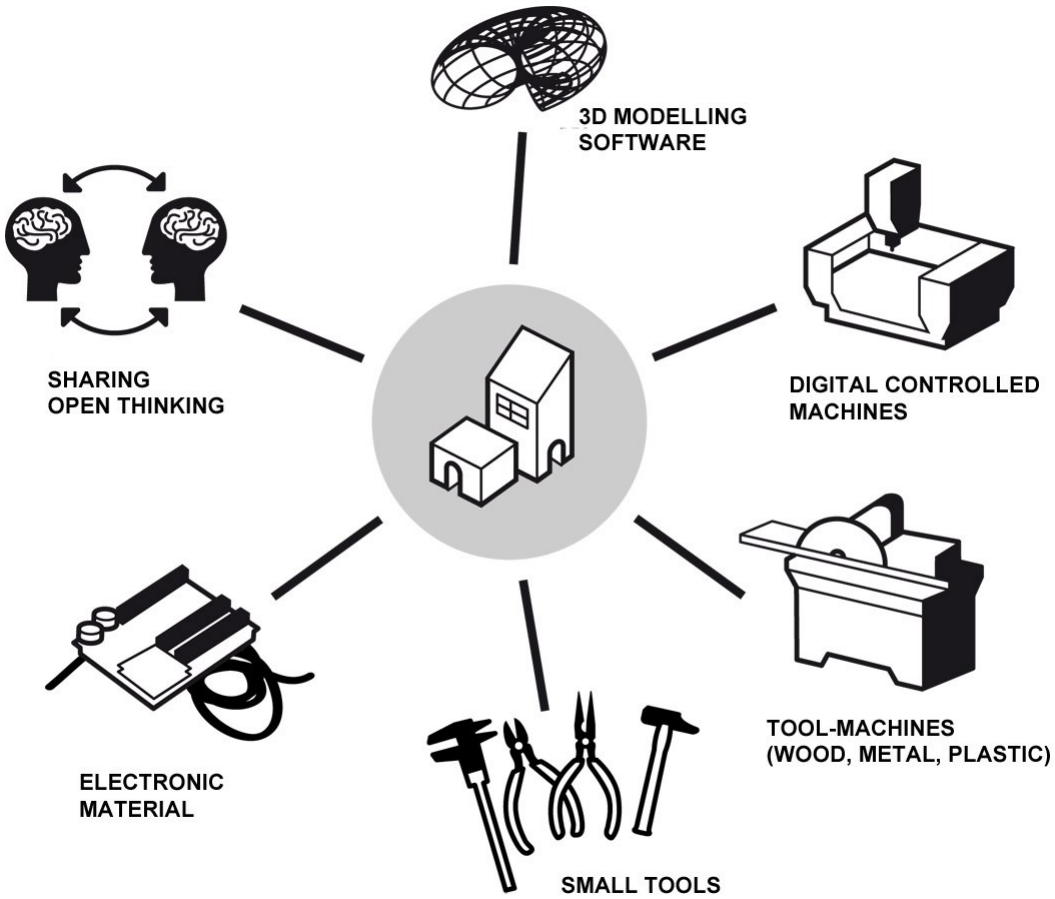
ریاست جمهوری
مرکز همکاری‌های تحول و پیشرفت

آزمایشگاه‌های فب (FAB LABs)



فهرست

۱.مقدمه..... ۳

۲.FAB LABچیست؟..... ۳

۳.طراحی ابزارها ۴

۴.ابزارهای ساخت ۵

۵.آزمایش و تجهیزات ابزارها ۶

۶.کاربردهای آزمایشگاه‌های فب..... ۱۰

۷.آزمایشگاه‌های فب به عنوان شبکه جهانی راه‌حل..... ۱۱

۸.مدل‌های کسب و کار در آزمایشگاه‌های فب..... ۱۲

۹.انواع آزمایشگاه‌های فب..... ۱۳

۱۰.ویژگی‌های اصلی آزمایشگاه‌های فب..... ۱۳

۱۱.شرایط لازم برای کسب عنوان آزمایشگاه فب..... ۱۶

۱۲.قانون شبکه ملی آزمایشگاه‌های فب..... ۱۷

۱۳.بهره‌گیری از FAB LABها در دیگر کشورها..... ۲۰

۱۳-۱ کشور هند..... ۲۰

۱۳-۲ کشور کاستاریکا ۲۱

۱۳-۳ مشکلات و امکانات اجرایی آزمایشگاه‌های ساخت در کشورهای امریکای لاتین..... ۲۴

۱۳-۴ شرکت کاربن ایده..... ۳۰

۱۳-۵ مرکز ملی نانوفب کره‌جنوبی..... ۳۱

۱- مقدمه

ایده آزمایشگاه فب اولین بار توسط نیل گرشنفلد[1] استاد موسسه فناوری ماساچوست[2] مطرح شد. او این ایده را به صورت یک واحد درسی تحت عنوان "چگونه هر چیزی بسازیم[3]" مطرح کرد تا طی این دوره دانشجویان را با انواع دستگاه‌ها و تجهیزاتی که در کارگاه‌های فنی موسسه بود، آشنا کند. این تجربه او را به این فکر واداشت که ممکن است افرادی باشند که ایده‌های نوآورانه‌ای داشته باشند که اگر به آزمایشگاه‌های موسسه فناوری ماساچوست دسترسی داشته باشند می‌توانند وسایلی کاملا نوآورانه و خلاقانه بسازند. به همین دلیل نیل درصدد ایجاد اولین آزمایشگاه فب در مرکز ذرات و اتم(CBA)[4] موسسه فناوری ماساچوست برآمد. این آزمایشگاه فب در واقع یک کارگاه کوچک بود که انواعی از دستگاه‌های مربوط به تولید انبوه را در اختیار افراد عادی می‌گذاشت تا نمونه‌های اولیه ایده‌های خود را بسازند. پس از آن آزمایشگاه‌های فب دیگری در سراسر آمریکا و سپس در دیگر کشورهای جهان تاسیس شد(۵).

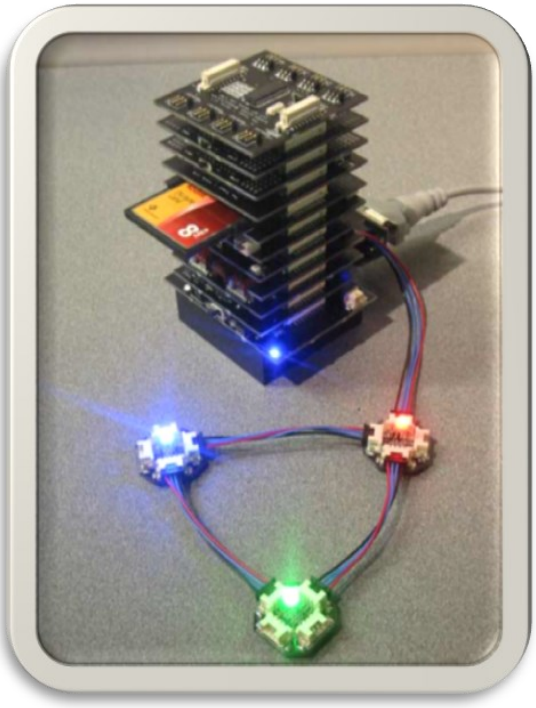
2- FAB LAB چیست؟

هر FAB LABمجهز به ابزارهایی برای هر یک از ابعاد فرایند توسعه فناوری است: طراحی، ساخت، آزمایش و رفع اشکال، کنترل وآنالیز و ثبت. این امر کاملا طبیعی است که هر FAB LABبایستی تکامل یابد تا نیازهای منحصر به فرد جوامعی که از این ابزارها و منابع آن استفاده می‌کنند را برآورده نماید. هدف نهایی این است که کاربران هر FAB LABبتوانند از ابزارهای FAB LABبرای طراحی و ایجاد نسل بعدی ابزارهای مورد نیاز خود استفاده کنند و همراه با ثبت و ارزیابی استفاده‌های فعلی از FAB LABها، فعالیت‌های تحقیق و توسعه را به سمت طراحی نسخه‌های جدید و کم‌هزینه ابزارهایFAB LAB هدایت نمایند، به‌طوری که در خود FAB LABقابل استفاده باشند.

[1]Neil Gershenfeld
[2]Massachusetts Institute of Technology
[3]How To Make Anything
[4]Center for Bits and Atoms

۳- طراحی ابزارها

هر FAB LAB مجهز به یک کامپیوتر شخصی است که همراه با ابزارهای دیگر در آزمایشگاه به کار می‌رود. این کامپیوتر برای طراحی مکانیکی ۲بعدی، ۳ بعدی، مدلسازی، شبیه‌سازی، تحلیل داده، طراحی دستگاه‌های مختلف الکترونیکی و کامپیوتری، طراحی و تعیین نمای تخته مدارهای چاپی، برنامه‌نویسی، ارتباط با ابزارهای ساخت، دسترسی اینترنت برای اهداف بازیابی ارتباطات و اطلاعات و ثبت به‌کار می‌رود.



شکل ۱: سیستم برج: ابزار ساخت نمونه سریع محاسباتی گسترده

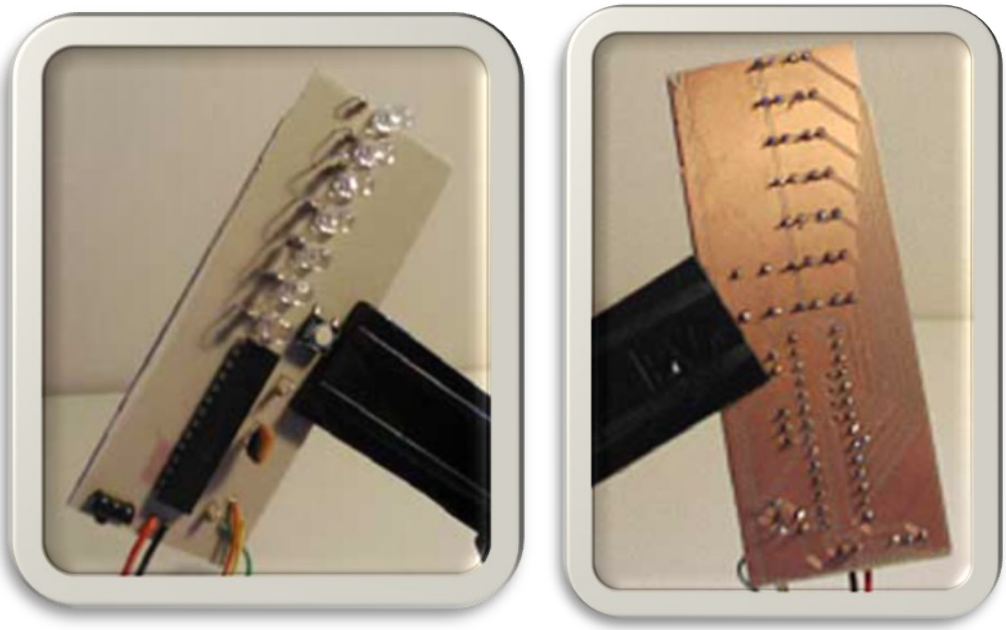
علاوه بر فراهم‌کردن این ابزارهای تجاری از پیش بسته‌بندی شده برای جامعه کاربری FAB LAB، یک سیستم برج (شکل ۱) هم برای آن مهیا شده که یک کیت تولید کامپیوتری، پیمانه‌ای و کاملاً قابل بسط است که به طراحی و ساخت سریع نمونه سیستم‌های الکترونیکی پیچیده کمک می‌کند و توسط گروه Grassroots در آزمایشگاه MIT Media ساخته شده است. این برج از نظر فیزیکی از چندین مدول مبنا تشکیل شده که حاوی پردازشگر هسته و سایر تخته‌هایی هستند که به بالای آن وصل شده‌اند و دامنه عملیات گسترده‌ای مانند حسگری، فعال‌سازی، ذخیره داده، ارتباطات، خروجی تصویری و صوتی را فراهم می‌کنند. علاوه بر افزایش مجموعه لایه‌هایی که توسط گروه تحقیق به وجود آمد، ابزارهای لازم برای ساخت نمونه فراهم گردید تا اضافه کردن لایه‌های جدید به سیستم در صورت نیاز کاربردهای تخصصی، برای همه آسان شود.

