دانشگاه سمنان

دانشکده مهندسی مکانیک

آزمون های غیر مخرب:

آزمایش با امواج التراسونیک (UT)

دکتر عبدالواحد کمی

دانشکده مهندسی مکانیک

دانشگاه سمنان

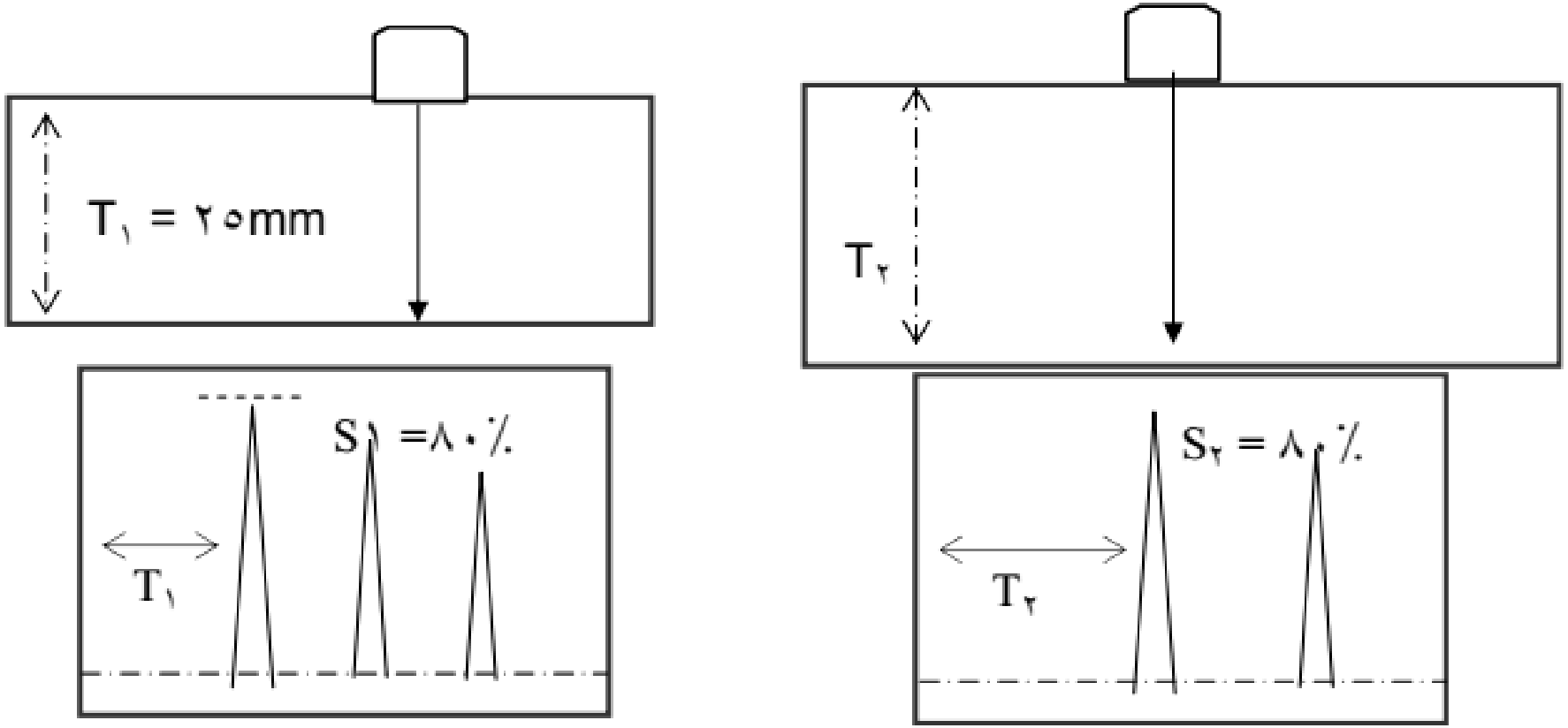
تعدیل سطح یا ضریب انتقال (Transfer Correction)

- در شرایط عادی، سطح قطعات مورد آزمایش نسبت به سطح نمونه تنظیم ناهموارتر و زبرتر است و در نتیجه ممکن است امواج در برخورد با چنین سطوحی، تحت پدیده های انکسار و انعکاس کوتاه و ریزی قرار گرفته و بخشی از انرژی خود را از دست بدهند.
- قبل از آغاز هر آزمایش لازم است تا تفاوت اتلاف انرژی بین سطح نمونه تنظیم و سطح قطعات کار محاسبه گردد.
- دو روش زیر برای محاسبه ضریب تغییر سطح با **الف-امواج صفر درجه** و **ب- امواج زاویه ای** بررسی خواهد شد.

الف - اندازه گیری ضریب تعدیل سطح با پروب صفر درجه

1. صفحه تصویر دستگاه آلتراسونیک، با نمونه ای استاندارد تنظیم می شود.
2. با قرار دادن پروب روی نمونه تنظیم، ارتفاع پالس بازتابش ضخامت نمونه به حد ۸۰٪ ارتفاع صفحه تصویر رسانده می شود. فاصله پالس ضخامت نمونه تنظیم در صفحه تصویر و دسی بل آن یادداشت می گردند (S1 و T1).
3. سپس پروب روی سطح قطعه اصلی قرار می گیرد، در این حالت نیز پس از رساندن ارتفاع پالس ضخامت آن به حد ۸۰٪ ارتفاع صفحه تصویر، فاصله پالس ضخامت و دسی بل آن یادداشت می شود (S2 و T2).

الف - اندازه گیری ضریب تعدیل سطح با پروب صفر درجه



شکل ۴-۷

الف - اندازه گیری ضریب تعدیل سطح با پروب صفر درجه

4. سپس ضریب تعدیل سطح از رابطه زیر محاسبه می شود:

$$T_C = E_C - E_d$$

T_C ضریب تعدیل سطح (به دسی بل)

E_C حد تعدیل دامنه (تفاوت دسی بل بدون اختلاف در سطح)

E_d تفاوت ارتفاع دو پالس روی نمودار D.G.S (به دسی بل).

الف - اندازه گیری ضریب تعدیل سطح با پروب صفر درجه

5. حد تعدیل دامنه که مشخص کننده اتلاف انرژی صوتی در قطعه است، از رابطه زیر محاسبه می شود:

$$E_C = S_2 - S_1 - (2 \times T_2 \times A)$$

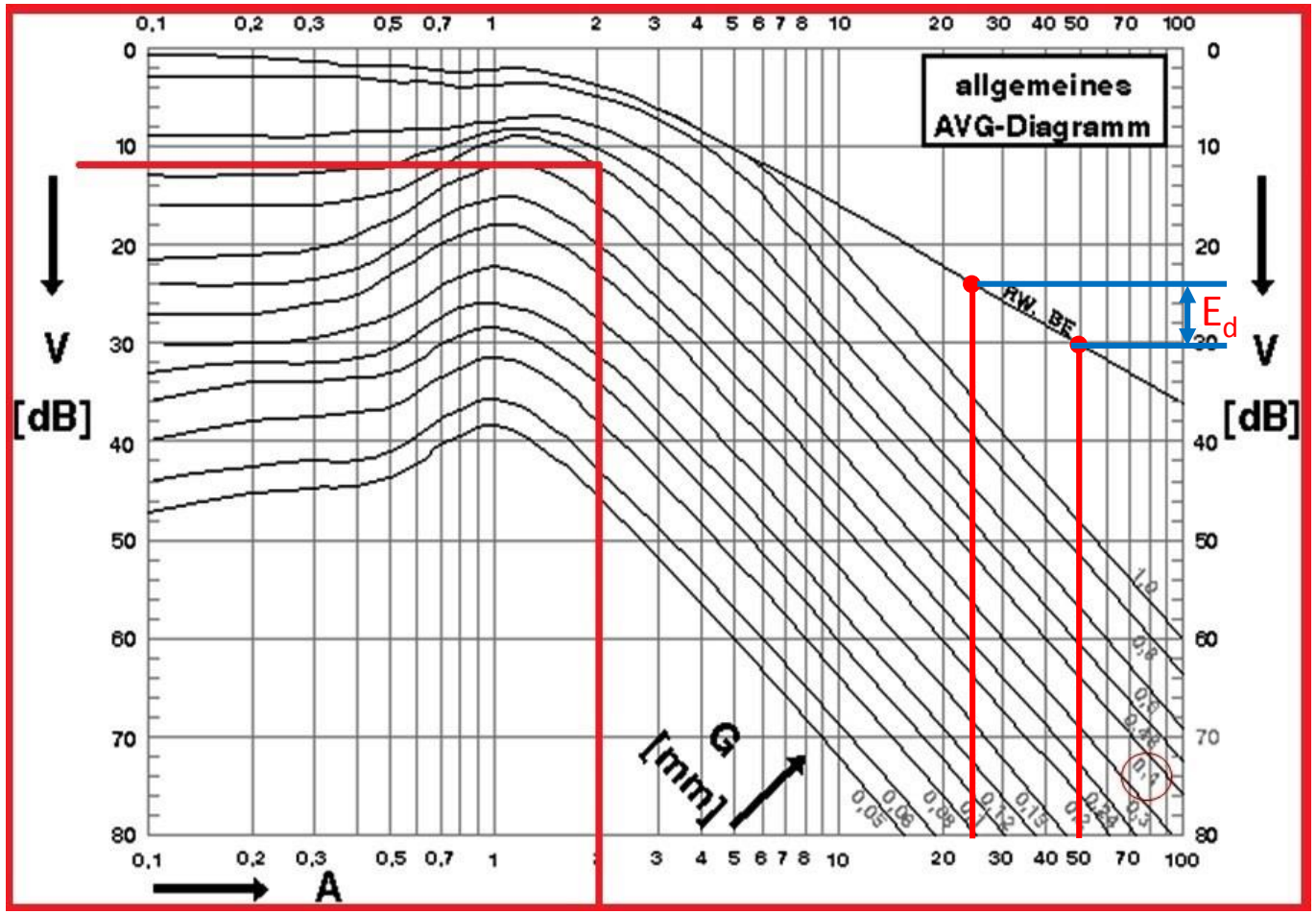
- A: اتلاف انرژی در ماده (دسی بل در هر میلی متر)

توجه: برای محاسبه A به اسلایدهای ۲۰ تا ۲۴ از فایل Lecture 04_UT_Part2 مراجعه شود.

- T_2: ضخامت قطعه اصلی (میلی متر)

الف - اندازه گیری ضریب تعدیل سطح با پروب صفر درجه

6. برای محاسبه E_d، روی محور افقی نمودار D.G.S از دو نقطه معادل با ضخامت نمونه (T_1) و ضخامت قطعه اصلی (T_2) دو خط عمودی رسم می گردد. تفاوت دسی بل دو نقطه تقاطع این دو خط با منحنی بی نهایت (هاشورزده) برابر با E_d است.



الف - اندازه گیری ضریب تعدیل سطح با پروب صفر درجه

- مثال: ضریب تسطیح برای یک قطعه ریخته گری به ضخامت ۶۰ میلی متر محاسبه می گردد . اصولاً انتشار امواج در قطعات ریخته گری، با اتلاف انرژی صوتی صورت همراه است که در این مثال مقدار آن قبلاً محاسبه و $A = ۰.۰۱$ dB/ mm فرض می شود .

مراحل اندازه گیری :

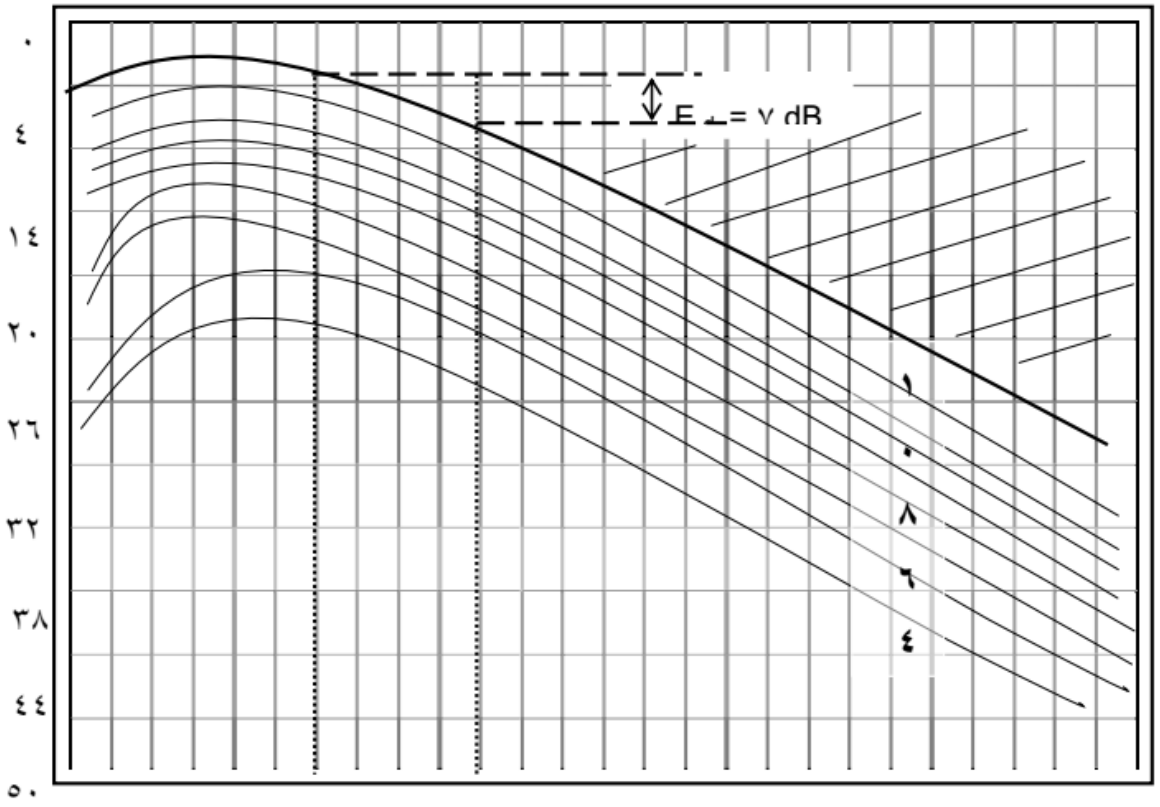
۱ - پس از تنظیم صفحه تصویر ، پروب روی نمونه تنظیم قرار گرفته و پالس انعکاس از ضخامت تا ارتفاع ۸۰٪ رسانده می شود .

در این مرحله ، ضخامت ۲۵ میلی متر و شدت آن ۳۴ دسی بل شده است .

۲ – پس از قرار دادن پروب روی قطعه اصلی، پالس ضخامت تا حد ارتفاع ۸۰٪ رسانده می شود. در این مرحله، ضخامت ۶۰ میلی متر و شدت آن ۴۶ دسی بل شده است .

الف - اندازه گیری ضریب تعدیل سطح با پروب صفر درجه

- مثال:



$S = S_1 - S_2 = ۴۶ - ۳۴ = ۱۲ \text{ dB}$

$T_۲ = ۶۰ \text{ mm}$

$A = ۰.۰۱ \text{ dB / mm}$

$E_C = S - (۲ \times T_۲ \times A)$

$E_C = ۱۲ - (۲ \times ۶۰ \times ۰.۰۱) = ۱۲ - ۱.۲ = ۱۰.۸ \text{ dB}$

$T_C = E_C - E_d = ۱۰.۸ - ۷ = ۳.۸ \text{ dB}$ ضریب انتقال سطح

الف - اندازه گیری ضریب تعدیل سطح با پروب زاویه ای

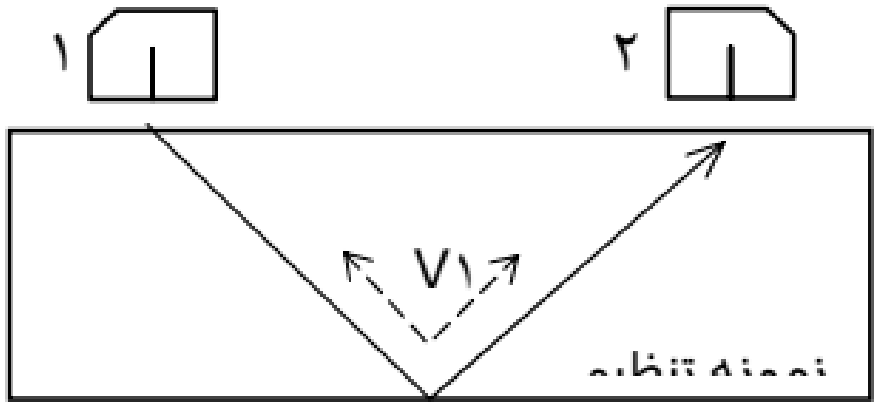
- در این روش نیز مانند اندازه گیری اتلاف انرژی، از دو پروب مشابه بصورت فرستنده و گیرنده استفاده مـی شود.

