استاندارد آزمون‌های غیرمخرب ASME BPVC Section V (ویرایش ۲۰۲۵)

راهنمای مهندسی جامع آیین‌نامه‌ها، روش‌های آزمون، تجهیزات، کالیبراسیون و به‌روزرسانی‌های ویرایش ۲۰۲۵ برای متدهای RT, UT, PT, MT, ET, VT, LT و AE در صنایع نفت، گاز، پتروشیمی و مخازن تحت فشار.

۱. جایگاه ساختاری و الزامات عمومی آرتیکل ۱ (Article 1 - General Requirements) اصول بنیادین

کد **ASME Section V** به عنوان مرجع جهانی روش‌های آزمون‌های غیرمخرب (Nondestructive Examination)، الزامات اجرایی متدهای تست را برای ساخت، نصب و بازرسی ادواری مخازن تحت فشار (Section VIII)، بویلرها (Section I)، خطوط لوله پایپینگ فرآیندی (ASME B31.3)، خطوط انتقال نفت و گاز (ASME B31.4 / B31.8) و تایید پروسیجرها و جوشکاران (Section IX) معین می‌نماید. نکته حیاتی مهندسی: *سکشن پنجم تنها ارائه‌دهنده روش آزمون و کالیبراسیون است و معیارهای پذیرش (Acceptance Criteria) باید مستقیماً از کد ارجاع‌دهنده استخراج گردند.*

روش‌نامه مکتوب (Written Procedure)

هر آزمون غیرمخرب باید الزاماً بر مبنای یک پروسیجر مدون شامل کلیه متغیرهای اساسی (Essential Variables) و غیراساسی مطابق الزامات هر آرتیکل تهیه و تایید شده باشد.

تایید صلاحیت پرسنل (Personnel Qualification)

پرسنل بازرسی باید بر اساس آیین‌نامه داخلی کارفرما (Written Practice) منطبق بر SNT-TC-1A یا ANSI/ASNT CP-189 یا استاندارد ISO 9712 دارای گواهینامه معتبر سطح I، II یا III باشند.

تظاهر پروسیجر (Procedure Demonstration)

در ویرایش ۲۰۲۵، اثبات توانایی و اعتبارسنجی پروسیجر روی نمونه‌های آزمون شبیه‌سازی‌شده (Test Mock-up) حاوی عیوب مصنوعی برای تکنیک‌های پیشرفته اجباری گردیده است.

۲. آرتیکل ۲: بازرسی رادیوگرافی (Article 2 - Radiographic Examination - RT) آزمون حجمی RT

آرتیکل ۲ ضوابط رادیوگرافی با پرتوهای ایکس (X-Ray) و گاما (ایریدیم ۱۹۲، سلنیوم ۷۵، کبالت ۶۰) و رادیوگرافی دیجیتال (CR و DDA) را پوشش می‌دهد:

شاخص متالوژیکی و فنی	الزام استاندارد ASME Sec V (2025)	استاندارد مرجع و ملاک ارزیابی	توضیحات و نکات کلیدی کارگاهی
چگالی نوری فیلم (Optical Density)	1.8 تا 4.0 (برای X-Ray) | 2.0 تا 4.0 (برای Gamma)	ASME Sec V, T-277.1	در رویت ترکیبی (Composite viewing) چند لایه فیلم، حداکثر چگالی ۴.۰ مجاز است.
شاخص کیفیت تصویر (IQI / Penetrameter)	سیمی (Wire-type) یا سوراخ‌دار (Hole-type)	ASTM E747 / ASTM E1025	سیم شاخص باید حتماً روی منطقه جوش یا شبیه به ضخامت مبنا قرار گیرد.
تیرگی ناشی از هندسه (Geometric Unsharpness)	Ug = Fd / D (محاسبه فاصله و ضخامت)	ASME Sec V, T-274.2	حداکثر 0.51 mm برای ضخامت زیر 50 mm و حداکثر 1.78 mm برای ضخامت بالای 100 mm.
رادیوگرافی کامپیوتری و دیجیتال (CR/DDA)	رزولوشن مکانی (SRb) و نسبت کنتراست به نویز (CNR)	Edition 2025 Mandatory Updates	الزام کالیبراسیون صفحات فسفری تصویربرداری (IP) و آشکارسازهای تخت مسطح (DDA).