با استفاده از این برج، افراد نه تنها می‌توانند آزمایشات و فعالیت‌های خود را طراحی کنند و بسازند بلکه می‌توانند ابزارهایی مانند

اسیلوسکوپ ساده کم هزینه، کامپیوتر شخصی مینیاتوری یا حتی سیستم کنترل برای یک ماشین فرزکاری رومیزی بسازند. وقتی افراد توانایی ساخت این ابزارها را داشته باشند، نه تنها می‌توانند سیستم خود را با افزودن لایه‌های جدید گسترش دهند، بلکه هر آنچه برای ایجاد خود سیستم یا طراحی سیستم های سخت افزاری پیچیده‌تر و جدید نیاز دارند، در اختیار خواهند داشت.

٤- ابزارهای ساخت

برای FAB LABهای فعلی، دو ابزار ساخت تجاری انتخاب شده است، یکی از این ابزارها، ماشین اسکن و فرزکاری ۳ بعدی رولاند و دیگری کاتر وینیل رولاند است. فرز و کاتر وینیل در بسیاری از پروژه‌های دو یا سه بعدی، ابزارهای مفیدی هستند. فرز را می‌توان برای برش قطعات ۲بعدی از مواد مختلف، از مقوا گرفته تا فلز، به کار برد. می‌توان از آن برای کار روی قطعات مکانیکی ۳ بعدی که با ابزارهای مدلسازی ۳ بعدی در کامپیوتر طراحی شده‌اند، استفاده کرد. در حالت دیگر، فرز می‌تواند به عنوان یک دستگاه ورودی عمل کند و شیء ۳بعدی موجود را اسکن کرده و ابعاد آن را وارد کامپیوتر کند. با داشتن این اطلاعات می‌توان یک مدل دیجیتال ۳بعدی از شیء اصلی ایجاد کرد که برای تغییرات آتی یا ساخت از طریق فرزکاری به کار می‌رود.



شکل ۲ : PCB ساخته شده با ماشین فرزکاری

علاوه بر این‌ها می‌توان فرز را برای ساخت تخته‌های مدار چاپی یا PCB[1] به کار برد. نمونه PCB که با مدل a ساخته شده، در شکل ۲ نشان داده شده است. توانایی طراحی و ساخت تخته‌های مدار چاپی با FAB LAB، اهمیت زیادی برای تکرار ساخت آن‌ها دارد و بخش مهمی از توانایی کاربران برای ایجاد ابزارهای الکترونیکی و محاسباتی را شکل می‌دهد. می‌دانیم که یکی از رایج‌ترین کاربردهای کاترهای وینیل در بسیاری از FAB LABها، برش نمای مدار یا آنتن‌ها از صفحات چسبنده مس و استفاده از آن‌ها در انواع سطوح منحنی یا تخته‌های پلاستیک است که با استفاده از فرز ۳ بعدی بریده می‌شوند.

FAB LAB برای ساخت قطعات الکترونیکی را می‌توان راهی برای رسیدن به این هدف دانست. اما باید به دقت توجه کنیم که فرایند ساخت قطعات الکترونیکی بدون مانع نیست، چون تراشه‌ها و سایر اجزا باید به صورت جداگانه ساخته شوند یا دور از بقیه قطعات نگهداری شوند. اما تخته‌های مدار چاپی که این تراشه‌ها و اجزاء بر روی آنها لحیم می‌شوند، با استفاده از FAB LAB ساخته می‌شوند و استفاده پرهزینه و وقت‌گیر از ساخت تخته‌های مدار چاپی، کنار گذاشته می‌شود.

۵- آزمایش و تجهیزات ابزارها

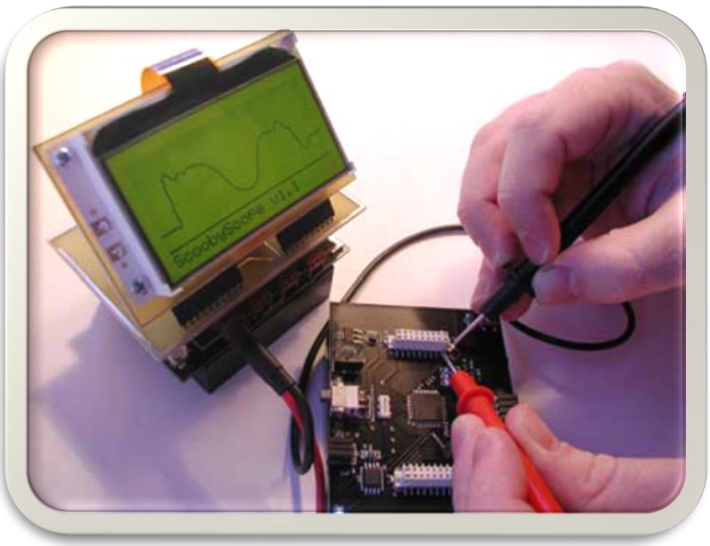
برای رفع اشکال و تکرار طراحی تخته‌های مدار چاپی، برخی تجهیزات الکترونیک اصلی انتخاب شده‌اند که باید در هر FAB LAB وجود داشته باشند:

- اوسیلوسکوپ TEKTRONIX
- ولتمتر دستی WAVETEK
- ژنراتور کاربردی B&K PRECISION
- ابزارهای توسعه ریزتراشه‌ها برای برنامه‌ریزی ریزکنترلگرها

این ابزارهای خاص، اولین ابزارهایی هستند که جایگزین اجزای سیستم برج می‌شوند. تصویر اوسیلوسکوپ مبتنی بر برج در شکل ۳ نشان داده شده است.

[1] Printed Circuit board

مهمترین نکته در بخش ابزارها در FAB LAB، انعطاف‌پذیری است. Esa Masood، که محققی در گروه فیزیک و رسانه نیل گرشنفلد در MIT، یک تحلیل‌گر RF پیچیده و ارزان قیمت (شکل ۴) را توسعه داد که هزینه این دستگاه در مقادیر اندک تقریبا ۱۲۵۰ دلار است (هزینه در مقادیر زیاد به ۱۰۰ دلار کاهش می‌یابد). تحلیل‌گر RF، امپدانس‌های دامنه ۱۰ هرتز تا ۳۰۰ مگا هرتز را می‌سنجد. همچنین یک طیف‌سنج کم‌هزینه UV-Vi که به جای یک وسیله تصویربرداری ویژه گران‌قیمت از یک وب‌کم تجاری استفاده می‌کند، درنظر گرفته شده است. آنالیزهای شیمیایی و زیستی، کاربردهای مشخص این طیف‌سنج هستند. این وب‌کم که به‌عنوان یک حسگر نور در طیف‌سنج عمل می‌کند، می‌تواند در کمک پزشکی از راه دور و یادگیری از راه دور نیز کاربرد داشته باشد.



شکل ۳: نمونه اول اوسیلوسکوپ ساخته شده با سیستم برج

همچنین یک میکروسکوپ Intel Play که می‌تواند برای ارزیابی و تأیید تخته مدارهای چاپی ساخته و برخی آنالیزهای میکروبیولوژیکی و همچنین برخی فعالیت‌های آموزشی hands-on کاربرد داشته باشد، در نظر گرفته شده است.

شکل ۴: تحلیل‌گر شبکه FAB LAB RF

فرایند توسعه و ساخت با ثبت دنبال می‌شود. Think Cycle ابزار تسهیل کننده فرایند ثبت FAB LAB است. دوربین و اسکنر همراه با کامپیوتر فراهم شده‌اند، طوری که کاربران FAB LAB بتوانند طراحی و تکرارهای بعدی را برای اظهارنظر سایر کاربران FAB ALB در Think Cycle قرار دهند(۸)

آزمایشگاه‌های فب فضای کم هزینه‌ای را در اختیار کارآفرینان برای طراحی و ساخت نمونه‌های اولیه قرار می‌دهند. این آزمایشگاه‌ها همچنین فضایی را برای آموزش فناوری و طراحی در اختیار دانشجویان قرار می‌دهند. آنها می‌توانند مراکز نوآوری محوری باشند که مسائلی را که مورد توجه دولت و شرکت‌ها قرار نگرفته‌اند (مسائلی که در سطح ملی اهمیت ندارند اما در سطح منطقه‌ای و محلی حائز اهمیت هستند) با استفاده از امکانات محلی حل کنند-که این راه حل‌ها را می‌توان در اختیار جوامع مشابه در سراسر دنیا قرار داد(۸).

آزمایشگاه‌های فب شامل ابزارهای چند ده هزار دلاری تحت کنترل کامپیوتر هستند که اگرچه از فرایندهای ساخت دیجیتال بنیادین استفاده نمی‌کنند می‌توان از آنها برای تبدیل یک توصیف الکترونیک به شیئی کاربردی استفاده کرد. پروژه‌هایی که معمولا راهی آزمایشگاه‌های فب می‌شوند شامل تولید کامپیوترهای کم هزینه و کم مصرف، شبکه‌های داده وایرلس، ابزارهایی برای کشاورزی و محیط زیست و بخش مسکن هستند. با توجه به فراگیر شدن استفاده از کامپیوتر، اکنون آزمایشگاه‌های فب از آمریکا تا روستاهای هند، از جنوب آفریقا تا شمال نروژ گسترده شده‌اند و تعداد آنها هر سال یک و نیم برابر افزایش می‌یابد (۱).

