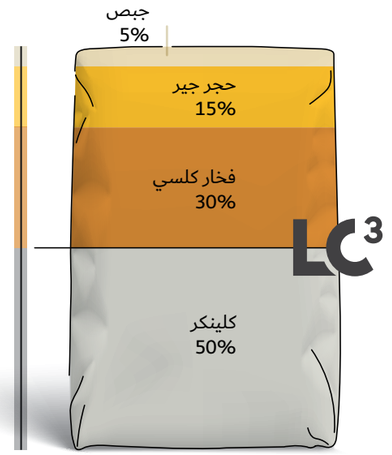
بديل مستدام لصناعة الاسمنت

LC3 بديل قليل الكربون

اسمنت Limestone Calcined Clay Cement (LC3) منتج طيني كلسي جيري خليط يسمح لشركات صناعة الاسمنت خفض انبعاثات ثاني أكسيد الكربون من الانتاج.
بتمويل من الوكالة السويسرية للتنمية والتعاون، استطاعت نقل تكنولوجيا LC3 من المختبرات البحثية إلى الانتاج التجاري، وقامت الوكالة بدعم تطوير الأساس العلمي للمنتج LC3 واختباره وتشجيع تبني معاييره ودعم انتشاره على مستوى العالم.



الشكل 1

خمسة أسباب وجيهة لأجل اعتماد منتج LC

خفض انبعاثات الكربون

يعمل منتج LC3 على خفض محتوى الكلينكر[1] المستخدم للطاقة حتى نسبة 50%، وبالتالي خفض انبعاثات ثاني أكسيد الكربون بنسبة تصل إلى 40% مقارنة مع اسمنت بورتلاند العادي.

قابلية التوسع

إن وفرة المواد المناسبة تعني أنه بالإمكان إنتاج LC3 في حوالي 75% من مصانع الاسمنت في العالم.

كفاءة التكاليف

نظرا لكون سعر الفخار الكلسي غالبا أقل من سعر الكلنكر، فإن منتج LC3 يوفر حتى 25% من تكاليف الانتاج.

كفاءة استخدام الموارد

بالنسبة لمنتج LC3، فإنه يمكن استخدام كل من الجير. الذي هو غير مناسب لإنتاج الكلينكر. والفخار غير الخزفي. الذي غالبا ما يعتبر من المخلفات.

أداء مرتفع

أداء LC3 مكافئ أو أفضل من أداء اسمنت بورتلاند مع ميزة مقاومة أكبر لاختراق أيونات الكلوريد والتي تعتبر السبب الرئيس لصدأ قضبان التسليح.

[1] الكلنكر مادة قوالب معيارية لونها رمادي غامق يتم تصنيعها بتسخين الجير والطين عند درجة حرارة 1400 ـ 1500 مئوية.