۳. آرتیکل ۴: آزمون فراصوتی جوش‌ها (Article 4 - Ultrasonic Examination for Welds)

آزمون حجمی UT

آرتیکل ۴ روش‌های تست اولتراسونیک اتصالات جوشکاری ذوبی در فولادهای کربنی، کم‌آلیاژ و زنگ‌نزن را با پروب‌های تماسی زاویه‌ای، نرمال، و سیستم‌های اتوماتیک پیشرفته شامل **Phased Array (PAUT)** و **Total Focusing Method (TFM / FMC)** تشریح می‌کند.

مولفه فنی آزمون UT	دستورالعمل اجرایی و الزامات ASME Sec V	تجهیزات و بلوک‌های استاندارد	ملاحظات ویرایش ۲۰۲۵
منحنی اصلاح دامنه با فاصله (DAC)	ترسیم نقاط پژواک سوراخ‌های جانبی بلوک کالیبراسیون در عمق‌های 1/4T, 1/2T, 3/4T	بلوک‌های ASME Basic Calibration Block	استفاده از TCG دیجیتال برای یکنواخت‌سازی دامنه اکوها در کل عمق قطعه.
تکنیک Phased Array (PAUT)	آرایه فازی با پروب‌های چندالمانه (۱۶ تا ۶۴ المان) و اسکن بخشی (S-Scan)	گُوه‌های چندزاویه‌ای و اینکودر خطی	الزام پوشش ۱۰۰ درصدی حجم جوش و منطقه HAZ در سرعت اسکن کالیبره‌شده.
روش فوکوس کامل (TFM / FMC)	تصویربرداری فوق پیشرفته ماتریسی با تفکیک عیوب بسیار ریز و خوشه‌ای	پردازنده‌های بلادرنگ GPU و ماتریس FMC	به‌روزرسانی جامع الزامات شبکه محاسباتی پیکسل‌ها و اعتبارسنجی دامنه نویز در 2025.
تصحیح انتقال (Transfer Correction)	جبران تفاوت زبری سطح و میرایی صوت میان بلوک مرجع و قطعه‌کار اصلی	پروب‌های دوگانه فرستنده-گیرنده (TR)	در صورت اختلاف بیش از ۲ دسی‌بل، اعمال گین جبرانی انتقال الزامی است.

۴. آرتیکل ۵: آزمون اولتراسونیک مواد پایه و مقاطع فلزی (Article 5 - Materials Examination)

ورق، فورجینگ و لوله

آرتیکل ۵ به آزمون قطعات پیش از ساخت شامل ورق‌های سنگین بویلر، مقاطع فورج، شفت‌ها، پیچ‌های صنعتی و لوله‌های بدون درز برای شناسایی تورق (Lamination)، حفره‌های انقباضی و آخال‌های غیرفلزی اختصاص دارد:

بازرسی ورق‌های فولادی (Plates)

آزمون با امواج طولی (پروب نرمال صفر درجه) در شبکه‌های شطرنجی منظم یا پویش ۱۰۰٪ سطح. بررسی افت اکوی بازگشتی کف قطعه (Back-wall Echo Loss) طبق استانداردهای SA-435 و SA-578.

بازرسی قطعات فورجینگ (Forgings)

استفاده از سوراخ‌های کف‌تخت (Flat Bottom Holes - FBH) در بلوک‌های کالیبراسیون برای معادل‌سازی مساحت سطح عیوب داخلی مطابق الزامات سخت‌گیرانه SA-388.

بازرسی لوله‌های بدون درز (Seamless Pipes)

تست با امواج برشی زاویه‌ای محیطی و طولی جهت کشف ترک‌ها و شیارهای نورد در سطوح داخلی و خارجی لوله‌ها منطبق بر SA-609 و استانداردهای API 5L.