با آنکه آزمایشگاه‌های فبی که در حال حاضر در سراسر دنیا فعال هستند از استقلال نسبی برخوردار هستند اما بنیاد فب[1] در موسسه فناوری ماساچوست این آزمایشگاه‌ها را هماهنگ می‌کند و خدماتی که آزمایشگاه‌های فب مستقل در اختیار ندارند یا از توانایی مالی لازم برای تهیه آنها برخوردار نیستند را برای آنها فراهم می‌کند. به عنوان مثال، بنیاد فب، خدمات آموزشی به شرکت‌کنندکان ارائه می‌کند و در ایجاد آزمایشگاه‌های فب جدید به آنها کمک می‌کند. همچنین در تامین مواد کمیاب مورد نیاز در تولید کمک می‌کند و فهرستی از استانداردهای مورد نیاز که آزمایشگاه‌های فب برای عضویت در شبکه باید داشته باشند را در اختیار آنها می‌گذارد. این استانداردها بسیار ساده هستند: مجموعه‌ای از ظرفیت‌های مشترک، دسترسی عمومی به تسهیلات، پذیرش منشور آزمایشگاه فب و پیروی از آن و مشارکت در جامعه دانش مشترک شبکه جهانی آزمایشگاه‌های فب

[1]Fab Foundation

(به عنوان مثال، به صورت همکاری با پروژه‌های دیگر آزمایشگاه‌ها یا شرکت در جلسه سالانه آزمایشگاه‌های فب).

بنیاد فب توسط مرکز ذرات و اتم (محل اولین آزمایشگاه فب) موسسه فناوری ماساچوست تاسیس شد. با افزایش تعداد آزمایشگاه‌های فب خصوصی، هماهنگ‌سازی متمرکز فعالیت‌های آنها بیش از پیش ضروری و در عین حال دشوارتر می‌شود، اما هنوز اجماع عمومی در مورد چگونگی ایجاد توازن بین ساختار به شدت متنوع شبکه آزمایشگاه‌های فب وجود ندارد.

اکنون آزمایشگاه‌های فب یک شبکه جهانی در حال رشد با بیش از ۲۰۰ کارگاه تولیدی در ۷۰ کشور دنیا هستند که قدرت محاسبه و ابزارهای نسبتا ساده برای ساختن تقریبا هر چیزی را در کنار هم جمع می‌کنند. در مقایسه با طرح‌های صنعتی یا جوامع آچار فرانسه (خودت انجام بده (DIY)[1]، درهای آزمایشگاه‌های فب به روی دامنه وسیع‌تری از کاربران باز هستند که امکان ترکیبی از فعالیت‌های کارآفرینی، تحقیقی و آموزشی را برای کاربران فراهم می‌کنند. آزمایشگاه‌های فب با برخورداری از مجموعه‌ای از ظرفیت‌های اساسی امکان شروع پروژه‌ای در یک آزمایشگاه فب و ادامه و تغییرآن در یک آزمایشگاه (های) دیگر را فراهم می‌کنند (۵).

به طور کلی میتوان گفت یک آزمایشگاه فب دارای پرکاربردترین و متداول‌ترین ابزارهای الکترونیکی و ابزارهای ساخت صنعتی است که اولین بار مرکز ذرات و اتم موسسه فناوری ماساچوست فهرستی از آنها را ارائه کرد. در حال حاضر، آزمایشگاه‌های فب دارای این ابزارها هستند:کاترهای لیزری که ساختارهای دو بعدی و سه بعدی می‌سازند، sign cutter که با مس پلات چاپ می‌کند و برای ساختن مدارهای منعطف و آنتن از آنها استفاده می‌شود، دستگاه فرز NC با رزولوشن بالا که برای ساخت برد مدار استفاده می‌شود، دستگاه روتر چوب برای ساخت مبلمان و برش الوارهای ساخت خانه، مجموعه‌ای از اجزاء الکترونیک و ابزارهای برنامه‌ریزی برای میکروکنترل‌های کم هزینه پرسرعت برای تولید نمونه مدار سریع و در محل.

[1]Do It Yourself

٦- کاربردهای آزمایشگاه‌های فب

- **محیطی مناسب برای کارآفرینان نوآور:** یکی از کاربردهای آزمایشگاه‌های فب ارائه ابزارهایی به کارآفرینان (در کشورهای توسعه یافته و در حال توسعه) است تا ایده‌های خود را با ارزان‌ترین قیمت به صورت نمونه اولیه تولید کنند. اگر چه آزمایشگاه‌های فب قادر به تولید در سطحی که تقاضا را تامین کند، نیستند اما مزیت آن‌ها برای کارآفرینان سادگی و قابلیت تطبیق بالای این آزمایشگاه‌هاست. فرهنگ تعاونی و منابع باز آزمایشگاه‌های فب به معنی این است که افراد خلاق می‌توانند حقوق اختراع خود را حفظ کنند زیرا بیشتر فرایند به صورت مشارکتی است و دیگران می‌توانند از کار آنها یاد بگیرند و استفاده کنند.

- **آموزش عمومی در زمینه علم، فناوری، مهندسی و ریاضی:** همچنین به دلیل آموزش تعاونی و باز که از الزامات آزمایشگاه‌های فب است این آزمایشگاه‌ها امکانات جدیدی را در حوزه آموزش علم، فناوری، مهندسی و ریاضیات

(STEM)[1] از سطح دانشگاه، دبیرستان و کتابخانه‌ها گرفته تا آزمایشگاه‌های تعاونی فراهم می‌کنند. به این ترتیب، آزمایشگاه‌های فب به یک چالش مهم اقتصادی پاسخ می‌دهند: مشاغل قرن بیست و یک مستلزم مهارت‌های جدید و ارتقا مداوم مهارت‌های کارگران با تجربه هستند.

- **اشتراک دانش و منابع با دیگر آزمایشگاه‌های فب در سراسر دنیا:** اگر چه آزمایشگاه‌های فب به طور مجزا هم مفید هستند اما چیزی که آنها را یک شبکه راه‌حل جهانی امید بخش می‌کند این است که ظرفیت‌های آنها-و در نهایت تاثیر آنها بر افراد، جوامع و شرکت‌ها- با مشارکت و نوآوری مشترک چندین برابر می‌شود. وقتی پروژه‌ای در یک آزمایشگاه فب آغاز می‌شود می‌توان آن را در آزمایشگاهی دیگر به کار گرفت، تغییر یا ادامه داد. به عنوان مثال خانه فیبر

[1] Science, Technology, Engineering and Math

طبیعی (HONF)[1] که یک مرکز هنرهای جمعی در یوگیاکاراتای[2] اندونزی است با آزمایشگاه فب آمستردام پروژه‌ای را انجام داده است. این شرکت متشکل از چندین شرکت کوچک‌تر است که در زمینه توانبخشی بیماران معلول فعالیت می‌کنند. این شرکت که با توجه به اهمیت تولید پروتزهای پا کم قیمت برای جوامع فقیر، با کمک نمایندگانی از آزمایشگاه فب آمستردام که در سال ۲۰۰۸ از خانه فیبر طبیعی در یک نمایشگاه بین‌المللی بازدید کرده بودند، ایده همکاری برای تولید پا مصنوعی کم قیمت با استفاده از مواد محلی (بامبو)را شکل داد. یک آزمایشگاه فب به منظور ساخت پروتز پا کم قیمت با استفاده از بامبو در خانه فیبر طبیعی راه‌اندازی شد که در نهایت، پروژه با ترکیبی از دانش شرکت خانه فیبر طبیعی در زمینه توانبخشی، طراحانی از آمستردام و یوگیاکاراتا و شرکت کامرورتوپدی[3]، یک شرکت تولید پروتز هلندی انجام شد.

- **توانمندسازی افراد محلی:** یکی از ایده‌های پشت ایجاد آزمایشگاه‌های فب این است که به جای دادن راه حل به مردم، محیطی برای آنها ایجاد کنیم که بتوانند راه‌حل‌هایی متناسب با شرایط خود تولید کنند. به همین دلیل، آزمایشگاه های فب در مناطق دورافتاده یا محلی ساخته می‌شوند تا به جوامع محلی و کوچک امکان دسترسی به ابزارهایی که آنها را قادر به مقابله با مشکلاتشان می‌کند، داده شود. به عبارتی به افراد این گونه جوامع کمک می‌شود به جای آنکه مصرف‌کننده اطلاعات باشند، خود دانش تولید کنند (۱).

۷- آزمایشگاه‌های فب به عنوان شبکه جهانی راه‌حل

آزمایشگاه‌های فب در دو حوزه اصلی امکان حل مسائل جهانی را دارند: اول، این آزمایشگاه‌ها امکان دسترسی به فضا، ابزار و تخصص را برای کارآفرینان فراهم می‌کنند تا فنون جدید را بیاموزند، به صورت گروهی طراحی کنند و به سرعت نمونه اولیه ابداعات خود را تولید کنند. در واقع، بسیاری از مسائلی که آزمایشگاه‌های فب روی آن تمرکز دارند به شدت محلی هستند و به

[1] House of Natural Fiber
[2] Yogyakarata
[3] Kamerorthopdie

نیازهایی می‌پردازند که از چشم دولت یا بازار دور مانده است. اما در اکثر اوقات زمانی که این مسائل پاسخ داده شدند می‌توان از راه حل‌های محلی آنها در دیگر نقاط جهان که با مشکلی مشابه روبرو هستند، استفاده کرد. با به اشتراک گذاشتن اطلاعات در سراسر شبکه، متفکرین و کاربران در سراسر دنیا می‌توانند این ابداعات را متناسب با نیازهای محلی خود به کار بگیرند. به عنوان مثال، آزمایشگاه‌های فب واقع در نروژ، افغانستان و کره جنوبی در ساخت یک ابزار منبع باز (باز متن)[1] قدرتمند برای بهبود دسترسی به شبکه‌های وای فای در کشورهای در حال توسعه همکاری کرده‌اند.

