٨٧/١/١٠٠١١٧

٨٧/٩/٢٤

٩٤٢٨٦

دانشگاه تربیت مدرس

دانشکده منابع طبیعی

پایان نامه کارشناسی ارشد
علوم و صنایع چوب و کاغذ

عنوان:

تخته فیبر نیمه سنگین مسلح شده با شبکه های فلزی و مصنوعی و ویژگی های آن

نگارش:
فاطمه توسلی

استاد راهنما:
دکتر بهبود محبی

استاد مشاور:
دکتر سعید کاظمی نجفی

مهر ۱۳۸۷

۱۳۸۷ /۹/ ۱۲

۹۴۲۸۶

این پایان نامه در اداره ثبت اختراعات و مالکیت های فکری به شماره ۵۲۷۱۲ ثبت اختراع شده است.

تأییدیه اعضای هیات داوران حاضر در جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد

اعضای هیئت داوران نسخه نهائی پایان نامه خانم فاطمه توسلی
تحت عنوان: مقایسه تخته فیبر نیمه سنگین (MDF) مسلح شده با شبکه های فلزی و مصنوعی بافته و ویژگی های مکانیکی آن
را از نظر فرم و محتوی بررسی نموده و پذیرش آنرا برای تکمیل درجه کارشناسی‌ارشد پیشنهاد می‌کنند.

اعضای هیأت داوران	نام و نام خانوادگی	رتبه علمی	امضا
۱- استاد راهنما	دکتربهبود محبی	استاد یار	
۲- استاد مشاور	دکترسعیدکاظمی نجفی	دانشیار	
۳-نماینده‌شورای‌تحصیلات‌تکمیلی	دکتر ربیع بهروز	استاد یار	
۴- استاد ناظر	دکترتقی طبرسا	استاد یار	
۵- استاد ناظر	دکتر ربیع بهروز	استاد یار	

باسمه تعالی

آیین نامه چاپ پایان نامه (رساله)های دانشجویان دانشگاه تربیت مدرس

نظر به اینکه چاپ و انتشار پایان‌نامه(رساله)های تحصیلی دانشجویان دانشگاه تربیت مدرس، مبین بخشی از فعالیتهای علمی-پژوهشی دانشگاه است بنابراین به منظور آگاهی و رعایت حقوق دانشگاه، دانش‌آموختگان این دانشگاه نسبت به رعایت موارد ذیل متعهد می‌شوند:

ماده ۱: درصورت اقدام به چاپ پایان‌نامه(رساله)ی خود، مراتب را قبلاً" به طور کتبی به "دفتر نشر آثار علمی" دانشگاه اطلاع دهید.

ماده ۲: در صفحه سوم کتاب (پس از برگ شناسنامه) عبارت ذیل را چاپ کنید:

« کتاب حاضر، حاصل پایان نامه کارشناسی ارشد نگارنده در رشته مهندسی صنایع چوب و کاغذ است که در سال ۱۳۸۵ در دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی دانشگاه تربیت مدرس به راهنمایی جناب آقای دکتر بهبود محبی و مشاوره جناب آقای دکتر سعید کاظمی نجفی از آن دفاع شده است. »

ماده ۳: به منظور جبران بخشی از هزینه‌های انتشارات دانشگاه، تعداد یک درصد شمارگان کتاب (در هر نوبت چاپ) را به « دفتر نشر آثار علمی » دانشگاه اهدا کند. دانشگاه می‌تواند مازاد نیاز خود را به نفع مرکز نشر در معرض فروش قرار دهد.

ماده ۴: در صورت عدم رعایت ماده ۳، ۵۰٪ بهای شمارگان چاپ شده را به عنوان خسارت به دانشگاه تربیت مدرس، تأدیه کند.

ماده ۵: دانشجو تعهد و قبول می‌کند در صورت خودداری از پرداخت بهای خسارت، دانشگاه می‌تواند خسارت مذکور را از طریق مراجع قضایی مطالبه و وصول کند؛ به علاوه به دانشگاه حق می‌دهد به منظور استیفای حقوق خود، از طریق دادگاه، معادل وجه مذکور در ماده ۴ را از محل توقیف کتابهای عرضه شده نگارنده برای فروش، تأمین نماید.

