



دانشگاه صنعتی شاهرود
دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک

پایان نامه کارشناسی ارشد
گرایش اکتشاف

اولویت بندی تاقدیس ها به منظور ذخیره سازی دی اکسید کربن
در منطقه ی غرب ایران

نگارش
پگاه سلیمانی دینانی

اساتید راهنما
دکتر بهزاد تخمچی
دکتر سید علی معلمی

تیرماه ۱۳۹۵

چکیده

در سال‌های اخیر ذخیره‌سازی دی‌اکسیدکربن به یکی از اساسی‌ترین رویکردهای کشورهای در حال توسعه جهت کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای تبدیل شده است. دی‌اکسیدکربن در ساختارهای نمکی، میادین نفت و گاز تخلیه شده و لایه‌های غیر قابل استخراج زغالسنگی ذخیره می‌گردد. مطابق با بررسی‌های صورت گرفته در این پایان‌نامه، فاصله‌ی ساختار مورد بررسی تا منبع منتشرکننده‌ی دی‌اکسیدکربن، اولویت اول جهت انتخاب ساختار مناسب به منظور ذخیره‌سازی گاز دی‌اکسیدکربن است. پس از آن ضخامت و عدم وجود گسل در پوش‌سنگ پارامترهای تعیین کننده و ضروری می‌باشند. ظرفیت ذخیره‌ی مخزن در رتبه‌ی بعدی قرار گرفته است. پارامترهای تراوایی، ضخامت مخزن، فشار، تخلخل و عمق از اهمیت کمتری نسبت به سایر پارامترها برخوردار بوده و در جایگاه‌های آخر قرار گرفته‌اند.

در این پایان‌نامه با توجه به داده‌های موجود از منطقه‌ی غرب ایران و همچنین استفاده از فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی، بررسی‌های لازمه بر روی ۱۰ تاقدیس موجود در غرب کشور انجام شده است و در نهایت این تاقدیس‌ها به ترتیب اهمیت، اولویت بندی شده‌اند. نتایج به دست آمده نشان دهنده‌ی آن است که تاقدیس انجیر مناسب‌ترین ساختار جهت ذخیره‌سازی دی‌اکسیدکربن می‌باشد. پس از آن ساختارهای دیره، گوار و دارابادام در اولویت دوم ذخیره‌سازی قرار گرفته‌اند. همچنین در انتها تاقدیس ویزنهار با توجه به ویژگی‌های نامناسب آخرین اولویت جهت ذخیره‌سازی گاز دی‌اکسیدکربن می‌باشد.

واژه‌های کلیدی:

ذخیره‌سازی، دی‌اکسیدکربن، فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی، غرب ایران، منابع انتشار.

فصل اول: معرفی پژوهش.....	۱
۱.۱ مقدمه.....	۲
۲.۱ منابع انتشار.....	۵
۳.۱ مروری بر منابع.....	۸
۱.۳.۱ پیمان کیوتو.....	۱۰
۲.۳.۱ ذخیره سازی دی اکسید کربن.....	۱۲
۳.۳.۱ کاندیداهای ذخیره سازی.....	۱۵
۱.۳.۳.۱ ذخیره سازی در درزهای زغال سنگ.....	۱۶
۲.۳.۳.۱ ذخیره سازی در آبدۀ نمکی.....	۱۸
۳.۳.۳.۱ ذخیره سازی در مخازن نفت و گاز.....	۱۹
۴.۱ پروژه های صورت گرفته در دنیا.....	۲۰
۵.۱ ضرورت و اهمیت تحقیق.....	۲۲
۶.۱ هدف تحقیق.....	۲۲
۷.۱ رویکرد پایان نامه.....	۲۳
۸.۱ ساختار پایان نامه.....	۲۳
فصل دوم: داده های تحقیق.....	۲۵
۱.۲ مقدمه.....	۲۶
۲.۲ جغرافیای منطقه.....	۲۶
۳.۲ هالوش.....	۲۸
۴.۲ ویزنهار.....	۳۲
۵.۲ دارابادام.....	۳۵
۶.۲ گلمهک.....	۳۷
۷.۲ سمند.....	۳۸
۸.۲ دیره.....	۴۱
۹.۲ انجیر.....	۴۳
۱۰.۲ دره بانه.....	۴۷
۱۱.۲ گوار.....	۴۸
۱۲.۲ بابا حبیب.....	۵۰
۱۳.۲ جمع بندی.....	۵۲
فصل سوم بررسی پارامترها و روش تحقیق.....	۵۳
۱.۳ مقدمه.....	۵۴
۲.۳ پارامترهای ضروری جهت ذخیره سازی.....	۵۴
۱.۲.۳ عمق.....	۵۴

۲.۲.۳	یکنواختی مخزن	۵۷
۲.۲.۳	ظرفیت ذخیره‌ی مخزن	۵۷
۴.۲.۳	پارامترهای پتروفیزیکی	۵۸
۳.۳	فرآیند تحلیل سلسله مراتبی	۶۰
۱.۳.۳	مزاای فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی	۶۱
۲.۳.۳	ساخت تحلیل سلسله‌مراتبی	۶۲
۳.۳.۳	نرخ ناساگاری	۶۵
۴.۳.۳	محاسبه‌ی وزن	۶۵
۱.۴.۳.۳	روش حداقل مربعات معمولی	۶۶
۲.۴.۳.۳	روش حداقل مربعات لگاریتمی	۶۷
3.3.4.3	روش بردار ویژه	۶۷
۴.۴.۳.۳	روشهای تقریبی	۶۸
۵.۳.۳	محاسبه‌ی نرخ ناسازگاری	۶۹
۶.۳.۳	استفاده از نظرات کارشناسان به منظور مقایسات زوجی	۷۱
۷.۳.۳	نرم‌افزار Expert choice	۷۲
۴.۳	جمع‌بندی	۷۲

فصل چهارم: نتایج تحقیق.....۷۵

۱.۴	مقدمه	۷۶
۲.۴	اولویت‌بندی پارامترهای ضروری جهت ذخیره‌سازی	۷۶
۱.۲.۴	تیم کارشناسی	۷۸
۲.۲.۴	عمق	۷۸
۳.۲.۴	تخلخل	۸۰
۴.۲.۴	ضخامت مخزن	۸۱
۵.۲.۴	ظرفیت ذخیره	۸۲
۶.۲.۴	ضخامت پوشش سنگ	۸۳
۷.۲.۴	فاصله از منبع انتشار	۸۴
۸.۲.۴	تراوایی و فشار	۸۵
۳.۴	وزن نسبی پارامترها	۸۶
۴.۴	مقایسه زوجی ساختارها	۸۸
۱.۴.۴	اولویت‌بندی ساختارهای مورد بررسی از نظر عمق	۸۹
۲.۴.۴	اولویت‌بندی ساختارهای مورد بررسی از نظر تخلخل	۹۲
۳.۴.۴	اولویت‌بندی ساختارهای مورد بررسی از نظر ضخامت مخزن	۹۵
۴.۴.۴	اولویت‌بندی ساختارهای مورد بررسی از نظر ظرفیت ذخیره	۹۸
۵.۴.۴	اولویت‌بندی ساختارهای مورد بررسی از نظر ضخامت پوشش سنگ	۱۰۱
۶.۴.۴	اولویت‌بندی ساختارهای مورد بررسی از نظر فاصله از منبع انتشار	۱۰۴
۷.۴.۴	اولویت‌بندی ساختارهای مورد بررسی از نظر تراوایی	۱۰۹
۸.۴.۴	اولویت‌بندی ساختارهای مورد بررسی از نظر فشار	۱۱۲

۹.۴.۴	اولویت‌بندی ساختارهای مورد بررسی از نظر وجود گسل در پوش سنگ	۱۱۵
۵.۴	وزن نهایی ساختارها	۱۱۸
۶.۴	محاسبه‌ی نرخ ناسازگاری سلسله مراتبی	۱۲۱
۷.۴	جمع‌بندی	۱۲۲
فصل پنجم: نتیجه‌گیری و پیشنهادات		
۱.۵	نتیجه‌گیری	۱۲۴
۲.۵	پیشنهادهات	۱۲۵
منابع و مراجع		
پیوست ۱ ویژگی‌های دی‌اکسید کربن		۱۳۱
پیوست ۲ پرسشنامه‌ی فرآیند تحلیل سلسله مراتبی		۱۳۴

- شکل ۱-۱ برآورد میزان انتشار در سالهای آینده ۳
- شکل ۲-۱ میانگین دمای سطح زمین در صد و پنجاه سال گذشته ۴
- شکل ۳-۱ توزیع جغرافیایی منابع انتشار در جنوب ایران ۷
- شکل ۴-۱ مقایسه‌ی میزان انتشار نیروگاه‌ها با سایر بخش‌ها در ایران ۷
- شکل ۵-۱ فرآیند به دام‌انداختن، انتقال و ذخیره‌سازی دی‌اکسیدکربن ۱۳
- شکل ۶-۱ توزیع حوزه‌های محتمل جهت ذخیره‌سازی در دنیا ۱۴
- شکل ۷-۱ جایگاه کشورها در میزان انتشار و حوزه‌های محتمل جهت ذخیره‌سازی ۱۵
- شکل ۸-۱ گزینه‌های مختلف ذخیره‌سازی ۱۶
- شکل ۹-۱ فرآیند ذخیره‌سازی در لایه‌های زغالسنگی ۱۷
- شکل ۱-۲ موقعیت جغرافیایی منطقه‌ی مورد بررسی ۲۷
- شکل ۲-۲ شمای کلی از تأقدیس هالوش در مجاورت سایر ساختارها ۳۱
- شکل ۳-۲ تطابق سازندهای میدان ویزنهار با میادین مجاور ۳۴
- شکل ۴-۲ تطابق سازندهای میدان انجیر با میادین مجاور ۴۶
- شکل ۵-۳ تغییرات چگالی بر حسب عمق ۵۵
- شکل ۶-۳ انواع ظرفیت ذخیره‌سازی ۵۸
- شکل ۷-۳ شمای کلی ساختمان سلسله مراتبی ۶۳
- شکل ۸-۳ شمای کلی ساختمان سلسله مراتبی بدون زیر معیار ۶۴
- شکل ۱-۴ سلسله مراتب اولویت بندی ساختارها به منظور ذخیره‌سازی دی‌اکسیدکربن ۷۵
- شکل ۲-۴ پالایشگاه‌ها و نیروگاه‌های موجود در غرب کشور ۱۰۵

فهرست جدول‌ها

صفحه

جدول ۱-۱ میزان انتشار دی‌اکسیدکربن صنایع مختلف	۶
جدول ۲-۱ حجم دی‌اکسیدکربن قابل ذخیره در ساختارها	۱۶
جدول ۱-۲ لیتولوژی و ضخامت سازندهای حفاری شده در تاق‌دیس هالوش	۲۹
جدول ۲-۲ لیتولوژی و ضخامت سازندهای حفاری شده در تاق‌دیس ویزنهار	۳۳
جدول ۳-۲ لیتولوژی و ضخامت سازندهای حفاری شده در تاق‌دیس دارابادام	۳۶
جدول ۴-۲ لیتولوژی و ضخامت سازندهای حفاری شده در میدان گلمهک	۳۸
جدول ۵-۲ لیتولوژی و ضخامت سازندهای حفاری شده در میدان سمند	۴۰
جدول ۶-۲ لیتولوژی و ضخامت سازندهای حفاری شده در میدان دیرم	۴۳
جدول ۷-۲ لیتولوژی و ضخامت سازندهای حفاری شده در میدان انجیر	۴۴
جدول ۸-۲ لیتولوژی و ضخامت سازندهای حفاری شده در میدان دره‌بانه	۴۸
جدول ۹-۲ لیتولوژی و ضخامت سازندهای حفاری شده در میدان گوار	۵۰
جدول ۱-۳ پارامترهای ضروری جهت ذخیره‌سازی دی‌اکسیدکربن	۵۹
جدول ۲-۳ مقادیر ارجحیت مقایسات زوجی	۶۶
جدول ۳-۳ شاخص ناسازگاری تصادفی	۷۱
جدول ۱-۴ مقایسات زوجی پارامترها	۷۷
جدول ۲-۴ ارجحیت پارامتر عمق نسبت به سایر پارامترها	۷۹
جدول ۳-۴ میانگین هندسی پارامتر عمق نسبت به سایر پارامترها	۷۹
جدول ۴-۴ ارجحیت تخلخل نسبت به سایر پارامترها	۸۰
جدول ۵-۴ میانگین هندسی مقایسات زوجی پارامتر تخلخل نسبت به سایر پارامترها	۸۱
جدول ۶-۴ ارجحیت ضخامت مخزن نسبت به سایر پارامترها	۸۱
جدول ۷-۴ میانگین هندسی مقایسات زوجی ضخامت مخزن نسبت به سایر پارامترها	۸۲
جدول ۸-۴ ارجحیت ظرفیت ذخیره نسبت به سایر پارامترها	۸۲
جدول ۹-۴ میانگین هندسی مقایسات ظرفیت ذخیره نسبت به سایر پارامترها	۸۳
جدول ۱۰-۴ ارجحیت ضخامت پوش سنگ نسبت به سایر پارامترها	۸۳
جدول ۱۱-۴ میانگین هندسی مقایسات زوجی ضخامت پوش‌سنگ نسبت به سایر پارامترها	۸۴
جدول ۱۲-۴ ارجحیت فاصله از منبع انتشار نسبت به سایر پارامترها	۸۴
جدول ۱۳-۴ میانگین مقایسات زوجی پارامتر فاصله از منبع انتشار با سایر پارامترها	۸۴
جدول ۱۴-۴ ارجحیت تراوایی نسبت به سایر پارامترها	۸۵
جدول ۱۵-۴ میانگین هندسی پارامتر تراوایی	۸۵
جدول ۱۶-۴ ارجحیت فشار نسبت به وجود گسل در پوش سنگ	۸۵
جدول ۱۷-۴ میانگین هندسی مقایسه‌ی زوجی فشار نسبت به گسل	۸۵
جدول ۱۸-۴ ماتریس مقایسات زوجی نهایی	۸۶
جدول ۱۹-۴ میانگین هندسی پارامترها	۸۸

جدول ۴-۲۰	وزن نسبی و رتبه‌بندی پارامترهای ضروری جهت ذخیره سازی.....	۸۸
جدول ۴-۲۱	اطلاعات موجود از عمق تاق‌دیسه‌های مورد بررسی.....	۸۹
جدول ۴-۲۲	مقایسات زوجی ساختارها بر حسب عمق.....	۹۰
جدول ۴-۲۳	میانگین هندسی مقایسه‌ی زوجی ساختارها بر حسب پارامتر عمق.....	۹۱
جدول ۴-۲۴	وزن نسبی ساختارها و رتبه‌بندی بر اساس پارامتر عمق.....	۹۲
جدول ۴-۲۵	اطلاعات موجود از تخلخل میادین مورد بررسی.....	۹۳
جدول ۴-۲۶	مقایسات زوجی ساختارها بر حسب تخلخل.....	۹۴
جدول ۴-۲۷	میانگین هندسی مقایسات زوجی ساختارهای بر حسب پارامتر تخلخل.....	۹۴
جدول ۴-۲۸	وزن نسبی و رتبه‌بندی ساختارهای مورد بررسی بر اساس تخلخل.....	۹۵
جدول ۴-۲۹	اطلاعات موجود از ضخامت مخزن ساختارهای مورد بررسی.....	۹۶
جدول ۴-۳۰	مقایسات زوجی ساختارها بر حسب ضخامت مخزن.....	۹۷
جدول ۴-۳۱	میانگین هندسی مقایسات زوجی ساختارها بر حسب پارامتر ضخامت مخزن.....	۹۷
جدول ۴-۳۲	وزن نسبی و رتبه‌بندی ساختارهای مورد بررسی بر اساس ضخامت مخزن.....	۹۸
جدول ۴-۳۳	ظرفیت ذخیره‌ی ساختارهای مورد بررسی.....	۹۸
جدول ۴-۳۴	مقایسات زوجی ساختارها بر حسب پارامتر ظرفیت ذخیره.....	۱۰۰
جدول ۴-۳۵	میانگین هندسی مقایسات زوجی ساختارها بر حسب پارامتر ظرفیت ذخیره.....	۱۰۰
جدول ۴-۳۶	وزن نسبی و رتبه‌بندی ساختارهای مورد بررسی بر اساس ظرفیت ذخیره.....	۱۰۱
جدول ۴-۳۷	ضخامت پوش‌سنگ ساختارهای مورد بررسی.....	۱۰۲
جدول ۴-۳۸	مقایسات زوجی ساختارهای مورد بررسی از نظر ضخامت پوش‌سنگ.....	۱۰۳
جدول ۴-۳۹	میانگین هندسی مقایسات زوجی ساختارها بر حسب پارامتر ضخامت پوش‌سنگ.....	۱۰۳
جدول ۴-۴۰	وزن نسبی و رتبه‌بندی ساختارهای مورد بررسی بر اساس ضخامت پوش‌سنگ.....	۱۰۴
جدول ۴-۴۱	فاصله‌ی پالایشگاه‌های غرب کشور با ساختارهای مورد بررسی بر حسب کیلومتر.....	۱۰۶
جدول ۴-۴۲	فاصله‌ی نیروگاه‌های غرب کشور با ساختارهای مورد بررسی بر حسب کیلومتر.....	۱۰۷
جدول ۴-۴۳	نزدیک‌ترین فاصله‌ی ساختارهای غرب کشور تا منابع انتشار.....	۱۰۷
جدول ۴-۴۴	مقایسات زوجی ساختارهای مورد بررسی از نظر فاصله تا منبع انتشار.....	۱۰۸
جدول ۴-۴۵	میانگین هندسی مقایسات زوجی ساختارها.....	۱۰۸
جدول ۴-۴۶	وزن نسبی و رتبه‌بندی ساختارها بر اساس فاصله از منبع انتشار.....	۱۰۹
جدول ۴-۴۷	تراوایی ساختارهای مورد بررسی.....	۱۱۰
جدول ۴-۴۸	مقایسات زوجی ساختارها بر حسب پارامتر تراوایی.....	۱۱۱
جدول ۴-۴۹	میانگین هندسی مقایسات زوجی ساختارها بر اساس پارامتر تراوایی.....	۱۱۱
جدول ۴-۵۰	وزن نسبی و رتبه‌بندی ساختارها بر اساس تراوایی.....	۱۱۲
جدول ۴-۵۱	داده‌های فشاری ساختارهای مورد بررسی.....	۱۱۳
جدول ۴-۵۲	مقایسات زوجی ساختارها بر حسب پارامتر فشار.....	۱۱۴
جدول ۴-۵۳	میانگین هندسی مقایسات زوجی ساختارها بر اساس پارامتر فشار.....	۱۱۴
جدول ۴-۵۴	وزن نسبی و رتبه‌بندی ساختارها بر اساس فشار.....	۱۱۵

- جدول ۴-۵۵ اطلاعات مربوط به وجود گسل در سازند پوش سنگی..... ۱۱۶
- جدول ۴-۵۶ مقایسات زوجی ساختارها بر حسب پارامتر وجود گسل در پوش سنگ..... ۱۱۶
- جدول ۴-۵۷ میانگین هندسی مقایسات زوجی ساختارها بر اساس وجود گسل در پوش سنگ..... ۱۱۷
- جدول ۴-۵۸ وزن نسبی و رتبه بندی ساختارها از نظر وجود گسل در پوش سنگ..... ۱۱۸
- جدول ۴-۵۹ وزن نسبی ساختارها نسبت به پارامترهای ضروری جهت ذخیره سازی..... ۱۱۹
- جدول ۴-۶۰ وزن نهایی و رتبه بندی تأقدیس های مورد بررسی در غرب کشور..... ۱۲۱
- جدول ۴-۶۱ میزان شاخص ناسازگاری و ناسازگاری تصادفی ماتریسها بر اساس وزن نسبی پارامترها..... ۱۲۲
- جدول ۴-۶۲ روند محاسبات نرخ ناسازگاری سلسله مراتبی..... ۱۲۲

فصل اول

معرفی پژوهش

۱.۱ مقدمه

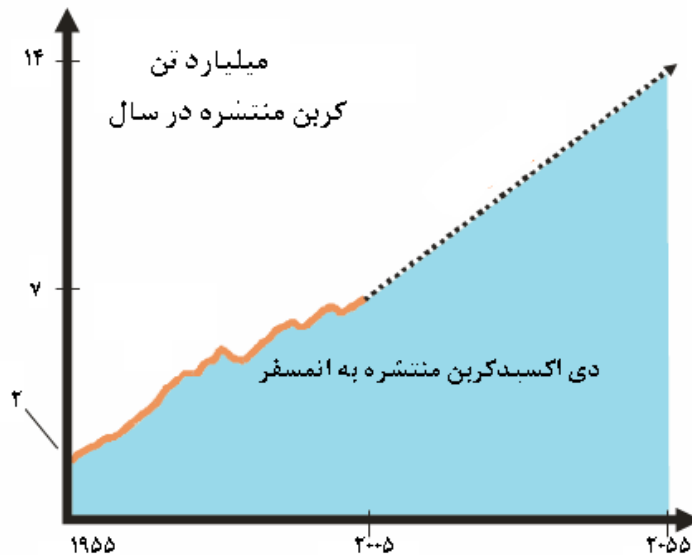
گرمای حاصل از نور خورشید، مهمترین منبع انرژی در کره‌ی زمین است. انرژی خورشیدی باعث گرم شدن سطح زمین می‌شود. کره‌ی زمین بخشی از این انرژی را به سمت فضای بیرون از جو بازتاب می‌کند. گازهای موجود در جو زمین با طول موج‌های نور تابشی برهم کنش دارند و طی فرآیند جذب و بازتاب نور، اندازه‌ی طول موج پرتوها افزایش می‌یابد. این پرتوها انرژی لازم برای عبور از لایه‌های جو را از دست داده و در سطح زمین به دام می‌افتند. این فرآیند که موجب افزایش دمای سطح زمین می‌شود، اثر گلخانه‌ای نامیده می‌شود.

بخار آب، دی‌اکسیدکربن، متان و ازن موثرترین گازهای گلخانه‌ای هستند. محاسبه‌ی سهم هر کدام از آن‌ها در اثر گلخانه‌ای بسیار دشوار می‌باشد. بخار آب بین ۳۶ تا ۷۰ درصد، دی‌اکسیدکربن بین ۹ تا ۲۶ درصد، متان بین ۴ تا ۹ درصد و ازن حدود ۳ تا ۷ درصد در فرآیند گلخانه‌ای نقش بازی می‌کنند. گازهای گلخانه‌ای دیگر شامل اکسید نیتروژن، هگزا فلورید سولفور، هیدرو فلوروکربن‌ها، پرفلوروکربن‌ها و کلروفلوروکربن‌ها می‌باشند [۱].

از زمان شروع انقلاب صنعتی، غلظت گازهای گلخانه‌ای در جو به طور قابل ملاحظه‌ای افزایش یافته است. از همین رو تغییرات جهانی آب و هوا به سرعت به یکی از مسائل روز زیست محیطی و مهم این دوره تبدیل شده است. بررسی‌ها نشان می‌دهد که اثر گلخانه‌ای گازهایی مانند اکسید نیتروژن و متان نسبت به گازهای دیگر بیشتر است. کارشناسان معتقدند که آزادکردن دی‌اکسیدکربن در جو عامل بیش از شصت درصد اثر گلخانه‌ای است [۲].

در سال ۱۹۹۲، نگرانی‌های عمومی برای مساله‌ی تغییرات آب و هوایی به علت انتشار گازهای گلخانه‌ای، منجر به تشکیل مجمعی در سازمان ملل متحد شد. این مجمع، به بررسی علل تغییرات آب و هوایی و راه کارهای آن می‌پردازد. اساسی‌ترین هدف این مجمع تثبیت تجمع گازهای گلخانه‌ای در اتمسفر به سطحی که از تاثیر انسان در سیستم آب و هوایی جلوگیری کند، می‌باشد. رسیدن به این هدف بدین معنا است که انتشار دی‌اکسیدکربن در سال ۲۰۵۰ به نصف میزان انتشار در سال ۲۰۰۵،

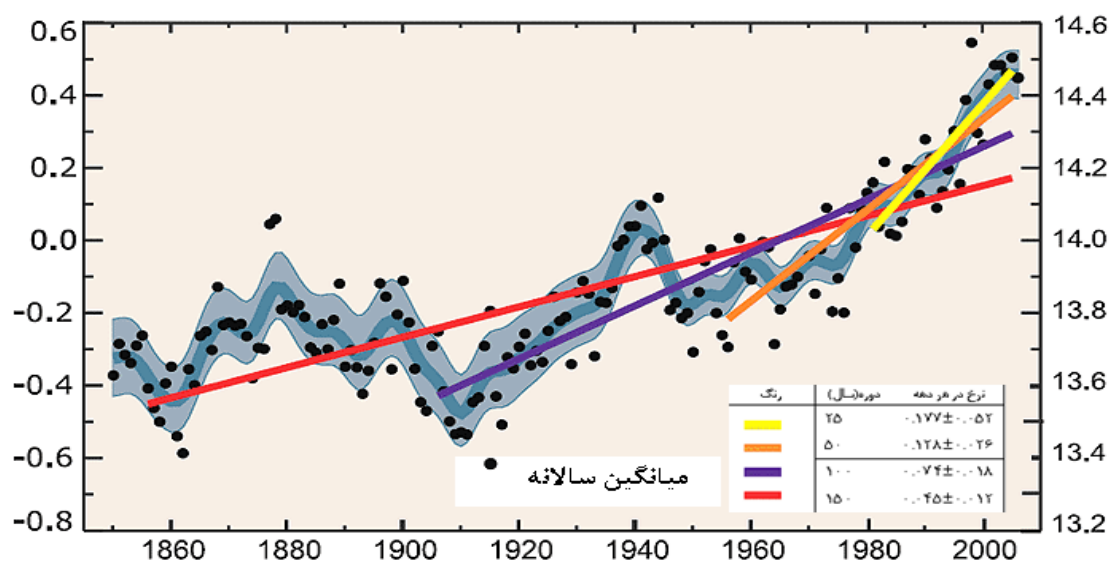
کاهش یابد. با توجه به شکل ۱-۱ در صورت اهماال در این بخش میزان انتشار دی اکسید کربن در سال ۲۰۵۰، دو برابر میزان انتشار در سال ۲۰۰۵ خواهد شد [۳].



شکل ۱-۱ برآورد میزان انتشار در سال های آینده [۳].

گرم شدن کره ی زمین، به معنای افزایش میانگین دمای سطح زمین است. از پیش از انقلاب صنعتی تا کنون متمرکز شدن دی اکسید کربن در اتمسفر، ۷۵ درصد از افزایش یک درصدی گرمای جهانی را به خود اختصاص داده است. پیش بینی شده است که تا سال ۲۱۰۰ میزان دی اکسید کربن موجود در اتمسفر به ۵۷۰ ppm برسد. این میزان سبب افزایش ۱/۹ درجه ی سانتی گراد دمای زمین و افزایش متوسط سطح آب دریاها تا ۳/۸ متر می شود. همچنین بسیاری از کارشناسان پیش بینی کرده اند که میانگین دمای زمین در سال ۲۱۰۰، ۱/۴ تا ۵/۸ درجه ی سانتی گراد افزایش خواهد یافت.

مطابق شکل ۲-۱، نرخ افزایش دمای سطح زمین در پنجاه سال گذشته تقریباً دو برابر صد سال اخیر بوده است. به علاوه مناطق خشکی با سرعت بیشتری نسبت به اقیانوس ها در حال گرم شدن می باشند؛ به طوریکه بعد از سال ۱۹۷۹، دمای مناطق خشکی ۰/۲۷ درجه ی سانتی گراد و اقیانوس ها ۰/۱۳ درجه ی سانتی گراد در هر ده سال افزایش یافته است [۴].



شکل ۱-۲ میانگین دمای سطح زمین در صد و پنجاه سال گذشته [۵].

افزایش دمای زمین آثار مخرب زیادی دربردارد. در اثر این افزایش ممکن است حیات گیاهان و جانوران دریازی به مخاطره بیافتد؛ همچنین زیستگاه‌های گیاهان و حیوانات دچار تغییرات اساسی شده و الگوهای آب و هوا دستخوش تغییرات می‌شوند. نتیجه‌ی این امر، وقوع سیل، خشکسالی و طوفان‌های شدید و مخرب خواهد بود. افزایش دما با ذوب نمودن یخ‌های قطبی، باعث بالا آمدن سطح آب دریاها می‌شود. در مناطق خاصی از زمین، بیماری‌های انسانی گسترش می‌یابد و محصولات کشاورزی نابود می‌شوند [۶].

مصرف سوخت‌های فسیلی شامل نفت، گاز و زغال‌سنگ در سراسر دنیا باعث تولید سالانه ۲۷ میلیارد تن دی‌اکسیدکربن می‌گردد که که بر طبق آمارها در بین سال‌های ۱۹۹۲ تا ۲۰۰۰، دی‌اکسیدکربن ۸۲٪ از این میزان انتشار را به خود اختصاص می‌دهد. در حدود ۹۶٪ از انتشار دی‌اکسیدکربن نتیجه‌ی احتراق سوخت‌های فسیلی برای مصرف انرژی می‌باشد؛ به همین منظور تمرکز بخش‌های محیط‌زیستی، به کاهش انتشار دی‌اکسیدکربن در هنگام احتراق سوخت‌های فسیلی و ذخیره‌ی گاز منتشره می‌باشد.

رسیدن به این اهداف نیازمند تحول در فن‌آوری محیط‌زیست و استفاده از تکنولوژی‌هایی است که انتشار کمتری را در پی دارند. همچنین بهره‌گیری از سیستم‌های کارآ و جایگزینی تجهیزات صنعتی با نوع پر بازده آن سبب هزینه‌ی کمتر می‌شود. تکنولوژی استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر هنوز گسترش نیافته و به صورت عملی در ایران مورد توجه قرار نگرفته است. بنابراین مادامیکه استفاده از انرژی تجدیدپذیر و سیستم‌هایی با بازده بالا، هزینه‌بردار است، سوخت‌های فسیلی، سیستم غالب در تولید انرژی هستند. به طور مثال در صنعت سیمان و فولاد، سوخت‌های نفتی اصلی‌ترین سوخت مورد استفاده می‌باشد. به همین دلیل این بخش به سوخت فسیلی وابسته می‌باشد. عدم استفاده از سوخت‌های فسیلی راه‌کار اساسی برای حل مشکل انتشار گازهای گلخانه‌ای نیست. بلکه می‌بایست از راهکارهایی استفاده کرد که بتوان سوخت‌های فسیلی را با انتشار کمتر گازهای گلخانه‌ای استفاده کرد [۷].

۲.۱ منابع انتشار

فاکتورهای متعددی در تشخیص منابع انتشار مناسب جهت به دام‌اندازی^۱ دی‌اکسیدکربن دخیل می‌باشند. حجم دی‌اکسیدکربن پراکنده شده از اهمیت بالایی برخوردار است. زیرا حجم بالای گاز منتشره برای تراز هزینه‌های لازم جهت توسعه‌ی زیرساخت لازم است. در راندمان به دام انداختن و فشرده‌سازی دی‌اکسیدکربن، غلظت این گاز و فشار جزئی آن در جریان گاز از اهمیت بالایی برخوردار است. در حال حاضر تنها منابع ثابت منتشرکننده‌ی دی‌اکسیدکربن مورد توجه قرار گرفته‌اند. منابع متحرک حتی با وسعت زیاد تاثیرگذار نبوده و در نتیجه بر روی آن‌ها بررسی‌های لازمه صورت نگرفته است. با گسترش مصرف انرژی در کشور، انتشار مواد آلاینده ناشی از احتراق حامل‌های انرژی نیز رو به افزایش بوده است. بر اساس گزارشات ترازنامه‌ی هیدروکربوری کشور، تولید گاز دی‌اکسیدکربن از ۷۲۰۹/۵ کیلوگرم به ازای هر نفر در سال ۱۳۸۷ به ۷۶۳۴/۹ کیلوگرم به ازای هر نفر در سال ۱۳۹۲

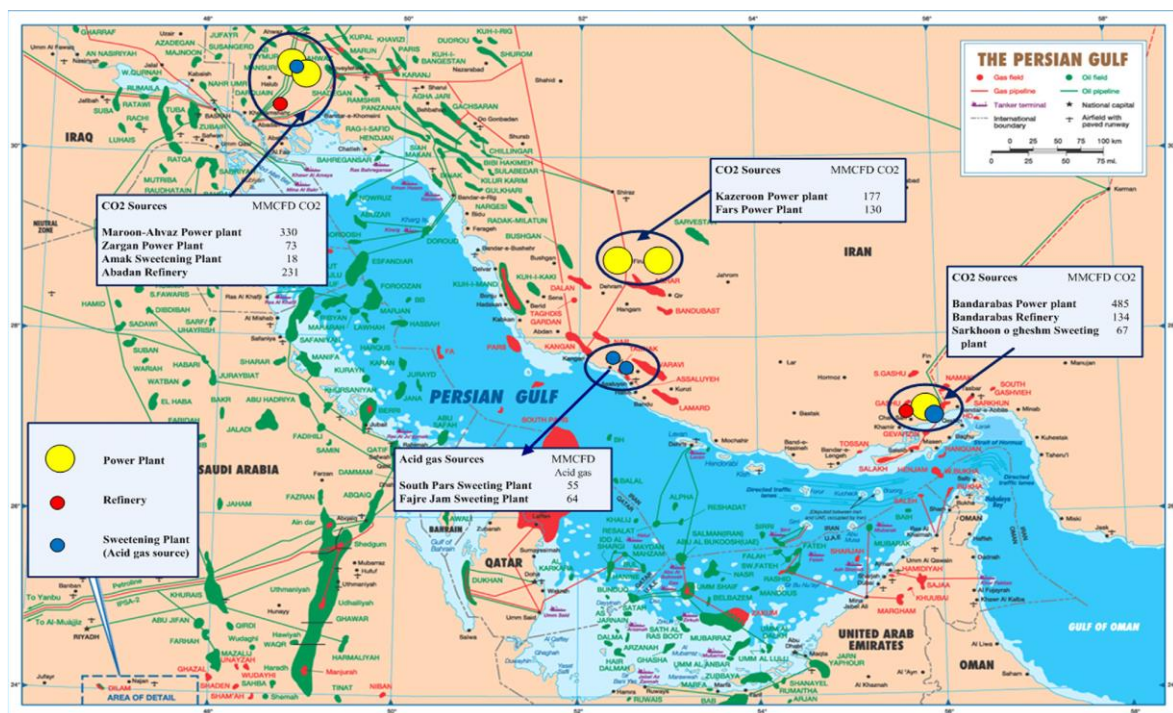
^۱ capture

رسیده است. در سال ۱۳۸۷ از احتراق سوخت در کلیه بخش‌ها ۴۵۳/۷ میلیون تن دی‌اکسیدکربن تولید شده و در سال ۱۳۹۲ این رقم به ۵۸۷/۴ میلیون تن افزایش یافته است. به طور مشخص صنایع تولید کننده دی‌اکسیدکربن و سهم هر واحد در جدول ۱-۱ آورده شده است [۸].

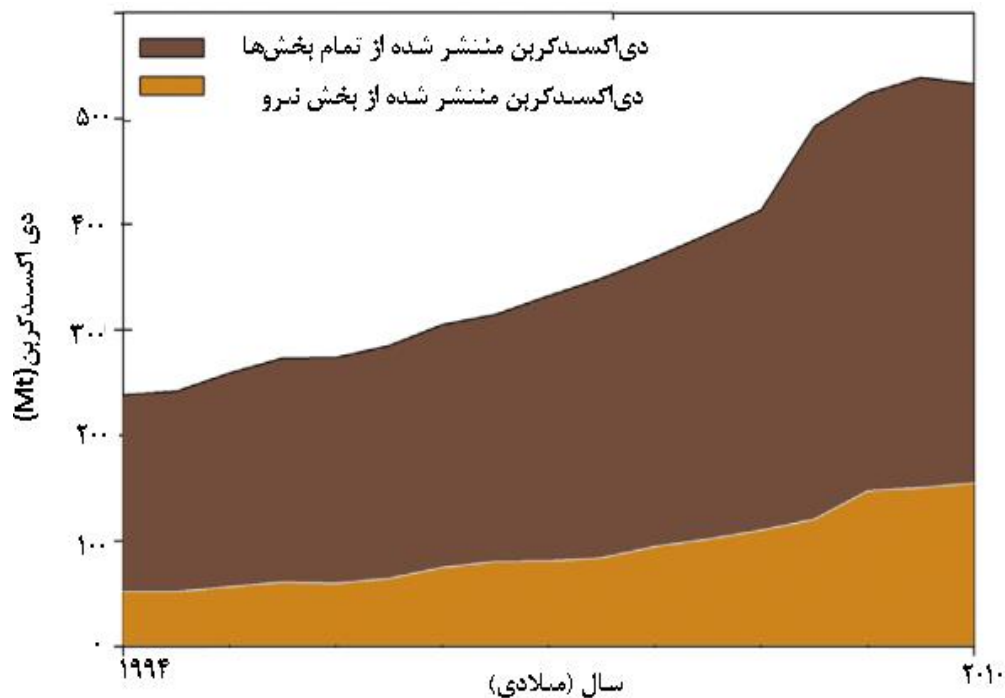
بر اساس داده‌های موجود در گزارش IEA [۹] استان‌های جنوب، جنوب غرب ایران (مناطق نفت خیز) شامل استان‌های خوزستان، فارس، هرمزگان و بوشهر با مجموع ۲۳/۷ میلیون تن بیشترین نشر سالانه دی‌اکسیدکربن در کشور را به خود اختصاص داده‌اند که در شکل ۱-۳، این پراکندگی مشخص شده است. همچنین در شکل ۱-۴، میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای در بخش نیروگاه و سایر بخش‌ها در طی سال‌های ۱۹۹۴ تا ۲۰۱۰ در ایران مشخص شده است.

جدول ۱-۱ میزان انتشار دی‌اکسیدکربن صنایع مختلف [۱۰].

واحد صنعتی	مقدار سالیانه نشر دی‌اکسیدکربن (Mt)	درصد سهم
آمونیاک	۰/۳۶	۰/۴۱٪
سیمان	۲۲/۵۰	۲۵/۶۹٪
پتروشیمی	۱/۶	۱/۸۳٪
هیدروژن	۰/۶۳	۰/۷۲٪
آهن و فولاد	۸/۲۰	۹/۳۶٪
برق	۴۰/۱	۴۵/۷۸٪
پالایشگاه	۱۴/۲	۱۶/۲۱٪



شکل ۳-۱ توزیع جغرافیایی منابع انتشار در جنوب ایران [۱۱].



شکل ۴-۱ مقایسه‌ی میزان انتشار نیروگاه‌ها با سایر بخش‌ها در ایران [۱۱].

۳.۱ مروری بر منابع

با توجه به افزایش مصرف سوخت‌های فسیلی به منظور تولید انرژی، گرما و سایر صنایع مصرفی، ایجاد چارچوب‌هایی برای کنترل این گاز بیش از پیش احساس می‌گردد. این چارچوب‌ها شامل قوانین و تعهداتی به منظور جلوگیری از افزایش انتشار گاز دی‌اکسیدکربن و همچنین ارائه‌کننده‌ی روش‌های متعددی برای کاهش انتشار آن می‌باشد.

گوزل‌پور و همکاران [۱۲] به بررسی ذخیره‌سازی دی‌اکسیدکربن در مخازن نفتی و همچنین ذخیره‌سازی در راستای ازدیاد برداشت پرداخته‌اند. در این مقاله در ابتدا به نگرانی‌هایی در زمینه‌ی انتشار گازهای گلخانه‌ای از جمله دی‌اکسیدکربن اشاره شده است و پس از آن به بررسی اقتصادی بهره‌گیری از دی‌اکسیدکربن در صورتیکه به منظور ازدیاد برداشت نفت مورد استفاده قرار گیرد پرداخته شده و در انتها هم به طور خاص در ارتباط با ذخیره‌سازی دی‌اکسیدکربن در میدانی در دریای شمال به منظور ازدیاد برداشت، بحث شده است.

