

" ذغال چوب "

" Charcoal "

تألیف :

اسماعیل پورکاظم

بهار ۱۳۹۷

| ردیف | عنوان مقاله                                               | صفحه |
|------|-----------------------------------------------------------|------|
| ۱    | مقدمه                                                     | ۴    |
| ۲    | تاریخچه تولید ذغال چوب                                    | ۶    |
| ۳    | ویژگی های طبیعی ذغال چوب                                  | ۱۱   |
| ۴    | خصوصیات شیمیائی ذغال چوب                                  | ۱۸   |
| ۵    | مبانی تولید ذغال چوب                                      | ۲۳   |
| ۶    | تأثیر توسعه صنایع بر روند تولید ذغال چوب                  | ۳۶   |
| ۷    | چگونگی تولید ذغال چوب                                     | ۳۸   |
| ۸    | دانش و مهارت ذغال سازی چوب ها                             | ۵۱   |
| ۹    | روش های تولید کوره ای ذغال چوب                            | ۶۲   |
| ۱۰   | تولیدات جانبی بازیافتی درختان سخت چوب                     | ۶۴   |
| ۱۱   | فرآیندهای حادث در کوره های ذغال                           | ۶۵   |
| ۱۲   | فرآیندهای کوره های بشکه ای استافورد                       | ۶۵   |
| ۱۳   | فرآیند چرخش گازها در کوره های بشکه ای                     | ۶۶   |
| ۱۴   | فرآیندهای کارخانجات تبدیل محصولات فرعی                    | ۶۷   |
| ۱۵   | بازیافت ماده فرعی رزین از چوب ها                          | ۶۷   |
| ۱۶   | تولیدات فرعی فرآیند ذغال سازی و کاربرد آنها               | ۶۸   |
| ۱۷   | هزینه های عمومی تولید ذغال چوب                            | ۷۰   |
| ۱۸   | بازاریابی ذغال چوب                                        | ۷۲   |
| ۱۹   | توزیع صنعتی و تفریحی ذغال چوب                             | ۷۳   |
| ۲۰   | تولید ذغال چوب های قالبی                                  | ۷۴   |
| ۲۱   | فرآیندهای ذغال کارخانه ای                                 | ۷۸   |
| ۲۲   | توسعه تولید ذغال چوب قالبی                                | ۸۰   |
| ۲۳   | حمل و نقل ذغال چوب کارخانه ای                             | ۸۱   |
| ۲۴   | مخاطرات فرآیندهای ذغال سازی                               | ۸۴   |
| ۲۵   | مکان یابی استقرار کوره های ذغال                           | ۸۶   |
| ۲۶   | ایمنی عملیات ذغال سازی                                    | ۸۷   |
| ۲۷   | انبارداری ذغال های چوب                                    | ۹۰   |
| ۲۸   | عوامل مؤثر بر تولید و عملکرد ذغال چوب                     | ۹۲   |
| ۲۹   | اندازه گیری عملکرد ذغال های چوب                           | ۹۴   |
| ۳۰   | مقدار رطوبت ذغال چوب                                      | ۹۶   |
| ۳۱   | کمیت ذغال های چوب                                         | ۹۷   |
| ۳۲   | کیفیت ذغال های چوب                                        | ۹۷   |
| ۳۳   | تأثیر شرایط عملیات بر عملکرد ذغال                         | ۹۹   |
| ۳۴   | تأثیر رطوبت چوب بر عملکرد ذغال                            | ۹۹   |
| ۳۵   | تأثیر گونه های درختان و فرم چوب ها بر عملکرد و کیفیت ذغال | ۱۰۷  |
| ۳۶   | تأثیر اندازه و شکل کوره ها بر عملکرد و کیفیت ذغال         | ۱۰۷  |
| ۳۷   | تأثیر اندازه و شکل کوره ها بر مدت ذغال سازی               | ۱۰۸  |
| ۳۸   | تأثیر زمان و حرارت بر کیفیت ذغال                          | ۱۰۸  |
| ۳۹   | تأثیر زمان و حرارت بر عملکرد کوره ها                      | ۱۰۹  |
| ۴۰   | تأثیر حرارت زمانی بر میزان نیمسوزها                       | ۱۱۰  |

