

قسمت اول

کاربرد VSP چهار بعدی در EOR

مترجم: حمید پورحسین - مدیریت طرح‌های اکتشافی شرکت نفت فلات قاره ایران

امکان بررسی بیشتر استاتیکی و دینامیکی مخزن و نیز تعیین محل گسل‌ها و محدوده مخزن را مهیامی سازد. - نسبت بالای سیگنال به نویز امکان اندازه‌گیری تغییرات کمی با گذشت زمان را در مخزن با درجه زیاد فراهم می‌سازد.

- بهترین روش، اندازه‌گیری مدت زمان سیر موج لرزه‌ای تا عمق مورد نظر است.

- بهترین روش برای تطبیق بازتاب‌های لرزه‌ای با اطلاعات چاه می‌باشد. نتایج VSP یک مقطع لرزه‌ای است که آن را با داده‌های لرزه‌نگاری سطحی می‌توان مطابقت داد. در VSP می‌توان امواج پایین‌رونده و امواج بالارونده را از هم جدا کرد و زمان‌های ذریبط را به دست آورد.

- VSP در مقایسه با مقطع لرزه‌ای مصنوعی (سایزموگرام) از دقت زیادی برخوردار است.

- اطلاعات مفصلی از خواص مکانیکی و فیزیک سنگ را در صورت ثبت و پردازش توام امواج فشاری (P) و

با توجه به اهمیت موضوع ازدیاد برداشت از مخازن هیدروکربنی، بررسی و مطالعه روش‌های بهینه آن با استفاده از داده‌های دقیق ژئوفیزیکی، زمین‌شناسی، پتروفیزیکی، داده‌های چاه‌ها و غیره لازم و ضروری است. یکی از مهمترین منابع اطلاعاتی مورد استفاده در مطالعات مخزن، داده‌های لرزه‌نگاری می‌باشد. گرچه تا به حال استفاده از لرزه‌نگاری سطحی سه‌بعدی (3D Surface Seismic) براساس گیرنده‌ها و فرستنده‌های به‌کارگرفته در سطح زمین، از ابزارهای اولیه جهت نمایان‌سازی ژئوفیزیکی مخزن بوده، اما روش مقاطع لرزه‌ای عمودی (Vertical Seismic Profiling) دارای خصوصیتی است که برای نمایان‌سازی ژئوفیزیکی مخزن، مطالعات گذشت زمان یا چهاربعدی و ازدیاد برداشت مناسب می‌باشد.

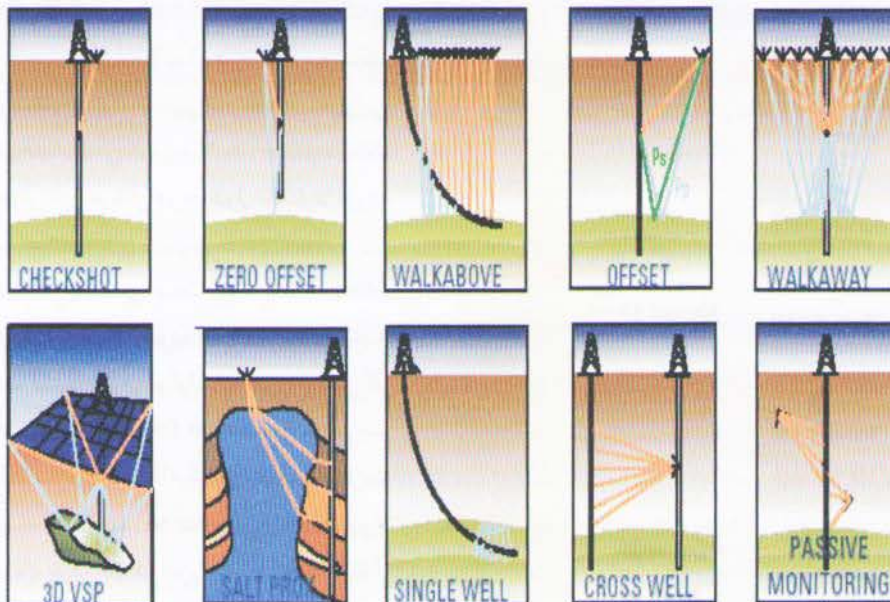
در روش مقطع لرزه‌نگاری عمودی، گیرنده‌ها (ژئوفون یا هیدروفون) درون چاه و در محل‌هایی که قبلاً مدل‌سازی و تعیین شده‌اند، قرار می‌گیرند. سپس در سطح زمین یا دریا، در نقاط مختلف عملیات انفجار (Shooting) انجام می‌شود و امواج تولیدشده توسط گیرنده‌های درون چاه ثبت می‌شوند. نسبت به

