وزارت علوم، تحقیقات و فناوری
دانشگاه تحصیلات تکمیلی علوم پایه
گاوازنگ - زنجان

بررسی و تفسیر بی‌هنجاری‌های گرانی و مغناطیسی در گستره جنوب خاوری زاگرس

پایان‌نامه کارشناسی ارشد

وحید تکنیک

اساتید راهنما: دکتر عبدالرضا قدس

دکتر مهناز رضائیان

اساتید مشاور: دکتر علیرضا پیریایی

مهندس شهاب قمی

بهمن ۱۳۹۰

به نام خداوند جان و خرد

تقدیم به:

همراه همیشگی زندگی‌ام مینا

و

پشتیبان لحظات سخت زندگی‌ام

پدرم و مادرم

تقدیر و قدردانی

ابتدا قدردان زحمات و دلسوزی پدر و مادر عزیزم هستم که در تمامی لحظات زندگی‌ام حامی و پشتیبان من بوده‌اند. سپاسگزار همسر مهربانم هستم که با فداکاری دوران سخت تحصیل را با من همراهی کرد.

از اساتید راهنمای خوبم، آقای دکتر عبدالرضا قدس و خانم دکتر مهناز رضائیان به خاطر راهنمایی‌های ارزنده کمال تشکر را دارم. از اساتید مشاورم در مدیریت اکتشاف شرکت ملی نفت ایران، آقایان دکتر علیرضا پیریایی و مهندس شهاب قمی سپاسگزارم. از کارشناسان مدیریت اکتشاف به خصوص آقایان مهندس غلامرضا پیرویان و دکتر سلمان جهانی به خاطر کمک‌های علمی ارزشمند کمال تشکر را دارم. از اساتید محترم بخش علوم زمین، آقایان دکتر فرهاد ثبوتی، دکتر مجید عباسی و دکتر حبیب رحیمی و همچنین از دکتر خالد حسامی که زحمت داوری این پایان‌نامه را عهده‌دار شدند تشکر می‌کنم.

از تمامی دوستان عزیزم در دانشگاه تحصیلات تکمیلی علوم پایه زنجان بی‌نهایت سپاسگزارم.

چکیده

گستره مورد مطالعه در جنوب شرقی کمربند رورانده- چین‌خورده زاگرس مجاور ناحیه ساحلی خلیج فارس قرار دارد. در منطقه نامبرده، رویدادهای لرزه‌ای ناشی از همگرایی صفحه عربی موید تکتونیک فعال در این ناحیه است. وجود لایه‌های جدا کننده تبخیری مانند افق نمک هرمز و فراوانی گنبدهای نمکی بر پیچیدگی تحولات ژئودینامیکی منطقه افزوده است. پوشیده شدن پی‌سنگ توسط توالی ضخیم رسوبی (بیش از ۱۰ کیلومتر) و وجود لایه‌های تبخیری در افق‌های مختلف، ماهیت هندسی-ساختاری پی‌سنگ را در هاله‌ای از ابهام قرار داده است. ارتباط پراکندگی سطحی گنبدهای نمکی با روند گسل‌ها و مورفولوژی پی‌سنگ و تاثیرپذیری آنها از رژیم تکتونیکی منطقه از سوال‌های اساسی در منطقه مورد مطالعه است. هدف این مطالعه بررسی نمود بی‌هنجاری‌های مغناطیسی- گرانی حاصل از گنبدهای نمکی، خطوارگی‌ها و ساختارهای پی‌سنگی در داده‌های گرانی و مغناطیسی منطقه مورد مطالعه است. داده‌های مورد استفاده برای این منظور شامل داده‌های گرانی و مغناطیسی با قدرت تفکیک مختلف است. استفاده از داده‌های ژئوفیزیکی گام نخست در روشن کردن ماهیت هندسی پی‌سنگ و مطالعه خطوارگی‌ها به شمار می‌رود.

هدف اولیه این مطالعه بررسی نمود بی‌هنجاری‌های گرانی حاصل از گنبدهای نمکی سطحی و زیرسطحی در داده-های گرانی زمینی منطقه مورد مطالعه بود. تعداد هفت گنبد نمکی زیرسطحی با اعمال فیلترهای فاز محلی (فیلتر تیلت، تتا و تابع تانژانت هیپوربولیک) بر روی داده‌های گرانی زمینی شناسایی شدند. از میان گنبدهای زیرسطحی معرفی شده تنها دو گنبد دارای نیمرخ‌های لرزه‌ای هستند. هر دو گنبد مذکور در نیمرخ‌های لرزه‌ای نامبرده قابل ردیابی هستند. نمود دو گنبد دیگر از هفت گنبد نمکی زیرسطحی معرفی شده دارای شواهد بارز توپوگرافی مشخصه گنبد نمکی هستند.

از میان گسل‌های پی‌سنگی معرفی شده توسط دیگران، تنها خطوارگی هندورابی در داده‌های مغناطیسی هوایی ایران قابل ردیابی است. خطوارگی هندورابی در منطقه مورد مطالعه مرز غربی پراکندگی گنبدهای نمکی است. یک خطوارگی دیگر مطابق با روند قطعه‌هایی از گسل‌های پیشانی کوهستان در داده گرانی زمینی قابل تشخیص است. استفاده از روش واهمامیخت اویلر، عمق چشمه این خطوارگی را بطور تقریبی ۱/۵ کیلومتر نشان می‌دهد. عمق بدست آمده بسیار کمتر از عمق پیش‌بینی شده برای گسل پیشانی کوهستان است.

برای مطالعه مورفولوژی پی‌سنگ، مدل‌سازی پیشرو عمقی در راستای یک نیمرخ شرقی-غربی منطقه مورد مطالعه انجام شده است. برای نزدیک کردن مدل ارائه شده به ساختار واقعی زمین، قیدهای ناشی از مطالعات قبلی زمین-شناسی و ژئوفیزیکی اعمال شده است. در این مدل‌سازی تغییرات عمقی چگالی رسوبات اعمال شده است. وجود یک لایه ضخیم نمک هرمز و وجود یک لایه نمک فارس (به ضخامت تقریبی ۲ کیلومتر) در شرق منطقه مورد مطالعه از فاکتورهای تعیین‌کننده در این مدل هستند. نتایج این مدل وجود یک سامانه هورست-گرابن را در پی-سنگ منطقه مورد مطالعه مطرح می کند.