| ردیف | عنوان مقاله                                | صفحه |
|------|--------------------------------------------|------|
| ۴۱   | تأثیر آب و هوا بر عملکرد ذغال چوب          | ۱۱۰  |
| ۴۲   | تأثیر آب و هوا بر حرارت کربونیزاسیون       | ۱۱۱  |
| ۴۳   | مطالعات اقتصادی تولید ذغال چوب             | ۱۱۱  |
| ۴۴   | تهیه ذغال چوب از ضایعات کشاورزی            | ۱۱۲  |
| ۴۵   | صدمات زیست محیطی تهیه ذغال چوب             | ۱۲۰  |
| ۴۶   | تکنولوژی تولید و کاربرد ذغال چوب در آفریقا | ۱۲۴  |
| ۴۷   | تولید ذغال چوب در شمال ایران               | ۱۳۰  |
| ۴۸   | منابع و مآخذ                               | ۱۳۶  |
| ۴۹   |                                            |      |
| ۵۰   |                                            |      |
| ۵۱   |                                            |      |
| ۵۲   |                                            |      |
| ۵۳   |                                            |      |
| ۵۴   |                                            |      |
| ۵۵   |                                            |      |
| ۵۶   |                                            |      |
| ۵۷   |                                            |      |
| ۵۸   |                                            |      |
| ۵۹   |                                            |      |
| ۶۰   |                                            |      |
| ۶۱   |                                            |      |
| ۶۲   |                                            |      |
| ۶۳   |                                            |      |
| ۶۴   |                                            |      |
| ۶۵   |                                            |      |
| ۶۶   |                                            |      |
| ۶۷   |                                            |      |
| ۶۸   |                                            |      |
| ۶۹   |                                            |      |
| ۷۰   |                                            |      |
| ۷۱   |                                            |      |
| ۷۲   |                                            |      |
| ۷۳   |                                            |      |
| ۷۴   |                                            |      |
| ۷۵   |                                            |      |
| ۷۶   |                                            |      |
| ۷۷   |                                            |      |
| ۷۸   |                                            |      |
| ۷۹   |                                            |      |
| ۸۰   |                                            |      |

## " ذغال چوب "

### "Charcoal"

#### مقدمه :

ذغال چوب (charcoal) را از گرمادهی هیمه ها یا هیزم ها در اتاقک ها (chamber) ، بشکه ها (retorts) ، کوره ها (kilns) و یا در قالب توده های زمینی با محدودسازی ورود اکسیژن مورد نیاز برای اشتعال بدست می آورند.

دادن گرمای زیاد به چوب ها به هر طریقی که اعمال گردد، موجب شکستن ترکیبات شیمیایی چوب ها و تبدیل آنها به : گازها ، قطران (tar) و مواد کربنی جامدی می گردد، که به آن ذغال چوب می گویند. ذغال چوب بدون توجه به شیوه تولید برای قرن های متمادی پیشین از اهمیت فراوانی در مناطق روستایی جهان به عنوان یک منبع تأمین انرژی کارآمد و بی خطر برخوردار بوده است (۲).

امروزه بسیاری از کشورهای جهان در صددند تا همچنان از ذغال چوب برای : پخت و پز در منازل ، اهداف تفریحی-تفنی و آشپزی در رستوران ها بهره گیرند. در حال حاضر ساکنین زمین مقادیر بسیار زیادی از ذغال چوب را بعنوان سوخت در فعالیت های تفریحی و تفنی (recreational) مصرف می کنند لذا چنین کاربردهایی می توانند به تشویق تولید صنعتی آن در مقادیر وسیع منجر گردند.

از ذغال چوب همچنین برای تهیه : دی سولفید کربن (carbon disulfide) ، تتراکلرید کربن (carbon tetrachloride) ، سیانید سدیم (sodium cyanide) و دیگر ترکیبات شیمیایی صنعتی سود می جویند. بیشترین مقدار ذغال چوب را در صنایع به صورت کربن فعال (activated carbon) بکار می برند. سایر کاربردهای ذغال چوب در صنایع عبارت از : ذوب فلزات (steel heating) ، افزایش سختی فلزات (metal casehardening) و گدازش غیر فلزات (non-ferrous smelting) می باشند (۲).

محققین معتقدند که تهیه نیمه صنعتی ذغال چوب را می توان با مشارکت عامه مردم و در سطوح سرمایه گذاری های کوچک انجام داد و بدین طریق موجب اشتغال زائی در مناطق روستائی گردید. بررسی ها نشان

می دهند که افراد محلی با سرمایه گذاری مشترک قادرند، هر حجم معین یا کورد (cord) از کوره های ذغال سازی را با ۲-۳۵ هزار دلار راه اندازی نمایند (۲).

در واقع طی فرآیند ذغال سازی با گرمادهی به حذف ترکیبات چوب بغیر از کربن اقدام می ورزند لذا گرمادهی موجب می شود که گازها و ترکیبات فرار به صورت دود درآیند.

دود حاصل از عملیات ذغال سازی چوب ها را در شیوه های جدید می توان : جمع آوری (captured) ، تغلیظ (condensed) و سپس به تولیدات فرعی قابل استفاده تبدیل (converted) نمود. فرآیند تهیه ذغال چوب از هیزم ها و ضایعات کشاورزی نهایتاً منجر به تولید ماده ای قابل اشتعال و پاک می گردد، که کمترین شعله و دود را طی مراحل احتراق و اشتعال موجب می شود (۲).

بطور کلی موفقیت های ذغال سازی بستگی به عوامل زیر دارند :

- ۱) دسترسی به منابع خام (raw material sources)
- ۲) قیمت مواد خام (raw material cost)
- ۳) دسترسی و مزد کارگران (labors : availability & cost)
- ۴) وجود بازارهای فروش (sound marketing)
- ۵) کارایی تولید (operational efficiency) (۲).



## تاریخچه تولید ذغال چوب :

سابقه تهیه ذغال چوب بر طبق برخی مستندات تاریخی به بیش از ۵۵۰۰ سال قبل می رسد. اولین دستاوردهای بشر در زمینه ذوب فلزاتی چون : برنز ، مس ، آهن ، نقره و همچنین تهیه شیشه ها با کمک ذغال چوب حاصل گردیده اند.