نکته کلیدی ویرایش ۲۰۲۵ در سکشن ۵: استفاده از سیستم‌های تصویربرداری آرایه فازی و TFM برای ضخامت‌سنجی خوردگی با رزولوشن بالا (High-Resolution Corrosion Mapping) رسماً با آیین‌نامه‌های مدون در ضمایم اجباری Article 4 یکپارچه‌سازی شده است.

۵. آرتیکل ۶: آزمون مایعات نافذ (Article 6 - Liquid Penetrant Examination - PT)

آزمون سطحی PT

آزمون مایعات نافذ یکی از پرکاربردترین متدهای کشف ناپیوستگی‌های سطحی (ترک‌ها، تخلخل‌های باز به سطح، شیارها) در کلیه مواد فلزی غیرمتخلخل و غیرمغناطیسی (فولادهای آستنیتی زنگ‌نزن، اینکونل، آلومینیوم و مس) است.

متغیر اساسی / گام فرآیندی	ضوابط و محدودیت‌های الزامی ASME Sec V	استانداردهای مواد مصرفی	تاثیر بر کیفیت تشخیص عیب
محدوده دمای استاندارد آزمون	40°F تا 125°F معادل 4°C تا 52°C	Mandatory Appendix III	در دماهای خارج از این رنج، اثبات پروسیجر با بلوک مقایسه‌گر آلومینیومی ترک‌دار الزامی است.
زمان نفوذ مایع نافذ (Dwell Time)	حداقل ۵ تا ۱۰ دقیقه برای جوش‌ها؛ تا ۲ ساعت برای آلیاژهای خاص	Table T-672	زمان ناکافی نفوذ باعث عدم رویت ترک‌های ظریف خستگی یا تنشی (SCC) می‌گردد.
انواع روش‌های پاک‌سازی اضافه مایع	روش A (آبشوی)، روش C (حلال‌شوی - پرکاربردترین کارگاهی)	ASTM E165 / SAE AMS 2644	پاک‌کردن حلال مستقیماً روی جوش ممنوع است؛ باید حلال روی پارچه بدون پرز اسپری شود.
روشنایی محیط ارزیابی	حداقل 1000 لوکس (100 fc) برای نور مرئی | 1000 µW/cm² برای UV-A	T-676.3 / T-676.4	در آزمون فلورسنت، نور سفید مرئی محیط تاریک باید کمتر از ۲۰ لوکس باشد.

۶. آرتیکل ۷: آزمون ذرات مغناطیسی (Article 7 - Magnetic Particle Examination - MT)

آزمون سطحی و زیرسطحی MT

مخصوص قطعات فرومغناطیس جهت کشف ترک‌های سطحی و زیرسطحی ناشی از جوشکاری، خستگی یا عملیات حرارتی:

آزمون قدرت کشش یوک (Yoke Lifting Power)

یوک مغناطیسی جریان متناوب (AC) باید بتواند وزنه استاندارد **10 lb (4.5 kg)** و یوک جریان مستقیم (DC) وزنه **40 lb (18 kg)** را در حداکثر فاصله پایه‌ها بلند کند (تست روزانه الزامی است).

روش‌های اعمال میدان و ذرات

استفاده از تکنیک مداوم (Continuous Method) با ذرات خشک رنگی یا تعلیق تر در حلال پایه نفتی / آبی. زاویه قرارگیری پایه‌های یوک باید در دو جهت عمود بر هم (حداقل ۹۰ درجه چرخش) باشد.

آرتیکل ۸: تست جریان گردابی (ET)

بررسی تیوب‌های مبدل‌های حرارتی، بویلرها و کندانسورهای نیروگاهی با امواج الکترومغناطیسی جهت پایش نازک‌شدگی جداره، خوردگی موضعی (Pitting) و فرسایش بدون تخریب تیوب.