تارکوسکی [۱۳] ظرفیت ذخیره‌ی دی‌اکسیدکربن در ساختارهای زمین‌شناسی را بررسی می‌کند. این مقاله ابتدا به مهم‌ترین مراحل جهت ذخیره‌سازی زیرزمینی دی‌اکسیدکربن می‌پردازد که از جمله‌ی آن‌ها بررسی ساختارهای زمین‌شناسی با توجه به داده‌هایی است که از این ساختارها موجود بوده و ظرفیت ذخیره‌ی ساختارها را با توجه به داده‌های آن‌ها مورد بررسی قرار داده‌است؛ همچنین به امکان ذخیره‌سازی دی‌اکسیدکربن در نزدیکی نیروگاه‌ها و امکان ذخیره‌سازی در حین انتشار اشاره شده است. در انتها نیز به طور خاص به انتخاب ساختارهای مناسب و بررسی آن‌ها در کشور هلند پرداخته شده است.

اسمیت و همکاران [۱۴] در مقاله‌ای با عنوان ذخیره‌سازی زیرزمینی دی‌اکسیدکربن، به علت‌های ذخیره‌ی دی‌اکسیدکربن پرداخته‌اند. این مقاله به مراحل تزریق دی‌اکسیدکربن و چگونگی امکان نگهداری دی‌اکسیدکربن به مدت طولانی اشاره کرده است. در این مقاله مکان‌های مناسب جهت

ذخیره، پارامترها و ویژگی‌های مکان‌هایی که تاکنون ذخیره شده‌اند مورد بررسی قرار گرفته است. در انتها نیز این مقاله به طرح راه‌حلی برای کنترل کردن مراحل تزریق و مشکلاتی که در زمینه‌ی نگهداری طولانی مدت وجود دارد، می‌پردازد.

قربانی و همکاران [۱۵] به دام انداختن و ذخیره‌ی دی‌اکسیدکربن در ایران را مورد بررسی قرار داده‌اند. در این مقاله به اثرات مخرب گازهای گلخانه‌ای که از جمله‌ی آن‌ها دی‌اکسیدکربن می‌باشد، پرداخته شده‌است. همچنین بخش‌های تولیدکننده‌ی دی‌اکسیدکربن که از جمله‌ی آن‌ها می‌توان بخش‌های صنعتی، نیروگاه‌ها و بخش‌های حمل و نقل را نام برد، به طور کامل بررسی شده و میزان گاز تولیدی سالیانه‌ی هر کدام از بخش‌ها بیان شده است؛ همچنین این مقاله، ذخیره‌ی دی‌اکسیدکربن در اقیانوس‌ها و ساختارهای زمین‌شناسی ایران و همچنین ذخیره‌سازی به منظور ازدیاد برداشت را به تفصیل مورد بررسی قرار داده است. در انتهای این مقاله پیشنهاداتی در زمینه‌ی استفاده از انرژی‌های تجدید پذیر که میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای را به شدت کاهش می‌دهند و یا در برخی موارد میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای را به صفر می‌رسانند، داده شده است.

نیلسون و همکاران [۱۶] به توصیف مکان‌های مناسب جهت ذخیره‌ی دی‌اکسیدکربن پرداخته‌اند. این مقاله ابتدا به بررسی ریسک در مراحل توصیف و امکان وجود خطا در پیدا کردن مکان مناسب برای ذخیره می‌پردازد؛ سپس به بررسی پارامترهای اثرگذار و ضروری که از جمله‌ی این پارامترها، ظرفیت ذخیره‌ی قابل قبول برای یک پروژه‌ی عملیاتی، شکل و ساختار مکان پیشنهادی برای ذخیره (به این منظور که آیا توانایی ذخیره‌ی طولانی مدت و ایمن را دارد یا خیر) و میزان تزریق‌پذیری مناسب برای یک عملیات طولانی مدت می‌باشد، پرداخته است. پس از بررسی پارامترهای اساسی، گام بعدی طراحی استراتژی‌های عملیاتی و کارآ می‌باشد که از قبل از تزریق باید بررسی شوند. این مقاله به طور خاص به ذخیره‌سازی دی‌اکسیدکربن در ساختارهای تاق‌دیسی در

دانمارک اشاره دارد. در ادامه به منابعی که بر روی پیمان کیوتو و ذخیره‌سازی دی‌اکسیدکربن اشاره دارند، پرداخته شده است.

۱.۳.۱ پیمان کیوتو

کنوانسیون تغییر آب و هوا بیشتر از ۱۰ سال است که در جهت کنترل و تثبیت انتشار گازهای گلخانه‌ای قدم برداشته است. همچنین این کنوانسیون به بررسی آسیب‌پذیری کشورهای مختلف جهان در قبال پدیده‌ی تغییر آب و هوا می‌پردازد. عملکرد دیگر این کنوانسیون، تهیه‌ی چارچوب‌های لازم جهت همکاری‌های بین‌المللی کشورهای مختلف می‌باشد.

پروتکل کیوتو در سومین اجلاس اعضاء متعهدین^۱ در سال ۱۹۹۷ در کیوتو ژاپن به تصویب رسید. هریک از اعضای این پیمان به طور مستقل و یا به طور مشترک متعهد شده‌اند که انتشار گازهای گلخانه‌ای را حذف نموده و یا به طور قابل توجهی کاهش دهند. این کاهش باید به نحوی باشد که میزان انتشار شش گاز گلخانه‌ای کشورهای توسعه یافته در محدوده‌ی سال‌های ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۲ به ۵/۲ درصد زیر سطح انتشار آن‌ها در سال ۱۹۹۰ کاهش یابد.

گازهای گلخانه‌ای مورد نظر پیمان کیوتو شامل دی‌اکسیدکربن، متان، اکسید نیتروژن، هیدروفلوروکربن‌ها، پرفلوروکربن‌ها و هگزا فلورید سولفور می‌باشد. محدوده‌ی این تعهدات برای کشورهای مختلف با توجه به متفاوت بودن میزان انتشار آن‌ها با یکدیگر تمایز دارد. این میزان برای کشورهای جزو اتحادیه‌ی اروپا ۸ درصد کاهش و برای جزایر کوچک تا ۱۰ درصد افزایش نسبت به میزان انتشار آن‌ها در سال ۱۹۹۰ می‌باشد [۱۷].

در ماده‌ای از این پروتکل اعضای متعهد جهت رسیدن به تعهدات کاهش انتشار در سطح ملی، ترغیب به گسترش اقداماتی شده‌اند. این اقدامات عبارت‌اند از:

^۱Cop

أ. بهینه‌سازی مصرف سوخت

ب. استفاده‌ی بیشتر از انرژی‌های تجدیدپذیر

ج. گسترش تکنولوژی‌های جدید

د. اصلاح روش‌های جنگل‌داری و کشاورزی

از جمله اهداف و مزیت‌های این پیمان، انتقال تکنولوژی کشورهای توسعه یافته به کشورهای در حال توسعه می‌باشد. در صورتیکه کشوری نتواند به هدف معین شده جهت کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای خود دست یابد، به ازای هر تن دی‌اکسیدکربن منتشره جریمه خواهد شد. به همین دلیل تمامی کشورهایی که این معاهده را می‌پذیرند، باید سهمی در کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای داشته باشند. کشورهای تحت تعهد پیمان کیوتو به دو بخش تقسیم می‌شوند:

أ. کشورهای پیشرفته که متعهد شده‌اند علاوه بر کاهش انتشار گاز گلخانه‌ای، کشورهای دیگر را نیز در رسیدن به اهداف پروتکل یاری رسانند.

ب. کشورهای در حال توسعه که از کمک‌های بین‌المللی مالی و فنی بهره‌مند می‌شوند. از جمله مزایای پیمان کیوتو برای کشورهایی که میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای آن‌ها از حد مشخص شده کمتر است، عدم تعهد این کشورها می‌باشد. درمقابل کشورهای پیشرفته در یک برنامه‌ی زمان‌بندی مشخص، موظف می‌باشند تا کمک‌های مالی و تکنولوژیک لازم را ارائه دهند. بر اساس نظریه‌ی کارشناسان جذب سالانه‌ی ۱۰۰ تا ۵۰۰ میلیون دلار جهت کاهش نشر گاز گلخانه‌ای برای ایران امکان پذیر می‌باشد.

ایران از سال ۱۳۸۵ به عضویت این پروتکل درآمد و با توجه به مفاد پروتکل و میزان قابل قبول انتشار دی‌اکسیدکربن تعهد چندانی در زمینه‌ی کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای ندارد اما اقدامات و فعالیت‌هایی در جهت کاهش انتشار در کشور آغاز و انجام شده است. از جمله‌ی مهمترین اقدامات به شرح زیر است [۷]:

- ا. استفاده از نیروی آب به جهت تولید انرژی برق با احداث انواع سدهای بزرگ و کوچک.
- ب. آغاز و ادامه‌ی فعالیت‌ها و کاربرد انرژی‌های تجدیدپذیر برای تولید برق در کشور از طریق احداث نیروگاه‌های بادی، خورشیدی، زمین‌گرمایی و زیست توده.
- ج. سرمایه‌گذاری از طریق کمک‌های بلاعوض و یا از طریق سود تسهیلات برای اجرای طرح‌هایی با مصرف انرژی و همچنین کارایی بیشتر.
- د. گازسوز کردن خودروهای سبک و سنگین عمومی با استفاده از گاز مایع و یا گاز طبیعی.
- ه. تنظیم و تدوین برنامه برای اجرای ممیزی تاسیسات تولید، انتقال و توزیع صنایع نفت و گاز و پتروشیمی.
- و. حذف تدریجی استفاده از کلیه‌ی گازهای فلوروکربن‌ها در صنایع در طی سال‌های اخیر و جایگزینی آن‌ها با گازهای مشابه غیرموثر تر در آلودگی محیط زیست.

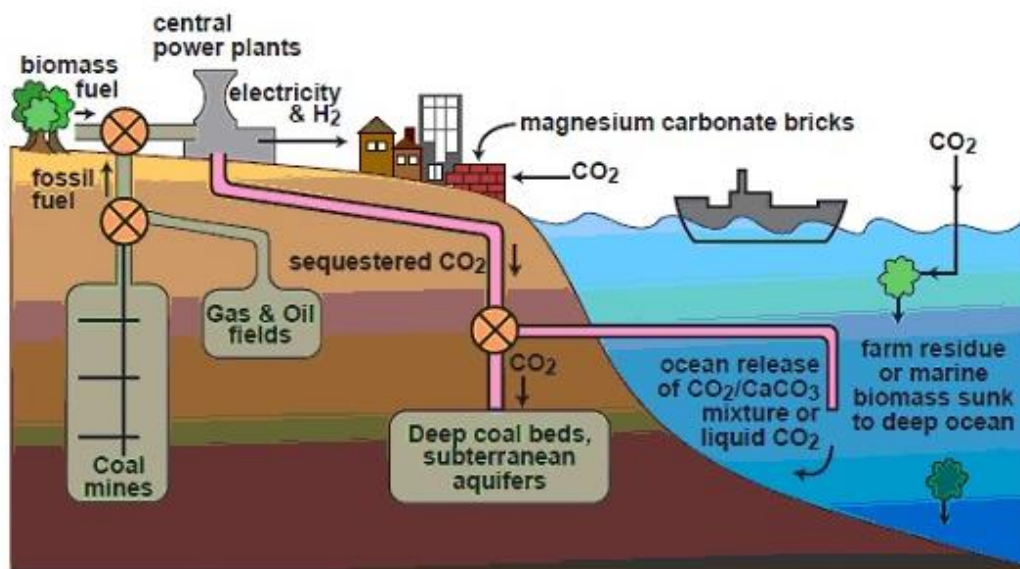
۲.۳.۱ ذخیره‌سازی دی‌اکسیدکربن

مطالعات سازمان جهانی انرژی نشان می‌دهد که به دام انداختن و ذخیره‌سازی دی‌اکسیدکربن^۱ می‌تواند ۲۰٪ کاهش انتشار لازمه را تامین کند؛ بنابراین از آنجاییکه این روش حداقل اثرات زیان‌بار محیط زیستی را در پی دارد، لازم است که تکنولوژی ذخیره‌سازی دی‌اکسیدکربن در کشورهای صنعتی به کار گرفته شود. به منظور این هدف دی‌اکسیدکربن از منبع انتشار گرفته شده، توسط خط لوله به محل تزریق متقل می‌شود و در نهایت در چاه‌های تزریقی دفع می‌گردد. ذخیره‌سازی دی‌اکسیدکربن به دو روش انجام می‌گردد:

- ا. ذخیره‌سازی دی‌اکسیدکربن در ساختارهای زمین‌شناسی
- ب. ذخیره‌سازی توسط روش‌های شیمیایی، زیست شناختی و ذخیره‌سازی درون اقیانوس

¹ carbon capture storage

همانطور که در شکل ۵-۱ مشخص شده است، دی‌اکسیدکربن پس از تسخیر به ساختارهای زمین-شناختی و یا اقیانوس‌ها به منظور ذخیره‌سازی تزریق شده است [۱۸].



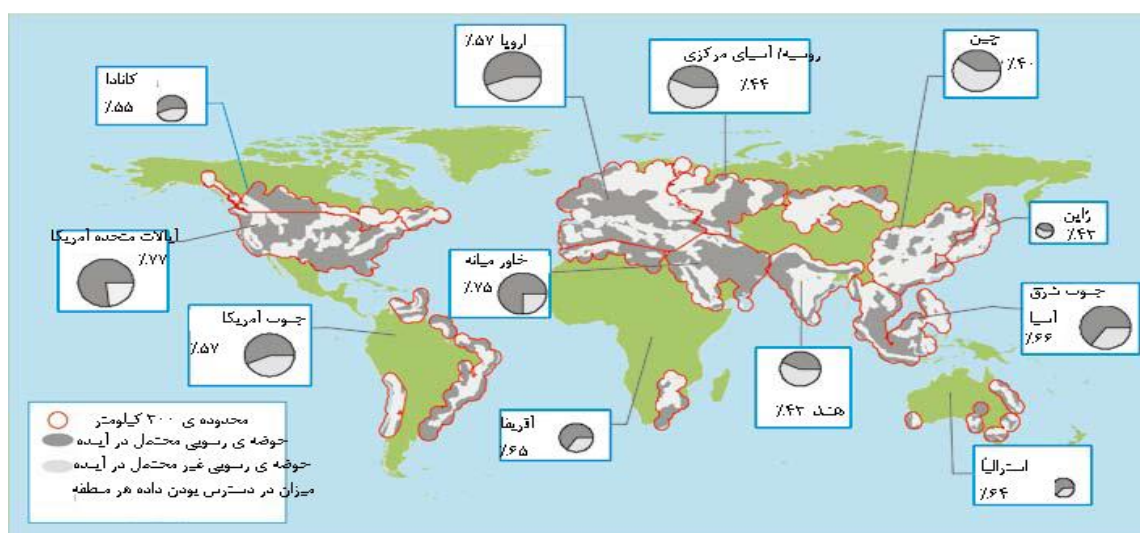
شکل ۵-۱ فرآیند به دام انداختن، انتقال و ذخیره‌سازی دی‌اکسیدکربن [۱۸].

هدف از ذخیره‌ی زیرزمینی، تکرار فرآیند طبیعی دفع یک سیال در عمق زیاد است که به مدت میلیون‌ها سال در زیر زمین به دام افتاده است. نرخ پایین مهاجرت سیال سطحی که به طور طبیعی جذب شده و همچنین نشت دی‌اکسیدکربن به سطح که ممکن است به صورت اتفاقی رخ داده باشد، سبب ذخیره‌ی دی‌اکسیدکربن به زیر سطح زمین و در نزدیکی مکان تزریق می‌شود. نکته‌ی حائز اهمیت در هنگام تزریق دی‌اکسیدکربن به اقیانوس‌ها، ثابت باقی نماندن آن در یک مکان می‌باشد. دی‌اکسیدکربن با سرعت بالایی در میان آب مهاجرت کرده و در میان آن حل می‌گردد؛ به این ترتیب دی‌اکسیدکربن تزریق شده در اقیانوس در همان نقطه باقی نمی‌ماند.

نکته‌ی قابل توجه برای بررسی منابع و مکان مناسب جهت ذخیره‌سازی، میزان انتشار و حجم مخزن مورد بررسی جهت ذخیره‌سازی می‌باشد. شکل ۸-۱ دورنمایی از حوزه‌های رسوبی محتمل در دنیا به منظور ذخیره‌سازی را نشان می‌دهد. هنگامی از واژه‌ی دورنما استفاده می‌شود که شرایط بسیار

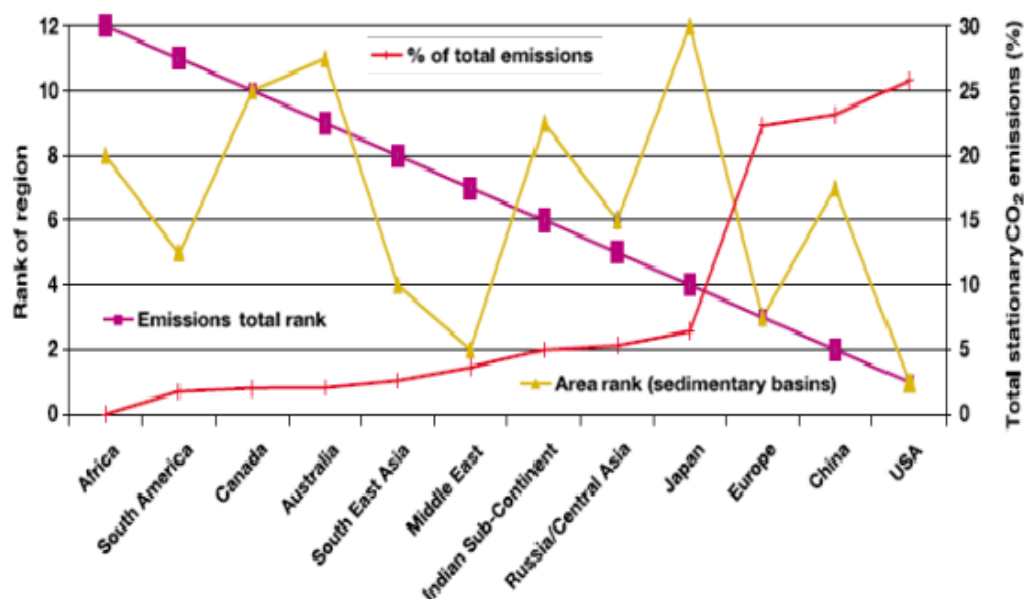
پیچیده بوده و یا به طور فنی ارزیابی و تخمین عددی با توجه به داده‌های موجود از منابع، غیر ممکن باشد.

شکل ۱-۶ محدوده‌های انتشار و حوزه‌های محتمل جهت ذخیره‌سازی را برای دوازده منطقه نشان می‌دهد. محدوده‌ی انتخاب شده دارای شعاع ۳۰۰ کیلومتر می‌باشد. در بررسی‌های انجام شده، این محدوده حداکثر شعاع ممکن برای انتقال یک سیال از محل انتشار تا مکان ذخیره می‌باشد. داده‌های مورد بررسی نشان‌دهنده‌ی منابع انتشار عظیم و حوزه‌های رسوبی محتمل کوچک برای چین می‌باشد؛ همچنین برای منطقه‌ی خاورمیانه که ایران نیز جزو آن قرار دارد، حوزه‌های رسوبی محتمل فراوان تر از منابع انتشار دیده می‌شوند [۱۹].



شکل ۱-۶ توزیع حوزه‌های محتمل جهت ذخیره‌سازی در دنیا [۱۹].

با توجه به شکل ۱-۷ مشخص می‌گردد که کدام یک از مناطق مورد بررسی نیاز به ارزیابی‌های بیشتر بر روی حوزه‌های محتمل جهت ذخیره‌سازی دارند. همانطور که مشخص است کشورهای چین و هند با توجه به میزان انتشار بالا نیازمند ساختارهای زمین‌شناسی بیشتری جهت ذخیره‌سازی می‌باشند.



شکل ۷-۱ جایگاه کشورها در میزان انتشار و حوزه‌های محتمل جهت ذخیره‌سازی [۱۹].

۳.۳.۱ کاندیداهای ذخیره‌سازی

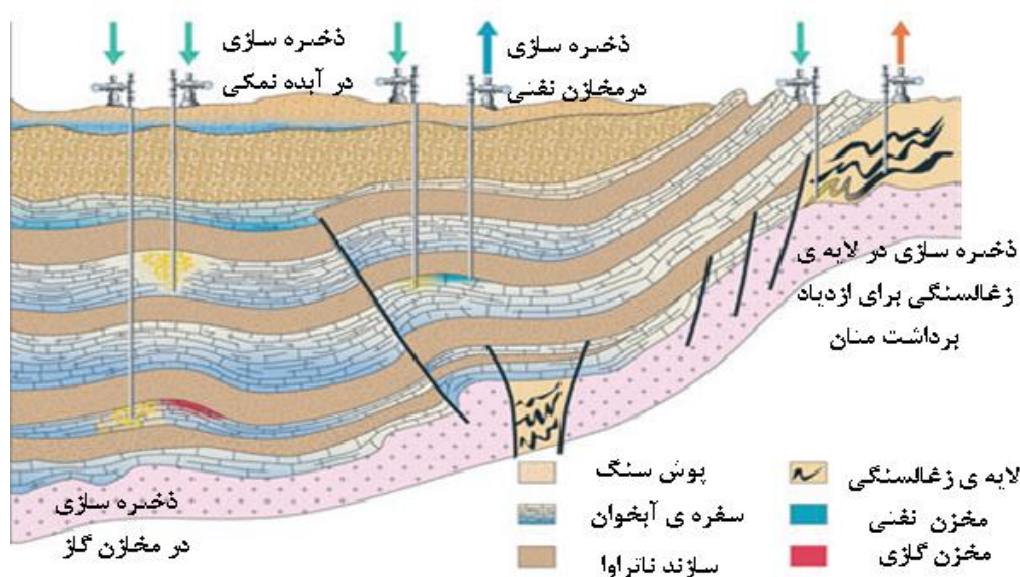
ساختارهای مناسب جهت ذخیره‌سازی شامل ساختارهای نمکی، مخازن هیدروکربنی و رگه‌های زغالسنگی می‌باشد. مکانیسم‌های ذخیره‌سازی و به دام‌اندازی در این ساختارهای یکسان نمی‌باشد. درزهای زغالسنگی با ساختارهای زمین شناسی دیگر به علت مکانیسم شیمیایی به دام‌انداختن دی-اکسیدکربن متمایز می‌باشد. ساختارهای نمکی بزرگترین گزینه‌های ذخیره‌سازی می‌باشند. گرچه بر خلاف مخازن نفت و گاز محصولی قابل فروش مانند گاز یا نفت ندارند اما به علت فراوانی احتمال مجاورت آن‌ها با منابع انتشار بسیار مورد توجه می‌باشند. اولین ذخیره‌سازی دی‌اکسیدکربن در دنیا در سازند نمکی در میدان اسلیپنر^۱ نروژ انجام شد. جدول ۱-۲، نشان‌دهنده‌ی حجم ذخیره‌ی هر کدام از این کاندیداها در دنیا می‌باشد [۲۰].

^۱ Sleipner

جدول ۱-۲ حجم دی اکسیدکربن قابل ذخیره در ساختارها [۱۵].

حجم دی اکسیدکربن قابل ذخیره (GT)	کاندیداهای ذخیره سازی
۹۲۰	میادین نفت و گازی تخلیه شده
>۱۵	رگه های غیر قابل استخراج زغالسنگی
۴۰۰ - ۱۰۰۰۰	ساختارهای عمیق نمکی

در شکل ۱-۸ گزینه های متفاوت جهت ذخیره سازی دی اکسیدکربن مشخص شده و ذخیره سازی در میادین تخلیه شده نفتی و گازی، ساختارهای نمکی، ذخیره سازی جهت ازدیادبرداشت نفت و ذخیره سازی در رگه های زغالسنگی غیر قابل استخراج، نشان داده شده است.



شکل ۱-۸ گزینه های مختلف ذخیره سازی [۲۱].

۱.۳.۳.۱ ذخیره سازی در درزهای زغالسنگ

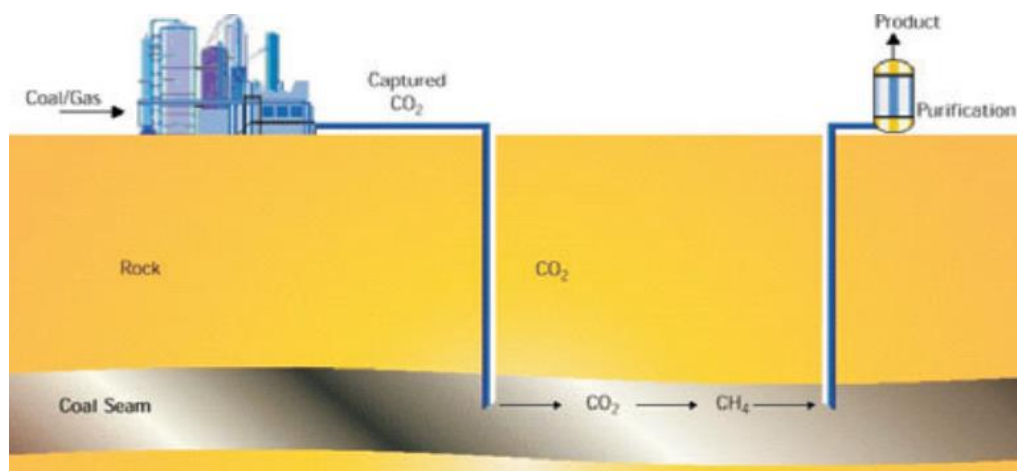
تزریق دی اکسیدکربن در درزهای زغالسنگ با مزیت تولید متان همراه می باشد. مکانیسم ذخیره سازی در این ساختارها بسیار شبیه با میادین نفت و گاز می باشد. تفاوت اصلی آن ها به دام انداختن دی-اکسیدکربن توسط جذب سطحی شیمیایی می باشد.

به طور طبیعی در لایه‌های زغالسنگی گازهایی همچون متان وجود دارند. این گاز می‌تواند در منافذ موجود در سطح زغالسنگ و یا شکستگی‌های آن نگه داشته شود. همانطور که در شکل ۹-۱ دیده می‌شود، هنگامیکه دی‌اکسیدکربن تزریق می‌شود متان موجود را جابجا کرده و آزاد می‌سازد. اگرچه متان تولید شده بخشی از هزینه‌ها را جبران می‌کند، اما دی‌اکسیدکربن ناشی از سوزاندن آن نیز وارد جو شده و همین فواید اولیه‌ی ذخیره‌سازی را نقض می‌کند. به طور کلی می‌توان گفت دی-اکسیدکربن به دو روش در رگه‌های زغالسنگی به دام می‌افتد [۲۱].

أ. جذب سطحی زغالسنگ که متان جذب شده را جابجا می‌کند

ب. تله‌ی فیزیکی در ماتریکس‌های موجود در زغالسنگ.

از نظر تئوری در صورتیکه زغالسنگ هرگز استخراج نشود دی‌اکسیدکربن با رسوبات زغالسنگ باقی می‌ماند. ایمنی ذخیره‌سازی در این ساختارها هنوز به طور کامل اثبات نشده است.



شکل ۹-۱ فرآیند ذخیره‌سازی در لایه‌های زغالسنگی [۲۲].

به طور معمول بیش از ۵۰٪ متان موجود در لایه‌های زغالسنگی در صورت استفاده از روش‌های استاندارد آزاد می‌گردد. بر اساس نتایج آزمایشگاهی تخمین زده شده که به میزان دو برابر دی-اکسیدکربن جذب شده، متان تولید می‌گردد. این فرآیند را ازدیاد برداشت متان از لایه‌های زغالسنگی

توسط گاز دی‌اکسیدکربن ($\text{CO}_2\text{-ECBM}$)^۱ می‌نامند. از آنجاییکه متان نیز گاز گلخانه‌ای محسوب می‌گردد تلاش می‌شود پس از تولید آن از لایه‌های زغالسنگی به دام بیافتد و از ورود آن به اتمسفر جلوگیری شود [۲۲].

۲.۳.۳.۱ ذخیره‌سازی در آبدۀ نمکی^۲

آبدۀ‌های نمکی، سنگ‌های رسوبی همانند ماسه سنگ و سنگ آهک با حفره‌های ریز می‌باشند که حاوی آب شورند که به علت نمک بالا و وجود مواد معدنی غیر قابل استفاده می‌باشند. این آبدۀ‌ها توسط لایه سنگ‌های ناتراوای بالایی به‌دام افتاده‌اند. اگر دی‌اکسیدکربن به این آبدۀ‌ها تزریق شود، مقداری از آن در آب شور حل می‌گردد و به طور گسترده در آبدۀ پخش می‌شود [۲۳].

دی‌اکسیدکربن می‌تواند با کانی‌های موجود در آبدۀ واکنش دهد و برای همیشه ثابت باقی بماند. آبدۀ‌ها لایه‌های زیرزمینی سنگ هستند که بایستی به قدر کافی متخلخل باشد تا آب را در خود نگه دارد. همچنین می‌بایست به قدر کافی تراوا باشند تا امکان جریان آب را از میان خود فراهم سازند. آن‌ها معمولاً از مخلوط مواد تراوای مستحکم نشده‌ای، همانند ریگ، شن، گل و رس تشکیل شده‌اند. تعدادی از آبدۀ‌ها در سنگ‌های شکافدار مثل کربنات، بازالت یا ماسه‌سنگ یافت می‌شوند.

به طور کلی دو نوع آبدۀ وجود دارد: محبوس و نامحبوس. آبدۀ‌های نامحبوس مشابه دریاچه‌های زیرزمینی در مواد متخلخل هستند. هیچ ماده‌ی ناتراوایی بر روی آب‌های زیرزمینی وجود ندارد و سطح این آب‌ها برای بالا یا پایین رفتن آزاد است. آبدۀ نامحبوس در معرض اتمسفر قرار دارد، بنابراین فشار آن با فشار جو یکسان است. آبدۀ محبوس با سر و احتمالاً کف ناتراوا پوشانیده شده است. آبدۀ‌های محبوس به طور کامل با آب‌های زیرزمینی پر شده‌اند. به طور خلاصه، آبدۀ‌ها، سازندهایی همانند ماسه هستند که امکان جریان آب را فراهم می‌کنند [۲۴].

^۱ Enhanced coal bed methane

^۲ Saline aquifer

۳.۳.۳.۱ ذخیره‌سازی در مخازن نفت و گاز

مخازن نفت و گاز از جمله مکان‌های بسیار امیدوار کننده در ذخیره‌سازی می‌باشند؛ زیرا این مخازن به خوبی شناسایی شده و داده‌های آن‌ها به همین علت در دسترس می‌باشد. این ساختارها به طور کلی تله‌های مناسب با قابلیت بالایی جهت ذخیره‌سازی تلقی می‌گردند که توانایی نگهداری نفت، گاز و دی‌اکسیدکربن را به مدت میلیون‌ها سال دارند [۲۵].

در میادین نفتی تولید توسط روش‌های استاندارد سبب باقی‌ماندن بخشی از نفت منشا در مخزن می‌گردد، لذا تزریق دی‌اکسیدکربن گزینه‌ای مناسب جهت ازدیاد برداشت می‌باشد. به طور کلی این روش در ایالات متحده‌ی آمریکا به طور گسترده به کار می‌رود به طوریکه در حدود ۳۰۰۰ کیلومتر خط لوله تنها به منظور انتقال دی‌اکسیدکربن جهت ازدیادبرداشت به کار گرفته شده است [۲۶].

مخازن گاز طبیعی نیز از گزینه‌های بدیهی ذخیره‌سازی دی‌اکسیدکربن است. این مخازن ثابت بوده و پوشش کافی در مقابل فرار گاز دارند. به علاوه، همانطور که پیشتر گفته شد از مزایای این ذخیره‌سازی ازدیادبرداشت توسط دی‌اکسیدکربن^۱ (CSEGR) می‌باشد.

در این فرآیند دی‌اکسیدکربن در حالی به اعماق تزریق می‌شود که در چاه‌های بهره‌برداری دورتر تولید می‌شود. تزریق فعال دی‌اکسیدکربن سبب افزایش دوباره‌ی فشار و جابجایی متان می‌شود و به بهبود برداشت گاز نسبت به عملیات رانش آب یا دیگر روش‌های مرسوم کمک می‌کند.

این مخازن با نگهداشتن دراز مدت متان در خود قابلیت بالای نگهداری گاز را نشان داده‌اند. تخمین زده شده است که ظرفیت ذخیره‌ی جهانی آن‌ها در حدود ۱۴۰ GT می‌باشد. همچنین فعالیت‌های بهره‌برداری گذشته منجر به مشخصه‌سازی کامل آن‌ها شده است. زیرساختار چاه‌ها و خطوط لوله هنوز موجود می‌باشد و ضریب برداشت مخازن گاز طبیعی که در حدود ۷۵٪ می‌باشد، از نکات مثبت این مخازن است. هنگامیکه این مخازن تخلیه شده به حساب می‌آیند، دارای مقدار زیادی

^۱CO₂ Sequestration EGR

گاز طبیعی می‌باشند که با فرآیندهای ازدیادبرداشت گاز مرتبط با دی‌اکسیدکربن، همچنان پتانسیل تولید دارند. این گاز تولیدی افزوده‌ی هزینه‌های تزریق دی‌اکسیدکربن را جبران می‌کند.

با وجود اینکه سال‌ها استفاده از روش CSEGR مورد بحث قرار گرفته اما این روش هنوز به طور گسترده کاربردی نشده است. از دلایل عملی نشدن این پروژه‌ها می‌توان به هزینه‌ی بالای استفاده از CO₂ و نگرانی در مورد مخلوط شدن دی‌اکسیدکربن تزریقی با متان موجود که سبب کاهش کیفیت متان می‌شود، اشاره کرد.

استفاده از چگالی بیشتر دی‌اکسیدکربن نسبت به متان سبب شده است که این گاز را در اعماق مخزن تزریق و متان را از بالای آن تولید کنیم. با این فرآیند، متان هم از پایین و هم به صورت جانبی جاروب می‌شود. در این صورت در پایان عملیات، مخزن بیشتر شامل دی‌اکسیدکربن می‌باشد [۲۷].

۴.۱ پروژه‌های صورت گرفته در دنیا

به طور کلی ۱۵ پروژه‌ی عظیم سی-سی-اس^۱، در حال اجرا هستند. همچنین هفت پروژه‌ی عظیم دیگر نیز در مرحله‌ی ساخت و اقدامات نهایی می‌باشند. این ۲۲ پروژه‌ی عظیم، نشان دهنده‌ی دو برابر شدن اقدامات مربوط به کاهش انتشار دی‌اکسیدکربن در دهه‌ی اخیر نسبت به قبل می‌باشد. میزان حجمی از دی‌اکسیدکربن که توسط این ۲۲ پروژه به دام می‌افتد، در حدود ۴۰ میلیون تن در سال می‌باشد.

دو پروژه‌ی عظیم که در سال ۲۰۱۵ عملیاتی شده‌اند:

¹ Carbon Capture Storage

² Capture

۱. پروژهی کوئست^۱ که در آلبرتای کانادا قرار دارد. ظرفیت این پروژه در حدود ۱ میلیون تن در سال می‌باشد. این پروژه در نوامبر سال ۲۰۱۵ شروع به فعالیت نموده‌است. اولین پروژهی عظیم آمریکای شمالی به منظور ذخیره‌سازی در ساختارهای عمیق نمکی، به حساب می‌آید.

۲. پروژهی ازدیاد برداشت عثمانیه^۲ که در کشور عربستان قرار دارد. این پروژه در ژولای ۲۰۱۵ اجرا شده‌است. این عملیات قابلیت به‌دام انداختن ۰,۸ میلیون تن دی‌اکسیدکربن در سال را دارد. منظور از پروژهی عظیم سی-سی-اس، پروژه‌ای می‌باشد که شامل بخش‌های به‌دام‌انداختن، انتقال و ذخیره‌سازی در حجم زیر باشد:

۱. حداقل ۸۰۰۰۰۰ تن دی‌اکسیدکربن سالانه برای نیروگاه‌های زغالسنگی

۲. حداقل ۴۰۰۰۰۰ تن دی‌اکسیدکربن سالانه برای سایر فعالیت‌ها و نیروگاه‌های صنعتی.

دو پروژهی بزرگ و صنعتی دیگر نیز امید می‌رود در سال ۲۰۱۶ انجام گردد.

۱. پروژهی صنعتی لینویز^۳ که در ایالات متحدهی آمریکا انجام می‌شود. ظرفیت به‌دام اندازی دی‌اکسیدکربن آن، ۱ میلیون تن در سال می‌باشد. این پروژه، اولین پروژهی عظیم زیستی^۴ است. همچنین این پروژه، اولین پروژه در ایالات متحدهی آمریکا می‌باشد که در آبده‌های نمکی با حجم ۱ میلیون تن انجام می‌پذیرد.

۲. پروژهی ابوظبی که در امارات قرار دارد. ظرفیت این پروژه ۰,۸ میلیون تن دی‌اکسیدکربن در سال می‌باشد. این عملیات، اولین پروژهی سی-سی-اس دنیا در مقیاس عظیم در صنعت آهن و فولاد می‌باشد.

^۱ Quest

^۲ Uthmaniyah

^۳ Illinois

^۴ Bio-ccs

از جمله پروژه‌های عظیم بخش نیرو می‌توان پروژه‌ی «باندیری دم»^۱ را نام برد. این عملیات که در سال ۲۰۱۴ عملی شده‌است، اولین پروژه‌ی عظیم سی-سی-اس در بخش نیرو می‌باشد. ظرفیت این سایت، ۱ میلیون تن دی‌اکسیدکربن در سال می‌باشد. همچنین پروژه‌ی پترانوا^۲ در تگزاس آمریکا نمونه‌ی دیگری از این پروژه‌ها می‌باشد. ساخت و ساز اولیه‌ی این پروژه در سال ۲۰۱۴ بوده‌است و انجام آن تا سال ۲۰۱۶ صورت می‌پذیرد.

۵.۱ ضرورت و اهمیت تحقیق

تاکنون طرح‌های زیادی جهت کاهش انتشار گاز گلخانه‌ای دی‌اکسیدکربن در اتمسفر توسط محققان مختلف در سرتاسر دنیا ارائه شده است. تمامی کشورها از جمله ایران که رتبه‌ی هفتم در انتشار گازهای گلخانه‌ای را دارا است، موظفند سالانه میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای خود را طبق طرح‌های پیشنهادی کاهش دهند. لذا نیاز به طرح‌ها و برنامه‌هایی جهت شناسایی ساختارهای مناسب جهت ذخیره‌سازی دی‌اکسیدکربن و همچنین پروژه‌های انتقال این گاز به ساختارهای زیرزمینی در ایران بیش از پیش احساس می‌شود.

۶.۱ هدف تحقیق

هدف اولیه‌ی این پایان‌نامه مشخص شدن پارامترهای لازم جهت شناسایی ساختار مناسب به منظور ذخیره‌سازی دی‌اکسیدکربن می‌باشد. با توجه به اینکه پیش از این تحقیق، مطالعات لازمه بر روی ساختارهای محتمل جهت ذخیره‌سازی انجام نشده است، هدف اصلی این پایان‌نامه مشخص شدن اولویت اول ذخیره‌سازی در منطقه‌ی غرب کشور و به طور کلی بررسی ساختارهای محتمل جهت

^۱ Boundry Dam

^۲ Petra Nova

ذخیره‌سازی در این منطقه می‌باشد. همچنین از جمله اهداف دیگر این پایان‌نامه پیشنهاد مکان‌هایی مناسب جهت احداث نیروگاه‌ها و پالایشگاه‌های جدید در محدوده‌ی غرب کشور می‌باشد.

