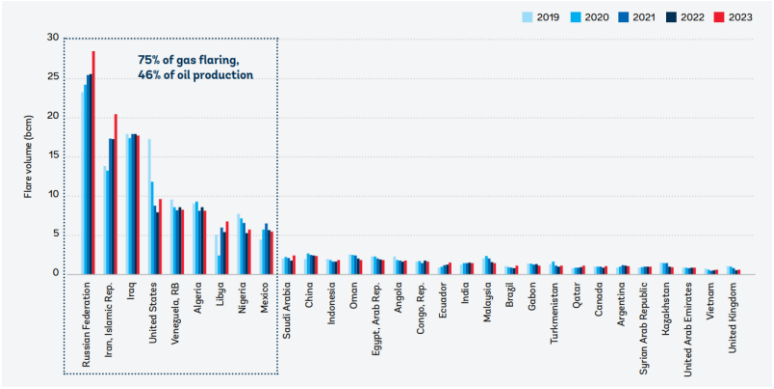
بررسی نقش بازیابی گاز فلر و تولید Mini-LNG به عنوان راهکاری در رفع آلودگی‌های زیست محیطی

مژگان عباسی

عضو هیات علمی دانشکده مهندسی شیمی دانشگاه تهران

انستیتو گاز طبیعی مایع- دانشگاه تهران

Gas Flaring



From World bank, Global Gas Flaring Tracker Report, 2024.

$ 9-48 Billion

ترکیب درصد

دبی حجمی

هزینه‌های فرایندی

بازار

راندمان انرژی

موقعیت جغرافیایی

Mini/Small LNG

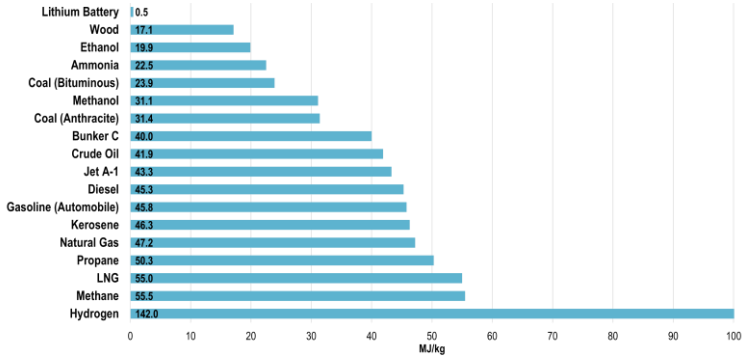
۱/۶۰۰ حجم گاز طبیعی

انتقال آسان به منابع مصرف

مقیاس واحدهای مایع‌سازی گاز طبیعی

Scale	Capacity (MTPA)		
Mini/Small	Up to 1	Up to 0.5	Up to 0.5
Mid	0.8-2.3	0.5-2	0.3-1.5
Large scale (Baseload)	2-5.3	>2	>1
Super large (Mega)	>5	-	

Mini/Small LNG



فرصت‌ها در بازار LNG

- ظرفیت کمتر از ۱ MTPA
- سوخت پاک جایگزین دیزل
- افزایش تقاضا LNG برای کامیون‌ها، سوخت‌رسانی به کشتی‌ها، تولید برق برای مناطق دورافتاده
- مزیت از نظر چگالی انرژی و محیط زیستی
- موثر در کاهش کربن (E-LNG و Bio-LNG)

From IGU, World LNG report, 2024.

رویکردهای جدید در تولید LNG

واحدهای عملیاتی تولید LNG با رویکردهای نوین

Market	Emissions Reduction Technology	Project	Project Capacity (MTPA)	CCUS Capacity (MTPA of CO_2)
Canada	Renewables-sourced electric drive	Woodfibre LNG	2.1	
Canada		Cedar FLNG	3.0	
Canada		Ksi Lisims FLNG	12.0	
Norway		Snohvit LNG	4.3	
UAE	Renewables/nuclear sourced electric drive	Ruwais LNG	9.6	
US	Electric drive	Freeport LNG Train 4	5.1	
US		Cameron Train 4	6.75	
Papua New Guinea		Papua LNG	4.0	
Australia	CCUS	Moomba	NA	1.7
Australia		Bonaparte (Ichthys)	8.9	2.0
Australia		Bayu Undan (Darwin)	3.7	10.0
Qatar		QatarEnergy LNG expansion	NA	7.0
Indonesia		Tangguh	11.4	2.7
Malaysia		Kasawari (MLNG)	29.3	3.7
Papua New Guinea		Elk-Antelope (Papua LNG)	4.0	1.0
US		Calcasieu Pass	10.0	0.5
US		Plaquemines	20.0	0.5
US		Calcasieu Pass 2	19.8	0.5
US		Rio Grande LNG	17.6	5.0
US		Cameron Train 4	6.75	2.0

Tokyo Gas and Mitsui have recently delivered 40,000 cm of bio-LNG from landfill gas in the US through the Cameron LNG terminal to Japan.

From IGU, World LNG report, 2024.