منابع داده

داده‌های مورد استفاده در این رساله داده‌های گرانی و مغناطیسی با قدرت تفکیک مختلف است. داده‌های گرانی و مغناطیسی با قدرت تفکیک بالا توسط مدیریت اکتشاف شرکت ملی نفت ایران در اختیار ما قرار گرفته است. این داده‌ها در منطقه‌ای در جنوب شرقی زاگرس برداشت شده است. داده‌های مغناطیس هوایی ایران زیر نظر سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی برداشت شده است. در این رساله این داده از بانک داده نرم‌افزار ژئوسافت (http://www.geosoft.com/products/dap-server#) استخراج شده است. داده گرانی زمینی کل ایران از مجموعه داده‌های زمینی و دریایی مرکز بین‌المللی ثقل‌سنجی (BGI) و سازمان نقشه‌برداری ایران (NCC) تشکیل شده است. داده‌های گرانی ماهواره‌ای مورد استفاده، حاصل برداشت ماهواره‌های Lageos، Grace و Goce است. مدل ژئوپتانسیل مورد استفاده برای این داده، مدل EIGEN-6S است. این داده از بانک داده مرکز مطالعات علوم زمین آلمان (GFZ) (http://icgem.gfz-potsdam.de/ICGEM/modelstab.html) استخراج شده است.

فهرست

مقدمه..... ۱

فصل اول : زمین‌شناسی..... ۷

۱.۱ مقدمه..... ۷

۲.۱ چینه شناسی زاگرس..... ۸

۳.۱ گنبدهای نمکی..... ۱۲

۴.۱ تکتونیک ناحیه..... ۱۴

۱.۴.۱ گسل‌های اصلی ناحیه..... ۱۴

۲.۴.۱ لرزه زمین‌ساخت ناحیه..... ۱۶

۵.۱ تقسیمات مورفوتکتونیکی زاگرس..... ۱۸

۶.۱ ساختار پی‌سنگ در زاگرس..... ۲۰

۷.۱ بررسی نقش نمک هرمز در دگرشکلی تکتونیکی منطقه..... ۲۲

فصل دوم : بررسی آمار و اطلاعات پایه داده‌های این پروژه ۲۵

۱.۲ توصیف مراحل برداشت و جغرافیای برداشت..... ۲۵

۲.۲ سیستم مختصات و دستگاه‌های تعیین موقعیت..... ۲۶

۳.۲ توصیف مراحل برداشت و دستگاه‌های داده‌برداری..... ۳۰

۴.۲ روش‌ها و ملزومات سنجش ویژگی‌های فیزیکی (خودپذیری مغناطیسی و چگالی) سنگ‌ها..... ۳۲

۵.۲ لایه‌های اطلاعاتی موجود در جدول داده‌ها..... ۳۴

۶.۲ توصیف آمار داده‌ها..... ۳۵

فصل سوم: تئوری و روش‌ها..... ۳۶

۱.۳ مقدمه..... ۳۶

۲.۳ عملیات گرانی‌سنجی..... ۳۷

۱.۲.۳عملیات گرانی‌سنجی برای مطالعات نفتی..... ۳۸

۳.۳ چگالی سنگ‌های مختلف..... ۳۹

۴.۳ تصحیحات ۴۰
۱.۴.۳ تصحیح جذر و مد ۴۲
۲.۴.۳ تصحیح زمین نرمال یا عرض جغرافیایی ۴۲
۳.۴.۳ تصحیح هوای آزاد ۴۳
۴.۴.۳ تصحیح بوگه ۴۴
۵.۴.۳ تصحیح زمینگان ۴۵
۶.۴.۳ تصحیح ایزوستازی ۴۶
۵.۳ نتیجه تصحیحات گرانی برای داده‌های گرانی ۴۶
۶.۳ روش‌های تعبیر وتفسیر بی‌هنجاری‌های گرانی ۴۷
فصل چهارم : شبکه‌بندی و نوفه‌زدایی ۴۹
۱.۴ فرآیند درون‌یابی ۴۹
۲.۴ فرکانس نایکوئیست و الیاسینگ ۵۳
۳.۴ شبکه‌بندی داده‌ها ۵۵
۴.۴ انواع روش‌های شبکه‌بندی ۵۶
۱.۴.۴ روش رن گرید ۵۶
۲.۴.۴ روش بیدایرکشنال ۵۸
۵.۴ شبکه بندی داده‌های گرانی و نتایج آن ۶۰
۶.۴ فرآیند نوفه‌زدایی ۶۱
فصل پنجم : مطالعه گنبدهای نمکی ۶۸
۱.۵ مقدمه ۶۸
۲.۵ روش‌های شناسایی گنبدهای نمکی ۶۹
۳.۵ توصیف نقشه بی‌هنجاری بوگه کامل ۶۹
۴.۵ فیلترهای مورد استفاده برای تشخیص گنبدهای نمکی ۷۲
۱.۴.۵ فیلتر مشتق عمودی ۷۲
۲.۴.۵ سیگنال تحلیلی ۷۵
۳.۴.۵ روش فاز محلی ۷۷