۷.۱ رویکرد پایان‌نامه

در این پایان‌نامه تلاش است با توجه به داده‌های موجود از مناطق غرب و جنوب غرب کشور، بر روی تأقدیس‌های منتخب، ارزیابی‌های لازمه را انجام داده تا اولویت ذخیره‌ی زیرزمینی دی‌اکسیدکربن در این مناطق مشخص گردد. ابتدا توسط روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی، با توجه به مشخص شدن پارامترهای ضروری جهت ذخیره‌سازی، این ویژگی‌ها اولویت‌بندی شده و در مرحله‌ی بعد ساختارها بر حسب این پارامترها اولویت‌بندی می‌شوند. در انتها از مجموع وزن‌های به دست آمده، ساختار مناسب جهت ذخیره‌سازی مشخص می‌گردد.

۸.۱ ساختار پایان‌نامه

بطور کلی در فصل دوم این پژوهش به بررسی منطقه‌ی مورد بررسی (غرب کشور) پرداخته شده و در ادامه‌ی آن ساختارهای مورد بررسی جهت ذخیره‌سازی از نظر موقعیت جغرافیایی و پارامترهای پتروفیزیکی، معرفی می‌گردند. در فصل سوم، ابتدا به پارامترهای مورد نیاز جهت ذخیره‌سازی پرداخته شده و سپس روش پژوهش ما که فرآیند تحلیل سلسله مراتبی می‌باشد، مورد بررسی قرار گرفته - است. در انتهای این فصل، پرسشنامه‌ی مورد استفاده جهت روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی آورده - شده است. در فصل چهارم، به نتایج تحقیق ما که در واقع ترکیب داده‌ها و روش مورد بررسی است، پرداخته شده است. در فصل پنجم، نتیجه گیری کلی پژوهش به همراه پیشنهادات مؤثر جهت بهره - گیری از این تحقیق بیان می‌شود. همچنین در پیوست‌ها ویژگی‌های گاز دی‌اکسیدکربن و نگارش پرسشنامه‌ی فرآیند تحلیل سلسله مراتبی آورده شده است.

فصل دوم

داده های تحقیق

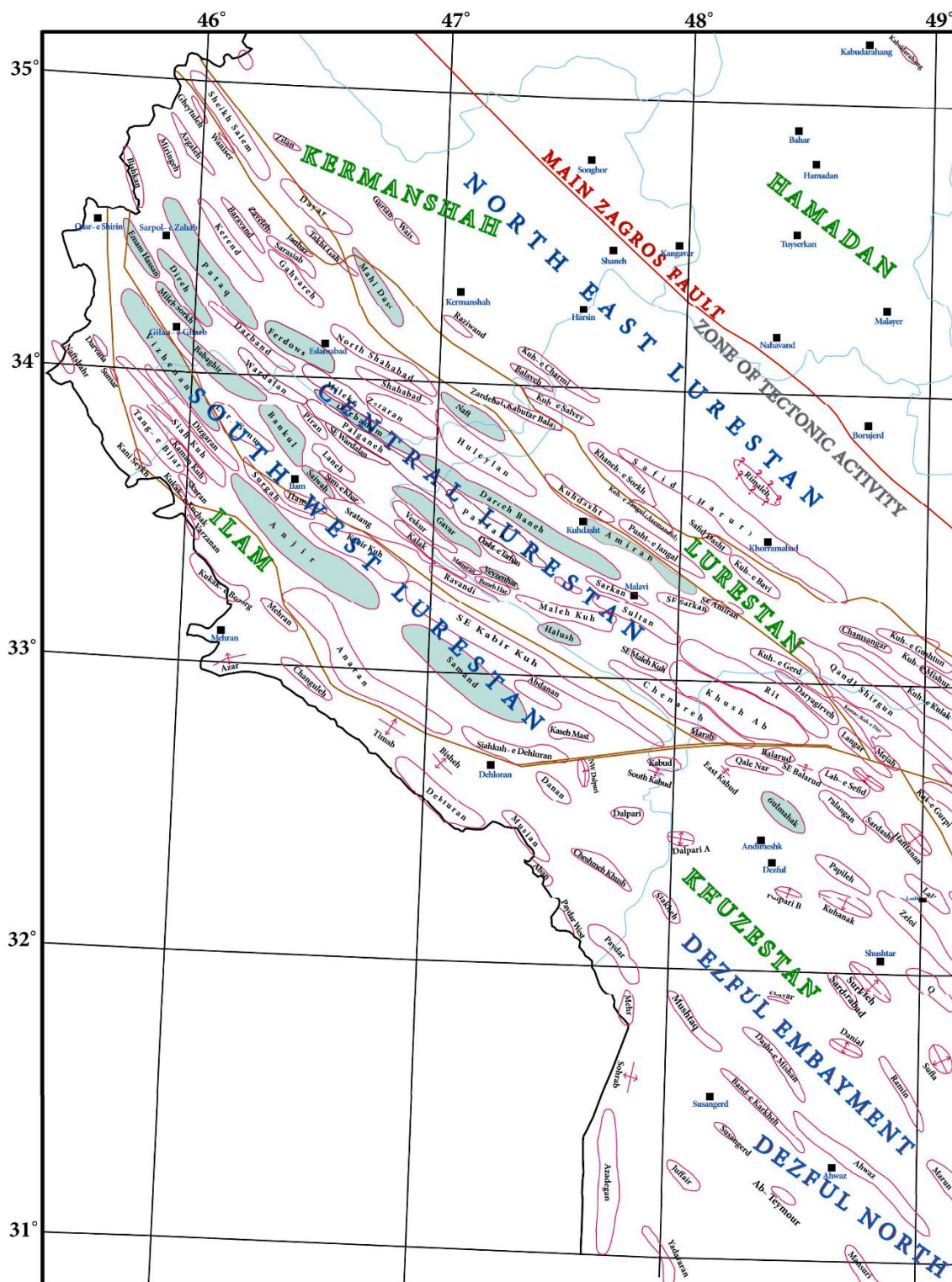
۱.۲ مقدمه

با توجه به اینکه منطقه‌ی مورد بررسی (غرب کشور) دارای تاقدیس‌های بسیاری جهت ارزیابی می‌باشد، ده تاقدیس محتمل جهت ذخیره‌سازی مشخص شده و به تفکیک مورد ارزیابی قرار گرفته‌اند. در این فصل ابتدا به طور کلی جغرافیای غرب کشور بررسی شده و در ادامه به بررسی تاقدیس‌ها همراه با ویژگی‌های سازندهای مخزنی آن‌ها پرداخته شده است.

۲.۲ جغرافیای منطقه^۱

منطقه‌ی مورد بررسی در این پایان نامه در موقعیت ۴۵° تا ۴۹° طول شرقی و ۳۱° تا ۳۵° عرض شمالی قرار گرفته و استان‌های ایلام، کرمانشاه، همدان و بخش‌هایی از لرستان و خوزستان را شمال می‌شود. همانطور که در شکل ۱-۲ مشاهده می‌شود تاقدیس‌های موجود در منطقه با بیضی‌هایی آبی رنگ مشخص شده‌اند که در میان آن‌ها تاقدیس‌های هالوش، ویزنهار، دارابادام، گلمهک، سمند، دره‌بانه، گوار، انجیر، دیره و باباحیب ساختارهای مورد بررسی در زمینه‌ی ذخیره‌سازی دی‌اکسیدکربن می‌باشند. ده تاقدیس مورد بررسی در ادامه به تفصیل مورد بررسی قرار می‌گیرند.

^۱ تمامی مطالب این فصل از گزارش تکمیلی پژوهشگاه صنعت نفت استخراج گردیده است [۲۸].



شکل ۲-۱۰ موقعیت جغرافیایی منطقه‌ی مورد بررسی [۲۸].

۳.۲ هالوش

این تاقديس تحت الارضي با علامت اختصاري "HH" در ناحيه لرستان و زير ناحيه لرستان مركزي و در موقعيت جغرافيايي $47^{\circ}29'$ تا $47^{\circ}42'$ طول شرقي و $33^{\circ}18'$ تا $33^{\circ}34'$ عرض شمالي قرار گرفته است.

اين ساختمان با ابعاد ۱۹ كيلومتر طول و $4/5$ كيلومتر عرض در افق بنگستان، در ۱۳ كيلومتری شهرستان پل دختر قرار گرفته و از نوع ساختمان‌های نامتقارن، دارای یک کوهان و آزيموت محوري ۱۰۰ درجه نسبت به شمال می‌باشد. شیب عمومي يال جنوب غربی ۲۰ درجه و در يال شمال شرقی ۱۰ درجه اندازه گیری شده است. بستگی افقی ساختمان در افق بنگستان $4/5 \times 19$ كيلومتر مربع و بستگی قائم آن نیز ۸۳۵ متر می‌باشد.

سازند آسماری، گچساران و آغاچاری در اين ساختمان برونزد داشته که از اين بين سازند گچساران بيشترين رخنمون را به خود اختصاص داده است. در اين ساختمان که چندان مرتفع نمی‌باشد، آهک‌های سازند آسماری، يال شمال غربی ساختمان را در بخش غربی آن پوشانده‌اند، درحالی که انتهای شرقی تاقديس نیز توسط نهشته‌های زمین لغزه‌ی سيمره مدفون شده است. در بخش جنوبی اين تاقديس، ناودیس کم عمق و وسیعی قرار گرفته است. از آنجا که رخنمون آسماری در اين ساختمان محدود بوده و ارتفاع چندانی نیز از سطح زمین ندارد، نمی‌توان آن را سطح الارضي تلقی نمود.

اين ساختمان با هدف دسترسی به افق بنگستان با عمق تقریبی ۱۲۷۷ متر از سطح منطقه و ۴۱۳ متر زیر سطح تراز دریا مورد حفاری اکتشافی قرار گرفت. ساختمان‌های مجاور شامل ماله کوه در شمال، راوندی در شمال غرب و غرب، جنازه در شرق و کبیرکوه در جنوب می‌باشند. ساختمان‌های هیدروکربوری نزدیک به میدان هالوش شامل میداین ماله کوه در شمال، ویزنهار در شمال غرب و کبیرکوه در جنوب می‌باشند.

لرزه نگاری دو بعدی بر روی این میدان صورت گرفته است. به این منظور تعداد ۴ خط لرزه‌ای، که در مجموع ۷۳ کیلومتر می‌باشند، رانده شده است. با توجه به اطلاعات به دست آمده از حفاری چاه شماره ۱ هالوش، این چاه تا بخش‌هایی از سازند سروک حفاری شده است که ویژگی‌های سازندهای حفاری شده و عمق هر کدام از آنها در جدول ۱-۲ آمده است.

بر اساس تغییرات لیتولوژی، بافت و میزان تخلخل در گروه بنگستان، پنج زون مخزنی در این مخزن تشخیص داده شده است که زون یک آن، که در بر گیرنده بخش بالایی سازند ایلام است، دارای بیشترین تخلخل بوده و بهترین زون از نظر توان تولید نیز می‌باشد. این زون با تولید تقریبی ۱۰ میلیون فوت مکعب در روز، زون تولیدی اصلی گاز در میدان هالوش به حساب می‌آید. سازند ایلام شامل زون‌های ۱ و ۲، سازند سورگاه در بر گیرنده‌ی زون ۳ و سازند سروک نیز زون‌های ۴ و ۵ را شامل می‌شود.

جدول ۱-۲ لیتولوژی و ضخامت سازندهای حفاری شده در تاق‌دیس هالوش [۲۸].

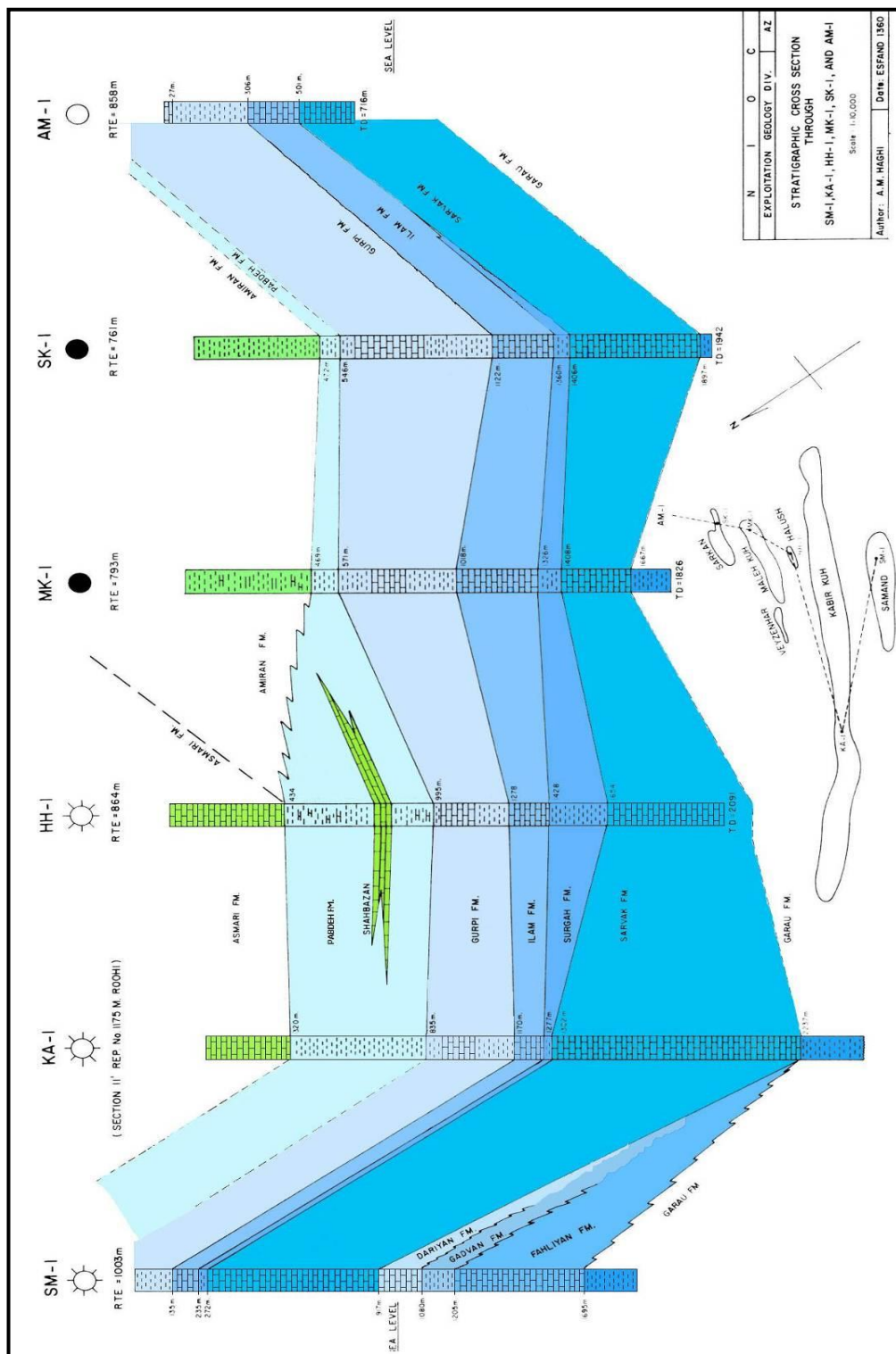
لیتولوژی	ضخامت حفاری (m)	عمق از سطح دریا (m)		سازند
		تا	از	
سنگ آهک	۴۳۴	+۴۳۰	+۸۶۴	آسماری
شیل و مارل	۳۴۱	+۸۹	+۴۳۰	پابده بالایی
سنگ آهک	۶۲	+۲۷	+۸۹	شهبازان
شیل و رگه‌های مارل	۱۵۸	-۱۳۱	+۲۷	پابده پایینی
شیل و رگه‌های سنگ آهک	۲۸۳	-۴۱۴	-۱۳۱	گورپی
سنگ آهک و رگه‌های شیل	۱۵۰	-۵۶۴	-۴۱۴	ایلام
شیل و سنگ آهک	۲۲۶	-۷۹۰	-۵۶۴	سورگاه
سنگ آهک و رگه‌های دولومیت	۴۳۷	-۱۲۲۷	-۷۹۰	سروک

نمودارهای تخلخل تهیه شده برای گروه بنگستان این میدان بیانگر کاهش میزان تخلخل با افزایش عمق است. اگرچه وجود گل گم شدگی‌های شدید تا کامل در برخی قسمت‌هایی که از لحاظ لیتولوژی دارای تخلخل و تراوایی کم می‌باشند، می‌تواند بیانگر وجود شکستگی‌های باز در این بخش‌ها باشد. این امر با تولید از این بخش‌های شکسته شده تایید شده است.

سازند سروک در این میدان متشکل از آهک‌های نسبتاً سخت توام با لایه‌های پراکنده دولومیت و شیل می‌باشد. این سازند دارای تخلخل ماتریکسی کم بوده که با وجود شکستگی‌هایی که در آنها ایجاد شده اند کمی بهبود پیدا کرده است.

ضخامت سازند سورگاه در این چاه ۲۲۶ متر اندازه‌گیری شده است. همانطور که در شکل ۲-۲ مشاهده می‌شود، افزایش ضخامت این سازند از سوی چاه شماره یک میدان سرکان (در شمال غرب) به طرف چاه شماره یک هالوش (در جنوب غرب) می‌باشد. ضخامت زیاد این سازند سبب شده تا به عنوان یک مانع هیدرولیکی بین سازندهای ایلام و سروک عمل نماید. این امر با توجه به تجزیه و تحلیل فشارهای به دست آمده از آزمایش ساق مته نیز تایید شده است. لیتولوژی این سازند عمدتاً شامل شیل بوده که دارای میان لایه‌های آهک مارنی نیز می‌باشد.

ضخامت سازند ایلام نیز از چاه شماره یک میدان سرکان به طرف چاه شماره یک هالوش کاهش می‌یابد. به صورتی که ضخامت آن در چاه شماره ۱ سرکان، ۳۱۵ متر بوده در حالی که در چاه شماره ۱ هالوش ۱۵۰ متر اندازه‌گیری شده است. این سازند متشکل از آهک‌های عمیق و مارنی همراه با لایه‌های شیلی می‌باشد.



شکل ۱۱-۲ شمای کلی از ناقدیس هالوش در مجاورت سایر ساختارها [۲۸].

۴.۲ ویزنهار

این تاقدیس سطح الارضی با علامت اختصاری "VR" در ناحیه لرستان و زیر ناحیه لرستان مرکزی قرار گرفته است. ساختمان ویزنهار از نوع تاقدیس نامتقارن بوده که شیب یال شمال شرقی آن و شیب یال جنوب غربی متفاوت است.

این ساختمان با ابعاد ۱۷ کیلومتر طول و حداکثر ۳ کیلومتر عرض در افق بنگستان، از نوع ساختمان‌های نامتقارن با یک کوهان می‌باشد. شیب عمومی در یال شمال شرقی ۲۵ (ناحیه شرقی) تا ۴۰ درجه (ناحیه غربی) و در یال جنوب غربی آن تقریباً ثابت و حدود ۴۵ درجه اندازه‌گیری شده است. این ساختمان در شمال تاقدیس کبیر کوه و در دنباله‌ی شمال غربی تاقدیس ماله کوه قرار گرفته است. تاقدیس ویزنهار دارای روند ساختمانی شمال غرب- جنوب شرق مشابه با روند زاگرس است. قدیمی‌ترین رخنمون‌های سطحی در تاقدیس ویزنهار سازند آسماری است.

ساختمان ویزنهار توسط زین^۱ از ساختمان ماله کوه، که در جنوب شرقی آن قرار گرفته و سازندهای ایلام و سروک آن که مخزن واحدی را ایجاد کرده‌اند، جدا شده است. عمق این زین برای سازند ایلام ۱۲۰۰ متر و برای سروک ۱۷۸۰ متر زیر سطح دریا می‌باشد.

همچنین مخزن بنگستان این ساختمان به وسیله زین از ساختمان گوار، که در شمال غرب ویزنهار قرار گرفته و نزدیک به ۳۰ متر ستون نفتی داشته، جدا شده و ارتباط خود را از دست داده است. عمق این زین برای سازند ایلام ۱۷۰۰ و برای سازند سروک ۲۱۵۰ متر زیر سطح دریا می‌باشد.

از ساختمان مانوران که در جنوب غربی ویزنهار قرار گرفته اطلاعی در دسترس نبوده است. در صورتی که مخزن ایلام آن به وسیله زین (در عمق ۱۱۵۰ متری زیر سطح دریا) با مخزن ایلام ویزنهار ارتباط نداشته باشد؛ ولی به احتمال زیاد، زین بین دو مخزن سروک در این دو میدان، نتوانسته واحدیت این مخزن را از میان ببرد.

^۱- saddle

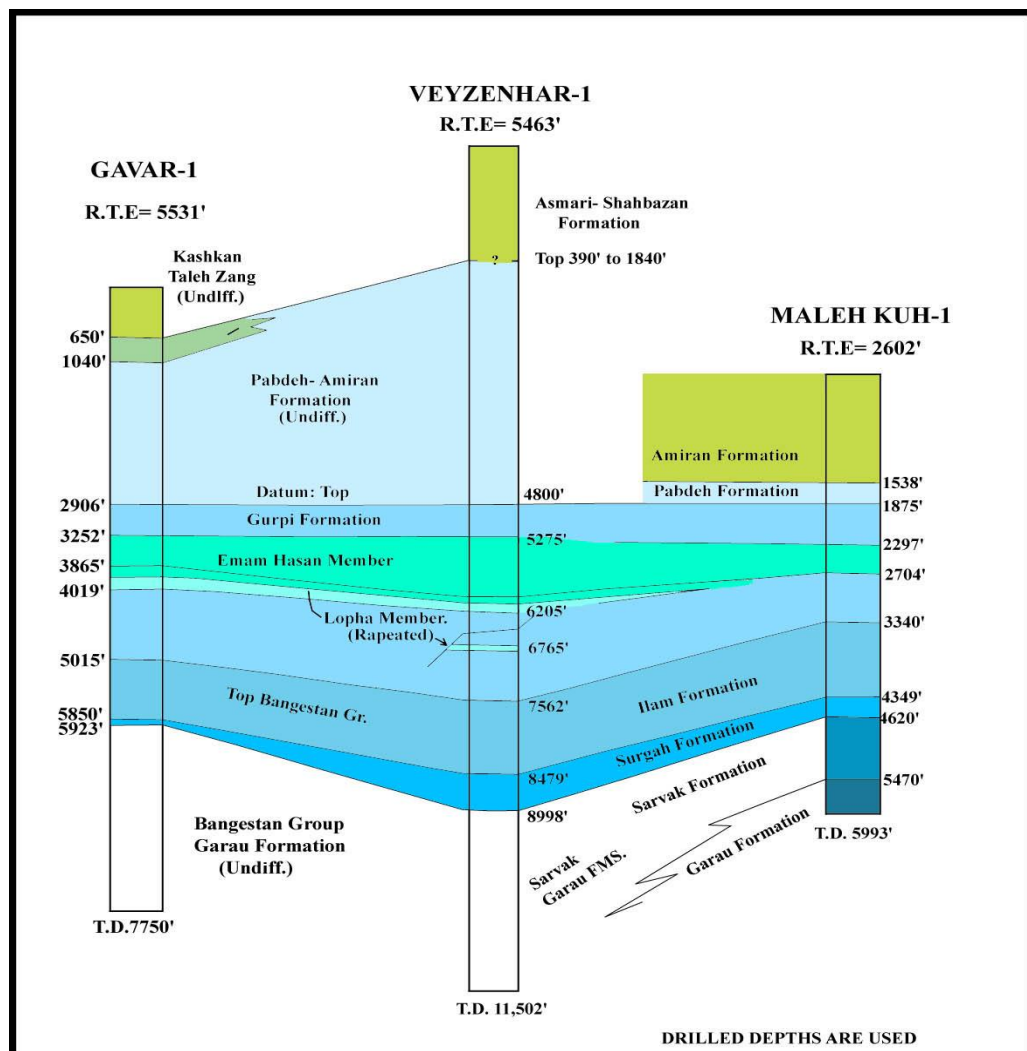
سازندهای آسماری و شهبازان در بخش‌های میانی این میدان رخنمون داشته است. به این دلیل، اولین چاه در این میدان در سال ۱۳۵۳ و به منظور ارزیابی ذخایر نفت و گاز موجود در سازندهای ایلام و سروک، حفاری گردید. سازندهای حفاری شده در این چاه و مشخصات آنها در جدول ۲-۲ ارائه شده است.

جدول ۲-۲ لیتولوژی و ضخامت سازندهای حفاری شده در تاق‌دیس ویزنهار [۲۸].

سازند	عمق از سطح دریا (m)		ضخامت حفاری (m)	لیتولوژی
	از	تا		
آسماری	۱۶۶۵/۱۲	۱۵۶۱/۴۹	۱۰۳/۶۳	سنگ آهک
شهبازان	۱۵۶۱/۴۹	۹۷۴/۷۵	۵۸۶/۷۴	آهک، شیل و مارل
پابده	۹۷۴/۷۵	۲۵۸/۴۷	۷۱۶/۲۸	مارل، آهک و سیلت
امیران	۲۵۸/۴۷	۲۰۲/۰۸	۵۶/۳۹	مارل و سیلتستون
گورپی بالایی	۲۰۲/۰۸	۴۳/۱۲	۱۵۸/۹۶	مارل و سیلتستون
امام حسن	۴۳/۱۲	-۱۸۵/۸۸	۲۲۹/۰۰	مارل و آهک
گورپی پایینی	-۱۸۵/۸۸	-۲۲۶/۱۶	۴۰/۲۸	آهک و شیل
زون لופا	-۲۲۶/۱۶	-۲۶۳/۶۵	۳۷/۴۹	آهک و مارل
گورپی پایینی	-۲۶۳/۶۵	-۷۸۹/۸۸	۵۲۶/۲۳	مارل، آهک دولومیتی، شیل
ایلام	-۷۸۹/۸۸	-۹۴۰/۹۲	۱۵۱/۰۴	دولومیت آهکی، مارل، آهک و شیل
سورگاه	-۹۴۰/۹۲	-۱۰۷۷/۴۷	۱۳۶/۵۵	مارل و آهک
سروک	-۱۰۷۷/۴۷	-۱۷۶۸/۴۵	۶۹۰/۹۸	آهک، چرت، شیل
گرو	-۱۷۶۸/۴۵	-۱۸۴۰/۸۸	۷۲/۴۳	شیل، آهک چرت

با در نظر داشتن وجود اطلاعات ژئوفیزیکی و همچنین ارتباط ساختمانی موجود بین این میدان و تاق‌دیس‌های مجاور آن از جمله ماله کوه، گوار و مانوران، چنین به نظر می‌رسد که سازندهای ایلام و

سروک در این میدان به ترتیب دارای ۷۶۰ و ۸۳۰ متر بستگی قائم می‌باشند. همانطور که در شکل ۳-۲ مشاهده می‌شود، ساختمان‌های مجاور تاقدیس ویزنهار شامل گوار در شمال، بونه‌هر در غرب و ماله کوه در جنوب شرق، می‌باشند.



شکل ۳-۲ تطابق سازندهای میدان ویزنهار با میداین مجاور [۲۸].

۵.۲ دارابادام

این تاقدیس سطح الارضی با علامت اختصاری "DRB" در ناحیه لرستان و زیر ناحیه لرستان مرکزی و در موقعیت جغرافیایی $46^{\circ}30'$ تا $46^{\circ}53'$ طول شرقی و $33^{\circ}46'$ تا $33^{\circ}57'$ عرض شمالی قرار گرفته است.

این ساختمان با ابعاد ۳۸ کیلومتر طول و ۵ کیلومتر عرض در افق آسماری- شهبازان در ۲۴ کیلومتری شهرستان اسلام‌آباد قرار گرفته و از نوع ساختمان‌های نامتقارن با یک کوهان و آزمون محوری $110-130$ درجه نسبت به شمال می‌باشد. شیب عمومی یال جنوب غربی 90 درجه در حالی که در یال شمال شرقی 75 درجه است.

لازم به ذکر است که یک گسل معکوس با آزمون 120 درجه نسبت به شمال و جهت شیب شمال شرقی در یال جنوب غربی این ساختمان وجود دارد. همچنین یک گسل معکوس دیگر با آزمون $110-160$ درجه نسبت به شمال و جهت شیب شمال شرق - شمال به طول تقریبی ۹ کیلومتر در شمال شرق تاقدیس دارابادام گزارش شده است.

سازند گورپی، بخش آهکی امام حسن، سازندهای امیران، تله زنگ، کشکان، آسماری و شهبازان در این ساختمان برونزد داشته که از این بین سازندهای آسماری و شهبازان بیشترین رخنمون را به خود اختصاص داده‌اند.

ساختمان‌های مجاور تاقدیس دارابادام شامل زعفران در شمال شرق، میلکه در شمال، فردوس در شمال غرب، پلگانه در جنوب، دره بانه در جنوب شرق و هلیلان در شرق می‌باشند. ساختمان‌های هیدروکربوری نزدیک به تاقدیس دارابادام نیز شامل شاه آباد شمالی در ۱۵ کیلومتری شمال شرق و هلیلان در شرق بوده که شاه آباد شمالی در افق خامی خود دارای گاز بوده و تاقدیس هلیلان نیز در افق دهرم دارای گاز می‌باشد. این ساختمان با هدف دسترسی به افق ایلام، سروک، خامی مورد حفاری اکتشافی قرار گرفت.

اهداف اولیه در این تاقدیس شامل افق بنگستان (کرتاسه)، سازندهای خانه کت (تریاس) و دالان (پرمین) بوده و از اهداف بعدی آن نیز می توان به سازندهای موس و نیریز اشاره نمود. پیش بینی شده بود که این چاه تا عمق ۱۳۵۰۰ فوتی حفاری گردد که بدلیل پاره‌ای مشکلات تا عمق ۶۷۳۳ فوتی در سازند سورگاه تکمیل گردید. اینتروال حفاری شده و عمق سرسازندها در جدول ۲-۳ آمده است.

جدول ۲-۳ لیتولوژی و ضخامت سازندهای حفاری شده در تاقدیس دارابادام [۲۸].

سازند	عمق از سطح دریا (m)		ضخامت حفاری (m)	لیتولوژی
	از	تا		
امام حسن (زون لופا)	۱۲۷۳/۱۵	۶۳۳/۰۷	۱۰۳/۶۳	سنگ آهک
گورپی پایینی	۶۳۳/۰۷	۴۰۷/۵۲	۵۸۶/۷۴	آهک، شیل و مارل
امام حسن (زون ۲)	۴۰۷/۵۲	۲۹۷/۷۹	۷۱۶/۲۸	مارل، آهک و سیلت
امام حسن (زون لופا)	۲۹۷/۷۹	۱۷۸/۹۲	۵۶/۳۹	مارل و سیلتستون
گورپی پایینی	۱۷۸/۹۲	۳۸/۷۱	۱۵۸/۹۶	مارل و سیلتستون
امام حسن (زون ۲)	۳۸/۷۱	-۲۵۰/۸۵	۲۲۹/۰۰	مارل و آهک
گورپی پایینی	-۲۵۰/۸۱	-۵۶۲/۳۶	۴۰/۲۸	آهک و شیل
ایلام	-۵۶۲/۳۶	-۷۶۰/۱۷	۳۷/۴۹	آهک و مارل
سورگاه	-۷۶۰/۱۷	۷۷۹/۰۷	۵۲۶/۲۳	مارل، آهک، آهک دولومیتی و شیل

از ویژگی‌های مثبت این تاقدیس می‌توان وجود ساختمان‌های هیدروکربوندار پیرامون آن و از جنبه‌های منفی نیز وجود گسل‌های معکوس در اعماق مختلف، را نام برد. پس از حفاری مشخص گردید که به دلایل تکتونیکی، در سازند گورپی تکرار شدگی مشاهده شده و به دلیل ضخامت زیاد این سازند و مشکلاتی که برای حفاری پیش آمد، چاه در قاعده سازند ایلام معلق گردید و دسترسی به اهداف اکتشافی میسر نشد.

لرزه نگاری دوبعدی صورت گرفته بر روی این میدان به صورت ۱۰ خط لرزه‌ای بوده که در مجموع ۱۶۹ کیلومتر طول دارند. همچنین مطالعات ثقل سنجی و مغناطیس سنجی بر روی آن انجام شده است. در این میدان تعداد یک حلقه چاه نیز حفاری شده است.

۶.۲ گلمهک

این تاق‌دیس تحت الارضی و ژئوفیزیکی با علامت اختصاری "GM" در ناحیه فروافتادگی دزفول و زیر ناحیه دزفول شمالی و در فاصله ۲۲ کیلومتری شمال شهرستان دزفول قرار گرفته است. ساختمان گلمهک با امتداد محوری شمال غرب- جنوب شرق است که از تاق‌دیس قلعه نار توسط یک گسل جدا شده است. ساختمان‌های مجاور شامل قلعه نار در شمال- شمال غرب، لب سفید در شرق، پلنگان در شرق- جنوب شرق و پاپیله در جنوب می‌باشند.

این ساختمان بر روی افق آسماری ۱۴۲/۵ کیلومتر مربع با بستگی قائم ۷۰۰ متر، بر روی افق سروک ۱۱۶ کیلومتر مربع با بستگی قائم ۶۵۰ متر پیش بینی شده بود که پس از تصحیح در افق آسماری به ۴۶ کیلومتر مربع و بستگی قائم آن نیز به حدود ۳۰۰ متر تغییر داده شد.

حفاری چاه اکتشافی شماره ۱ گلمهک در موقعیت $32^{\circ}33'$ طول شرقی و $39^{\circ}24'$ عرض شمالی به منظور ارزیابی سازندهای آسماری، ایلام، سروک و بخشهای آهکی سازندهای پابده و گورپی صورت گرفت. در این چاه تا عمق نهایی ۵۱۸۱ متر در حفره اصلی و ۴۹۵۴ متری در حفره‌ی انحرافی حفاری شده‌است. به علت پایین افتادن سرسازندها به میزان ۳۷۹ متر نسبت به برنامه‌ی پیش بینی شده از ادامه‌ی حفاری برای اهداف عمیق‌تر از آسماری صرف‌نظر گردید. ارتفاع سطح زمین در محل حفر چاه ۵۲۰ متر بوده است.

بر اساس آخرین نقشه ژئوفیزیکی میدان، فاصله‌ی محل چاه تا ستیغ ساختمان بیش از میزان پیش‌بینی شده بوده و پایین افتادن سرسازندها نیز می‌تواند ناشی از این امر باشد. اینتروال حفاری‌شده و عمق سرسازندها در جدول ۲-۴ آمده است.

جدول ۴-۲ لیتولوژی و ضخامت سازندهای حفاری شده درمیدان گلمهک [۲۸].

لیتولوژی	ضخامت حفاری (m)	عمق از سطح دریا (m)		سازند
		تا	از	
کنگومرا، آهک و سیلت	۱۱۸۳	-۶۵۴/۰۰	۵۲۹/۰۰	بختیاری
مارل و آهک و ژئپس	۳۲۶۸	-۳۹۲۲/۰۰	-۶۵۴/۰۰	آغاجاری
انیدریت، مارل و آهک	۳۸۸	-۴۳۱۰/۰۰	-۳۹۲۲/۰۰	گچساران
آهک و لایه‌های دولومیت	۱۴۳	-۴۴۵۳/۰۰	-۴۳۱۰/۰۰	آسماری
انیدریت، آهک و دولومیت	۱۳۹	-۴۵۹۲/۰۰	-۴۴۵۳/۰۰	کلهر
آهک و شیل	۶۰	-۴۶۵۲/۰۰	-۴۵۹۲/۰۰	پابده

۷.۲ سمند

این تاکدیس سطح الارضی با علامت اختصاری "SM" در ناحیه لرستان و زیر ناحیه لرستان جنوبی و در موقعیت جغرافیایی $46^{\circ}54'$ تا $47^{\circ}27'$ طول شرقی و $32^{\circ}45'$ تا $33^{\circ}10'$ عرض شمالی قرار گرفته است.

این ساختمان با ابعاد ۵۵ کیلومتر طول و حداکثر ۱۳ کیلومتر عرض در افق آسماری در ۲۵ کیلومتری شمال شهر دهلران و حدود ۱۰ کیلومتری جنوب کبیر کوه قرار گرفته است. همچنین این تاکدیس از نوع ساختمان‌های نامتقارن با یک کوهان و آزمون محوری 120° درجه نسبت به شمال می‌باشد. شیب عمومی یال جنوب غربی 20° درجه و در یال شمال شرقی 10° درجه بر روی سازند آسماری اندازه‌گیری شده است. پلانج جنوب شرقی این ساختمان دارای شیب 10° درجه و پلانج شمال غربی دارای شیب 3° درجه بر روی سازند آسماری است.

سازندهای سروک، ایلام، گورپی، بخش امام حسن، پابده، آسماری و گچساران در این ساختمان برونزد داشته که از این بین سازند پابده بیشترین رخنمون را به خود اختصاص داده است. این

ساختمان با هدف دسترسی به افق دهرم با عمق تقریبی ۳۳۱۵ متر از سطح منطقه و ۲۴۱۹ متر زیر سطح تراز دریا (دارای گاز) مورد حفاری اکتشافی قرار گرفت.

ساختمان‌های مجاور شامل کبیرکوه در شمال، آبدانان در شمال شرق، انجیر در شمال غرب و سیاه‌کوه در جنوب شرق می‌باشند. ساختمان‌های هیدروکربوری مجاور شامل ویزنهار (گازی) و کبیرکوه (حاوی گاز نیتروژن) در شمال و همچنین هالوش (گازی) و ماله کوه (نفتی) در شمال شرق می‌باشند.

لرزه نگاری دو بعدی بر روی این میدان صورت گرفته است. به این منظور تعداد ۴ خط لرزه‌ای، که در مجموع ۱۲۵ کیلومتر می‌باشند، رانده شده است. بر اساس این حفاری‌ها مشخص گردید که سازند کنگان کاملاً سخت و تقریباً بدون تخلخل بوده و تنها سازند دالان تخلخل قابل توجهی را نشان داده است. میانگین عمق سطح گاز و آب، ۲۵۷۷ متر زیر سطح دریا می‌باشد. میزان گاز درجا و حداکثر گاز قابل برداشت به ترتیب ۲/۰۴ و ۱/۶۴ تریلیون فوت مکعب برآورد شده است.

از میدان سمند به سمت شمال شرق (میدان ویزنهار)، ضخامت سازند ایلام و سورگاه افزایش قابل توجهی می‌یابد. در میدان ویزنهار سازند سروک دارای سنگ آهک با میان لایه‌های سنگ آهک شیلی و فونای پلاژیک است. این امر نشان دهنده‌ی تبدیل شدن رسوبات شیلی عمیق سازند گرو به نهشته‌های کم عمق‌تر سازند سروک است.

در میدان سمند شیل‌ها و سنگ آهک‌های رسی گرو به کربنات‌های مربوط به مناطق کم عمق دریا، که متعلق به خامی بالایی است، تبدیل می‌شود. به سمت شمال شرق، آهک‌های پلاژیک سروک مستقیماً روی رخساره‌های گرو قرار گرفته است. ایتروال و ضخامت سرسازندها در جدول ۲-۵ مشاهده می‌شود.

جدول ۵-۲ لیتولوژی و ضخامت سازندهای حفاری شده در میدان سمند [۲۸].