چالش پیش تصفیه

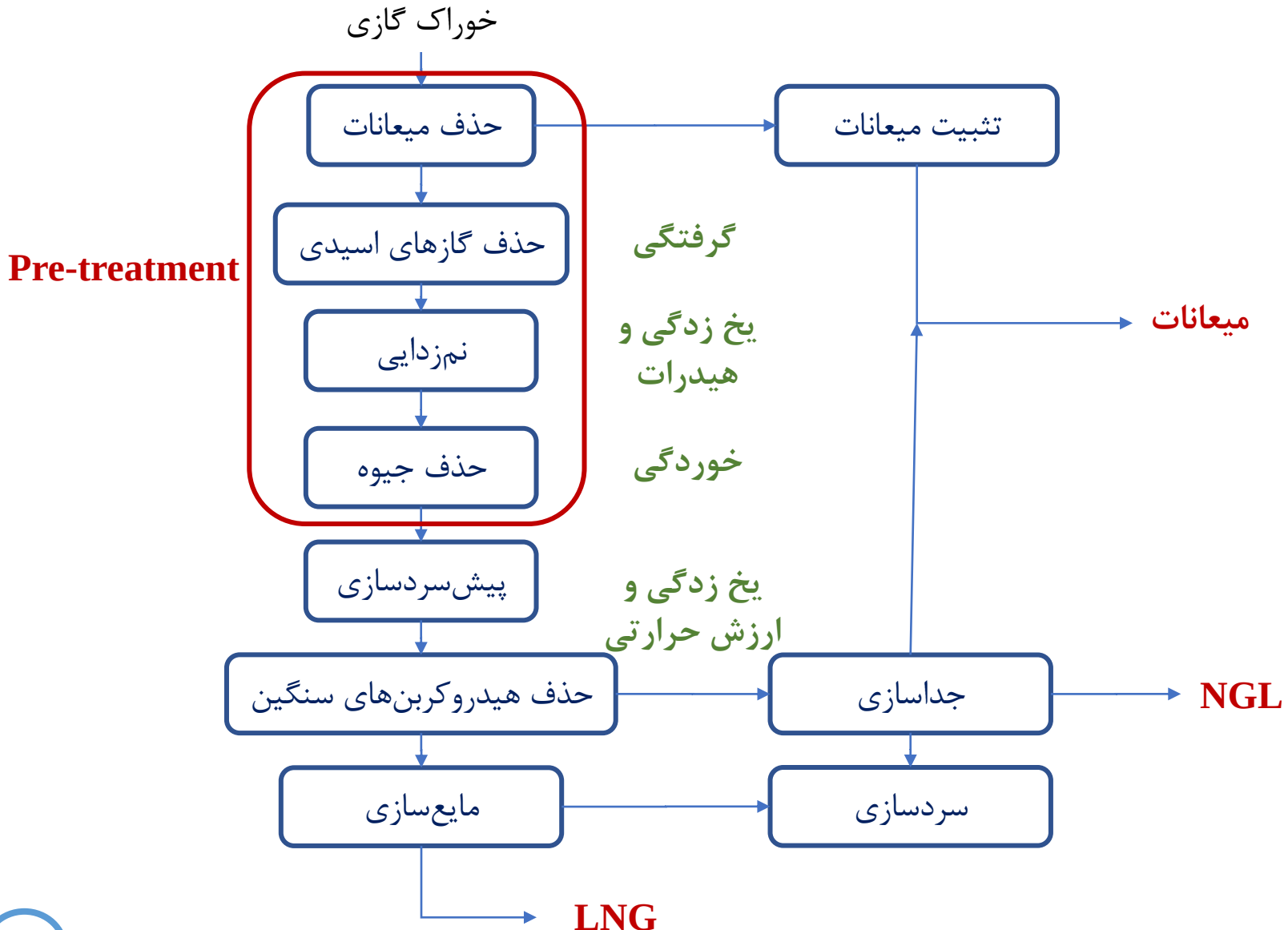
ترکیب درصد گاز فلر

ترکیب درصد	(٪)
متان	۵۰-۹۲
اتان	۲-۳۰
پروپان	۱-۱۵
ایزو-بوتان	۰/۱-۴
نرمال-بوتان	۰/۱-۴
ایزو-پنتان	۰/۱-۱
نرمال-پنتان	۰/۱-۱
نرمال هگزان	۰/۱-۱
هپتان+	۰/۵-۱
نیتروژن	۰-۲
دی اکسیدکربن	۰/۰۳-۲
سولفیدهیدروژن	-
هیدروژن	۰/۰۳-۰/۳