التحديات التي تواجهها صناعة الاسمنت للوصول إلى صفر انبعاثات

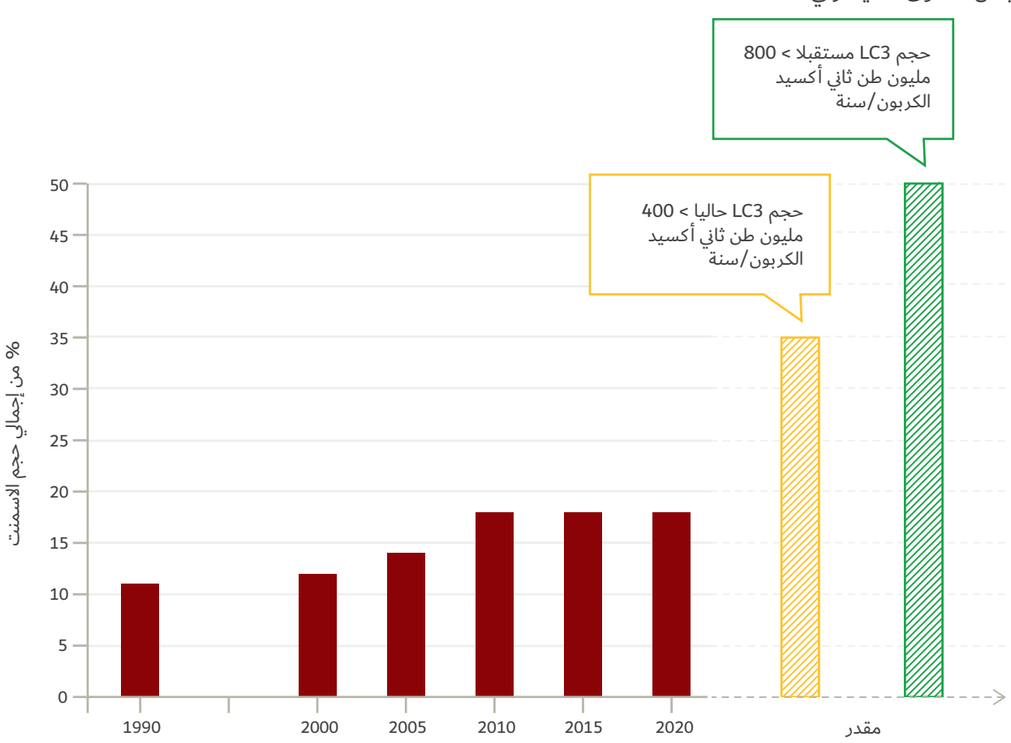
الخرسانة هي مادة البناء الأكثر استخداما في العالم، والمكوّن الرئيسي فيها هو الاسمنت. وتعتبر عمليات الحرق الكيميائي والحراري المتبعة في إنتاج الاسمنت هي المصادر الرئيسية لانبعاثات ثاني أكسيد الكربون، وإن 60% منها تكون انبعاثات مباشرة من تسخين الحجر الجيري لإنتاج الكلينكر، و 40% منها مصدره حرق أنواع الوقود المستخدم في أفران الاسمنت (GCCA 2022). يُشكّل إنتاج الاسمنت ما نسبته نحو 8% من إجمالي انبعاثات ثاني أكسيد الكربون العالمي.
ازدادت سرعة التحول الحضري في العالم، تحديدا في مناطق آسيا والصحراء الكبرى في أفريقيا. في عام 2020 كان نحو 56% من سكان العالم يقيمون في المدن، ومن المتوقع أن يتضاعف عدد سكان المدن بحلول عام 2050 (WB 2020). ويتوقع أن تلعب الخرسانة دورا محوريا في التوسع في بيئة المساكن، خصوصا في دول الاقتصادات الناشئة. إن زيادة إنتاج الخرسانة تتطلب زيادة إنتاج الاسمنت من المستوى الحالي البالغ أكثر من 4 مليار طن سنويا إلى أكثر من 5 مليار طن سنويا بحلول عام 2050 (Chatham House 2018).
وفي الوقت ذاته، إن تلبية هدف اتفاقية باريس للحد من الاحتباس الحراري إلى أقل من درجتيْن مئويتيْن، والأفضل إلى أقل من 1.5 درجة مئوية يتطلب جهودا كبيرة لخفض ثاني أكسيد الكربون من القطاعات كافة. ويجب تحقيق هدف صفر انبعاثات في جميع مراحل دورة حياة البناء والإنشاءات بحلول عام 2050 (Global Climate Action Pathway 2021). لقد زادت شدة ثاني أكسيد الكربون المباشرة في إنتاج الاسمنت بنسبة 1.5% سنويا خلال السنوات 2015 - 2021. بالمقابل، يلزمنا تحقيق خفض بنسبة 3% سنويا حتى عام 2030 للوصول إلى صفر انبعاثات بحلول 2050 (IEA 2022).