سازند	عمق از سطح دریا (m)		لیتولوژی
	از	تا	
گورپی	۹۹۹	۸۷۳	شیل و آهک
ایلام	۸۷۳	۷۶۴	آهک و کمی الیت و پیریت
سورگاه	۷۶۴	۷۲۴	پیریت و شیل
سروک	۷۲۴	۸۲	آهک، شیل و کمی دولومیت
داریان	۸۲	-۸۱	آهک دولومیتی و انیدریت
گدوان	-۸۱	-۲۰۶	آهک و لایه‌های شیل
فهلپان	-۲۰۶	-۶۹۶	سنگ آهک
گرو	-۶۹۶	-۸۹۶	آهک، شیل و کمی لاریت
گوتینا	-۸۹۶	-۱۱۳۱	انیدریت و شیل
نجمه	-۱۱۳۱	-۱۱۶۱	شیل، آهک و مارل
سرگاه	-۱۱۶۱	-۱۲۸۲	شیل
الان	-۱۲۸۲	-۱۳۴۱	دولومیت
موس	-۱۳۴۱	-۱۴۲۶	دولومیت، انیدریت، آهک دولومیتی، شیل و چرت
ادایه	-۱۴۲۶	-۱۵۳۶	سیلت و شیل
دشتک	-۱۵۳۶	-۲۱۳۹	دولومیت، آهک، دولومیت همراه با شیل
آغار	-۲۱۳۹	-۲۱۴۹	شیل و آهک
کنگان	-۲۱۴۹	-۲۲۷۸	دولومیت، آهک دولومیتی، شیل، انیدریت
دالان بالایی	-۲۲۷۸	-۲۴۰۷	دولومیت، آهک دولومیتی و انیدریت

۸.۲ دیره

این تاق‌دیس سطح الارضی با علامت اختصاری "DIR" و نام قدیمی "دانه خشک" مطالعه شده‌است. این ساختار در ناحیه‌ی لرستان و زیر ناحیه‌ی لرستان مرکزی و در موقعیت جغرافیایی $45^{\circ}49'$ تا $46^{\circ}00'$ طول شرقی و $34^{\circ}15'30''$ تا $34^{\circ}27'$ عرض شمالی قرار گرفته‌است.

این ساختمان پشت نهنگی^۱ با ابعاد $23/5$ کیلومتر طول و حداکثر 6 کیلومتر عرض در افق آسماری در حدود 4 کیلومتری شهر سرپل ذهاب قرار گرفته‌است. از نوع ساختمان‌های نامتقارن با یک کوهان و آزمون محوری 145 درجه نسبت به شمال می‌باشد. شیب عمومی یال‌های جنوب غربی و شمال شرقی متغیر بوده و از 10 تا 70 درجه اندازه‌گیری شده‌است، در حالی که در یال شمال شرقی این شیب 10 تا 25 می‌باشد. پلانج جنوب شرقی این ساختمان دارای شیب 3 درجه بر روی سازند آسماری بوده و در پلانج شمال غربی شیب آن 14 درجه بر روی سازند آغا‌جاری می‌باشد.

این ساختمان دارای بستگی افقی 40 کیلومتر مربع و بستگی قائم 600 متر در افق ایلام از گروه بنگستان می‌باشد. سازندهای آسماری، گچساران، آغا‌جاری و بختیاری در این ساختمان برونزد داشته که از این بین، سازند آسماری بیشترین رخنمون را به خود اختصاص داده‌است.

این ساختمان با هدف ارزیابی پتانسیل گروه بنگستان و سازند گرو و احتمالاً ژوراسیک و تریاس مورد حفاری اکتشافی قرار گرفت. در نهایت، هدف به دسترسی به افق بنگستان با عمق تقریبی 1750 متر از سطح منطقه و سازند گرو و 440 متر زیر سطح تراز دریا تغییر نمود. در نتیجه پس از حفاری، خشک اعلام شده‌است. حفاری چاه تا سازند گوتنیا ادامه پیدا کرد و در انیدریت‌های این سازند خاتمه یافت.

تعدادی گسل نرمال با روند شمال-شمال غرب و جنوب-جنوب غرب در آن مشاهده می‌شود. علاوه بر آن نتایج نمودار شیب سنجی نشان دهنده‌ی یک گسل در سازند سورگاه و چندین

¹ - Whale back

گسل دیگر در طول مقطع حفاری شده می‌باشد. ساختمان‌های مجاور تاقدیس دیره، شامل پاتاق در شرق و شمال شرق، امام حسن در غرب و شمال غرب، میله سرخ در جنوب غرب و داربادام در جنوب شرق می‌باشند. ساختمان‌های هیدروکربوری نزدیک به تاقدیس دیره نیز شامل میله سرخ و باباقیر بوده که میله سرخ در جنوب غرب، در افق بنگستان خود دارای گاز بوده و تاقدیس باباقیر نیز در جنوب غرب، در افق بنگستان دارای گاز می‌باشد.

از دیدگاه ساختمانی تاقدیس دیره پایین‌تر از تاقدیس پاتاق یا امام حسن قرار گرفته‌است. به احتمال زیاد تاقدیس دیره پس از این دو ساختمان شکل گرفته‌است. این تاقدیس پیش از مهاجرت مواد هیدروکربوری، در موقعیت مناسبی برای به تله افتادن نفت و یا گاز تولید شده (از سنگ منشا گرو) قرار نگرفته‌است.

بخش‌های پایین سازند سروک در این ساختمان وجود نداشته و به رخساره‌های سازند گرو تبدیل شده‌است. مانند تاقدیس‌های امام حسن و بانکول، سنگ آهک‌های ضخیم در بخش‌های میانی و پایینی سازند گرو وجود دارد. این توالی‌ها در تاقدیس امام حسن دارای نشانه خوبی از گاز بوده و در تاقدیس بانکول نیز بخش‌های پایینی سازند گرو دارای گاز خشک بوده‌است.

در این میدان تعداد یک حلقه چاه در سال ۱۹۶۷ و تا عمق نهایی ۳۰۵۶ متر حفاری شده‌است. عمق سرسازندها و ضخامت‌های حفاری شده، همراه با لیتولوژی در جدول ۲-۶ آمده است.

لرزه نگاری بر روی این میدان صورت نگرفته، ولی مطالعات ثقل سنجی و مغناطیس سنجی بر روی آن انجام شده‌است. از نقاط قوت این میدان می‌توان به وجود آثار هیدروکربوری در نزدیکی ساختمان، وجود ساختمان‌های هیدروکربوری میله سرخ و باباقیر در نزدیکی آن و همچنین دسترسی مناسب به ساختمان را، نام برد.

جدول ۲-۶ لیتولوژی و ضخامت سازندهای حفاری شده درمیدان دیره [۲۸].

سازند	عمق از سطح دریا (m)		لیتولوژی
	از	تا	
آسماری	۱۳۳۰/۹۰	۱۱۰۸/۵۰	سنگ آهک
پابده	۱۱۰۸/۵۰	۳۲۲/۱۰	آهک، شیل و مارل
گورپی	۳۲۲/۱۰	-۷۰۴/۹۰	آهک، شیل و مارل
ایلام	-۷۰۴/۹۰	-۸۹۳/۹۰	آهک
سورگاه	-۸۹۳/۹۰	-۹۵۷/۹۰	آهک و شیل
سروک	-۹۵۷/۹۰	-۱۰۰۹/۷۰	آهک
گرو	-۱۰۰۹/۷۰	-۱۷۰۴/۶۰	شیل، مارل و آهک
گوتینا	-۱۷۰۴/۶۰	-۱۷۲۴/۴۰	اندیریت و ژپس

۹.۲ انجیر

این تاقدیس سطح الارضی با علامت اختصاری "AR" مطالعه شده است. این ساختمان در ناحیه‌ی لرستان و زیر ناحیه لرستان جنوبی، در ۲۳ کیلومتری جنوب غربی شهرستان ایلام واقع شده است. موقعیت جغرافیایی آن ۴۶°، ۱۲' تا ۴۶°، ۴۱' طول شرقی و ۳۳°، ۱۴' تا ۳۴°، ۳۸' عرض شمالی می-باشد.

این ساختمان از نوع ساختمان‌های پشت نهنگی^۱ در افق بنگستان با چین خوردگی جعبه‌ای^۲، نامتقارن دارای سه کوهان و آزمون محوری ۱۲۰ درجه نسبت به شمال می‌باشد. شیب عمومی یال جنوب غربی ۴۰ درجه (۲۱ تا ۴۶ درجه) و در یال شمال شرقی ۲۰ درجه (۱۵ تا ۳۷ درجه) اندازه‌گیری شده است. این تاقدیس که دارای ساختار کوهستانی است، دارای ستیغ پهن با شیب ملایم می‌باشد.

سازندهای سروک، سورگاه، ایلام، گورپی، بخش امام حسن، سازند پابده و آسماری در این ساختمان برونزد داشته که از این بین سازند ایلام بیشترین رخنمون را به خود اختصاص داده است.

^۱ Whale-back structure

^۲ Box folding

این ساختمان با هدف اولیه دسترسی به افق‌های خانه‌کت و دهرم به ترتیب با عمق تقریبی ۳۵۱۰ متر و ۴۲۹۰ متر از سطح منطقه، مورد حفاری اکتشافی قرار گرفت که در نتیجه خشک اعلام گردید. اهداف ثانویه این حفاری شامل آهک‌های بخش زیرین گرو به عمق ۳۸۰۰ تا ۵۴۱۵ فوت از سطح زمین سازند موس به عمق ۷۵۳۵ تا ۷۷۷۵ فوت از سطح زمین و همچنین سازند نجمه با عمق ۸۰۷۰ تا ۱۱۵۱۵ فوت از سطح زمین بوده‌است. البته پس از حفاری تا حدودی این عمق‌ها دستخوش تغییر گردید. عمق سر سازندهای حفاری شده، همراه با لیتولوژی آنها در جدول ۲-۷ آمده است.

جدول ۲-۷ لیتولوژی و ضخامت سازندهای حفاری شده در میدان انجیر [۲۸].

سازند	عمق از سطح دریا (m)		ضخامت حفاری (m)	لیتولوژی
	از	تا		
سورگاه	۱۶۵۴/۹۲	۱۵۴۵/۳۴	۹۳/۲۷	شیل و آهک
سروک	۱۵۴۵/۳۴	۷۶۳/۸۳	۷۸۱/۵۱	سنگ آهک
گرو	۷۶۳/۸۳	-۲۳۲/۸۷	۹۹۶/۷۰	مارل، آهک، دولومیت آهکی و شیل
گوتینا	-۲۳۲/۸۷	-۳۱۵/۷۷	۸۲/۹۱	انیدریت، شیل و دولومیت آهکی
سرگلو	-۳۱۵/۷۷	-۵۵۷/۷۸	۲۴۲/۰۱	آهک و شیل و کمی انیدریت و کلسیت
الان	-۵۵۷/۷۸	-۸۴۸/۲۶	۲۴۹/۹۴	انیدریت، شیل و آهک
موس	-۸۰۷/۷۲	-۸۴۸/۲۶	۴۰/۵۴	آهک، شیل و انیدریت
ادایه	-۸۴۸/۲۶	-۹۳۷/۵۶	۸۹/۳۱	شیل، آهک، دولومیت و انیدریت
نیریز	-۹۳۷/۵۶	-۱۶۴۶/۵۳	۷۰۸/۹۶	دولومیت، شیل، آهک و انیدریت
خانه‌کت	-۱۶۴۶/۵۳	-۱۷۵۰/۴۰	۱۰۳/۶۳	دولومیت و آهک و کمی کلسیت
دشتک	-۱۷۵۰/۴۰	-۲۰۵۷/۵۰	۳۰۷/۲۴	دولومیت، آهک، شیل و انیدریت
کنگان	-۲۰۵۷/۵۰	-۲۲۶۴/۶۶	۱۸۵/۳۲	دولومیت، آهک، شیل و انیدریت
دالان	-۲۲۶۴/۶۶	-۲۵۶۳/۳۷	۲۹۸/۷۰	دولومیت، انیدریت، شیل و آهک دولومیتی

بستگی افقی تاقدیس انجیر در افق‌های دشتک و دهرم به ترتیب ۲۴۵ و ۱۹۳/۵ کیلومتر مربع و بستگی عمودی آنها نیز به ترتیب حدود ۱۰۰۰ و ۷۰۰ متر تخمین زده شده‌است. نقطه ریزش^۱ تمامی افق‌های مخزنی، در ساختمان انجیر/کلاک (بین تاقدیس‌های سیاه کوه و انجیر) قرار دارد. ساختمان‌های مجاور تاقدیس انجیر شامل سورگاه در شمال، سیاه کوه در شمال غرب، اناران در جنوب و کبیرکوه در شرق-جنوب شرق می‌باشند. ساختمان‌های هیدروکربوری نزدیک به این تاقدیس نیز شامل بانکول در شمال شرق، باباقیر در شمال، میله سرخ در شمال غرب و چنگوله در جنوب می‌باشند.

چاه شماره ۱ انجیر بر روی تاقدیس انجیر/کلاک، در موقعیت جغرافیایی ۱۶۲۳۱۰۰ متر طول شرقی و ۱۲۷۹۴۵۰ متر عرض شمالی (سیستم لامبرت) و در سال ۱۹۷۴ میلادی حفاری شده‌است. بخش میانی این تاقدیس به وسیله‌ی یک دره عمیق (کانجم چم) قطع شده‌است. در این دره برش تقریباً کاملی از گروه بنگستان (شامل سازندهای ایلام، سورگاه و سروک)، که تا بخش قاعده‌ای سازند سروک نیز ادامه یافته، برونزد دارد. بلندترین قسمت‌های این ساختمان، دارای سه کوهانک است. دو کوهانکی که توسط یک زین با ۲۰۰ متر ارتفاع کم‌تر نسبت به دو کوهانک از یکدیگر جدا می‌شوند، شامل :

✓ کلاک که بلندترین کوهانک است و

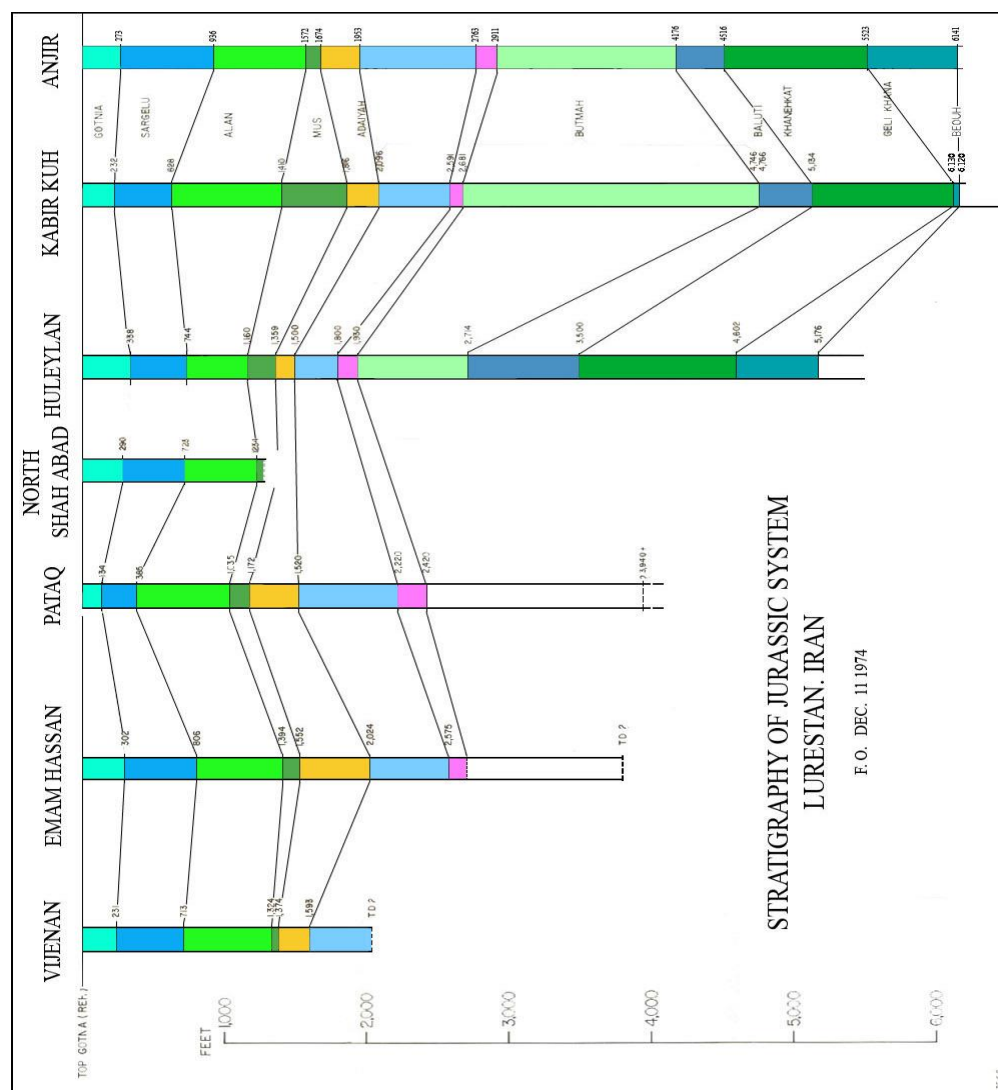
✓ انجیر که حدود ۱۵۰ متر پایین‌تر از کلاک است، می‌باشند.

هدف اولیه از حفر این چاه افق خانه کت که در اعماق ۱۱۵۱۵ تا ۱۲۳۳۵ فوتی از سطح زمین قرار گرفته و همچنین کربنات‌های افق دهرم که راس آن در عمق ۱۴۰۷۵ فوتی از سطح زمین قرار گرفته، بوده است. کربنات‌های بخش پایینی سازند گرو (۳۸۰۰ تا ۵۴۱۵ فوتی از سطح زمین) و

^۱ - Spill Point

سازندهای موس (۷۵۳۵ تا ۷۵۷۵ فوتی از سطح زمین) و نیریز (۸۰۷۰ تا ۱۱۵۱۵ فوتی از سطح زمین) نیز به عنوان اهداف ثانویه در نظر گرفته شده بودند.

در شکل ۲-۴ یک برش ساختمانی از تاقدیس‌های انجیر و سورگاه همراه با موقعیت چاه شماره ۱ انجیر نشان داده شده است. در این میدان تعداد یک حلقه چاه حفاری شده است. بر اساس اطلاعات موجود در مورد آن، تمامی افق‌های مخزنی دارای آب بوده و تنها در کربنات‌های سازند نیریز احتمال وجود گاز غیر قابل اشتعال وجود دارد.



شکل ۲-۱۳ تطابق سازندهای میدان انجیر با میداین مجاور [۲۸].

۱۰.۲ دره بانه

این تاق‌دیس سطح الارضی با علامت اختصاری "DB" در ناحیه‌ی لرستان و زیر ناحیه لرستان مرکزی قرار گرفته است. موقعیت جغرافیایی آن $46^{\circ}27'$ تا $47^{\circ}40'$ طول شرقی و $33^{\circ}23'$ تا $33^{\circ}59'$ عرض شمالی می‌باشد. این ساختمان با ابعاد ۱۲۰ کیلومتر طول و حداکثر ۶ کیلومتر عرض در افق آسماری-شهبازان در ۷۰ کیلومتری جنوب شهرستان کرمانشاه قرار گرفته است. این ساختار از نوع ساختمان‌های نامتقارن با دو کوهان و آزمون محوری ۱۲۰ درجه نسبت به شمال می‌باشد. شیب عمومی یال جنوب غربی ۸۰-۳۰ درجه و در یال شمال شرقی ۵۵-۲۵ درجه است.

سازندهای گورپی، امیران، تله زنگ، کشکان، آسماری-شهبازان، گچساران و آغاجاری در این ساختمان برونزد داشته است. از این بین سازندهای آسماری و شهبازان بیشترین رخنمون را به خود اختصاص داده‌اند. این ساختمان با هدف دسترسی به افق بنگستان با عمق تقریبی ۱۰۹۷ متر و همچنین افق دهرم با عمق تقریبی ۳۶۷۰ متر، در سال ۱۹۷۴ مورد حفاری اکتشافی قرار گرفت.

از ویژگی‌های مثبت این تاق‌دیس می‌توان وجود ساختمان‌های هیدروکربور دار (در افق‌های بنگستان و دهرم) پیرامون آن و وجود آثار هیدروکربوری در نزدیکی ساختمان را نام برد. از جمله جنبه‌های منفی آن نیز، نزدیکی با ساختمان‌های گوار و ماله کوه و همچنین عرض کم این ساختار می‌باشد.

ساختمان‌های مجاور شامل هلیلان در شمال شرق، سرکان و امیران در جنوب شرق، داربادام و پلگانه در شمال غرب و پاسان در غرب-جنوب غرب می‌باشد. ساختمان‌های هیدروکربوری مجاور شامل سرکان، هلیلان و همچنین ماله کوه و ویزنهار می‌باشد.

لرزه نگاری دو بعدی بر روی این میدان صورت گرفته است. به این منظور تعداد ۱۶ خط لرزه‌ای، که در مجموع ۲۵۳ کیلومتر می‌باشند، رانده شده است. حفاری چاه شماره ۱ دره بانه تا عمق ۷۱۸۵

فوت و در دامنه جنوب غربی ساختمان دره بانه انجام گرفته است. همانطور که در جدول ۸-۲ مشاهده می‌شود، این چاه ۱۶۹۰ فوت از سازندهای گروه بنگستان و ۱۷۶۵ فوت از سازند گرو را شامل می‌شود.

جدول ۸-۲ لیتولوژی و ضخامت سازندهای حفاری شده درمیدان دره‌بانه [۲۸].

سازند	عمق از سطح دریا (m)		ضخامت حفاری (m)	لیتولوژی
	از	تا		
گورپی	۱۴۴۷/۱۹	۱۳۱۹/۱۷	۱۱۲۷/۷۶	شیل، مارل و آهک
امام حسن	۱۳۱۹/۱۷	۱۱۰۵/۲۵	۱۲۱/۹۲	آهک
زون لופا	۱۱۰۵/۸۱	۱۰۶۹/۲۴	۳۶/۵۸	شیل و لایه‌های نازکی از آهک
	۸۷۷/۲۱	۸۳۵/۷۶	۴۱/۴۵	
ایلام	۳۱۹/۴۳	۶۹/۴۹	۵۱۵/۱۱	آهک تیره
سورگاه	۶۹/۴۹	-۳۱/۰۹	۲۴۹/۹۴	شیل سیاه و آهک
سروک	-۳۱/۰۹	-۱۹۵/۶۸	۱۰۰/۵۸	مارل، شیل و آهک
گرو	-۱۹۵/۶۸	-۷۳۳/۶۵	۵۳۷/۹۷	آهک، شیل سیاه و کمی چریت در برخی برش‌ها

۱۱.۲ گوار

این تاق‌دیس سطح الارضی با علامت اختصاری "GR" مطالعه شده است. این ساختار در ناحیه‌ی لرستان و زیر ناحیه لرستان مرکزی و در موقعیت جغرافیایی $۴۶^{\circ}۵۰'$ تا $۴۷^{\circ}۲۵'$ طول شرقی و $۳۳^{\circ}۱۸'$ تا $۳۳^{\circ}۳۸'$ عرض شمالی قرار گرفته است.

این ساختمان با ابعاد $۶۲/۵$ کیلومتر طول و حداکثر $۷/۵$ کیلومتر عرض در افق آسماری-شهبازان قرار گرفته است. از نوع ساختمان‌های نامتقارن با دو کوهان و آزمون محوری ۱۱۰ درجه نسبت به شمال می‌باشد. شیب عمومی یال جنوب غربی، ۶۰ درجه و یال شمال شرقی، ۲۵ درجه اندازه‌گیری شده است. ابعاد این ساختمان در افق بنگستان در حدود ۳×۳۵ کیلومتر اعلام شده است.

سازندهای آسماری- شهبازان و گچساران در این ساختمان برونزد داشته که از این بین سازندهای آسماری- شهبازان بیشترین رخنمون را به خود اختصاص داده‌اند. این ساختمان با هدف دسترسی به افق بنگستان با عمق تقریبی ۱۵۲۸ متر مورد حفاری اکتشافی قرار گرفت، که در نتیجه دارای مقدار ناچیز نفت و گاز تشخیص داده شد.

ساختمان‌های مجاور شامل پاسان در شمال شرق، پالگانه در شمال غرب، باباحیب در جنوب شرق، ویزنهار به موازات یال جنوب غربی و تاق‌دیس و سکور به موازات یال جنوب غربی می‌باشند. ساختمان هیدروکربوری ویزنهار تنها ساختمان هیدروکربوری مجاور بوده که به موازات یال جنوب غربی قرار گرفته است.

لرزه نگاری دو بعدی بر روی این میدان صورت گرفته است. این عملیات لرزه‌ای شامل ۱۳ خط لرزه‌ای به طول ۲۶۳ کیلومتر بوده است. در این میدان تعداد یک حلقه چاه، در سال ۱۳۵۴ حفاری شده است. کوهان شرقی این ساختمان که به نام کوه دگله نامگذاری شده است، جدیداً مورد حفاری قرار گرفته است. اگرچه ممکن است، ضخامت ستون نفتی این میدان به حدود ۴۰ متر برسد، اما به دلیل اینکه بالاتر از سطح تراز دریا قرار گرفته، دارای فشار کم اعلام شده است.

در شمال شرق این تاق‌دیس عمدتاً سازندها شامل کشکان می‌باشد. نهشته‌های تبخیری قاعده‌ای سازند شهبازان است. در شمال غربی این تاق‌دیس توالی‌های ناکامل سازندهای امیران و گورپی به صورت لایه‌های لغزیده و فروریخته وجود دارد. جدول ۲-۹ مشخصات سرسازندها را بیان می‌کند.

جدول ۹-۲ لیتولوژی و ضخامت سازندهای حفاری شده در میدان گوار [۲۸].

سازند	عمق از سطح دریا (m)		ضخامت حفاری (m)	لیتولوژی
	از	تا		
آسماری-شهبازان	۱۶۸۵/۰۰	۱۳۶۸/۰۰	۳۱۷	آهک، دولومیت و شیل
پابده-امیران	۱۳۶۸/۰۰	۸۳۸/۰۰	۵۳۰	آهک، سیلتستون، ماسه، مارل و شیل
گورپی بالایی	۸۳۸/۰۰	۷۰۲/۰۰	۱۳۶	مارل، سیلتستون و سنگ آهک
امام حسن	۷۰۲/۰۰	۵۰۳/۰۰	۱۶۷	سنگ آهک
گورپی پایینی	۵۳۵/۰۰	۵۰۵/۰۰	۳۰	مارل
زون لופا	۵۰۵/۰۰	۴۶۰/۰۰	۴۵	سنگ آهک
گورپی پایینی	۴۶۰/۰۰	۱۵۷/۰۰	۳۰۳	مارل و آهک
ایلام	۱۵۷/۰۰	-۹۶/۰۰	۲۵۳	آهک و دولومیت
سورگاه	-۹۶/۰۰	-۱۲۰/۰۰	۲۴	آهک و کمی دولومیت
سروک	-۱۲۰/۰۰	-۵۱۰/۰۰	۳۹۰	آهک، شیل و دولومیت
گرو	-۵۱۰/۰۰	-۶۲۷/۰۰	۱۶۷	مارل، شیل و آهک

۱۲.۲ بابا حبیب

این تاکدیس سطح الارضی با علامت اختصاری "BAB" در ناحیه لرستان و زیر ناحیه‌ی لرستان مرکزی قرار گرفته‌است. موقعیت جغرافیایی این ساختار، $۴۷^{\circ}۳۰'$ تا $۴۷^{\circ}۳۷'$ طول شرقی و $۳۳^{\circ}۱۸'$ تا $۳۳^{\circ}۲۱'$ عرض شمالی می‌باشد.

این ساختمان با ابعاد تقریبی ۱۰ کیلومتر طول و حداکثر ۲ کیلومتر عرض در افق آسماری-شهبازان در حدود ۲۰ کیلومتری غرب شهرملاوی قرار گرفته‌است. از نوع ساختمان‌های نامتقارن با یک کوهان می‌باشد. به موازات محور این تاکدیس، تاکدیس‌های کوچکتری در شمال و جنوب این ساختمان شکل گرفته‌اند که تاکدیس شمالی به حالت یک چین فرعی با زین دیده می‌شود.

بر اساس ضخامت‌های اندازه گیری شده در مقاطع سطح الارضی و همچنین نزدیکترین چاه‌های حفاری شده به این ساختمان (ماله کوه ۱، سرکان ۱، کبیر کوه ۱، و هلیلان ۱) راس سازند ایلام در عمق ۳۰۰ متری زیر سطح تراز آب دریا قرار دارد. همچنین راس افق‌های خامی و دهرم نیز به ترتیب در اعماق ۱۴۰۰ و ۳۰۰۰ متری زیر سطح تراز آب دریا قرار دارند.

چند گسل کششی در سطح تاقدیس وجود دارد ولی گسل عمده ای در مجاورت ساختمان وجود ندارد. سازندهای آسماری- شهبازان، گچساران و آغاجاری در این ساختمان برونزد دارند. از ویژگی‌های مثبت این تاقدیس می‌توان به وجود افق‌های مخزنی بنگستان، خامی و دهرم در زیر سطح تراز آب دریا و قرار گیری آن در بین دو میدان نفت و گازی سرکان و ماله کوه نام برد. همچنین جنبه‌های منفی آن، برونزد داشتن افق آسماری، ابعاد کوچک ساختمان، بستگی کم و همچنین افقی و موازی شدن طبقات در افق‌های خامی و دهرم می‌باشد.

ساختمان‌های مجاور آن شامل تاقدیس ماله کوه در جنوب، ویزنه‌ار در غرب، دشت طره‌ان و پاسان در شمال غرب، دره بانه در شمال، سرکان در شمال شرق و سلطان در جنوب شرق می‌باشد. در این تاقدیس مطالعه گرانی سنجی انجام نشده‌است ولی مغناطیس‌هوائی به صورت نامنظم وجود دارد و بر اساس آن ضخامت رسوبات روی پی سنگ بیش از ۱۴ کیلومتر تخمین زده شده است. با توجه به احتمال قوی بر گسترش زون رودیستی سازند سروک و عمق مناسب قرار گیری آن می‌تواند موردی مناسب برای ذخیره‌سازی محسوب گردد. اگر چه حتی در صورتی که افق خامی (یا معادل آن) در این تاقدیس دارای ویژگی مخزنی مناسبی باشد، با توجه به عمق نسبتاً مناسب قرار گیری آن (حدود ۱۴۰۰ متر زیر سطح تراز آب دریا) می‌تواند مورد مناسبی برای ذخیره‌سازی باشد. از این میدان اطلاع زیادی در دسترس نیست لذا در مقایسات زوجی و در مرحله‌ی اولویت بندی از این تاقدیس استفاده نمی‌شود.

۱۳.۲ جمع بندی

با توجه به داده‌های موجود از تاق‌دیس‌های مورد بررسی، ویژگی‌های ضخامت مخزن، ضخامت پوش سنگ، عمق و لیتولوژی سازندها مورد بررسی قرار گرفته است که در نتیجه‌ی آن به جدولی جامع برای هر یک از ساختارها دست یافته‌ایم. با توجه به بررسی‌های صورت گرفته تاق‌دیس باباحیب به علت عدم وجود داده‌های مخزنی مناسب از ارزیابی لازمه جهت اولویت بندی ساختارها کنار گذاشته شده است و نه تاق‌دیس هالوش، ویزنهار، گلمهک، دارابادام، گوار، دیره، دره‌بانه، انجیر و سمند مورد بررسی کامل قرار گرفته‌اند.

فصل سوم

بررسی پارامترها و روش تحقیق

۱.۳ مقدمه

به منظور اولویت‌بندی ساختارهای مناسب جهت ذخیره‌سازی، لازم است ابتدا پارامترهای لازم جهت مقایسه‌ی ساختارهای بررسی گردد، لذا در این فصل ابتدا پارامترهای لازم جهت ذخیره‌سازی دی-اکسیدکربن معرفی شده‌اند. سپس به بررسی روش به کارگرفته شده جهت اولویت بندی (فرآیند تحلیل سلسله مراتبی) پرداخته شده است. در ادامه ویژگی‌های فرآیند تحلیل سلسله مراتبی و مراحل استفاده از این روش جهت اولویت‌بندی گزینه‌ها، مورد بررسی قرار گرفته است.

۲.۳ پارامترهای ضروری جهت ذخیره‌سازی

پیش از بیان روش به کار گرفته شده در این تحقیق لازم است، پارامترهای ضروری جهت ذخیره‌سازی معرفی گردند. برای اینکه ساختاری برای ذخیره‌سازی دی‌اکسیدکربن مناسب باشد، باید معیارهای زیر را داشته باشد:

الف) عمق مناسب، تا از رسیدن گاز دی‌اکسیدکربن به فاز فوق بحرانی اطمینان حاصل گردد.

ب) اطمینان از غیر قابل نفوذ بودن پوش سنگ، که از مهاجرت گاز به سایر لایه‌ها جلوگیری کند.

پ) ویژگی‌های پتروفیزیکی مناسب مخزن، تا از اقتصادی بودن تزریق و نگهداری از گاز، اطمینان حاصل شود [۲۹].

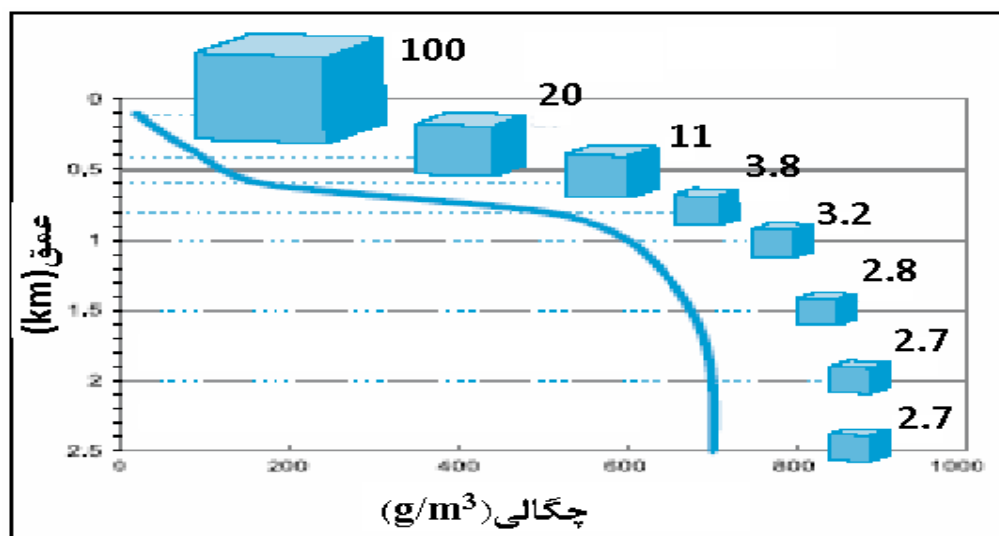
از جمله پارامترهای پتروفیزیکی مخزن که باید بررسی گردند: تراوایی، تخلخل، فشار، ضخامت پوش سنگ و ضخامت مخزن است که در ادامه به تفصیل به آن‌ها پرداخته می‌شود.

۱.۲.۳ عمق

عمق و چگالی دی‌اکسیدکربن تزریقی از مهم‌ترین پارامترها جهت ذخیره‌سازی در ساختارهای زمین-شناسی می‌باشند که به دما و فشار موجود بستگی دارند. برای ذخیره‌سازی ابتدا باید دی‌اکسیدکربن

فشرده شود که به این حالت، شرایط فوق بحرانی می‌گویند. در این شرایط دما و فشار در حالت بحرانی قرار دارند که درواقع می‌شود گفت نقطه‌ی بحرانی نشان دهنده‌ی دما و فشاری است، که ماده در حالت تعادل بین بخار و مایع قرار می‌گیرد^۱ [۳۰].

بسته به نرخ افزایش دما همراه با افزایش عمق، چگالی دی‌اکسیدکربن هم افزایش پیدا می‌کند. همانطور که در شکل ۱-۳ نشان داده شده است، افزایش چگالی تنها تا عمق نزدیک به ۸۰۰ متر ادامه دارد و پس از آن مقداری ثابت باقی می‌ماند. از جمله عوامل دیگر انتخاب این عمق جهت رسیدن دی‌اکسیدکربن به حالت فوق بحرانی، تاثیر کمتر فشار وارده بر روی پوش‌سنگ می‌باشد. این در حالیست که در نزدیکی سطح و یا اعماق کمتر تنش‌های برجا سبب ایجاد تغییراتی همچون شکستگی و گسل در پوش‌سنگ می‌شوند که با افزایش عمق این اثر کاهش یافته تا جایی که از میزان تاثیر این تنش‌ها به منظور تغییر شکل، جلوگیری شود.



شکل ۱-۳ تغییرات چگالی بر حسب عمق [۳۱].

بازده ذخیره‌سازی دی‌اکسیدکربن در یک ناحیه‌ی زمین‌شناسی، به عنوان میزان دی‌اکسیدکربنی که در واحد حجم می‌تواند ذخیره شود، بیان می‌گردد. افزایش چگالی سبب افزایش این میزان می‌گردد.

^۱ شرح ویژگی‌های دی‌اکسیدکربن و نقطه‌ی فوق بحرانی آن در پیوست آمده است.

همچنین امنیت کار و میزان درستی ذخیره‌سازی با افزایش چگالی زیاد می‌شود، زیرا نیروی بویانسی که سبب مهاجرت سیالات به سمت بالا می‌شود، برای سیالات سنگین کاهش می‌یابد. چگالی دی-اکسیدکربن با افزایش عمق زیاد می‌شود اما تا جاییکه فاز آن گاز باشد؛ پس از فاز گاز بسته به نرخ تغییرات دما حتی ممکن است با افزایش عمق، چگالی کاهش یابد [۳۱].

حوضه‌های رسوبی سرد که با دمای پایین مشخص می‌گردند، برای ذخیره‌سازی مناسب‌ترند؛ زیرا دی‌اکسیدکربن در این مناطق در عمق کمتری (۷۰۰ تا ۱۰۰۰ متر) به بیشترین حد چگالی خود می‌رسد. در مناطق گرم‌تر چگالی در عمق بیشتری (۱۰۰۰ تا ۱۵۰۰ متر) به بیشترین حالت خود می‌رسد. از نظر فنی و اقتصادی ذخیره‌سازی در مخازنی با عمق کمتر از ۸۰۰ متر امکان‌پذیر است، اما ظرفیت ذخیره‌ی پایین مخازن کم‌عمق که دی‌اکسیدکربن آن‌ها در حالت فاز گاز می‌باشد، مشکل ایجاد می‌کند [۳۲].

۲.۲.۳ یکنواختی مخزن

یکنواختی تاثیر بسیاری بر روی بازده ذخیره‌سازی دارد. تفاوت در چگالی بین دی‌اکسیدکربن، نفت و یا آب سازند باعث جابجایی دی‌اکسیدکربن به سمت بالای مخزن می‌شود. به طور مشخص اگر مخزن به طور نسبی هموژن باشد و تراوایی بالایی داشته باشد، برای ذخیره‌سازی کوتاه مدت مناسب است اما تاثیر منفی بر روی ذخیره‌سازی بلند مدت و ریکواری نفت دارد؛ در نتیجه یکنواختی مخزن ممکن است تاثیر مثبت نیز داشته باشد. یکنواختی مخزن فرآیند بالارفتن دی‌اکسیدکربن و رسیدن به بالاترین نقطه‌ی سازند را آهسته کرده و آن را مجبور می‌کند که به طور جانبی پراکنده شود و پتانسیل ذخیره‌سازی را بهبود بخشد؛ اگرچه برای ذخیره‌ی کوتاه مدت این مکانیسم اصلاً مناسب نیست [۳۳].

۳.۲.۳ ظرفیت ذخیره‌ی مخزن

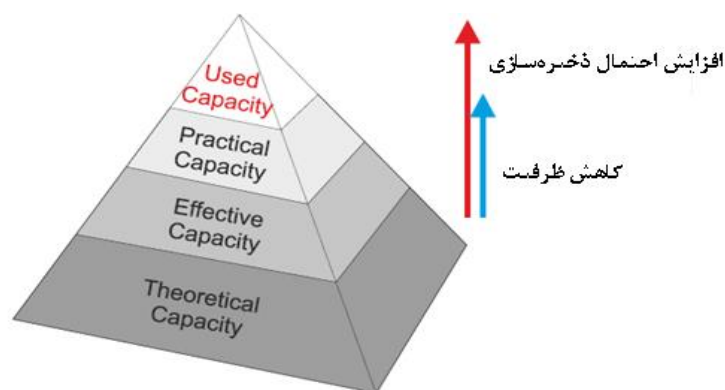
ارزیابی ظرفیت ذخیره‌ی یک ساختار زمین‌شناسی، نیازمند پژوهش‌های طولانی‌مدت در رفتار آن ساختار می‌باشد. این مساله مورد توجه بسیاری از سیاست‌گذاران جهت بررسی ساختارها قرار می‌گیرد. ظرفیت ذخیره‌ی دی‌اکسیدکربن تنها به ویژگی‌های سنگ مخزن بستگی ندارد اما جزو معیارهای اساسی برای این عملیات می‌باشد.