دوم، با توجه به اینکه اهمیت داشتن سرمایه انسانی در حوزه‌های علم، فناوری، مهندسی و ریاضیات رو به افزایش است، آزمایشگاه‌های فب به معنی امکانی جدید برای کاربران به منظور تقویت مهارت‌های فناورانه‌ی آنها هستند. در دهه‌های آینده، توانایی تبدیل ایده به کالاهای مفید افزایش می‌یابد و آزمایشگاه‌های فب امکان شروع این روند را فراهم می‌کنند و افراد صاحب ایده را تشویق به عملی کردن ایده‌های خود می‌کنند. (۵)

۸- مدل‌های کسب و کار در آزمایشگاه‌های فب

آزمایشگاه‌های فب عموما از چهار مدل کسب و کار پیروی می‌کنند:

- **مدل کسب و کار توانمندساز:** راه‌اندازی آزمایشگاه‌های فب جدید یا تعمیر و نگهداری آزمایشگاه‌های موجود، ارائه خدمات زنجیره‌ای یا مشابه به آزمایشگاه‌های موجود
- **مدل کسب و کار آموزش:** در مدل توزیع جهانی آموزش، کارشناسان جهانی در موضوعات خاصی از طریق آزمایشگاه‌های فب یا دانشگاه‌ها/کسب و کارها با استفاده از شبکه ویدئوکنفرانس آزمایشگاه فب به افراد آموزش می‌دهند. یادگیری p2p[2] (همتا با همتا) در بین کاربران نیز بخشی از این مدل کسب و کار است.
- **مدل کسب و کار مرکز رشد:** برای کارآفرینان زیرساخت‌های لازم را فراهم می‌کنند تا ساخته‌های آزمایشگاه‌های

[1] open source
[2] Peer to peer

خود را به کسب و کارهای پایدار تبدیل کنند. مرکز رشد زیرساخت حمایتی، ارتقا و بازاریابی، سرمایه اولیه، ارتقا شبکه آزمایشگاه فب و دیگر زیرساخت‌های خطرپذیر را فراهم می‌کند تا کارآفرینان را قادر به تمرکز روی حوزه های تخصصی خود نماید.

- **مدل کسب و کار شبکه‌ای/تکثیری:** یک محصول، خدمات یا برنامه آموزشی ارائه می‌کند که از زیرساخت، پرسنل و تخصص یک آزمایشگاه فب محلی استفاده می‌کند. چنین فرصت‌هایی را می‌توان در آزمایشگاه‌های محلی متعددی تکرار کرد، فروخت یا اجرا نمود به نحوی که در هر یک از آنها درآمد پایداری ایجاد شود. ارتقا هم زمان همه آزمایشگاه‌های موجود در شبکه موجب افزایش قدرت و اعتبار برند شبکه می‌شود.

۹- انواع آزمایشگاه‌های فب

آزمایشگاه‌های فب بر اساس نوع خدماتی که ارائه می‌کنند شامل دو دسته آزمایشگاه‌های فب ارائه کننده امکانات و آزمایشگاه‌های فب حامی نوآوری هستند.

آزمایشگاه‌های فب ارائه کننده امکانات، در پی کسب بهترین ارزش از نظر فرایندهای تولید دیجیتال هستند حال آنکه آزمایشگاه‌های فب حامی نوآوری، درصدد کسب بهترین نتایج برای کاربران و نوآوری‌های آنها با استفاده از ترکیب صحیحی از اجزایی هستند که امکانات و شایستگی‌های موجود را در اختیار آنها می‌گذارد.

۱۰- ویژگی‌های اصلی آزمایشگاه‌های فب

فضایی برای ایده و عمل: اگرچه یک آزمایشگاه فب ممکن است فضایی برای توسعه نمونه‌های اولیه یا ساخت محصولات نهایی باشد اما هدف اصلی آنها ایجاد فضایی برای آزمایش کردن و کسب تجربه است. اساسا، یک آزمایشگاه فب فضا، ابزار، فرایندها و دانش لازم برای توسعه نمودهای فیزیکی داده‌های دیجیتال و کشف داده‌های دیجیتال از بافت‌های فیزیکی را در

اختیار کاربرانش می‌گذارد. به عبارتی، نمونه‌های اولیه و محصول نهایی معمولا درون آزمایشگاه فب توسعه داده می‌شوند اما به جای آنکه صرفا روی تولید شیئی از طریق فرایندهای متعارف متمرکز باشند، تمرکز بیشتری روی فرایندهای دیجیتال (و اثرات آنها) دارند.

بخشی از یک شبکه: برای آنکه یک آزمایشگاه فب داشته باشیم باید بخشی از یک شبکه جهانی از گره‌های محلی باشیم و این ویژگی بسیار اهمیت دارد. یک سیستم ویدئو کنفرانس (لینک آن عبارت است از: http://mcu.cab.mit.edu/18.85.8.46) وجود دارد که همه گره‌ها را به هم پیوند می‌دهد. در این وب سایت سوالات مطرح می‌شوند و پاسخ داده می‌شوند و پروژه‌ها و همکاری‌هایی بین آزمایشگاه‌های مختلف شکل می‌گیرد. به واسطه بخشی از شبکه بودن، امکان به اشتراک‌گذاری ابزارها و فرایندها و اطلاعات برای اعضای شبکه فراهم می‌شود.

جامعه: هر آزمایشگاه فب بخشی از دو جامعه است: جامعه محلی و جامعه جهانی همه آزمایشگاه‌های فب عضو شبکه جهانی. از یک طرف آزمایشگاه فب، یک جامعه محلی از افراد علاقمند با اهداف و علایق مختلف تشکیل می‌دهد و بین آنها و افرادی که در آزمایشگاه فب کار می‌کنند همکاری و هماهنگی ایجاد می‌کند و از طرف دیگر، همیشه یک تبادل اطلاعات و همکاری بین همه آزمایشگاه‌های فب وجود دارد: بسیار مهم است که از دیگر آزمایشگاه‌های فب بازدید شود و با افراد دیگر در جلسات سالانه شبکه جهانی آزمایشگاه‌های فب ملاقات شود تا از نزدیک با پیشرفت‌های آنها آشنا شد و با آنها تبادل اطلاعات کرد و یا آغاز به همکاری در پروژه‌های مشترک نمود.

مجموعه‌ای از ابزارها: مطابق تعریف، هر آزمایشگاه فب باید دارای یک مجموعه خاص از ابزارهای مشترک بین همه آزمایشگاه‌های فب باشد تا امکان همکاری با دیگر گره‌های محلی را داشته باشد. به طور کلی، وقتی یک آزمایشگاه فب را راه‌اندازی می‌کنیم، باید ابزارهایی که در فهرست مرکز ذرات و اتم آمده است را تهیه کنیم. البته می‌توان دستگاه‌هایی که در فهرست نیستند را هم به مجموعه اضافه کرد و تجربه خود در این زمینه را در اختیار دیگر آزمایشگاه‌ها هم قرار داد.

مجموعه‌ای از دانش: علاوه بر ابزارها و دستگاه‌ها، انتظار می‌رود افراد به دانش خاص، تجربه و قابلیت‌های آزمایشگاه فب دسترسی داشته باشند. بنابراین افرادی که در آزمایشگاه فب کار می‌کنند باید همواره دانش اعضای دیگر آزمایشگاه‌های فب را رصد کنند و همواره در حال تحقیق و مطالعه باشند تا آزمایشگاه خود را به روز نگه دارند.

مجموعه‌ای از فرایندها: علاوه بر به اشتراک گذاری ابزارها و دستگاه‌ها و دانش، همه آزمایشگاه‌های فب باید بخش اعظم فرایندهای خود را به اشتراک بگذارند تا افراد را به معنای واقعی کلمه قادر به کار و همکاری با همه گره‌های شبکه کنند. به عنوان مثال؛ وقتی یک برد مدار چاپی تولید می‌کنیم باید به جای برد مدار چاپی FR-4 از یک برد مدار چاپی FR-1 استفاده کنیم و به جای فرایند حکاکی از دستگاه فرز CNC استفاده کنیم چون در غیر این صورت، تولید ما ساخت دیجیتال محسوب نمی‌شود.

خدمات: کار همه آزمایشگاه‌های فب جزء فعالیت‌های خدماتی محسوب می‌شود و بنابراین به عنوان واحدهای خدماتی باید با استفاده از روش‌ها، فرایندها و ابزارهای طراحی خدمات طراحی شوند. فراهم کردن امکان دسترسی به یک دستگاه، ارائه آموزش، مشاوره، تعمیر دستگاه‌ها و غیره همه جزء خدمات این آزمایشگاه‌ها محسوب می‌شوند.

عدم فرانشیز[1] (امتیاز): آزمایشگاه‌های فب از فرانشیز برخوردار نیستند: هیچ هزینه‌ای نباید به موسسه فناوری ماساچوست پرداخت شود، لوگوی آن ثبت نشده است و می‌توان به صورت رایگان از آن استفاده کرد. فهرست ابزارها به صورت رایگان در اختیار همگان است چون هیچ کتاب راهنمایی وجود ندارد که بر اساس آن بتوان یک فرانشیز آزمایشگاه فب ایجاد کرد، هر آزمایشگاه فب با دیگر آزمایشگاه‌های فب تا حدودی تفاوت دارد بویژه که آنها هر یک بیانگر شرایط و نیازهای محلی هستند.

کسب و کار: صرف نظر از اینکه آزمایشگاه فب بوسیله یک نهاد تثبیت شده (دولتی یا خصوصی) ایجاد شود که فعالیت‌هایش را تامین بودجه کند یا اینکه به صورت مستقل شروع به کار کند، همواره یک کسب و کار محسوب می‌شود و بنابراین همیشه

[1] franchising

اجاره، هزینه‌های جاری، دستمزد، شهریه عضویت و نیز هزینه‌هایی که باید به شرکا و همکاران بیرونی پرداخت شود، وجود دارند که باید به نحوی مدیریت شود که در پایان حداقل هزینه و درآمد سر به سر شود. در واقع باید توجه داشت که آزمایشگاه فب حتی اگر با سرمایه اولیه شخص یا نهاد بخصوصی تاسیس شود، درنهایت باید بتواند مستقل شود و هزینه‌هایش را خود تامین کند.

یک مفهوم در حال توسعه: بیش از یک دهه است که آزمایشگاه‌های فب آغاز به کار کرده‌اند اما کل شبکه به صورت پیش‌بینی نشده و بدون برنامه‌ریزی بوجود آمد. وقتی اولین آزمایشگاه فب در موسسه فناوری ماساچوست آغاز به کار کرد، بنیان‌گذاران آن اصلا قصد نداشتند یک شبکه جهانی تشکیل بدهند. بلکه تنها می‌خواستند امکان استفاده از امکانات آن و آموزش فناوری‌های ساخت دیجیتال در مرکز ذرات و اتم عمومی باشد. در واقع، آنها می‌خواستند به جای آنکه منتظر باشند تا نتیجه نهایی تحقیقات و فناوری‌های پیشرفته برای ساخت دیجیتال را در اختیار مردم بگذارند، افراد را آموزش بدهند که برای آنچه در آینده در این حوزه تولید می‌شود آماده باشند. لذا، در فرایند ایجاد آزمایشگاه‌های فب، مفاهیم به جای آنکه از قبل تعریف شوند در طول کار و طی سالها تکامل یافته‌اند و این موضوع به معنی این است که بسیاری از جزئیات هنوز در حال تغییر و تکامل هستند و مدل‌های کسب و کار در آزمایشگاه‌های فب در حال توسعه، بهبود و آزمون و خطا هستند.