LC3 على طريق الوصول إلى مستقبل صفر انبعاثات

لتحقيق مستقبل صفر انبعاثات، يتوجب على قطاع الإنشاءات اعتماد طرق مستدامة، وكفؤة في استخدام الموارد، ودوّارة، من بينها خفض استهلاك الاسمنت والحديد، واستخدام مواد بناء مستدامة. إن إسهامات استخدام الاسمنت والخرسانة لتحقيق صفر انبعاثات يجب أن تتضمن إجراء تحسينات في التصميم وكفاءة الإنشاء، والتوفير في استخدام الاسمنت والأربطة، والتوفير في إنتاج الكلينكر، وكفاءة إنتاج الخرسانة، واستخدام التقاط الكربون، واعتماد تكنولوجيا تخزين الكربون (GCCA 2021). يساهم منتج LC3 في خفض انبعاثات ثاني أكسيد الكربون بشكل رئيسي وذلك باستبدال محتوى الكلينكر الغني بالطاقة والمُسبّب لخفض الانبعاثات في مجال «توفير الاسمنت والأربطة». واعتمادا على نوع الاسمنت الذي يتم استبداله بـ LC3، فإن خفض الكربون قد يصل إلى ما نسبته 40%.

الشكل 2

استبدال محتوى الكلينكر في الاسمنت

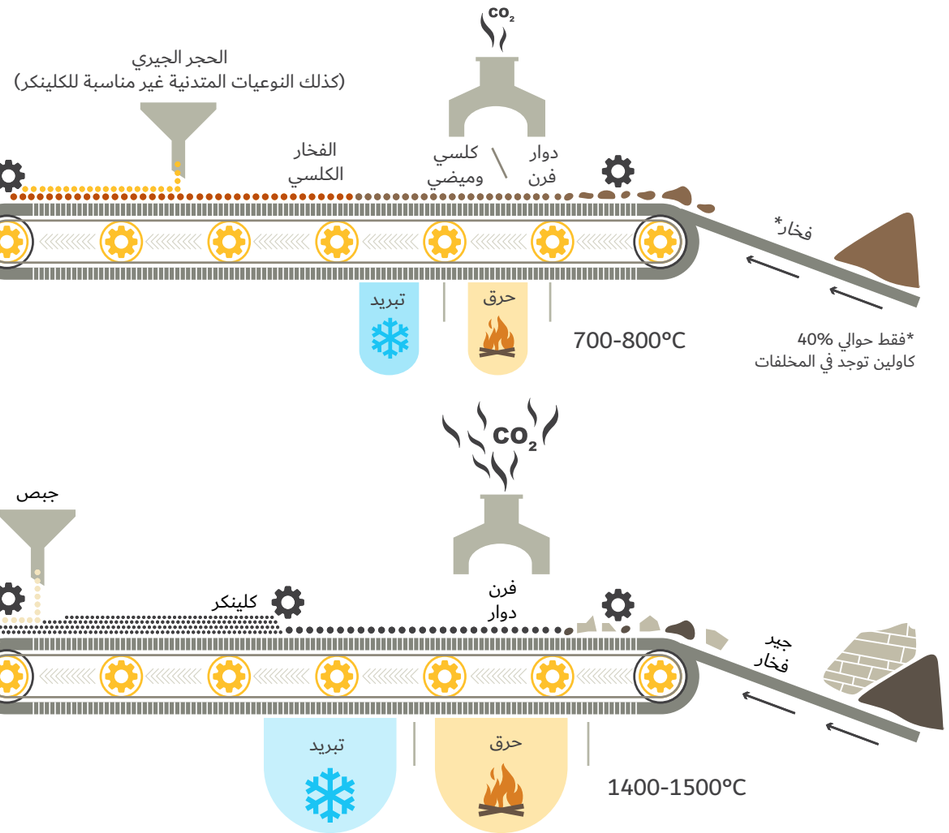


وبالرغم أن الفخار الكلسي والجير مستخدمة حاليا كمواد اسمنتية مكملة، فإن الابتكار الجديد في منتج LC3 هو خفض محتوى الكلينكر إلى 50% وإضافة مزيج 30% فخار الكاولينيت متدني الجودة، و 15% جير، و 5% جبصين. تتصف هذه المواد مجتمعة بأثرها التكاملي، ومفعولها المشابه لمفعول اسمنت بورتلاند. إن خفض استخدام مادة الكلينكر سيؤدي إلى خفض انبعاثات ثاني أكسيد الكربون (بحدود 40% مقارنة مع اسمنت بورتلاند) مع الجير واستخدام كمية وقود أقل لحرق الكلينكر. يتحقق الوفر الظاهر في الطاقة لأن الطين الكلسي المستخدم أكثر مطاوعة ويتم تسخينه عند درجة حرارة 700 ـ 800 مئوية