ذغال چوب بعنوان ماده ای سبک شمرده می شود، که تنها ۱۵ درصد (1/6) وزن چوب مصرفی با حجم معادل را دارا است لذا چوب را ابتدا در محل قطع درختان یا حوالی آن به ذغال تبدیل می کنند سپس به مناطق مصرف منتقل می سازند. ذغال چوب احتمالاً محصول نهایی اکثریت درختانی است، که در منطقه مدیترانه ای اروپا قطع (cut down) می گردند (۷).

در یونان باستان برای چوب ها ارزش زیادی قائل بودند، آنچنانکه در زمان وقوع جنگ ها و در مواجهه با هجوم دشمنان با برداشتن درب ها و پنجره های خانه هایشان می گریختند.

تولید سنتی آهن و مس نیاز فراوانی به مصرف چوب داشت بطوریکه تخمیناً برای بدست آوردن حدود ۶۰ پوند شمش مس می بایست ۴ ایکر از درختان جنگلی را قطع می کردند، تا به مصرف برسند.

باستان شناسان طی سال های اخیر موفق به کشف بقایای یک کشتی قدیمی در سواحل قبرس شده اند، که حاوی بیش از ۲۰۰ شمش طلا و نقره بوده است.

بعلاوه اکثر مردمان قدیم از ذغال چوب برای گرم کردن منازل و پخت و پز استفاده می نمودند، بطوریکه اجاق ها و منقل هایشان (brasier) همواره روشن می مانده است (۷).

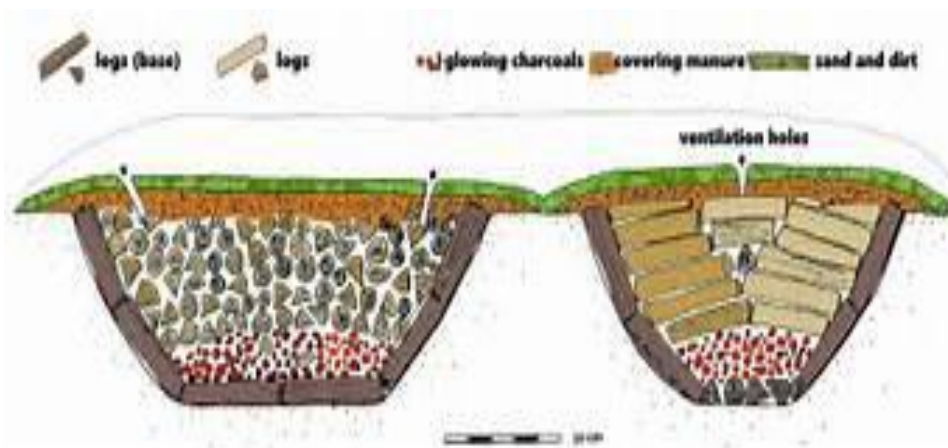
شواهد تاریخی حاکی از آن هستند که تقاضا برای ذغال چوب در قرن ۱۳ میلادی بسیار اوج گرفت زیرا جنگ های بسیاری رخ می دادند و بدین ترتیب نیاز شدیدی به پودر ذغال برای تهیه باروت وجود داشت لذا تعداد کوره های ذغال سازی و شاغلین این حرفه به شدت افزایش یافتند.

با پیشرفت صنایع فلزی، در پایان قرن پانزدهم به ساختن توپ های جنگی با لوله یک پارچه پرداختند. بعلاوه تقاضا برای الوار جهت ساختن کشتی ها و منازل افزایش یافت، تا جائیکه دولت های اروپایی در پایان قرن هفدهم با کمبود چوب ها و در نتیجه کمبود ذغال مواجه گردیدند. بعنوان مثال منطقه "ساسیکس" به تنهایی دارای ۱۴۰ کوره آهنگری (forges) بود، که هر کدام به میزان ۵ تن ذغال چوب در هفته مصرف می نمودند (۷).

قطع درختان برای حصول ذغال چوب آنچنان ادامه می یافت، که به جنگل زدائی (deforestation) منتهی می گردید. درختان را معمولاً در زمستان ها قطع می کردند، تا پس از خشک شدن (seasoned) در طی تابستان برای تولید ذغال چوب سوزانده شوند.

برای تولید ذغال چوب ابتدا توده های هیزم و چوب های ضایعاتی را فراهم می سازند سپس سطح توده را با کاه و خاک می پوشانند و یک ساختار دودکش مانند (chimney) را فراهم می سازند آنگاه توده را آتش می زنند و اجازه می دهند تا به مرور بسوزد.

کنترل فرآیند سوختن توده چوب ها را با مسدودسازی مناسب دودکش و حفره هایی که در جوانب توده شده اند، انجام می دهند. فرآیند سوختن توده هیزم و چوب های مازاد برای چندین شبانه روز تداوم می یابد. زمانی که کربونیزاسیون (carbonization) یا ذغال سازی تکمیل شد آنگاه با پاشیدن آب به خاموش کردن و خنک نمودن کوره کمک می نمایند (۷).