شرایط محیط، ساختار

زمین‌شناسی تحت‌الارضی و هدف اجرای عملیات مقطع لرزه‌نگاری عمودی، از آرایش‌های مختلف برداشت (شکل ۱) استفاده می‌شود.

لرزه‌نگاری درون‌چاهی (VPS) مزیت‌های بسیاری دارد:

- با افزایش فرکانس داده‌ها، قدرت تفکیک افقی و عمودی افزایش یافته و



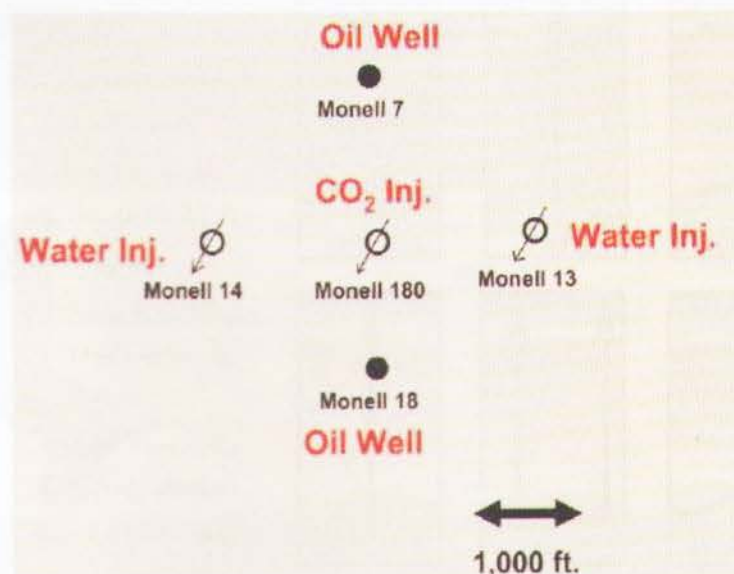
شکل ۱- انواع روش‌های برداشت VSP (شولمبرژه)

Average net thickness	25 ft
Porosity	20%
Permeability	30 mD
Depth	4800 ft
Oil gravity	43° API
Gas/oil ratio	500 scf/b
Original sw	46%
Present sw (before CO ₂ flood)	67%
Reservoir pressure	2000 psi
Reservoir temperature	120° F

جدول ۱- خصوصیات مخزنی میدان نفتی مورد مطالعه

مخزن و عمق کم آن، این میدان برای ازدیاد برداشت نفت انتخاب مناسبی بود. در مطالعه پایلوت EOR در این میدان، از ۵ چاه مطابق شکل شماره ۲ استفاده شده است. چاه مرکزی (Monell 180) به عنوان چاه تزریق گاز، مخصوصاً برای انجام مطالعات پروژه پایلوت حفاری شده بود. در این چاه عمودی، نمودارهای صوتی و چگالی برای بررسی های ژئوفیزیکی نیز تهیه شده بود. همچنین از این چاه برای مطالعات VSP نیز استفاده شده است. چاه های واقع در شمال و جنوب چاه مرکزی به عنوان چاه های تولیدی و دو چاه تزریق آب (در شرق و غرب چاه مرکزی) برای ثابت نگهداشتن فشار مخزن و محدود کردن سیلاب گاز CO₂ بوده است.