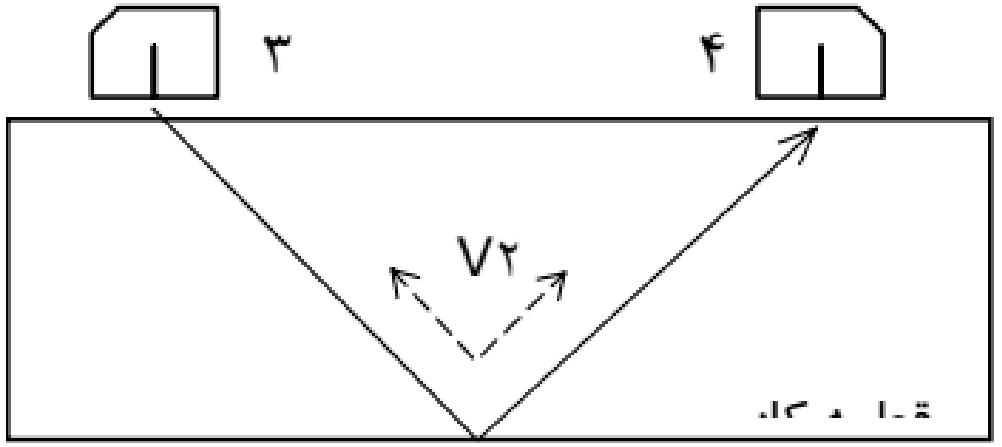
1. با استفاده از نمونه تنظیم، طول محور افقی صفحه تصویر برابر بـا حـداقل دو گـام ضـخامت قطعـه اصلی تنظیم می گردد.
2. دو پروب روی نمونه تنظیم قرار می گیرند و ارتفاع پالس دریافتی پـروب گیرنـده (پروب شماره ۲) به ۸۰٪ ارتفاع صفحه تصویر رسانده شده، دسی بـل و طـول بـرد امـواج یادداشـت مـی شود (S_1 و V_1).

دکتر عبدالواحد کمی، akami@semnan.ac.ir | دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه سمنان

الف - اندازه گیری ضریب تعدیل سطح با پروب زاویه ای

3. دو پروب روی قطعه اصلی قرار می گیرند. در این حالت نیز، پس از رساندن ارتفاع پالس دریافتی پروب گیرنده به ۸۰٪ ارتفاع صفحه تصویر، دسی بل دستگاه و فاصله طی شده امواج یادداشت می شود (S_2 و V_2).





الف – اندازه گیری ضریب تعدیل سطح با پروب زاویه ای

3. دو پروب روی قطعه اصلی قرار می گیرند. در این حالت نیز، پس از رساندن ارتفاع پالس دریافتی پروب گیرنده به ۸۰٪ ارتفاع صفحه تصویر، دسی بل دستگاه و فاصله طی شده امواج یادداشت می شود (S_2 و V_2).

4. بقیه مراحل مشابه آنچه برای پروب صفر درجه گفته شد، می باشد. تنها کافی است بجای T_1 از V_1 و بجای T_2 از V_2 استفاده شود.

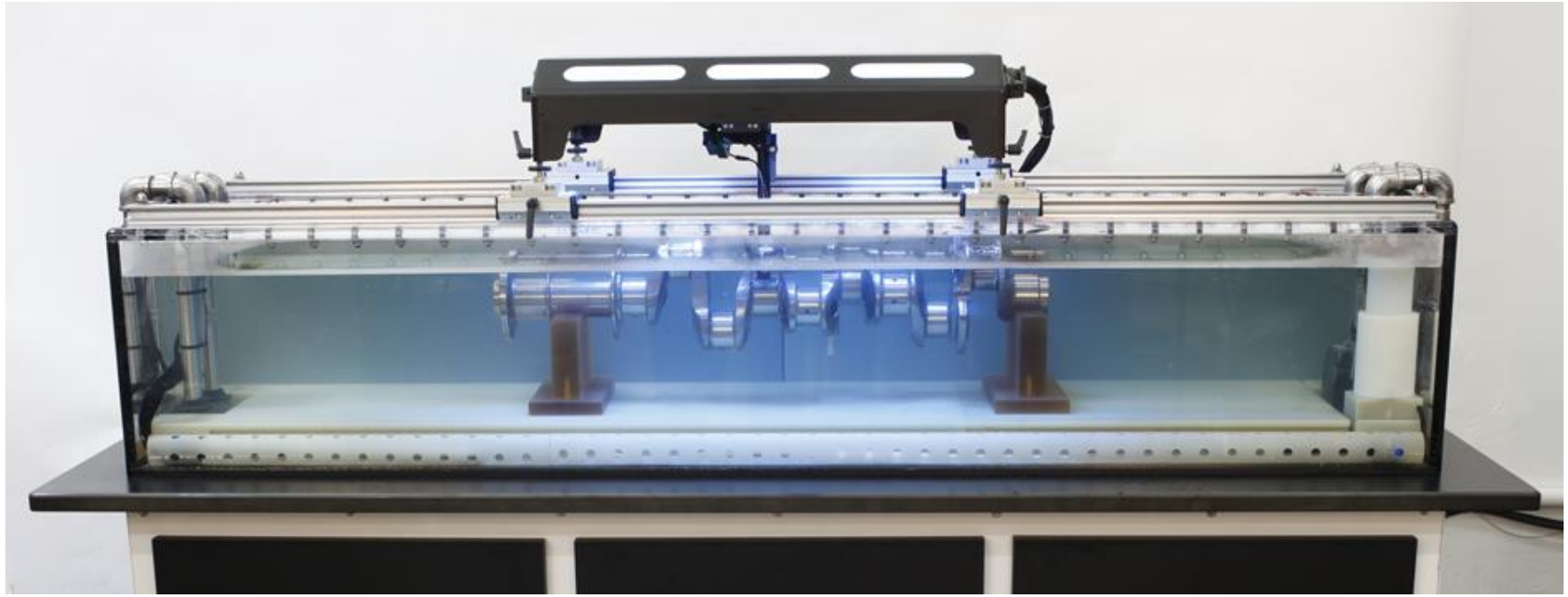
- مثال ۸ صفحه ۱۰۱ را مطالعه کنید.

الف – اندازه گیری ضریب تعدیل سطح با پروب زاویه ای

- چنانچه جسم بدون اتلاف انرژی صوتی باشد، $E_C = S_2 - S_1$ خواهد بود و دیگر لزومی به محاسبه E_C نیست.
- در مواردی که ضخامت نمونه مرجع با ضخامت قطعات اصلی برابر باشد، نیازی به استفاده از نمودار D.G.S نمی باشد و $E_C = E_d$ خواهد شد.
- با این توضیحات، اگر قطعات بدون اتلاف انرژی صوتی باشند و ضخامت نمونه مرجع با ضخامت قطعات اصلی برابر باشند، ضریب تسطیح برابر با تفاضل دسی بل ها $(S_2 - S_1)$ خواهد بود.

روش های غوطـه وری (Immersion Methods)

- آزمایش آلتراسونیک را می توان به دو روش **تماس مستقیم** و **غوطه وری** انجام داد.
- در **تمـاس مستقیم** حجم ماده رابط کم بوده و این ماده فقط کار انتقـال امـواج را انجـام می دهـد. ولی در **روش غوطـه وری** ماده رابط حجم زیاد دارد.