۷. آرتیکل ۹: بازرسی چشمی (Article 9 - Visual Examination - VT) بازرسی چشمی VT

بازرسی چشمی بنیادین‌ترین متد کنترل کیفی جوش و سازه است که پیش، حین و پس از جوشکاری صورت می‌پذیرد:

حالت بازرسی چشمی	ضوابط هندسی و فیزیکی الزامی استاندارد	ابزارها و تجهیزات بازرسی	کاربرد در نفت و پتروشیمی
بازرسی چشمی مستقیم (Direct Visual)	فاصله چشم تا سطح حداکثر 24 اینچ (600 mm) | زاویه دید حداقل ۳۰ درجه نسبت به سطح	گیج‌های کمبریج، هایلو، فیلت، ذره‌بین و لوکس‌متر	بررسی گرده جوش، عدم تقارن (Misalignment)، آندربریدگی، حفرات باز و عیوب ریشه.
بازرسی چشمی از راه دور (Remote Visual - RVI)	وضوح تصویر معادل یا برتر از بازرسی مستقیم با قابلیت تفکیک سیم تست ۲۵ میکرون	ویدئوبروسکوب صنعتی، فیبروسکوپ، دوربین‌های رباتیک بازرسی لوله	پایش سطوح داخلی لوله‌های بدون دسترسی، توربین‌های گازی و مبدل‌های حرارتی باریک.

۸. آرتیکل ۱۰: تست نشتی و هوابندی (Article 10 - Leak Testing - LT) تست نشتی LT

آرتیکل ۱۰ روش‌های ارزیابی یکپارچگی اتصالات تحت فشار و تست آب‌بندی مخازن ذخیره، خطوط انتقال و بویلرها را دسته‌بندی می‌کند:

روش حباب با محفظه خلاء (Vacuum Box)

اعمال کف حباب‌زا و ایجاد خلاء نسبی (حداقل ۵ تا ۱۰ psi خلاء) روی جوش‌های کف مخازن ذخیره هیدروکربوری (API 650) و لاینرهای مخازن تحت فشار.

طیف‌سنج جرمی هلیومی (Helium Mass Spectrometer)

حساس‌ترین روش تست نشتی با قابلیت شناسایی میکرونشتی‌های تا 10^{-10} mbar·l/s در سیستم‌های خلاء عمیق، مبدل‌های حساس پالایشگاهی و تجهیزات اتمی.

افت فشار هیدرواستاتیک / پنوماتیک

پایش زمان‌مند فشار سیال به مدت حداقل ۳۰ دقیقه تا ۲۴ ساعت با ثبت‌کننده‌های فشار دقیق جهت تایید عدم افت ناشی از نشت سیستم.

۹. تغییرات و به‌روزرسانی‌های ویرایش ۲۰۲۵ در ASME Section V تحولات ۲۰۲۵

- **تثبیت الزامات TFM/FMC:** بازنگری آیین‌نامه‌های کالیبراسیون و ذخیره‌سازی داده‌های التراسونیک فوکوس کامل در آرتیکل ۴ به همراه تعیین تلورانس‌های تایید اعتبار شبکه محاسباتی.
- **پروتکل دیجیتال DICONDE:** الزام مطابقت فرمت ذخیره‌سازی تصاویر رادیوگرافی دیجیتال (CR و DDA) با استاندارد ASTM E2339 جهت جلوگیری از هرگونه دستکاری تصاویر و تسهیل بایگانی بلندمدت.
- **یکپارچه‌سازی صلاحیت سیستم‌های هوش مصنوعی (AI-Assisted Evaluation):** مقدمه‌سازی دستورالعمل‌های بهره‌گیری از الگوریتم‌های هوش مصنوعی در تفسیر رادیوگرافی و التراسونیک (UT) در راستای ارتقای دقت بازرسان انسانی.