در جولای ۲۰۰۱ پایلوت پروژه EOR با نصب و تست تجهیزات و



شکل ۲- محل چاه های مورد استفاده در پروژه پایلوت EOR میدان نفتی Monell

برشی (S) ارائه می دهد.

- در پروژه های ازدیاد برداشت مخزن EOR کاربرد وسیعی دارد.
 - VSP در تعیین دقیق پارامترهای پردازش داده های لرزه ای سطحی به کار می رود. به عنوان مثال در شناسایی بازتاب های تکرار و طراحی عملگرهای واهماهیختی برای حذف آنها، تعیین ضریب محیطی تضعیف امواج (Q Factor) و موجک و نیز محاسبه احیای دامنه و امیدانس صوتی.
 - تصویرسازی مسیّر جلوی متنه حفاری (پایین تراز عمق در حال حفاری) را ممکن می سازد.

در ادامه، یک بررسی موردی (Case Study) استفاده از VSP چهاربعدی در پروژه پایلوت تزریق گاز CO₂ در میدان نفتی Monell امریکا ارائه شده است.

پروژه پایلوت تزریق گاز CO₂

در سال ۲۰۰۱ در یکی از میدانی نفتی امریکا پایلوت پروژه ازدیاد برداشت با تزریق گاز CO₂ شروع شد که هدف آن بررسی مراحل تزریق گاز و نیز واکنش مخزن به تزریق گاز بود. یک قسمت از این پروژه استفاده از VSP چهاربعدی (3DVSP با گذشت زمان) جهت نمایش تاثیرات و مسیرهای حرکت گاز تزریقی در مخزن بود. مخزن مورد مطالعه یک مخزن همگنی چینه ای ماسه سنگی به

سن کرتاسه و به نام Almond UA-5 است که شیب عمومی آن ۴ تا ۵ درجه و به سمت جنوب شرقی بوده و تغییرات تخلخل، تراوایی و ضخامت آن کم می باشد. خصوصیات مخزنی این میدان در جدول شماره ۱ آورده شده است.

نفت در جای مخزن Almond UA-5 ۱۱۰ میلیون بشکه بوده که ۲۴ میلیون بشکه تحت فشار طبیعی و اولیه مخزن (رانش گاز محلول - Solution Gas Drive) و سپس با سیلاب زنی آب، ۱۶ میلیون بشکه دیگر نیز تولید شده است. هدف اصلی از انجام پروژه ازدیاد برداشت در این میدان، تولید نفت از ۷۰ میلیون بشکه باقی مانده در مخزن است. به دلیل مقدار نفت باقی مانده، همگن بودن

۱۰
 ژانویه ۲۵
 ۱۳۸۴ - شهریور

چگالی پیش‌بینی می‌شد. شکل شماره ۳ سایزموگرام مصنوعی برای هر دو حالت، قبل و بعد از سیلاب‌زنی CO₂ را نشان می‌دهد. این تغییرات بایستی در مطالعات VSP چهاربعدي که به دقت برداشت و پردازش شده باشند،

Pore fluid saturation			
	Brine	Oil	CO ₂
Before CO ₂ flood	67%	33%	—
After CO ₂ flood	67%	16.5%	16.5%

Formation rock properties			
	P velocity (ft/s)	Density (gm/cc)	Acoustic impedance
Lewis Shale	11 000	2.55	28 000
UA-5 pre flood	11 700	2.30	26 900
UA-5 post flood	11 000	2.30	25 300

