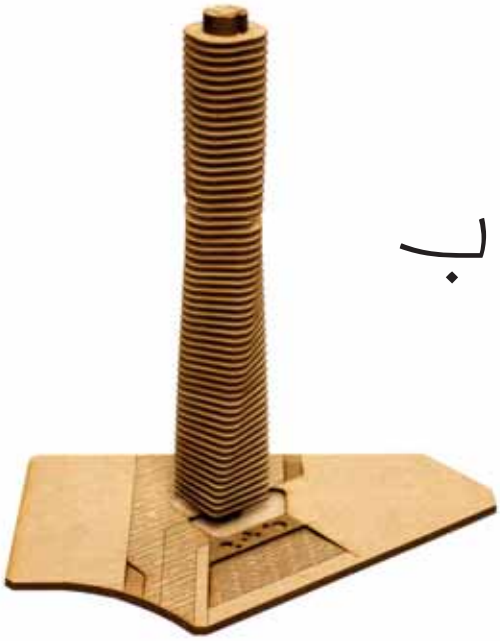

ناطحات السحاب الخشبية

في مدن المستقبل

حسن الخاطر
كاتب في الشؤون العلمية

استُعمل الخشب منذ العصور القديمة مادةً أساسيةً في بناء البيوت والسفن والجسور. ومع بزوغ الثورة الصناعية، استُبدل به الصلب والإسمنت؛ وأصبحت هياكل الفولاذ، مثل: ناطحات السحاب شاهداً على تقدم الإنسان. إلا أن زيادة السكان والتغيّر المناخي الناتج عن ظاهرة الاحتباس الحراري جعل العلماء يفكّرون تفكيراً جدياً في استبدال هاتين المادتين بالخشب لبناء ناطحات سحاب خشبيّة صديقة للبيئة تمتصّ ثاني أكسيد الكربون وتستطيع مواجهة نمو السكان. فهل تشهد مدن المستقبل عودة العصر الذهبي للخشب من جديد، ليكون المادة الأساسية للبناء في مدن المستقبل وتكون ناطحات سحاب المستقبل مبنيّة من الخشب؟

البناء الحديث بتفاصيل خشبية. تم بناء المرافق الجديدة بمواد خضراء وصديقة للبيئة.

الخشب صديق للبيئة

يحتاج تصنيع الفولاذ والإسمنت إلى استهلاك طاقة كبيرة، لا سيما عند الصهر في درجة حرارة عالية أثناء تصنيع الفولاذ وتكسير الصخور في إنتاج الأسمنت. وهاتان العمليتان تسهمان بنسبة كبيرة في انبعاث غازات الدفيئة المسبّبة للاحتباس الحراري.

إن 8% من مجمل انبعاث غازات الدفيئة في العالم مصدرها إنتاج هاتين المادتين: الفولاذ والإسمنت. إذ يطلق الفولاذ ضعف وزنه من ثاني أكسيد الكربون، أي طنين من ثاني أكسيد الكربون لكل طن من الفولاذ. بينما يطلق الإسمنت نصف وزنه من ثاني أكسيد الكربون، أي نصف طن من ثاني أكسيد الكربون لكل طن من الإسمنت. وبذلك فإن اعتمادنا شبه الكامل على الفولاذ والإسمنت في البناء يسبب ضرراً كبيراً للبيئة. ولنا أن نتخيل كمية ثاني أكسيد الكربون التي ستضاف إلى الغلاف الجوي بناءً على الزيادة السنوية في الإنتاج العالمي من الفولاذ، وهي زيادة بلغت 4.6% في عامي 2017 و2018م.