۱۱- شرایط لازم برای کسب عنوان آزمایشگاه فب

در سال ۲۰۱۱ به موجب درخواست جامعه آزمایشگاه فب فرانسه، بنیاد فب شرایط لازم برای کسب عنوان آزمایشگاه فب را منتشر کرد. این شرایط، استانداردهای لازم برای ایجاد یک آزمایشگاه فب هستند.

- در درجه اول، دسترسی عمومی به آزمایشگاه فب ضروری است. یک آزمایشگاه فب باید امکان دسترسی عمومی به ابزارهای مورد نیاز اختراع و ابداع شخصی را فراهم کند. بنابراین، آزمایشگاه فب باید حداقل در بخشی از ایام هفته به صورت مجانی یا در عوض دریافت خدماتی از افراد، در اختیار عموم باشد.

- آزمایشگاه فب باید منشور آزمایشگاه فب را بپذیرد و به آن پایبند باشد. این منشور باید در محل آزمایشگاه فب و نیز روی وب‌سایت آن قرار داده شود. منشور آزمایشگاه فب را می‌توان از لینک زیر دریافت کرد: http://fab.cba.mit.edu/about/charter/
- همه آزمایشگاه‌های فب باید دارای مجموعه مشترکی از ابزارها و فرایندها باشند. فهرست دستگاه‌ها و مواد ضروری در لینک http://fab.cba.mit.edu/about/fab/inv.html آمده است. همچنین فهرستی از نرم‌افزارهای رایگان و نرم‌افزارهای متن باز که می‌توان به صورت آنلاین استفاده کرد در لینک زیر آمده است http://academy.cba.mit.edu/classes/. هدف این است که همه آزمایشگاه‌ها بتوانند دانش و طرح‌های خود را به صورت بین المللی به اشتراک بگذارند و از مشاوره و دانش دیگر آزمایشگاه‌ها برخوردار شوند.
- لازم است آزمایشگاه فب عضو شبکه جهانی آزمایشگاه‌های فب باشد، به عبارتی آزمایشگاه فب نمی‌تواند منزوی باشد. به این منظور، همه آزمایشگاه‌های فب محلی از طریق ویدئو کنفرانس یا جلسات سالانه شبکه جهانی با شبکه جهانی آزمایشگاه‌های فب تعامل و همکاری می‌کنند. همچنین می‌توان از طریق عضویت و همکاری با آکادمی فب با شبکه جهانی فب مشارکت داشت (۱)

۱۲- قانون "شبکه ملی آزمایشگاه‌های فب"[1]

قانون "شبکه ملی آزمایشگاه‌های فب" مصوب مجلس سنا آمریکا در سال ۲۰۱۳[2] با تاکید بر اینکه کشف‌های علمی و نوآوری‌های فنی برای امنیت اقتصادی و ملی کشور حائز اهمیت هستند و حفظ جایگاه برتر آمریکا در علم، فناوری، مهندسی، ریاضیات، مستلزم برخورداری از جمعیتی دارای مهارت، علاقه و امکان دسترسی به ابزارهای مورد نیاز در این حوزه‌هاست، ایجاد انقلابی دیجیتال در ساخت[3] که به همه امکان ساخت "هر چیز در هر جایی" را بدهد، را حائز اهمیت می‌داند. یک نمونه

[1] National Fab Network Act of 2013

[2] این قانون در مارس ۲۰۱۳ در کنگره آمریکا مطرح و تصویب شد و برای تصویب نهایی در مجلس سنا ارائه شد که درنهایت در نوامبر ۲۰۱۳ به تصویب سنا رسید.

[3] Fabrication

موفق از آزمایشگاه‌های فب ملی، مرکز ذرات و اتم‌ها در موسسه فناوری ماساچوست است که تاسیسات محلی تولید پیشرفته را به هم پیوند می‌دهد تا امکان دسترسی و توانمندی جامعه را افزایش بدهد. استفاده از مشارکت‌های هماهنگ بخش خصوصی و دولتی بهترین روش برای تسریع فراهم کردن این زیرساخت است که منجر به فراهم کردن فرصت یادگیری مهارت‌ها، توسعه اختراعات، راه اندازی کسب و کار و تولید محصولات شخصی شده برای جامعه می‌شود.

شبکه ملی آزمایشگاه فب که به موجب این قانون تشکیل می‌شود مجاز به دریافت اموال حقیقی یا شخصی و حفظ آن به صورت مطلق یا امانی، سرمایه‌گذاری و سرمایه‌گذاری مجدد و مدیریت آن‌ها بر طبق شرایط آیین‌نامه خود است. همچنین شبکه ملی آزمایشگاه فب می‌تواند اموال فوق‌الذکر و درآمد حاصل از آن‌ها را مطابق اهداف ایجاد شبکه ملی آزمایشگاه فب و بر طبق دستورالعمل‌های حامیان مالی آن به کار بگیرد.

به طور کلی، شبکه ملی آزمایشگاه فب می‌تواند به صورت یک نهاد غیر انتفاعی باشد که هدف آن تسهیل مرحله به مرحله‌ی ساخت و ساز یک شبکه واقعی آزمایشگاه‌های فب وابسته به هم است. شبکه ملی آزمایشگاه فب نمی‌تواند به عنوان یک نهاد ناظر، تنظیم‌کننده یا هماهنگ‌کننده این شبکه گسترده عمل کند بلکه صرفا می‌تواند ساخت و ساز آن را تسهیل کند.

این قانون آزمایشگاه فب را چنین تعریف می‌کند: آزمایشگاه ساخت[1] که آزمایشگاه فب هم نامیده می‌شود به معنی تاسیساتی است که شامل انواع مختلفی از ابزارهای تولید و ساخت است که با ورودی‌های دیجیتال کار می‌کنند و نیز مجموعه‌ای از نرم‌افزارها و کامپیوترها که برای راه‌اندازی آن ابزارها و نیز تهیه طرح‌های مورد نیاز آنها لازم هستند. این آزمایشگاه‌ها برای اهداف متنوعی استفاده می‌شوند اما هر یک از آن‌ها استانداردهای شفافی در زمینه چگونگی بهره‌مندی از منابع آزمایشگاه‌ها متناسب با منشوری که شبکه ملی آزمایشگاه فب تعیین کرده است را در اختیار جوامع محلی، کسب و کارهای محلی یا سازمان‌های آکادمیک و آموزشی قرار می‌دهند.

این قانون اهداف شبکه ملی آزمایشگاه فب که با عملی ساختن کارکردهایش محقق می‌شوند را به شرح ذیل معرفی می‌کند:

[1] Fabrication Laboratories

الف) تسهیل ساخت و ساز یک نوع جدید زیرساخت تولید دیجیتال و اطلاعات، به ویژه تسهیل و ترغیب ساخت و ساز یک شبکه غیر متمرکز از آزمایشگاه‌های فب وابسته به هم.

ب) ارتقای اهداف آموزش ریاضیات، مهندسی، فناوری و علم، توسعه نیروی کار در حوزه‌های تولید و طراحی محصول، افزایش نوآوری و اختراع در بخش خصوصی و نیز کشف آکادمیک و علمی از طریق استفاده از ابزارهای ساخت دیجیتال توزیعی؛ و

ج) ایجاد حداقل یک آزمایشگاه فب به ازای هر ۷۰۰,۰۰۰ نفر در ایالات متحده طی ده سال اول آغاز به کار این شبکه.

به موجب این قانون کارکردهای شبکه ملی آزمایشگاه‌های فب به شرح زیر است:

- برای ایجاد یک شبکه ملی از آزمایشگاه‌های فب محلی در ایالات متحده آمریکا نقش نهاد هماهنگ‌کننده را ایفا کند.
- با ارائه اطلاعات، ارزیابی مناسب بودن، ارائه مشاوره در مورد چرخه حیات آزمایشگاه و توضیح و تبیین سایت‌های عملیاتی، اولین نقطه تماس برای سازمان‌ها و گروه‌هایی باشدکه درصدد ایجاد آزمایشگاه‌های فب هستند.
- سایت‌ها و تامین‌کنندگان بودجه را با نهادهای عملیاتی که می‌توانند آزمایشگاه‌های فب را تامین بودجه و تجهیزات آنها را نصب کنند، به هم پیوند بدهد، آموزش بدهد، در عملیات‌ها کمک کند و میزان اثرگذاری آنها را ارزیابی کند.
- مزایای حاصل از شبکه ملی آزمایشگاه‌های فب را در جهت توسعه افراد و جامعه به خدمت بگیرد.
- استفاده از شبکه ملی آزمایشگاه‌های فب را در برنامه‌های تعاونی مانند آموزش نیروی کار، ایجاد شغل، اثرات وسیع‌تر تحقیقات و ایجاد زیرساخت‌های شهری تسهیل کند.
- شفاف‌سازی مدیریت، حاکمیت و عملیات‌های شبکه ملی آزمایشگاه‌های فب (۳)

۱۳- بهره‌گیری از FAB LABها در دیگر کشورها

۱۳-۱ کشور هند

FAB LABها توانایی تاثیرگذاری عمیق بر دو سطح را دارند:

- تولید شخصی: اگر کاربر FAB LABنیاز به یک ابزار یا شیء داشته باشد، آن را متناسب با نیازهای خود طراحی نموده و می‌سازد.

- توسعه جامعه Grassroots: FAB LAB ها ابزارهایی برای جوامع فراهم می‌کنند تا با سرعت و بر اساس فرهنگ خود توسعه یابند

در هند، از همکاری با سایت FAB LAB که در ویگیان آشرام قرار دارد و مثال‌هایی برای تاثیرات بالقوه FAB LAB فراهم می‌کند، دو کاربرد ایجاد شده است.

ویگیان آشرام یک جامعه آموزشی کوچک است که در خارج از روستای پابال در ماهاراشترا در هند قرار گرفته است و محل دومین FAB LAB بین‌المللی و اولین محل در هند است. اینجا مدرسه‌ای است که مناسب افرادی است که بنا به دلایلی متناسب نظام سنتی مدارس هند نیستند و بر آموزش مهارت‌های عملی تمرکز می‌کند که این دانش‌آموزان با استفاده از آن می‌توانند پس از پایان مدرسه، کسب و کار خود را شروع کنند. چون ویگیان آشرام یک منطقه بسیار روستایی است، که در آن استفاده از خانه‌های پیش‌ساخته به خاطر هزینه و مهیایی آنها ممنوع است، دانش‌آموزان و کارکنان مدرسه متوجه شدند که قابلیت‌های FAB LABبرای ساخت تخته مدار چاپی اهمیت بسیار زیادی دارد.