کارشناسان معتقدند ؛ بهترین درختانی که برای تهیه ذغال چوب بکار می روند، از انواع درختان "سخت چوب" (hard woods) نظیر گونه های زیر می باشند :

(۱) راش (beech)

(۲) بلوط (oak)

(۳) زبان گنجشک (ash)

(۴) ممرز (horn beam) (۷).

با جمع آوری چوب های ضایعاتی در داخل یک گودال (pit) و سوزاندن آنها می توان به ذغال چوب (charcoal) و محصولات فرعی (by-products) حاصل از دود نظیر : قطران (tar) و ماده غلیظ قیر مانند (pitch) دست یافت.

مصريان باستان از قطران چوب برای فرآیند مومیایی سازی (mummification) بهره می گرفتند. قطران همچنین برای ضد آب کردن بدنه کشتی ها و جلوگیری از کرم زدگی الوارهای بدنه آنها ضروری بود (۷).



در دوره هایی که تهیه ذغال و قطران در اروپا با کمبودهایی مواجه می گردید، تاجران به واردات آنها از قاره آمریکا مبادرت می ورزیدند.

قطران را که از سوزاندن کنده ها و زوائد درختان حاصل می آمد، از سوند و اسکاتلند به بریتانیا وارد می نمودند، تا بواسطه دارا بودن انواع فنل ها برای گندزدائی (antiseptic) بکار روند (۷).

در طی سال های ۱۷۰۰ میلادی که قیمت ذغال چوب روبه فزونی گذاشت آنگاه مالکان کارگاه های ذوب فلزات (smelters) در جستجوی مواد جایگزین برآمدند لذا فردی به نام "آبراهام داربی" به انجام آزمایشاتی در مورد بکارگیری ذغال سنگ (coal) پرداخت، که در آن زمان بسیار ارزان بود. بدین ترتیب ذغال سنگ را طی فرآیندهایی با ذغال چوب بکار گرفتند و به ماده ای به نام "کُک" (coke) دست یافتند، که برای افروختن کوره های استخراج فلزات (furnaces) بسیار ضرورت دارد (۷).

کشف "کُک" بنحو چشمگیری به کاهش تقاضا برای ذغال چوب انجامید و به موازات آن تولید صنعتی "کُک" به شدت توسعه یافت. "کُک" صنعتی نه تنها در صنایع ذوب آهن بکار گرفته شد، بلکه تولیدات جانبی حاصله توانستند، متشابهاً جایگزین قطران حاصل از ذغال چوب گردند (۷).

تدریجاً روش های سوزاندن ذغال چوب بهبود یافتند، بطوریکه حجم بیشتری از فلزات را با مقدار معینی از ذغال چوب می گداختند، تا بدین ترتیب صنایع ذوب فلزات مقرون به صرفه تر گردند. با گذشت زمان قطران را با سهولت بیشتری تولید کردند و در صنایع شیمیایی بکار گرفتند. به موازات تهیه "کُک" از ذغال سنگ توانستند، به تولید گاز ذغال سنگ (coal gass) موفق گردند و از آن برای ایجاد روشنائی سود جویند. با مرور ایام، استفاده مداوم از قطران های ذغال چوب و ذغال سنگ موجب آزاد شدن ضایعات حاصله به درون رودخانه ها شد، که آلودگی های بسیار خطرناکی را بر محیط زیست تحمیل کرد (۷).



زمانیکه الکتریسیته توانست جایگزین گاز ذغال سنگ برای تولید روشنایی منازل و معابر گردد آنگاه از قطران برای تهیه : جوهرهای رنگی (aniline-dyes) ، فنل ها و پلاستیک هایی نظیر "بیک لایت" (Bakelite) سود جستند. "بیک لایت" نوعی پلاستیک است که از "فرمالدئید" و فنل ساخته می شود. بدین منوال متعاقب اینکه قطران صنعتی حاصل از ذغال سنگ جایگزین سوزاندن ذغال چوب شد آنگاه گاز طبیعی و نفت توانستند، باعث کسادی بازار ذغال سازان شوند (۷).



## ویژگی های طبیعی ذغال چوب :

حرارت درون کوره ها طی ۲ مرحله سبب تبدیل چوب ها و ضایعات کشاورزی به ذغال می گردد :

(۱) مرحله خشک کردن (drying stage)

(۲) مرحله ذغال شدن (coaling stage) (۲).

بخارات و گازهای جاصل از سوختن چوب ها به صورت دود از دودکش یا دودکش های (stacks) کوره خارج می گردند. ذغال چوب را که به عنوان کربن ناخالص می باشد، می توان از انواع چوب ها حاصل نمود.

اصولاً فرآیند ذغال سازی (coaling ، carbonization) موجب پالایش بقایای چوب ها از مواد غیرکربنی در اثر گرمادهی می شود، بطوریکه هر چه حرارت کمتری در فرآیند مزبور بکار گرفته شود، باعث برجاماندن مقادیر بیشتری از مواد بخارشده (ناخالصی) در پیکره ذغال حاصله می گردد، که این موضوع در هنگام سوزاندن ذغال ها به تولید دودهای بیشتری می انجامد (۲).