وعلى النقيض، يُعَدّ الخشب مستودعاً لثاني أكسيد الكربون؛ فالمتر المكعب من الخشب قادر على خزن طن من ثاني أكسيد الكربون. وهذا مثال للتوضيح، فعند استخدام الصلب والإسمنت في بناء مبنى يتكون من عشرين طابقاً، يُنتَج 1200 طن من ثاني أكسيد الكربون خلال عملية التصنيع، في حين أننا نخزّن 3100 طن من ثاني أكسيد الكربون لو استخدمنا الخشب، بحيث يكون التأثير الصافي في البيئة ناقصاً 4300 طن. ويعادل هذا المقدارُ ما تطلقه 900 سيارة تعمل سنة كاملة من التلويث البيئي، فتخيل أننا أزلنا 900 سيارة من المدينة عاماً كامل مقابل كل مبنى مماثل! وهذا يعني أن استعمال الخشب في البناء له آثار إيجابية على البيئة وصحة الإنسان. ويقدر الباحثون أن الخشب الموجود في مبنى ستيت هاوس في لندن - المبني من خشب - يخزن 186 طناً من ثاني أكسيد الكربون. في حين أن الفولاذ والإسمنت لبرج مماثل من شأنه أن يولد 137 طناً من ثاني أكسيد الكربون أثناء الإنتاج، ويكون مقدار إراحة البيئة لو استُعمِل الخشب 323 طناً من ثاني أكسيد الكربون.

إضافة إلى ذلك فإن كثافة الخشب قليلة جداً مقارنة بكثافة الفولاذ والخرسانة، فكلما قلت الكثافة قلت الكتلة والوزن، مما سينعكس إيجابياً على طاقة النقل التي تعمل بالوقود الأحفوري، حيث سيتم استخدام كمية أقل من الطاقة في النقل وهذا سوف يسهم في المحافظة على البيئة من خلال تقليل نسبة انبعاث ثاني أكسيد الكربون، ورغم كثافة الخشب القليلة إلا أن نسبة القوة التي يتحملها مقارنة بوزنه أعلى بكثير من الفولاذ.

وهكذا فإن الخشب يمتاز بخفة الوزن والقوة والمرونة، فمبنى الخشب أقل وزناً من الفولاذ والخرسانة، وهذا يعني أننا نحتاج إلى أساسات أقل عمقاً. مما يقود إلى التخلص من المواد ذات الوزن الكبير والتأثير البيئي السلبي ويفتح باباً في هندسة المستقبل المعمارية لجيل من الهياكل الخفيفة والقوية والمقاوِمة للحريق.

عزل الخشب حرارياً

تُستخدم الموصلية الحراريّة لقياس خصائص عزل مواد البناء، فكلما انخفضت الموصليّة الحرارية كانت مادة البناء أفضل في العزل من الحرارة المرتفعة والمنخفضة على السواء. ويبيّن الجدول التالي الموصلية الحرارية لبعض المواد المستخدَمة في البناء، علماً بأن وحدة قياس الموصليّة الحراريّة هي الواط لكل متر كِلفِن:

المادة	الموصليّة الحراريّة
الفولاذ	50.2
الخرسانة	0.8
الألومنيوم	205
الخشب	0.12

وعلى هذا فإن التوصيل الحراري للخشب ضعيف جداً مقارنة بالفولاذ والخرسانة والألومنيوم. وللمقارنة فإنه أفضل في العزل الحراري بأكثر من ست مرات من الخرسانة وأربع مئة مرة من الفولاذ وألف وسبع مئة مرة من الألومنيوم. وللعزل الحراري أثر إيجابي في توفير الطاقة داخل المباني، من ناحية خفض استهلاك الطاقة الكهربائية المستخدَمة في التكييف في فصل الصيف. إذ تنتقل الحرارة في هذا الفصل من الخارج إلى داخل المبنى؛ وينعكس هذا الاتجاه في فصل الشتاء بسبب الفرق في درجتي الحرارة بين الداخل والخارج، كما ينص القانون الثاني للديناميكا الحرارية، فالحرارة تنتقل من الأجسام الأسخن إلى الأبرد.

وتشير التقديرات إلى أن العزل الحراري في المباني يسهم في خفض فاتورة الكهرباء إلى النصف، بسبب قلة الطاقة التي تُستخدَم في تسخين أو تبريد المبنى الخشبي مقارنة بغيره. وبذلك يُعدّ الخشب المادة الواعدة للبناء بسبب حفظ الطاقة، وإضافة إلى العزل الحراري للخشب فإنه يمتلك ميزتي العزل الصوتي وتنظيم الرطوبة.