ماده ۶: اینجانب فاطمه توسلی دانشجوی رشته مهندسی صنایع چوب و کاغذ مقطع کارشناسی ارشد تعهد فوق و ضمانت اجرایی آن را قبول کرده، به آن ملزم می‌شوم.

نام و نام خانوادگی : فاطمه توسلی

تاریخ و امضاء : ۸۷/۸/۲۰

تقدیم به نگاه وسیع و پر مهر مادرم

و دستان یاریگر و بزرگوار پدرم

که هر چه امروز دارم از دیروز پرتلاش آنهاست

تقدیم به

همراهم

همدلم

آرامشم

همسرم

حمد و سپاس خدای حکیم را سزد که دلیل همه کاوش هاست و نتیجه هر پژوهش صحه ای است بر آفرینش اعجاب انگیز و حکیمانه اش

با سپاس فراوان از استاد ارجمند جناب آقای دکتر محبی که مشوق و راهنمای من در این تحقیق بودند. از جناب آقای دکتر کاظمی به واسطه نکات ارزشمندی که از ایشان آموختم تشکر میکنم.

از جناب مهندس ضیامی، آقای حسینی کادر محترم آزمایشگاه و آقای کرمانشاهی برای کمک های بی دریغشان سپاس گزارم.

از خانم ها بهجتی، قاسمی و رحیمی به واسطه محبت های فراوانشان در طول تحصیلم قدردانی می کنم.

از آقایان نیک رای، فلاح ، عظیمی، بهرا، محمدی، حسینی تشکر می کنم.

و

با تشکر فراوان از خانواده محترم همسرم که در امر تحصیل مشوق من بودند.

چکیده:

این پژوهش با هدف تقویت تخته فیبر نیمه سنگین با شبکه‌های فلزی و مصنوعی برای افزایش مقاومت‌های مکانیکی انجام شد. بدین منظور تخته‌های آزمونی همانند روش-های معمول ساخته شدند، با این تفاوت که برای تقویت تخته فیبرها از دو نوع شبکه تقویت کننده فلزی و مصنوعی استفاده شد که در نزدیک به هر دو رویه تخته‌ها و درحدود کم‌تر از ۱/۴ ضخامت تخته‌ها تعبیه گردیدند. مقاومت‌های مکانیکی بر اساس استانداردهای **ASTM** ؛ شامل مقاومت‌های خمشی (مدول الاستیسیته و مدول گسیختگی)، کششی بر اساس آیین-نامه شماره D ۱۰۳۷-۹۹ ، مقاومت به ضربه بر اساس آیین‌نامه شماره D ۲۵۶-۰۴ و خیز بر اساس آیین‌نامه شماره D ۶۸۱۵-۰۴ بر روی نمونه‌های آزمونی اندازه‌گیری شدند. نتایج به دست آمده نشان دادند که مقاومت خمشی (مدول الاستیسیته و مدول گسیختگی)، مقاومت کششی و مقاومت به ضربه نمونه‌ها با مسلح کردن نسبت به تخته‌های تقویت نشده افزایش چشمگیری می‌یابند. بالاترین مدول‌گسیختگی مربوط به تخته تقویت شده با شبکه فلزی نازک و به مقدار ۱۰۵٪ افزایش نسبت به شاهد، بالاترین مدول الاستیسیته و مقاومت به ضربه مربوط به تخته‌های تقویت شده با شبکه‌های فلزی ضخیم آغشته به چسب اپوکسی و برابر ۱۱۲٪ و ۷۹٪ افزایش نسبت به شاهد بود. هم‌چنین بالاترین مقاومت کششی در تخته-های تقویت شده با شبکه فلزی ضخیم تعیین شد. تخته‌های تقویت شده با شبکه‌های مصنوعی از لحاظ مقاومت‌های ذکر شده پس از تخته‌های تقویت شده با شبکه‌های فلزی قرار گرفتند. در آزمون خیز، تخته‌های تقویت شده با شبکه‌های فلزی اثر کاهشی بر روی میزان تغییر شکل تحت بار نمونه‌ها داشتند؛ اما تخته‌های تقویت شده با شبکه‌های مصنوعی روی خیز اثری نداشتند و یا آن را کمی افزایش می دادند.

