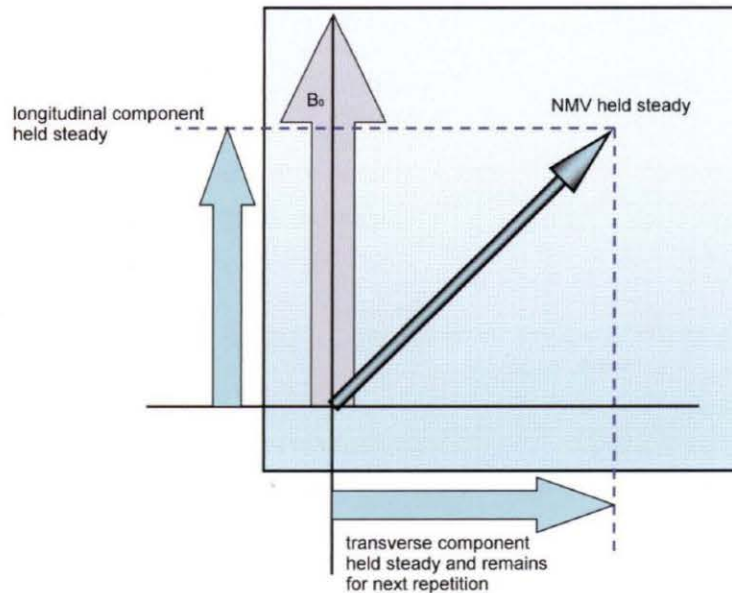


## پالس سکانس های گرادیان-اکو

### حالت ماندگار و تشکیل اکو

حالت ماندگار (steady state) شرایطی است که در آن TR کوتاهتر از زمان های آسایش T1 و T2 بافت ها است. در نتیجه، هیچ زمانی برای مغناطش عرضی نمی ماند تا قبل از تکرار پالس سکانس میرا شود. در شرایط حالت ماندگار، هر دو مغناطش طولی و عرضی با هم وجود دارند. برای رسیدن به این شرایط، انرژی داده شده به هیدروژن از طریق پالس تحریک (تعیین شده با زاویه چرخش) می بایست مشابه انرژی ای باشد که هیدروژن در طول مدت TR از دست می دهد. در نتیجه، مقادیر بحرانی (critical value) از زاویه چرخش و TR وجود دارند که اجزای طولی و عرضی مغناطش را در حین اخذ داده ثابت نگه می دارند (شکل ۵-۲۳). بطور کلی، زوایای چرخش ۳۰ تا ۴۵ درجه همراه با TR بین ۲۰ تا ۵۰ میلی ثانیه برای رسیدن به حالت ماندگار می رسند.



شکل ۵-۲۳- شرایط حالت ماندگار

اگر شرایط حالت ماندگار حفظ شود، جزء عرضی مغناطش زمان کافی برای میرا شدن در حین پالس سکانس پیدا نخواهد کرد و در نتیجه، بر روی کنتراست تصویر تاثیر میگذارد زیرا ولتاژ را در کوئل دریافت کننده القا می کند. این مغناطش عرضی، که در نتیجه تحریک های قبلی تولید می شود، با عنوان مغناطش عرضی باقیمانده (residual transverse magnetization) خوانده می شود.

این مساله بر کنتراست تصویر تاثیر می گذارد چون در بافت هایی با زمان T2 طولانی (مانند آب)

که روی تصویر روشن ظاهر می شوند، ایجاد می شود. بطور کلی، چون TR خیلی کوتاه است، مغناطش در بافت ها زمان کافی ندارد تا به زمان های آسایش T1 یا T2 خود قبل از اعمال پالس تحریک بعدی برسد. پس در تصویر حالت ماندگار، کنتراست بعلاوه اختلاف زمان های آسایش T1 و T2 بافت ها نیست؛ بلکه مربوط به نسبت T1 به T2 است؛ یعنی در بافت هایی که T1 و T2 یکسان هستند، شدت سیگنال زیاد است.