۴.۴.۵ روش تقویت دامنه..... ۸۲
۵.۵ مطالعه نمود توپوگرافی گنبدهای نمکی زیرسطحی..... ۸۴
۶.۵ بدست آوردن تغییرات جانبی چگالی با استفاده از روش نتلتون..... ۸۶
فصل ششم : مطالعات ساختارهای منطقه‌ای..... ۸۹
۱.۶ مقدمه..... ۸۹
۲.۶ ساختارهای طول موج بلند داده‌های مغناطیسی و گرانی منطقه مورد مطالعه..... ۹۰
۳.۶ داده‌های منطقه‌ای مورد استفاده..... ۹۲
۴.۶ روندهای مشاهده شده در نقشه گرانی منطقه‌ای (ماهواره‌ای و زمینی)..... ۹۲
۵.۶ بررسی اثر خطوارگی‌ها و روندهای گسلی بر روی داده‌های ژئوفیزیکی..... ۹۶
۶.۶ نمک فارس..... ۱۰۱
۷.۶ خطوارگی مشاهده شده در داده مغناطیسی..... ۱۰۴
فصل هفتم : مدل‌سازی پیشرو ساختارهای عمقی منطقه مورد مطالعه..... ۱۰۷
۱.۷ مقدمه..... ۱۰۷
۲.۷ بررسی تغییرات چگالی با عمق در حوضه‌های رسوبی..... ۱۰۸
۳.۷ بررسی میزان تغییرات ناپیوستگی موهو در یک حوضه رسوبی..... ۱۱۲
۴.۷ خودپذیری مغناطیسی..... ۱۱۳
۵.۷ توصیف مدل..... ۱۱۴
فصل هشتم : بحث و نتیجه‌گیری..... ۱۲۳
مراجع..... ۱۲۷
واژه‌نامه فارسی به انگلیسی..... ۱۳۴
واژه‌نامه انگلیسی به فارسی..... ۱۳۷

مقدمه

کمربند رورانده–چین‌خورده زاگرس در جنوب غربی ایران واقع شده است. این کمربند نتیجه بسته شدن دریای تتیس جوان و همگرایی صفحه عربی و صفحه اوراسیا است. زاگرس یکی از واحدهای عظیم نفتی دنیا است بطوریکه به تنهایی نیمی از ذخایر هیدروکربوری دنیا را در خود جا داده است[۵۴]. از دیگر شگفتی‌های کمربند زاگرس گنبدهای نمکی آن است. حدود ۱۶۰ گنبد نمکی در کوه‌ها و حوضه پیش خشکی[1] به سطح رسیده است و حدود ۲۰ جزیره در خلیج فارس گنبد نمکی به سطح رسیده است[۱۹,۴۹].

از نظر زمین‌شناسی زاگرس را می‌توان به نواحی لرستان، خوزستان و فارس تقسیم‌بندی کرد. منطقه فارس در انتهای جنوب‌شرقی زاگرس واقع شده است. بسیاری از زمین‌شناسان، فارس را گسترهٔ مابین دو گسل کازرون در غرب و گسل میناب در شرق می‌دانند. مطالعات سطحی و زیر-سطحی زیادی در این منطقه انجام شده است. فارس از نواحی گازخیز و مشهور دنیا است. مشخصه بارز این منطقه فراوانی گنبدهای نمکی و مورفولوژی ویژه چین‌خوردگی آن است. ارتباط روند گنبدهای نمکی در این منطقه با روند گسل‌های رورانده و امتداد لغز محل بحث و جدال فراوان است. اغلب گنبدهای نمکی این منطقه در محور چین‌ها واقع شده‌اند. همچنین زمان دیاپر نمک، تاثیر پراکندگی گنبدهای نمکی و ساختارهای آن بر تغییر شکل منطقه از جمله سوالات مطرح در این منطقه است [۱۹,۴۹].

پوشش رسوبی زاگرس (۱۰–۱۴ کیلومتر) شامل افق‌های تبخیری مختلفی است. از مهمترین این افق‌ها، نمک هرمز در اعماق نزدیک به پی‌سنگ و افق تبخیری نزدیک به سطح گچساران است. نمک هرمز مستقیما روی پی‌سنگ آذرین نهشته شده است. این نمک در جنوب شرق زاگرس بر پیچیدگی فرم تغییر شکل[2] آن افزوده است. شواهد آشکاری درباره چینه‌شناسی نمک هرمز در

[1] Foreland basin
[2] Deformation

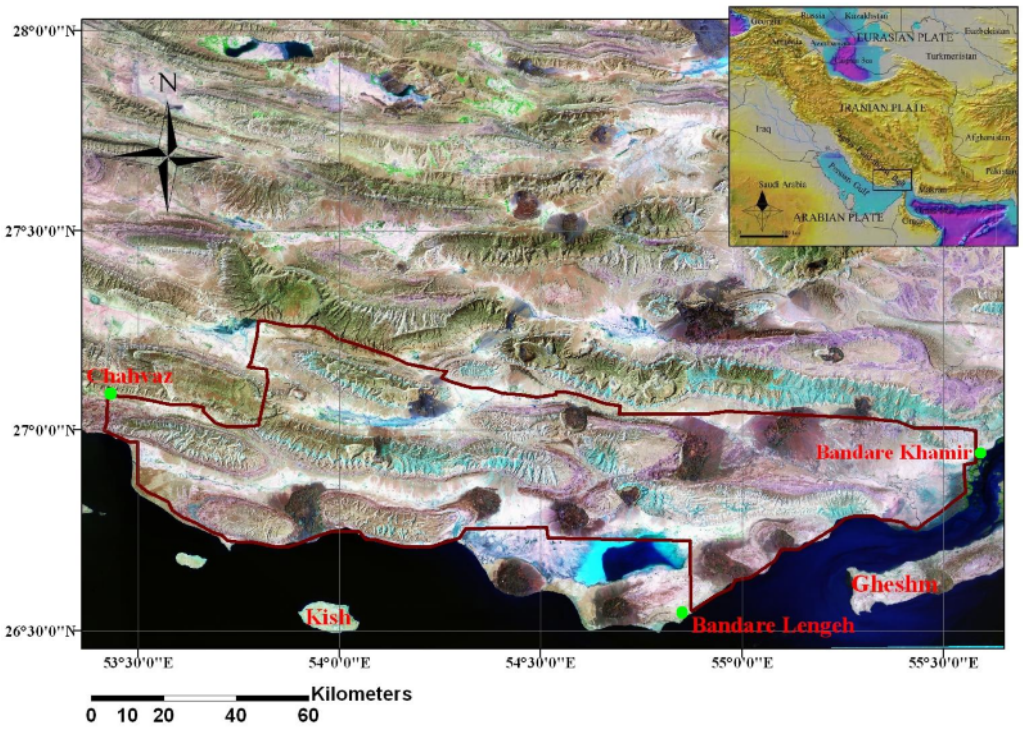
زاگرس وجود ندارد. نمک سری هرمز که مربوط به « حوضهٔ هرمز » است بصورت گنبدهای نمکی که سازندهای جوان‌تر از پیش از کامبرین را قطع کرده و به سطح رسیده است. ترکیب، ضخامت و محدوده رسوب‌گذاری نمک هرمز از پراکندگی گنبدهای نمکی به سطح رسیده استنباط شده است[۱۲]. افق نمک فارس در بخش‌هایی از غرب تنگه هرمز نهشته شده است. بازه زمانی رسوب‌گذاری نمک فارس الیگوسن- میوسن پیشین است[۳۳].