تقريبا، بينما يتطلب تصنيع الكلينكر درجة حرارة 1400 ـ 1500 مئوية. إن منتج LC3-50 مع محتوى الكلينكر بنسبة 50% منتشر ومقبول بشكل واسع وفق معايير الاسمنت المطبقة في أوروبا والهند والولايات المتحدة وكوبا والعديد من دول أمريكا الجنوبية. ويتم حاليا دراسة احتمالية أن تكون كمية الكلينكر في تركيبة LC3 أقل من 50% مما يؤدي إلى مزيد من خفض انبعاثات الكربون.

من خلال استخدام مواد المخلفات الصناعية مثل مخلفات الفخار، يعمل LC3 على زيادة كفاءة استخدام الموارد وخفض استخدام المواد الخام النادرة الضرورية لإنتاج الكلينكر. إن الفخار الكلسي والجير موجود بوفرة، بينما الرماد المتطاير ـ والذي يعتبر أحد مكونات خليط الاسمنت ـ أصبح نادر الوجود في بعض المناطق، وربما تزداد ندرته بعد الاستغناء عن مصانع الطاقة الحرارية العاملة على الفحم. وعلى نحو مشابه، أصبح الرماد كعنصر مزج نادرا وستزداد ندرته مع خفض انبعاثات الكربون في صناعة الفولاذ. علاوة على ما سبق، إن المقاومة العالية للكلوريد وشدة البنية الدقيقة مع مقاومة عالية لسطح LC3، يجعل هذا المنتج مناسبا للظروف الجوية القاسية في البيئات البحرية.

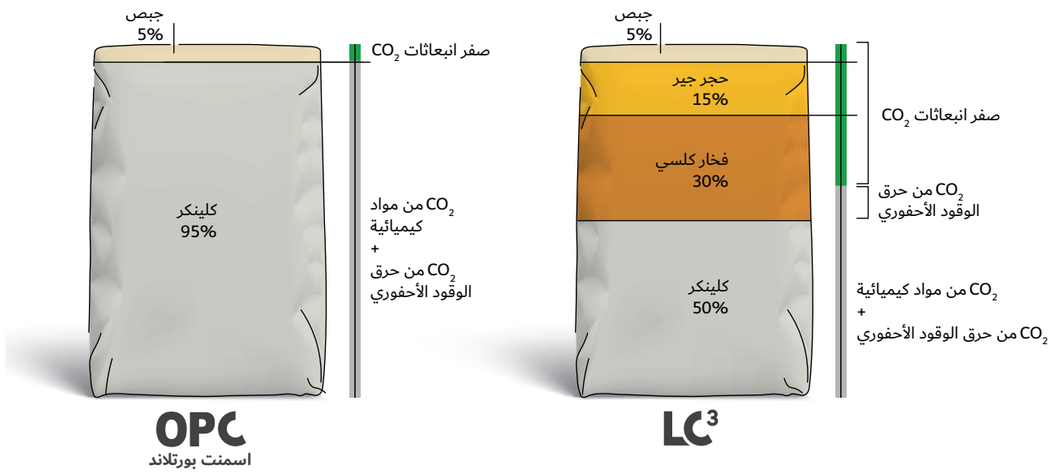
الشكل 3

إنتاج اسمنت LC3



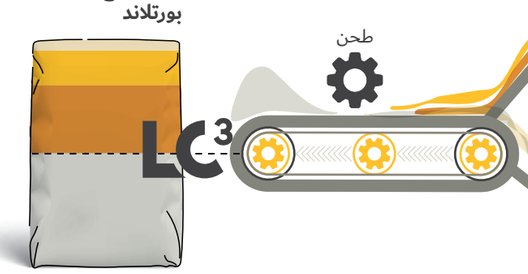
الشكل 4

خفض انبعاثات ثاني أكسيد الكربون باستخدام LC3



40%

نسبة خفض انبعاثات ثاني أكسيد الكربون مقارنة مع اسمنت بورتلاند



المصدر: مأخوذ بتصرف من الموقع الإلكتروني LC3
ملاحظة: يمكن إنتاج LC3 بطريقة مشابهة لإنتاج اسمنت بورتلاند. يجب تسخين الفخار في فرن دوّار، إنما عند درجات حرارة أقل.