الخشب مادة متجدّدة

بالمقارنة مع مواد البناء الأخرى كالفولاذ والخرسانة، ومنها الرمل، فهذه مواد غير متجدّدة ومهدّدة بالنضوب، لكن الخشب متجدّد وذلك بوساطة زرع مزيد من الأشجار في مقابل قطع

متروبول باراسول هي الهندسة المعمارية الحديثة في بلازا دي لا إنكارناسيون في 5 يونيو 2014م في إشبيلية ، إسبانيا. تم تصميمه من قبل المهندس المعماري الألماني Jurgen Mayer-Hermann.

الأشجار القديمة من أجل استمرار نماء الأشجار في الغابات.
كما أن البناء بالخشب يشجع على زراعة الغابات الجديدة، إذ بإمكاننا زرع الأشجار الصنوبرية بسرعة - بعضها في بضع سنوات فقط - وبذلك نحصل على دورات نماء سريعة. وهذه نقطة جيدة تسهم في إزالة التلوث ومقاومة التغيُّر المناخي.
كذلك يُقلل قطع الأشجار خطر اندلاع حرائق الغابات. فوفقاً لدراسة أُجريت في عام 2013م، ونُشرت في "مجلة الغابات المستدامة" أن لقطع الأشجار من الغابات بُعداً إيجابياً يتمثل في تقليل احتمال كوارث حرائق الغابات، وتحسين قدرتها على الصمود أمامها. وهذا بدوره يؤدي إلى الحفاظ على التنوّع البيولوجي في النظم البيئية في جميع أنحاء العالم.

ازدياد طلب مباني الخشب

في تسعينيّات القرن العشرين، اختُرِعَت الأخشاب المُتداخِلة (CLT-Cross Laminated Timber) لتكون حلاً قائماً للأخشاب الثقيلة في البناء الخشبي، من خلال لصق الألواح الخشبية معاً من أجل إعطائها قوة أقوى من الفولاذ ومقاومة كبيرة للحريق.
ومع بداية القرن الحادي والعشرين، بدأت مباني الخشب تحتل مكانتها المتزايدة في جميع أنحاء العالم، بدلاً من الخرسانة والصلب، وازدادت توصية العلماء والمهندسين المعمارين باستخدام الخشب وتفضيله في البناء؛ نظراً للخصائص الاستثنائية الإيجابية التي يتميز بها، والتي ترتبط بالمناخ والاقتصاد وسرعة الإنجاز في زمن قياسي.
في البداية، طُبِّقَت هذه التقنية الجديدة على المباني ذات الطوابق التي لا تزيد عن ستة، لا سيّما تلك التي تخضع لشروط قوانين البناء المتعلقة بالارتفاع؛ إلا أن الهندسة المعمارية للخشب وتطوير منتجات الخشب الثقيلة، مثل: الأخشاب المتداخلة، وخشب الرقائق المُلصَقة، وخشب رقائق القشرة الخشبية، فتحت الباب أمام المباني العالية والكبيرة.
وقد بدأت هذه التقنية الخشبية الجديدة تثبت قدرةَ منافسةٍ عالية خصوصاً في أوروبا، حتى في المباني الشاهقة؛ وذلك بسبب سهولة التعامل معها أثناء البناء، وجودتها العالية في التصنيع المسبق وفقاً للمواصفات المطلوبة، وهذا يعني سرعة أكبر في البناء وتكاليف أقل.
جعلت هذه التطورات التقنية الجديدة الخيال العلمي بناطحات سحاب من الخشب أمراً قريباً جداً من الواقع.
وأخذت مباني الخشب تزداد ارتفاعاً. وقد حفَّز هذا الاتجاه ميزة هذه المباني المقاومة للزلازل بسبب مرونتها، مما يجعلها قادرة على امتصاص الصدمات. كما أن الخوف من الحرائق، والسمعة السيئة التي اكتسبها الخشب، والقلق حيال ذلك أصبح - بفضل التقنية الجديدة - أمراً غير منطقياً. لأن الطريقة التي يحترق بها الخشب أفضل بكثير من الفولاذ من ناحية السلامة، فمبنى الأخشاب المتداخلة يصمد أمام النيران مدة طويلة تكفي لإنقاذ السكان.
في حال الحريق يتفحّم الخشب من الخارج بسبب اللهب، وهذا بدوره سوف يحمي الطبقات الداخلية منه، ويُبقي قسمه الداخلي سليماً نسبياً مدّة أطول. أما الفولاذ فيفقد في الحرائق صلابته. فالمعروف أن المعادن تمدّد بالحرارة، وهذا يسبّب انهياراً للأجزاء المدعومة؛ بينما استخدام قطع كبيرة من الخشب، كتلك التي طُوِّرَت، يجعلها أكثر مقاومة للنيران من الفولاذ. دليلنا في ذلك كون الأشجار التي تبقى واقفة بعد حرائق الغابات هي أكبر الأشجار، إضافة إلى أن التقنيات الحديثة تجعل من الخشب مادة غير قابلة للاحتراق بسبب معالجته كيميائياً بمواد مضادة للحرائق.
ففي مدينة بورتلاند الأمريكية في ولاية أوريغون شُيِّد مبنى

