هفت اصل مهم برای یک اتصال خوب در جوشکاری

تهیه کننده:

مرکز ملی تربیت مربی و پژوهش های فنی و حرفه ای

گروه جوشکاری

بهمن ۱۴۰۱

بسم الله الرحمن الرحیم

هفت اصل مهم برای یک اتصال خوب در جوشکاری

تهیه کننده : گروه جوشکاری

مرکز ملی تربیت مربی و پژوهش های فنی و حرفه ای

سازمان آموزش فنی و حرفه ای کشور

رعایت اصول اخلاقی و مسئولیت صحت و دقت محتوا برعهده نویسنده / نویسندگان می باشد.

بهمن ۱۴۰۱

هفت اصل مهم برای یک اتصال خوب در جوشکاری

اصول بسیاری وجود دارند که باید برای رسیدن به جوش‌های با طراحی قوی‌تر، کارآمدتر و تحت تنش کم‌تر، به آن‌ها توجه نمود. در این نوشتار به هفت مورد از این اصول پرداخته می‌شود.

اصل اول: یک اتصال جوشی خوب، قادر است همهٔ بارهای اعمال شده را از طریق اتصال، به‌صورت کارآمد منتقل نماید.

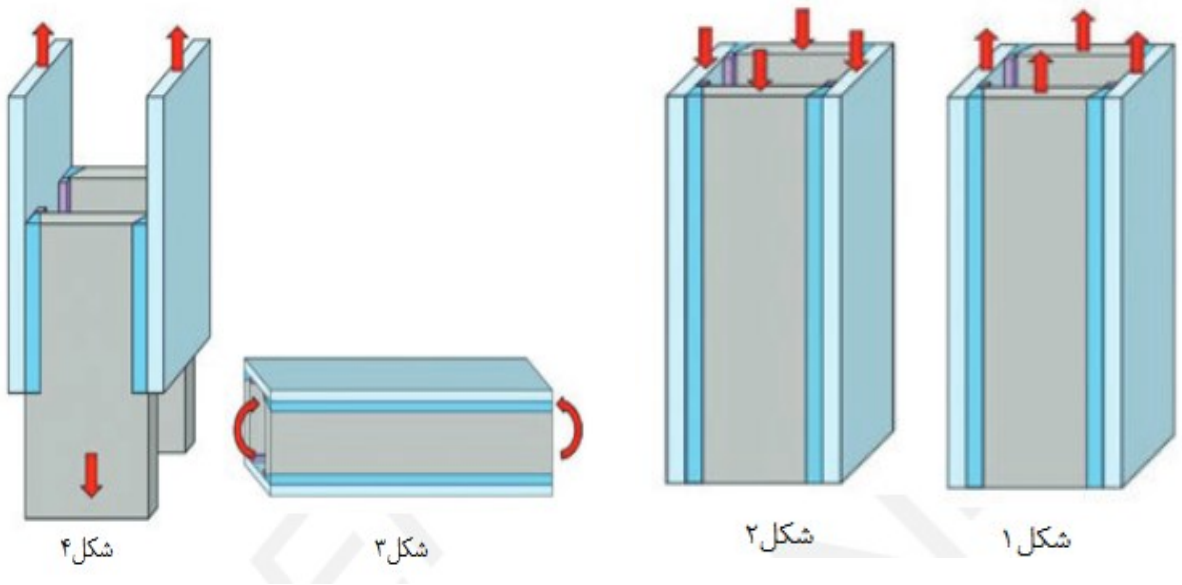
اگر اتصال به‌اندازه کافی قوی نباشد، جنبه‌های دیگر آن، اهمیتی چندانی نخواهد داشت. جوشی که قطعات مختلف فولادی را به یکدیگر متصل می‌کند، باید ازنظر اندازه و جنس به‌گونه‌ای باشد که مقاومت کافی را بسته به کاربرد موردنظر دارا باشد. همیشه قرار نیست که جوش‌ها مقاومت قطعات متصل شده را افزایش دهند، اما همیشه این انتظار می‌رود که جوش بتواند بارهای وارد شده را از طریق اتصال منتقل کند.