گستره مورد مطالعه واقع در جنوب منطقه فارس و در سواحل غربی شهر بندرعباس واقع شده است (شکل ۱). این منطقه شامل قسمتی از پسکرانه[1] بندرعباس در شرق و فارس ساحلی در غرب است. اغلب تله‌های نفتی رایج در حوضه نفتی زاگرس از نوع تاقدیسی است. شناخت ارتباط پراکندگی سطحی و عمقی گنبدهای نمکی و ارتباط آنها با تله‌های نفتی احتمالی از اهداف مطالعاتی شرکت ملی نفت ایران در این منطقه است.

برداشت‌های مغناطیس‌سنجی و گرانی‌سنجی زمینی توسط مدیریت اکتشاف شرکت ملی نفت ایران در منطقه مورد مطالعه انجام گرفته است. منطقه مورد مطالعه مساحت تقریبی ۱۰۰۰۰ کیلومتر مربع دارد و توسط ۶۳۵۰ ایستگاه برداشت شده است. حدود ۸۵ درصد منطقه برداشت با توپوگرافی بالا با فاصله خطوط حدود ۲/۵ کیلومتر و فاصله نقاط در راستای خطوط ۰/۵ کیلومتر برداشت شده است. مناطق با توپوگرافی ملایم در جنوب منطقه با فاصله خطوط پنج کیلومتر و فاصله نقاط در راستای خطوط یک کیلومتر برداشت شده است. همچنین اندازه‌گیریهای سطحی خودپذیری مغناطیسی[2] و چگالی از واحدهای سنگی منطقه به عمل آمده است.

بطور کلی سوالاتی که در رابطه با این پروژه می‌توان متصور شد به این صورت است. ۱)با توجه به فراوانی گنبدهای نمکی سطحی در منطقه مورد مطالعه، آیا امکان شناسایی گنبدهای نمکی زیرسطحی با استفاده از مطالعات گرانی‌سنجی ومغناطیس‌سنجی وجود دارد؟ ۲)آیا امکان برآورد توپوگرافی پی‌سنگ با استفاده از این داده‌ها وجود دارد؟ ۳)آیا با استفاده از این داده‌ها امکان تخمین ضخامت رسوبات در این ناحیه وجود دارد؟ ۴)ساختار گسلی در این ناحیه و اثر احتمالی آن روی داده‌های گرانی و مغناطیسی چگونه است؟ ۵)تطابق ساختارهای سطحی زمین‌شناسی با این داده چگونه است؟

[1] Hinterland
[2] Magnetic susceptibility



شکل ۱ : عکس ماهواره‌ای جنوب خاوری زاگرس. محدوده مورد مطالعه در نزدیکی سواحل خلیج‌فارس داخل محدوده چندضلعی نامنظم قهوه‌ای رنگ است. گنبدهای نمکی رخنمون‌یافته با رنگ تیره مشخص شده است.

نمک به خاطر چگالی کم و قابلیت سیال بودن، با نفوذ در سری‌های رسوبی چگال بالای خود به طرف سطح رشد می‌کند. گنبدهای نمکی دارای ویژگی‌های فیزیکی است که آنرا از محیط رسوبی اطراف متمایز می‌کند. این تمایزها قابلیت تشخیص گنبد نمکی توسط روش‌های ژئوفیزیکی را فراهم می‌کند. این ویژگی‌های فیزیکی چگالی کم نسبی، خودپذیری مغناطیسی ناچیز و سرعت انتشار بالا برای امواج لرزه‌ای هستند[۳۷].

برداشت گرانی شامل اندازه‌گیری تغییرات میدان گرانی در سطح زمین است. تغییر جانبی جنس و ساختار مواد زیرسطحی موجب ایجاد بی‌هنجاری در میدان گرانی سطح زمین می‌شود. برداشت گرانی یکی از روش‌های معمول برای پی‌جویی ساختارهای مرتبط با تله‌های هیدروکربوری است. هرچند پیشرفت‌های موثر در روش‌های لرزه‌ای جایگاه اول را از روش‌های گرانی گرفته است ولی یکی از روش‌های مطمئن برای مطالعه گنبدهای نمکی روش گرانی است. گنبد نمکی به علت چگالی نسبی کم، موجب بی‌هنجاری منفی گرانی می‌شود[۳۷,۶۹].

در این رساله در مرحله اول سعی شده با استفاده از داده‌های گرانی پراکندگی سطحی و زیر-سطحی گنبدهای نمکی سطحی و زیرسطحی مورد مطالعه قرار گیرد. آماده‌سازی داده برای پردازش

شامل شبکه‌بندی و فرآیند نوفه‌زدایی است. برای انجام این مراحل از امکانات شبکه‌بندی نرم‌افزار ژئوسافت[1] استفاده شده است.