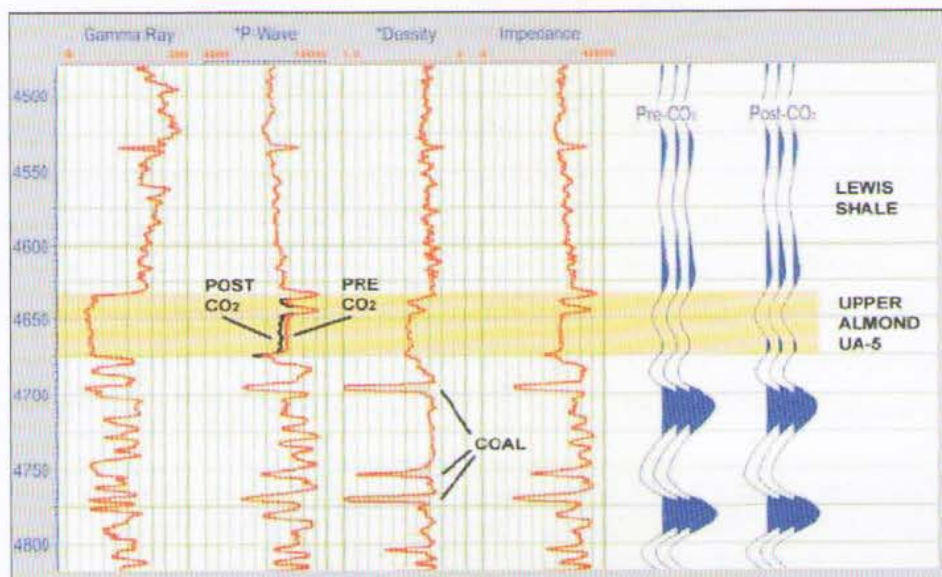
جدول ۲- اشباع‌شدگی سیالات درون حفره‌ای و خواص سنگ مخزن UA-5 Almond قبل و بعد از سیلاب‌زنی CO₂

مراحل تزریق گاز شروع شد. تزریق مداوم گاز از ژانویه ۲۰۰۲ آغاز گردید که در آن زمان عملیات برداشت 3DVSP (Baseline) نیز انجام شد. این برداشت، داده‌های لرزه‌ای با کیفیت بالایی را ارائه داد. عملیات تزریق گاز ۱۸ ماه طول کشید و در این مدت ۴۳۰ میلیون فوت مکعب گاز (به طور متوسط روزانه ۸/۰ میلیون فوت مکعب) به مخزن تزریق شد. بعد از اتمام تزریق، برداشت 3DVSP تکرار (مونیتور) انجام شد.

خواص مخزن و امکان سنجی عملیات برداشت VSP

قبل از شروع پروژه پابلوت، مطالعه خواص سنگ و سیالات مخزن و نیز امکان سنجی عملیات VSP چهاربعدي انجام گردید. شکل شماره ۲، امپدانس صوتی و سایزموگرام مصنوعی محاسبه شده را با استفاده از لاگ‌های

پتروفیزیکی (گاما، سونیک و چگالی) چاه مرکزی Monell 180 ST 1 نشان می‌دهد. عمق مخزن و ضخامت آن در این چاه به ترتیب ۴۶۳۳ فوت و ۴۲ فوت می‌باشد. در بالای مخزن، لایه شیلی Lewis واقع شده است. قبل از تزریق گاز CO₂، سرعت لایه مخزنی ارلایه بالایی مخزن بیشتر بوده، اما چگالی کمتری نسبت به آن داشت. بالا بودن اختلاف چگالی از اختلاف سرعت، موجب شده که امپدانس



شکل ۳- لاگ‌های پتروفیزیکی چاه Monell 180 ST 1 که مخزن UA-5 Almond بالایی در آن مشخص شده است. در لاگ سونیک اختلاف سرعت ۷۰ فوت بر ثانیه محاسبه شده و نیز سایزموگرام‌های قبل و بعد از تزریق گاز نشان داده شده است.