یکی از کاربردهای خاصی که بلافاصله از آن استفاده شد، ساخت تخته‌هایی بود که زمان‌بندی دقیق‌تر در موتورهای دیزلی را ممکن می‌ساختند. تمام ماشین‌های ویگیان آشرام و سیستم قدرت پشتیبان آن‌ها با موتورهای دیزلی کار می‌کنند که مشخصات زمان‌بندی بسیار نامنظمی دارند، اما مردم نمی‌توانند زمان‌سنج تجاری موتور دیزلی را بخرند. آنها روی نمونه تخته‌های زمان بندی خود با سیستم برج کار می‌کنند و بعد آن را با ماشین فرزکاری FAB LAB می‌سازند. آنها به دنبال ساخت زمان‌سنج‌های

دیزلی خود هستند، (به جای اینکه به دنبال منابع خارجی باشند که تهیه آن ها بسیار مشکل است).

صنعت شیر هند یکی از بزرگترین صنایع است که با سرعت زیادی رشد می‌کند و درصد قابل توجهی از جمعیت را استخدام کرده است که اکثر آن‌ها کشاورزانی هستند که شیر تهیه می‌کنند. بنابراین، مساله کیفیت شیر بر بخش بزرگی از جمعیت هند تاثیر می‌گذارد و نه‌تنها بر سطح سلامت بلکه بر سطح رفاه اقتصادی نیز تاثیر دارد.

نگاه مختصری به صنعت شیر، سه سطح سازمانی را نشان می‌دهد: کشاورزان، مراکز جمع‌آوری و کارخانه‌های فرآوری. خساراتی که در این صنعت روی می‌دهد به خاطر آلودگی شیر، کاهش آب آن یا خراب بودن شیر در این سلسله مراتب قرار می‌گیرند تا اینکه به پایین‌ترین سطح یعنی کشاورزان می‌رسند.

مسأله آلودگی را می‌توان با استفاده از دستگاه‌های نظارتی کیفی در مراکز جمع‌آوری و کارخانه‌های فرآوری رفع کرد. اینجا جایی است که FAB LAB مطرح می‌شود. رویکرد ریشه‌ای مدل FAB LAB، طراحی به موقع و ساخت ابزارهای حسگر لازم در سطح محلی و در مقادیر لازم را ممکن می‌سازد. ابزارهای به کار رفته توسط کسانی که درگیر هستند و به آنها نیاز دارند، ساخته می‌شوند نه اینکه به آنها تحویل داده شود و بگویند که مفید هستند.

۱۳-۲ کشور کاستاریکا

انستیتو فناوری کاستاریکا [1](TEC) به عنوان اولین سایت بین‌المللی FAB LAB در تابستان ۲۰۰۲ انتخاب شد. این FAB LAB در محیط شبکه مستقل یادگیری [2](LIN) در کاستاریکا معرفی شد و اولین محل برای پروژه گروه اختراع Grassroots بود که در تابستان ۲۰۰۱ شروع شد.

ملت‌های در حال توسعه معمولا به دنبال فناوری‌هایی هستند که در جای دیگری و با در نظر داشتن اهداف دیگری طراحی شده‌اند. پروژه شبکه‌های یادگیری مستقل برای تغییر این امر و کار با شبکه‌های سازمان‌ها در کشورهای در حال توسعه اجرا

[1]The Costa Rica Institute of Technology
[2]The Learning Independence Network

شده‌اند (از جمله دانشگاه‌ها، بنیادها، شرکت‌ها و NGOها) تا به آن‌ها در ظرفیت‌سازی کمک کنند و فناوری‌های مناسب برای نیازهای محلی خود را بسازند.

تیم اصلی محققان LIN که از هیات علمی و دانشجویان در TEC، مدارس فنی و علمی محلی، انستیتو مدیریت تجاری امریکای مرکزی[1](INCAE) و مدرسه آموزش دانشگاه کاستاریکا و گروه اختراع Grassroots در MIT تشکیل شده، کار را در مجموعه‌ای از پروژه‌ها شناسایی و شروع کرده که ارتباط خاصی به جوامع روستایی کم درآمد در کاستاریکا دارند.

آنها که از نمونه‌های اولیه Rick Fletcherاز گروه فیزیک و رسانه الهام گرفته بودند، با همکاری محققان LINCOS و گروهی از دانشجویان در TEC، مدول‌های حسگر محیطی بی‌سیم خود را با سیستم برج برای کاربردهای کشاورزی و آموزشی ساختند. دانشجویان مدرسه عالی علمی، همراه با آموزش اعضای شبکه که پیشینه آموزشی گسترده‌ای داشتند، مدل‌های محسوس جدیدی ساختند تا به یادگیری برخی از مفاهیم شیمی و فیزیکی در سطوح دبیرستان کمک کنند. دانشجویان مدرسه عالی فنی هم یک نمایشگاه موزه در مورد موزه کودکان در کاستاریکا برگزار کردند. و هر روز کاربردهای بیشتری مطرح شدند. از طریق تعاملات منظم با دانشجویان رشته تجارت در INCAE، این گروه در مورد چالش‌های اقتصادی و فرصت‌های توسعه فناوری‌ها با تاثیر اجتماعی زیاد بحث می‌کند. توجه دقیق به انتظارات و اولویت‌ها و دیدگاه‌های شرکت‌کنندگان مختلف، یکی از چالش برانگیزترین ابعاد این پروژه است.

در آینده نزدیک، به جز رایانه‌های شخصی که در آن برنامه‌هایی برای طراحی، تحلیل، برنامه‌نویسی و ثبت اجرا می‌شود، مناسب است سایر ماشین‌ها با دستگاه‌های معادل و کم‌هزینه‌تری جایگزین گردد که به صورت محلی ساخته می‌شوند و مناسب نیازهای کاربران FAB LABهستند. مشخصات مفصل طراحی این ابزارها براساس مطالعه دقیق پروژه‌های انجام شده در FAB LABهای مختلف ارائه می‌گردد. بخش مهم این پروژه، طراحی سیستم‌های کنترل برای این ماشین‌ها براساس بسط سیستم برج است.

علاوه بر طراحی‌های مکانیکی، هدف دیگر گسترش طراحی برنامه‌های کاربردی نرم‌افزاری است که نه تنها کم‌هزینه‌تر هستند،

[1]The Central American Institute of Business Administration

بلکه در دسترس کسانی هستند که پیشینه فنی گسترده‌ای ندارند. نمونه این ابزار، یک نمای PCB ساده و برنامه کاربردی طراحی ۲ بعدی است که ETCH نامیده می‌شود و در گروه اختراع Grassroots در حال ساخت است. ما محیط توسعه یکپارچه خود را برای برنامه‌ریزی ریزکنترلگرها و دستگاه‌های دستی مانند Palm Pilots و Pocekt PC را با زبان برنامه‌نویسی سطح بالا و زبان‌های پلتفرم خاص ساخته‌ایم و ابزار مجسم کردن داده را برای برنامه‌های کاربردی که به آن نیاز است، یکپارچه کرده‌ایم.

با توجه به سهولت نسبی که سیستم برج را می‌توان با آن بسط داد و برنامه‌های کاربردی جدید را اجرا کرد، وقتی این ابزارهای ساخت و آزمایش بر پایه برج را داشتیم، می توانیم برج را با برج طراحی کنیم، بسازیم و آزمایش نماییم.

برای داشتن یک سیستم کاملا یکپارچه، سیستم برج با مدول‌های مورد نیاز آن گسترش داده می‌شود تا ابزارهای فعلی FAB LAB (طیف سنج UV-VIS و تحلیلگر شبکه که قبلا بررسی شد) را از مدول‌های برج مربوطه به دست آوریم.

بنابراین، تا حدی که فرز ۳ بعدی باعث ساخت قطعات مختلف می‌شود، دیدگاه تکرار کردن FAB LAB در آینده نه چندان دور، تبدیل به واقعیت می‌شود و با این مدل اجزای آزمایشگاهی قابل تکثیر، امید می‌رود که کاربران FAB LAB آن را متناسب آزمایشگاه خود بدانندآن را گسترش دهند و مجموعه ابزارهایی را بسط دهند که متناسب نیازهای آنهاست و این ابزارهای جدید و دانش فنی را به بقیه FAB LAB منتقل کنند.

در کاستاریکا، تحقیق روی مواد باعث تولید محصولاتی از برگ‌های موز و نیلوفر آبی شد که هر دو در این منطقه فراوان هستند. دانش آموزان TEC با موادی کار می‌کنند که در دسترس آنهاست، مثل بطری‌های نوشابه کوکا کولا و تکه‌های پلکسی گلاس: در ویگیان آشرام، هر ماده‌ای که تاکنون وارد پروژه نشده، به زودی جایی برای خود پیدا می‌کند.

در ابتدا به نظر می‌رسد فراهم کردن مواد توسط خود FAB LABها این بخش‌ها را عهده‌دار مسئولیت خود می‌کند، اما آنها تنها نیستند و پشتیبانی از طریق همکاری بین FAB LAB از طریق Think Cycle و وب سایت FAB LAB فراهم می‌شود. از طریق این کانال‌های ارتباطی و همکاری می‌توان مشکلات و راه‌حل‌ها را مبادله کرد و طراحی ابزارهای جدید را تسهیم کرد و مواد و

روش‌های جدیدی به‌وجود آورد که سایت‌های مختلف با استفاده از آن می‌توانند آزمایش کنند(۸).

۱۳-۳ مشکلات و امکانات اجرایی آزمایشگاه‌های ساخت در کشورهای امریکای لاتین

از سال ۲۰۰۷، امریکای لاتین مجموعه‌ای از روش‌های نوظهور را با استفاده از سه ابتکار توسعه داده است: الف) با استفاده از تجربه دانشجویان ارشد و دکترا که به کشورهای خود برگشته‌اند و تجربه خود را ارتقا داده‌اند، ب) با استفاده از تجربه دانشگاهی خارجی که در این منطقه فراهم شده است و ج) با استفاده از خودیادگیری. این تجربیات در یک محیط دانشگاهی توسعه یافته و برخلاف اروپا و امریکا که این افراد در آنجا به موقعیت حرفه‌ای رسیده‌اند، درجات مختلف اجرایی و تاثیرگذاری را دارند. در کل، برنامه‌های دانشگاهی این منطقه فاقد سیاست وجود فناوری‌های نوظهور منظم است و باعث جذب اندک، مخصوصا در حوزه معماری می‌شود. از یک سو، اگر سیاست‌های آموزشی ثابت نباشند سرمایه‌گذاری های انجام شده روی تجهیزات نمی‌توانند پایدار باشند و از سوی دیگر، شکاف نسلی بین کسانی که ارتقا می‌دهند و کسانی که می پذیرند، باعث اختلال و ایجاد وضعیت موجود می‌شود.