در بدن انسان، چربی و آب این خاصیت را دارند (چربی دارای زمان های T1 و T2 کوتاه و آب دارای زمان های T1 و T2 بلند است) و در نتیجه، شدت روشنایی بالایی را در سکانس های حالت ماندگار نشان می دهند (جدول ۵-۱). بیشتر سکانس های گرادیان اکو از شرایط حالت ماندگار استفاده می کنند زیرا کمترین TR و در نتیجه کمترین زمان اسکن قابل دستیابی است. سکانس های گرادیان اکو با توجه به اینکه آیا مغناطش عرضی باقیمانده همفاز (همگرا) یا غیرهمفاز (غیرهمگرا) است، طبقه بندی می شوند.

**Table 5.1** Tissue decay times and signal intensity in the steady state at 1 T.

Tissue	T1 Time (ms)	T2 Time (ms)	T1/T2	Signal intensity
Water	2500	2500	1	↑
Fat	200	100	0.5	↑
CSF	2000	300	0.15	↓
White matter	500	100	0.2	↓

### نکته آموزشی: تشکیل اکو

حالت ماندگار شامل اعمال مکرر پالس های RF در بازه های زمانی کمتر از زمان های T1 و T2 همه بافت ها می شود. این قطار پالس های RF دو سیگنال ایجاد می کنند:

- یک سیگنال FID که در نتیجه برداشتن پالس RF رخ می دهد و وقتی دوباره همفاز شد، اطلاعات T1 یا T2\* بر حسب TE را دربردارد.

- یک اسپین اکو که پیک آن همزمان با پالس RF بعدی رخ می دهد و حاوی اطلاعات T1 و T2\* است.

این مساله بدان علت اتفاق می افتد که هر پالس RF (صرفنظر از بزرگی آن) حاوی انرژی هایی است که برای دوباره همفاز کردن مغناطش عرضی کافی هستند. این انرژی ها مغناطش عرضی

باقیمانده باقیمانده از بقیه پالس های RF قبلی را دوباره همفاز می کنند تا یک اسپین اکو تشکیل شود. این مساله دقیقا همزمان با پالس RF بعدی رخ می دهد چون مغناطش عرضی باقیمانده برای دوباره همفاز شدن مدت زمان مشابهی با غیرهمفاز شدن اولیه صرف می کند. پس، هنگام استفاده از شرایط حالت ماندگار، TR برابر TAU اسپین اکو است.

به شکل های ۲۴-۵ و ۲۵-۵ توجه کنید. پالس RF اول (پالس RF ۱ با رنگ قرمز) باعث تولید یک FID (با رنگ قرمز) می شود. پالس RF دوم (پالس RF ۲ با رنگ نارنجی) همچنین تولید یک FID (با رنگ نارنجی) می کند. با این حال، چون TR بین پالس های RF ۱ و ۲ کوتاهتر از زمان های آسایش بافت ها است، مغناطش عرضی هنوز هنگام اعمال پالس RF ۲ وجود دارد. پالس RF ۲ ایجاد یک FID می کند و مغناطش عرضی باقیمانده ای که هنوز از پالس RF اول باقی مانده است را دوباره همفاز می کند. پس، یک اسپین اکو ایجاد می شود. این مساله همزمان با اعمال پالس RF سوم (پالس RF ۳ با رنگ آبی) اتفاق می افتد چون زمان لازم برای دوباره همفازی این مغناطش عرضی برابر با آنچه طول میکشد تا غیرهمفازی رخ دهد، می باشد. پس در پالس RF ۳ دو سیگنال

وجود دارد: یک FID (بارنگ آبی) که در نتیجه ویژگی تحریک RF ایجاد می شود و یک اسپین

اکو (به رنگ قرمز) که توسط پالس های RF ۱ و دوباره همفاز شدن توسط پالس RF ۲.