در این رساله روش‌های مختلف برای مطالعه گنبدهای نمکی استفاده شده است. در ابتدا به ترتیب از فیلترهای مشتق عمودی مرتبه اول ودوم، سیگنال تحلیلی و روش تقویت دامنه[2] برای شناسایی گنبدهای نمکی سطحی و زیرسطحی استفاده شده است. روش اصلی برای مطالعه گنبد-های نمکی سطحی و زیرسطحی روش فاز محلی[3] است. نتایج این مطالعات معرفی هفت گنبد نمکی زیرسطحی برای منطقه مورد مطالعه است

با استفاده از روش نتلتون[4] نقشه تغییرات جانبی چگالی سطحی بالای سطح ژئویید برای منطقه بدست آمده است. نتایج این روش برای برآورد چگالی منطقه و همچنین برجسته کردن برخی ساختارهای بزرگ مقیاس منطقه مناسب است.

گسل‌های رورانده و امتدادلغز بسیاری برای زاگرس پیشنهاد شده است. در زاگرس چین‌خورده گسل‌های رورانده از طرف بربریان (۱۹۹۵) معرفی شده است. تکه‌هایی از این گسل از منطقه مورد مطالعه این رساله عبور می‌کند. گسل‌های معرفی شده اغلب به پی‌سنگ نسبت داده شده‌اند. مکان‌یابی رویدادهای لرزه‌ای زاگرس با استفاده از فازهای منطقه‌ای و دور انجام گرفته و لاجرم دارای خطایی در حد ۱۵ الی ۳۰ کیلومتر است. لذا تلاش‌ها برای نسبت دادن این زلزله‌ها به خطوارگی‌ها توفیق چندانی نداشته است. یکی از اهداف این رساله بررسی نمود خطوارگی‌ها و گسل‌های معرفی شده در داده‌های ژئوفیزیکی است. اگر چه مطالعات زمین‌شناسی و چاه‌های اکتشافی گسترده‌ای در زاگرس انجام شده است، ولی اطلاعات اندکی درباره فعالیت لرزه‌ای گسل-های زاگرس وجود دارد. لایه‌های جدا کننده نمک هرمز مربوط به دوران پیش از کامبرین و لایه تبخیری گچساران مربوط به دوران میوسن، مانع رسیدن پارگی زلزله‌های بزرگ به سطح می-شوند[۱۳].

با توجه به ویژگی‌های منحصر به فرد منطقه جنوب شرق زاگرس از لحاظ زمین‌شناسی، مطالعات ژئوفیزیکی در این منطقه می‌تواند در رفع بسیاری از ابهامات زمین‌شناسی و تکتونیکی موثر باشد.

[1] Geosoft
[2] Automatic gain control
[3] Local Phase
[4] Nettleton

این رساله که به عنوان پایان‌نامه کارشناسی ارشد رشته ژئوفیزیک تدوین شده است، در بر گیرنده مراحل مختلف تحقیق، شرح نتایج و یافته‌های آن می‌باشد. این رساله مشتمل بر هشت فصل قصد پاسخگویی به سوالات مطرح شده در بالا را دارد.

فصل اول، زمین‌شناسی منطقه: این فصل شامل مقدمه‌ای بر معرفی منطقه مورد مطالعه، تکتونیک ناحیه و تقسیمات مورفوتکتونیکی، لرزه زمین‌ساخت و گسل‌های آن، چینه‌شناسی، هندسه پی‌سنگ، نقش نمک هرمز در تحولات تکتونیکی ناحیه و انواع گنبدهای نمکی است.

فصل دوم، بررسی اطلاعات و آمار اولیه داده‌ها : در این فصل در مرحله اول منطقه مورد مطالعه از لحاظ جغرافیایی و مختصات آن معرفی شده است. مراحل داده‌برداری توصیف شده است. دستگاه‌های داده‌برداری و لایه‌های اطلاعاتی موجود در بانک داده معرفی شده است و در نهایت آمار کلی داده بیان شده است.

فصل سوم، تئوری : در این فصل درباره میدان گرانی، چگونگی عملیات گرانی‌سنجی و ملزومات آن، معرفی عملیات گرانی‌سنجی برای مطالعه ساختارهای مرتبط با تله‌های نفتی، چگالی سنگ‌های مختلف و رابطه آن با میدان گرانی، تصحیحات گرانی و روش‌های تعبیر و تفسیر میدان گرانی بحث شده است.

فصل چهارم، شبکه‌بندی و نوفه‌زدایی داده‌ها : در این فصل در ابتدا فرآیند درون‌یابی و انواع آن معرفی شده است. دو روش متفاوت برای شبکه‌بندی داده معرفی و مقایسه شده است. نتایج حاصل از شبکه‌بندی داده‌های گرانی ارائه شده است و در آخر انواع خطای وارد شده داخل داده و فرآیند نوفه‌زدایی توضیح داده شده است.

فصل پنجم، مطالعه گنبدهای نمکی و ساختارهای سطحی : در این فصل انواع روش‌های مورد استفاده برای برجسته کردن بی‌هنجاری‌های گنبدهای نمکی مورد بحث قرار گفته است. نتایج حاصل از این روش‌ها ارائه و بحث شده است. روش فاز محلی بطور مبسوط طرح و نتایج آن با نتایج روش‌های معمول مقایسه شده است. در آخر فصل با استفاده از روش نتلتون، نقشه چگالی منطقه محاسبه شده است.

فصل ششم، مطالعه ساختارهای مقیاس منطقه‌ای : در این فصل بی‌هنجاری‌های در مقیاس منطقه‌ای مورد مطالعه قرار گرفته است. این بی‌هنجاری‌ها عبارتند از بی‌هنجاری ناشی از تغییرات توپوگرافی پی‌سنگ و بی‌هنجاری ناشی از گسل‌ها و خطوارگی‌های احتمالی. در این راستا بی-

هنجاری‌های مشاهده شده در داده گرانی و مغناطیسی منطقه مورد مطالعه، داده گرانی زمینی کل ایران، داده گرانی ماهواره‌ای کل ایران و داده مغناطیسی هوایی ایران مقایسه و بررسی شده است.