در طول فرآیند ذخیره‌سازی، مهم است که نسبت زیادی از سیال منافذ، از مخزن جابجا شوند. این مساله با تولید نفت و گاز توسط نیروی انسانی، تولید آب سازندی و مهاجرت آب زیرزمینی به سازندهای مجاور محقق می‌گردد. موانع داخلی مخزن همچون گسل نیز در محاسبه‌ی ظرفیت مخزن باید مورد محاسبه قرار گیرد؛ زیرا در صورتیکه گسل مخزن را به دو بخش تقسیم کند هر بخش به طور مجزا باید مورد بررسی قرار گیرد. درواقع ظرفیت ذخیره‌ی یک ساختار، نسبتی از فضای منافذ آن مخزن که قابلیت نگهداری دی‌اکسیدکربن را دارد، می‌باشد. محاسبات بیشتر ملزم به مدل‌های مخزنی و همچنین شبیه‌سازی مخزن می‌باشد [۳۴]. انواع ظرفیت‌های ذخیره به شرح زیر است:

ظرفیت ذخیره‌ی نظری: میزان کل دی‌اکسیدکربن که می‌تواند در کل فضای خالی واحد زمین‌شناسی، در عمق در نظر گرفته‌شده، ذخیره شود. (در این حالت فاز آزاد و دی‌اکسیدکربن در سیال مخزن تا هنگام رسیدن به حد نهایی اشباع، حل می‌شوند)

ظرفیت ذخیره‌ی مفید: بخشی از ظرفیت نظری است که به خاطر محدوده‌ی مهندسی برای تخمین ظرفیت ذخیره، محدود شده است. به طور کلی برای ساختارهای جداگانه و یا مساحتی که در واحد زمین‌شناسی قرار دارد، به کار می‌رود. این ظرفیت ذخیره یک تخمین از ظرفیت ثابت برای ناحیه‌ی مورد مطالعه است که شامل ظرفیت ذخیره‌ی حجمی و ظرفیتی که حاصل از انحلال دی‌اکسیدکربن در آب سازند است، می‌شود.

ظرفیت ذخیره‌ی کاربردی: با در نظر گرفتن ملاک‌های نظری، اقتصادی و قانونی و ارزیابی منابع انتشار دی‌اکسیدکربن مرتبط با مکان ذخیره محاسبه می‌شود. ظرفیت پویای بدست آمده در نتیجه‌ی مطالعات موردی است که شامل سناریوهای خاصی برای تزریق است. تفاوت ظرفیت پویا با ظرفیت کاربردی، در نظر نگرفتن مسائل اقتصادی است. ظرفیت استفاده شده (مستعمل)، ظرفیتی است که در واقع توسط دی‌اکسیدکربن تزریقی در مکان ذخیره‌سازی پروژه‌ی سی-سی-اس اشغال شده‌است. با حضور نشانگرهای جدید ژئوفیزیکی، تخمین ظرفیت کاربردی و مفید میتواند دوباره ارزیابی شود زیرا آن‌ها بر اساس اطلاعات حال حاضر هستند. شکل ۳-۲ انواع ظرفیت‌های ذخیره را نمایش می‌دهد [۳۵].



شکل ۳-۲ انواع ظرفیت ذخیره‌سازی [۳۶].

۴.۲.۳ پارامترهای پتروفیزیکی

یکی از اساسی‌ترین پارامترهای مورد بحث در زمینه‌ی ذخیره‌سازی، اطمینان از عدم مهاجرت گاز تزریقی به سایر لایه‌ها و حتی در مواردی به سطح می‌باشد. وجود گسل در پوش سنگ نیز، از جمله معیارهای بسیار مهمی است که برای جلوگیری از فرار گاز می‌بایست در نظر گرفته شود. همچنین ضخامت مخزن از جمله ویژگی‌هایی است که رابطه‌ی مستقیم با ظرفیت ذخیره‌ی مخزن دارد. هرچه ضخامت مخزن بیشتر، ظرفیت ذخیره بیشتر می‌شود. جدول ۳-۱ نشان دهنده‌ی این پارامترها می‌باشد.

یکی از پارامترهای اساسی جهت انتخاب ساختار مناسب جهت ذخیره‌سازی دی‌اکسیدکربن، فاصله‌ی ساختار مورد نظر تا محل انتشار این گاز می‌باشد. بررسی‌ها نشان می‌دهد در صورتیکه فاصله‌ی ساختار با منبع انتشار بیش از ۳۰۰ کیلومتر برآورد شود، احتمال نشت دی‌اکسیدکربن از محل ذخیره‌سازی افزایش می‌یابد. عملیات‌های محیط زیستی در صورتیکه هزینه‌های زیادی را متقبل شود، به دلیل عدم صرفه‌ی اقتصادی انجام نمی‌گردد؛ لذا بررسی این فاصله به برآوردهای اقتصادی پروژه کمک می‌کند. تشکیل خط لوله‌ای به طول بیشتر از ۳۰۰ کیلومتر برای هیچ پروژه‌ی ذخیره‌سازی توصیه نشده‌است که علت آن هزینه‌ی انتقال دی‌اکسیدکربن به دام افتاده تا محل ذخیره می‌باشد [۳۳].

جدول ۳-۱ پارامترهای ضروری جهت ذخیره‌سازی دی‌اکسیدکربن [۳۷].

عمق مناسب برای رسیدن گاز به حالت فوق بحرانی	پارامترهای اولیه جهت انتخاب مکان مناسب
امکان تزریق از نظر اقتصادی	
فشار پوش سنگ و عدم وجود گسل در آن	
تخلخل	پارامترهای زمین‌شناسی
تراوایی	
فشار	
دما	
فعال بودن از نظر تکتونیکی	
در دسترس بودن داده‌ها	
ضخامت مخزن	
در نظر نداشتن ساختار برای سایر مصارف	
فاصله تا منبع انتشار	پارامترهای اقتصادی
حجم مخزن ذخیره	
میزان انتشار گاز منبع مورد نظر	

۳.۳ فرآیند تحلیل سلسله مراتبی

فرآیند تحلیل سلسله مراتبی یکی از جامع‌ترین سیستم‌های طراحی شده برای تصمیم‌گیری با معیارهای چندگانه است. این تکنیک امکان فرموله کردن مساله و همچنین در نظر گرفتن معیارهای مختلف کمی و کیفی، را دارد. این فرآیند، گزینه‌های مختلف را در تصمیم‌گیری دخالت داده و امکان تحلیل حساسیت روی معیارها و زیرمعیارها را به ما می‌دهد. علاوه بر این بر مبنای مقایسه‌ی زوجی بنا نهاده شده، که قضاوت و محاسبات را تسهیل می‌کند. از مزایای ممتاز این تکنیک، نشان دادن میزان سازگاری و ناسازگاری تصمیم است [۳۸].

این فرآیند از یک مبنای تئوریک قوی برخوردار بوده و بر اساس اصول بدیهی بنا نهاده شده است. به همین علت با تجزیه‌ی مسائل مشکل و پیچیده، آن‌ها را به شکلی ساده تبدیل کرده و به حل آن‌ها می‌پردازد. این روش کاربردهای فراوانی در مسائل اجتماعی و اقتصادی پیدا کرده است و در سال‌های اخیر در امور مدیریتی نیز به کار رفته است.

توماس ساعتی [۳۹] چهار اصل را به عنوان اصول فرآیند تحلیل سلسله مراتبی بیان نموده و کلیه‌ی محاسبات، قوانین و مقررات را بر این اصول نهاده است. این اصول عبارتند از:

اصل ۱: شرط معکوسی^۱: اگر ترجیح عنصر «الف» بر عنصر «ب» برابر n باشد، ترجیح عنصر «الف» بر عنصر «ب» برابر $1/n$ خواهد بود.

اصل ۲: اصل همگنی^۲: عنصر «الف» با عنصر «ب» باید همگن و قابل مقایسه باشند. به بیان دیگر برتری عنصر «الف» بر عنصر «ب» نمی‌تواند بی‌نهایت یا صفر باشد.

اصل ۳: وابستگی^۱: هر عنصر سلسله مراتبی به عنصر سطح بالاتر از خود می‌تواند وابسته باشد و به صورت خطی این وابستگی تا بالاترین سطح می‌تواند ادامه داشته باشد.

¹ reciprocal condition

² homogeneity

اصل ۴: انتظارات^۲: اگر تغییری در ساختمان سلسله مراتبی رخ دهد، پروسه‌ی ارزیابی باید مجدداً انجام گیرد.

۱.۳.۳ مزایای فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی

فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی، طوری طراحی شده‌است که با ذهن و طبیعت بشری مطابق و همراه شده و با آن پیش می‌رود. این فرآیند، مجموعه‌ای از قضاوت‌ها و ارزش‌گذاری‌های شخصی به یک شیوه‌ی منطقی می‌باشد. این تکنیک وابسته به تصورات شخصی و تجربه، جهت شکل دادن و طرح-ریزی سلسله‌مراتبی است. همچنین می‌توان گفت وابسته به منطق، درک و تجربه جهت تصمیم‌گیری و قضاوت نهایی می‌باشد. امتیاز دیگر فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی این است که ساختار و چارچوبی را جهت همکاری و مشارکت گروهی در تصمیم‌گیری‌ها مهیا می‌کند.

ویژگی‌های دیگر فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی به شرح زیر است [۴۰]:

- ا. یگانگی و یکتایی مدل: فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی یک مدل یگانه، ساده و انعطاف‌پذیر برای حل بسیاری از مسائل بدون ساختار است، که به راحتی برای همگان قابل درک می‌باشد.
- ب. پیچیدگی: این فرآیند برای حل مسائل پیچیده، هم نگرش سیستمی و هم تحلیل جز به جز را به صورت توأم به کار می‌برد. عموماً افراد در تحلیل مسائل یا کلی‌نگری کرده و یا به جزئیات می‌پردازند؛ درحالی‌که در فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی، هر دو بعد با هم به کار می‌آیند.
- ج. همبستگی و وابستگی متقابل: فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی، وابستگی را به صورت خطی در نظر می‌گیرد. ولی برای حل مسایلی که اجزا به صورت غیرخطی وابسته‌اند نیز به کار می‌رود.

¹ dependency

² expectations

د. ساختار سلسله مراتبی: فرآیند تحلیل سلسله مراتبی اجزای یک سیستم را به صورت سلسله مراتبی سازماندهی می‌کند. این نوع سازماندهی با تفکر انسان تطابق داشته و اجزا در سطوح مختلف طبقه‌بندی می‌شوند.

ه. اندازه‌گیری: فرآیند تحلیل سلسله مراتبی، مقیاسی برای اندازه‌گیری معیارهای کیفی تهیه کرده و روشی برای تخمین و برآورد اولویت‌ها فراهم می‌کند.

و. سازگاری: فرآیند تحلیل سلسله مراتبی سازگاری منطقی قضاوت‌هایی را که در تعیین اولویت‌ها استفاده شده، محاسبه می‌کند.

ز. تلفیق: فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی منجر به برآورد رتبه‌ی نهایی هر گزینه می‌شود.

ح. تعادل: فرآیند تحلیل سلسله مراتبی اولویت‌های وابسته به فاکتورهای موجود در یک سیستم را در نظر می‌گیرد. تعادلی بین اولویت‌ها برقرار می‌کند که فرد، قادر باشد بهترین گزینه را براساس هدفش انتخاب کند

ط. قضاوت و توافق گروهی: فرآیند تحلیل سلسله مراتبی بر روی توافق گروهی اصرار و پافشاری ندارد، ولی تلفیقی از قضاوت‌های گوناگون را می‌تواند ارایه نماید.

ی. تکرار فرآیند: فرآیند تحلیل سلسله مراتبی فرد را قادر می‌سازد که تعریف خود را از یک مساله تصحیح کند و قضاوت و تصمیم خود را بهبود دهد.

۲.۳.۳ ساخت تحلیل سلسله‌مراتبی

سلسله مراتبی‌ها در یک نگاه کلی به دو گروه زیر تقسیم می‌شوند:

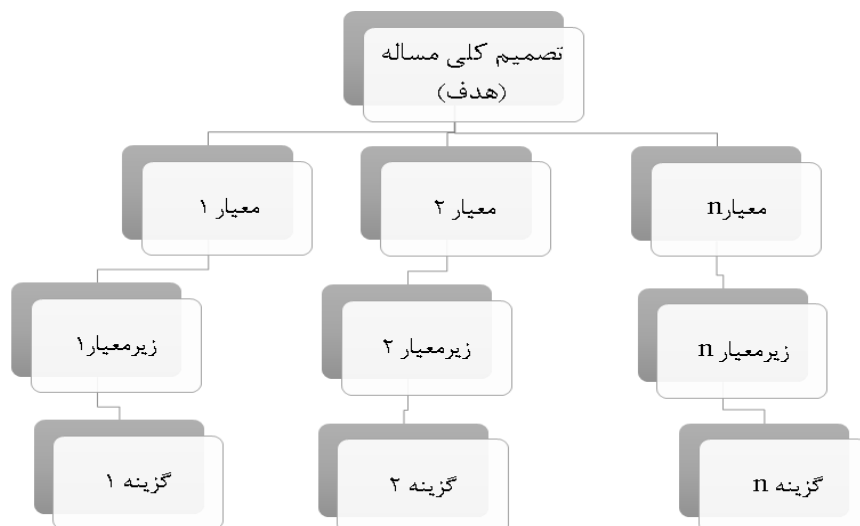
۱. سلسله مراتب ساختاری^۱: در این نوع از سلسله مراتبی، عناصر معمولاً به صورت فیزیکی با هم در ارتباط می‌باشند.

۲. سلسله مراتب وظیفه‌ای^۲: در این نوع، وظیفه‌ی اجزا به صورت اعتباری با هم مرتبط بوده و تشکیل یک سیستم را می‌دهند.

سلسله مراتبی یک نمایش گرافیکی از مساله‌ی پیچیده‌ی واقعی می‌باشد. در راس آن هدف کلی مساله و در سطوح بعدی معیارها و گزینه‌ها قرار دارند. هرچند یک قاعده‌ی ثابت و قطعی برای رسم سلسله مراتبی وجود ندارد اما برخی افراد سعی نموده‌اند در این زمینه یک قاعده‌ی کلی را به اثبات برسانند. در شکل ۳-۳ نمونه‌ی کلی از ساختمان سلسله مراتبی آورده شده‌است. همچنین یکی از اصلی‌ترین فرم‌های آن به شرح زیر است [۴۱]:

➤ هدف-معیارها-زیرمعیارها-گزینه‌ها

➤ هدف، معیارها-عوامل-زیرعوامل-گزینه‌ها



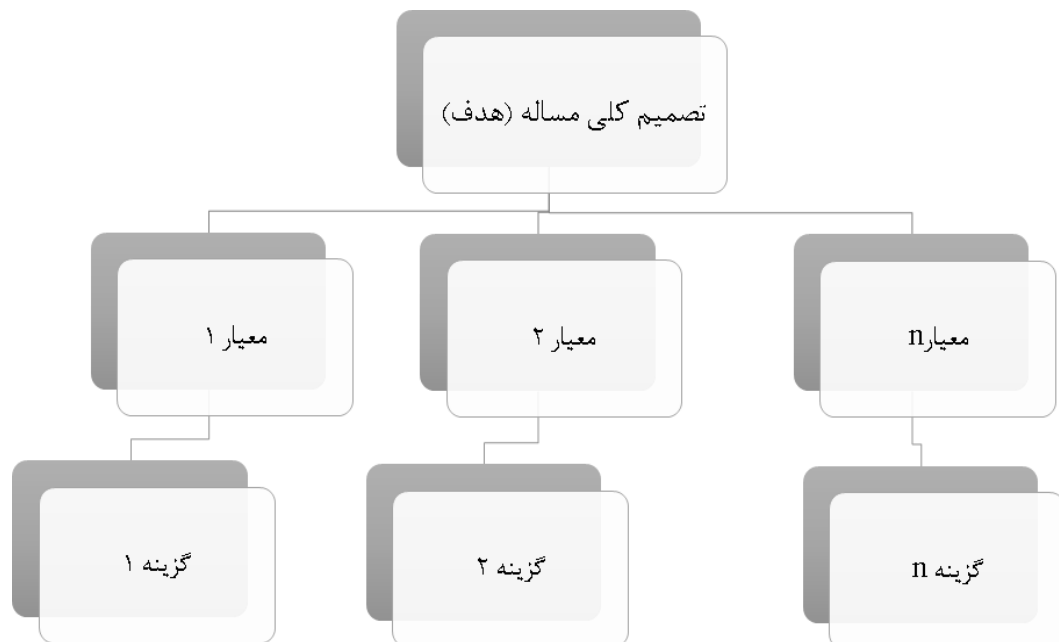
شکل ۳-۳ شمای کلی ساختمان سلسله مراتبی [۴۱].

¹ structural Hierarchies

² functional Hierarchies

در یک نگاه کلی می‌توان گفت، روش ساختن یک سلسله مراتبی به نوع تصمیمی که باید اتخاذ شود، بستگی دارد. به طور مثال در صورتیکه تصمیم مورد نظر انتخاب یک گزینه باشد، می‌توان از گزینه‌ها شروع کرده و آن‌ها را در پایین‌ترین سطح نشان داد. در سطح بعدی نیز معیارهایی که برای انتخاب گزینه‌ها مناسب‌اند قرار می‌گیرد. در نتیجه در بالاترین سطح که هدف سلسله مراتبی است، آن عنصر واقع می‌شود.

در ساخت سلسله مراتبی محدودیتی برای تعداد سطوح وجود ندارد. هرگاه که عناصر یک سطح را نتوان با عناصر سطوح بالاتر مقایسه نمود، این سوال طرح می‌شود که این عنصر با چه پارامتری قابل مقایسه است. در این حالت ممکن است یک سطح دیگر به سلسله مراتبی اضافه‌شده تا سلسله مراتبی را تکمیل نماید. از نکات دیگری که می‌توان در ساخت سلسله مراتبی بیان نمود، این است که لزومی برای وجود زیرمعیار در این ساختار وجود ندارد. در شکل ۳-۴ فرم ساختار سلسله مراتبی در صورتیکه زیرمعیار وجود نداشته باشد، آورده شده است [۴۲].



شکل ۳-۴ شمای کلی ساختمان سلسله مراتبی بدون زیر معیار [۴۲].

۳.۳.۳ نرخ ناسازگاری

یکی از مزایای فرآیند تحلیل سلسله مراتبی، کنترل سازگاری تصمیم است. به عبارت دیگر همواره در فرآیند تحلیل سلسله مراتبی می‌توان میزان سازگاری تصمیم را محاسبه نمود و نسبت به خوب و بد بودن و یا غیر قابل قبول و مردود بودن آن قضاوت نمود. به طور مثال اگر معیار «الف» نسبت به «ب» اهمیت دو برابر داشته‌باشد و «ب» سه برابر «پ» اهمیت داشته‌باشد، چنانچه «الف» شش برابر «پ» اهمیت داشته‌باشد، این قضاوت سازگار است. در عمل تصمیمات و قضاوت‌های انسان همواره سازگار نیست از این رو محاسبه‌ی این نرخ اهمیت ویژه‌ای دارد.

در ماتریس‌های سازگار محاسبه‌ی وزن ساده بوده و از طریق نرمالیزه کردن عناصر ستون‌ها به دست می‌آید و مقدار ناسازگاری ماتریس مقایسات زوجی صفر است. در حالیکه محاسبه‌ی وزن در ماتریس‌های ناسازگار مشکل‌تر است. در نتیجه میزان ناسازگاری باید محاسبه گردیده و در محدوده‌ی قابل قبولی باشد [۴۳].

۴.۳.۳ محاسبه‌ی وزن

در فرآیند تحلیل سلسله مراتبی عناصر هر سطح نسبت به عنصر مربوطه‌ی خود در سطح بالاتر به صورت زوجی مقایسه گردیده و سپس وزن آن‌ها محاسبه می‌شود، این وزن را وزن نسبی می‌نامند. سپس با تلفیق وزن‌های نسبی، وزن نهایی هر گزینه مشخص می‌گردد. این وزن، وزن مطلق نام دارد. ابتدا گزینه‌های تصمیم‌گیری از نظر پارامترهای موثرشان به طور جداگانه مقایسه شده و در نتیجه وزن هر کدام نسبت به این معیارها مشخص می‌گردد. سپس وزن معیارها نسبت به هدف، تعیین شده و در نهایت با ترکیب آن‌ها وزن مطلق و نهایی هر گزینه مشخص می‌گردد. در مقایسات زوجی، اهمیت یک عنصر، نسبت به عنصر دیگر مشخص می‌گردد [۴۴].

جدول ۳-۲ نشان‌دهنده‌ی مقادیر ترجیحات برای مقایسه‌ی زوجی می‌باشد. مقادیر ۲، ۴، ۶ و ۸ به عنوان مقادیر میانی برای مقیاس انتخاب شده است. به طور مثال عدد ۸، بیانگر اهمیتی زیاده‌تر از

۷ و پایین‌تر از ۹ می‌باشد. هنگامی که مقایسات زوجی تشکیل گردید، می‌توانیم وزن هر گزینه را محاسبه نماییم. جهت محاسبه‌ی وزن نسبی چندین روش پیشنهاد شده‌است که عبارتند از [۴۱]:

➤ روش حداقل مربعات معمولی

➤ روش حداقل مربعات لگاریتمی

➤ روش بردار ویژه

➤ روش‌های تقریبی.

جدول ۲-۳ مقادیر ارجحیت مقایسات زوجی [۴۵].

مقدار عددی	ترجیحات (قضاوت شفاهی)
۹	کاملاً مرجح یا کاملاً مهم تر و مطلوب‌تر
۷	ترجیح یا اهمیت یا مطلوبیت خیلی قوی
۳	ترجیح یا اهمیت یا مطلوبیت قوی
۵	کمی مرجح یا کمی مهم‌تر یا کمی مطلوب‌تر
۱	ترجیح یا اهمیت یا مطلوبیت یکسان
۲-۴-۶-۸	ترجیحات بین فواصل فوق

۱.۴.۳.۳ روش حداقل مربعات معمولی

همانطور که بیان شد، در فرآیند تحلیل سلسله مراتبی ابتدا عناصر به صورت زوجی مقایسه می‌گردند.

یک ماتریس مقایسه‌ی زوجی به صورت زیر نشان داده می‌شود:

$$A = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ & & & \\ & & \dots & \\ & & & \ddots & \\ & & & & a_{nn} \end{pmatrix}$$

$$\begin{array}{ccc}
 a_{21} & a_{22} & a_{2n} \\
 \vdots & \vdots & \vdots \\
 a_{n1} & a_{n2} & \dots a_{nn}
 \end{array}$$

در روش حداقل مربعات، w_i و w_j به گونه‌ای محاسبه می‌گردد که مجموع مربعات اختلاف w_i ، w_j و a_{ij} حداقل گردد و یا به عبارت دیگر می‌توان گفت:

$$w_i = a_{ij} w_j \quad \text{در حالت سازگاری:}$$

$$w_i \neq a_{ij} w_j \quad \text{در حالت ناسازگاری:}$$

در این روش سعی بر این است که w_i و w_j به گونه‌ای تعیین شوند که اختلاف w_i/w_j با a_{ij} حداقل گردد [۴۱].

۲.۴.۳.۳ روش حداقل مربعات لگاریتمی

در این روش سعی بر این است که حاصلضرب اختلافات حداقل گردد. به عبارت دیگر میانگین هندسی اختلافات حداقل شود. میانگین هندسی این اختلاف برابر است با:

$$\left(\prod_{i=1}^n \prod_{j=1}^n a_{ij} * w_j / w_i \right)^{1/n^2} = Z^{1/n^2} \quad ۱-۳$$

بنابراین می‌توان گفت که در حالت سازگاری میانگین هندسی، اختلافات برابر یک است. در حالت ناسازگاری هرچه میانگین هندسی به یک نزدیکتر باشد، بهتر می‌باشد. در یک نگاه کلی می‌توان گفت که روش حداقل مربعات معمولی، میانگین حسابی خطاها و روش حداقل مربعات لگاریتمی، میانگین هندسی خطاها را حداقل می‌کند [۴۰].

۲.۴.۳.۳ روش بردار ویژه

در این روش w_i ها به گونه‌ای تعیین می‌شوند که روابط زیر صادق باشند:

$$a_{11} w_1 + a_{12} w_2 + \dots + a_{1n} w_n = \lambda \cdot w_1$$

۲-۳

$$a_{21} w_1 + a_{22} w_2 + \dots + a_{2n} w_n = \lambda \cdot w_2$$

$$a_{n1} w_1 + a_{n2} w_2 + \dots + a_{nn} w_n = \lambda \cdot w_n$$

که در آن a_{ij} ترجیح عنصر i ام بر j ام است. w_i نیز وزن عنصر i ام و λ یک عدد ثابت می‌باشد. این روش یک نوع میانگیری می‌باشد که به آن میانگین‌گیری در طرق مختلف می‌گویند [۴۱].

۴.۴.۳.۳ روش‌های تقریبی

از آنجا که روش‌های ذکر شده دارای محاسبات سنگین می‌باشند، برخی روش‌های تقریبی پیشنهاد شده که دقت کمتری داشته و محاسبات کمتر و ساده‌تری دارند. این روش‌ها عمدتاً تقریبی از روش بردار ویژه هستند که با دقت‌های مختلف محاسبات را تسهیل می‌نمایند.

أ. مجموع سطری: در این روش ابتدا مجموع عناصر هر سطر محاسبه شده تا یک بردار ستونی حاصل گردد، سپس این بردار ستونی، نرمالیزه می‌شود. بردار ستونی نرمالیزه شده، بردار وزن می‌باشد.

ب. مجموع ستونی: در این روش ابتدا مجموع عناصر هر ستون، محاسبه شده تا یک بردار سطری حاصل گردد، عناصر این بردار، معکوس گشته سپس بردار حاصل نرمالیزه می‌شود. بردار سطری نرمالیزه شده، بردار وزن است.

ج. میانگین حسابی: در این روش ابتدا هر ستون نرمالیزه شده و سپس میانگین سطری عناصر محاسبه می‌شوند تا بردار وزن به‌دست آید.

د. میانگین هندسی: در این روش میانگین هندسی عناصر هر سطر محاسبه شده و سپس بردار حاصل نرمالیزه می‌شود تا بردار وزن به‌دست آید [۴۶].

در این پایان‌نامه به طور اساسی از روش میانگین هندسی استفاده شده است. میانگین هندسی در ریاضیات برابر با ریشه‌ی n ام حاصلضرب n متغیر است. به طور کلی برای محاسبه‌ی میانگین هندسی از رابطه‌ی ۳-۳ استفاده می‌شود.

$$\left(\prod_{i=1}^n a_i \right)^{1/n} = \sqrt[n]{a_1 a_2 a_3 \dots a_n} \quad 3-3$$

در این معادله، a درایه‌های مورد نظر جهت میانگین‌گیری هندسی و n تعداد این درایه‌ها می‌باشد. همانطور که بیان شد، در این روش، پس از بدست آمدن میانگین هندسی، لازم است سطرهای ماتریس نرمالیزه شوند. برای این مقصود از معادله‌ی ۴-۳ استفاده می‌گردد

$$r_{ij} = \frac{r_{ij}}{\sum_{i=1}^n r_{ij}} \quad 4-3$$

در این معادله n ابعاد ماتریس (تعداد سطر یا ستون بررسی)، i شماره‌ی سطر و j شماره‌ی ستون می‌باشد. پس از نرمالیزه کردن این ماتریس بردار ویژه یا وزن نسبی هر گزینه به دست می‌آید [۴۷].

۵.۳.۳ محاسبه‌ی نرخ ناسازگاری

در حالت کلی می‌توان گفت، که میزان قابل قبول ناسازگاری یک ماتریس یا یک سیستم، بستگی به تصمیم گیرنده دارد. ساعتی [۴۰] عدد $0/1$ را به عنوان حد قابل قبول ارائه می‌نماید و معتقد است چنانچه میزان ناسازگاری بیشتر از $0/1$ باشد، بهتر است در قضاوت‌ها تجدیدنظر گردد. برای هر ماتریس قضایای زیر اثبات شده‌است:

أ. اگر $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$ مقادیر ویژه‌ی ماتریس مقایسه‌ی زوجی باشد، مجموع مقادیر آن برابر n است.

ب. بزرگترین بردار ویژه همواره بزرگتر یا مساوی n است.

ج. اگر عناصر ماتریس، مقدار کمی از حالت سازگاری فاصله بگیرد، مقدار ویژه‌ی آن نیز کمی از حالت سازگاری فاصله می‌گیرد. از طرفی برای هر ماتریس مربعی داریم :

$$A \times W = n.w \quad 5-3$$

که در آن w و λ به ترتیب، بردار ویژه و مقدار ویژه‌ی ماتریس A می‌باشند. در حالتیکه ماتریس سازگار باشد، یک مقدار ویژه برابر n بوده و بقیه آن‌ها برابر صفر هستند. همچنین تعریف دیگر ماتریس سازگار به شکل زیر است:

اگر n معیار به شرح $C_n, \dots, C_2, C_1$ داشته‌باشیم و ماتریس مقایسه‌ی زوجی آن‌ها به صورت زیر باشد:

$$A = [a_{ij}] \quad , \quad i, j = 1, 2, \dots, n \quad 6-3$$

که در آن a_{ij} ترجیح عنصر C_i را بر C_j نشان می‌دهد. چنانچه در این ماتریس داشته‌باشیم:

$$a_{ik} \times a_{kj} = a_{ij} \quad , \quad i, j, k = 1, 2, \dots, n \quad 7-3$$

آنگاه می‌گوییم که ماتریس A سازگار است. در حالتیکه ماتریس مقایسه‌ی زوجی ناسازگار باشد، λ طبق قضیه‌ی ۳ کمی از n فاصله می‌گیرد و به صورت زیر در می‌آید:

$$A \times W = \lambda_{\max} . w \quad 8-3$$

در نتیجه تفاوت n و $\lambda_{\max}$ می‌تواند معیار خوبی برای اندازه‌گیری ناسازگاری ماتریس باشد. این تفاوت به مقدار n بستگی دارد. برای رفع این وابستگی شاخص ناسازگاری تعریف می‌گردد که به شرح زیر است:

$$I . I. = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad 9-3$$

مقدار شاخص ناسازگاری را برای ماتریس‌هایی که اعداد آن‌ها کاملاً تصادفی اختیار شده‌باشند، محاسبه کرده‌اند. این مقیاس را شاخص ناسازگاری ماتریس تصادفی ($I . I. R.$) نام نهاده‌اند [۴۸]. مقدار آن‌ها برای ماتریس n بعدی مطابق جدول ۳-۳ است.

جدول ۳-۳ شاخص ناسازگاری تصادفی [۴۱].

۱۰	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	n
۱/۴۵	۱/۴۵	۱/۴۱	۱/۳۲	۱/۲۴	۱/۱۲	۰/۹	۰/۵۸	۰	۰	شاخص ناسازگاری تصادفی ^۱

برای هر ماتریس، حاصل تقسیم شاخص ناسازگاری بر شاخص ناسازگاری تصادفی، معیار مناسبی برای قضاوت در ارتباط با ناسازگاری است. این مقدار را نرخ ناسازگاری می‌نامند. چنانچه این عدد کوچکتر و یا مساوی ۰,۱ باشد، سازگاری سیستم قابل قبول است [۴۳].

$$I. R. = I. I. / I. I. R$$

۱۰-۳

۶.۳.۳ استفاده از نظرات کارشناسان به منظور مقایسات زوجی

هنگامیکه فرد به تنهایی صلاحیت لازم جهت تصمیم‌گیری را نداشته باشد، پرسشنامه‌ای تنظیم گشته و از نظر کارشناسان خبره در این زمینه جهت مقایسات زوجی معیارها استفاده می‌گردد. در این حالت به طور جداگانه هر یک از کارشناسان مقایسات را انجام داده و در نهایت با توجه به روش‌های پیشنهادی این نظرات جمع گشته و تبدیل به نظر واحد می‌گردد.

روش رایج برای ترکیب این جداول مقایسه‌ای، این است که این اعضا دور همدیگر جمع گشته و در جلسه‌ای به یک نظر واحد در خصوص هر مولفه از جدوا مقایسه‌ای برسند. محققین استفاده از چنین روشی را برای تلفیق کردن نظریات اعضاء گروه به هیچ وجه پیشنهاد نمی‌کنند؛ چراکه استفاده از این روش عملاً جدول مقایسه‌ای هر عضو را بی‌خاصیت می‌سازد.

یکی از بهترین روش‌ها برای ترکیب جداول مقایسه‌ای استفاده از میانگین هندسی است. از آنجا که مقایسات زوجی داده‌هایی به صورت «نسبت» ایجاد خواهد کرد، میانگین هندسی از نظر ریاضی

^۱ I.I.R

بهترین میانگین برای آن‌ها است. به علاوه معکوس بودن ماتریس مقایسه، استفاده از این میانگین را بیشتر از هر چیز موجه می‌سازد [۴۹].

ساعتی و اکزل [۵۰] اثبات کرده‌اند که میانگین هندسی، مناسب‌ترین قاعده‌ی ریاضی برای ترکیب قضاوت‌ها در فرآیند تحلیل سلسله مراتبی است؛ به این خاطر که این میانگین خاصیت معکوس بودن را در مقایسات زوجی حفظ می‌کند.

۷.۳.۳ نرم افزار Expert choice

نرم افزار EC جهت تحلیل مسایل تصمیم‌گیری چند معیاره با استفاده از تکنیک فرآیند تحلیل سلسله مراتبی طراحی شده‌است. این نرم‌افزار دارای توانایی‌های زیادی بوده و علاوه بر امکان طراحی نمودار سلسله مراتبی، تصمیم‌گیری و طراحی سوالات تعیین ترجیحات را داراست. همچنین این نرم‌افزار قادر به محاسبه‌ی وزن نهایی و همچنین تحلیل حساسیت تصمیم‌گیری نسبت به تغییرات پارامترهای مساله، می‌باشد. یکی از بارزترین ویژگی‌های این نرم افزار، این است که، در بسیاری از موارد از نمودارها و گرافهای مناسب جهت ارائه‌ی نتایج و عملکردها استفاده می‌کند. این نرم‌افزار به طور گسترده در این زمینه به کار می‌رود [۵۱].

۴.۳ جمع‌بندی

با توجه به بررسی‌های صورت گرفته در این فصل، پارامترهای عمق، ظرفیت ذخیره‌ی مخزن، فاصله‌ی ساختار تا منبع منتشرکننده‌ی دی‌اکسیدکربن، ضخامت و عدم وجود گسل در پوش‌سنگ، تراوایی، فشار و ضخامت مخزن از جمله معیارهای ضروری جهت انتخاب مکان مناسب جهت ذخیره‌سازی می‌باشند.

با توجه به اینکه فرآیند تحلیل سلسله مراتبی، جامع‌ترین سیستم طراحی شده جهت تصمیم‌گیری - های چند معیاره است، در این پایان‌نامه از این روش جهت اولویت بندی ساختارهای مورد بررسی

استفاده شده است. همچنین در این پایان‌نامه با توجه به بهره‌گیری از نظرات کارشناسان، از روش تصمیم‌گیری گروهی جهت انجام مقایسات زوجی استفاده شده است.

فصل چهارم

نتایج تحقیق

۱.۴ مقدمه

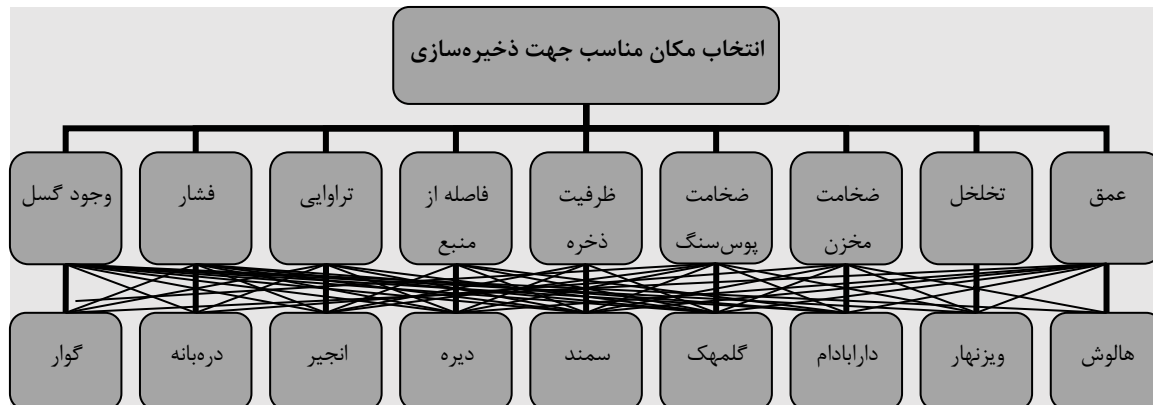
با توجه به انتخاب روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی، لازم است ابتدا جهت مشخص شدن وزن پارامترها سلسله مراتبی مساله ترسیم شده، مقایسات زوجی آن‌ها صورت گرفته و پس از اجماع نظر کارشناسان وزن نسبی هریک از آن‌ها مشخص گردد. در این فصل ابتدا پارامترهای مشخص شده جهت ذخیره‌سازی دی‌اکسیدکربن اولویت بندی شده تا بتوان با استفاده از وزن نسبی پارامترها در مرحله‌ی بعد وزن نسبی ساختارها را محاسبه نمود.

۲.۴ اولویت‌بندی پارامترهای ضروری جهت ذخیره‌سازی

در راستای اولویت بندی پارامترهای ضروری جهت ذخیره‌سازی، همانطور که در شکل ۱-۴ مشهود است ابتدا لازم است سلسله مراتب مساله ترسیم گردد. در ادامه پرسشنامه‌ی فرآیند تحلیل سلسله مراتبی به تعدادی از کارشناسان این حوزه جهت تکمیل فرستاده شده است. این پرسشنامه شامل جدول مقایسات زوجی پارامترها می‌باشد. در جدول ۱-۴، ارجحیت نسبی پارامترهای ضروری جهت ذخیره‌سازی مشخص شده است. این جدول نمونه‌ی تکمیل شده‌ی این پرسشنامه توسط یکی از کارشناسان می‌باشد. نحوه‌ی نگارش پرسشنامه‌ی مذکور در بخش پیوست ضمیمه شده است. در این جدول ضرایب، معرف ارجحیت پارامترهای ستونی نسبت به سطری می‌باشند.

در این تحقیق با توجه به داده‌های موجود از هر میدان، تنها ۹ پارامتر اساسی جهت ذخیره‌سازی بررسی شده است. همانطور که در فصل سوم بیان شد، اکزل و ساعتی [۵۰] استفاده از میانگین هندسی را بهترین روش برای ترکیب مقایسات زوجی معرفی کرده‌اند. بدین منظور در این پایان‌نامه از روش میانگین هندسی جهت اجماع نظرات کارشناسان بهره گرفته شده است. با توجه به پرسشنامه‌های تکمیل شده توسط کارشناسان ضرایب مقایسات زوجی پارامترها آورده شده است. در مرحله‌ی

بعد با توجه به روش میانگین هندسی تلاش‌هایی صورت گرفته تا این نظرات به نظری کامل و واحد تبدیل گردند.



شکل ۴-۱ سلسله مراتب اولویت بندی ساختارها به منظور ذخیره‌سازی دی‌اکسیدکربن.