الطريق إلى النجاح في السوق

البحوث

2005-2008

أول مشروع بحثي حول استخدام الفخار الكلسي بدعم مقدم من المؤسسة الوطنية السويسرية للعلوم

2009-2012

إجراء بحوث متابعة حول خليط الاسمنت مع الفخار الكلسي والجير بدعم مقدم من المؤسسة الوطنية السويسرية للعلوم

2013-2022

إجراء بحوث وتحقق علمي ومعايرة ونشر معرفة حول LC3 بدعم مقدم من الوكالة السويسرية للتنمية والتعاون

مشاركة الوكالة السويسرية في تطوير اسمنت قليل الكربون والعمل على التوسع به

يمكن أن تكون كلفة إنتاج LC3 أقل بنسبة 25% من كلفة إنتاج اسمنت بورتلاند بسبب الوفر في الطاقة والمواد. وعندما يكون هناك استيراد للكلينكر، فإن الوفر يكون أكبر. أخيرا وليس آخرا، فإن تكنولوجيا LC3 متاحة ويمكن استغلالها بشكل تجاري. تستطيع نحو ثلاثة أرباع مصانع الاسمنت في العالم إنتاج LC3 بعد إجراء تعديلات طفيفة على خطوط الانتاج والبنية التحتية القائمة حاليا، وبسبب وفرة المواد. لا يلزم إجراء تدريبات خاصة، كما يمكن التحول لإنتاج LC3 مع استخدام أنواع تكنولوجيا أخرى لخفض انبعاثات الكربون سواء متاحة أو قيد التطوير.

في عام 2013، قامت المعاهد الهندية للتكنولوجيا في دلهي وبومباي ومادراس ومنظمة التكنولوجيا والعمل للتنمية الريفية وهي منظمة غير حكومية بالانضمام إلى شراكة بحثية ممولة من قبل الوكالة السويسرية للتنمية والتعاون ما بين جامعة لوزان التطبيقية الاتحادية (EPEL) وجامعة دي لا فيلا في كوبا، وساهمت في تطوير واختبار وإنتاج ونشر LC3. إن مشاركة المؤسسة الوطنية السويسرية للعلوم في المرحلة الأولى عملت على تعزيز شراكة المشروع، وأدت إلى الاستخدام الأمثل لإمكانيات مجتمع البحوث الابتكاري السويسري، وتوسيع المشاركة العالمية. إن نهج المصدر المفتوح والتبادل المستمر للمعرفة ما بين سويسرا والهند وكوبا يحفز البحوث العالمية والتقدم نحو تحقيق حلول مستدامة.

الشكل 5

إسهامات LC3 في تحقيق الأهداف التنموية المستدامة

المعايرة وتحضير السوق وأول تطبيق

2013

أول إنتاج صناعي لإسمنت LC3 في كوبا

منزل في سانتا كلارا / كوبا تم بناؤه كاملا بإسمنت LC3

2014

موافقة الجمعية الأمريكية لاختبار المواد، المواصفة القياسية C595 مع تجهيز تركيبة جديدة لمزيج الاسمنت

منزل في مدينة جهانسي / الهند باستخدام أول إنتاج من اسمنت LC3 في بناء الجدران والسقف والبلاط والأرضيات

2015

مكتب جديد للوكالة السويسرية للتنمية والتعاون في السفارة السويسرية في نيودلهي / الهند باستخدام قوالب اسمنتية LC3