بطور کلی عملکرد تولید ذغال چوب بستگی به عوامل زیر دارد :

- ۱) مقدار کربن چوب ها (amount of carbon)
- ۲) شرایط ذغال سازی (carbonization condition) (۲).

تقریباً ۵۰ درصد وزن خشک چوب ها را ترکیبات کربن تشکیل می دهند. کمترین میزان کربن در پوست درختان "نرم چوب" (softwood) و بیشترین مقدار کربن در مغز چوب درختان "سخت چوب" (hardwood) وجود دارند.

ذغال هایی که از کیفیت مناسب برخوردارند، می توانند به ازای هر پوند ذغال به تولید گرمایی معادل ۱۳۰۰۰ واحد گرمایی بریتانیا یا BTU (British Thermal Units) برابر با ۱۴۰۰۰ کیلو ژول یا ۰/۳۹ لیتر نفت چراغ بپردازند، که معادل ۱/۲-۱ برابر وزن چوب خشک است.

ذغال چوب پس از سوختن به تولید ۲-۳ درصد خاکستر می انجامد و این موضوع آنرا برای صنایع ذوب فلزات و همچنین بعنوان سوخت های خانگی مناسب می سازد. فقط مقادیر بسیار اندکی از عناصر گوگرد (سولفور) و فسفر در ذغال چوب یافت می شوند که این موضوع می تواند بر ارزش ذغال چوب جهت مصرف در صنایع ذوب فلزات بیفزاید (۲).

ذغال هایی که تحت شرایط کربونیزاسیون کنترل شده حاصل می گردند، در صورت مالش در دست دارای ویژگی های زیر هستند :

- ۱) سخت (hard) در قیاس با حالت نرم (soft)
- ۲) تُرد و شکننده (brittle) در قیاس با حالت خُرد شدن و پاشیدن (crumbly) (۲).

ذغال چوب های تولیدی از نظر وزنی می توانند در دو طیفی زیر قرار گیرند :

- ۱) نسبتاً سنگین
- ۲) کاملاً سبک (۲).



ویژگی وزن دغال چوب بستگی به وزن چوب های خشک مصرفی دارد. گونه هایی از انواع اینگونه درختان عبارتند از :

الف : درختان سنگین (heavy) شامل :

الف-۱) افرای شیرین (sugar maple)

الف-۲) راش (beech)

الف-۳) بلوط (oak)

الف-۴) غان زرد (yellow birch)

الف-۵) کاج برگ دراز آمریکائی (longleaf pine)

الف-۶) گردوی آمریکائی (kickories)

تمامی درختان سنگین چوب دارای متوسط وزن مخصوص حدود ۰/۶۳ می باشند (۲).



ب : درختان نیمه سنگین (medium) شامل :

ب-۱) نارون (elm)

ب-۲) توسکا (alder)

ب-۳) افرای نرم (soft maple)

ب-۴) زبان گنجشک (ash)

ب-۵) درخت صمغ (gum)

ب-۶) درخت لاله (yellow poplar)

ب-۷) کاج داگلاس (douglas fir)

ب-۸) کاج کانادایی (jack pine)

تمامی درختان متوسط چوب از میانگین وزن مخصوص حدود ۰/۴۸ برخوردارند (۲).



پ : درختان سبک (light) شامل :

پ-۱) کبوده (aspen)

پ-۲) درخت چوب پنبه (cottonwood)

پ-۳) اکثر درختان نرم چوب (softwood)

این قبیل درختان دارای متوسط وزن مخصوص حدود ۰/۳۹ هستند (۲).



ذغال هایی که بخوبی تولید می گردند، از نظر وزنی در حدود 1/6 - 1/3 وزن چوب های مصرفی می باشند ولیکن از نظر حجمی فقط 1/2 آن هستند.

ذغال ها از نظر شکل ظاهری (form) و ساختار داخلی با چوب مصرفی مشابه هستند.

وزن مخصوص ظاهری (apparent specific gravity) ذغال های چوب در محدوده ۰/۲-۰/۵ است و بستگی به وزن مخصوص چوب های مصرفی دارد (۲).

شاخص های سنتی بیانگر کیفیت ذغال چوب شامل موارد زیر هستند :

- ۱) ایجاد طنین فلزی در اثر ضربات محکم (metallic ringing sound)
- ۲) ایجاد سطوح صاف در مقاطع شکسته شده (piece`s smooth fracture)
- ۳) عاری از بو و مزه (taste & odor free)
- ۴) فاقد خاک (undue soiling)
- ۵) احتراق بدون دود (without smoking)
- ۶) تمایل به خرد شدن در حالت مالش (tends to crumble)
- ۷) تبدیل ۱۰-۵ درصد از ذغال های چوب در حین تخلیه کوره و حمل و نقل به پودر
- ۸) تمایل به جذب گازها، رنگ ها و بوها
- ۹) داشتن تخلخل (porous) (۲).

ذغال های چوب را بعنوان ماده ای بی اثر (inert) و بادوام (stable) می توان در مکان های خشک برای دوره های طولانی انبار نمود.

با برخی تیمارهای شیمیایی می توان ذغال های معمولی را به ذغال فعال تبدیل نمود، که تمایل زیادی به جذب گازها در موارد خاص دارد (۲).