در مطالعه‌ای فرایندهای تکامل و اجرای سه ابتکار فوق در امریکای لاتین بررسی شده و یک مطالعه موردی در پرو مورد تحلیل قرار گرفته که امکان حرکت از مرحله آزمایشات، آزمون و خطا را به مرحله دیگری که واقعا باعث ارتقای نوآوری و مشارکت محلی شود، فراهم می کند.

اقدامات اجرایی در امریکای لاتین

ما نمی‌توانیم تجربیات امریکای لاتین را تعمیم دهیم، چون عوامل محلی وجود دارند که مسیرهای موازی را علیرغم شرایط سیاسی مشابه از سال ۱۹۷۰ ایجاد کرده‌اند. برای تفکیک و شناسایی مطالعات موردی که مناطق جغرافیایی با پیشرفت مشابه را از شروع قرن بیستم تعریف می‌کنند، ما از سازمان تاریخی بتل (۱۹۹۱) کمک گرفتیم: آرژانتین، اوروگوئه، پاراگوئه، شیلی (بخش

جنوبی)، پرو، بولیوی، کلمبیا، اکوادور و ونزوئلا (منطقه آندیان) و برزیل. فرایند اجرایی به صورت گسترده در بخش جنوبی و برزیل نسبت به منطقه آندیان توسعه یافته است (از نظر تعداد).

روند اجرایی آزمایشگاه‌های ساخت در امریکای لاتین از الگوی مشابه شناسایی شده در سایر فناوری‌های دیجیتال پیروی می‌کند اما زمان اجرای متفاوتی دارد. اجرای پیشرونده به صورت زیر مطالعه شد: گروه A: تجربیات دانشجویان کارشناسی ارشد و دکترا؛ گروه B: حلقه دانشگاهی/تجاری خارجی و گروه C: خودیادگیری.

گروه A: تجربیات دانشجویان ارشد و دکترا: از سال ۲۰۰۷، چندین دانشگاه امریکای لاتین شروع به رسمی‌کردن ابتکاراتی به عنوان بخشی از گروه‌های تحقیقاتی دانشگاهی نمودند. این تجربیات بدون نظارت خارجی شروع و تجربیات و نتایج افرادی که مدارک ارشد و دکترا داشتند، نشان داده شد. آنها دانشجویان ارشد و دکترا را در این زمینه ها هدایت کردند که باعث تداوم فناوری‌های موردنظر شد.

منطقه جنوبی

در برزیل در ژانویه ۲۰۰۷، Gabriela Celami (دکترا در MIT) با راهنمایی ویلیام ج.میشل آزمایشگاه‌های اتوماسیون و ارتقای ساخت معماری[1] (LAPAC) را به منظور حمایت حوزه‌های مختلف مهندسی و معماری در UNICAMP تاسیس نمود .

در شیلی، ادواردو لیون (دکترا در GaTech) با راهنمایی چارلز ایستمان، طراحی و ساخت دیجیتال در معماری را از طریق دوره‌های درسی، کنفرانس‌ها و کارگروه‌هایی که همزمان با کنگره SIGraDi در دانشگاه شیلی برگزار شد، ارتقا داد. از طریق مدیریت پدرو سوزا (دانشجوی دکترای GaTech)، با راهنمایی چارلز ایستمان استفاده از فناوری‌ها ارتقا یافت و Laboratorio de Prototipao Digiatal در FAU (۲۰۱۲) تاسیس شد.

در شیلی، اقداماتی در دانشکده فنی سانتاماریا در آزمایشگاه مواد و ساخت دیجیتال انجام شده است. در سال ۲۰۱۲، سرجیو آرایا

[1]Laboratorio de Automacao e Prototipagem para Arquitetura e Construcao

مدیر دانشکده معماری دانشگاه آدولفو ایبانز شد و اولین FAB LAB را در شیلی بنیان نهاد.

در اوروگوئه، آزمایشگاه ساخت دیجیتال در دانشگاه لاریپابلیکا توسط مارسلو پاسیه تاسیس شد که عضو SIGraDi بود.

منطقه آندیان

کلمبیا محیط‌های آزمایشگاهی دانشگاهی مختلفی را به وجود آورده است: از آزمایشگاه‌های متمرکز در مدارس تا آزمایشگاه‌های نامتمرکز. SIGraDi در سال ۲۰۱۰ کارگروهی را در دانشگاه جاوریانا (بوگوتا ۲۰۱۰) برگزار کرد که توسط Pablo Baquero در دانشگاه کلمبیا هدایت گردید.

در کلمبیا نیز فارغ‌التحصیلانی از انستیتو معماری آوانزادا[1] (IaaC) حضور داشتند. گابریل اکوا از سال ۲۰۱۰ رئیس FAB LAB بوده و کارگروه‌هایی را همراه با رودریگو تلدو برگزار کرده‌اند. فابیو لوپز نیز FAB LAB دانشگاه ملی کلمبیا را هدایت می‌کند. همین امر در پرو از طریق خودمدیریتی و با کار لوئیس اودیاگا با شرکت‌هایی که ماشین‌های CNC فراهم می‌کردند، انجام شد.

بین سال‌های ۱۹۹۷ و ۲۰۰۷، تقریبا ۶۰ دانشجوی امریکای لاتین از انجمن معماری آزمایشگاه تحقیق طراحی فارغ‌التحصیل شدند. از سال ۲۰۱۰، این دانشکده یک برنامه بازدید جهانی برگزار کرده و مجموعه‌ای از تجربیات در منطقه با هدایت افراد فارغ‌التحصیل که از کشورهای دیگر بنا به دلایل مختلف به کشور خود بازگشته و تجربه خود را با شرایط محلی سازگار کرده بودند، اجرا شده است.

مفهوم FAB LAB از سال ۲۰۰۱ توسط مرکز ذرات و اتم‌ها در انستیتو فناوری ماساچوست توسط نیل گرشنفلد به عنوان برنامه‌ای برای دموکراتیک کردن دسترسی به دانش و ابزارهای ساخت دیجیتال ارتقا یافت. این مفهوم در سال ۲۰۰۹ وارد پرو شد (و نیز اتیوپی) که اولین تجربه سازمان‌یافته امریکای لاتین تحت عنوان FAB LAB لیما بود که مورد اصلی این مطالعه است. این مرکز توسط سازمان اسپانیایی AECID تاسیس شد و توسط IaaC ارتقا یافت. از سال ۲۰۱۲، این دانشگاه FAB LAB UNI را راه‌اندازی

[1] Instituto de Arquitectura Avanzada de Cataluna

نموده که توسط فارغ التحصیلان پرویی اداره می‌شود. از سال ۲۰۱۳، سایر اقدامات نیز در FAB LAB TECSUP شروع شده‌اند.

MIT FAB LABبه دنبال تسهیل دسترسی به ابزارهای جدید خلق و تولید بود و بیشتر از فناوری‌های منبع باز استفاده می‌کرد و به دنبال تولید ماشین‌های بزرگ آنالوگ بود که به صنایع سنتی تعلق داشتند تا آنها را تبدیل به محصولات شخصی با هزینه کم کند.

از سوی دیگر، Rhino FAB LABاز نرم افزار تجاری با معماری باز استفاده می‌کند که توسط انجمن مک نیل ایجاد شده است، شرکتی که Rhinoceros و Grasshopper را تولید می‌کند. آنها در ابتدا یک گروه پشتیبانی آنلاین برای کاربران برنامه‌های کاربردی خود که نیاز به ساخت طراحی‌های خود داشتند، ایجاد کردند. در حال حاضر، آنها اجرای روش‌های به کار رفته در معماری و طراحی را تقویت می‌کنند (جواهرات بیشترین تقاضا را دارند) تا امکان طراحی و ساخت در زمینه های مختلف صنعت را بررسی کنند، دسترسی به مشاغل، جلسات و تجهیزات را برای سازندگان فراهم کنند و ارتباطاتی با سایر تجربیات ایجاد کنند. از سال ۲۰۰۹ آنها به دنبال ارتقای بهینه‌سازی طراحی و ساخت[1] (DOF) هستند، کارگروهی که در کلمبیا، شیلی، آرژانتین، پرو و برزیل برگزار شده است. مورد مشخص آن دانشگاه بولیوارینا است که از سال ۲۰۱۳ اولین دانشگاهی است که فارغ‌التحصیلاتی در زمینه طراحی ساخت دارد.

شرایط مشکل‌ساز برای اجرا: مطالعه موردی FAB LAB لیما

بر اساس تجربه لیما، عوامل محدود کننده افزایش تعداد آزمایشگاه‌های ساخت به ترتیب ذیل شناسایی شده‌اند:

- **عامل اقتصادی**: به دست آوردن ابزارها و تجهیزات ساخت دیجیتال در امریکای لاتین، ۳ تا ۸ برابر بیشتر از اروپا یا امریکا هزینه دارد (هزینه واردات، حمل و نقل، گمرک، هزینه زندگی و غیره). هزینه آموزش کارکنان برای هدایت آزمایشگاه‌های ساخت را نیز باید به آن اضافه کرد.

[1] Design Optimization and Fabrication

- **مدیریت و نگهداری:** مانند اجرای کامپیوتر، آزمایشگاه ساخت فقط مربوط به داشتن برخی ماشین‌ها و دستگاه‌ها نیست. سن مارتین معتقد است "این پیامد منطقی نیست چون کلاس‌های درسی تجهیزات کامپیوتری و دیداری-شنیداری پیشرفته دارند یا مجهز به ماهواره هستند، مدرسه به روی همه جهان باز شده است و مدرن‌تر شده است". آزمایشگاه ساخت فضایی است که ماشین‌هایی مانند چاپگر جوهری دارد و نیاز به کارکنان نگهداری دائمی دارد تا راه حل‌های کوتاه مدت برای این نیازها فراهم کنند و این امر نیاز به تخصص و آموزش دارد. برای دسترسی به دانشگاه Fab، که آموزش را فراهم کرده و بر بررسی مکانیزم‌ها، کاربردها و تاثیرات آن برای ساخت دیجیتال از سال ۲۰۰۸ نظارت می‌کند، تقریبا ۶.۴ برابر بیشتر از ۸۰ شرکت کننده ثبت شده در جهان است: ۵۵ درصد در اروپا و ۲۰ درصد در امریکا. آکادمی Fab هم آموزش لازم برای تعلق به این شبکه را فراهم می‌کند و شش ماه آموزش مقدماتی در سال اول دارد که تقریبا ۸۰ ساعت کار در هفته است.

- **عامل اداری:** بوروکراسی مشکل دیگری بر سر راه ایجاد و اجرای آزمایشگاه ساخت دیجیتال است، مخصوصا مواردی که توسط نهادهای عمومی ایجاد می‌شوند. حتی با فراهم کردن منابع مالی، اجرای آزمایشگاه لیما ۹ ماه طول کشید که سه برابر بیشتر از امریکا و اروپا است.