Mjøstårnet في Brumunddal، النرويج، هو حالياً أطول مبنى خشبي في العالم من الأخشاب المُتداخِلة (CLT-Cross Laminated Timber).

في مدينة بورتلاند الأمريكية بولاية أوريغون شُيِّد مبنى خشبي مكون من ثمانية طوابق وارتفاعه 26 متراً، وسُميَ الكربون 12 نسبة إلى الوزن الذري للكربون.

سيصبح الخشب مادة البناء الرئيسة في مباني المستقبل على نطاق واسع. وسوف يتجاوز مرحلة البناء ويدخل في صناعة السيارات والطائرات وسوف يتوسع إلى ما هو أبعد من ذلك وستكون حضارة المستقبل مبنية من الخشب.

خشبي مكون من ثمانية طوابق وارتفاعه 26 متراً، وسُمِيَ الكربون 12 نسبة إلى الوزن الذري للكربون. حيث بُنِيَ هيكل المبنى باستخدام الأخشاب الضخمة وخشب الرقائق الملصقة والأخشاب المتداخلة. وبالإضافة إلى الفوائد البيئية الكامنة في الخشب، فإن مبنى الكربون 12 مجهز تجهيزاً أفضل للتعامل مع الزلازل والكوارث الطبيعية الأخرى من أي مبنى سكني آخر في البلاد، بفضل مقاومة الالتواء، كما أن المبنى يتميز بسقف جاهز للطاقة الشمسية.

وقد تصدّرت النرويج في عام 2019م، تشييد أطول عمارة خشبية في العالم بارتفاع يبلغ 85.4 متراً ويتكون المبنى من 18 طابقاً، باسم برج ميجوس، وهو صديق للبيئة ومقاوم للحرائق. وقد استُلهِمت فكرته من اتفاقية باريس للمناخ للحد من انبعاث ثاني أكسيد الكربون مع الحصول على مواد البناء على نحو مستدام محلياً، حيث تتكون جميع الهياكل الرئيسة من الأخشاب المعالجة هندسياً والمذكورة آنفاً.

تقنيات واعدة

في المستقبل غير البعيد، سوف يُستخدَم الخشب بدلاً من الزجاج في النوافذ أيضاً، ففي عام 2016م، طوّر باحثون في المعهد الملكي للتكنولوجيا في ستوكهولم بالسويد، مادة خشب شفافة مناسبة للإنتاج الضخم تُعرَف باسم الخشب الشفاف. ويمكن استخدامها بدلاً من الزجاج، نظراً لأنها تسمح بمرور الضوء.

وفي عام 2018م، نشرت مجلة "نيتشر" تقنية لتطوير الأداء الميكانيكي للخشب الطبيعي من حيث قوته وصلابته، مما يتيح تطبيقات هندسية متقدمة في البناء بالخشب؛ بتحويل الخشب اللبّن إلى مادة أقوى وأكثر صلابة من الفولاذ أكثر من عشرة أضعاف، وقد عُرف باسم الخشب الفائق (Superwood)، من خلال إزالة جزيئات اللجنين (Lignin) والهيميسليلوز (Hemicellulose) كيميائياً من الخشب الطبيعي، وهي تُزال بالغليان في خليط من هيدروكسيد الصوديوم (NaOH) وسولفيت الصوديوم (Na_2SO_3)، ثم بالضغط الساخن، مما يؤدي إلى الانهيار التام لجدران الخلايا، والتكثيف الكامل للألياف النانوية السليلوزية. وهذه الطريقة الواعدة تجعل الخشب يتمتع بقوة عالية تجعله بديلاً منخفض التكلفة وعالي الأداء وخفيف الوزن. ويمكن الحصول على خشب مقاوم للاحتراق من الأشجار المعدَّلة وراثياً.