برای انتخاب اندازه مناسب یک جوش باید مشخص شود که چه نیروهایی توسط اتصال منتقل می‌گردد. این امر در مورد اتصالات عرضی نسبتاً ساده است، ولی در اتصالات طولی، شناسایی این مسئله چندان ساده نیست. شکل‌های ۱ تا ۴ را با چهار جوش طولی در نظر بگیرید، قطعات جوش داده شده در این تصاویر مشابه همدیگر هستند، ولی بارهای منتقل شده از اتصالات به‌طور قابل توجهی باهم تفاوت دارند. در شکل ۱ فرض می‌شود که اتصال به شکل قوطی به‌عنوان یک آویز عمل کرده و نیروهای کششی به‌صورت یکنواخت در تمام مقطع توزیع شده‌اند. همان مقطع در شکل ۲ می‌تواند به‌عنوان ستون تحت بار فشاری قرار گیرد. مطابق آیین‌نامه AISC ۳۶۰ برای این‌گونه اتصالات که تنها تحت کشش یا فشار به‌موازات جوش هستند، نیازی نیست که روی جوش در طراحی حساب جداگانه‌ای شود. جوش در این اتصالات، نقش نگه دارندهٔ قطعات را در کنار هم دارد و بار خاصی از طریق اتصال جوشی منتقل نمی‌شود. ازآنجاکه بیشترین تنش‌هایی که این جوش‌ها باید بتوانند منتقل کنند، از جابجایی و کار گذاشتن قطعات نشأت می‌گیرد، استفاده از جوش شیاری تمام نفوذی در این وضعیت‌ها توجیهی ندارد.

در شکل ۳ همان قطعه مونتاژ شده قبلی به‌عنوان یک تیر در معرض خمش قرار گرفته است. بار منتقل شده بین قطعات جان و بال، از نوع نیروی برشی (طولی) بوده و آنچه در این میان بحرانی است، برش در سطح مقطع مؤثر جوش می‌باشد. در این حالت به علت اینکه مقدار تنش برشی بین بال و جان، نوعاً کم است، می‌توان از یک اتصال نیمه نفوذی (حتی به‌صورت متناوب) استفاده نمود.

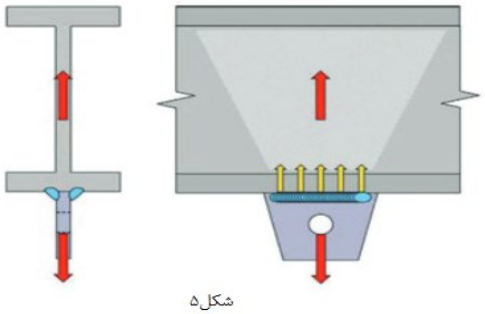
شکل ۴ اتصالی را نشان می‌دهد که در آن از همان آرایش قطعات استفاده شده است، با این تفاوت که در اینجا همهٔ نیروهای کششی از طریق اتصالات جوشی منتقل می‌شود. این وضعیت ازلحاظ چگونگی آرایش بار، در مقایسه با آنچه در شکل‌های ۱ تا ۳ مشاهده می‌شود تفاوت زیادی دارد، اما جزئیات جوش شیاری با نفوذ کامل، یکسان است. در این حالت می‌توان با توجه به در نظر گرفتن میزان بار و طول اتصال از جوش شیاری با نفوذ کامل استفاده نمود. هنگامی می‌توان به یک اتصال جوشی مناسب دست یافت که بار منتقل شده از طریق جوش در طراحی لحاظ شده باشد.