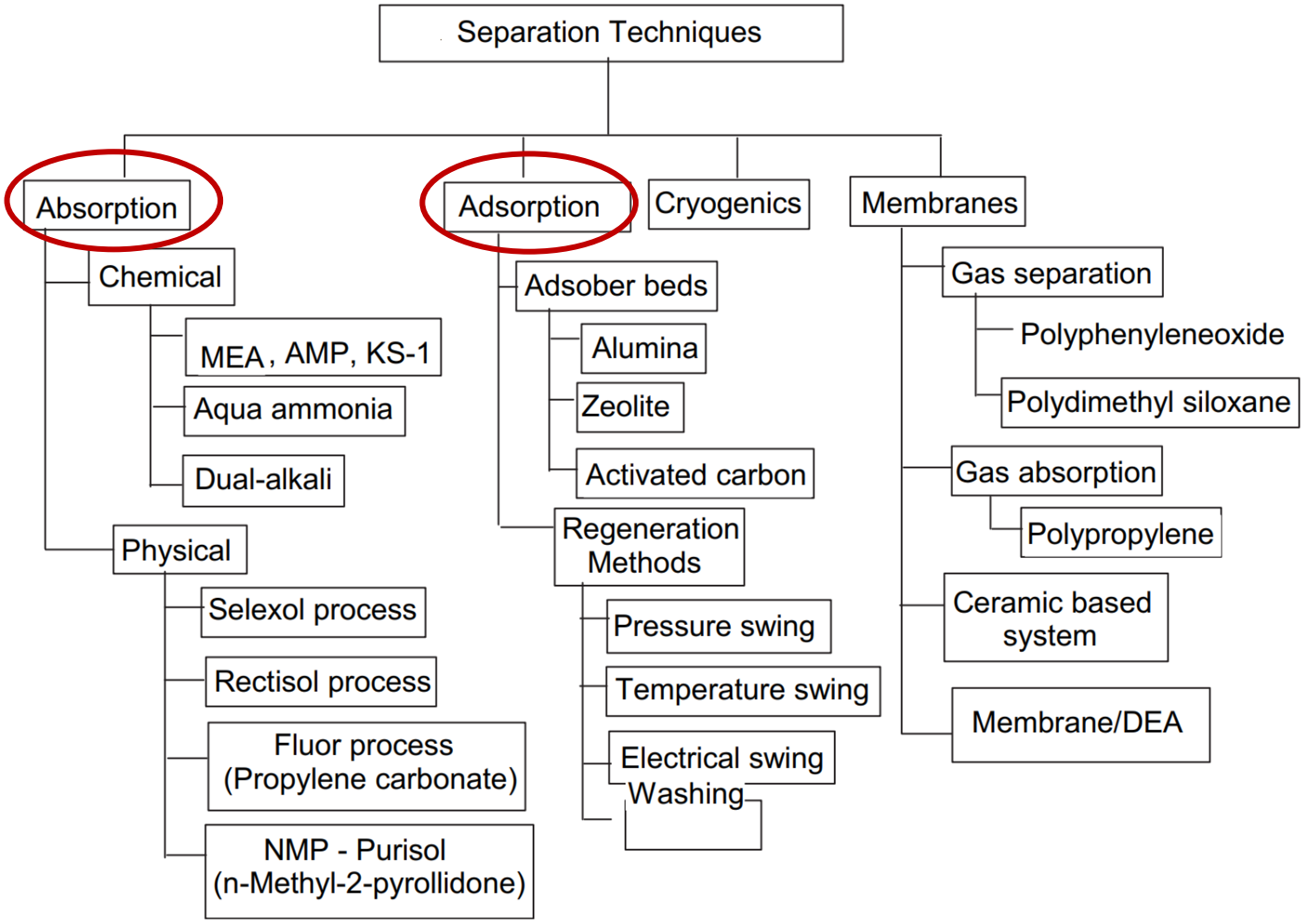
میزان مجاز ناخالصی‌ها در گاز طبیعی مایع

ترکیب درصد	(٪)
دی اکسیدکربن (ppmv)	۵۰
سولفیدهیدروژن (ppmv)	۴
جیوه ($microg/Nm^3$)	۰/۰۱
آب (ppmv)	۱
نیتروژن (mol%)	۳
پنتان+	۰/۱