مباني مدن المستقبل

يشير علماء الديموغرافيا (علم السكّان) إلى أن المدن ستتوسع في المستقبل غير البعيد توسّعاً كبيراً. وهذا يعني أننا سنعيش في مدن أشد كثافة، تضيق داخلها مساحات السكن. والحل شبه الوحيد، في ظل وجود المخاطر البيئية المتزايدة هو بناء ناطحات سحاب من الخشب تتمدّد عمودياً وتتألف من عشرات الطوابق، وتنافس ناطحات السحاب الفولاذيّة المعروفة الآن.

لقد وضع المهندس المعماري "مايكل جرين" مع "إيريك كارش" خططاً لأبراج خشب من ثلاثين طابقاً، في محاولة لإثبات جدوى البناء بالخشب في المباني الشاهقة، في حين أن الخطط جارية بالفعل للمباني المرتفعة في النرويج والنمسا التي تستخدم الخشب موادَّ بناءٍ أساسية وتتجنب استخدام الفولاذ والخرسانة.

في الصين تعمل شركة "أروب" الآن على تثقيف المهندسين حول استخدام الخشب في البناء الشاهق، حتى مع وجود شركات قوية مثل "سوم". وقد نشرت شركة يابانية في طوكيو خططاً تفصيلية لبرج مكوّن من سبعين طابقاً ارتفاعه 350 متراً، مصنوع من الخشب بنسبة 90%. والمقرر افتتاح البرج (W350) في عام 2041م، ليتزامن مع الذكرى 350 للشركة، التي أخذت في الحسبان النشاط الزلزالي العالي في اليابان.

وهناك مزيد من الدول التي تعمل على تخطيط بناء ناطحات سحاب خشبية ضمن رؤيتها للمستقبل.

وهكذا سيصبح الخشب مادة البناء الرئيسة في مباني المستقبل على نطاق واسع، وسوف يتجاوز مرحلة البناء ويدخل في صناعة السيارات والطائرات وسوف يتوسع إلى ما هو أبعد من ذلك وستكون حضارة المستقبل مبنية من الخشب! ✓

تقنية تطوير الأداء الميكانيكي للخشب الطبيعي من حيث قوته وصلابته، مما يتيح تطبيقات هندسية متقدمة في البناء بالخشب؛ بتحويل الخشب اللبّن إلى مادة أقوى وأكثر صلابة من الفولاذ أكثر من عشرة أضعاف، وقد عُرف باسم الخشب الفائق.

المراجع:

1. https://www.nationalgeographic.com/science/2020/01/skyscrapers-of-the-future-will-be-made-out-of-wood/?cmpid=org=ngp::mc=crm-email::src=ngp::cmp=editorial::add=Science_20200115&rid=D791520C14AA0259310068210DF90C3B
2. https://www.americanmachinist.com/news/media-gallery/21902969/global-steel-output-rose-to-18b-for-2018
3. https://www.theguardian.com/cities/2014/oct/03/-sp-wooden-skyscrapers-future-world-plyscrapers
4. https://www.mrporter.com/en-us/journal/lifestyle/the-rise-and-rise-of-wooden-skyscrapers-560274
5. http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/Tables/thrcn.html
6. https://epthinktank.eu/2017/04/01/what-if-we-were-to-build-skyscrapers-from-wood-science-and-technology-podcast/
7. https://futurism.com/three-reasons-skyscraper-wood
8. https://www.archdaily.com/483650/tall-tinder-are-wooden-skyscrapers-really-fire-safe
9. https://www.carbon12pdx.com/about
10. https://www.moelven.com/mjostarnet/
11. https://www.damnmagazine.net/product/kth-transparent-wood/
12. https://www.nature.com/articles/nature25476
13. https://edition.cnn.com/2012/03/15/tech/eco-wood-skyscrapers/index.html
14. https://www.theguardian.com/cities/2014/oct/03/-sp-wooden-skyscrapers-future-world-plyscrapers
15. https://futurism.com/three-reasons-skyscraper-wood