۱۰. ماتریس اتصال سکشن پنجم به معیارهای پذیرش در کدهای ساختاری (Section VIII & B31.3)

معیار پذیرش

جدول راهنمای مهندسی زیر نحوه ارتباط آرتیکل‌های روش آزمون در سکشن V را با بندهای پذیرش عیوب در کدهای اصلی مخازن و خطوط لوله مشخص می‌نماید:

متد آزمون (Sec V)	آرتیکل روش آزمون	بند معیار پذیرش در ASME VIII Div 1	بند معیار پذیرش در ASME B31.3	ملاک‌های کلیدی رد عیب (Rejection Criteria)
رادیوگرافی (RT)	Article 2	بند UW-51 (صددرصد) و UW-52 (اسپات)	Table 341.3.2	هر نوع ترک، ذوب ناقص (Lack of Fusion)، نفوذ ناقص؛ حفرات گازی بیش از حد مجاز نمودار.
اولتراسونیک (UT)	Article 4	Mandatory Appendix 12	Table 341.3.2	ناپیوستگی‌های خطی با دامنه بیش از خط مبنا (DAC) بر حسب طول عیب و ضخامت قطعه.
مایعات نافذ (PT)	Article 6	Mandatory Appendix 8	Table 341.3.2	عدم وجود هرگونه نشانه خطی مرتبط (طول بیش از ۳ برابر عرض)؛ گرد بیش از 5 mm مردود است.
ذرات مغناطیسی (MT)	Article 7	Mandatory Appendix 6	Table 341.3.2	ترک‌ها و نشانه‌های خطی با طول بیش از 1.5 mm به طور مطلق غیرقابل‌قبول هستند.
بازرسی چشمی (VT)	Article 9	بند UG-93 و UW-35	Table 341.3.2	عدم وجود آندربریدگی عمیق، گرده جوش بیش از حد مجاز، ترک‌های دهانه جوش و جرقه‌های سطحی.

۱۱. سبد جامع تأمین کالا و خدمات مهندسی NDT تدوین صنعت ایرسا

زنجیره تأمین

شرکت مهندسی و بازرگانی تدوین صنعت ایرسا به عنوان تأمین‌کننده پیشرو در صنایع بالادستی و پایین‌دستی، کلیه ملزومات، فیلم‌ها و تجهیزات آزمون‌های غیرمخرب را با ضمانت اصالت و برگه کالیبراسیون معتبر عرضه می‌نماید:

سیستم‌ها و فیلم‌های رادیوگرافی (RT)

فیلم‌های رادیوگرافی صنعتی معتبر (کداک، کراستریم، آگفا و فوجی‌فیلم)، داروهای ظهور و ثبوت مایع و پودری، صفحات سربی، پنزامترهای سیمی و سوراخ‌دار استاندارد ASTM و DIN، تماشاگر فیلم (نگاتوسکوپ) و دانسیتومترهای دیجیتال.

ملزومات آزمون‌های التراسونیک (UT)

دستگاه‌های دیجیتال عیب‌یاب التراسونیک، پروب‌های زاویه‌ای و نرمال، پروب‌های پیشرفته Phased Array، گُوه‌های زاویه‌ای رکسولیت، ژل‌های کوپلنت دما بالا و بلوک‌های مرجع کالیبراسیون استاندارد (V1/IIW, V2, Step Block, ASME Basic Blocks).

تجهیزات تست‌های MT و PT و VT

اسپری‌های مایع نافذ و پاک‌کننده‌ها و آشکارسازهای سفید (مگنافلاکس Magnaflux و MR Chemie)، ذرات مغناطیسی خشک و تر، یوک‌های مغناطیسی سبک AC/DC با گواهی لیفتینگ، چراغ‌های اشعه فرابنفش UV-A و مجموعه‌های کامل گیج‌های بازرسی چشمی جوش.

مشاوره فنی، آموزش و استعلام تأمین ملزومات NDT

TEL: 021-88012604 | 021-88631552
CELL: 09121861162 | EMAIL: info@ts-irsa.com

جهت ارتباط با کارشناسان کنترل کیفیت و مهندسی بازرگانی شرکت تدوین صنعت ایرسا:
شرکت مهندسی و بازرگانی تدوین صنعت ایرسا (TS-IRSA) | وب‌سایت: ts-irsa.com | تلفن: ۸۸۰۱۲۶۰۴-۰۲۱