واژه‌های کلیدی: تخته فیبر نیمه سنگین، تقویت کننده‌های فلزی و مصنوعی، مقاومت‌های مکانیکی

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
فصل اول: مقدمه و هدف	۱
۲ هدف	۴
۳ فرضیات	۴
فصل دوم: سابقه تحقیق	۵
۲ مروری بر مطالعات گذشته	۵
فصل سوم: مواد و روشها	۱۴
۳-۱ آماده‌سازی‌الیاف	۱۴
۱-۲ آماده سازی تقویت‌کننده ها	۱۴
۳-۳ ساخت تخته های آزمونی	۱۶
۳-۴ ویژگی های مکانیکی	۱۸
۳-۴-۱ خمش سه نقطه‌ای	۱۸
۳-۴-۲ آزمون کشش	۱۹
۳-۴-۳ مقاومت به ضربه	۱۹
۳-۴-۴ آزمون خیز	۱۹
۳-۴-۵ بررسی‌میکروسکپ الکترونی روبشی	۲۲
۳-۴-۶ تهیه تصاویر اشعه ایکس	۲۲
۳-۴-۷ تجزیه و تحلیل داده‌ها	۲۲
فصل چهارم: نتایج و بحث	۲۴
۴ نتایج و بحث	۲۴
۴-۱ مقاومت های مکانیکی	۲۴
۴-۱-۱ مدول الاستیسیته خمشی	۲۴
۴-۱-۲ مدول گسیختگی	۲۷
۴-۱-۳ مقاومت کششی	۴۱
۴-۱-۴ مقاومت به ضربه	۴۵
۴-۱-۵ خیز کوتاه مدت	۵۰
فصل پنجم: نتیجه گیری و پیشنهادها	۵۶
۵-۱ نتیجه گیری	۵۶
۵-۲ نگاهی به فرضیات تحقیق	۵۷
۵-۳ پیشنهادها	۵۸
منابع	۵۹

فهرست جداول

عنوان	صفحه
جدول ۳-۱ تیمارهای انجام شده	۱۶
جدول ۳-۲ مقدار بار محاسبه شده برای آزمون خیز در هر تیمار	۲۰
جدول ۳-۳ ابعاد و تعداد نمونه های آزمونی در هر تیمار	۲۱
جدول ۴-۱ تجزیه واریانس و گروه بندی دانکن مقاومت‌های مکانیکی تخته فیبر های مورد مطالعه	۲۴
جدول ۴-۲- میانگین مدول الاستیسیته و گسیختگی نمونه ها	۲۵
جدول ۴-۳- دانسیته تخته فیبر تقویت شده با شبکه های فلزی و مصنوعی	۲۹
جدول۴-۳- میانگین مقاومت کششی نمونه‌ها	۴۱
جدول ۴-۴- میانگین مقاومت به ضربه نمونه ها	۴۶
جدول شماره ۴- ۵-مولفه های تغییر شکل خزشی نمونه ها	۵۲