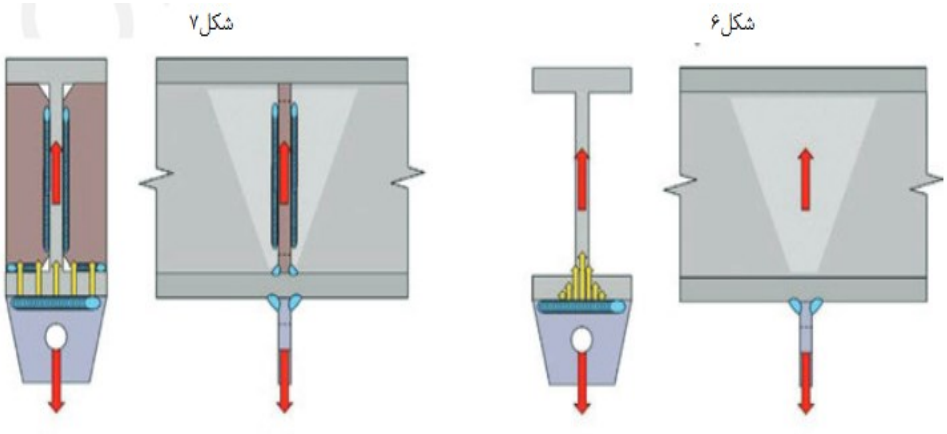
می‌توان گفت که اصل اول در داشتن یک اتصال جوشی خوب، بهینه بودن آن است. جوش‌هایی که اندازهٔ آن‌ها از حد نیاز بیشتر است، بهینه نیستند. بهینه نبودن یک اتصال فقط پیامد اقتصادی به همراه ندارد بلکه وقتی یک اتصال جوشی بیش از اندازه جوش داده شود، باعث ایجاد تنش پسماند، پیچیدگی و حتی افزایش احتمال تغییرات ساختار فلز و ایجاد ترک و پارگی در اتصال می‌گردد؛ بنابراین برای سه اتصال اول مثال فوق، استفاده از جوش کاملاً نفوذی توصیه نمی‌گردد.



اصل دوم: یک اتصال جوشی خوب دارای مسیر انتقال بار آشکار و مستقیم است.

تنش‌های موجود در عضو باید از یک عضو به‌وسیلهٔ جوش به عضو دیگر اتصال، جریان یابد. یک اتصال جوشی زمانی مناسب است که این مسیر انتقال بار، واضح و مستقیم باشد. در شکل ۵ بار عمودی از قلاب به‌وسیله جوش به بال و از طریق بال به جان وارد می‌شود، بار وارده به جوش یکنواخت بوده و مسیر انتقال بار واضح و مستقیم است. در مقابل در شکل ۶، بار از قلاب به وسیلهٔ جوش به بال انتقال می‌یابد ولی بال انعطاف‌پذیر است. بار در یک مرحله به جان انتقال می‌یابد، ولی جوش در امتداد طول خود به‌صورت یکنواخت بارگذاری نشده است. یک جفت تقویت‌کننده(Stiffener) به کار رفته در شکل ۷، این مشکل را اصلاح می‌کند. به این صورت، مسیر انتقال بار (از قلاب به جوش، از جوش به بال، از بال تقویت شده به تقویت‌کننده‌ها و نهایتاً به جان) واضح می‌باشد.


شکل۵

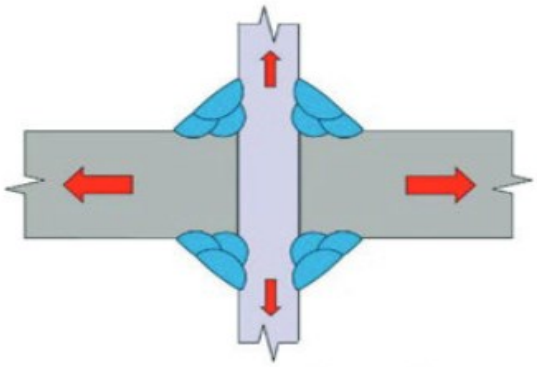


اصل سوم: یک اتصال جوشی خوب، جوش را در منطقه کم تنش‌تر قرار می‌دهد.

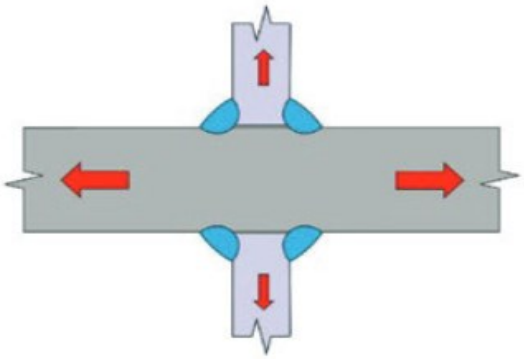
چنانچه عملی و ممکن باشد، موقعیت جوش‌ها باید در نواحی کم تنش قرار بگیرد. با محقق شدن این امر، جوش‌ها کمتر در معرض شرایط بحرانی خواهند بود. همچنین ازآنجاکه این کار موجب کوچک‌تر شدن اندازهٔ جوش‌ها می‌گردد، به لحاظ اقتصادی نیز شایان توجه است.