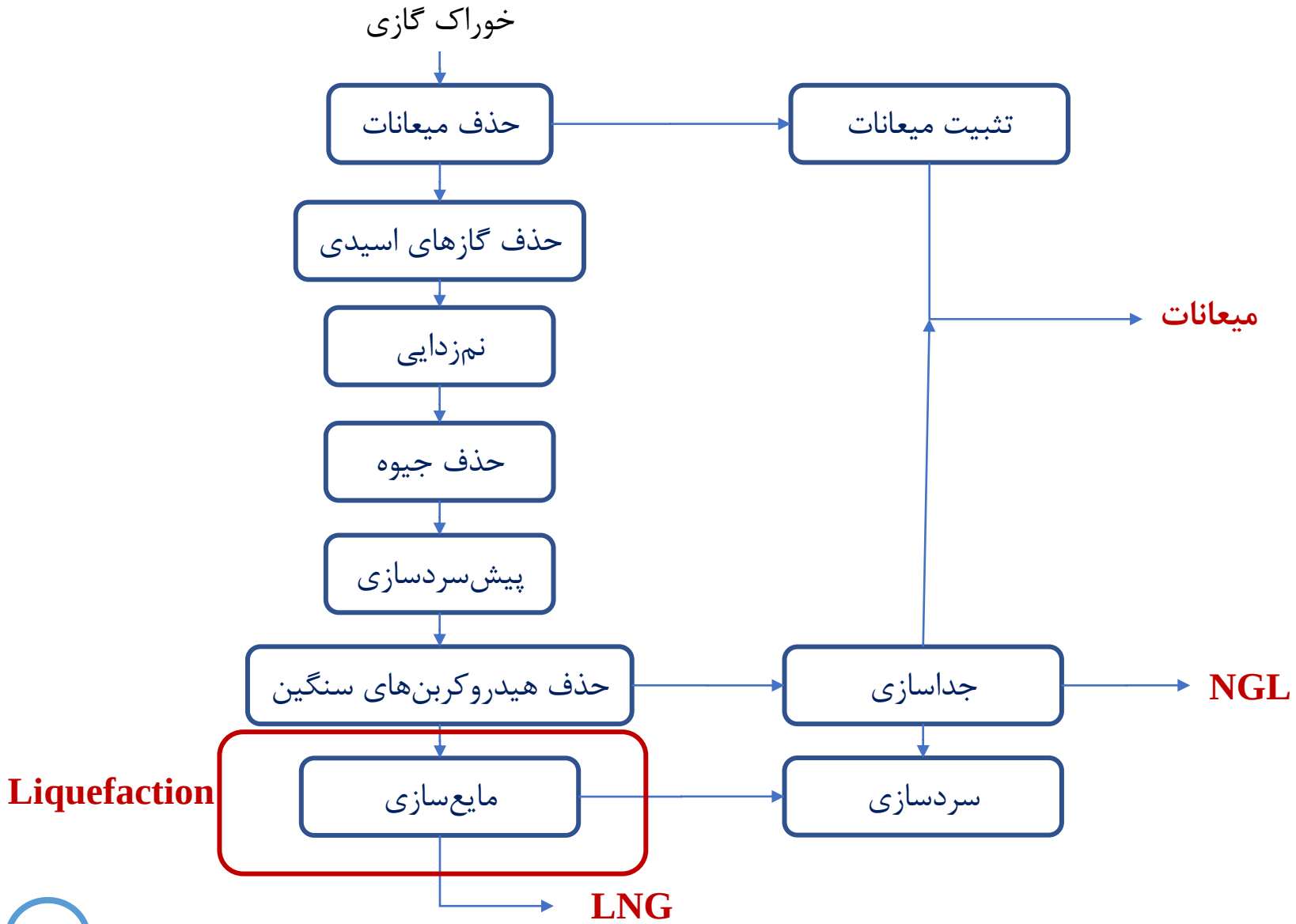
چالش پیش تصفیه



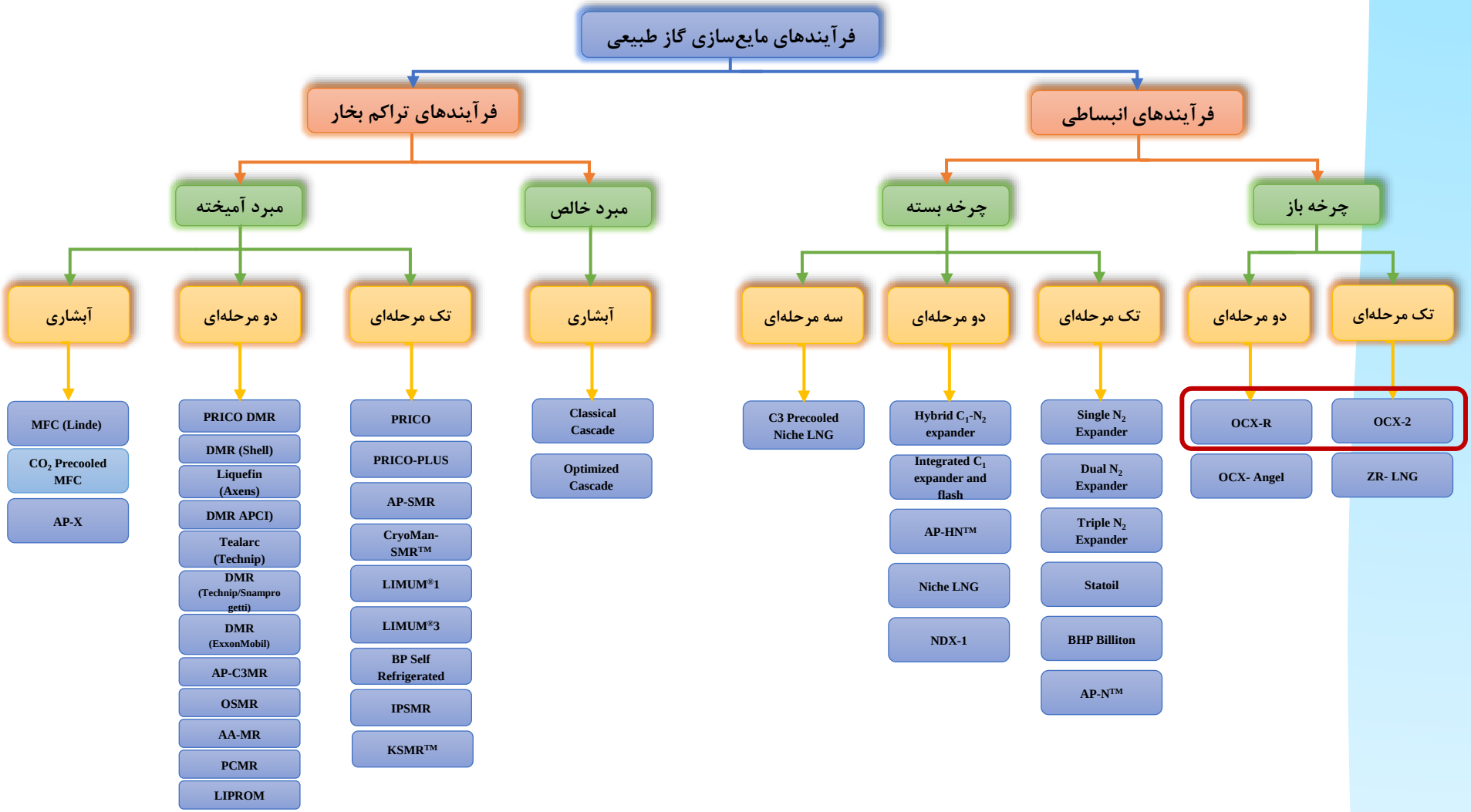
چالش پیش تصفیه



چالش پیش تصفیه

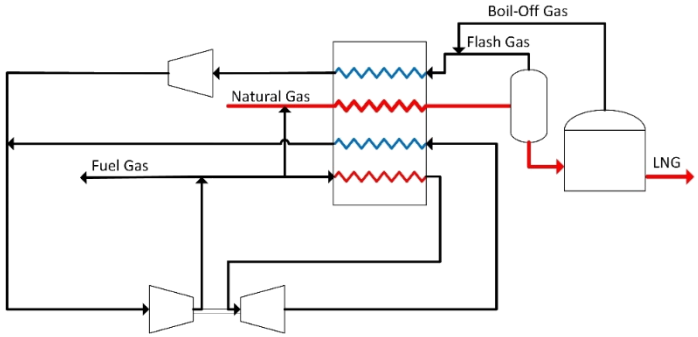


فرآیندهای مایع‌سازی

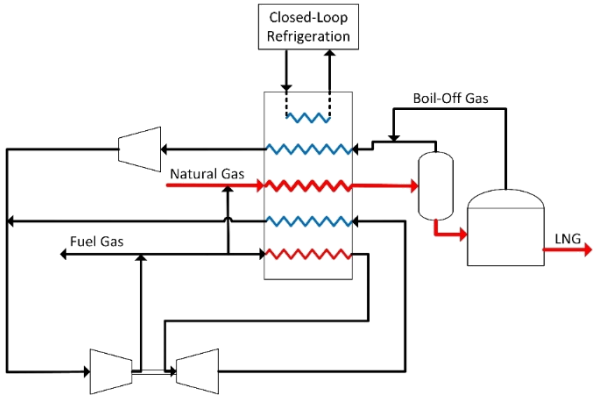


فرآیندهای مایع‌سازی

فرآیند انبساطی چرخه باز