جدول ۴-۱ مقایسات زوجی پارامترها

وجود گسل	فشار	تراوایی	فاصله از منبع	ضخامت پوش	ظرفیت ذخیره	ضخامت مخزن	تخلخل	عمق	
۹	۰/۳۳	۹	۹	۷	۵	۵	۷	۱	عمق
۹	۷	۵	۹	۷	۷	۰/۲۵	۱		تخلخل
۹	۰/۲	۹	۹	۷	۶	۱			ضخامت مخزن
۹	۰/۱۲۵	۸	۹	۷	۱				ظرفیت ذخیره
۹	۰/۲۵	۰/۲	۹	۱					ضخامت پوش
۹	۰/۱۱۱	۰/۱۱۱	۱						فاصله از منبع
۹	۰/۲	۱							تراوایی
۹	۱								فشار
۱									وجود گسل

۱.۲.۴ تیم کارشناسی

در بخش مقایسات زوجی پارامترها نسبت به یکدیگر از نظرات کارشناسانی در حوزه‌های زمین‌شناسی، پردازش داده‌ها و مهندسی مخزن کمک گرفته شده است. به نحوی که ۶ کارشناس حوزه‌ی زمین‌شناسی، ۴ کارشناس مخزن و ۲ کارشناس پردازش داده‌ها در راستای تکمیل پرسشنامه اقدام نمودند. با توجه به عدم دسترس سایر کارشناسات مربوطه، این امر باید مورد توجه قرار گیرد که کارشناسان ذکر شده دارای سابقه‌ی پروژه‌های ذخیره‌سازی بوده و یا دارای مطالعاتی در این زمینه بوده‌اند.

۲.۲.۴ عمق

در جدول ۲-۴ نظرات ۱۲ کارشناس خبره در زمینه‌ی ذخیره‌سازی، نسبت به پارامتر عمق آورده شده است. در این جدول پارامتر عمق نسبت به سایر پارامترهای ضروری مقایسه شده و در مقایسه با سایر پارامترها، ضریبی به خود اختصاص داده است. در مرحله‌ی بعد با توجه به استفاده از روش میانگین هندسی به منظور اجماع نظرات کارشناسان در این زمینه، از ضرایب موجود توسط رابطه‌ی ۳-۳ میانگین هندسی گرفته می‌شود.

در جدول ۳-۴ میانگین هندسی نظرات کارشناسان در زمینه‌ی مقایسه‌ی پارامتر عمق نسبت به سایر پارامترها آورده شده است. نکته‌ی قابل توجه در این مساله این است که اگر به طور مثال میانگین هندسی مقایسه‌ی زوجی عمق- تخلخل، ۰,۲ باشد، میانگین هندسی مقایسه‌ی زوجی تخلخل- عمق معکوس آن و برابر با ۵ می‌باشد؛ لذا مقایسات هر دو پارامتر تنها یکبار انجام می‌پذیرد.

جدول ۴-۲ ارجحیت پارامتر عمق نسبت به سایر پارامترها

نظر	نظر	نظر	نظر	نظر	نظر	نظر	نظر	نظر	نظر	نظر	نظر	
۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	
۰/۱۴۲	۰/۲	۰/۲۵	۱	۱	۱	۰/۲	۰/۲	۰/۲	۰/۳۳	۱	۰/۲	عمق - تخلخل
۰/۲	۰/۲	۰/۲۵	۰/۳۳	۰/۳۳	۰/۳۳	۰/۲	۰/۲۵	۰/۲۵	۰/۳۳	۰/۳۳	۰/۲	عمق - ضخامت
۰/۲	۰/۲	۰/۲۵	۰/۲۵	۰/۲۵	۰/۳۳	۰/۱۴۲	۰/۲	۰/۱۶۶	۰/۱۴۲	۰/۳۳	۰/۱۴۲	عمق - ظرفیت ذخیره
۰/۱۴۲	۰/۲	۰/۳۳	۰/۱۴۲	۰/۱۴۲	۰/۱۴۲	۰/۱۱۱	۰/۲	۰/۱۴۲	۰/۲	۰/۲	۰/۱۶۶	عمق - ضخامت پوش
۰/۱۱۱	۰/۱۴۲	۰/۱۴۲	۰/۲	۰/۱۴۲	۰/۲۵	۰/۳۳	۰/۱۱۱	۰/۱۴۲	۰/۲	۰/۱۴۲	۰/۱۶۶	عمق - فاصله
۰/۱۱۱	۱/۶	۰/۲	۱	۱	۱	۰/۱۴۲	۰/۲	۰/۳۳	۰/۳۳	۰/۳۳	۰/۳۳	عمق - تراوایی
۳	۱	۰/۱۶۶	۱	۱	۱	۰/۳۳	۰/۳۳	۰/۳۳	۰/۲۵	۰/۳۳	۰/۳۳	عمق - فشار
۰/۱۱۱	۱	۰/۱۴۲	۰/۱۴۲	۱/۷	۰/۱۴۲	۱	۰/۱۴۲	۰/۱۲۵	۰/۱۴۲	۰/۳۳	۰/۲	عمق - گسل

جدول ۴-۳ میانگین هندسی پارامتر عمق نسبت به سایر پارامترها

مقایسات زوجی	میانگین هندسی
عمق - تخلخل	۰/۳۵۳
عمق - ضخامت	۰/۲۶
عمق - ظرفیت ذخیره	۰/۲۰۸
عمق - ضخامت پوش سنگ	۰/۱۶۴
عمق - فاصله از منبع	۰/۱۵۸
عمق - تراوایی	۰/۳۲۲
عمق - فشار	۰/۵۲۹
عمق - گسل	۰/۲۱۰

۳.۲.۴ تخلخل

همانند قبل برای بدست آوردن اجماع نظرات کارشناسان از روش میانگین هندسی استفاده می‌شود. در جدول ۴-۴ نظرات ۱۲ کارشناس خبره در زمینه‌ی مقایسه‌ی زوجی پارامتر تخلخل با سایر پارامترها مشهود می‌باشد.

با توجه به روش انتخاب شده، از نظرات کارشناسان میانگین هندسی گرفته می‌شود. در جدول ۴-۵ اجماع آرای کارشناسان در ارتباط با مقایسه‌ی زوجی پارامتر تخلخل با سایر پارامترها آورده شده است. اجماع نظرات در زمینه‌ی مقایسه‌ی پارامتر عمق نسبت به تخلخل، در مرحله‌ی قبل محاسبه شده است. در نتیجه برای پارامتر تخلخل نسبت به عمق از معکوس آن عدد استفاده می‌گردد.

جدول ۴-۴ ارجحیت تخلخل نسبت به سایر پارامترها

مقایسات زوجی	نظر ۱	نظر ۲	نظر ۳	نظر ۴	نظر ۵	نظر ۶	نظر ۷	نظر ۸	نظر ۹	نظر ۱۰	نظر ۱۱	نظر ۱۲
تخلخل-ضخامت مخزن	۱	۱	۰/۲۵	۰/۳۳	۱	۱	۱	۴	۱	۱	۰/۳۳	۰/۳۳
تخلخل- ظرفیت ذخیره	۰/۵	۱	۰/۲	۰/۱۴۲	۱	۱	۰/۱۴۲	۰/۳۳	۰/۲	۰/۳۳	۰/۳۳	۰/۳۳
تخلخل – ضخامت پوش	۰/۳۳	۰/۳۳	۰/۱۴۲	۰/۱۴۲	۰/۱۶۶	۱	۰/۱۴۲	۰/۳۳	۰/۳۳	۱/۲	۰/۲	۰/۵
تخلخل – فاصله از منبع	۰/۱۴۲	۰/۲۵	۰/۱۱۱	۰/۲	۰/۳۳	۰/۱۱۱	۰/۱۴۲	۰/۲	۰/۱۴۲	۰/۲۵	۰/۱۴۲	۰/۲۵
تخلخل – تراوایی	۱	۱	۰/۳۳	۱	۰/۳۳	۰/۵	۰/۲	۰/۳۳	۰/۳۳	۱	۰/۳۳	۰/۵
تخلخل- فشار	۰/۲۵	۰/۲۵	۰/۱۴۲	۱	۰/۲۵	۵	۰/۱۴۲	۰/۳۳	۰/۳۳	۱/۲	۰/۳۳	۲
تخلخل – گسل	۱	۰/۱۴۲	۰/۱۴۲	۰/۱۴۲	۳	۵	۰/۱۱۱	۰/۱۴۲	۰/۲	۰/۳۳	۰/۳۳	۱

جدول ۴-۵ میانگین هندسی مقایسات زوجی پارامتر تخلخل نسبت به سایر پارامترها

مقایسات زوجی	میانگین هندسی
تخلخل - ضخامت مخزن	۰/۷۵۷
تخلخل - ظرفیت ذخیره	۰/۳۶
تخلخل - ضخامت پوش سنگ	۰/۲۸۴
تخلخل - فاصله از منبع	۰/۱۸۳
تخلخل - تراوایی	۰/۴۹
تخلخل - فشار	۰/۴۴
تخلخل - گسل	۰/۳۹۶

۴.۲.۴ ضخامت مخزن

در جدول ۴-۶ نظرات ۱۲ کارشناس در مقایسه‌ی زوجی پارامتر ضخامت مخزن نسبت به سایر پارامترها و همچنین در جدول ۴-۷ میانگین هندسی نظرات کارشناسان و اجماع آن آورده شده است.

جدول ۴-۶ ارجحیت ضخامت مخزن نسبت به سایر پارامترها

نظر	نظر	نظر	نظر	نظر	نظر	نظر	نظر	نظر	نظر	نظر	نظر	
۱۲	۱۱	۱۰	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	
۰/۵	۱	۰/۳۳	۰/۱۶۶	۰/۲	۰/۱۶۶	۱	۱	۰/۱۴۲	۰/۱۴۲	۰/۲	۱	ضخامت مخزن - ظرفیت
۰/۵	۱/۲	۲	۰/۲	۰/۲	۰/۱۴۲	۱	۰/۱۶۶	۰/۱۴۲	۰/۱۴۲	۰/۱۱	۰/۳۳	ضخامت مخزن - ضخامت پوش سنگ
۰/۲۵	۱/۳	۰/۲	۰/۲	۰/۱۱۱	۰/۱۱۱	۰/۳۳	۰/۲	۰/۲	۰/۲	۰/۲	۰/۲	ضخامت مخزن - فاصله
۰/۵	۱	۱	۱	۰/۳۳	۰/۱۱۱	۰/۵	۰/۳۳	۱	۱	۱	۱	ضخامت مخزن - تراوایی
۲	۱	۰/۵	۵	۳	۵	۵	۴	۱	۱	۱	۱	ضخامت مخزن - فشار
۱	۱	۰/۳۳	۰/۲	۰/۳۳	۰/۱۱۱	۵	۳	۰/۱۴۲	۰/۱۴۲	۰/۱۴۲	۱	ضخامت - وجود گسل

جدول ۷-۴ میانگین هندسی مقایسات زوجی ضخامت مخزن نسبت به سایر پارامترها

مقایسات زوجی	میانگین هندسی
ضخامت مخزن - ظرفیت ذخیره	۰/۳۵۲
ضخامت مخزن - ضخامت پوش سنگ	۰/۲۹
ضخامت مخزن - فاصله	۰/۲
ضخامت مخزن - تراوایی	۰/۶۱۶۶
ضخامت مخزن - فشار	۱/۸۳۳۹
ضخامت مخزن - وجود گسل	۰/۴۶۶

۵.۲.۴ ظرفیت ذخیره

جدول ۸-۴ مقایسات زوجی ظرفیت ذخیره نسبت به سایر پارامترها را نشان می‌دهد.

جدول ۸-۴ ارجحیت ظرفیت ذخیره نسبت به سایر پارامترها

نظر ۱	نظر ۲	نظر ۳	نظر ۴	نظر ۵	نظر ۶	نظر ۷	نظر ۸	نظر ۹	نظر ۱۰	نظر ۱۱	نظر ۱۲
۰/۱۴۲	۱	۰/۱۶۶	۰/۱۴۲	۰/۱۴۲	۰/۵	۰/۲	۰/۲	۰/۵	۰/۵	۰/۵	۰/۵
۰/۱۱۱	۱/۳	۰/۲	۱	۰/۱۴۲	۰/۱۴۲	۱	۰/۱۴۲	۰/۲	۰/۵	۰/۳۳	۱
۰/۱۲۵	۰/۵	۰/۳۳	۱	۰/۲	۰/۲	۰/۵	۰/۲	۰/۲	۱	۱	۴
۸	۵	۴	۱	۵	۵	۱	۵	۵	۳	۱	۴
۰/۱۱۱	۵	۰/۳۳	۰/۱۴۲	۰/۱۴۲	۰/۱۴۲	۰/۳۳	۰/۳۳	۰/۱۴۲	۱	۱	۲

در ادامه همانطور که در جدول ۹-۴ مشاهده می‌شود، اجماع نظر کارشناسان و میانگین هندسی

مقایسه‌ی این پارامتر نسبت به سایر پارامترها آورده شده است

جدول ۹-۴ میانگین هندسی مقایسات ظرفیت ذخیره نسبت به سایر پارامترها

مقایسات زوجی	میانگین هندسی
ظرفیت ذخیره - ضخامت پوش سنگ	۰/۳۰۳۲
ظرفیت ذخیره - فاصله	۰/۳۰۷۱
ظرفیت ذخیره - تراوایی	۰/۴۸۳۹
ظرفیت ذخیره - فشار	۳/۲۱
ظرفیت ذخیره - وجود گسل	۰/۳۹۹

۶.۲.۴ ضخامت پوش سنگ

جدول ۱۰-۴ مقایسات زوجی ضخامت پوش سنگ نسبت به سایر پارامترها را نشان می‌دهد.

جدول ۱۰-۴ ارجحیت ضخامت پوش سنگ نسبت به سایر پارامترها

نظر	نظر	نظر	نظر	نظر	نظر	نظر	نظر	نظر	نظر	نظر	نظر	
۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	
۰/۱۱۱	۰/۳۳	۰/۱۱۱	۰/۱۱۱	۰/۱۲۵	۰/۱۴۲	۰/۲	۰/۲	۱	۰/۳۳	۰/۵	۳	ضخامت پوش سنگ - فاصله
۵	۰/۵	۰/۵	۰/۵	۰/۲	۰/۱۴۲	۰/۳۳	۰/۱۴۲	۰/۱۴۲	۲	۲	۶	ضخامت پوش سنگ - تراوایی
۴	۵	۸	۵	۸	۷	۹	۵	۹	۱	۲	۵	ضخامت پوش سنگ - فشار
۰/۱۱۱	۵	۰/۲	۱	۱	۱	۰/۱۱۱	۵	۵	۰/۳۳	۲	۴	ضخامت پوش سنگ - گسل

همانطور که در جدول ۱۱-۴ مشاهده می‌شود، اجماع نظر کارشناسان و میانگین هندسی مقایسه‌ی این پارامتر نسبت به سایر پارامترها آورده شده است. در این مقایسه اختلاف مقایسه‌ی پارامتر ضخامت پوش سنگ نسبت به پارامتر فشار با سایر مقایسات بیشتر بوده و این نشان دهنده‌ی اهمیت پایین پارامتر فشار نسبت به این پارامترها می‌باشد.

جدول ۴-۱۱ میانگین هندسی مقایسات زوجی ضخامت پوش سنگ نسبت به سایر پارامترها

مقایسات زوجی	میانگین هندسی
ضخامت پوش سنگ - فاصله	۰/۲۷۱۳
ضخامت پوش سنگ- تراوایی	۰/۶۱۴۲
ضخامت پوش سنگ- فشار	۴/۸۷۷
ضخامت پوش سنگ- گسل	۰/۹۸۲

۷.۲.۴ فاصله از منبع انتشار

در جدول ۴-۱۲ مقایسات زوجی پارامتر فاصله از منبع انتشار نسبت به سایر پارامترها آورده شده است. همچنین در جدول ۴-۱۳ اجماع نظر کارشناسان و میانگین هندسی مقایسه‌ی این پارامتر نسبت به سایر پارامترها مشخص شده است.

جدول ۴-۱۲ ارجحیت فاصله از منبع انتشار نسبت به سایر پارامترها

نظر	نظر	نظر	نظر	نظر	نظر	نظر	نظر	نظر	نظر	نظر	نظر	
۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	
۹	۲	۳	۵	۷	۹	۵	۷	۵	۵	۴	۳	فاصله - تراوایی
۹	۹	۲	۵	۷	۹	۲	۷	۵	۵	۴	۳	فاصله - فشار
۰/۱۱۱	۹	۷	۳	۰/۳۳	۹	۱	۱	۱	۲	۴	۳	فاصله - گسل

جدول ۴-۱۳ میانگین مقایسات زوجی پارامتر فاصله از منبع انتشار با سایر پارامترها

مقایسات زوجی	میانگین هندسی
فاصله - تراوایی	۴/۸۷۱
فاصله - فشار	۴/۸۵۴
فاصله - وجود گسل	۱/۸۳۸

۸.۲.۴ تراوایی و فشار

در جدول ۴-۱۴ مقایسات زوجی تراوایی نسبت به سایر پارامترها مشخص شده است. اجماع نظر کارشناسان که به صورت میانگین هندسی صورت گرفته است، در جدول ۴-۱۵ آورده شده است. همچنین جدول‌های ۴-۱۶ و ۴-۱۷ نشان دهنده‌ی این روند محاسباتی برای پارامتر فشار می‌باشد.

جدول ۴-۱۴ ارجحیت تراوایی نسبت به سایر پارامترها

نظر	نظر	نظر	نظر	نظر	نظر	نظر	نظر	نظر	نظر	نظر	نظر	
۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	
تراوایی - فشار	۵	۲	۰/۳۳	۱	۱	۱	۰/۱۴۲	۰/۲	۰/۱۴۲	۰/۵	۱	۱
تراوایی - گسل	۰/۱۱۱	۲	۰/۲	۰/۲	۰/۲	۰/۲	۰/۲	۰/۱۴۲	۰/۱۴۲	۰/۲۵	۱	۰/۵

جدول ۴-۱۵ میانگین هندسی پارامتر تراوایی

مقایسات زوجی	میانگین هندسی
تراوایی - فشار	۰/۶۵۹۱
تراوایی - وجود گسل	۰/۲۷۴۲۸

جدول ۴-۱۶ ارجحیت فشار نسبت به وجود گسل در پوش سنگ

نظر	نظر	نظر	نظر	نظر	نظر	نظر	نظر	نظر	نظر	نظر	نظر	
۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	
فشار - گسل	۱/۹	۱	۱/۶	۱/۷	۱/۷	۱/۷	۱	۱/۳	۱/۳	۱	۱/۲	۱/۲

جدول ۴-۱۷ میانگین هندسی مقایسه‌ی زوجی فشار نسبت به گسل

مقایسات زوجی	میانگین هندسی
فشار - وجود گسل در پوش سنگ	۰/۳۴۵۷

۳.۴ وزن نسبی پارامترها

در مرحله‌ی بعد با توجه به بدست آوردن میانگین هندسی نظرات کارشناسان در زمینه‌ی مقایسات پارامترها، ماتریس اصلی مقایسات زوجی پارامترها ایجاد می‌شود. جدول ۴-۱۸ نشان دهنده‌ی ماتریس مقایسات زوجی می‌باشد. در این جدول ضرایب معرف میانگین هندسی نظرات کارشناسان می‌باشد. لازم به ذکر است که در این جدول ضرایب ارجحیت پارامترهای ستونی نسبت به پارامترهای افقی را نشان می‌دهند.

جدول ۴-۱۸ ماتریس مقایسات زوجی نهایی

	عمق	تخلخل	ضخامت مخزن	ظرفیت ذخیره	ضخامت پوش	فاصله از منبع	تراوایی	فشار	وجود گسل
عمق	۱	۲/۸۳	۳/۸۴	۴/۸۰۷	۶/۰۹	۶/۳۲۹	۳/۱۰۵	۱/۸۹	۴/۷۶
تخلخل	۰/۳۵۳	۱	۰/۳۱۷	۲/۷۷	۳/۵۲۱	۵/۴۶۴	۲/۰۴	۲/۲۷	۲/۵۲
ضخامت مخزن	۰/۲۶۰	۰/۷۵۷۹	۱	۲/۸۴	۳/۴۴۸	۵	۱/۶۲	۰/۵۴۵	۲/۱۴
ظرفیت ذخیره	۰/۲۰۸	۰/۳۶۰	۰/۳۵۲	۱	۳/۲۹۸	۳/۲۵۶	۲/۰۶	۰/۳۱۱	۲/۵
ضخامت پوش	۰/۱۶۴	۰/۲۸۴	۰/۲۹	۰/۳۰۳۲	۱	۳/۶۸۵	۱/۶۲۸	۰/۲۰۵	۱/۰۱
فاصله از منبع	۰/۱۵۸	۰/۱۸۳	۰/۲	۰/۳۰۷۱	۰/۲۷۱۳	۱	۰/۲۰۵	۰/۲۰۶	۰/۵۴
تراوایی	۰/۳۲۲	۰/۴۹	۰/۶۱۶	۰/۴۸۳۹	۰/۶۱۴۲	۳/۸۷۱	۱	۱/۵۱۷	۳/۶۴
فشار	۰/۵۲۹	۰/۴۴	۱/۸۳۳	۳/۲۱	۴/۸۷۷	۴/۸۵۴	۰/۶۵۹۱	۱	۲/۸۹
گسل	۰/۲۱۰	۰/۳۹۶	۰/۴۶۶	۰/۳۹۹	۰/۹۸۲	۱/۸۳۸	۰/۲۷۴۲	۰/۳۴۵۷	۱

در مرحله‌ی بعد با توجه به تکمیل ماتریس مقایسات زوجی، میزان ناسازگاری این ماتریس باید محاسبه گردد. برای این منظور مراحل زیر به ترتیب انجام شده‌است.

$$I.I.=0.108$$

الف) محاسبه‌ی شاخص ناسازگاری^۱

در ارتباط با شاخص ناسازگاری ماتریس تصادفی، در فصل سوم به تفصیل صحبت شده است. بر طبق جدول ۳-۳ برای ماتریسی با مقیاس 9×9 ، این میزان برابر با ۱,۴۵ می‌باشد. همچنین بر طبق معادله-۳-۹ نرخ ناسازگاری با تقسیم شاخص ناسازگاری بر شاخص ناسازگاری تصادفی به دست می‌آید.

$$I.R=0.108/1.45=0.07$$

ب) محاسبه‌ی نرخ ناسازگاری

همانطور که در فصل ۳ مطرح شد، در صورتی که میزان ناسازگاری کمتر از 0.10 شود، مقایسات زوجی قابل قبول می‌باشد. همانطور که مشاهده می‌شود نرخ ناسازگاری به دست آمده کمتر از 0.10 بوده و مقایسات قابل قبول است.

با توجه به روش میانگین هندسی برای مشخص کردن اولویت پارامترها، همانند قبل از ماتریس مقایسات زوجی پارامترها، میانگین هندسی گرفته می‌شود. جدول ۴-۱۹ نشان دهنده‌ی میانگین هندسی پارامترهای ضروری جهت ذخیره‌سازی می‌باشد. در مرحله‌ی بعد با توجه به روش میانگین هندسی، بردار ستونی میانگین هندسی پارامترها همانطور که در فصل سوم بیان شد، توسط رابطه‌ی ۳-۴ باید نرمالیزه گردد. وزن نسبی پارامترها در واقع همان بردار نرمالیزه شده می‌باشد که به آن بردار ویژه نیز گفته می‌شود.

با توجه به وزن پارامترها که در جدول ۴-۱۹ مشاهده می‌شود، می‌توان آن‌ها را بر حسب اهمیت در جهت ذخیره‌سازی دی‌اکسیدکربن اولویت بندی کرد. همانطور که در جدول ۴-۲۰ مشهود است، فاصله از منبع انتشار دی‌اکسیدکربن، مهم‌ترین معیار جهت انتخاب ساختار مناسب جهت ذخیره‌سازی می‌باشد. همچنین پارامترهای تخلخل و عمق با توجه به اینکه اهمیت کمتری نسبت به سایر پارامترها دارد، رتبه‌ی آخر را به خود اختصاص داده اند.

^۱ محاسبات این قسمت توسط نرم افزار تحت وب انجام شده است.

جدول ۴-۱۹ میانگین هندسی پارامترها

پارامتر	عمق	تخلخل	ضخامت مخزن	ظرفیت ذخیره	ضخامت پوش سنگ	فاصله از منبع	تراوایی	فشار	گسل
میانگین هندسی	۰/۰۲۴۸	۰/۰۴۲۶	۰/۰۶۱۹	۰/۰۹۵۷	۰/۱۵۸۹	۰/۲۹۸۶	۰/۰۹۵۷	۰/۰۵۷	۰/۱۶۲۸

جدول ۴-۲۰ وزن نسبی و رتبه‌بندی پارامترهای ضروری جهت ذخیره سازی

پارامتر مورد بررسی	وزن نسبی	رتبه بندی
عمق	۰/۳۰۷۷۴	۹
تخلخل	۰/۵۰۲۳۷	۸
ضخامت مخزن	۰/۷۱۳۰۷۸	۶
ظرفیت ذخیره	۱/۰۴۶	۴
ضخامت پوش سنگ	۱/۹۵۲۹	۳
فاصله از منبع انتشار	۳/۹۵۱۱	۱
تراوایی	۰/۹۸۷۱	۵
فشار	۰/۶۰۴۱۳۶	۷
وجود گسل در پوش سنگ	۲/۸۸۰۴	۲

۴.۴ مقایسه زوجی ساختارها

با توجه به مشخص شدن اهمیت هر کدام از پارامترها در ادامه به منظور مشخص شدن ساختار مناسب، لازم است تمام ساختارها از نظر این ۹ پارامتر ضروری جهت ذخیره‌سازی مقایسه گردند. در ادامه مقایسات زوجی هر کدام از ساختارها برحسب پارامتر مورد بررسی آورده شده است. در تکمیل پرسنامه‌ی مربوط به مقایسات زوجی ساختارها به علت وقت محدود کارشناسان از روش اجماع نظر بهره‌گیری شده است.

۱.۴.۴ اولویت‌بندی ساختارهای مورد بررسی از نظر عمق

با توجه به تحقیقات صورت گرفته، عمق مناسب جهت ذخیره‌سازی در محدوده‌ی بین ۸۰۰ تا ۲۵۰۰ متر قرار دارد. ازین جهت ساختارهایی که در این محدوده قرار گرفته‌اند از لحاظ عمق بسیار مناسب ارزیابی می‌شوند [۳۷]. در میان این محدوده به لحاظ مسائل اقتصادی، عمق‌های کمتر از اولویت بیشتری برخوردار می‌باشند. لذا مقایسات به نحوی صورت گرفته‌است که در ابتدا محدوده‌ی مناسب جهت ذخیره‌سازی و سپس مسائل اقتصادی در تصمیمات لحاظ گردد. در جدول ۴-۲۱ عمق ساختارهای مورد بررسی نشان داده شده است. همانطور که دیده می‌شود، عمق میادین هالوش، دارابادام، دیره، دره‌بانه و گوار در محدوده‌ی مناسب جهت ذخیره‌سازی قرار دارند.

جدول ۴-۲۱ اطلاعات موجود از عمق تاق‌دیس‌های مورد بررسی^۱

عمق (m)	میدان
۲۰۹۱-۱۲۶۰	هالوش
۳۵۰۶-۲۴۵۵	ویزنهار
۲۰۳۳-۱۸۳۵	دارابادام
۴۹۹۴-۴۷۷۹	گلمهک
۳۹۱۵-۳۱۴۸	سمند
۲۳۴۱-۲۰۳۴	دیره
۴۲۰۹-۳۷۰۳	انجیر
۱۶۴۲-۱۱۲۸	دره‌بانه
۲۱۹۵-۱۵۲۸	گوار

در جدول ۴-۲۲ مقایسات زوجی ساختارها بر حسب عمق مشهود است. در این مقایسات ساختارهای هالوش، دارابادام، دیره، دره‌بانه و گوار از ارجحیت بیشتری نسبت به سایر ساختارها برخوردارند. در میان این ۵ ساختار نیز با توجه به مسائل اقتصادی ساختار دره‌بانه بالاترین میزان ارجحیت را به خود

^۱ لازم به ذکر است که تمامی داده‌های ذکر شده، مربوط به سازند اصلی مخزنی تاق‌دیس‌ها می‌باشد.

اختصاص داده است. در این جدول، ضرایب نشان دهنده‌ی ارجحیت ساختارهای سطری به ستونی می‌باشد.

جدول ۴-۲۲ مقایسات زوجی ساختارها برحسب عمق

گوار	دره‌بانه	انجیر	دیره	سمند	گلمهک	دارابادام	ویزنهار	هالوش	
۱	۰/۵	۹	۳	۹	۹	۲	۹	۱	هالوش
۰/۱۱۱	۰/۱۱۱	۲	۰/۱۴۲	۲	۵	۰/۱۱۱	۱		ویزنهار
۰/۵	۰/۳۳	۸	۲	۸	۹	۱			دارابادام
۰/۱۱۱	۰/۱۱۱	۰/۵	۰/۱۱۱	۰/۳۳	۱				گلمهک
۰/۱۱۱	۰/۱۱۱	۲	۰/۱۴۲	۱					سمند
۰/۵	۰/۳۳	۷	۱						دیره
۰/۱۱۱	۰/۱۱۱	۱							انجیر
۲	۱								دره‌بانه
۱									گوار

پیش از محاسبه‌ی وزن هر کدام از ساختارها نیاز است، نرخ ناسازگاری مقایسات زوجی میادین بر حسب عمق محاسبه گردد. برای این منظور همانند قبل عمل می‌نماییم.

الف) محاسبه‌ی شاخص ناسازگاری $I.I.= ۰/۰۸۰۴$

ب) محاسبه‌ی شاخص ناسازگاری تصادفی^۱ $I.I.R= ۱/۴۵$

پ) محاسبه‌ی نرخ ناسازگاری $I.R.=۰/۰۵$

^۱ این میزان از جدول ۳-۳ برداشته شده است.

همانطور که مشاهده می‌شود، نرخ ناسازگاری کمتر از ۰/۱ می‌باشد و این نشان دهنده‌ی مورد قبول واقع شدن، مقایسات می‌باشد. در مرحله‌ی بعد با توجه به روش میانگین هندسی جدول ۴-۲۳ تهیه شده است. در این جدول میانگین هندسی مقایسات ساختارها نسبت به پارامتر عمق آورده شده است.

پس از محاسبه‌ی میانگین هندسی، مشابه با قبل ماتریس میانگین هندسی ساختارها نرمالیزه می‌شود. جدول و وزن نسبی هرکدام از ساختار در جدول ۴-۲۴ وزن نسبی ساختارها و رتبه بندی آنها نسبت به پارامتر عمق را نشان می‌دهد. همانطور که پیش‌تر در مورد آن صحبت شده است، دره-بانه با توجه به ارجحیت بالا رتبه‌ی نخست را به خود اختصاص داده و تاقدیس گلمهک به علت عمق بسیار بالا و خارج از محدوده‌ی مناسب جهت ذخیره‌سازی در رتبه‌ی آخر قرار گرفته است.

جدول ۴-۲۳ میانگین هندسی مقایسه‌ی زوجی ساختارها بر حسب پارامتر عمق

میدان	میانگین هندسی
هالوش	۳
ویزنهار	۰/۴۲۲۹
دارابادام	۲/۱۱۷
گلمهک	۰/۲۰۱۸
سمند	۰/۳۴۱۵۷
دیره	۱/۶۳۶
انجیر	۰/۳۳۱۸
دره‌بانه	۳/۹۵۳۹
گوار	۲/۸۶۷

جدول ۴-۲۴ وزن نسبی ساختارها و رتبه‌بندی بر اساس پارامتر عمق

رتبه	وزن نسبی	نام ساختار
۲	۰/۱۹۹	هالوش
۶	۰/۰۳۰۲	ویزنهار
۴	۰/۱۴۴	دارابادام
۹	۰/۰۱۴	گلمهک
۷	۰/۰۲۳	سمند
۵	۰/۱۱۱	دیره
۸	۰/۰۱۸	انجیر
۱	۰/۲۶۹	دره‌بانه
۳	۰/۱۸۸	گوار

۲.۴.۴ اولویت‌بندی ساختارهای مورد بررسی از نظر تخلخل

در بررسی‌های صورت گرفته، تخلخل مناسب جهت ذخیره‌سازی دی‌اکسیدکربن بالاتر از ۲۰٪ برای مخازن ماسه‌سنگ می‌باشد. در مخازن کربناته تخلخل بین ۵ تا ۱۵ درصد نیز جز گزینه‌های مناسب ذخیره‌سازی قرار می‌گیرند [۵۲].

جدول ۴-۲۵ داده‌های موجود از تخلخل ساختارهای مورد بررسی را نمایش می‌دهد. همانطور که مشخص است، تنها ساختار ویزنهار از حد مشخص شده پایین‌تر می‌باشد. سایر ساختارها در محدوده‌ی تخلخل مناسب قرار گرفته‌اند.

در میان ساختارهای مناسب، هرچه تخلخل بیشتر باشد، آن ساختار از اولویت بیشتری برخوردار است. همانطور که در جدول ۴-۲۶ مشاهده می‌شود، ساختارهای انجیر و دارابادام دارای بیشترین ضریب در مقایسات زوجی می‌باشند. سازند ویزنهار به علت پایین بودن تخلخل از کمترین ضریب اهمیت برخوردار می‌باشد.

جدول ۴-۲۵ اطلاعات موجود از تخلخل میادین مورد بررسی

تخلخل (%)	تاق دیس
۸/۸۵	هالوش
۴/۶	ویزنهار
۱۰	دارابادام
۷	گلمهک
۸	سمند
۸	دیره
۱۰	انجیر
۷	دره بانه
۷	گوار

پیش از محاسبه ی وزن هر کدام از ساختارها نیاز است، نرخ ناسازگاری مقایسات زوجی میادین بر حسب پارامتر تخلخل، محاسبه گردد. برای این منظور به ترتیب زیر عمل می نماییم:

الف) محاسبه ی شاخص ناسازگاری $I.I.= ۰/۰۳۸۱$

ب) محاسبه ی شاخص ناسازگاری تصادفی^۱ $I.I.R= ۱/۴۵$

پ) محاسبه ی نرخ ناسازگاری $I.R.= ۰/۰۲$

همانطور که مشاهده می شود، نرخ ناسازگاری کمتر از ۱۰٪ می باشد. این میزان نشان دهنده ی مورد قبول واقع شدن مقایسات می باشد. در مرحله ی بعد با توجه به روش میانگین هندسی جدول ۴-۲۷ تهیه شده است. در این جدول میانگین هندسی مقایسات ساختارها نسبت به پارامتر تخلخل آورده شده است.

^۱ این میزان از جدول ۳-۳ برداشته شده است.

جدول ۴-۲۶ مقایسات زوجی ساختارها برحسب تخلخل

	هالوش	ویزنهار	دارابادام	گلمهک	سمند	دیره	انجیر	دره‌بانه	گوار
هالوش	۱	۷	۰/۵	۱	۱	۱	۰/۵	۱	۱
ویزنهار		۱	۰/۱۱۱	۰/۱۴۲	۰/۱۴۲	۰/۱۴۲	۰/۱۱۱	۰/۱۴۲	۰/۱۴۲
دارابادام			۱	۲	۲	۲	۱	۲	۲
گلمهک				۱	۱	۱	۰/۵	۱	۱
سمند					۱	۱	۰/۵	۱	۱
دیره						۱	۰/۵	۱	۱
انجیر							۱	۲	۲
دره‌بانه								۱	۱
گوار									۱

جدول ۴-۲۷ میانگین هندسی مقایسات زوجی ساختارهای بر حسب پارامتر تخلخل

میدان	هالوش	ویزنهار	دارابادام	گلمهک	سمند	دیره	انجیر	دره‌بانه	گوار
میانگین هندسی	۱/۰۶۴۱	۰/۱۶۷۷	۲/۰۲۶	۱/۰۶۴۱	۱/۰۶۴۱	۱/۰۶۴۱	۲/۰۲۶	۱/۰۶۴۱	۱/۰۶۴۱

پس از محاسبه‌ی میانگین هندسی، مشابه با قبل ماتریس میانگین هندسی ساختارها نرمالیزه می‌شود. جدول ۴-۲۸ وزن نسبی ساختارها و رتبه بندی آن‌ها نسبت به پارامتر عمق را نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود، ساختارهای انجیر و دارابادام رتبه‌ی نخست را به خود اختصاص داده اند. تاقدیس ویزنهار نیز با توجه به پایین بودن میزان تخلخل آن از حد معین شده (۵ درصد) در رتبه‌ی نهم قرار گرفته و میزان تخلخل آن نامناسب می‌باشد.

جدول ۴-۲۸ وزن نسبی و رتبه‌بندی ساختارهای مورد بررسی بر اساس تخلخل

رتبه	وزن نسبی	نام ساختار
۳	۰,۱۰۰۱۷۲	هالوش
۹	۰,۰۱۵۹۹	ویزنهار
۱	۰,۱۹۱۴	دارابادام
۳	۰,۱۰۰۱۷۲	گلمهک
۳	۰,۱۰۰۱۷۲	سمند
۳	۰,۱۰۰۱۷۲	دیره
۱	۰,۱۰۰۱۷۲	انجیر
۳	۰,۱۰۰۱۷۲	دره‌بانه
۳	۰,۱۰۰۱۷۲	گوار

۳.۴.۴ اولویت‌بندی ساختارهای مورد بررسی از نظر ضخامت مخزن

مطالعات و بررسی‌های انجام شده، میزان مناسب ضخامت مخزن جهت ذخیره‌سازی دی‌اکسیدکربن را بیشتر از ۵۰ متر مشخص کرده است. این میزان متعلق به ضخامت مفید^۱ مخزن می‌باشد [۳۷].

با توجه به عدم وجود داده‌های مربوط به ضخامت مفید، امکان مقایسه و بررسی این پارامتر در این مخازن وجود ندارد. از همین رو مقایسات بر اساس ضخامت حفاری شده‌ی مخزن^۲ صورت گرفته است. در این میان با توجه به جدول ۴-۲۹ تاقدیس‌های انجیر و دره‌بانه بیشترین میزان ضخامت را دارا می‌باشند. با توجه به اینکه ضخامت‌های بررسی شده بالاتر از حد معین شده می‌باشند، هر ساختاری که ضخامت مخزن بیشتری داشته باشد، مناسب‌تر می‌باشد.

^۱ net

^۲ drilled thickness

جدول ۴-۲۹ اطلاعات موجود از ضخامت مخزن ساختارهای مورد بررسی

تاق‌دیس	ضخامت مخزن (m)
هالوش	۱۷۰
ویزنهار	۱۵۰
دارابادام	۲۰۰
گلمهک	۱۳۵
سمند	۲۵۸
دیره	۲۴۰/۸
انجیر	۴۸۳
دره‌بانه	۲۹۰
گوار	۲۵۳

جدول ۴-۳۰ مقایسات زوجی ساختارها بر اساس ضخامت را نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود، ضرایب مربوط به ساختار انجیر و پس از آن دره‌بانه از سایر ساختارها بیشتر می‌باشد. در مرحله-ی بعد، همانند قبل، نرخ ناسازگاری این مقایسات طی مراحل زیر محاسبه شده است.

الف) محاسبه‌ی شاخص ناسازگاری $I.I. = ۰/۰۰۶$

ب) محاسبه‌ی شاخص ناسازگاری تصادفی^۱ $I.I.R = ۱/۴۵$

پ) محاسبه‌ی نرخ ناسازگاری $I.R. = ۰/۰۰۴$

نرخ ناسازگاری به دست آمده، کمتر از ۱۰ درصد (۰,۱) می‌باشد. در نتیجه نرخ ناسازگاری مورد قبول می‌باشد. میانگین هندسی مقایسات ساختارها بر حسب ضخامت مخزن در جدول ۴-۳۱ آورده شده است.

^۱ این میزان از جدول ۳-۳ برداشته شده است.