هر یک از پالس های RF باعث تولید یک اسپین اکو می شود. اولین پالس RF باعث تحریک هسته

ها صرف نظر از مقدار کلی می شود؛ دومین پالس RF باعث دوباره همفازی FID و هر مغناطش

باقیمانده موجود برای ایجاد یک اسپین اکو می شود (شکل ۵-۲۴ و ۵-۲۵). این اکوها به نام اکوهای

Hahn یا stimulated بسته به مقدار پالس های RF درگیر نامیده می شوند. هر یک از دو پالس RF

۹۰ درجه تولید اکو Hahn می کنند (به نام Edwin Hahn که آن را کشف کرده است). هر یک

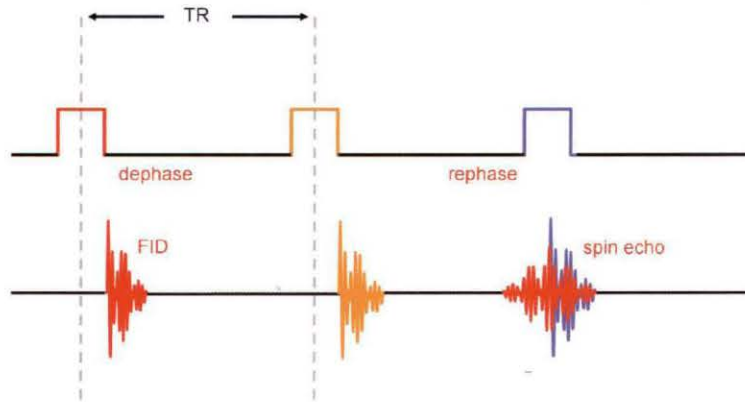
از دو پالس RF با مقادیر متغیر، یعنی زوایای چرخش غیر از ۹۰ درجه، به نام اکوهای stimulated

شناخته می شوند. این نوع اکو در سکانس های گرادیان اکو حالت ماندگار استفاده می شود.

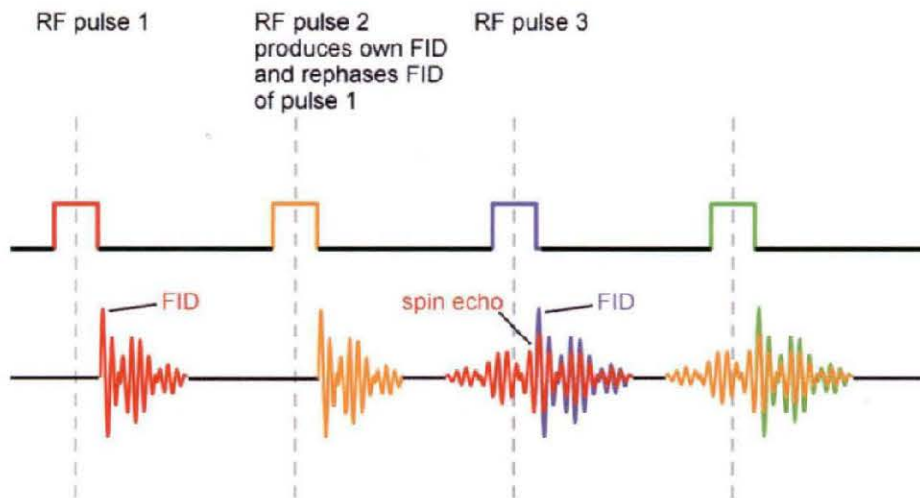
در عمل، تولید اکو آنقدر سریع است که دم سیگنال های FID با اکوهای تحریک شده ترکیب می

شود، و منجر به تولید سیگنال پیوسته با مقدار متغیر می شود. با این حال، برای سادگی، در تصاویر

اینجا جدا نشان داده شده اند.



شکل ۵-۲۴- تشکیل اکو در شرایط ماندگار ۱



شکل ۵-۲۵- تشکیل اکو در شرایط ماندگار ۲

## خلاصه:

- شرایط حالت ماندگار هنگامی که TR کوتاهتر از زمان های آسایش بافت ها است ایجاد می شود.
- در نتیجه، مغناطش باقیمانده در صفحه عرضی تشکیل می شود.
- مغناطش عرضی باقیمانده توسط پالس RF بعدی دوباره همفاز می شود تا اکوهای تحریک شونده تولید کند.
- کنتراست تصویر حاصل بعلت نسبت T1 به T2 در یک بافت خاص است و به اینکه آیا FID و/یا اکو تحریک شونده نمونه برداری شده اند بستگی دارد.

مرجع:

MRI in Practice, Chapter 5: By Catherine Westbrook, 2006