فصل هفتم، مدل‌سازی پیشرو ساختارهای پی‌سنگ : در این فصل مدل‌های پیشرو برای ساختارهای عمقی در راستای یک نیمرخ شرقی_غربی روی داده‌های مغناطیسی و گرانی منطقه مورد مطالعه ارائه شده است. برای نزدیک کردن مدل ارائه شده به مدل واقعی زمین از قیدهای ناشی از مطالعات زمین‌شناسی و ژئوفیزیکی قبلی استفاده شده است. نتایج این مدل‌سازی بیانگر سامانه هورست-گرابن برای پی‌سنگ منطقه مورد مطالعه است.

فصل هشتم، بحث و نتیجه گیری : در این فصل یک جمع‌بندی کلی از نتایج بدست آمده ارائه شده است. این نتایج بطور کلی در برگیرنده مطالعه پراکندگی گنبدهای نمکی، بررسی نمود خطوارگی‌های معرفی شده در داده‌های مغناطیسی و گرانی و مدل‌سازی دو بعدی ساختارهای عمقی منطقه مورد مطالعه است.

فصل اول

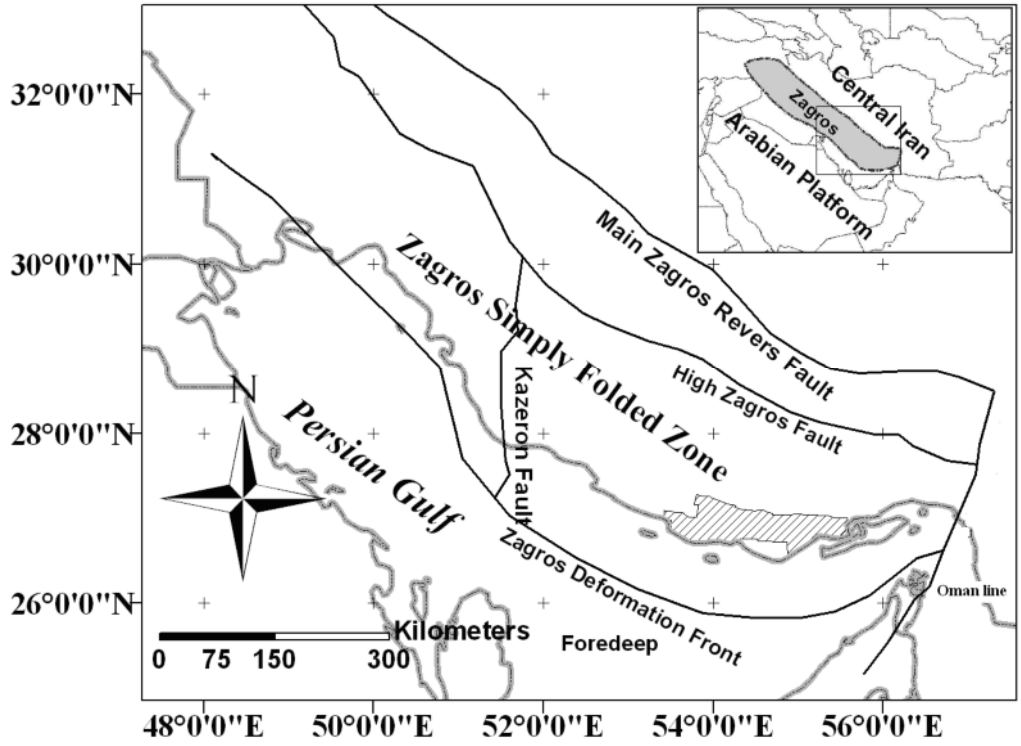
زمین شناسی

۱.۱ مقدمه

کمربند رورانده–چین خورده زاگرس با طول تقریبی بیش از ۱۸۰۰ کیلومتر و روند شمال-غربی–جنوب‌شرقی قسمتی از فلات ایران–ترکیه است و قسمتی از کمربند کوهزایی آلپ–هیمالیا به شمار می‌رود. این کمربند که از کوه‌های توروس ترکیه شروع و به تنگه هرمز ختم می‌گردد، در شمال صفحه عربی واقع شده و حاصل همگرایی این صفحه و برخورد آن با صفحه اوراسیا است. خطواره شمالی–جنوبی زندان–میناب این کمربند را از ناحیه فرورانش مکران جدا می‌کند (شکل ۱-۱)[۲۹].

از لحاظ زمین‌شناسی زاگرس را می‌توان به نواحی لرستان، خوزستان و فارس تقسیم کرد. منطقه فارس در انتهای جنوب‌شرقی زاگرس واقع شده است. بسیاری از زمین‌شناسان، فارس را گسترهٔ مابین دو گسل کازرون در غرب و گسل میناب در شرق می‌دانند. ناحیه فارس از نواحی گازخیز و مشهور دنیا محسوب می‌شود. منطقه مورد مطالعه قسمتی از پسکرانه[1] بندرعباس در شرق و فارس ساحلی در غرب است. مطالعات سطحی و زیرسطحی گسترده‌ای در این منطقه انجام شده است. مطالعات اکتشافی نفت منجر به شناسایی منابع هیدروکربوری بارزی در منطقه مورد مطالعه نشده است. مشخصه اصلی این منطقه فراوانی گنبدهای نمکی و مورفولوژی ویژه چین‌خوردگی آن است. ارتباط روند گنبدهای نمکی در این منطقه با روند گسل‌های رورانده و امتداد لغز معرفی شده محل بحث و جدال فراوان است[۱۹,۱].

[1] Hinterland



شکل ۱-۱ : نقشه گسل‌های اصلی معرفی شده در زاگرس و موقعیت منطقه مورد مطالعه

۲.۱ چینه‌شناسی زاگرس

توالی رسوبی کمربند چین‌خورده زاگرس نشانگر ضخامت تقریبی ۱۲ کیلومتری از رسوبات کامبرین پایینی تا پلیوسن بدون ناپیوستگی زاویه‌دار[1] بارز است[۴۴]. قدیمی‌ترین قسمت از صفحه عربی در پروتروزوئیک[2] پیشین (۶۲۰-۶۴۰ میلیون سال قبل) تشکیل شده است. در این دوره مجموعه‌ای از جزایر آتشفشانی و خردقاره‌ها در لبه شمال‌شرقی کراتون آفریقا باهم ادغام شدند. این رویداد در راستای ساختارهای شمالی-جنوبی اتفاق افتاده است. درادامه دوره‌ای از کافت‌زایی در بازه پروتروزوئیک تا کامبرین پیشین بوقوع پیوسته است. این فرآیند با ایجاد زیرحوضه‌های با روند شمالی-جنوبی موجب گسترش نمک هرمز در قسمت شمال شرقی صفحه عربی شده است[۳۴].