به‌طور مثال، نواحی اتصال شاه‌تیرهای سراسری می‌تواند در نقاط عطف امتداد طولی عضو قرار گیرد. برای سازه‌ای با بارگذاری سیکلی، جزئیات اتصال در انتهای ورق‌های پوششی متشکل از یک ناحیه کم تنش می‌باشد، ادامه دادن ورق‌های پوششی تا منطقه با تنش کمتر می‌تواند جزئیات اتصال را قابل قبول نماید.

شکل ۸ مثال دیگری را نشان می‌دهد که در آن، قطعه ضخیم‌تر (که احتمالاً عضوی با بارگذاری سنگین‌تر است) ناپیوسته بوده و برای انتقال بار در اتصال، اندازهٔ جوش بیشتری مورد نیاز است. ولی در شکل ۹ عضو نازک‌تر ناپیوسته بوده و این امکان را می‌دهد که با اندازه جوش کمتر، انتقال بار محقق شود.



شکل ۸

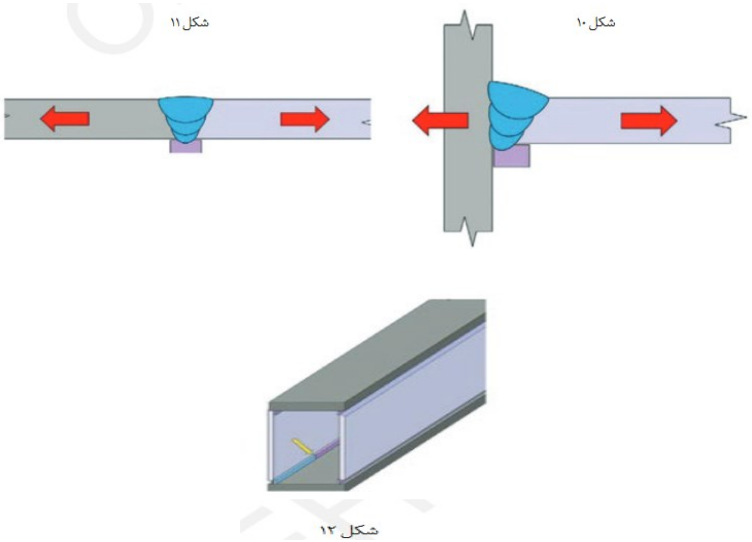


شکل ۹

اصل چهارم: یک جوش خوب نباید باعث ایجاد تمرکز تنش گردد.

برخی جوش‌ها و جزئیات اتصالات جوشی ممکن است باعث ایجاد تمرکز تنش گردند. به‌عنوان‌مثال، وجود پشت‌بند فولادی (اگر در کار باقی بماند) می‌تواند باعث تمرکز تنش شود. برای اتصال T نمایش داده شده در شکل ۱۰ یک جوش شیاری با نفوذ کامل را در نظر بگیرید. وجود پشت‌بند در اتصال T می‌تواند باعث ایجاد تمرکز تنش در محل اتصال لبهٔ پشت‌بند و عضو عمودی گردد. برای حذف این تمرکز تنش آیین‌نامه AISC پیشنهاد برداشتن پشت‌بند را در چنین اتصالاتی داده است. درز سربه‌سر شکل ۱۱ را در نظر بگیرید. در اینجا باوجود عدم آمیختگی کامل بین سطح پشتی قطعات و سطح بالایی پشت‌بند فولادی، ازآنجاکه این سطح مشترک با تنش‌های وارده موازی می‌باشد، باعث ایجاد تمرکز تنش نگردیده است.

همچنین، وجود پشت‌بندهای فولادی ناپیوسته ممکن است موجب بروز تمرکز تنش (مانند شکل ۱۲) گردد. فصل مشترک نا آمیخته بین قطعات پشت‌بند، موجب بروز ناپیوستگی صفحه‌ای گردیده است. چنانچه مقطع قوطی تحت بارگذاری خمشی قرار گیرد، تنش‌های کششی پدید آمده در سطح مشترک قطعات پشت‌بند به‌طور موضعی تشدید می‌گردد. جهت کاهش مشکلات ناشی از ناپیوستگی پشت‌بند در این‌گونه اتصالات، می‌توان قطعات پشت‌بند را قبل از قرار دادن در محل اتصال جوش، به یکدیگر به‌صورت نفوذ کامل جوش داد. همچنین چنانچه از پشت‌بند سراسری پیوسته استفاده شود، مسئله به‌کلی حل خواهد شد.