2017

التحقق من المزايا الاقتصادية للمنتج

2018

موافقة كوبا على مواصفة NC1208 وتشتمل على Cemento Ternario LC3

2021

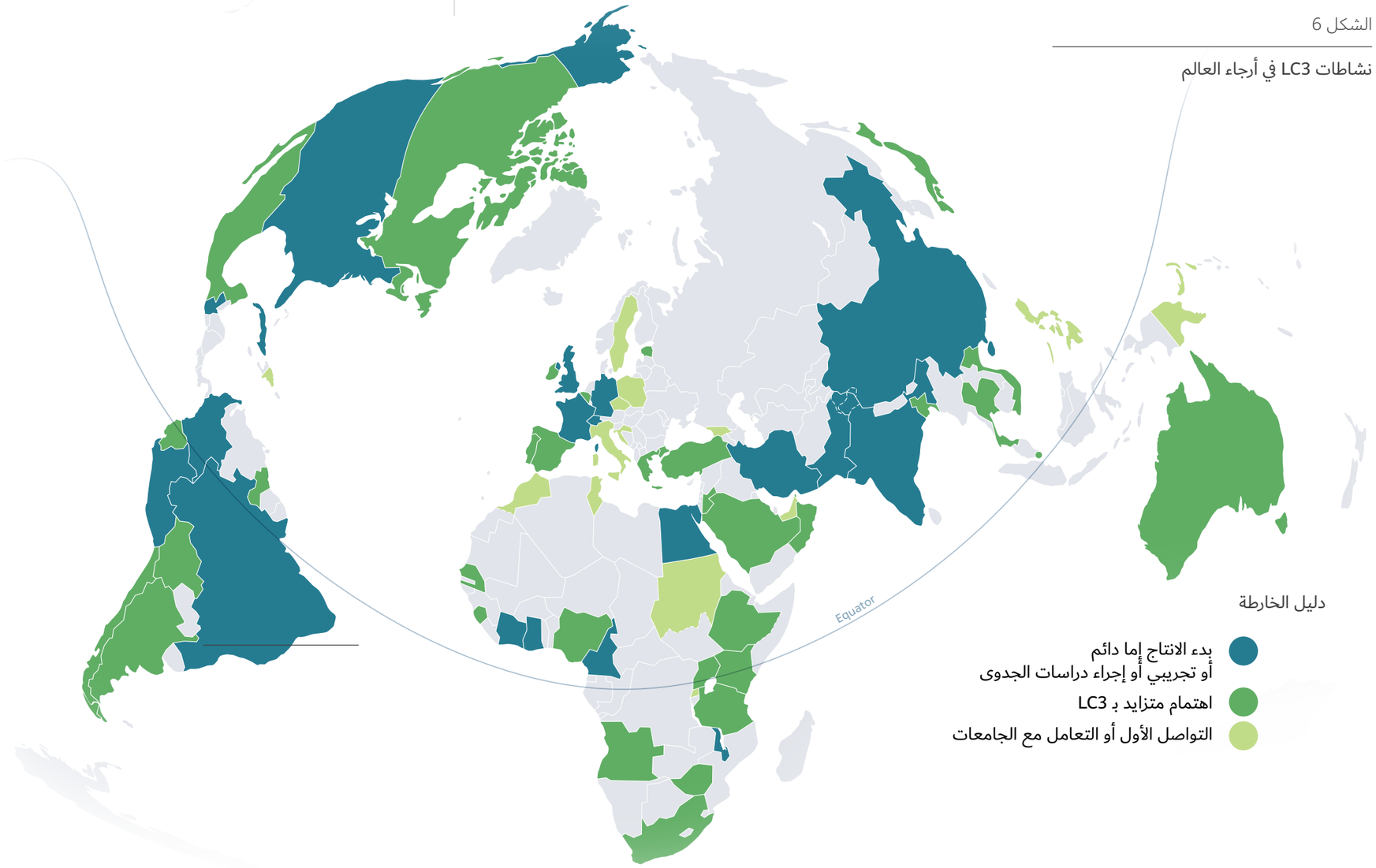
موافقة الاتحاد الأوروبي على مواصفة EN 1975 والتي تشتمل على LC3