فرآیند OCX-2 شرکت Mustang



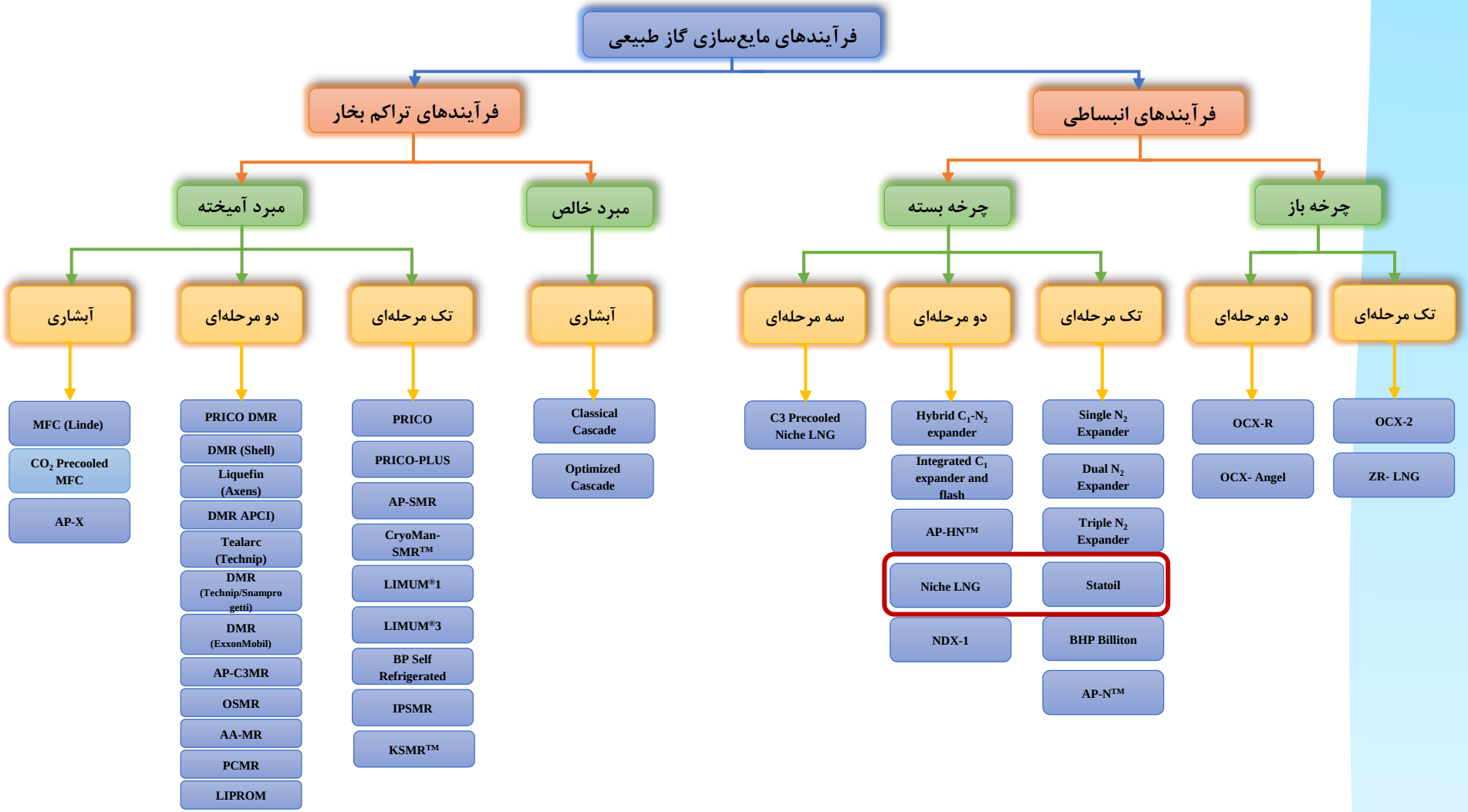
فرآیند OCX-R شرکت Mustang

در مقیاس‌های خیلی کوچک کاربرد دارد.

از متان موجود در جریان گاز اصلی به عنوان مبرد استفاده شده است.

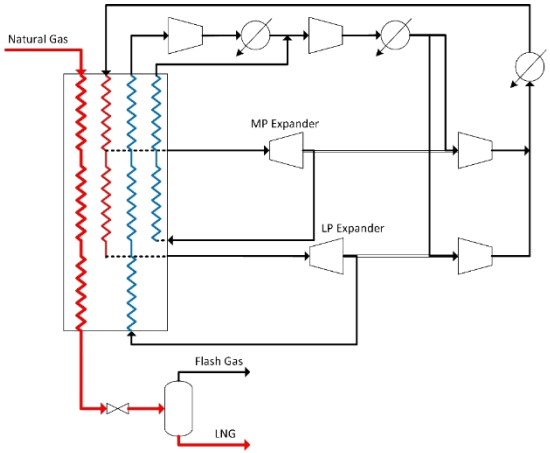
در دومرحله‌ای یک مرحله پیش‌سازی با استفاده از مبرد پروپان انجام می‌شود.