فهرست اشکال

عنوان	صفحه
شکل ۳-۱- شبکه‌های تقویت کننده	۱۵
شکل ۳-۲- شیوه قرار گرفتن لایه ها و شبکه های تقویت کننده بر روی یکدیگر	۱۷
شکل ۳-۳- شیوه قرار گرفتن شبکه توری فلزی در مقطعی از ضخامت تخته فیبر نیمه سنگین تقویت شده	۱۸
شکل ۴-۱- نمودار بار- جابجایی در هر تیمار	۲۵
شکل ۴-۲- مدول الاستیسیته نمونه ها ودرصد افزایش آن در تخته های تقویت شده نسبت به شاهد	۲۶
شکل۴-۳- میانگین مدول گسیختگی نمونه ها و درصد افزایش آن پس از مسلح کردن نمونه ها نسبت به شاهد	۲۸
شکل ۴-۴- سطح شکست تخته تقویت شده با شبکه فلزی ضخیم	۳۰
شکل ۴-۵- نواحی شکست رشته‌های تقویت کننده	۳۱
شکل۴-۶- محل جوش در تخته تقویت شده با شبکه فلزی ضخیم	۳۲
شکل۴-۷- محل جوش در تخته تقویت شده با شبکه فلزی نازک	۳۳
شکل ۴-۸-رشته شبکه مصنوعی بافته در تخته تقویت شده با شبکه مصنوعی	۳۵
شکل ۴-۹-نمای نزدیک رشته های مصنوعی به کار رفته در تخته تقویت شده با شبکه مصنوعی بافته	۳۵
شکل۴-۱۰- تصویر میکروسکوپ الکترونی از سطح اتصال شبکه فلزی با الیاف	۳۷
شکل ۴-۱۱- تصویر ماکروسکوپی از شیوه قرار گرفتن شبکه توری فلزی در مقطعی از ضخامت تخته فیبر نیمه سنگین تقویت شده	۳۸
شکل۴- ۱۲- اتصال الیاف با شبکه فلزی دارای مفتول‌های نازک‌تر که الیاف به خوبی شبکه را دربرگرفته اند	۳۹
شکل۴-۱۳- نمودار افزایش مقاومت کششی تخته فیبر تقویت شده و درصد افزایش نسبت به نمونه شاهد	۴۲
شکل ۴-۱۴-تصویر اشعه ایکس تخته‌های تقویت شده با شبکه فلزی	۴۴
شکل۴-۱۵- وضعیت تحمل بار د رتقویت کننده‌های مصنوعی	۴۴
شکل۴-۱۶- نمودار افزایش مقاومت به ضربه تخته فیبر نیمه سنگین تقویت شده و درصد افزایش نسبت به نمونه شاهد	۴۶
شکل۴-۱۷- سطح شکست تخته فیبرهای تقویت شده با شبکه فلزی	۴۹
شکل۴-۱۸- سطح شکست در آزمون ضربه تخته فیبرتقویت شده با شبکه‌های مصنوعی بافته	۴۹
شکل۴-۱۹- نمودار خیز و برگشت آن در نمونه تقویت شده با شبکه مصنوعی غیر پیش تنیده	۵۱
شکل۴-۲۰- خیز نمونه‌های تیمار شده در مقایسه با شاهد	۵۱
شکل۴- ۲۱- خیز نسبی تخته فیبر نیمه سنگین تقویت شده	۵۳
شکل۴-۲۲- سرعت خیز تخته‌های تقویت شده	۵۴

فصل اول

مقدمه

فصل اول

مقدمه و کلیات

۱-۱- مقدمه

با توجه به رشد صنایع مختلف همچون فلزات، سرامیک، مواد پلیمری و... برای حفظ جایگاه چندسازه‌های چوبی در رقابت با این مواد جایگزین، راهی جز افزایش کیفیت و بخصوص افزایش مقاومت‌های مکانیکی وجود ندارد. بنابراین یکی از اهداف مهم مهندسی در صنایع چوب در دهه‌های اخیر افزایش توان باربری و بهبود مقاومت‌های مکانیکی فرآورده‌های چوبی می باشد و تلاش برای دستیابی به مقاومت‌های بالاتر و ایمن‌سازی با استفاده از مواد و روش‌های مختلف در سطح جهانی در حال انجام است.

در واقع نیاز به تولید فرآورده‌های چوبی بادوام در کنار حفظ خواص مهندسی لازم افزایش یافته است و این تقاضا هر روز بیشتر از گذشته احساس می شود. بدین علت عملکرد مطلوب و ایمنی سازه یکی از مهم‌ترین اهداف در طراحی سازه‌ها و محصولات چوبی قلمداد می شود و میزان مقاومت در برابر تنش‌های وارده در هنگام بهره برداری (در سرویس) اصلی ترین ویژگی این مصالح به شمار می‌رود.