نمک هرمز با ضخامت تقریبی ۹۰۰-۴۰۰۰ متر به عنوان قدیمی‌ترین واحد رسوبی کمربند زاگرس معرفی شده است که در بازه زمانی پروتروزوئیک-کامبرین نهشته شده است[۴۴،۳۴]. لایه نمکی هرمز بعنوان یک لایه جدا کننده مهم عمل می‌کند و سری ضخیم رسوبی را از پی‌سنگ

[1] Angular unconformity
[2] Proterozoic

آذرین جدا می‌کند[۳۴]. رسوبات بالای نمک هرمز اغلب ماسه سنگ، شیل و دولومیت در بازه کامبرین تا تریاس و سپس سنگ آهک با لایه‌های فرعی از شیل و تبخیری‌ها در بازه ژوراسیک تا میوسن است (شکل ۱-۲)[۴۴].

در بازه زمانی کرتاسه پسین زیرپهنه فارس در جنوب شرقی زاگرس با مشخصه‌های تغییرات بارز در افق‌های رسوبی، الگوی رسوب‌گذاری و جابجایی مکانی حوضه رسوب‌گذاری برجسته شده است. توالی این تغییرات بیانگر تغییر از حاشیه غیرفعال به فعال است[۵۸].

در بازه زمانی الیگوسن پسین-میوسن پیشین زاگرس و خلیج فارس قسمتی از یک دریای کم عمق بوده است. سری رسوبی تبخیری محلی با نام نمک فارس در زمان میوسن پایینی در غرب تنگه هرمز نهشته شده است. این افق نمک از انحلال گنبدهای نمکی سطحی افق هرمز بوجود آمده است[۳۴].

ابراین[۵۵] ستون رسوبی زاگرس چین‌خورده را به پنج گروه ساختاری-مکانیکی (شکل ۱-۲) زیر تقسیم بندی کرده است :

۱- گروه پی‌سنگ : متشکل از گرانیت، گابرو، بازالت، آمفیبولیت و شیست است که تکه‌هایی از آن توسط گنبدهای نمکی به سطح رسیده‌اند.

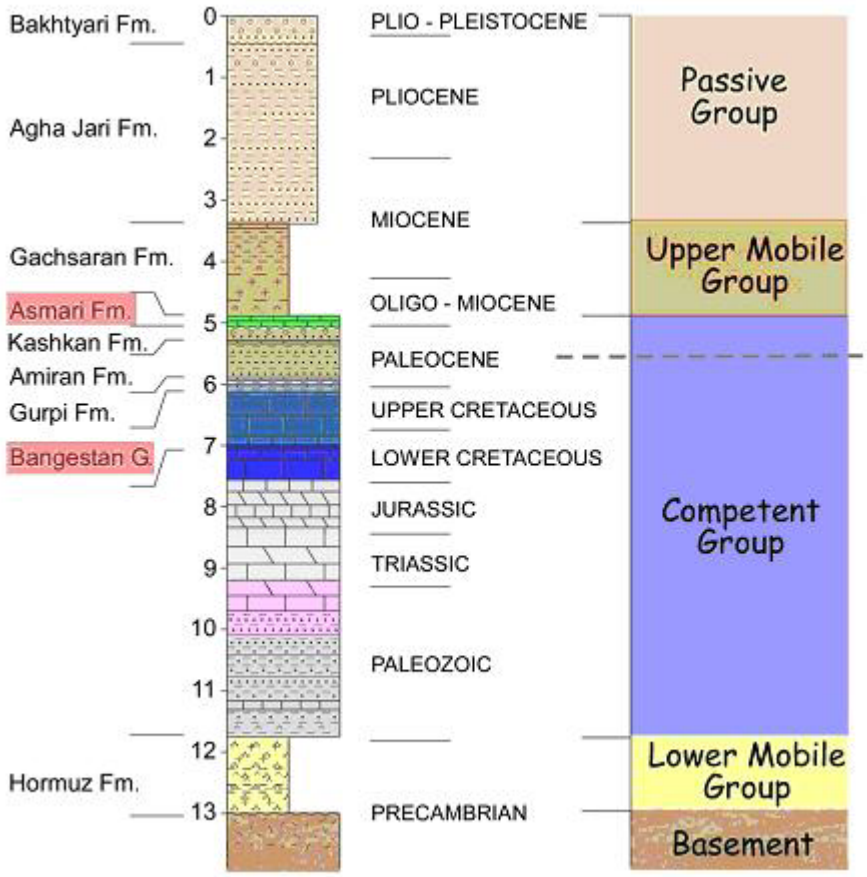
۲- گروه متحرک پایینی : از لایه ضخیم نمک هرمز تشکیل شده است. این لایه متشکل از نمک، گچ، شیل، کربنات‌ها و قطعاتی از سنگ‌های آذرین و دگرگونی پی‌سنگ سری هرمز است.

۳- گروه مقاوم : ضخیم‌ترین ستون چینه‌ای زاگرس است. این گروه از ۶-۷ هزار متر از رسوبات سکویی[1] کامبرین تا میوسن پیشین تشکیل شده است. این رسوبات متشکل از شیل، ماسه-سنگ، کربنات‌ها و تبخیری‌ها هستند.

۴- گروه متحرک بالایی : متشکل از ۱۶۰۰ متر نمک، آندزیت و گچ میوسن است. این گروه پوش‌سنگ لایه نفتی آسماری است.