دکتر عبدالواحد کمی، akami@semnan.ac.ir | دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه سمنان

مزایای روش های غوطــه وری

۱- سرعت آزمایش غوطه وری، بسیار بیشتر از روش تماس مستقیم است.

۲- امواج پس از طی مسافت حوزه نزدیک وارد اجسام می شوند و لذا هیچگاه حوزه کور و پـالس صـفر در صفحه تصویر دیده نمی شود. به همین دلیل با پروب های تک کریسـتاله نیـز، عیـوب نزدیـک بـه سطح قابل تشخیص هستند.

۳- تنظیم و تغییر پارامترها به دفعات کمتر انجام می گیرد.

۴- به علت عدم تماس پروب با سطح کار، مشکل سایش پروب وجود ندارد.

مزایای روش های غوطـه وری

۵- برای آزمایش خطوط لوله زیر آب، سکوهای حفاری دریایی و تجهیزات زیر آبـی فقـط از تکنیـک های غوطه وری می توان استفاده کرد.

۶- این روش در بازرسی قطعات مشـابه و همچنـین در بازرسی خودکار کـاربرد گسـترده تـری دارد. در سیستم آزمایش با تکنیک های بی اسکن و سی اسکن اغلب از روش غوطه وری استفاده می شود.

محدودیت های روش های غوطـه وری

۱- به دلیل وجود تجهیزات جانبی و پیچیده بودن، برای کارهای متنوع و بیابانی کارایی ندارد.

۲- در مقایسه با روش تماس مستقیم، هزینه آزمایش ها بسیار بیشتر هستند.

۳- فقط از پروب های مخصوص و ضد نفوذ آب استفاده می شود.

۴- مصرف آب در این روش زیاد است.

۵- به سیستم آب ریز و مدار بسته برای بازیافت آب نیاز است.

انواع روش های غوطه وری

روش های غوطه وری، بسته به نوع ارتباط سیال بین پروب و قطعه و نیز نوع محفظه آزمـایش بـه سـه دسته اصلی زیر تقسیم می شوند:

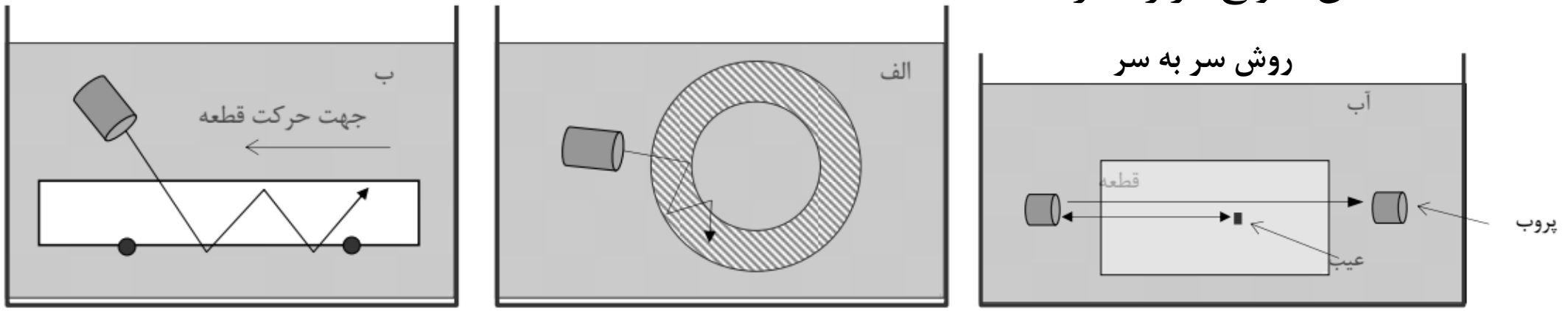
۱- **پروب و قطعه غوطه ور**

۲- **غوطه وری موضعی** (غوطه وری پروب، پروب محفظه ای و چرخ دوار)

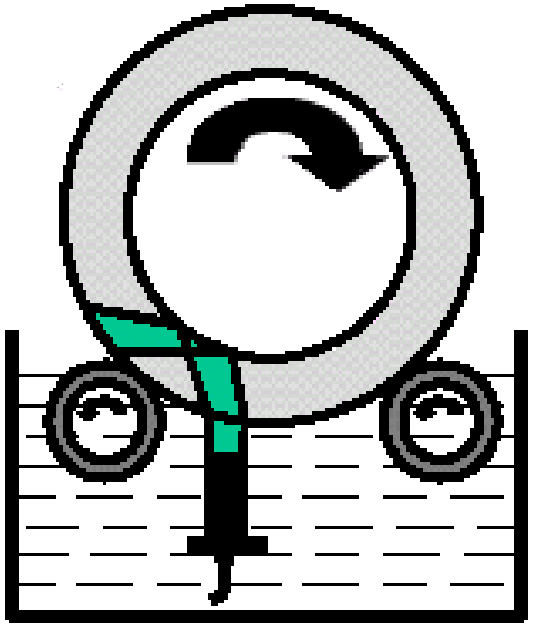
۳- **روش کانونی**

انواع روش های غوطه وری: ۱- پروب و قطعه هر دو غوطه ور

- همانطور که از نام روش هم پیداست پروب همراه با قطعه مـورد آزمایـــش هـر دو در ظـرف سـیال (آب) غوطـه ور هستند.
- بیشتر بـرای آزمـایش قطعـات **کوچـک** و **مشـابه** کاربرد دارد.
- ظرف سیال و موقعیت پروب طوری طراحی می شود که قطعات در فاصله ای ثابت و معـین تحـت تـابش امواج قرار گیرند.

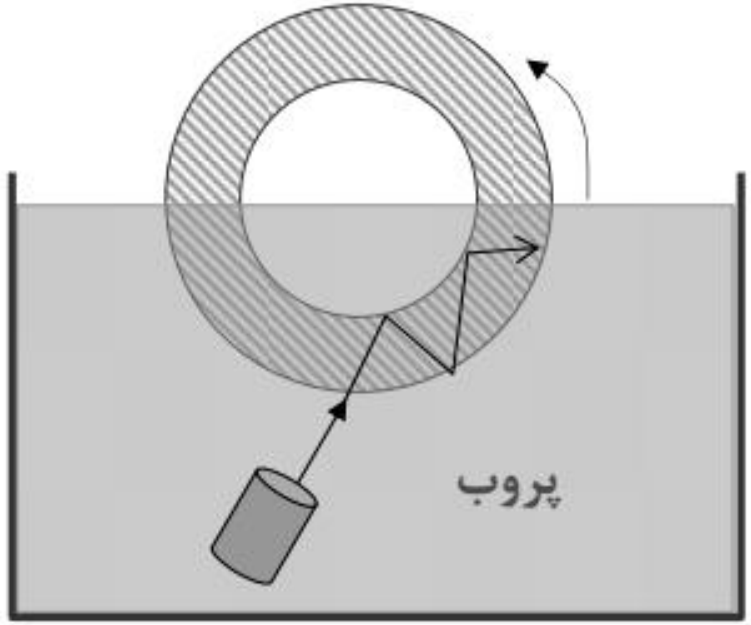


انواع روش های غوطه وری: ۲- غوطه وری موضعی



- در روش موضعی، معمولاً ناحیه محدودی از قطعه کار به طریق غوطه وری تحت تابش امواج قرار می گیرد.

۲-الف- غوطه وری پروب



در این روش پروب در جای ثابتی درون یک ظرف آب تعبیه شده و ناحیه محدودی از قطعه را تحت پوشش امواج قرار می دهد. این روش مخصوص **آزمایش قطعات بزرگ در کارخانجات تولیدی** است.