فرآیندهای مایع‌سازی

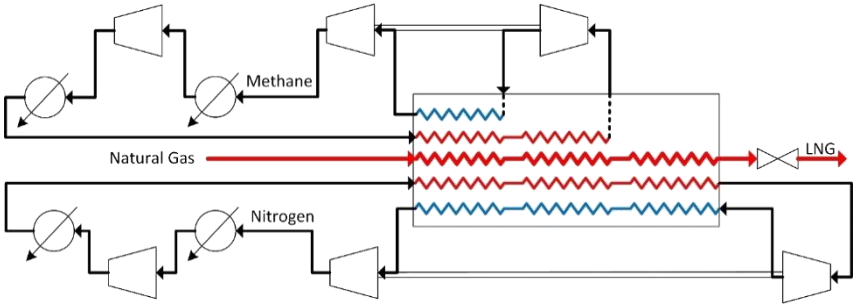


فرآیندهای مایع‌سازی

فرآیند انبساطی چرخه بسته



فرآیند انبساط نیتروژن با دو منبسط‌کننده شرکت Statoil



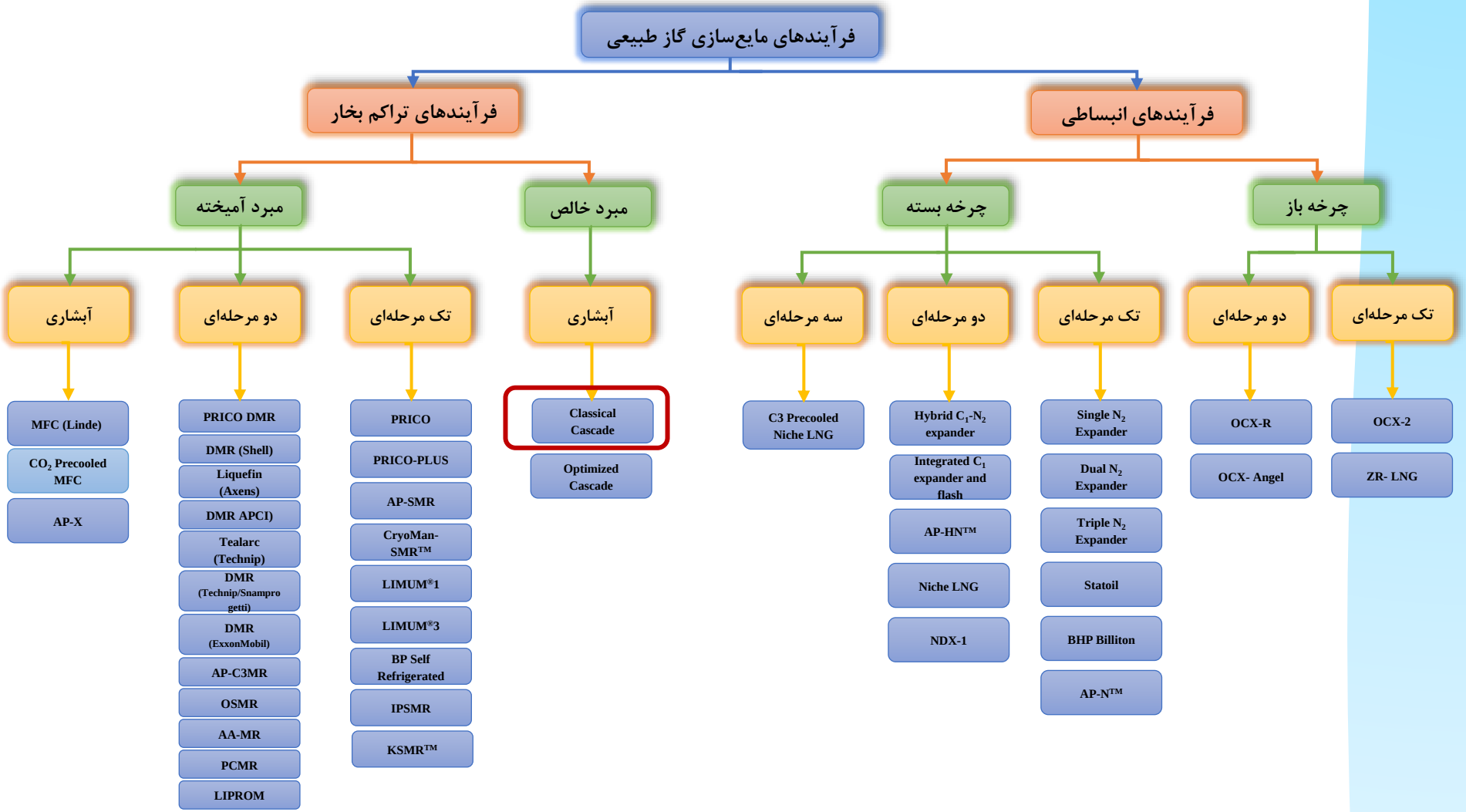
فرآیند Niche LNG شرکت ABB Lummus

در مقیاس‌های خیلی کوچک کاربرد دارد.

از متان، نیتروژن یا ترکیبی از این دو به عنوان مبرد استفاده شده است.

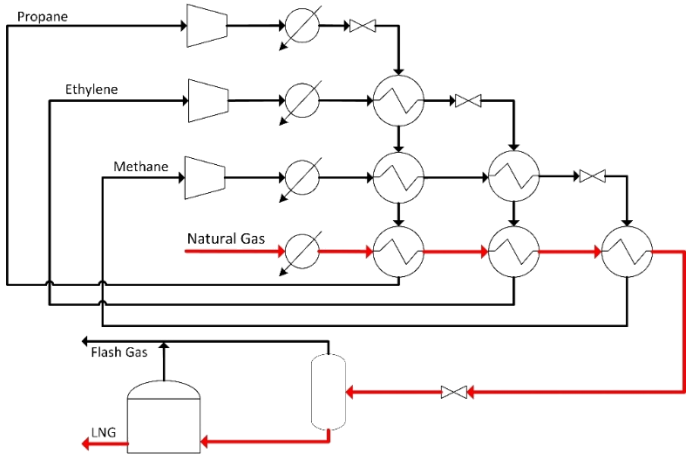
به دلیل ایمنی بالا و عدم نیاز به ذخیره مبرد معمولا در واحدهای شناور استفاده می‌شود.