التقدم والآفاق - نتائج ملموسة

أدت الجهود الرائدة للوكالة السويسرية للتنمية والتعاون في دعم إطلاق ونشر منتج LC3 إلى تحقيقات ومنشورات علمية تظهر الرؤية البيئية والاقتصادية للابتكار التكنولوجي. كما ساهمت في إدماج LC3 في سياسة وخرائط طريق خفض الكربون في قطاع البناء والإنشاءات. تعمل مراكز الموارد الفنية في كوبا والهند كواجهة ربط مع الصناعة، وتقدم الدعم إلى شركات الاسمنت لتبني منتج LC3. وفي هذه الأثناء، تقوم شركات صناعة الاسمنت في أرجاء العالم بإجراء بحوثها الخاصة وتساهم في تحقيق ثورة LC3.
تظهر الخارطة أدناه سرعة انتشار LC3 في دول العالم. في أفريقيا، ونظرا للطلب المتزايد وارتفاع أسعار الكلنكر المستورد ووفرة المواد الخام، فإن ذلك يسمح لنشوء العديد من مشاريع ومبادرات LC3. وفي أوروبا، يتوقع المحللون رؤية مزيد من المنشآت الطينية الكلسية تماما مثل ارتفاع أسعار أرصدة الانبعاثات بموجب أنظمة تبادل الانبعاثات في الاتحاد الأوروبي (CN Cement 2022).
مع ذلك، لا تزال هناك حاجة لمزيد من المشاركة في الدول متسارعة النمو في جنوب شرق آسيا وفي الشركات الصناعية الصغيرة والتي تخدم 70% من السوق العالمي. تستطيع الحكومات أن توجد قطاع بناء وإنشاءات أكثر استدامة من خلال اعتماد سياسات مشتريات حكومية طموحة، وإعداد معايير للصناعة وقواعد الانبعاثات وتطوير خرائط طريق خفض انبعاثات الكربون.

الشكل 6

نشاطات LC3 في أرجاء العالم



مشاركة القطاع الخاص

2019

مصنع LC3 عامل في كوبا

2020

ARGOS تبدأ إنتاج Cemento Verde في كولومبيا

CIMPOR تبدأ إنتاج طين DeOH في ساحل العاج

مجالات التوسع

2020 وما بعدها

تقدم مراكز الموارد الفنية في دلهي وسانتا كلارا خدمات استشارية إلى الصناعة

2022 وما بعدها

أكثر من 50 دولة تنتج أو تجري الأبحاث والتطوير على منتج LC3

التركيز على توسيع نشر التكنولوجيا في الشركات الصغيرة، تحديدا في جنوب شرق آسيا

التركيز على اعتماد سياسات مشتريات حكومية طموحة، وإعداد معايير للصناعة وقواعد الانبعاثات

مشاركة الوكالة السويسرية للتنمية والتعاون

قامت الوكالة السويسرية للتنمية والتعاون بدعم البحث العلمي لـ LC3 وتساهم في نشر هذه التكنولوجيا في الدول منخفضة ومتوسطة الدخل وفي تنفيذ معايير الصناعة. النتائج متاحة كوثائق في المصادر المفتوحة في الانترنت.

المراجع

Chatham House 2018, Making concrete change, innovation in low-carbon cement and concrete.

CN Cement 2022, Calcined clays: making a global impact

IEA 2022, Cement – Analysis - IEA

United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division 2019, World Urbanization Prospects 2018: Highlights

Global Climate Action Pathways 2021, Human settlements: Vision and Summary
World Bank 2020, Urban Development

Global Cement and Concrete Association 2021, Concrete Future, The GCCA 2050 Ce-ment and Concrete Industry Roadmap for Net Zero Concrete.

الروابط

www.lc3.ch

www.lc3trcindia.com

www.ecosolutions.gl/lc3-trc-latam

الطبع

تصميم وإعداد:
شبكة Zoï للبيئة

المحتوى:
أعدت النشرة بالتعاون مع INFRAS

الصور:

© Bannafarsai // Shutterstock

EPFL

TARA

CIDEM
CENTRO DE INVESTIGACIÓN
Y DESARROLLO DE ESTRUCTURAS
Y MATERIALES

INDIAN INSTITUTE OF TECHNOLOGY DELHI

INDIAN INSTITUTE OF TECHNOLOGY, MADRAS

Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Swiss Agency for Development and Cooperation SDC