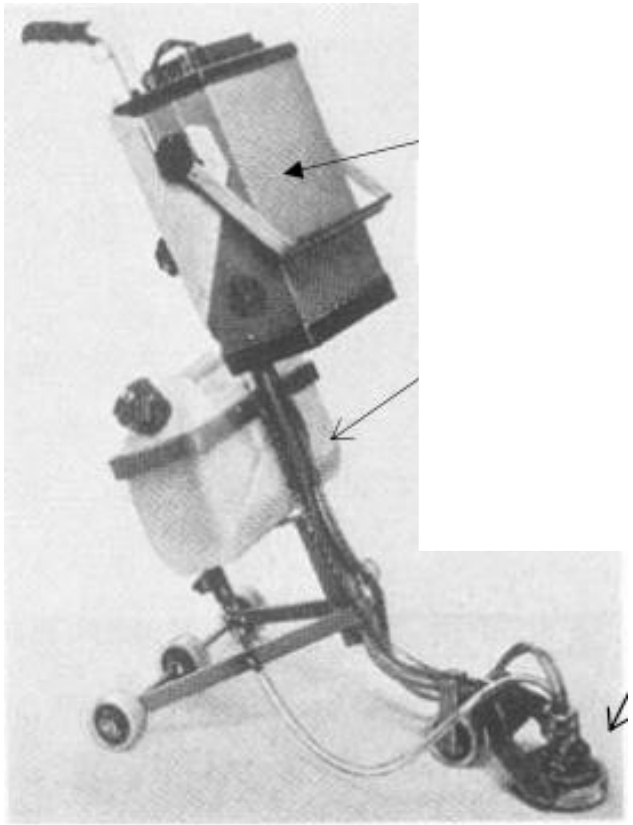
انواع روش های غوطه وری: ۲- غوطه وری موضعی

۲-ب- پروب محفظه ای

- در نوع محفظه ای، پروب در یک فنجانک مخصوص تعبیه شده و حجم ثابتی از آب روان در فاصله بین پروب و سطح کار در گردش است.
- از این روش برای آزمایش **جوش طولی لوله ها** در سیستم آلتراسونیک اتوماتیک و **آزمایش ورق های فولادی** با سیستم های اتوماتیک و یا دستگاه سیار استفاده می شود.
- در نوع سیار، یک دستگاه آلتراسونیک، یک ظرف آب و محفظه پروب روی یک سیستم چرخ دار کوچک نصب می شوند. در هنگام آزمایش، با حرکت گاری، در حالیکه آب در محفظه پروب در جریان است، پروب روی سطح ورق فولادی کشیده می شود.

انواع روش های غوطه وری: غوطه وری موضعی

۲-ب- پروب محفظه ای



انواع روش های غوطه وری: ۲- غوطه وری موضعی

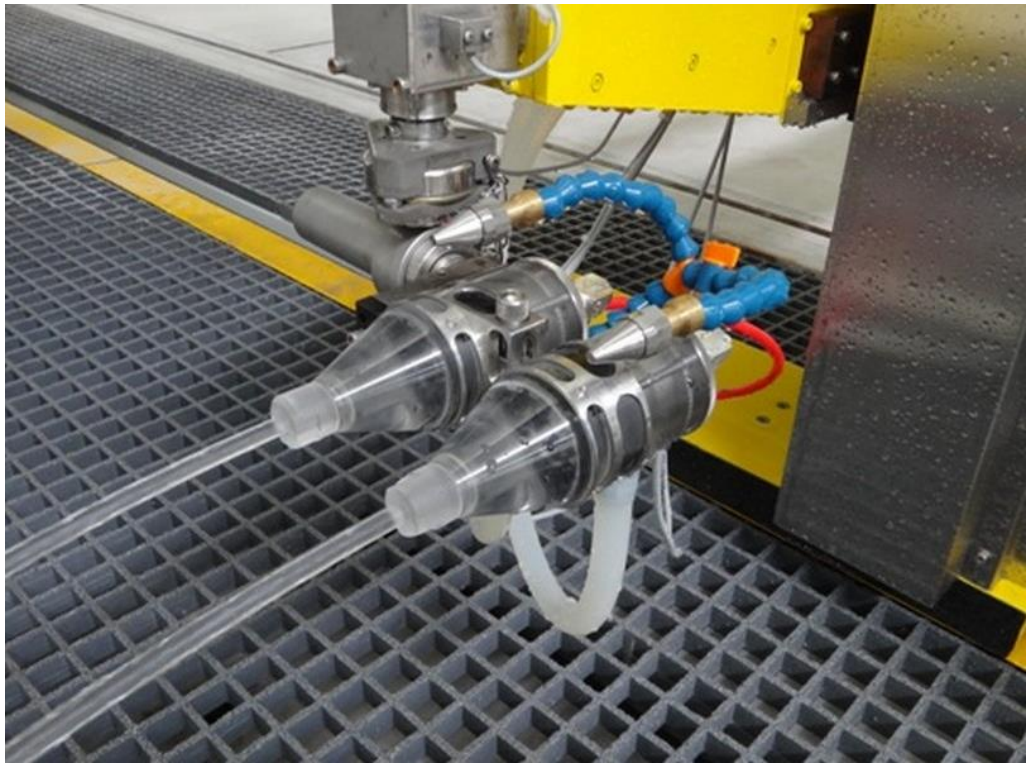
۲-ج- چرخ دوار

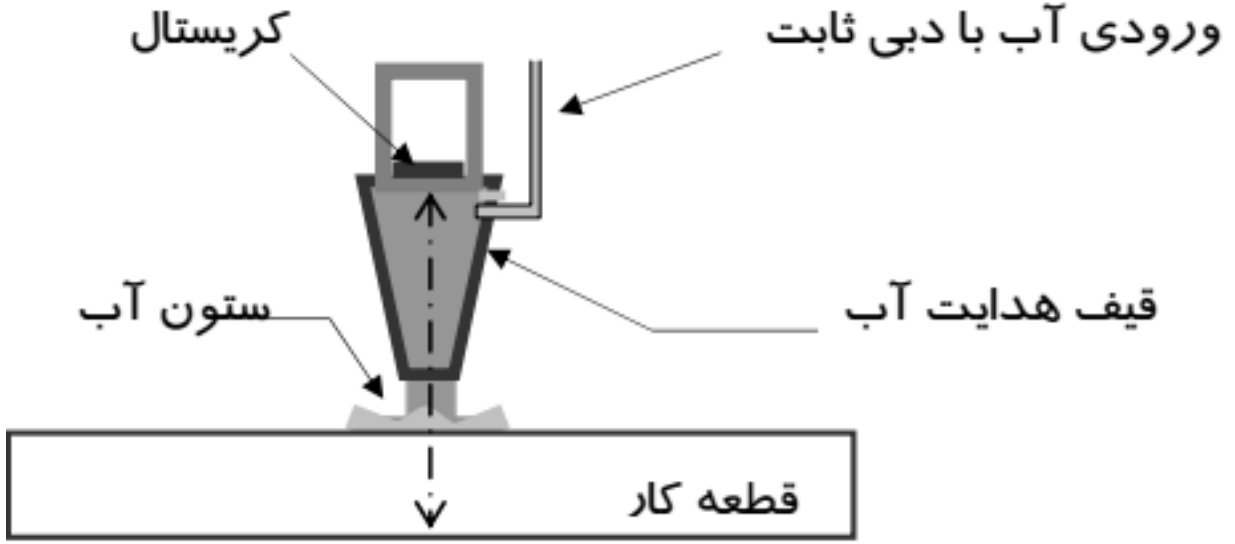
- در نوع چرخ دوار، کریستال بطور ثابت در یک چرخ لاستیکی تعبیه شـده و درون آن حجـم ثـابتی ازآب قرار می گیرد. با چرخش محفظه حول محور دوار، امواج پس از عبور از حجم آب، به درون قطعه انتشار می یابند.