جدول ۴-۳۰ مقایسات زوجی ساختارها بر حسب ضخامت مخزن

	هالوش	ویزنهار	دارابادام	گلمهک	سمند	دیره	انجیر	دره‌بانه	گوار
هالوش	۱	۱	۱	۱	۰/۵	۰/۵	۰/۲۵	۰/۳۳	۰/۵
ویزنهار		۱	۱	۱	۰/۵	۰/۵	۰/۲۵	۰/۳۳	۰/۵
دارابادام			۱	۱	۰/۵	۰/۵	۰/۲۵	۰/۳۳	۰/۵
گلمهک				۱	۰/۵	۰/۵	۰/۲۵	۰/۳۳	۰/۵
سمند					۱	۱	۰/۳۳	۰/۵	۱
دیره						۱	۰/۳۳	۰/۵	۱
انجیر							۱	۲	۳
دره‌بانه								۱	۲
گوار									۱

پس از محاسبه‌ی میانگین هندسی مشابه با قبل، ماتریس میانگین هندسی ساختارها نرمالیزه می‌شود. در جدول ۴-۳۲ وزن نسبی ساختارها و رتبه بندی آن‌ها نسبت به پارامتر ضخامت مخزن مشخص شده است. همانطور که مشاهده می‌شود، ساختار انجیر رتبه‌ی نخست را به خود اختصاص داده و سپس دره‌بانه در رتبه‌ی دوم قرار گرفته است. بر طبق این جدول ساختارهای گلمهک، دارابادام، ویزنهار و هالوش نسب به سایر ساختارها، میزان ضخامت مخزنشان کمتر بوده و در نتیجه نسبت به سایر ساختارها کمتر مناسب می‌باشند.

جدول ۴-۳۱ میانگین هندسی مقایسات زوجی ساختارها بر حسب پارامتر ضخامت مخزن

میدان	هالوش	ویزنهار	دارابادام	گلمهک	سمند	دیره	انجیر	دره‌بانه	گوار
میانگین هندسی	۰/۶۰۲۲	۰/۶۰۲۲	۰/۶۰۲۲	۰/۶۰۲۲	۱/۱۱۵	۱/۱۱۵	۲/۸۸۴	۱/۹۰۰	۱/۱۱۵

جدول ۴-۳۲ وزن نسبی و رتبه‌بندی ساختارهای مورد بررسی بر اساس ضخامت مخزن

رتبه	وزن نسبی	نام ساختار
۶	۰/۰۵۶۸۸	هالوش
۶	۰/۰۵۶۸۸	ویزنهار
۶	۰/۰۵۶۸۸	دارابادام
۶	۰/۰۵۶۸۸	گلمهک
۳	۰/۱۰۵۳	سمند
۳	۰/۱۰۵۳	دیره
۱	۰/۲۷۵۷	انجیر
۲	۰/۱۸۰۵	دره‌بانه
۳	۰/۱۰۵۳	گوار

۴.۴.۴ اولویت‌بندی ساختارهای مورد بررسی از نظر ظرفیت ذخیره

ظرفیت ذخیره از جمله پارامترهایی می‌باشد که ذخیره‌سازی را از نظر اقتصادی مورد بررسی قرار می‌دهد. از این رو هرچه ظرفیت ذخیره‌ی ساختاری بیشتر باشد آن ساختار مناسب‌تر است. برای محاسبه‌ی ظرفیت ذخیره، روش‌های متفاوتی وجود دارد. در این پایان‌نامه با توجه به داده‌های موجود ظرفیت ذخیره از حاصلضرب مساحت سازند مخزنی در ضخامت و تخلخل آن بدست می‌آید [۵۳]. لذا برای تمام ساختارها این محاسبات صورت گرفته و در نتیجه در جدول ۴-۳۳ مساحت سازن مخزنی و در نهایت ظرفیت نهایی آورده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود، ساختار سمند دارای بیشترین ظرفیت ذخیره می‌باشد و در انتها ساختار ویزنه‌ار کمترین ظرفیت ذخیره را به خود اختصاص داده است.

جدول ۴-۳۳ ظرفیت ذخیره‌ی ساختارهای مورد بررسی

ظرفیت ذخیره (m^3)	مساحت سازند مخزنی (m^2)	تاق‌دیس
۱/۲۸۶۳۵E+۱۱	۸/۰۵E+۰۷	هالوش

۶/۸۹۸۲E+۱۰	۱/۸۶E+۰۷	ویزنهار
۳/۸E+۱۱	۱/۹E+۰۸	دارا ابادام
۷/۰۸۷۵E+۱۰	۷/۰۵E+۰۷	گلمهک
۱/۴۷۵۷۶E+۱۲	۷/۱۵E+۰۸	سمند
۲/۷۱۶۲۳E+۱۱	۱/۴۱E+۰۸	دیره
۹/۳۴۶۰۵E+۱۱	۱/۹۳E+۰۸	انجیر
۱/۴۶۱۶E+۱۲	۷/۲E+۰۸	دره بانه
۸/۳۰۲۴E+۱۱	۴/۶۸E+۰۸	گوار

با توجه به بررسی داده‌های ظرفیت ذخیره، مقایسات زوجی ساختارها صورت گرفته است. جدول ۴-۳۴ نشان دهنده‌ی این مقایسات می‌باشد. همانطور که پیش‌تر گفته شد، ساختار سمند با توجه به میزان بالای ظرفیت ذخیره، بیشترین ضریب مقایسه را به خود اختصاص داده است. به دلیلی اینکه برای ظرفیت ذخیره محدودیتی وجود ندارد، ضرایب مقایسه با توجه به ترتیب ظرفیت ذخیره‌ی ساختارها اختصاص داده شده است. به همین دلیل ساختارهای هالوش، گلمهک و ویزنهار کمترین ضرایب را به خود اختصاص داده‌اند. توجه به ضرایب نرخ ناسازگاری ماتریس مقایسات زوجی ساختارها به قرار زیر است:

$$I.I.= ۰/۰۱۲$$

الف) محاسبه‌ی شاخص ناسازگاری

$$I.I.R= ۱/۴۵$$

ب) محاسبه‌ی شاخص ناسازگاری تصادفی^۱

$$I.R.=۰/۰۰۸$$

پ) محاسبه‌ی نرخ ناسازگاری

^۱ این میزان از جدول ۳-۳ برداشته شده است.

جدول ۴-۳۴ مقایسات زوجی ساختارها بر حسب پارامتر ظرفیت ذخیره

	هالوش	ویزنهار	دارابادام	گلمهک	سمند	دیره	انجیر	دره‌بانه	گوار
هالوش	۱	۲	۱	۲	۰/۲	۱	۰/۲۵	۰/۲	۰/۲۵
ویزنهار		۱	۰/۵	۱	۰/۱۴۲	۰/۵	۰/۲	۰/۱۴۲	۰/۲
دارابادام			۱	۲	۰/۲	۱	۰/۲۵	۰/۲	۰/۲۵
گلمهک				۱	۰/۱۴۲	۰/۵	۰/۲	۰/۱۴۲	۰/۲
سمند					۱	۵	۲	۱	۲
دیره						۱	۰/۲۵	۰/۲	۰/۲۵
انجیر							۱	۰/۵	۱
دره‌بانه								۱	۲
گوار									۱

همانطور که مشاهده می‌شود نرخ ناسازگاری محاسبه شده کمتر از ۰,۱ یا ۱۰٪ می‌باشد، به همین جهت مقایسات زوجی استفاده شده، قابل قبول می‌باشد. میانگین هندسی مقایسات زوجی ساختارها در جدول ۴-۳۵ آورده شده است. برای محاسبه‌ی وزن نسبی ساختارها ماتریس میانگین هندسی ساختارها نرمالیزه شده و بردار ویژه‌ی آن محاسبه می‌گردد. در جدول ۴-۳۶ بردار ویژه‌ی ماتریس مقایسات زوجی ساختارها (وزن نسبی ساختارها) و رتبه بندی آن‌ها بر اساس ظرفیت ذخیره نمایش داده شده است.

جدول ۴-۳۵ میانگین هندسی مقایسات زوجی ساختارها بر حسب پارامتر ظرفیت ذخیره

میدان	هالوش	ویزنهار	دارابادام	گلمهک	سمند	دیره	انجیر	دره‌بانه	گوار
میانگین هندسی	۰/۵۹۹	۰/۳۶	۰/۵۹۹	۰/۳۶	۳/۰۷	۰/۵۹۹	۱/۹۴	۳/۰۷	۱/۹۴

جدول ۴-۳۶ وزن نسبی و رتبه‌بندی ساختارهای مورد بررسی بر اساس ظرفیت ذخیره

رتبه	وزن نسبی	نام ساختار
۵	۰/۰۴۷۵۸	هالوش
۸	۰/۰۲۸۶۵	ویزنهار
۵	۰/۰۴۷۵۸	دارابادام
۸	۰/۰۲۸۶۵	گلمهک
۱	۰/۲۴۴۶	سمند
۵	۰/۰۴۷۵۸	دیره
۳	۰/۱۵۵۳	انجیر
۱	۰/۲۴۴۶	دره‌بانه
۳	۰/۱۵۵۳	گوار

۵.۴.۴ اولویت‌بندی ساختارهای مورد بررسی از نظر ضخامت پوش‌سنگ

با توجه به بررسی‌های صورت گرفته، اندازه‌ی ضخامت پوش‌سنگ مناسب جهت ذخیره‌سازی دی-اکسیدکربن بیش از ۱۰۰ متر می‌باشد. در واقع حد لازم جهت اطمینان از امنیت ذخیره‌سازی این میزان می‌باشد. در صورتیکه تمام ساختارها در این محدوده قرار گیرند، هرچه ضخامت پوش‌سنگ بیشتر باشد، اطمینان بیشتری برای ذخیره‌سازی ایجاد می‌شود [۳۷]. در جدول ۴-۳۷ ضخامت پوش-سنگ ساختارها آورده شده است. در جدول ۴-۳۸ مقایسات زوجی ساختارها بر اساس پارامتر ضخامت پوش‌سنگ آورده شده است. همانطور که در این جدول مشاهده می‌شود با توجه به اینکه میزان ضخامت در تمام ساختارها از حد مجاز بیشتر است، تاق‌دیس دیره با توجه به بیشترین ضخامت، دارای ضریب مقایسه‌ی بالاتری نسبت به تمام ساختارها می‌باشد. همچنین تاق‌دیس دره‌بانه، کمترین ضریب مقایسه را با توجه به میزان پایین ضخامت پوش سنگ به خود اختصاص داده است.

جدول ۴-۳۷ ضخامت پوش سنگ ساختارهای مورد بررسی

ضخامت پوش سنگ (m)	تأقدیس
۲۸۳	هالوش
۵۲۰	ویزنهار
۳۱۱	دارابادام
۳۰۹	گلمهک
۶۰۰	سمند
۱۰۰۰	دیره
۳۰۷	انجیر
۱۲۸	دره‌بانه
۳۰۳	گوار

برای محاسبه‌ی نرخ ناسازگاری مراحل زیر انجام شده‌است.

الف) محاسبه‌ی شاخص ناسازگاری $I.I.= ۰/۰۰۸$

ب) محاسبه‌ی شاخص ناسازگاری تصادفی^۱ $I.I.R= ۱/۴۵$

پ) محاسبه‌ی نرخ ناسازگاری $I.R.=۰/۰۰۵$

نرخ ناسازگاری کمتر از ۰/۱ می‌باشد. این میزان نشان دهنده‌ی مورد قبول بودن مقایسات است. در مرحله‌ی بعد میانگین هندسی مقایسات محاسبه شده و در جدول ۴-۳۹ آورده شده است. برای محاسبه‌ی وزن نسبی ساختارها، همانند مقایسات پیشین، ماتریس میانگین هندسی ساختارها نرمالیزه شده و بردار ویژه‌ی آن محاسبه می‌گردد.

^۱ این میزان از جدول ۳-۳ برداشته شده است.

جدول ۴-۳۸ مقایسات زوجی ساختارهای مورد بررسی از نظر ضخامت پوش سنگ

	هالوش	ویزنهار	دارابادام	گلمهک	سمند	دیره	انجیر	دره بانه	گوار
هالوش	۱	۰/۳۳	۰/۵	۰/۵	۰/۳۳	۰/۱۴۲	۱/۲	۱	۰/۵
ویزنهار		۱	۲	۲	۱	۰/۲۵	۲	۳	۲
دارابادام			۱	۱	۰/۵	۰/۲	۱	۲	۱
گلمهک				۱	۰/۵	۰/۲	۱	۲	۱
سمند					۱	۰/۲۵	۲	۳	۲
دیره						۱	۵	۷	۵
انجیر							۱	۲	۱
دره بانه								۱	۰/۵
گوار									۱

در جدول ۴-۴۰ بردار ویژه‌ی ماتریس مقایسات زوجی ساختارها (وزن نسبی ساختارها) و رتبه بندی آنها بر اساس ضخامت پوش سنگ مشخص شده است. همانطور که مشاهده می‌شود، تاق‌دیس دی‌ره بیشترین وزن نسبی و در نتیجه بهترین ساختار از نظر ضخامت پوش سنگ می‌باشد. همچنین تاق‌دیس‌های هالوش و دره بانه کمترین میزان بردار ویژه را به خود اختصاص داده و در نتیجه در جایگاه آخر قرار گرفته‌اند.

جدول ۴-۳۹ میانگین هندسی مقایسات زوجی ساختارها بر حسب پارامتر ضخامت پوش سنگ

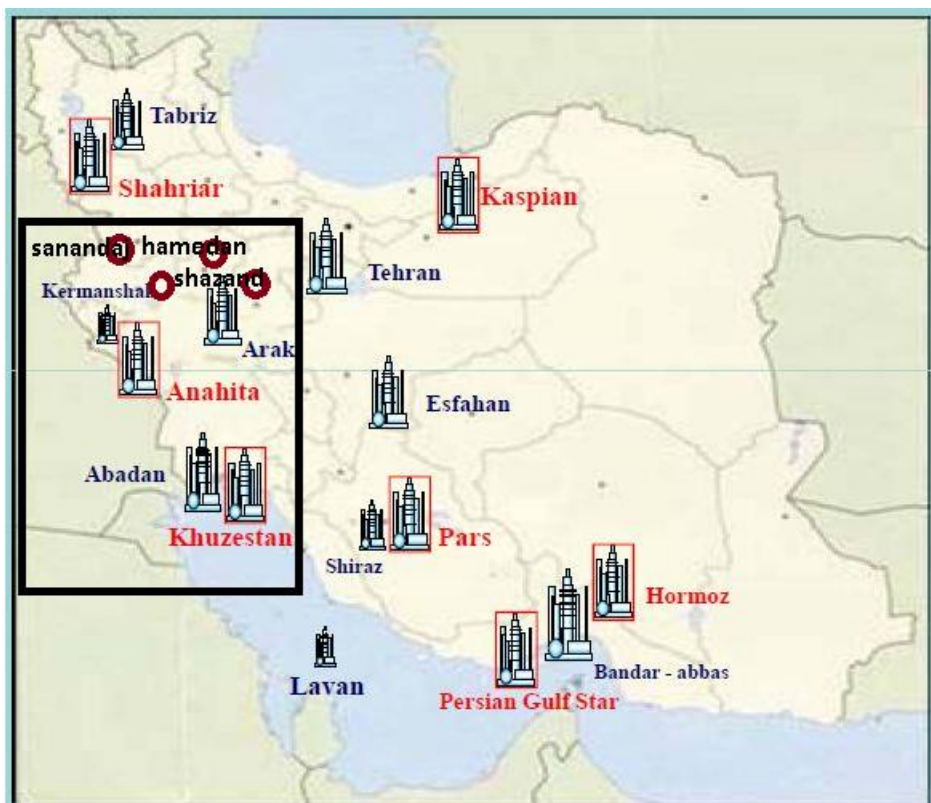
میدان	هالوش	ویزنهار	دارابادام	گلمهک	سمند	دیره	انجیر	دره بانه	گوار
میانگین هندسی	۰/۴۶۳۷	۱/۴۸۹	۰/۸۳۶	۰/۸۳۶	۱/۴۸۹	۴/۲۸۷	۰/۸۳۶	۰/۴۶۳	۰/۸۳۶

جدول ۴-۴۰ وزن نسبی و رتبه‌بندی ساختارهای مورد بررسی بر اساس ضخامت پوشش سنگ

رتبه	وزن نسبی	نام ساختار
۸	۰/۰۴	هالوش
۲	۰/۱۲۸	ویزنهار
۴	۰/۰۷۱۸	دارابادام
۴	۰/۰۷۱۸	گلمهک
۲	۰/۱۲۸	سمند
۱	۰/۳۷۵	دیره
۴	۰/۰۷۱۸	انجیر
۸	۰/۰۴	دره‌بانه
۴	۰/۰۷۱۸	گوار

۶.۴.۴ اولویت‌بندی ساختارهای مورد بررسی از نظر فاصله از منبع انتشار

برای مشخص شدن فاصله‌ی ساختارهای مورد بررسی تا منابع انتشار دی‌اکسیدکربن، ابتدا پالایشگاه‌ها و نیروگاه‌های موجود در جوار شهرهای لرستان، کرمانشاه، اراک، همدان و خوزستان مشخص گردیده است. در شکل ۴-۲ نشان دهنده‌ی موقعیت پالایشگاه‌های موجود در ایران معین شده است. محدوده‌ی مورد مطالعه با کادر مشکی رنگ مشخص شده است. همانطور که مشاهده می‌شود، در این محدوده پالایشگاه‌های آناهیتا در ایلام، کرمانشاه، شازند اراک، آبادان و خوزستان قرار دارند. پالایشگاه خوزستان نسبت به سایر پالایشگاه فاصله‌ی بسیار زیادی تا ساختارهای مورد بررسی دارد، لذا در محاسبات محسوب نمی‌شود. همچنین در این محدوده، نیروگاه‌های شازند اراک، بیستون کرمانشاه، مفتاح همدان و قلیان سمنج با دایره‌هایی قرمز رنگ مشخص شده‌اند.



شکل ۴-۲ پالایشگاه‌ها و نیروگاه‌های موجود در غرب کشور.

با توجه به مشخص شدن نیروگاه‌ها و پالایشگاه‌های موجود در منطقه‌ی مورد بررسی در جداول ۴-۴۱ و ۴-۴۲ میزان فاصله‌ی تأقدیس‌های مورد بررسی تا منابع انتشار مشخص شده است. با توجه به این جداول و جدول ۴-۴۳ نزدیکترین منبع انتشار در مجاورت تأقدیس هالوش، پالایشگاه کرمانشاه با فاصله‌ی ۲۰۰ متر می‌باشد؛ برای تأقدیس‌های ویزنهار و دارابادام پالایشگاه کرمانشاه به ترتیب با فاصله‌ی ۱۷۴ و ۷۰ کیلومتر نزدیکترین منبع انتشار می‌باشد.

پالایشگاه آبادان با فاصله‌ی تقریبی ۲۸۰ کیلومتر با تأقدیس گلمهک، نزدیکترین منبع انتشار در مجاورت این تأقدیس است. نزدیکترین منبع انتشار به تأقدیس‌های سمند، دیره، انجیر، دره‌بانه و گوار پالایشگاه ایلام به ترتیب با فاصله‌ی تقریبی ۲۰۰، ۱۴۰، ۱۷۱، ۲۶۰ و ۵۴ کیلومتر می‌باشد. با توجه به اینکه تمامی فواصل کمتر از حد بیان شده در فصل سوم، ۳۰۰ کیلومتر می‌باشد. ساختاری که کمترین فاصله با این منابع را داشته باشد، مناسب‌تر می‌باشد. به همین جهت تأقدیس انجیر و سپس گوار مناسب‌ترین ساختارها از نظر فاصله تا منبع انتشار می‌باشند. همانطور که در جدول ۴-۴۴

مشاهده می‌شود، گلمهک و دره‌بانه کمترین ضرایب مقایسه را به خود اختصاص داده‌اند. در ادامه نیز نرخ ناسازگاری این مقایسات زوجی محاسبه شده است.

الف) محاسبه‌ی شاخص ناسازگاری $I.I.= ۰/۰۱۹$

ب) محاسبه‌ی شاخص ناسازگاری تصادفی^۱ $I.I.R= ۱/۴۵$

پ) محاسبه‌ی نرخ ناسازگاری $I.R.=۰/۰۱۳$

نرخ ناسازگاری کمتر از ۰/۱ (۱۰٪) می‌باشد. این میزان نشان دهنده‌ی مورد قبول بودن مقایسات زوجی است. در جدول ۴-۴۵ میانگین هندسی مقایسات زوجی این پارامتر آورده شده است.

جدول ۴-۴۱ فاصله‌ی پالایشگاه‌های غرب کشور با ساختارهای مورد بررسی بر حسب کیلومتر

میدان	پالایشگاه ایلام	پالایشگاه کرمانشاه	پالایشگاه شازند	پالایشگاه آبادان
هالوش	۱۸۰	۱۷۴	۲۴۱	۴۷۵
ویزنهار	۵۴	۱۳۶	۳۵۰	۵۵۸
داراآبادام	۲۱۲	۲۰۰	۲۵۶	۴۱۷
گلمهک	۱۷,۱	۲۳۰	۴۹۸	۵۴۸
سمند	۱۰۰	۷۰	۳۳۹	۵۷۳
دیره	۲۶۰	۲۵۹	۳۲۰	۴۴۰
انجیر	۲۰۰	۳۷۳	۴۶۰	۳۸۰
دره‌بانه	۱۴۰	۱۵۳	۴۲۲	۶۵۵
گوار	۳۳۹	۳۲۳	۳۳۲	۲۸۰

همانطور که در فصل سوم به تفصیل شرح داده شد، فاصله‌ی ساختار با منبع انتشار گاز در صورتیکه از ۳۰۰ کیلومتر بیشتر باشد، ذخیره سازی در این تاکدیس از نظر اقتصادی به صرفه نمی‌باشد.

^۱ این میزان از جدول ۳-۳ برداشته شده است.

جدول ۴-۴۲ فاصله‌ی نیروگاه‌های غرب کشور با ساختارهای مورد بررسی بر حسب کیلومتر

میدان	نیروگاه شازند	نیروگاه بیستون	نیروگاه مفتح	نیروگاه سنندج
هالوش	۲۴۰	۲۰۵	۳۹۱	۳۰۰
ویزنهار	۲۵۶	۲۳۸	۴۰۷	۳۳۹
دارابادام	۴۲۲	۱۸۴	۳۸۷	۲۸۸
گلمهک	۳۲۰	۲۸۶	۴۷۰	۳۸۰
سمند	۳۳۹	۱۰۰	۳۰۴	۱۹۰
دیره	۳۳۲	۳۵۰	۴۸۲	۴۵۰
انجیر	۴۶۰	۴۰۰	۶۱۱	۴۹۹
دره‌بانه	۴۹۸	۲۶۰	۴۰۹	۳۰۰
گوار	۳۵۰	۱۹۰	۳۷۱	۲۶۰

جدول ۴-۴۳ نزدیکترین فاصله‌ی ساختارهای غرب کشور تا منابع انتشار.

میدان	نزدیکترین فاصله تا منبع انتشار (km)
هالوش	۲۰۰
ویزنهار	۱۷۴
دارابادام	۷۰
گلمهک	۲۸۰
سمند	۲۰۰
دیره	۱۴۰
انجیر	۱۷/۱
دره‌بانه	۲۶۰
گوار	۵۴

جدول ۴-۴ مقایسات زوجی ساختارهای مورد بررسی از نظر فاصله تا منبع انتشار

	هالوش	ویزنهار	دارابادام	گلمهک	سمند	دیره	انجیر	دره‌بانه	گوار
هالوش	۱	۰/۵	۰/۳۳	۲	۱	۰/۵	۰/۲۵	۲	۰/۳۳
ویزنهار		۱	۰/۵	۳	۲	۱	۰/۳۳	۳	۰/۵
دارابادام			۱	۴	۳	۲	۰/۵	۴	۱
گلمهک				۱	۰/۵	۰/۳۳	۰/۱۶۶	۱	۰/۲
سمند					۱	۱/۲	۰/۲	۲	۰/۲۵
دیره						۱	۰/۳۳	۳	۰/۵
انجیر							۱	۶	۲
دره‌بانه								۱	۰/۲
گوار									۱

جدول ۴-۵ میانگین هندسی مقایسات زوجی ساختارها

میدان	هالوش	ویزنهار	دارابادام	گلمهک	سمند	دیره	انجیر	دره‌بانه	گوار
میانگین هندسی	۰/۶۳۴۴	۱/۰۴۶	۲/۲۴۳۵	۰/۴۰۴۴	۰/۶۳۴۴	۱/۰۴۶	۳/۳۸	۰/۴۰۴۴	۲/۲۴۳۵

در مرحله‌ی بعد میانگین هندسی مقایسات نرمالیزه شده و در نتیجه وزن نسبی ساختارها نسبت به پارامتر فاصله از منبع انتشار محاسبه می‌گردد. بردار ویژه‌ی این مقایسات و رتبه بندی ساختارها در جدول ۴-۴ آورده شده است. همانطور که پیش‌تر گفته شده است، تاق‌دیس‌های گلمهک و دره‌بانه فاصله‌ی بیشتری تا منابع انتشار خود داشته لذا آخرین اولویت ساختاری بر اساس فاصله از منبع انتشار می‌باشند.

جدول ۴-۴ وزن نسبی و رتبه‌بندی ساختارها بر اساس فاصله از منبع انتشار

رتبه بندی	وزن نسبی	میدان
۶	۰/۰۶۰	هالوش
۴	۰/۱۰۱	ویزنهار
۲	۰/۱۶۸	دارابادام
۸	۰/۰۳۷	گلمهک
۶	۰/۰۶۰	سمند
۴	۰/۱۰۱	دیره
۱	۰/۲۶۳	انجیر
۸	۰/۰۳۷	دره‌بانه
۲	۰/۱۶۸	گوار

۷.۴.۴ اولویت‌بندی ساختارهای مورد بررسی از نظر تراوایی

در بررسی‌های صورت گرفته بر مخازن ماسه سنگی میزان تراوایی مناسب جهت ذخیره‌سازی دی-اکسیدکربن، بیشتر از ۳۰۰ میلی داری می‌باشد [۵۲]. با توجه به عدم بررسی بر روی مخازن کربناته حدود این مخازن مشخص نمی‌باشد. با این وجود میزان تراوایی میادین مورد بررسی ما کمتر از این میزان می‌باشد، اما با توجه به کربناته بودن مخازن غرب کشور، از این حدود صرف نظر کرده و ساختاری که بیشترین میزان تراوایی را دارد، مناسب قلمداد می‌شود. جدول ۴-۴۷ میزان تراوایی ساختارهای مورد بررسی را نشان می‌دهد.

جدول ۴-۴۸ نشان دهنده‌ی مقایسات زوجی ساختارها بر اساس پارامتر تراوایی می‌باشد. همانطور که در این جدول مشاهده می‌شود با توجه به اینکه میزان تراوایی ساختارهای دیره، گلمهک، دره‌بانه، ویزنه‌ار و هالوش کمتر از ۱۰٪ است، این تاقدیس‌ها ضرایب پایینی را به خود اختصاص داده‌اند. برای محاسبه‌ی نرخ ناسازگاری مراحل زیر انجام شده‌است.

الف) محاسبه‌ی شاخص ناسازگاری $I.I. = \bullet$

ب) محاسبه‌ی شاخص ناسازگاری تصادفی^۱

$$I.I.R = 1/45$$

پ) محاسبه‌ی نرخ ناسازگاری

$$I.R. = 0$$

نرخ ناسازگاری صفر می‌باشد که نشان می‌دهد ماتریس مقایسات کاملاً سازگار است. در مرحله‌ی بعد میانگین هندسی مقایسات محاسبه شده و در جدول ۴-۴۹ آورده شده است. سپس میانگین هندسی مقایسات نرمالیزه شده و در نتیجه وزن نسبی ساختارها نسبت به پارامتر تراوایی محاسبه شده است. بردار ویژه‌ی این مقایسات و رتبه بندی ساختارها در جدول ۴-۵۰ آورده شده است.

جدول ۴-۴۷ تراوایی ساختارهای مورد بررسی

تراوایی (mD)	تأقدیس
۱۰	هالوش
۳	ویزنهار
۳۰	دارابادام
۶	گلمهک
۲۰	سمند
۱	دیره
۳۰	انجیر
۶	دره‌بانه
۲۰	گوار

^۱ این میزان از جدول ۳-۳ برداشته شده است.

جدول ۴-۴۸ مقایسات زوجی ساختارها بر حسب پارامتر تراوایی

	هالوش	ویزنهار	دارابادام	گلمهک	سمند	دیره	انجیر	دره‌بانه	گوار
هالوش	۱	۱	۰/۵	۱	۰/۵	۱	۰/۵	۱	۰/۵
ویزنهار		۱	۰/۵	۱	۰/۵	۱	۰/۵	۱	۰/۵
دارابادام			۱	۲	۱	۲	۱	۲	۱
گلمهک				۱	۰/۵	۱	۰/۵	۱	۰/۵
سمند					۱	۲	۱	۲	۱
دیره						۱	۰/۵	۱	۰/۵
انجیر							۱	۲	۱
دره‌بانه								۱	۰/۵
گوار									۱

جدول ۴-۴۹ میانگین هندسی مقایسات زوجی ساختارها بر اساس پارامتر تراوایی

میدان	میانگین هندسی
هالوش	۰/۷۳۴
ویزنهار	۰/۷۳۴
دارابادام	۱/۴۶۹
گلمهک	۰/۷۳۴
سمند	۱/۴۶۹
دیره	۰/۷۳۴
انجیر	۱/۴۶۹
دره‌بانه	۰/۷۳۴
گوار	۱/۴۶۹

جدول ۴-۵۰ وزن نسبی و رتبه‌بندی ساختارها بر اساس تراوایی

میدان	وزن نسبی	رتبه بندی
هالوش	۰/۰۷۶۹	۵
ویزنهار	۰/۰۷۶۹	۵
دارابادام	۰/۱۵۳	۱
گلمهک	۰/۰۷۶۹	۵
سمند	۰/۱۵۳	۱
دیره	۰/۰۷۶۹	۵
انجیر	۰/۱۵۳	۱
دره‌بانه	۰/۰۷۶۹	۵
گوار	۰/۱۵۳	۱

۸.۴.۴ اولویت‌بندی ساختارهای مورد بررسی از نظر فشار

فشار لازم جهت ذخیره‌سازی دی‌اکسیدکربن، 2500 psi می‌باشد. در واقع ساختاری به منظور ذخیره‌سازی مناسب می‌باشد، که فشار آن بالاتر از 2500 psi باشد [۳۷]. همانطور که در جدول ۴-۵۱ مشاهده می‌شود، فشار مربوط به ساختارهای دارابادام، سمند، دیره و انجیر بالاتر از 2500 psi بوده و در نتیجه مناسب ترین ساختارها از جهت فشار می‌باشند.

جدول ۴-۵۲ نشان دهنده‌ی مقایسات زوجی ساختارها بر اساس پارامتر فشار می‌باشد. همانطور که در این جدول مشاهده می‌شود، با توجه به اینکه فشار تاقدیس‌های گلمهک، دره‌بانه، گوار، ویزنهار، دیره و هالوش کمتر از حد مناسب جهت ذخیره‌سازی می‌باشند، ضریب مقایسه‌ی پایینی را به خود اختصاص داده‌اند. در میان سایر ساختارها، تاقدیس انجیر بیشترین فشار را دارا بوده و در نتیجه دارای بالاترین ضریب مقایسه می‌باشد.

جدول ۴-۵۱ داده‌های فشاری ساختارهای مورد بررسی

فشار (psi)	تاق‌دیس
۱۴۸۰	هالوش
۲۲۵۵	ویزنهار
۵۶۰۹	دارابادام
ضعیف*	گلمهک
۵۷۳۵	سمند
۱۰۲۷	دیره
۶۵۰۰	انجیر
ضعیف*	دره‌بانه
۲۳۱۷	گوار

*در گزارشات مربوطه از فشار این ساختارها با عنوان ضعیف یاد شده است؛ لذا به منظور مقایسات این میزان کمتر از ۲۵۰۰ psi فرض شده است.

برای محاسبه‌ی نرخ ناسازگاری مراحل زیر انجام شده‌است.

$$I.I.= ۰/۰۱۴$$

الف) محاسبه‌ی شاخص ناسازگاری

$$I.I.R= ۱/۴۵$$

ب) محاسبه‌ی شاخص ناسازگاری تصادفی^۱

$$I.R.=۰/۰۰۹$$

پ) محاسبه‌ی نرخ ناسازگاری

نرخ ناسازگاری کمتر از ۰,۱ می‌باشد که نشان می‌دهد ماتریس مقایسات زوجی مورد قبول می‌باشد. میانگین هندسی مقایسات محاسبه شده و در جدول ۴-۵۳ آورده شده است. در مرحله‌ی بعد میانگین هندسی مقایسات نرمالیزه شده و در نتیجه وزن نسبی ساختارها نسبت به پارامتر تراوایی محاسبه شده و بردار ویژه‌ی این مقایسات و رتبه بندی ساختارها در جدول ۴-۵۴ آورده شده است.

^۱ این میزان از جدول ۳-۳ برداشته شده است.

جدول ۴-۵۲ مقایسات زوجی ساختارها بر حسب پارامتر فشار

گوار	دره‌بانه	انجیر	دیره	سمند	گلمهک	دارابادام	ویزنهار	هالوش	
۰/۵	۱	۰/۱۱۱	۱	۰/۱۴۲	۱	۰/۱۴۲	۰/۵	۱	هالوش
۱	۲	۰/۱۲۵	۲	۰/۱۶۶	۲	۰/۱۶۶	۱		ویزنهار
۶	۷	۰/۵	۷	۱	۷	۱			دارابادام
۰/۵	۱	۰/۱۱۱	۱	۰/۱۴۲	۱				گلمهک
۶	۷	۰/۵	۷	۱					سمند
۰/۵	۱	۰/۱۱۱	۱						دیره
۸	۹	۱							انجیر
۰/۵	۱								دره‌بانه
۱									گوار

جدول ۴-۵۳ میانگین هندسی مقایسات زوجی ساختارها بر اساس پارامتر فشار

میدان	میانگین هندسی
هالوش	۰/۴۳۵
ویزنهار	۰/۴۲۵
دارابادام	۳/۲۷۳
گلمهک	۰/۴۳۵
سمند	۳/۲۷۳
دیره	۰/۴۳۵
انجیر	۴/۹۱۶
دره‌بانه	۰/۴۳۵
گوار	۰/۷۳۵

جدول ۴-۵۴ وزن نسبی و رتبه‌بندی ساختارها بر اساس فشار

رتبه بندی	وزن نسبی	میدان
۶	۰/۰۲۹	هالوش
۴	۰/۰۴۹	ویزنهار
۲	۰/۲۲۲	دارابادام
۶	۰/۰۲۹	گلمهک
۲	۰/۲۲۲	سمند
۶	۰/۰۲۹	دیره
۱	۰/۳۳	انجیر
۶	۰/۰۲۹	دره‌بانه
۴	۰/۰۴۹	گوار

۹.۴.۴ اولویت‌بندی ساختارهای مورد بررسی از نظر وجود گسل در پوش سنگ

وجود گسل در پوش سنگ از جمله پارامترهایی است که برای اطمینان از عدم فرار گاز ذخیره‌شده مورد توجه می‌باشد. ممکن است در ساختاری گسل‌های متعددی بر روی سازندهای مخزنی و یا سایر سازندها وجود داشته باشد، اما این گسل‌ها جایی مورد بحث قرار می‌گیرند که در سازند پوش سنگی بوده و سبب نشت گاز به لایه‌های دیگر شوند [۳۷]. همانطور که جدول ۴-۵۵ نشان می‌دهد، در پوش سنگ ساختارهای انجیر و ویزنهار گسلی وجود دارد که اطمینان ذخیره‌سازی را به خطر می‌اندازد.

در جدول ۴-۵۶ مقایسات زوجی ساختارها بر اساس وجود گسل در پوش سنگ آورده شده است. همانطور که در این جدول مشاهده می‌شود، با توجه به وجود گسل در ساختارهای ویزنهار و انجیر، این ساختارها ضریب مقایسه‌ی پایینی را به خود اختصاص داده‌اند.

جدول ۴-۵۵ اطلاعات مربوط به وجود گسل در سازند پوش سنگی

تاقديس	وجود گسل در پوش سنگ
هالوش	عدم وجود گسل
ویزنهار	وجود گسل
دارابادام	عدم وجود گسل
گلمهک	عدم وجود گسل
سمند	عدم وجود گسل
دیره	عدم وجود گسل
انجیر	وجود گسل
دره بانه	عدم وجود گسل
گوار	عدم وجود گسل

جدول ۴-۵۶ مقایسات زوجی ساختارها بر حسب پارامتر وجود گسل در پوش سنگ

	هالوش	ویزنهار	دارابادام	گلمهک	سمند	دیره	انجیر	دره بانه	گوار
هالوش	۱	۹	۱	۱	۱	۱	۹	۱	۱
ویزنهار		۱	۰/۱۱۱	۰/۱۱۱	۰/۱۱۱	۰/۱۱۱	۱	۰/۱۱۱	۰/۱۱۱
دارابادام			۱	۱	۱	۱	۹	۱	۱
گلمهک				۱	۱	۱	۹	۱	۱
سمند					۱	۱	۹	۱	۱
دیره						۱	۹	۱	۱
انجیر							۱	۰/۱۱۱	۰/۱۱۱
دره بانه								۱	۱
گوار									۱

برای محاسبه‌ی نرخ ناسازگاری مراحل زیر انجام شده است.

الف) محاسبه‌ی شاخص ناسازگاری $I.I.=0$

ب) محاسبه‌ی شاخص ناسازگاری تصادفی^۱ $I.I.R=1/45$

پ) محاسبه‌ی نرخ ناسازگاری $I.R.=0$

نرخ ناسازگاری صفر می‌باشد که نشان می‌دهد ماتریس مقایسات کاملاً سازگار است. در مرحله-
ی بعد میانگین هندسی مقایسات محاسبه شده و در جدول ۴-۵۷ آورده شده است.

جدول ۴-۵۷ میانگین هندسی مقایسات زوجی ساختارها بر اساس وجود گسل در پوش سنگ

میدان	میانگین هندسی
هالوش	۱/۶۲۹
ویزنهار	۰/۱۸۱
دارابادام	۱/۶۲۹
گلمهک	۱/۶۲۹
سمند	۱/۶۲۹
دیره	۱/۶۲۹
انجیر	۰/۱۸۱
دره‌بانه	۱/۶۲۹
گوار	۱/۶۲۹

سپس میانگین هندسی مقایسات نرمالیزه شده و در نتیجه وزن نسبی ساختارها نسبت به پارامتر
وجود گسل محاسبه شده است. بردار ویژه‌ی این مقایسات و رتبه بندی ساختارها در جدول ۴-۵۸
آورده شده است.

^۱ این میزان از جدول ۳-۳ برداشته شده است.

جدول ۴-۵۸ وزن نسبی و رتبه‌بندی ساختارها از نظر وجود گسل در پوش سنگ

میدان	وزن نسبی	رتبه بندی
هالوش	۰/۱۳۸	۱
ویزنهار	۰/۰۱۵	۸
دارابادام	۰/۱۳۸	۱
گلمهک	۰/۱۳۸	۱
سمند	۰/۱۳۸	۱
دیره	۰/۱۳۸	۱
انجیر	۰/۰۱۵	۸
دره‌بانه	۰/۱۳۸	۱
گوار	۰/۱۳۸	۱

۵.۴ وزن نهایی ساختارها

با توجه به اینکه وزن پارامترهای ضروری جهت ذخیره‌سازی و وزن نسبی ساختارها نسب به آن به دست آمده است، در این مرحله با ترکیب کردن این دو مقدار، وزن نهایی ساختارها مشخص می‌گردد. از آنجا که وزن معیارها، منعکس کننده‌ی اهمیت آن‌ها در تعیین هدف بوده و وزن هر گزینه نسبت به معیارها سهم آن گزینه در معیار مربوطه می‌باشد، به سهولت می‌توان گفت که وزن نهایی هر گزینه از مجموع حاصل ضرب وزن هر معیار در وزن گزینه‌ی مربوطه از آن معیار به دست می‌آید [۵۰]. در جدول ۴-۵۹ وزن ساختارها نسبت به معیارهای ذخیره‌سازی به طور خلاصه آورده شده است.

در مرحله‌ی آخر با توجه به وزن‌های بدست آمده، وزن نهایی هر گزینه از مجموع حاصلضرب وزن اهمیت پارامترها در وزن گزینه‌ها به دست می‌آید. در ادامه نحوه‌ی محاسبات وزن نهایی گزینه‌ها آورده شده است.