- مورد جدی‌تر در آزمایشگاه آدیس آبابا در اتیوپی روی داد که در شرایط مشابه لیما، تکمیل آن ۲۴ ماه طول کشید.

- **عامل آموزشی:** اجرا در اروپا و امریکا در فضاهایی روی می‌دهد که مسائل طراحی را برای ابزاری‌کردن فرایند، تشویق می‌کنند. در امریکای لاتین، اجرای فناوری‌ها نوعی بسط یا تداوم اقدامات طراحی است، نه اینکه با طراحی یکپارچه شود و هدف آموزش هم مصرف فناوری است نه توسعه یا کشف آن. در نتیجه، بیشتر افراد حرفه‌ای، شرکت‌ها یا سازمان‌های دولتی، فعالیت‌های خود را فقط در تولید و تجارت و به ندرت در نوآوری متمرکز می‌کنند. کمتر از ۲ درصد جمعیت فعال اقتصادی در پرو در فعالیت‌های نوآوری و توسعه شرکت می‌کنند. در سطح پایین نوآوری، فرهنگ

رقابت نادرست وجود دارد: من می‌برم، تو می‌بازی. بیشتر نهادهای دولتی و خصوصی از مشارکت صحبت می‌کنند اما به ندرت آن را تشویق می‌کنند.

نتیجه‌گیری: بازتاب‌هایی که فرصت‌ها را ارتقا می‌دهند

برنامه‌های تشویقی و بورس‌های تحصیلی در کشورهای توسعه‌یافته

کشورهایی که FAB LAB را در منطقه اجرا می‌کنند، در دهه گذشته سرمایه‌گذاری زیادی روی برنامه‌های بورس‌های تحصیلی انجام داده‌اند که به گروهی از معلمان و دکترهایی که به کشورهای خود بازگشته‌اند، تعلق می‌گیرد. از این میان می‌توان به شیلی و برزیل و کلمبیا و آرژانتین اشاره کرد.

- **چندفرهنگی بودن:** با تحلیل تجربیات ایجاد شده توسط آزمایشگاه‌های ساخت دیجیتال، به نظر می‌رسد که ساخت در امریکای لاتین برای گروه اقلیت انجام می‌شود و به شیء نسبت به کاربر اولویت داده می‌شود. این سیستمی است که توسط مدل‌های جهانی محیط صنعتی تولید شده است و به ما اجازه آزمایش در برخی از شهرها را می‌دهد. اما باید این مساله را در نظر بگیریم که در بسیاری از مناطق امریکای لاتین، بیشتر معماری برای جمعیت ۷۰ درصد حاشیه‌ای روی می‌دهد. این امر در جمعیت‌هایی با سنت‌های باستانی روی می‌دهد که مبتنی بر فناوری‌های بومی هستند و به سازگاری با محیط‌های شهری پایان می‌دهند. امریکای لاتین مجموعه گسترده‌ای از فرایندهای تولید دستی در زمینه‌های گوناگون را به ارث برده است از جمله حکاکی، نساجی و ساخت جواهر، که مواجه‌شدن آن با ساخت دیجیتال می‌تواند باعث نوآوری شود. علاوه بر اینها با درنظرگرفتن اینکه ۸۰ درصد نیروی کار در صنایع دستی و تولید نیمه صنعتی نقش دارند، ساخت دیجیتال می‌تواند باعث بهینه‌سازی فرایندهای مکانیکی شود و زمان لازم برای صنعتگران و تولیدکنندگان را فراهم کنند تا به فرایندهای خلاقانه‌ای بپردازند که به صورت مستقیم بر ارزش محصول آنها تاثیر می‌گذارد و کیفیت زندگی آن‌ها را بهبود می‌بخشد.

- **تنوع اکولوژیکی:** منطقه آندریان یکی از مناطق غنی از نظر تنوع زیستی برای هر کیلومتر مربع از زمین است، مخصوصا اگر تنوع طبیعی و منابع آب منطقه آمازون را نیز به آن اضافه کنیم، به یک قلمرو متمایز برای توسعه فناوری‌های جدید همراه با تقاضای زمان خود می‌رسیم. ساخت دیجیتال می‌تواند از مواد، بررسی شکل‌های پیچیده، فرایندهای ساخت سازگار زیستی و غیره استفاده کند و به صورت همزمان نیازهای انرژی، سلامت، آموزش و غیره یکی از مناطق بزرگ جهان که بیشترین فقر اجتماعی را دارد، تامین کند(۷).

شکل ۵: پروژه دیجیتال نساجی که باعث بهینه سازی ۶۰ درصدی زمان تولید می‌شود

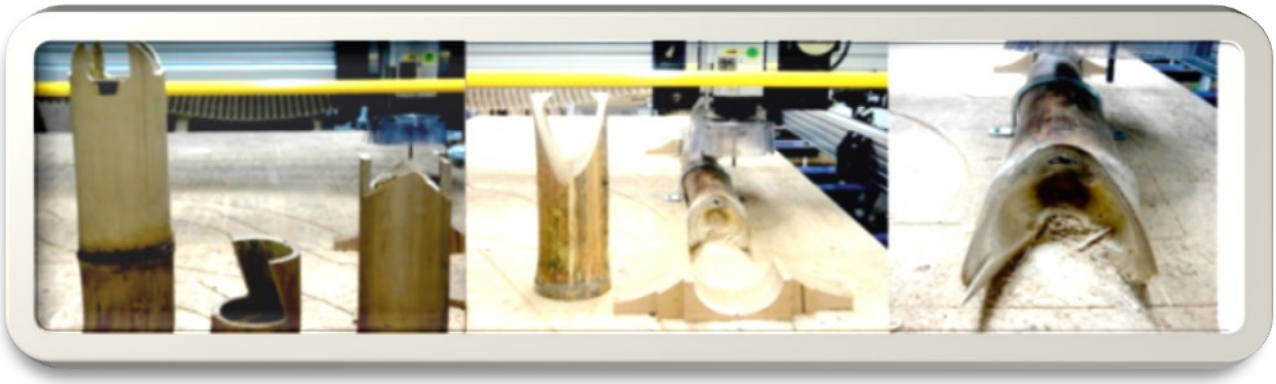
۱۳-٤ شرکت کاربن ایده[1]

شرکت کربن ایده در سال ۲۰۰۸ (۱۳۸۶) در تهران تاسیس شد. این شرکت مرکزی برای آزمودن ایده‌های جدید و تبدیل آنها به اشیا واقعی است. این شرکت روش‌های جدیدی برای توسعه مفاهیم طراحی با استفاده از آزمایشگاه ساخت دیجیتال خود ابداع می‌کند. این شرکت در واقع سعی در تولید اشیائی دارد که به روش های متعارف-غیر از ساخت دیجیتال- امکان تولید آنها وجود ندارد (۲).

این شرکت به منظور گسترش مفهوم آزمایشگاه فب کارگاه‌هایی را به صورت دوره‌ای برگزار می‌کند. نخستین برنامه از سری

[1]Carbon Ideas

کارگاه‌های ساخت دیجیتال با رویکرد تلاش برای بسط مفاهیم مربوط به این حوزه در محیط دانشگاهی ایران و با پشتوانه تجربه، دانش و تجهیزات کاربُن ایده در بهار سال ۹۲ و همکاری قطب علمی فناوری معماری دانشگاه تهران در پردیس هنرهای زیبا



شکل ۶: پروژه ECO-FAB. آزمایشگاه یکپارچه‌سازی ساخت دیجیتال و مواد غیرصنعتی

برگزار شد. فب لب دو در سه دوره‌ی متوالی با رویکرد معماری واکنشی در پاییز و زمستان همان سال برگزار شد.

۱۳-۵ مرکز ملی نانوفب کره‌جنوبی

مرکز ملی نانوفب[1] (NNFC) یک مرکز فناوری نانو و شبه رسانای در سطح کلاس جهانی است که در شهر دایجون[2] کره جنوبی حدود ۱۵۰ کیلومتری سئول واقع شده است. این مرکز به موجب قانون ارتقا فناوری نانو مصوب می ۲۰۰۴ تاسیس شد که از آن زمان تاکنون به عنوان یک مرکز پیشگام در تجهیزات نانو و خدمات فرآوری گسترده به فعالیت مشغول است. این مرکز دارای گواهی نامه ISO 9001 است و روی توسعه فناوری‌هایی با قدرت رقابتی تمرکز دارد تا امکان کسب استقلال از طریق تجاری‌سازی نتایج تحقیقات را فراهم کند. فلسفه ایجاد مرکز نانو فب ارائه خدمات پایدار وسریع به کاربران است و اهداف این مرکز عبارتند از:

- ایجاد یک اتاق تمیز که نیازهای فناوری نانو را تامین کند
- آموزش دانشمندان فناوری نانو در زمینه استفاده از ابزارها و تجهیزات آزمایشات نانو

[1]The National NanoFab Center

[2]Daejeon

- توسعه تجهیزات فرآوری برای مواد مبتنی بر نانو
- ساخت و تقویت زیرساخت‌های صنعت فناوری نانو

برنامه ایجاد و بهره‌برداری از مرکز نانو فب کره‌جنوبی شامل سه مرحله بود. مرحله تاسیس مرکز نانو فب (۲۰۰۵-۲۰۰۲) خود شامل سه فعالیت بود: تکمیل ساخت نانوفب، نصب و راه‌اندازی تجهیزات، شروع ارائه خدمات فب. مرحله دوم که دوره فعال‌سازی مرکز نانو فب (۲۰۰۸-۲۰۰۵) است روی سه فعالیت متمرکز بود: جذب محققین برتر، ایجاد همکاری با دیگر موسسات، فعال‌سازی برنامه آموزش. در نهایت، در دوره بلوغ مرکز نانو فب (۲۰۱۱-۲۰۰۸) این مرکز به توسعه فرایند، تجهیزات و مواد؛ ایجاد یک صنعت جدید و دستیابی به خودکفایی پرداخته است (۶).

منابع

1. http://www.fabfoundation.org/fab-labs/setting-up-a-fab-lab/the-space/
2. https://www.fablabs.io/carbonfablab
3. https://www.congress.gov/bill/113th-congress/senate-bill/1705/text
4. TheFabLabNetwork.pdf
5. http://gsnetworks.org/wp-content/uploads/TheFabLabNetwork.pdf
6. http://www.andrew.cmu.edu/user/mj3a/presentation/Session4_Kor_05_NanoFab.pdf
7. Pablo C. Herrera, Benito Juarez, 2013, Fabrication Laboratories: Problems and possibilities of Implementation in Latin America
8. Bakhtiar Mikhak, Christopher Lyon, Tim Gorton(Grassroots Invention Group, MIT Media Laboratory) & Neil Gershenfeld, Caroline McEnnis, Jason Taylor(Physics and Media Group, Center for Bits and Atoms), FAB LAB: An Alternate Model of ICT For Development