اصل پنجم: یک اتصالی جوشی خوب نباید محصور شده باشد.

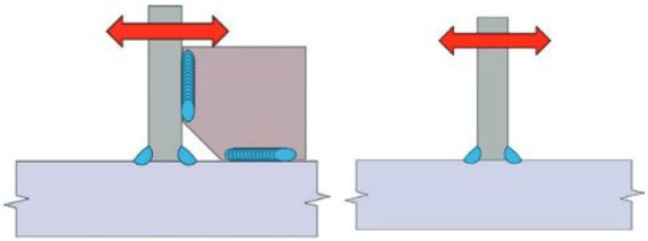
وقتی اتصالی جوشکاری می‌شود، انتظار می‌رود که فلز جوش داغ و منبسط شده و فلز پایهٔ داغ پیرامونی جوش، در حین سرد شدن منقبض گردند. در حین سرد شدن و انقباض فلز جوش، ناحیهٔ خنک‌تر (و منبسط نشده) فلز پایه در مقابل تنش‌های کششی که از طرف فلز جوش تحمیل می‌شود، مقاومت نشان می‌دهد. این مقاومت فلز پایه در برابر تنش‌های تحمیلی، موجب بروز تنش‌های کششی در فلز جوش و نهایتاً تسلیم آن می‌شود. تسلیم‌شدگی تا جایی ادامه می‌یابد که تنش‌های انقباضی تحمیلی توسط جوش، به وسیلهٔ فلز پایهٔ پیرامونی تحمل گردد؛ بنابراین با برابر شدن ((تنش‌های پس‌ماند در جوش))و ((تنش‌های ایجاد شده در فلز پایه)) تعادل برقرار می‌شود. آنچه به‌جای می‌ماند، مقادیری تنش پس‌ماند در جوش است که تقریباً مساوی حد تسلیم فلزات درگیر در اطراف آن ناحیه می‌باشد.

اگر اعضای متصل شونده بتوانند آزادانه حرکت یا انعطاف لازم را نشان دهند، تنش پسماند با این جابجایی تقلیل خواهد یافت. وقتی اعضا صلب و غیرقابل حرکت باشند، تنش پسماند افزایش می‌یابد. در جوشکاری اعضا تحت قیدوبند زیاد، معمولاً فلز جوش یا فلز پایه انعطاف‌پذیر، به‌جای تسلیم شدن، دچار ترک می‌شوند.

تنش‌های پس‌ماند سه‌بعدی از همه آسیب‌زننده‌تر بوده و می‌توانند باعث ترک‌خوردگی فولاد انعطاف‌پذیر یا فلز جوش شوند. تخصیص فضای دسترسی مناسب و در جهات مختلف، به پیش‌گیری از تشکیل چنین تنش‌هایی در مقطع جوش کمک می‌کند.

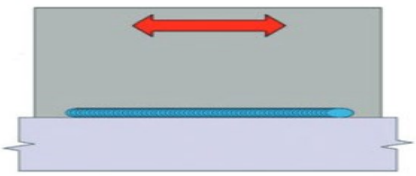
اصل ششم: یک اتصال جوشی خوب، جوش را در معرض خمش قرار نمی‌دهد.

برای فهم مطلب ابتدا باید بفهمیم که این اصل شامل چه مواردی نیست. مسلماً ساخت تیرورق با استفاده از جوش‌های در راستای طولی و تحت خمش قرار دادن تیر امری قابل پذیرش است. اصل ۶ طراحان را از بارگذاری که موجب خمش جوش حول محور طولی آن بشود منع می کند (همان‌گونه که در شکل ۱۳ نشان داده شده است). چنین بارگذاری‌ای کرنش‌ها را در ریشه و پنجهٔ جوش متمرکز می‌نماید. برای جلوگیری از این خمش می‌توان مانند شکل ۱۴ از حمایت یا تقویت‌کننده استفاده نمود، یا مانند شکل ۱۵ جهت‌گیری را به نحوی تغییر داد که جوش تحت بارگذاری برشی قرار گیرد.



شکل ۱۴ شکل ۱۳

شکل ۱۵

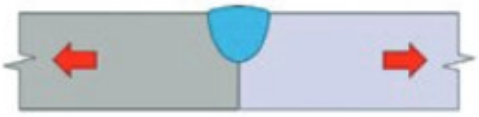


اصل هفتم: یک اتصال جوشی خوب از لبه و ریشهٔ جوش مناسبی برخوردار است.