جدول ۴-۵۹ وزن نسبی ساختارها نسبت به پارامترهای ضروری جهت ذخیره سازی

وجود گسل	فشار	تراوایی	فاصله از منبع	ضخامت پوش سنگ	ظرفیت ذخیره	ضخامت مخزن	تخلخل	عمق	
۰/۱۳۸	۰/۰۲۹	۰/۰۷۶۹	۰/۰۶۰	۰/۰۴	۰/۴۷۵۷	۰/۰۵۶۸۸	۰/۱۰۰۱	۰/۱۹۹	هالوش
۰/۰۱۵	۰/۰۴۹	۰/۰۷۶۹	۰/۱۰۱	۰/۱۲۸	۰/۰۲۸۶۵	۰/۰۵۶۸۸	۰/۰۱۵۹۹	۰/۰۳۰۲	ویزنهار
۰/۱۳۸	۰/۲۲۲	۰/۱۵۳	۰/۱۶۸	۰/۰۷۱۸	۰/۰۴۷۵۸	۰/۰۵۶۸۸	۰/۱۹۱۴	۰/۱۴۴	دارابادام
۰/۱۳۸	۰/۰۲۹	۰/۰۷۶۹	۰/۰۳۷	۰/۰۷۱۸	۰/۰۲۸۶۵	۰/۰۵۶۸۸	۰/۱۰۰۱	۰/۰۱۴	گلمهک
۰/۱۳۸	۰/۲۲۲	۰/۱۵۳	۰/۰۶۰	۰/۱۲۸	۰/۲۴۴۶	۰/۱۰۵۳	۰/۱۰۰۱	۰/۰۲۳	سمند
۰/۱۳۸	۰/۰۲۹	۰/۰۷۶۹	۰/۱۰۱	۰/۳۷۵	۰/۰۴۷۵۸	۰/۱۰۵۳	۰/۱۰۰۱	۰/۱۱۱	دیره
۰/۰۱۵	۰/۳۳	۰/۱۵۳	۰/۲۶۳	۰/۰۷۱۸	۰/۱۵۵۳	۰/۲۷۵۷	۰/۱۰۰۱	۰/۰۱۸	انجیر
۰/۱۳۸	۰/۰۲۹	۰/۰۷۶۹	۰/۰۳۷	۰/۰۴	۰/۲۴۴۶	۰/۱۸۰۵	۰/۱۰۰۱	۰/۲۶۹	دره بانه
۰/۱۳۸	۰/۰۴۹	۰/۱۵۳	۰/۱۶۸	۰/۰۷۱۸	۰/۱۵۵۳	۰/۱۰۵۳	۰/۱۰۰۱	۰/۱۸۸	گوار

وزن نهایی تاقدیس هالوش:

$$\begin{aligned}
 & (0/3077 \times 0/199) + (0/5023 \times 0/1001) + (0/713 \times 0/0568) + (1/046 \times 0/475) + (1/9529 \times 0/04) + \\
 & (3/9511 \times 0/06) + (0/9871 \times 0/0769) + (0/6041 \times 0/029) + (2/88 \times 0/138) = 1/00769
 \end{aligned}$$

وزن نهایی تاقدیس ویزنه‌ار:

$$\begin{aligned}
 & (0/3077 \times 0/0302) + (0/5023 \times 0/01599) + (0/713 \times 0/0568) + (1/046 \times 0/0286) + (1/9529 \times 0/128) + \\
 & (3/9511 \times 0/101) + (0/9871 \times 0/0769) + (0/6041 \times 0/049) + (2/88 \times 0/015) = 0/8856
 \end{aligned}$$

وزن نهایی تاقدیس دارابادام:

$$\begin{aligned}
 & (0/3077 \times 0/144) + (0/5023 \times 0/1914) + (0/713 \times 0/0568) + (1/046 \times 0/475) + (1/9529 \times 0/0718) + \\
 & (3/9511 \times 0/168) + (0/9871 \times 0/153) + (0/6041 \times 0/222) + (2/88 \times 0/138) = 1/717
 \end{aligned}$$

وزن نهایی تاقدیس گلمهک:

$$\begin{aligned} & (0/3077 \times 0/014) + (0/5023 \times 0/1001) + (0/713 \times 0/0568) + (1/046 \times 0/0286) + (1/9529 \times 0/0718) + \\ & (3/9511 \times 0/037) + (0/9871 \times 0/0769) + (0/6041 \times 0/029) + (2/88 \times 0/138) = 0/902 \end{aligned}$$

وزن نهایی تاقدیس سمند

$$\begin{aligned} & (0/3077 \times 0/023) + (0/5023 \times 0/1001) + (0/713 \times 0/1053) + (1/046 \times 0/2446) + (1/9529 \times 0/128) + \\ & (3/9511 \times 0/06) + (0/9871 \times 0/153) + (0/6041 \times 0/222) + (2/88 \times 0/138) = 1/5579 \end{aligned}$$

وزن نهایی تاقدیس دیره

$$\begin{aligned} & (0/3077 \times 0/111) + (0/5023 \times 0/1001) + (0/713 \times 0/1053) + (1/046 \times 0/0475) + (1/9529 \times 0/375) + \\ & (3/9511 \times 0/101) + (0/9871 \times 0/0769) + (0/6041 \times 0/029) + (2/88 \times 0/138) = 1/8316 \end{aligned}$$

وزن نهایی تاقدیس انجیر

$$\begin{aligned} & (0/3077 \times 0/018) + (0/5023 \times 0/1001) + (0/713 \times 0/2757) + (1/046 \times 0/1553) + (1/9529 \times 0/0718) + \\ & (3/9511 \times 0/263) + (0/9871 \times 0/153) + (0/6041 \times 0/33) + (2/88 \times 0/015) = 1/9878 \end{aligned}$$

وزن نهایی تاقدیس دره‌بانه

$$\begin{aligned} & (0/3077 \times 0/018) + (0/5023 \times 0/1001) + (0/713 \times 0/2757) + (1/046 \times 0/1553) + (1/9529 \times 0/0718) + \\ & (3/9511 \times 0/263) + (0/9871 \times 0/0769) + (0/6041 \times 0/029) + (2/88 \times 0/138) = 1/2328 \end{aligned}$$

وزن نهایی تاقدیس گوار

$$\begin{aligned} & (0/3077 \times 0/018) + (0/5023 \times 0/1001) + (0/713 \times 0/2757) + (1/046 \times 0/1553) + (1/9529 \times 0/0718) + \\ & (3/9511 \times 0/263) + (0/9871 \times 0/153) + (0/6041 \times 0/049) + (2/88 \times 0/138) = 1/727 \end{aligned}$$

همانطور که در جدول ۴-۶ مشاهده می‌شود، وزن نهایی تاقدیس انجیر بیشتر بوده، از همین

رو این ساختار اولین اولویت ما برای ذخیره‌سازی دی‌اکسیدکربن در منطقه‌ی غرب کشور محسوب

می‌شود. پس از آن تاقدیس‌های دیره، گوار و دارابادام در رتبه‌های بعدی قرار می‌گیرند.

جدول ۴-۶۰ وزن نهایی و رتبه بندی تاقدیس‌های مورد بررسی در غرب کشور

رتبه‌بندی نهایی	وزن نهایی	تاقدیس
۷	۱/۰۰۷۶۹	هالوش
۹	۰/۸۸۵۶	ویزنهار
۴	۱/۷۱۷	دارابادام
۸	۰/۹۰۲	گلمهک
۵	۰/۵۵۷۹	سمند
۲	۱/۸۳۱۶	دیره
۱	۱/۹۸۷۸	انجیر
۶	۱/۲۳۲۸	دره‌بانه
۳	۱/۷۲۷	گوار

۶.۴ محاسبه‌ی نرخ ناسازگاری سلسله مراتبی

برای محاسبه‌ی نرخ ناسازگاری یک سلسله مراتبی، شاخص ناسازگاری هر ماتریس $I.I$ را در وزن عنصر مربوطه ضرب نموده و حاصل جمع آن‌ها را با $\overline{I.I}$ نمایش می‌دهیم. همچنین وزن عناصر را در $I.I.R$ ماتریس‌های مربوطه ضرب کرده و مجموعشان را به دست می‌آوریم. این مجموع را با $\overline{I.I.R}$ نمایش می‌دهیم. حاصل تقسیم این دو مقدار را نرخ ناسازگاری سلسله مراتبی می‌گویند. در جدول ۴-۶۱ حاصلضرب وزن عناصر مربوطه در میزان شاخص ناسازگاری و ناسازگاری تصادفی ماتریس‌ها مشخص شده است. پس از آن در مرحله‌ی بعد برای به دست آمدن نرخ ناسازگاری سلسله مراتبی لازم است این مقادیر جمع شده و میزان $I.I$ و $\overline{I.I.R}$ مشخص شود که در نهایت مراحل محاسبه‌ی نرخ ناسازگاری سلسله مراتبی در جدول ۴-۶۲ مشخص شده است. همانطور که مشاهده می‌شود نرخ ناسازگاری سلسله مراتبی برابر با $۰/۰۰۸$ بوده و کمتر از $۰/۱$ است که در نتیجه‌ی آن اعتبار پاسخ دهنده‌ها تایید می‌شود.

جدول ۴-۶۱ میزان شاخص ناسازگاری و ناسازگاری تصادفی ماتریس‌ها بر اساس وزن نسبی پارامترها

پارامتر	عمق	تخلخل	ضخامت مخزن	ظرفیت ذخیره	ضخامت پوش سنگ	فاصله از منبع	تراوایی	فشار	وجود گسل
$I.I \times W^1$	۰/۰۲۴۷	۰/۰۱۹۱	۰/۰۰۴۲	۰/۰۱۲۵	۰/۰۱۵۶	۰/۰۷۵	۰	۰/۰۰۸	۰
$I.I.R \times W$	۰/۴۴۶۲	۰/۷۲۸	۱/۰۳۳	۱/۵۱۶	۲/۸۳۱	۵/۷۲۹	۱/۴۳۱۲	۰/۸۷۵	۴/۱۷۶

جدول ۴-۶۲ روند محاسبات نرخ ناسازگاری سلسله مراتبی

۰/۱۵۹۶	$\overline{I.I}$
۱۸/۷۶۶	$\overline{I.I.R}$
۰/۰۰۸	نرخ ناسازگاری سلسله مراتبی

۷.۴ جمع‌بندی

با توجه به روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی، پارامترهای فاصله‌ی ساختار تا منبع انتشار دی-اکسیدکربن و عدم وجود گسل در پوش‌سنگ مهم‌ترین پارامترهای ضروری جهت ذخیره‌سازی دی-اکسیدکربن می‌باشند. ضخامت پوش‌سنگ، ظرفیت ذخیره و تراوایی با وزن نسبی کمتر در جایگاه دوم قرار گرفته‌اند. در انتها نیز پارامتر عمق با کم‌ترین میزان وزن نسبی در رتبه‌ی آخر قرار گرفته است. بر همین اساس رتبه‌بندی ساختارها شکل گرفته است به طوریکه ساختارهای انجیر و دیره با توجه به فاصله‌ی مناسب و سایر پارامترهای مناسب در اولویت اول ذخیره‌سازی قرار گرفته‌اند. ساختارهای گوار، دارابادام و سمند در رتبه‌ی دوم قرار گرفته لذا پس از انجیر و دیره در اولویت دوم ذخیره‌سازی قرار دارند. در انتها ساختارهای هالوش، گلمهک و ویزنهار در رتبه‌ی آخر اولویت‌بندی قرار گرفته و این حاکی از وزن نسبی کم آن‌ها به علت پایین بودن میزان پارامترهای تاثیرگذار آن‌ها است.

^۱ منظور از W وزن نسبی هر یک از پارامترها می‌باشد.

فصل پنجم

نتیجه‌گیری و پیشنهادات

۱.۵ نتیجه‌گیری

بررسی‌های صورت گرفته در این پایان‌نامه حاکی از آن است که فاصله‌ی ساختار تا منبع انتشار دی-اکسیدکربن، اولویت اول جهت انتخاب مکان مناسب برای ذخیره‌سازی دی‌اکسیدکربن است. این پارامتر هزینه‌های لازم جهت انتقال گاز منتشره تا محل ذخیره را کاهش داده و عملیات ذخیره‌سازی را اقتصادی می‌کند. پس از آن وجود گسل در پوش‌سنگ دومین پارامتر تعیین کننده و ضروری می‌باشد. ضخامت پوش‌سنگ و ظرفیت ذخیره به ترتیب در جایگاه‌های سوم و چهارم قرار گرفته و ذخیره‌سازی را از جهت امنیت و مسائل اقتصادی تحت پوشش قرار می‌دهند. پارامترهای پتروفیزیکی مخزن از جمله تراوایی و همچنین ضخامت مخزن مورد بررسی، رتبه‌های پنجم و ششم را به خود اختصاص داده‌اند. در انتها، سه پارامتر فشار، تخلخل و عمق با اهمیت کمتری نسبت به سایر پارامترها در رتبه‌های هفت، هشت و نهم قرار گرفته‌اند.

در میان ساختارهای مورد بررسی در غرب کشور، تاقدیس انجیر مناسب‌ترین ساختار جهت ذخیره‌سازی دی‌اکسیدکربن می‌باشد. با توجه به فاصله‌ی کم این ساختار تا پالایشگاه ایلام، اهمیت این تاقدیس نسبت به سایر ساختارها بیشتر بوده و در نتیجه اولویت اول ذخیره‌سازی می‌باشد. همچنین می‌توان گفت علاوه بر مناسب بودن فاصله‌ی این ساختار تا منبع انتشار، حجم بالا و ضخامت مناسب مخزن سبب اهمیت این ساختار شده است. هرچند وجود گسل در پوش‌سنگ این تاقدیس از جمله اشکالات اساسی این ساختار می‌باشد اما به علت سایر خصوصیات مناسب و با توجه به وزن بالای پارامتر فاصله از منبع انتشار نسبت به سایر پارامترها، این ساختار به عنوان اولویت نخست ذخیره‌سازی معرفی می‌گردد. پس از آن تاقدیس‌های دیره، گوار و دارابادام در اولویت بعدی ذخیره‌سازی قرار گرفته‌اند. فاصله‌ی کم این ساختارها تا منبع انتشار و سایر پارامترهای پتروفیزیکی مخزن، سبب مناسب بودن این ساختارها برای هدف ذخیره‌سازی می‌باشد. تاقدیس‌های گلمهک و هالوش با توجه به ویژگی‌های ارزیابی شده، در رتبه‌های آخر ذخیره‌سازی قرار گرفته‌اند. در انتها نیز تاقدیس ویزنهار

با توجه به فاصله‌ی زیاد تا منبع، عمق نامناسب و وجود گسل در پوش سنگ، تاقدیس نامناسبی جهت ذخیره‌ی دی‌اکسیدکربن ارزیابی شده است. با توجه به عدم وجود داده‌های لازم جهت ارزیابی تاقدیس باباحیب، از مقایسه‌ی این ساختار با سایر ساختارها خودداری شده است.

۲.۵ پیشنهادات

پس از ارزیابی نهایی مشاهده گردید که وزن نهایی به دست آمده برای برخی ساختارها همانند تاقدیس‌های دارابادام و گوار بسیار نزدیک بوده و عملاً تفاوتی در میان آن‌ها نمی‌توان قائل شد؛ لذا پیشنهاد می‌شود در مطالعات بعدی، داده‌های بیشتری از این ساختارها تهیه شود و این اطلاعات به طور جداگانه مورد بررسی و تحلیل قرار گیرد، تا امکان تفکیک و رتبه‌بندی این ساختارها فراهم گردد. همچنین با توجه به اهمیت تاقدیس باباحیب پیشنهاد می‌شود، بررسی‌های بیشتری بر روی این تاقدیس انجام گردد.

با توجه به اهمیت مساله و نیاز به دقت بیشتر در مشخص شدن ساختار مناسب جهت ذخیره-سازی دی‌اکسیدکربن پیشنهاد می‌شود از روش‌های TOPSIS و یا Fuzzy AHP و Fuzzy delphi AHP استفاده شود تا با اطمینان بیشتری ساختارهای غرب کشور مورد بررسی و ارزیابی قرار گیرند.

همچنین یکی از اهداف این پایان نامه پیشنهاد مکان‌هایی مناسب جهت احداث نیروگاه‌ها و در صورت امکان پالایشگاه‌ها می‌باشد. در صورتیکه پارامتر فاصله از منبع انتشار حذف گردد، ساختارهای دیره، سمند، دره‌بانه و گوار ساختارهای بسیار مناسبی جهت ذخیره‌سازی می‌باشند که به علت فاصله-ی بیشتر با منبع از تاقدیس انجیر در رتبه‌های بعدی قرار گرفته‌اند. در نتیجه با توجه به اینکه این ساختارها از جهت سایر پارامترهای ضروری جهت ذخیره‌سازی بسیار مناسب می‌باشند، می‌توان با احداث نیروگاه‌ها و پالایشگاه‌ها در مجاورت این ساختارها از دفع گازهای گلخانه‌ای منتشره توسط آن-ها اطمینان حاصل کرد. برای این منظور لازم است بررسی‌های بیشتری بر روی منطقه‌ی ذکر شده

انجام داده و در صورت نیاز غرب کشور به احداث منابع انتشار جدید، از این محدوده کمک گرفته شود تا از هزینه‌های پیش رو که مربوط به انتقال گازهای گلخانه‌ای به این ساختارها می‌باشد، جلوگیری شود.

منابع و مراجع

- [۱] Meinshausen, M., Meinshausen, N., Hare, W., Raper, S. C., Frieler, K., Knutti, R. and Allen, M. R. (2009) "Greenhouse-gas emission targets for limiting global warming to 2 C", *Nature*, 458(7242), 1158-1162.
- [۲] Rosenzweig C, Hillel D. (1998), "Climate Change and the Global Harvest: Potential Impacts of the Greenhouse Effect on Agriculture", Oxford, England, *Oxford University Press*.
- [۳] جهان‌دیده م، (۱۳۸۷)، "جمع‌آوری و تزریق گازهای CO₂ و H₂S در سازندهای زمین‌شناسی با هدف حفاظت از محیط زیست"، نشریه‌ی فنی تخصصی شرکت ملی نفت ایران.
- [۴] Barth, M. C., & Titus, J. G. (1984). "Greenhouse effect and sea level rise: A challenge for this generation".
- [۵] Hansen, J., Sato, M., Ruedy, R., Lo, K., Lea, D. W., & Medina-Elizade, M. (2006), "Global temperature change". *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 103(39), 14288-14293.
- [۶] CO, IEA. (2008), "Capture and Storage: A key carbon abatement option." (2).
- [۷] طاهری ع، عظیمی‌پور س، صامت م، برگزین ح، (۱۳۹۰)، "مدیریت کربن- ضرورت‌ها، چالش‌ها و رهیافت تکنولوژی"، انتشارات پژوهشگاه صنعت نفت، تهران.
- [۸] ترازنامه هیدروکربوری کشور ۱۳۹۲- گزارش بخش انرژی-انتشار گازهای گلخانه‌ای در بخش انرژی.
- [۹] IEA (2005) World Energy Outlook , *OECD and International Energy Agency report*, Paris, France.
- [۱۰] طاهری ع، هندی ص، (۱۳۸۷) "مدیریت دی‌اکسیدکربن"، پژوهشگاه صنعت نفت، تهران.
- [۱۱] Saeed, M., Roayaei, E., Jazayeri, M. R., Saboormaleki, M., Minaei, M., & Emadi, M. A. (2012) "Database of CO₂ Emission Sources and Analysis of Geological Structures for a Carbon Sequestration Project in Iran". *SPE Middle East Health, Safety, Security, and Environment Conference and Exhibition*. Society of Petroleum Engineers.
- [۱۲] Gozalpour, F., Ren, S. and Tohidi, B. (2005) "CO₂ EOR and Storage in Oil Reservoirs", *IFP*, vol8.
- [۱۳] Tarkowski, R. (2008) "CO₂ storage capacity of geological structures located

within Polish Lowlands' Mesozoic formations". *Gospodarka Surowcami Mineralnymi*, 24(4/1), 101-111.

- [۱۴] Smith, B. and Price, J. (2008) "Geologic Storage of Carbon Dioxide", IEA Greenhouse Gas R&D programme, Paris.
- [۱۵] Ghorbani, A., Rahimpour, H., Ghasemi, Y., Zoughi, S. and Rahimpour, M. (2014) "A Review of Carbon Capture and Sequestration in Iran-Microalgal Biofixation Potential in Iran", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*.
- [۱۶] Nielsen, C., Frykman, P. and Dalhof, F. (2015) "Characterize a Potential Site for CO₂ Storage with Sparse Data Coverage – a Danish Onshore Site Case", *IFP Energies nouvelles Review*.

[۱۷] رحیمی ن، بختیار ن، (۲۰۰۷) "پروتکل کیوتو، رهیافت ها و چالش ها". فصلنامه علوم و تکنولوژی محیط زیست، ۸(۲)، ۷۹-۹۴

- [۱۸] International Energy Agency (iea) technology roadmap, (2013).
- [۱۹] Metz, B., Davidson, O., De Coninck, H. C., Loos, M., & Meyer, L. A. (2005). "IPCC special report on carbon dioxide capture and storage. Prepared by Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change". *Cambridge University Press*, Cambridge, United Kingdom and New York, USA, 4.
- [۲۰] Holloway, S. (2007). "Carbon dioxide capture and geological storage" *Philosophical Transactions of the Royal Society of London A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 365(1853), 1095-1107.
- [۲۱] Shi, J. Q., & Durucan, S. (2005) "CO₂ storage in deep unminable coal seams". *Oil & gas science and technology*, 60(3), 547-558.
- [۲۲] Mazumder, S., Van Hemert, P., Bruining, J., Wolf, K. H., & Drabe, K. (2006) "In situ CO₂-coal reactions in view of carbon dioxide storage in deep unminable coal seams". *Fuel*, 85(12), 1904-1912.
- [۲۳] Eide, L. I. (2009) "Carbon Dioxide Capture for Storage in Deep Geologic Formations—Results from the CO₂ Capture Project".
- [۲۴] Benson, S., Cook, P., Anderson, J., Bachu, S., Nimir, H. B., Basu, B. and Heidug, W. (2005) "Underground geological storage". *IPCC special report on carbon dioxide capture and storage*, 195-276.
- [۲۵] Sobers, L. E. (2003), PhD. thesis, "Phase behavior of carbon dioxide sequestration in depleted gas reservoirs", Texas Tech University.
- [۲۶] Kavscek, A. R. (2002) "Screening criteria for CO₂ storage in oil reservoirs". *Petroleum Science and Technology*, 20(7-8), 841-866.

- [۲۷] Kovscek, A. R., & Cakici, M. D. (2005) "Geologic storage of carbon dioxide and enhanced oil recovery. II. Cooptimization of storage and recovery". *Energy Conversion and Management*, 46(11), 1941-1956.

[۲۸] هنرمند ج، جعفری م، نادری ح، نظریان پ و مراد پور م. (۱۳۹۰)، "گزارش تکمیلی شناسایی ساختارهای غرب کشور به منظور ذخیره‌سازی گاز طبیعی"، مرکز مطالعات اکتشاف و تولید، پژوهشگاه صنعت نفت.

- [۲۹] Baines, S. J., & Worden, R. H. (2004) "Geological storage of carbon dioxide", *Geological Society, London, Special Publications*, 233(1), 1-6.
- [۳۰] Van der Meer, L. G. H. (1993) "The conditions limiting CO₂ storage in aquifers". *Energy Conversion and Management*, 34(9-11), 959-966.
- [۳۱] Solomon, S. (2006) "Criteria for intermediate storage of carbon dioxide in geological formations". *The Bellona Foundation*, Oslo.
- [۳۲] Holler, S. (2011) "Assessment of CO₂ Storage Capacity in Geological Formations of Germany and Northern Europe", 4, (4897-4904).
- [۳۳] Shaw, J. C., S. Bachu. (2002) " Screening, evaluation and ranking of oil reserves suitable for CO₂ flood EOR and carbon dioxide sequestration", *Journal of Canadian Petroleum Technology*, 41(9), 51-61.
- [۳۴] Hedley, B. J., & Gluyas, J. G. (2015), "CO₂ Storage Capacity". *Handbook of Clean Energy Systems*.
- [۳۵] Bachu, S., Bonijoly, D., Bradshaw, J., Burruss, R., Holloway, S., Christensen, N. P., & Mathiassen, O. M. (2007) "CO₂ storage capacity estimation: methodology and gaps". *International Journal of Greenhouse Gas Control*, 1(4), 430-443.
- [۳۶] Bachu, S. (2008) "Comparison between methodologies recommended for estimation of CO₂ storage capacity in geological media". *CSLF (Carbon Sequestration Leadership Forum) CSLF*.
- [۳۷] Chadwick, A., Arts, R., Bernstone, C., May, F., Thibeau, S., & Zweigel, P. (2008), "Best Practice for the Storage of CO₂ in Saline Aquifers-Observations and Guidelines from the SACS and CO₂STORE projects " Vol. 14. *British Geological Survey*.
- [۳۸] Harker, P. T. (2003). " *Analytic hierarchy process* ", Vol. 113. Pergamon.
- [۳۹] Saaty, T. L. (1988). "What is the analytic hierarchy process?", Springer Berlin Heidelberg, 109-121.
- [۴۰] Saaty, T. L. (2008). Decision making with the analytic hierarchy process.

International journal of services sciences, 1(1), 83-98.

[۴۱] قدسی پور ح، (۱۳۷۹) "فرآیند تحلیل سلسله مراتبی-AHP" چاپ اول، مرکز نشر دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران.

- [۴۲] Ansah, R. H., Sorooshian, S., & Bin Mustafa, S. (2015). "Analytic Hierarchy Process Decision Making Algorithm". *Global Journal of Pure and Applied Mathematics*. ISSN, 0973-1768.
- [۴۳] Fântână, G. I., Oae, S. A., & Gurau, A. M. (2013) "Decision Making using the Analytic Hierarchy Process". *International Conferice on MEQAPS*, 13, 119-124.
- [۴۴] Liu, F. H. F., & Hai, H. L. (2005) "The voting analytic hierarchy process method for selecting supplier". *International Journal of Production Economics*, 97(3), 308-317.
- [۴۵] Alexander, M. (2012). "Decision-Making using the Analytic Hierarchy Process (AHP) and SAS/IML®." Retrieved from Institute for Advanced Analytics website: <http://analytics.ncsu.edu/sesug/2012/SD-04.pdf>.
- [۴۶] Vargas, L. G. (1990) "An overview of the analytic hierarchy process and its applications". *European journal of operational research*, 48(1), 2-8.
- [۴۷] Triantaphyllou, E., & Mann, S. H. (1995) "Using the analytic hierarchy process for decision making in engineering applications: some challenges", *International Journal of Industrial Engineering: Applications and Practice*, 2(1), 35-44.
- [۴۸] OAE, S. A., and FÂNTÂNĂ, G. I. (2013) "A new vision for reconciling the values of the economic evaluations using AHP method", *International Conference on Systems*.

[۴۹] آذر ع، معماریانی ع، (۱۹۹۵). "AHP تکنیکی نوین برای تصمیم گیری گروهی". فصلنامه دانش مدیریت (منتشر نمی شود)، ۲۷.

- [۵۰] Aczél, J., & Saaty, T. L. (1983). "Procedures for synthesizing ratio judgements". *Journal of mathematical Psychology*, 27(1), 93-102.
- [۵۱] Ishizaka, A., & Labib, A. (2009) "Analytic hierarchy process and expert choice: Benefits and limitations". *OR Insight*, 22(4), 201-220.
- [۵۲] Mosthaf, K. (2007), PhD. Thesis, "CO2 Storage into Dipped Saline Aquifers Including Ambient Water Flow", Institute of Hydraulic Engineering, University Stuttgart, Germany.

پیوست ۱

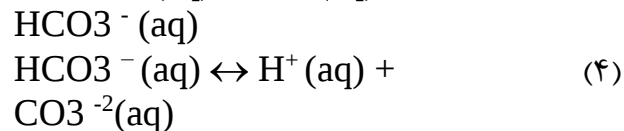
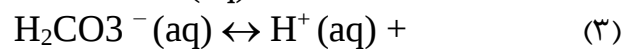
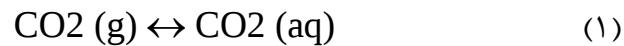
ویژگی های دی اکسید کربن:

دی اکسید کربن که از ترکیب شیمیایی دو عنصر کربن و اکسیژن به دست می آید، در فضا در مقیاس کوچکی (۳۷۰ ppmv) وجود دارد که ایفا کننده ی نقش حیاتی در محیط زیست و چرخه ی حیاتی گیاهان و جانوران (در طی فتوسنتز گیاهان دی اکسید کربن را جذب و اکسیژن را آزاد می کنند) است (Nielsen et al., 2015). فعالیت های انسانی که سبب انتشار دی اکسید کربن می شود شامل احتراق سوخت های فسیلی و مواد حاوی کربن، تبخیر ترکیبات ارگانیک همانند شکر و تنفس انسان ها می باشد. همچنین از منابع طبیعی دی اکسید کربن می توان به می توان به فعالیت های آتشفشانی اشاره نمود (Taber et al. 1997).

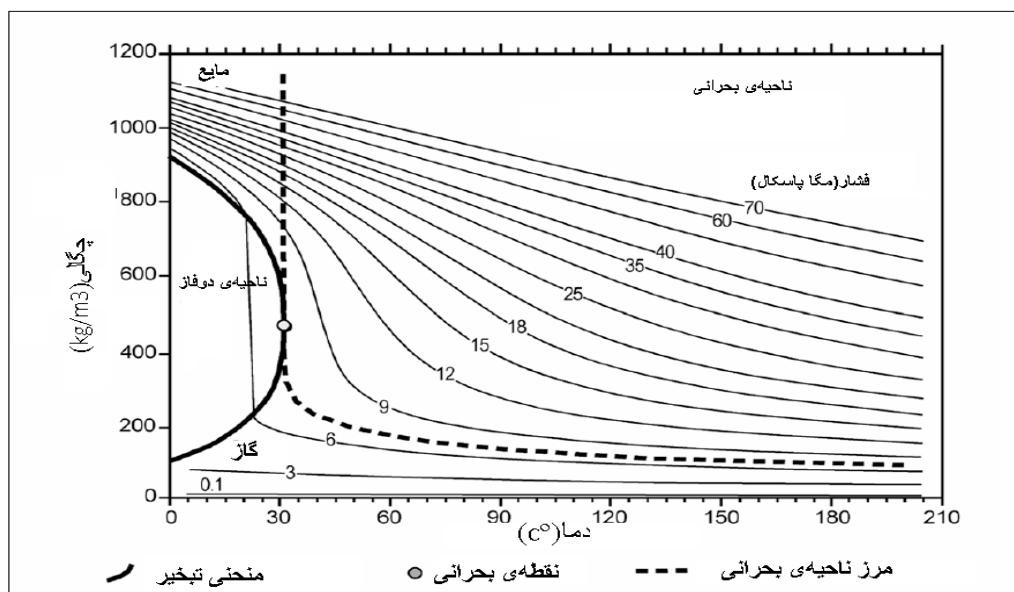
دی اکسید کربن بوی نامطبوعی دارد و بی رنگ است. این ماده که چگال تر از هوا است، در دما و فشار طبیعی به حالت گاز وجود دارد. حالت های فیزیکی دی اکسید کربن با تغییرات فشار و دما در نمودار ۱ نشان داده شده است. دی اکسید کربن در فشار کمتر از ۵,۱ بار با افزایش دما، از حالت جامد به حالت بخار تبدیل می شود؛ همچنین ممکن است دی اکسید کربن در دمای متوسط (بین -۵۶,۶ درجه ی سانتی گراد تا ۳۱,۱ درجه ی سانتی گراد) و فشار مربوط به ذوب شدگی، با فشرده شدن از حالت بخار به مایع تبدیل گردد. در دمای بیش از ۳۱,۱ درجه ی سانتی گراد که دی اکسید کربن در حالت فوق بحرانی^{۴۴} و در نتیجه فاز گاز قرار دارد با افزایش فشار، چگالی گاز زیاد شده و نزدیک به چگالی آب می شود که این یکی از مهم ترین جنبه های رفتاری دی اکسید کربن در ارتباط با ذخیره سازی می باشد. در شکل ۲ تغییرات چگالی بر حسب دما و فشار بیان شده است (Smith et al. 2008).

⁴⁴ Supercritical

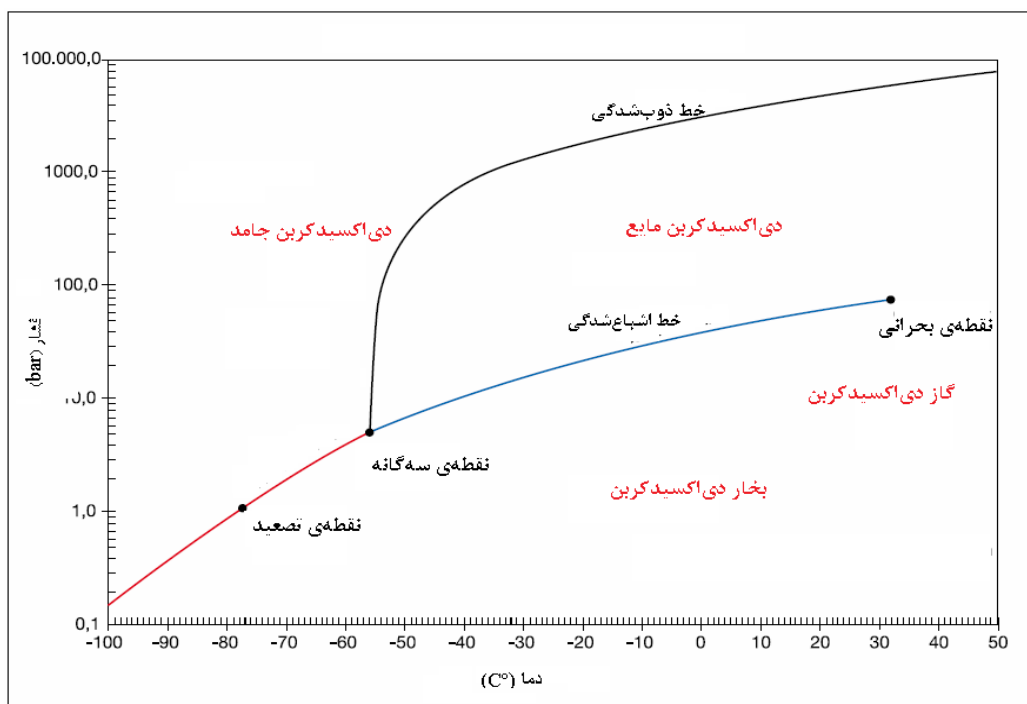
در محلول‌های آبی، دی‌اکسیدکربن تشکیل کربنیک اسید ناپایدار می‌دهد. انحلال آن همراه با افزایش دما، کاهش و همراه با افزایش فشار، افزایش پیدا می‌کند؛ انحلال دی‌اکسیدکربن هم در آب شور و هم شیرین با واکنش‌هایی است که کربنیک اسید، بی‌کربنیت و یون کربناته ایجاد می‌کند که واکنش‌های آن به شرح زیر است:



با توجه به واکنش‌های بیان‌شده، اضافه کردن دی‌اکسیدکربن به آب سبب افزایش دی‌اکسیدکربن حل‌شده می‌شود (۱). دی‌اکسیدکربن حل‌شده با آب واکنش می‌دهد و کربنیک اسید تولید می‌کند (۲). در مرحله‌ی بعد از تجزیه‌ی کربنیک اسید، یون بی‌کربونات تشکیل شده (۳) و در انتها از تجزیه‌ی بیشتر یون بی‌کربونات، یون کربنات تشکیل می‌شود (۴).



شکل ۱- نمودار فازی دی‌اکسیدکربن (Smith et al. 2008)



شکل ۲- تغییرات چگالی بر حسب فشار (Smith et al. 2008)

پیوست ۲

ضمن تشکر از شما استاد گرانقدر جهت همکاری در راستای استفاده از روش A.H.P^{۴۵} به منظور اولویت بندی ساختارهای مناسب جهت ذخیره سازی دی اکسید کربن از شما استاد گرامی درخواست می شود پرسشنامه ی زیر را که با توجه به داده های موجود از ساختارهای زیرزمینی فراهم گردیده، بر اساس قواعد ذیل تکمیل نمایید:

۱. جهت مقایسه ی دو به دوی معیارهای مناسب جهت ذخیره سازی دی اکسید کربن که در جدول شماره ی ۲ آورده شده است، جدول شماره ی ۱ تنظیم گردیده است که با کمک آن بتوان پارامترها را نسبت به یکدیگر ارزش گذاری کرد. به طور مثال اگر به نظر شما کارشناس محترم پارامتر عمق در ذخیره سازی دی اکسید کربن نسبت به پارامتر تخلخل ترجیح یکسانی داشت باید از امتیاز ۱، استفاده گردد.

جدول ۱- مقادیر مقایسات

وضعیت مقایسه i نسبت به j	توضیح	ارزش
ترجیح یکسان (Equally Preferred)	در تحقق هدف، دو شاخص اهمیت مساوی دارند	۱
کمی مرجح (Moderately Preferred)	تجربه نشان می دهد که برای تحقق هدف، اهمیت i اندکی بیشتر از j است	۳
خیلی مرجح (Strongly Preferred)	تجربه نشان می دهد که برای تحقق هدف، اهمیت i بیشتر از j است	۵
خیلی زیاد مرجح (Very strongly Preferred)	تجربه نشان می دهد که برای تحقق هدف، اهمیت i خیلی بیشتر از j است	۷
کاملاً مرجح (Extremely Preferred)	اهمیت خیلی بیشتر i نسبت به j به طور قطعی به اثبات رسیده است.	۹
بینابین	ارزشهای بینابین را نشان می دهد. مثلاً ۸، بیانگر اهمیتی زیادتر از ۷ و پایین تر از ۹ برای i است.	۲-۴-۶-۸

^{۴۵} (Analytical Hierarchy Process)

۲. لطفاً با توجه به جدول شماره ۱ و نمودار فوق، جدول شماره ۲ را که مقایسه‌ی زوجی پارامترهای مناسب جهت ذخیره‌سازی نسبت به یکدیگر است را به نحوی تکمیل نمایید که ضرایب معرف پارامتر ستونی به سطری باشد.

جدول ۲- مقایسات زوجی پارامترهای مناسب جهت ذخیره‌سازی

وجود گسل	فشار	تراوایی	فاصله از منبع	ضخامت پوش	ظرفیت ذخیره	ضخامت مخزن	تخلخل	عمق	
									عمق
									تخلخل
									ضخامت مخزن
									ظرفیت ذخیره
									ضخامت پوش
									فاصله از منبع
									تراوایی
									فشار
									وجود گسل

Abstract

In recent years, Geological storage of CO₂ is the main way to reduce this greenhouse gas content in the atmosphere. CO₂ can be stored in saline structures, depleted gas and oil reservoir and unminable coal seams. According to this thesis, distance between source of emission to storage sites is the main criteria for choosing best storage sites. Then caprock thickness and unfaulting caprock are put in the second ranked. Storage capacity is placed in the next ranked and other criteria such as permeability, reservoir thickness, pressure, porosity and depth are put in the last ranked.

In this thesis according to available data first, we evaluate ten anticlines in the west of Iran and then we rank these sites by using Analytical Hierarchy Process (AHP). Result shows that Anjir is the best sites for storing CO₂. Deyreh, Govar and Darabadam are placed in second ranked. At the end, according to unsuitable criteria of Veyzenhar structure, this anticline is placed at the last ranked.

Key Words: CO₂, storage, greenhouse gases, Analytical Hierarchy process, ranking.



Shahrood University of Technology

Faculty of mining, petroleum and geophysics engineering

MSc Thesis Exploration Petroleum Engineering

**Ranking of Anticlines in order to Carbon Dioxide (CO₂) Storage
in The West of Iran**

**By
Pegah Soleimani Dinani**

**Supervisors
Dr. Behzad Tokhmechi
Dr. seyed Ali Moallemi**

August 2016