تخته فیبر نیمه سنگین (MDF) نیز به عنوان یکی از فرآورده‌های جدید و پرکاربرد چوب دارای ساختاری همگن، سطوحی صاف و لبه‌های فشرده و متراکم می باشد که مانند چوب ماسیو قابلیت برش و ماشین‌کاری را داراست و از نظر کاربردی و مهندسی ویژگی های مطلوبی دارد. این مزایای نسبی باعث گردیده است که در سال‌های اخیر تولید جهانی تخته خرده چوب کاهش و تولید MDF به نحو محسوسی افزایش پیدا کند. درکشور ما نیز در سال‌های اخیر گرایش به سوی راه اندازی واحدهای صنعتی افزایش قابل توجهی پیدا کرده است.

اما این‌چندسازه به دلیل ضعف در نیازهای مهندسی خاص و یا نداشتن قابلیت کاربردی ویژه، محدودیت‌هایی داشته و در برخی از موارد امکان استفاده پیدا نمی‌کند. برای مثال، در سازه‌هایی که به مرور زمان تحت بار یا ضربه‌های متوالی قرار می‌گیرند، بر اثرخستگی عضو، پدیده‌هایی؛ مانند تغییرشکل یا خیز و بعضاً جداشدن لایه‌ها از یکدیگر اتفاق می‌افتند. به طور کلی از لحاظ میزان تحمل بار، مقاومت‌های مکانیکی از جمله مقاومت کششی و خمشی و ...، تخته فیبر نیمه سنگین دچار محدودیت است و نمی تواند نیازهای مقاومتی را در حد بالایی پاسخگو باشد. این ویژگی ها، مصرف تخته فیبر نیمه سنگین را با وجود مزایای آن، محدود می سازد و لزوم تقویت تخته فیبر را برای تولید سازه‌های مستحکم‌تر و ایمن‌تر ایجاب می کند.

معمولاً برای جبران این محدودیت مقاومتی تخته فیبر، از طول‌های نسبتاً کوتاه یا از قید و بندها (پایه‌ها)ی زیاد در فواصل نزدیک به هم و یا از تخته‌های با ضخامت بالاتر در محصولات چوبی استفاده می‌شود. این روش مستلزم صرف زمان و هزینه‌های بیشتر؛ به علت مصرف بالاتر چوب به عنوان ماده اولیه و بالطبع سایر مواد سازنده تخته می‌شود که بعضاً با محدودیت طراحی سازه و دکوراسیون نیز همراه می‌باشد. در صورتی که اگر این فرآورده توانایی تحمل بارهای سنگین و متوالی را داشته باشد و یا این که دچار خیز شدید و آنی نگردد؛ می‌تواند در سازه‌های بسیار مقاوم نیز به مصرف برسد و پاسخگوی طیف وسیعی از نیازهای مهندسی باشد.

یکی دیگر از محدودیت‌های کاربرد فرآورده‌های مزبور این است که در صورت خستگی و ضعیف شدن عضو تحت تنش، شکست ناگهانی روی می‌دهد و سازه به یک باره فرو می‌ریزد؛ در صورتی که ممکن است هیچ نشانه‌ای از ترک یا ضعف از خود نشان نداده باشد. این امر امکان دارد منجر به خرابی در سازه‌ها و در نتیجه خسارات مالی و بعضاً جانی گردد (Malcolm ،۱۹۹۲).

در صورتی که پتانسیل بالای فرآورده‌های فیبری در تولید محصولات گوناگون را در نظر گرفته شود و امکان تیمار جهت افزایش مقاومت آنها به رطوبت، عوامل بیولوژیک و آتش را به آن اضافه نمود،

ملاحظه می‌گردد که در صورت برآورده شدن نیازهای مقاومتی این محصولات امکانات بسیار گسترده ای برای تولید فرآورده‌های جدید با خواص کاربردی متنوع در اختیار صنایع قرار می گیرد که در آینده می تواند سبب رشد و توسعه شگرف آن‌ها گردد. بنابراین با توجه به این کاستی‌ها، دانشمندان در تلاشند تا با تقویت توان و استحکام چند سازه‌ها در برابر بارهای وارده و تنش‌های احتمالی مسیر توسعه کاربردی محصولات و سازه‌های چوبی در صنایع گوناگون را هموار سازند.