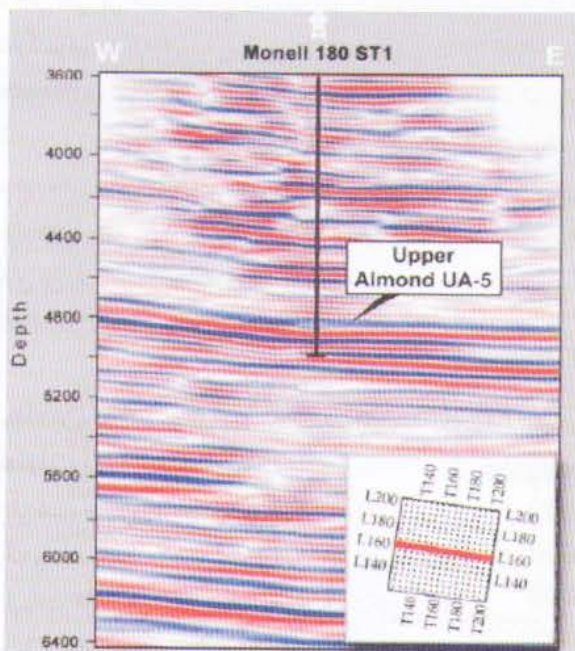
صوتی مخزن از امپدانس صوتی لایه شیلی بالایی مخزن ضعیف‌تر باشد و ایجاد پلاریته منفی یا ناوه (Trough) در مقاطع لرزه‌ای گردد. با استفاده از رابطه Biot-Gassmann تأثیرات تزریق گاز CO₂ در خواص سنگ و جایگزین سیالات درون حفره‌ای در لایه مخزنی تخمین زده شده است (جدول شماره ۲). این محاسبات براساس اشباع‌شدگی نفت ۳۳٪ قبل از تزریق گاز با فرض راندمان ۵۰ درصدی جاروب (Sweep) توسط گاز CO₂ انجام گرفته است. تحت این شرایط کاهش سرعت حدود ۷۰۰ فوت بر ثانیه (۱/۶٪) در لایه ماسه‌سنگی مخزن به دلیل تزریق گاز و نیز کاهش ناچیز

مشاهده‌شوند. (مخصوصاً پدیده ناوه‌های روشن Trough brightening در بالای مخزن). بر این اساس، برداشت VSP چهاربعدي برای نمایان‌سازی مسیرهای نفوذ و حرکت گاز CO₂ در مخزن طراحی و طی پروژه پابلوت اجرا گردید.

نتایج مطالعات VSP چهاربعدي

جدول شماره ۳، پارامترهای برداشت‌های مینا و مونیتور 3D-VSP در میدان نفتی Monell را نشان می‌دهد. بعد از برداشت و پردازش داده‌های 3D-VSP، این داده‌ها تفسیر شده و با همدیگر و نیز با داده‌های لرزه‌نگاری سه‌بعدي سطحی مقایسه گردیده و در