دکتر عبدالواحد کمی، akami@semnan.ac.ir | دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه سمنان

انواع روش های غوطه وری: ۳- روش کانونی

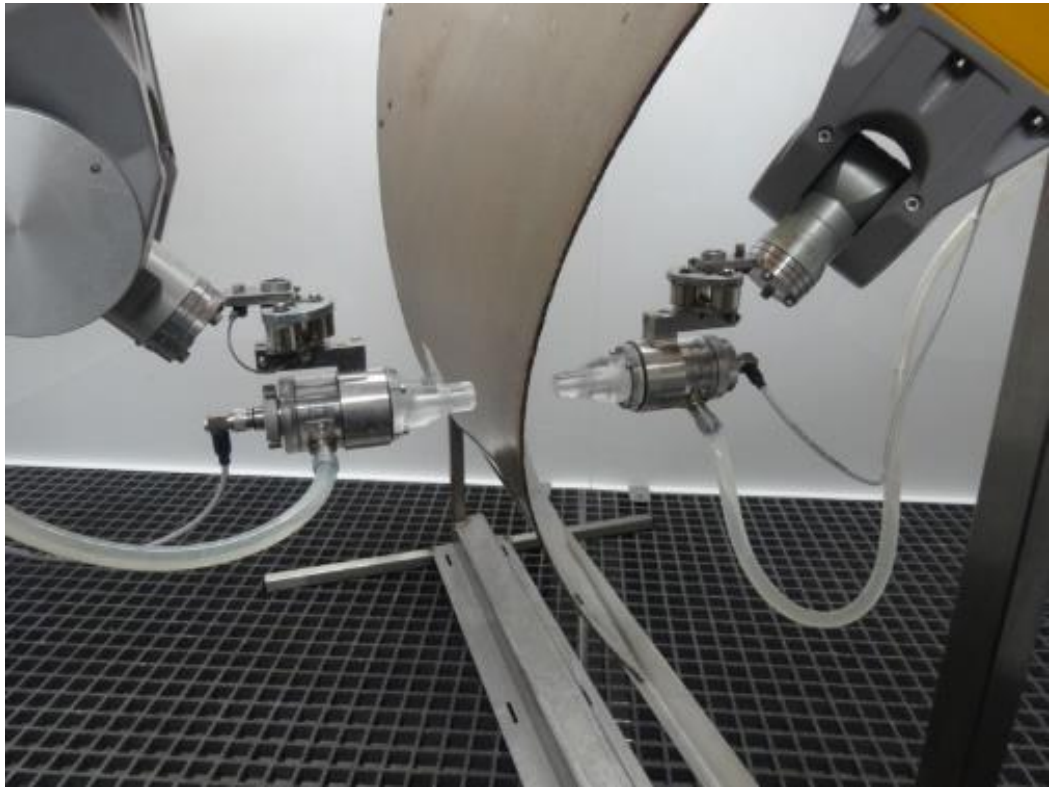
در این روش محفظه پروب به شکلی طراحی شده که جریان آب به صورت یک ستون متمرکز، با سرعت و حجم ثابت، امواج را به درون قطعه مورد آزمایش هدایت می کند.

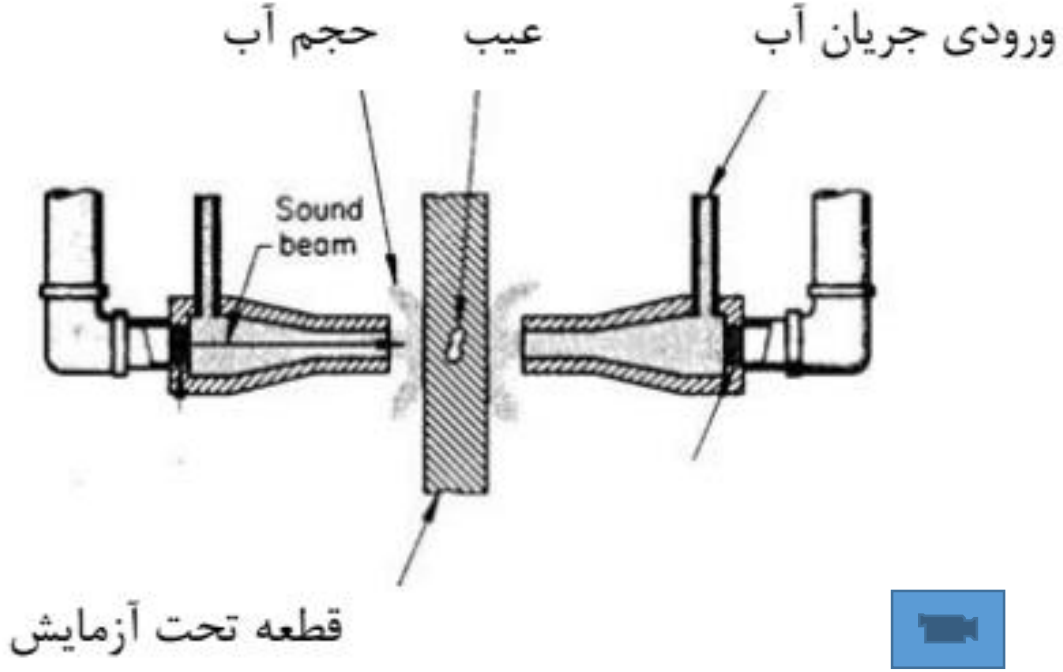




انواع روش های غوطه وری: روش کانونی

در سیستم انتقال کانونی دو یا چند پـروب بـه صـورت محیطی قطعه مورد آزمایش را احاطه نموده و قطعه در حال حرکت تحت پوشش چرخشـی امـواج قـرار می گیرد.



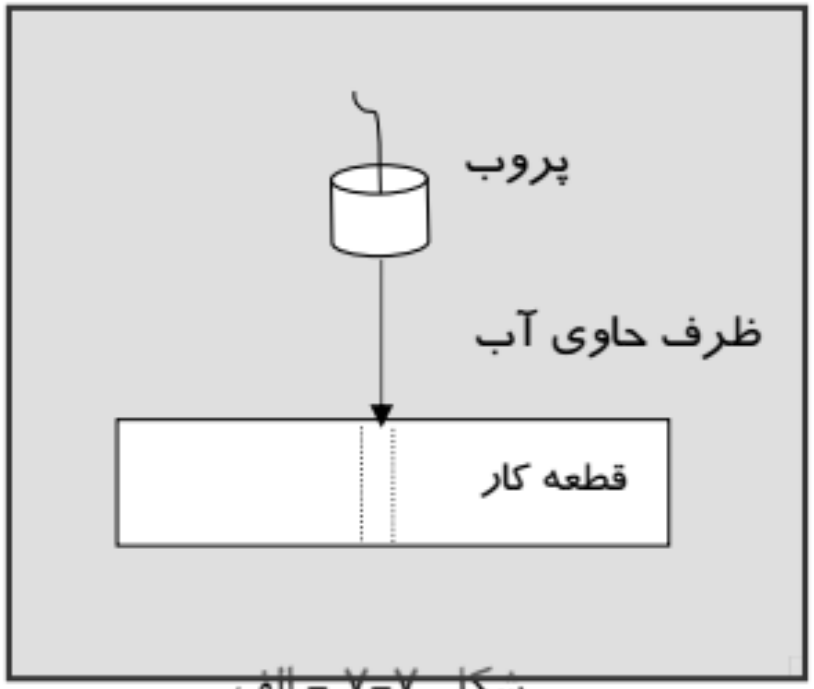


تبدیل موج در روش های غوطه وری

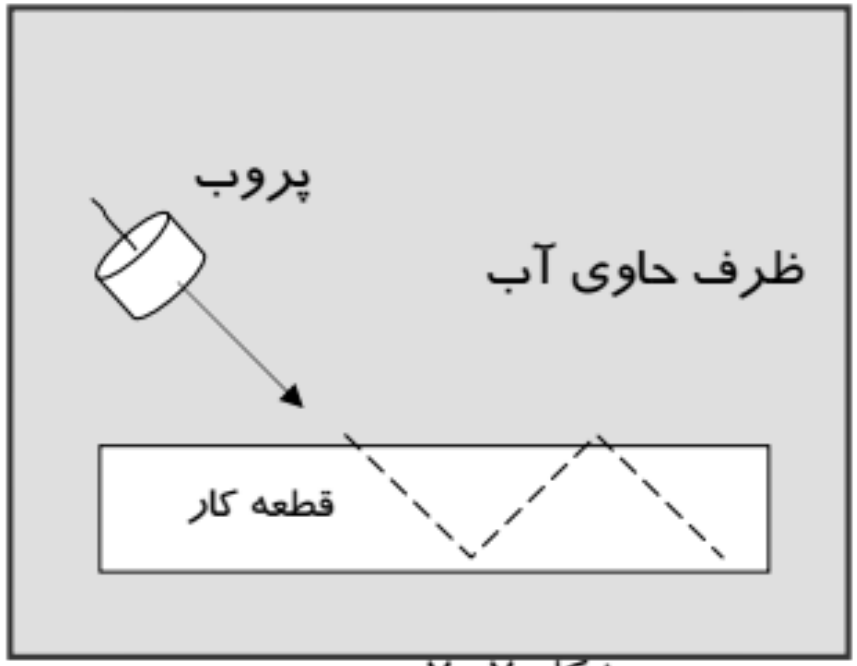
- **نکته بسیار مهم**: فقط **امواج طولی** قادر به انتشار در سیالات هستند.
- بنابراین در روش های غوطه وری، امواج تا قبل از ورود به درون قطعات، فقط به حالت طولی انتشار می یابند و به تناسب زاویه برخورد امواج با سطح قطعه، ممکن است امواج **عرضی و یا طولی در قطعه** تولید گردد.