فرآیندهای مایع‌سازی



فرآیندهای مایع‌سازی

فرآیند آبشاری

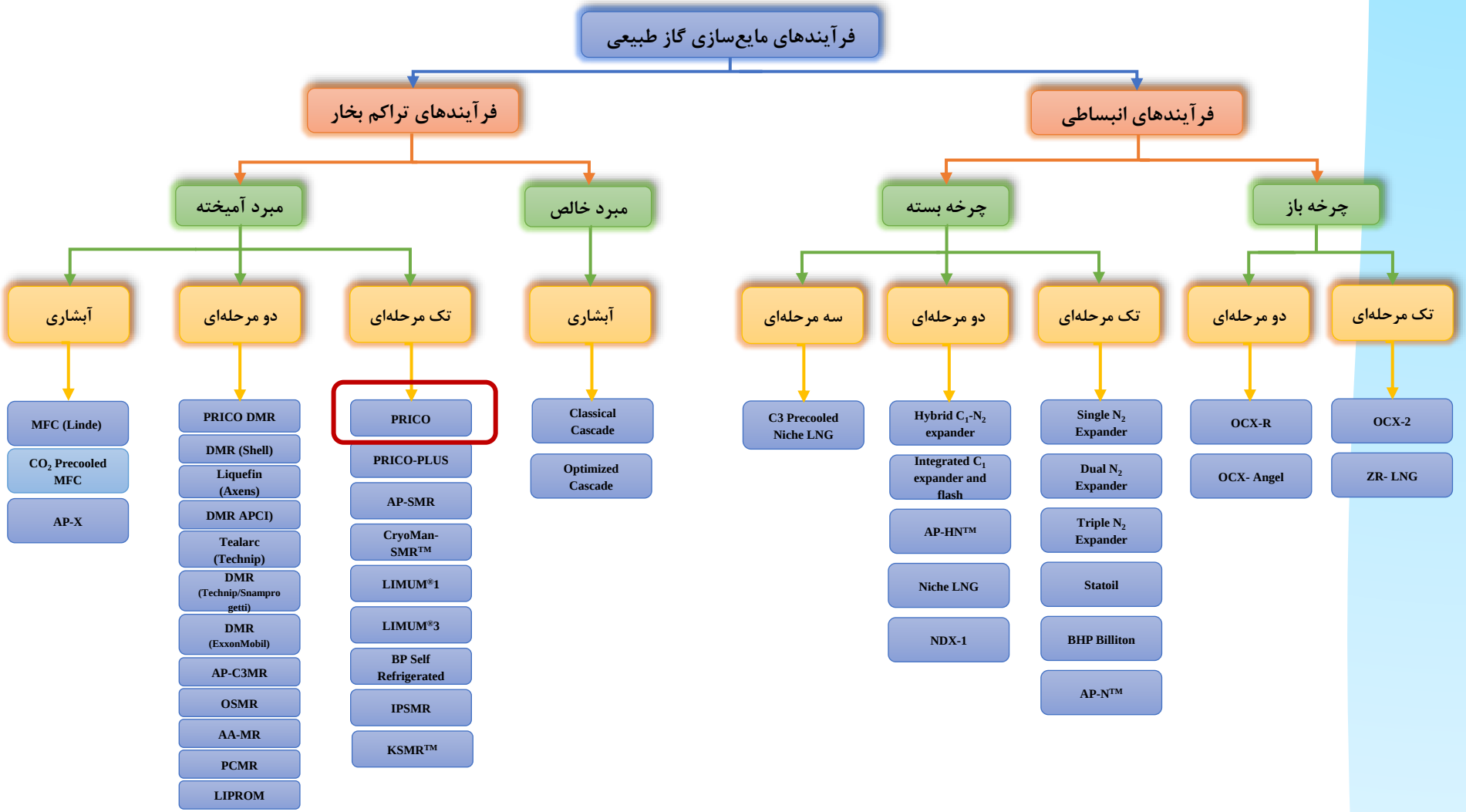


فرآیند Classical Cascade شرکت Technip

در مقیاس‌های بزرگ کاربرد دارد.

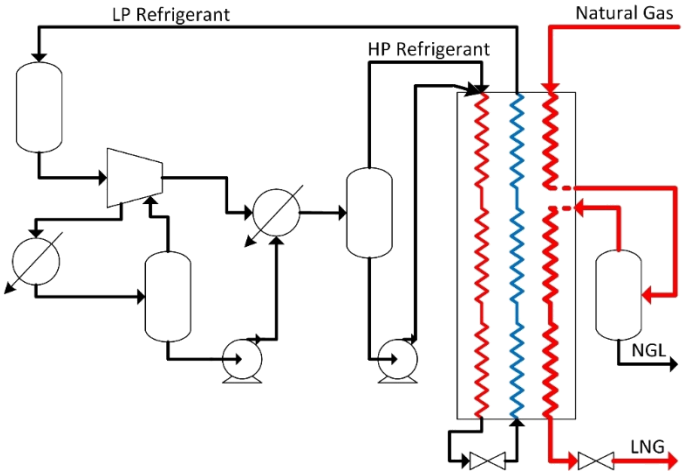
معمولا از پروپان، اتیلن و متان به عنوان مبرد استفاده شده است.