تقویت کردن یا مسلح کردن فرآورده‌های چوبی با نگرشی چند جانبه نه تنها به بالا بردن مقاومت‌ها می پردازد؛ بلکه به عنوان روشی نوین درصدد ایمن سازی سازه‌ها و محصولات گام برمی دارد. با استفاده از روش‌های مختلف تقویت (مسلح) کردن فرآورده‌های چوبی، می‌توان ویژگی‌های مکانیکی؛ مانند مدول الاستیسیته، مقاومت‌های خمشی و برشی، خیز و در کل ظرفیت تحمل بار را در عضو بهبود بخشید. در این صورت از یک سو مقاومت‌های دلخواه و یا لازم برای هر سازه با ضخامت‌های بسیار نازک‌تر تخته فیبر تقویت شده تامین می شود و از سوی دیگر با دوام بالاتر محصولات چوبی، صرفه جویی در مصرف چوب و سایر مواد سازنده و در نتیجه در هزینه ساخت فرآورده‌های چوبی نتیجه مستقیم تقویت فرآورده های چوبی خواهد بود. بنابراین تقویت محصولات چوبی، گامی مثبت به سوی حل یکی از معضلات دهه‌های اخیر یعنی هماهنگی بین تامین ماده اولیه چوبی مورد نیاز صنایع رو به گسترش و حفظ منابع محدود جنگلی تامین کننده چوب از سوی دیگر می باشد.

همچنین با تقویت چندسازه ها می‌توان از شکست‌های ناگهانی وحادثه بار جلوگیری کرد و آن را به شکست‌های تدریجی تبدیل نمود که در این صورت، تدریجی و طولانی بودن شکست منجر به هشدار به موقع شده و سبب جلوگیری از آسیب‌های مالی و جانی می‌گردد. در نهایت با تقویت تحمل بار این فرآورده، می‌توان کاربردهای جدیدی برای آن تعریف کرد و حتی محدودیت‌های کاربرد فعلی آن را نیز کمتر نمود.

خصوصیات مقاومتی بالاتر تخته فیبرهای مسلح شده، امکان طراحی‌های نوین را برای سازه‌ها و محصولات چوبی به وجود می آورد که می تواند تحول در تنوع و بازارپسندی هر چه بیشتر این محصول را به وجود آورد. از این رو در این پژوهش با توجه به مزیت‌های بسیار زیاد تقویت‌کردن تخته فیبر نیمه سنگین از این روش در جهت تعریف نسل جدیدی از این محصولات با مقاومت‌های مکانیکی بالا و کاربردهای جدید استفاده شده است.

۱-۲- اهداف

هدف این پژوهش افزایش مقاومت‌های مکانیکی تخته فیبر نیمه سنگین با استفاده از شبکه های فلزی ومصنوعی است و طی آن سعی می شود به سوالات زیر پاسخ داده شود:

- آیا می‌توان تخته فیبر نیمه سنگین را با شبکه‌های فلزی و مصنوعی تقویت کرد؟
- با این عمل مقاومت‌های مکانیکی چقدر افزایش می‌یابند؟

۱-۳- فرضیه‌ها

برای این پژوهش نیز فرضیه‌های زیر به بوته آزمایش گذاشته شدند:

- تخته فیبر نیمه سنگین تقویت شده تا بیش از ۵۰٪ از نظر مقاومت‌های خمشی (مدول‌های الاستیسیته و گسیختگی)، مقاومت به ضربه و مقاومت به خیز نسبت به تخته فیبر معمولی برتری دارد.
- تخته فیبر ساخته شده با شبکه‌های فلزی از مقاومت‌های مکانیکی بالاتری نسبت به تخته های ساخته شده با شبکه‌های نخی مصنوعی برخوردارند.
- افزایش مقاومت کششی ناشی از تقویت کننده‌ها بیش از مقاومت‌های خمشی می‌باشد