تبدیل موج در روش های غوطه وری

الف- انتشار امواج طولی در قطعه، ب- برخودر امواج تحت زاویه ای بیش از حد بحرانی اول و انتشار امواج عرضی در قطعه



شکل ۷-۷ - الف



شکل ۷ -۷ - ب

تعیین بعد حجمی آب

- سـرعت امـواج در آب معادل **یک چهارم** سرعت انتشار آن در فولاد است.
- بنابراین اگر ارتفاع حجم آب بین پروب و سـطح قطعه ۱۰ میلی متر فرض شود، این فاصله روی محور افقی صفحه تصویر برابـر بـا ۴۰ میلـی متـر (فولاد) دیده خواهد شد.
- در نتیجه انتخاب فاصله بین پروب تا سطح جسم مورد آزمایش به دلخـواه نبـوده و تـابع عواملی مانند **ضخامت قطعه** و **طول محور افقی صفحه تصویر** است.

تعیین بعد حجمی آب

- برای تعیین فاصله مناسب بین پروب (مرکز انتشار امواج) تا سطح برخورد امـواج بـه سـطح قطعـات از رابطـه زیر استفاده می شود:

$$X = \frac{T}{4} + 6\ mm$$

X فاصله پروب تا سطح کار (میلی متر)

T ضخامت تقریبی قطعه کار (میلی متر)

مثال : فاصله پروب تا قطعه کار برای آزمایش قطعه ای به ضخامت ۱۰ میلـی متـر، بـا روش غوطـه وری محاسبه می گردد.

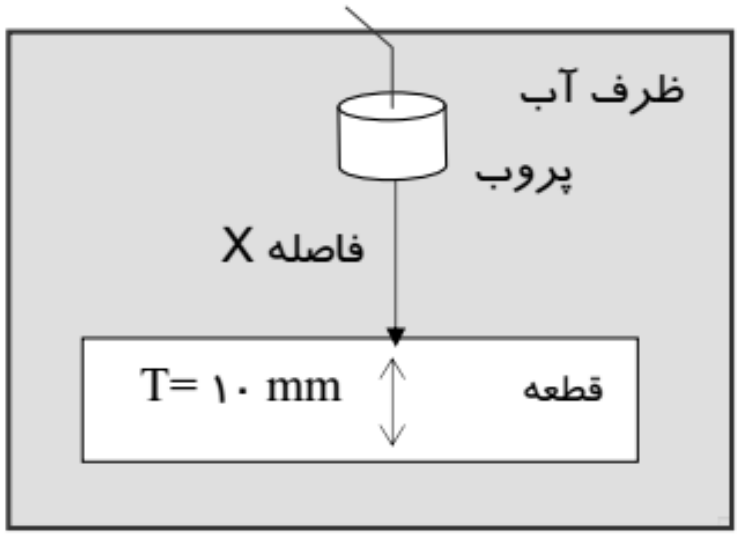
$X = ۱/۴\ T + ۶ \quad \Rightarrow \quad (۱/۴ \times ۱۰) + ۶\ mm$

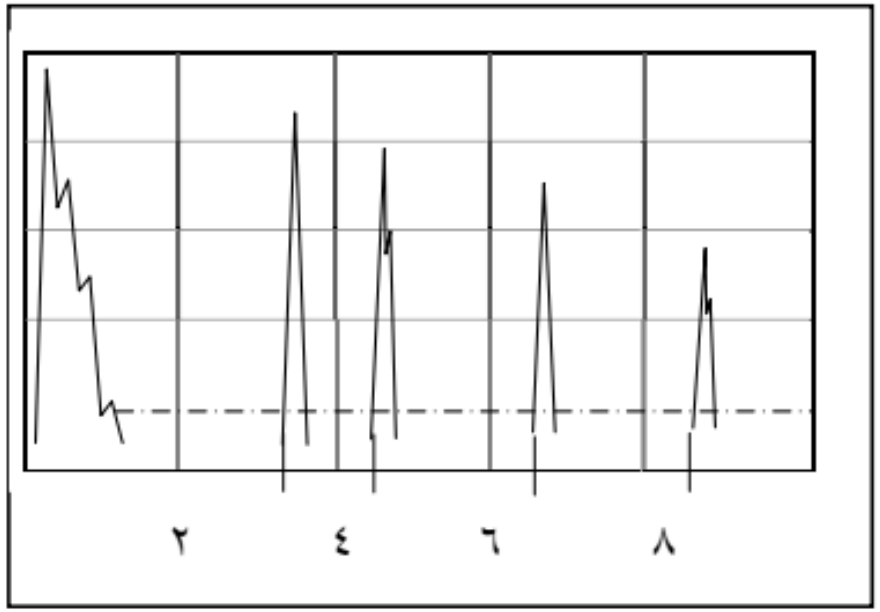
$X = ۲.۵ + ۶ = ۸.۵\ mm$

دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه سمنان | دکتر عبدالواحد کمی، akami@semnan.ac.ir

تعیین بعد حجمی آب

- در مثال صفحه قبل، اگر طول محور افقی برابر با ۱۰۰ میلی متر انتخاب شود، اولین پالس انعکاس از ضخامت روی عدد ۳۴ (۴ × ۸/۵) و پالس انعکاس از پشت قطعه روی عدد ۴۴ (۳۴+۱۰) صفحه تصویر قرار می گیرند. پالس های تکراری نیز روی ۶۸ و ۸۸ میلی متری دیده خواهند شد.