## خصوصیات شیمیائی ذغال چوب :

خصوصیات شیمیائی ذغال چوب (charcoal chemistry) با ویژگی های چوب مصرفی مرتبط است زیرا چوب ها از نظر علمی مرکب از دو پیش ماده (substance) ذیل می باشند :

الف) سلولز (cellulose)

ب) لیگنین (lignin) (۷).

بنیان اصلی دو پیش ماده سلولز و لیگنین را "دی اکسید کربن" ( $\text{CO}_2$ ) اتمسفر تشکیل می دهد زیرا عنصر کربن در اثر واکنش های فتوسنتزی با نیدروژن حاصل از آب در گیاهان ترکیب می شود و به شکل گلوکز (glucose) در می آیند، که نهایتاً تبدیل به سلولز می گردند.

در طی این واکنش ها اتم اکسیژن بعنوان یک ماده زائد (waste product) آزاد می شود، تا اساس تنفس هوازی را تشکیل دهد (۷).

عنصر کربن در سرتاسر جنگل ها و درختستان های جهان به فرم چوب تثبیت می شود، تا نهایتاً در اثر پوسیدگی (rot) یا سوزاندن (burnt) درختان مجدداً آزاد شود و به جو زمین باز گردد. در صورتیکه چوب را در دماهای بالا ولیکن شرایط کنترل شده ای با اکسیژن کم قرار دهند آنگاه تبدیل به ذغال می گردد (۷).

هر قطعه از چوب های سوخته بیانگر وقوع یکسری از مراحل تجزیه شدن است و بستگی به درجه ای از سوختگی دارد، که تحمل نموده است. این درجات به قرار زیر می باشند :

۱) بخش هایی از چوب که در معرض حرارت و لاجرم سوختگی قرار نگرفته اند و هنوز حاوی درصد بالایی از آب هستند.

۲) قسمت هایی که در معرض گرما واقع شده و به چوب خشک تبدیل گردیده اند لذا مقدار آب کمتری ( $< 30$  درصد) در ترکیب دارند اما با فرآیند ذغال سازی درگیر نبوده اند.

۳) بخش هایی که تحت تأثیر فرآیندهای کربونیزاسیون واقع گردیده اند. اینگونه بخش های سیاهرنگ در واقع همان ذغال چوب یعنی کربن خالص هستند (۷).

بنابراین ذغال چوب زمانی آشکار می شود، که تمامی آب و گازهای تبخیر شونده از بدنه چوب ها خارج گردند. بسیاری از اینگونه گازها می توانند در اثر افروختگی چوب با اکسیژن ترکیب شوند و در اثر واکنش

های حرارت زا (exothermic) بسوزند. این فرآیند اصطلاحاً اشتعال یا احتراق (combustion) نامیده می شود و در طی آن چندین عنصر آزاد می شوند که عبارتند از :

(۱) روشنایی (light)

(۲) گرما (heat)

(۳) بخار آب (water)

(۴) دی اکسید کربن (CO<sub>2</sub>) (۷).



با تکمیل فرآیند سوختن چوب فقط ترکیبات معدنی آن به شکل خاکستر (ash) باقی می ماند لذا برای تولید ذغال چوب باید فرآیند سوختن را به خوبی تحت کنترل در آورد.

زمانیکه چوب در دمای ۱۵۰-۱۰۰ درجه سانتیگراد قرار می گیرد و به مرحله اشتعال می رسد آنگاه آب موجود در کالبد چوب به حالت بخار (vapour) در می آید و به شکل دود از آن خارج می گردد. دود حاصل از اشتعال چوب بدواً بسیار غلیظ ، مرطوب و متمایل به سفید است.

چوب با افزایش دمای اشتعال به ۴۵۰-۳۵۰ درجه سانتیگراد به مرحله ذغال شدن یا کربونیزه (carbonized) دست می یابد، که ضمن آن ترکیبات آلی نیز به بخار تبدیل می شوند و به شکل دود داغ و

زننده ای با رنگ خاکستری متمایل به آبی خارج می گردند. در صورتیکه چنین دمائی پابرجا بماند و یا شروع به تزايد یابد آنگاه تمامی کربن چوب می سوزد و تبدیل به خاکستر می شود (۷).

کربن چوب تمایل زیادی به ترکیب شدن با اکسیژن دارد، تا بتواند کاملاً بسوزد و تولید روشنائی و گرما نماید. بطور کلی کربن چوب می تواند در شرایط اکسیژن کافی بخوبی بسوزد و دما را تا ۱۰۰۰ درجه سانتیگراد افزایش دهد.

در صورتیکه میزان دما و اکسیژن در حین سوختن چوب بخوبی کنترل شوند آنگاه به ذغال چوب دست خواهند یافت. ذغال چوب ساختار اصلی چوب را تا سطح سلولی حفظ می کند درحالیکه اندکی چروکیده می شود و وزن خود را تا حدود 1/6 از دست می دهد (۷).