شماره ۲۵ - شهریور ۱۳۸۴



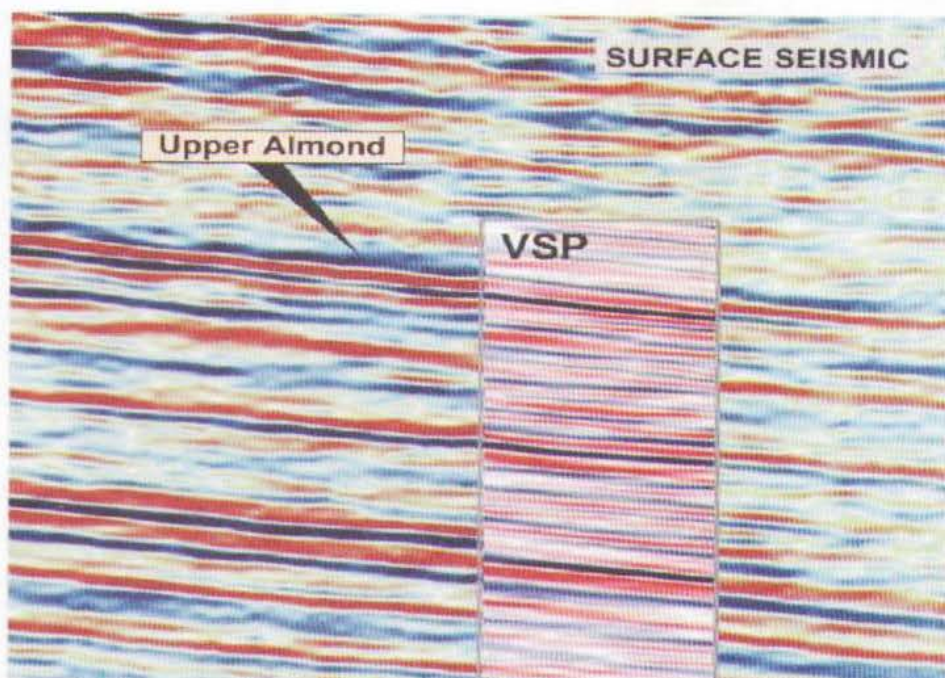
Source locations	
Source line interval	500 ft
Source point interval	200 ft
Maximum offset (inline/Xline)	5000 ft
Number of VPs	1007
Seismic source	
Source type	Vibroseis
Sweep	8-180 Hz, linear sweep
Sweeps/VP	4
Sweep length	12 s
Receiver well	
Reservoir depth	4680 ft (MD)
Receiver array	
Number of levels	80
Geophone depths	405 - 4355 ft
Level spacing	50 ft
Geophones	15-Hz SM45, 3C pods

شکل ۴- یک مقطع شرقی- غربی از داده‌های پوش داده‌شده پیش از برانبارش برداشت 3D-VSP مینا در چاه 1 Monell 180 ST که لایه مخزنی Almond UA-5 بالایی در آن نشان داده شده است.

جدول ۳- پارامترهای برداشت مینا و مونیتور 3D-VSP در میدان نفتی Monell

Almond UA-5 بالایی مشخص گردیده و تغییرات ضخامت چینه‌ای در افق مورد نظر دیده می‌شود. شکل شماره ۵، مقاطع لرزه‌نگاری سه بعدی عمودی و سطحی را که با هم دیگر تلفیق شده و مورد مقایسه و بررسی قرار گرفته‌اند، نشان می‌دهد. مطابقت و همبستگی این دو مقطع خیلی زیاد است. با این که داده‌های لرزه‌نگاری در این عمق، از باند فرکانسی تا ۶ هرتز برخوردار هستند، فرکانس مقطع لرزه‌نگاری عمودی بیشتر است که باعث قدرت بسیار تفکیک عمودی و تصویرسازی دقیق می‌گردد.

نهایت برای مطالعات EOR اطلاعات مورد نیاز استخراج می‌شود. شکل شماره ۴، یک مقطع لرزه‌نگاری عمودی در جهت شرقی- غربی را نشان می‌دهد که از داده‌های پردازش شده برداشت 3D-VSP مینا در چاه 1 Monell 180 ST تهیه شده است. در این مقاطع فرکانس امواج انعکاسی ثبت شده به بیش از ۱۳ هرتز هم می‌رسد که قادر می‌سازد داده‌ها از کیفیت و تفکیک پذیری افقی و عمودی بسیار برخوردار شوند. در این مقطع افق مخزنی



شکل ۵- مقایسه مقطع لرزه‌نگاری عمودی سه بعدی (3D - VSP) مینا با مقطع لرزه‌نگاری سطحی سه بعدی در میدان نفتی Monell

ادامه دارد

۱۲
شماره ۲۵ - شهریور ۱۳۸۴