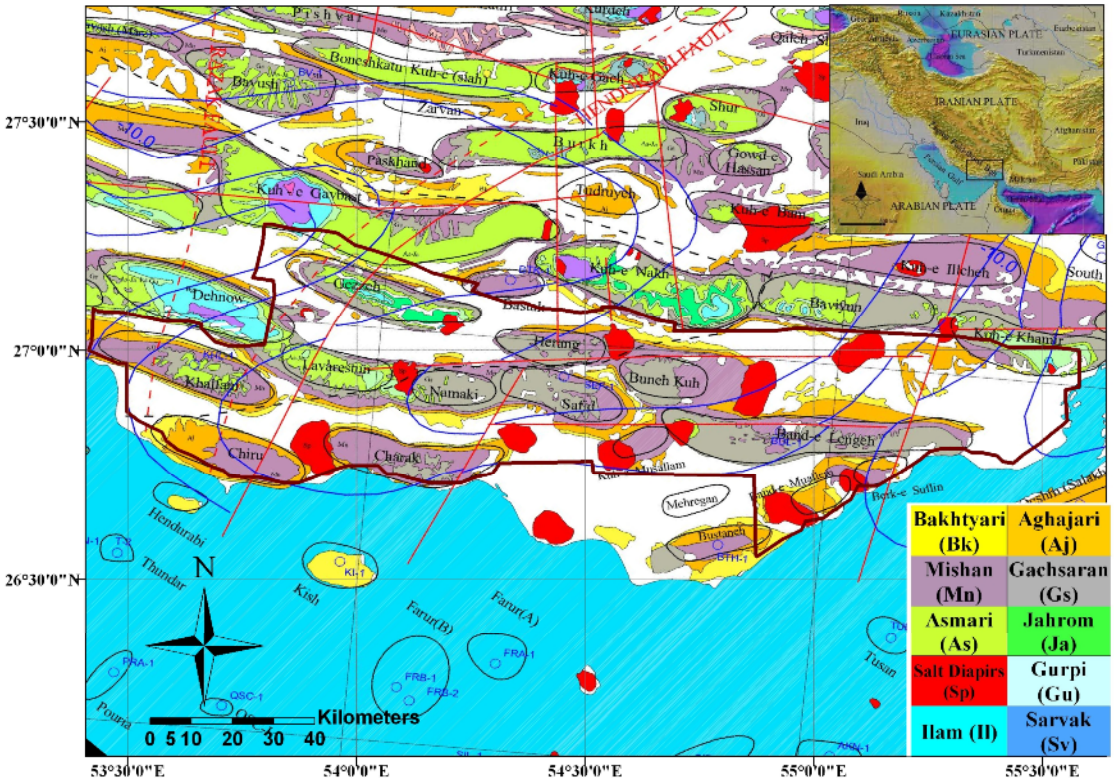
۵- گروه نامقاوم بالایی : از ۳ الی ۴ هزار متر از رسوبات میوسن پیشین که مخلوطی از ماسه‌سنگ، شیل، کنگلومرا و آندزیت است.

[1] Plateformal



شکل ۱-۲ : ستون چینه شناسی و تقسیم بندی مکانیکی واحدهای چینه ای زاگرس[۲۴].

اطلاع از عمق و ویژگی‌های فیزیکی (چگالی، خودپذیری مغناطیسی، سرعت امواج لرزه‌ای و ....) واحدهای رسوبی برای تفسیر صحیح داده‌های ژئوفیزیکی حیاتی است[۱۱]. لایه‌های رسوبی سطحی که دچار چین‌خوردگی شده‌اند، به علت فرسایش تاقدیس چین دارای رخنمون در سطح هستند. سن این لایه‌ها از محور چین به طرفین جوانتر می‌شود. از واحدهای رسوبی، تبخیری‌ها به علت اختلاف چگالی قابل توجه با رسوبات اطراف، بی‌هنجاری منفی داده‌های گرانی تولید می‌کنند. از لایه‌های رسوبی تبخیری، نمک هرمز به علت ضخامت زیاد و نزدیکی به پی‌سنگ حائز اهمیت بیشتری است. رخنمون سطحی لایه تبخیری گچساران در اغلب چین‌ها قابل مشاهده است. سنگ آهک آسماری بیشینه چگالی در منطقه مورد مطالعه دارد. این لایه رسوبی به علت نزدیک بودن به سطح به عنوان یک لایه رسوبی شاخص با بی‌هنجاری مثبت عمل می‌کند. این لایه در محور برخی از چین‌ها در منطقه مورد مطالعه رخنمون دارد. ناودیس‌ها با رسوبات آبرفتی جوان مانند کنگلومرا پر شده‌اند. چگالی رسوبات آبرفتی در بین رسوبات کمترین است لذا ایجاد بی‌هنجاری منفی ناشی در ناودیس‌ها دور از انتظار نیست (شکل ۱-۳)[۱۴].



شکل ۱-۳ : نقشه زمین شناسی منطقه مورد مطالعه. این نقشه قسمتی از نقشه زمین‌شناسی ارائه شده از مدیریت اکتشاف نفت ایران است [۶۷]. محدوده داده‌برداری با چندضلعی قهوه‌ای مشخص شده است. چند ضلعی‌های قرمز رنگ گنبدهای نمکی به سطح رسیده هستند. سری‌های رسوبی غالب در راهنمای نقشه معرفی شده است. خطوط غیرممتد قرمز در غرب نقشه گسل‌های رازک و هندروابی است که از منتهی‌الیه غربی منطقه داده برداری عبور می‌کنند. خطوط ممتد آبی و قرمز در راهنمای نقشه معرفی نشده است.

یکی از اهداف این رساله بررسی ساختارهای مرتبط با تکتونیک نمک از جمله گنبدهای نمکی است. محدوده رسوب‌گذاری افق نمک هرمز در زاگرس بر اساس پراکندگی گنبدهای نمکی سطحی برآورد شده است. محدوده افق نمک فارس توسط جهانی [۳۴] بر اساس داده‌های چاه برآورد شده است. در نقشه شکل ۱-۴ محدوده رسوب‌گذاری دو افق نمک اشاره شده در جنوب-شرقی زاگرس معرفی شده است.