تبخیر مواد آلی چوب ها ضمن فرآیند کربونیزاسیون (carbonization) برای بشر بسیار آشنا می باشد زیرا هزاران سال است که از حاصل این فرآیند به شکل شعله استفاده می کند. چوب محتوی گازهای CO<sub>2</sub> و متان می باشد، که "ارزش انرژی" (calorific value) آن در حدود 1/3 گاز طبیعی است. این گازها در صورتیکه نسوزند، می توانند خنک و متراکم گردند (۷).



گازهای متصاعده از فرآیند کربونیزاسیون چوب ها محتوی طیف گسترده ای از مواد آلی ارزشمند می باشند، که مجموعاً با نام "اسید پیرولیگنیوس" (pyroligneous acid) شناخته می شوند. این ماده آبگونه ای سرخ رنگ مایل به قهوه ای می باشد، که اکثریت آنرا اسید استیک تشکیل می دهد.

"اسید پیرولیگنیوس" را می توان از تقطیر چوب ها بدست آورد. این ماده را می توان به حالت مخلوطی آبدار در آورد و برای استخراج : متانول ، اسید استیک ، سرکه چوب ، اسید فورمیک ، اسید پروپیونیک ، اسید بوتیریک ، فنل ها و قطران (tar) بکار برد.

سنگین ترین مواد حاصل از "اسید پیرولیگنیوس" را قطران و "تفاله قیر مانند" قطران (pitch) تشکیل می دهند (۷).



کمیت ذغال تولیدی برای وزن معینی از چوب ها را می توان با بالا بردن دما تا ۲ برابر افزایش داد زیرا دمای تولیدی در اثر سوختن ذغال های تولیدی می تواند تا بیش از ۱۰۰۰ درجه فارنهایت برسد و ذغال سازی را سریع تر و آسان تر سازد.

از این روش در ازمنه گذشته برای قرون متمادی جهت فرآیندهای "فلزگری" (metallurgy) یعنی استخراج فلزات از سنگ های معدنی (ores) بهره می گرفتند.

در دوران پیشین با وزاندن هوا و رساندن اکسیژن کافی به ذغال های در حال سوختن به دماهای بالاتر جهت ذوب فلزات از سنگ های معدنی دست می یافتند. ذغال چوب به دلیل تمایلی که به ترکیب شدن با اکسیژن نشان می دهد، می تواند فلزاتی که به فرم اکسید فلزی در سنگ های معدنی وجود دارند، به حالت خالص آزاد نماید.

از ذغال چوب می توان برای تهیه فلزاتی چون : روی ، آهن ، مس ، سرب ، نقره و طلا از سنگ های معدنی آنان سود برد (۷).

از ذغال چوب در سراسر گیتی بوفور در امور آشپزی و تولید گرما بهره می گیرند.

از ذغال چوب برای تولید شیشه (glass) و باروت (gunpowder) نیز استفاده می برند.

امروزه به تهیه صنعتی-شیمیایی کربن خالص از چوب ها می پردازند و از آن به عنوان : ماده تصفیه کننده (filter) و عامل رنگبری (decolourising) گازها ، جذب بوهای نامطلوب آب ها (water smells) و رنگ زدای طبیعی (natural bleach) استفاده می کنند (۷).



## مبانی تولید ذغال چوب :

منابع بیوماس خشکی های جهان را سالانه در حدود ۱۲۰ گیگاتن تخمین می زنند. سالانه حدود ۵/۵ گیگاتن کربن در اثر اشتعال سوخت های فسیلی آزاد می گردد، که معادل مصرف ۷/۵ گیگاتن ذغال سنگ می باشد (۱).



ذغال چوب از احتراق ناقص بیوماس (biomass) درختان و سایر بقایای گیاهان حاصل می آید. بیوماس از تولیدات گیاهی و تجدیدپذیر ناشی از واکنش های فتوسنتزی است. بیوماس قابل مصرف در ذغال سازی را می توان از موارد زیر بدست آورد :

- (۱) درختان
- (۲) گراس ها
- (۳) محصولات کشاورزی
- (۴) بقایای تولیدات کشاورزی
- (۵) ضایعات دامی
- (۶) ضایعات شهری (۱).

تغییرات شیمیایی بیوماس یا "پیرولیزیس" (pyrolysis) به شکل تجزیه حرارتی است، که در غیاب اکسیژن رخ می دهد.

بعبارت دیگر حرارت های بالاتر از ۳۰۰ درجه سانتیگراد باعث می گردند، که ترکیبات پلیمری شکسته (depolymerization) شوند و مواد فرار به شکل بخار یا دود یعنی مولکول های کوچکتر گازی (fragmentation) بگریزند (۱).

مواد حاصل از "پیرولیزیس" چوب ها در سه فاز شکل می گیرند :

(۱) فاز جامد به شکل : ذغال چوب (charcoal)

(۲) فاز مایع به شکل : آب و مواد ارگانیکی

(۳) فاز گازی شامل : CO ، CO<sub>2</sub> ، CH<sub>4</sub> و H<sub>2</sub>O (۱).