فصل دوم

مروری بر پژوهش‌های پیشین

فصل دوم

مروری بر پژوهش‌های پیشین

تاکنون از شیوه‌های متفاوتی برای مسلح کردن فرآورده‌های چوبی وچندسازه‌ای آن مانند MDF استفاده شده است. تقویت فرآورده‌های چوبی به وسیله الیاف مصنوعی و طبیعی متنوع انجام شده است. برای مثال Lindal (۱۹۸۱) خرپاهای چوبی مورد استفاده در ساختمان سازی را به وسیله قرار دادن صفحه فلزی دندانه دار تقویت نمود و این صفحه در تمام طول وتر پرس شد. در این اختراع صفحات علاوه بر تقویت کردن خرپا، وظیفه اتصال خرپاها به یکدیگر را نیز به عهده می گیرند. نتیجه‌ی تقویت خرپاها افزایش مقاومت آنها بدون افزایش اندازه الوارها بود.

Kitipornchai (۱۹۸۶) تیر چوبی مسلح شده‌ای را اختراع نمود که در اداره ثبت اختراعات آمریکا به ثبت رسانید. با این روش مقاومت‌های مکانیکی الوارهای ساختمانی به طور قابل ملاحظه‌ای افزایش یافت. بنابر آن چه که در این اختراع اشاره شده است، در گذشته درجه بندی چوب به صورت ظاهری انجام می‌شد و امکان استفاده از الوارهای ساختمانی با معایب طبیعی؛ مانند گره‌ها، اعوجاج و ترک‌ها برای سازه‌های مهندسی تحت بار میسر نبود؛ لذا وی با قرار دادن تعدادی صفحات فلزی دندانه دار در بالا و پایین تیرهای چوبی، آنها را تقویت نمود و بر مقاومت‌های مکانیکی‌شان؛ به ویژه مقاومت خمشی افزود.

تیرهای لایه‌ای به علت ویژگی های منحصر به فرد مثل ثبات ابعادی، تحمل طولانی مدت بار و مقاومت بالا نسبت به وزنشان مورد استقبال زیاد برای استفاده در ساختمان سازی می باشند. Obrien (۱۹۹۱) عنوان کرد که می‌توان با بهتر کردن خصوصیات مکانیکی این تیرها راه را برای استفاده روزافزون این محصول نسبت به استفاده از فلزات باز کرد، وی به همین منظور نوعی تیر لایه‌ای تقویت شده را در امریکا ثبت نمود. وی برای مسلح کردن لایه نازکی از آلومینیوم با مقاومت کششی بالا حدود

psi ۴۱۰۰۰ و ضخامت ۰/۰۶۴ اینچ را به طول و عرض و پهنای خود تیر در بین لایه‌های تیر قرار داد. وی محل قرار دادن تقویت کننده‌ها را با توجه به محلی که بالاترین تنش رخ می دهد تعیین نمود که به طور مثال در قسمت‌های تحتانی که با اضافه کردن یک لایه از ماده‌ای با مقاومت کششی بالا مقاومت کششی را در مقابل تنش‌های وارده بالا می برد.البته وی اذعان داشت که به علت ضعف لایه-های بالایی تیر در مقابل فشار بهتر است این لایه‌ها نیز مانند لایه‌های پایینی تقویت شوند. نوارهای آلومینیومی قبل از جای‌گذاری به منظور افزایش کیفیت چسبندگی فلز تمیز شده و جهت زدودن لایه اکسید شده با اسید ملایم شسته می شوند و سپس با روکشی از آلودین تمام سطح آلومینیوم پوشیده می شود .چسب مورد استفاده جهت چسباندن فلز به چوب امولسیون پلیمر ایزوسیانات بود.

نتایج مسلح کردن تیرهای لایه‌ای افزایش معنی دار ظرفیت تحمل بار تیرهای تقویت شده به میزان ۳۷٪ نسبت به شاهد می باشد.

در انگلستان نیز Malcolm (۱۹۹۲) تخته فیبر تقویت شده‌ای را اختراع کرد که در آن از فلز، الیاف شیشه و الیاف کربن برای تقویت کردن استفاده نموده بود. مواد تقویت کننده به صورت سیم، الیاف، صفحه، شبکه و غیره در داخل تخته فیبر به کار رفتند. با این اختراع، مقاومت تخته فیبر در برابر ضربه افزایش یافت و از میزان کرنش تخته نیز کاسته شد.