فرآیندهای مایع‌سازی



فرآیندهای مایع‌سازی

فرآیند مبرد آمیخته



فرآیند PRICO شرکت Black & Veatch

در مقیاس‌های خیلی کوچک تا بزرگ کاربرد دارد.

نسبت به فرآیندهای انبساطی راندمان بیشتری دارد.

ترکیبی از هیدروکربن‌های سبک‌تر از C5 به عنوان مبرد استفاده شده است.

فرآیندهای مایع‌سازی

معیارهای انتخاب فرآیند

ملاحظات فنی	تعداد چرخه‌های سرمایش
	تعداد سطوح فشار
	تعداد تجهیزات
	توان مصرفی (kwh/kg LNG)
	نوع مبرد
	نوع مبدل
	قابلیت افزایش مقیاس فرآیند
	فضای مورد نیاز واحد
انعطاف‌پذیری	انعطاف‌پذیری در برابر تغییرات خوراک
	انعطاف‌پذیری در برابر نوسانات تولید
	قابلیت تولید همزمان LNG و LPG
سادگی	سادگی فرآیند
	سادگی کنترل فرآیند
	راه‌اندازی و توقف واحد
هزینه	---
ملاحظات زیست‌محیطی و ایمنی	میزان انتشار کربن
	ایمنی فرآیند

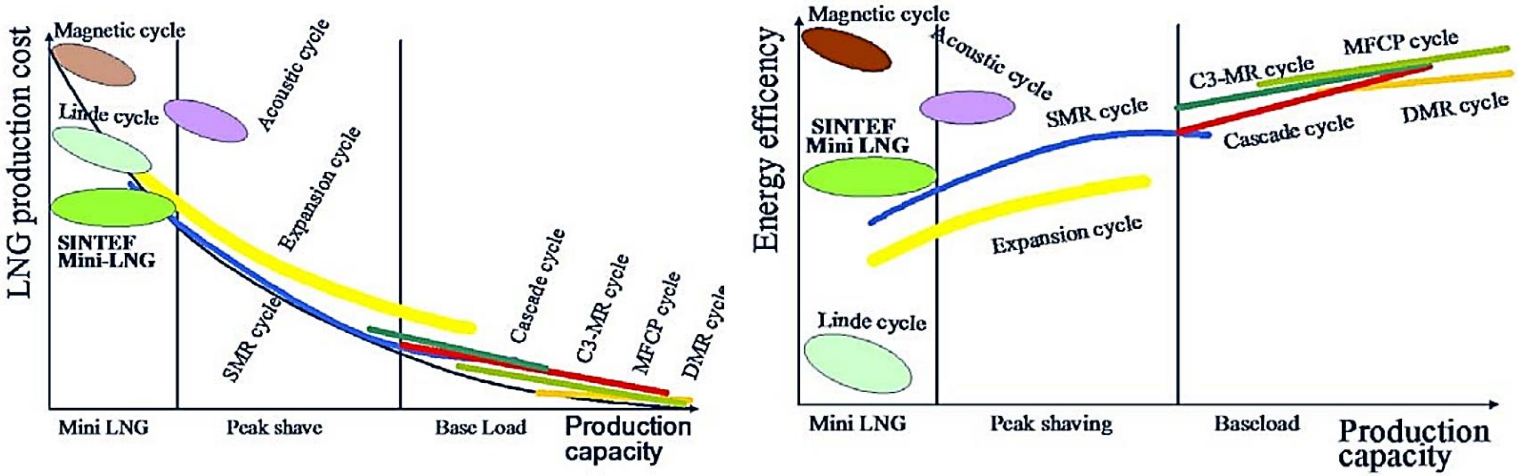
فرآیندهای مایع‌سازی

معیارهای انتخاب فرآیند mini-LNG

	چرخه نیتروژن	مبرد آمیخته	چرخه انبساط گاز
راندمان	−	+	−
ایمنی	+	−	−
سادگی	+	−	+
انعطاف‌پذیری	−	+	−
CAPEX	=	=	=
تعداد واحدها	+	+	−

تغییر ترکیب درصد

فرآیندهای مایع‌سازی

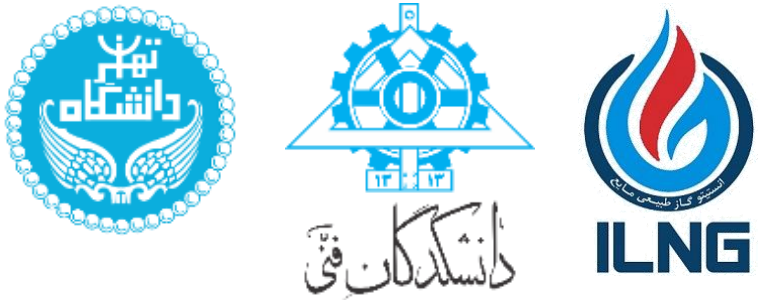


Kunert, S. and Larsen, D., 2008. Small is beautiful–Mini LNG concept.

- افزایش هزینه و کاهش راندمان با کاهش ظرفیت
  - استفاده از تجهیزات آماده با راندمان بالا
  - انتخاب فرآیند ساده

جمع‌بندی

- mini/Small LNG راهکاری مناسب برای بازیابی گاز فلر
- استفاده از رویکردهای جدید با هدف کاهش انتشار کربن
- چالش در فرایند پیش‌تصفیه و انتخاب فرایندهای مناسب با توجه به نوع گاز، دبی، انرژی مصرفی، فرایند مایع‌سازی و ...
- انتخاب فرایند مایع‌سازی با توجه به خصوصیات گاز فلر



با سپاس