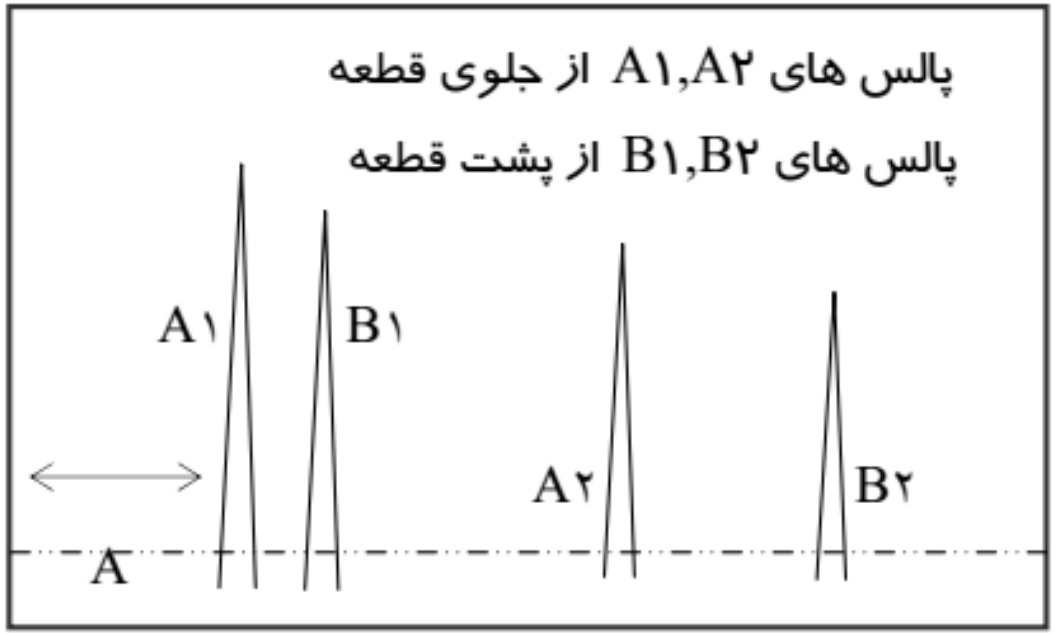
تفسیر علائم در روش غوطه وری

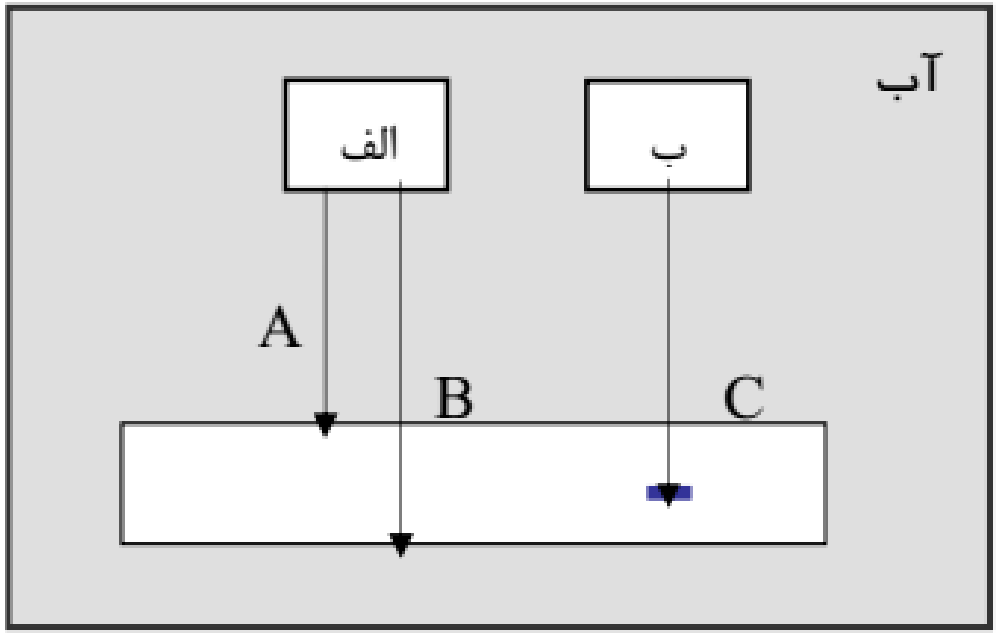
- در روش غوطه وری، امواج التراسونیک پس از طی حجمی از آب به سطح قطعه برخورد نموده و دو واکنش از برخورد امواج با سطح جلو و پشت قطعه روی می دهد. واکنش اول به علت تغییر محیط از آب به قطعه و واکنش دوم، به علت تغییر محیط از قطعه به آب در پشت قطعه رخ می دهد.
- اگر قطعه از جنس فولاد فرض شود، طبق رابطه ضریب نفوذ، معادل ۸۷/۵ درصد از امواج در مرز بین آب و جسم فولادی منعکس شده و باقیمانده امواج به درون قطعه نفوذ خواهند نمود.

$$P = \frac{4Z_1Z_2}{(Z_1 + Z_2)^2}$$

تفسیر علائم در روش غوطه وری

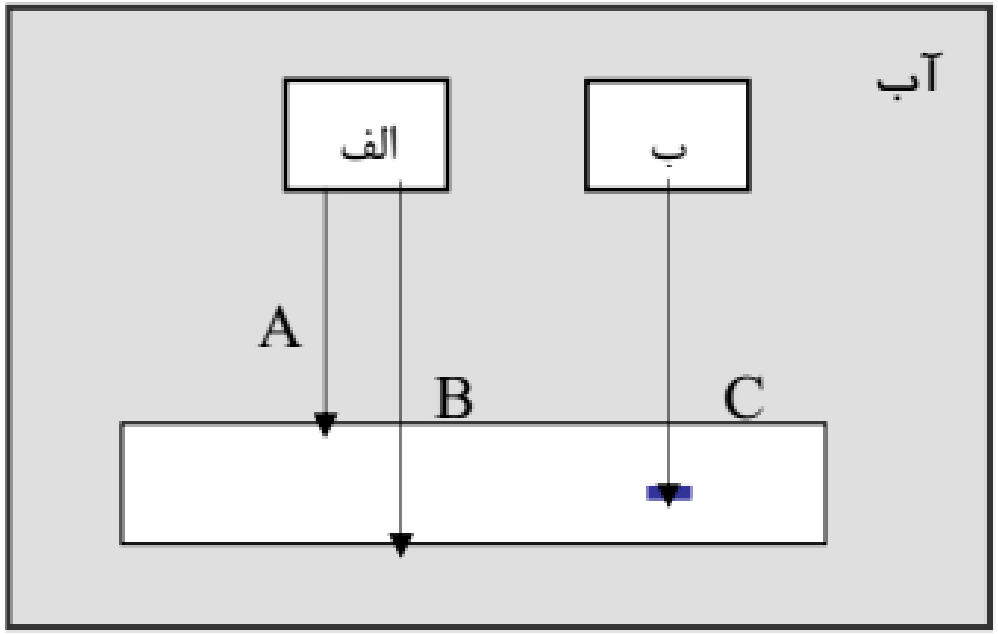
- مثال: اگر امواج در ناحیه سالم انتشار یابند، دو پالس A1 و B1 و تکرار آنها A2 و B2 در صفحه تصویر ظاهر می شوند. A1 حاصل انعکاس امواج در برخورد با سطح جلوی جسم و B1 پالس انعکاس از پشت جسم هستند.

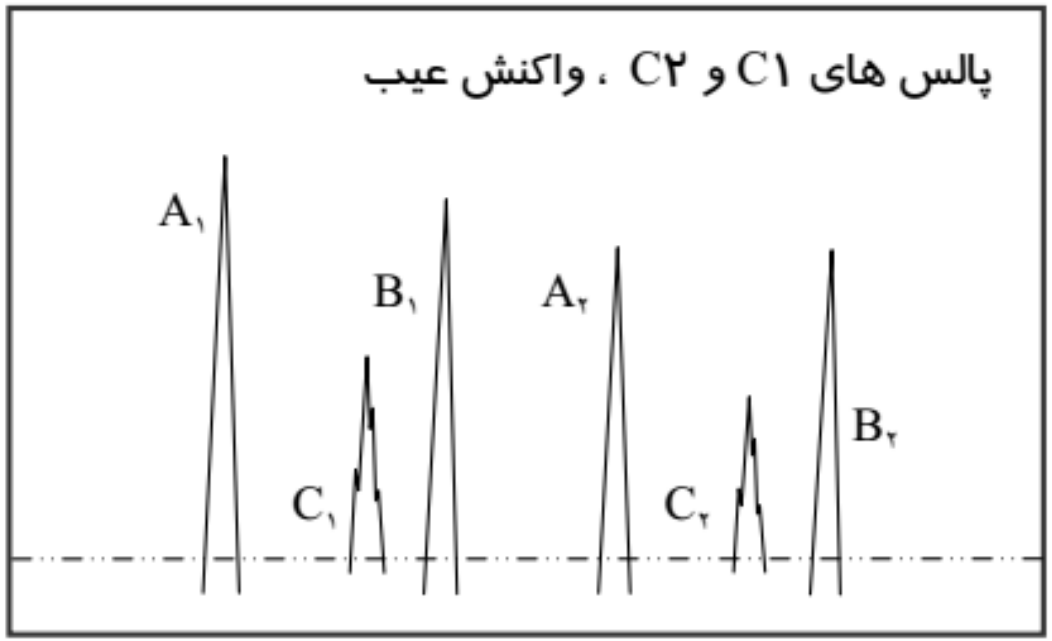




تفسیر علائم در روش غوطه وری

- چنانچه در قطعه عیبی وجود داشته باشد، علاوه بر دو پالس جلـو و پشـت قطعه، پالس برگشت از عیب نیز در حد فاصل دو پالس جلو و پشت ضخامت ظاهر می شود. دو پالس C1 و C2 نتیجه واکنش امواج در برخورد با عیب هستند.





تفسیر علائم در روش غوطه وری

- هر چه اندازه عیب بزرگتر باشد، ارتفاع پالس انعکاس آن بلندتر و در مقابل پالس منعکس شده از پشت قطعه کوتاه تـر مـی گردد، اما هیچکدام تأثیری در ارتفاع و موقعیت پالس جلوی قطعه نخواهند داشت.