Troger و همکارانش (۱۹۹۷) تخته خرده چوب را با الیاف طبیعی کتان تقویت کردند. این تخته خرده چوب شامل یک لایه مرکزی و دو لایه تقویت کننده در دو طرف تخته خرده چوب بود، لایه تقویت کننده شامل لایه ای از پوشال بسته‌بندی شده کتان بود که در آن الیاف در جهت طولی در کنار یکدیگر قرار گرفته بودند و هر دو طرف این لایه‌ها با چسب PMDI اسپری شده بودند. افزایش مقاومت خمشی و مدول الاستیسیته در نمونه‌های تقویت شده در مقایسه با شاهد تا ۵۰٪ افزایش را نشان می دهد. در اختراع دیگری که Leblanc (۱۹۹۸) در آمریکا به ثبت رسانید، با قرار دادن یک صفحه فلزی نواری دندانه‌دار در سطوح جانبی تیر چوبی، آن را مسلح کرد. به طوری که دندانه‌ها در فاصله‌های از

پیش تعیین شده و در تمام طول تیر توزیع شده بودند. دندانه‌های مزبور برای تثبیت و محکم شدن فلز مسلح کننده به تیر چوبی ایجاد شده بودند. نتایج از بالا رفتن مقاومت‌های خمشی، فشاری و برشی حکایت داشتند و مشکلات ناشی از وجود معایبی مانند ترک، شکاف، گره، انحراف، وجود چوب‌های واکنشی و غیره را جبران می‌کرد.

Xiong (۱۹۹۸) نیز تخته‌هایی برای کاربرد در پانل‌های سقف ساخت. این تخته‌ها از مخلوط تراشه-های چوب و سیمان به همراه نوارهای فلزی تقویت کننده ساخته شده بودند. مقاومت کششی این تخته ها ۶/۹ مگاپاسکال (MPa) و مقاومت فشاری ۱۱/۵ مگاپاسکال (MPa) گزارش شد. همچنین مدول-های الاستیسیته خمشی وکششی به ترتیب ۵۵۷۱ مگاپاسکال (MPa) و۶۸۴۶ مگاپاسکال(MPa) بودند. وجود نوارهای فلزی مزبور سبب کاهش چشمگیری در خیز این چند سازه شد.

Tingley (۲۰۰۰) تیرهای لایه‌ای را به منظور کاربرد ساختمانی و تحمل بیشتر بار تقویت نمود . وی در اختراعش در دو طرف تیر بین لایه ها، لایه‌ای از الیاف مصنوعی آغشته به چسب با مدول الاستیسیته بالا در کشش و فشار مثل آرامید یا پلی اتیلن مقاومت بالا، الیاف شیشه (fiberglass) یا الیاف کربن قرار داد، اما در لبه‌های بیرونی از الیافی با مقاومت پایین مثل الیاف شاهدانه،کتان یا پلی استر استفاده کرد که از لحاظ قیمت پایین‌تر و ماشین‌کاری آسان‌تر داشتند. به این ترتیب در مرکز لایه از الیاف مقاومت بالا و در لبه های لایه تقویت کننده از الیاف با مقاومت پایین استفاده کرد.

لایه‌های تقویت کننده بالا و پایین از لحاظ مدول الاستیسیته با یکدیگر تفاوت داشتند زیرا در لایه پایین علاوه بر الیاف مقاومت بالای مرکز و مقاومت پایین لبه‌ها، روی الیاف مقاومت بالای مرکز لایه به وسیله الیاف آرامید یا پلی اتیلن مقاومت بالا پوشیده شده بود. مدول الاستیسیته لایه تقویت کننده بالا ۶۹۰۰۰-۳۸۰۰۰ مگاپاسکال و لایه پایین مدول الاستیسته ۱۳۱۰۰۰-۱۲۴۰۰۰ مگاپاسکال داشتند.