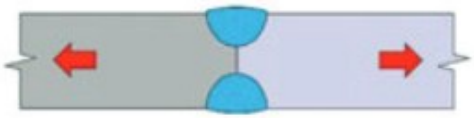
لبه جوش و ریشه می‌توانند باعث ایجاد تمرکز تنش گردندویک اتصال جوشی مناسب،از این نواحی آسیب‌پذیر محافظت می کند.در شکل ۱۶ ریشهٔ جوش نیمه نفوذی یک‌طرفه در بارگذاری کششی،بدون حفاظت مانده است.در شکل۱۷جوش نیمه نفوذی دوطرفه در بارگذاری‌های استاتیکی از حفاظت کافی برخوردار است،ولی در اتصالات تحت بارگذاری سیکلی، سرانجام گسیختگی اتصال باجوش دوطرفه از ریشهٔ جوش آغاز خواهد شد.

علاوه بر تمرکز تنش ایجاد شده توسط ریشهٔ جوش، لبه جوش نیز می‌تواند باعث تمرکز تنش گردد. شکل ۱۸ و شکل ۱۹ گرچه، سطح مشکلات آن به‌شدت موارد ناشی از ریشهٔ جوش نمی‌باشد. در کاربردهای حساس به خستگی، حذف تقویت جوش‌های شیاری با نفوذ کامل عرضی، مقاومت در برابر خستگی را از رده‌ی C به رده‌ی B افزایش می‌دهد. ترک‌های ناشی از خستگی در جوش از پنجهٔ جوش پشت‌بندهای عرضی انتهای صفحات پوششی آغاز می‌گردد. همچنین ناپیوستگی‌های جوشی متنوعی مانند ترک‌های، Undercut, Overlap و Underbead بیشتر در پنجهٔ جوش متمرکز می‌شوند که تحمل بار توسط اتصال را کاهش می‌دهند.

بنابر این دلایل می‌بایست دقت ویژه‌ای به نحوهٔ طراحی و اجرای ریشه و لبه جوش شود. جزئیات اتصالات جوشی باید به‌منظور اطمینان از اینکه لبه و ریشه مشکل‌ساز نخواهند شد، مورد آزمایش قرار گیرد. اصل ۴ و ۷ ارتباط تنگاتنگی باهم داشته و باید به خاطر بسپاریم که تمرکز تنش تنها وقتی اهمیت دارد که نیرو یا مؤلفه‌ای از آن

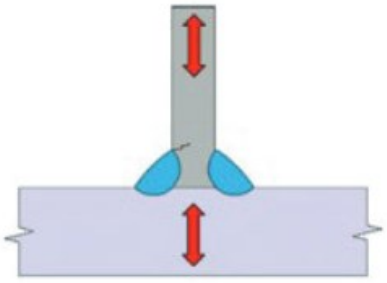


شکل ۱۶

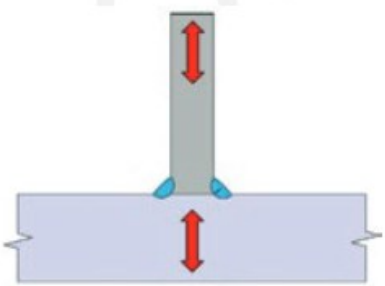


شکل ۱۷

به‌صورت عمود بر مقطع موردنظر وارد شده باشد. ریشه و لبهٔ جوش‌های طولی روی تیر ورق‌های تحت بارگذاری خمشی، دچار تمرکز تنش در محل این ناپیوستگی‌های هندسی نمی‌شوند.



شکل ۱۸



شکل ۱۹

منابع:

۱- آیین‌نامه فولادهای ساختمانی آمریکا AISC ۳۶۰-۱۶

۲- استاندارد AWS D۱،۱

۳- استاندارد ISO ۵۸۱۷

ITC
مرکز ملی تربیت مربی
وپژوهش های فنی وحرفه ای

سازمان آموزش فنی وحرفه ای کشور

unesco
عضو شبکه بین المللی مراکز آموزش فنی و حرفه ای

ITC

مرکز ملی تربیت مربی
وپژوهش های فنی وحرفه ای

بهمن ۱۴۰۱