-Wheels analysis of future automotive fuels and powertrains in the European context, TANK-to-WHEELS Report version 3, October 2008.

Hendriksen, P. Vermeulen, R., Rijkeboer, R., Bremmers, D., Smokers, R. and Winkel, R. (2003) Evaluation of the environmental performance of modern passenger cars running on petrol, diesel, automotive LPG and CNG, TNO-report 03.OR.VM.055.1/PHE.

Nylund, N-O., Ikonen, M., Lappi, M., Kytö, M., Westerholm, M. and Laurikko, J. (1996) Performance evaluation of alternative fuel/engine concepts 1990-1995. Final report including addendum of diesel vehicles. VTT Publications 271. ISBN951-38-4929-5.

Rehnlund, B. (2008) IEA/AMF Outlook on standardization of Alternative vehicle fuels Global, Regional and National level. Task 28 Sub task Report, October 2008.

Tasic, T., Pogorevc, P. & Brajlih, T. (2011) Gasoline and LPG exhaust emissions comparison, Advances in production engineering & management, 6 (2011) 2, 87-94, ISSN 1854-6250.

Verbeek, R., Smokers, G., Kadijk, A., Hensema, G.L.M., Passier, E., Rabé, B., Kampman, I.J. and Riemersma, I. (2008) Impact of biofuels on air pollutant emissions from road vehicles, TNO report, MONRPT- 033-DTS-2008-01737, June 2008

WLPGA, World LP Gas Association, website http://www.worldlpgas.com (Accessed 15th November 2012)