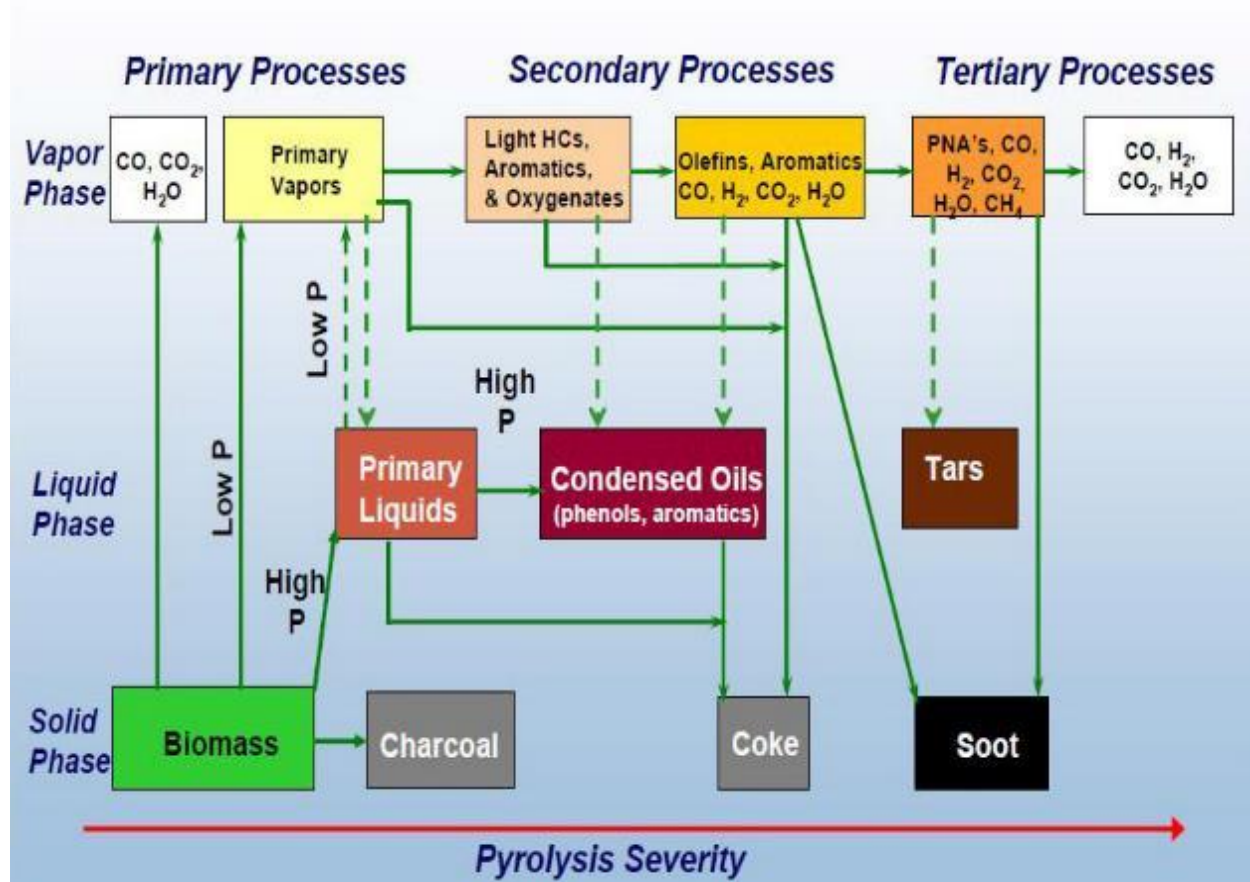
## Biomass Pyrolysis Processes

|                                                                       | Char | Liquid | Gas |
|-----------------------------------------------------------------------|------|--------|-----|
| <b>CARBONISATION</b><br>low temperature<br>long residence time        | 35%  | 30%    | 35% |
| <b>FAST PYROLYSIS</b><br>moderate temperature<br>short residence time | 12%  | 75%    | 13% |
| <b>GASIFICATION</b><br>high temperature<br>long residence time        | 10%  | 5%     | 85% |

ذغال چوب تولید جامد حاصل از تغییرات شیمیایی (پیرولیزیس) بیوماس یا "زیست توده" در اثر حرارت های بالاتر از ۳۰۰ درجه سانتیگراد می باشد.

ذغال چوب دارای رنگ سیاه و خصوصیات ظاهری مشابه ماده اولیه آن است و نوع مرغوب آن بدون ایجاد شعله می سوزد (۱).

## Biomass Pyrolysis Pathways





"جدول ۱) تأثیر میزان حرارت بر مواد حاصل از پیرولیزیس چوب (۱):"

| فاز جامد                             | فاز گازی                          | حرارت<br>(درجه سانتیگراد) |
|--------------------------------------|-----------------------------------|---------------------------|
| خشک شدن (drying)                     | بخار آب ( $H_2O$ )                | < ۲۰۰                     |
| تقطیر (rectification)                | اسید استیک ، متانول<br>(MeOH)     | ۲۳۰-۲۵۰                   |
| برشته سازی (torrefaction)            | عصاره ها (extractives)            | ۲۵۰-۲۸۰                   |
| بخار شدن تجزیه ای (devolatilization) | گازها ، بخار آب ، مواد آلی        | ۳۰۰-۵۰۰                   |
| ذغالی شدن (carbonization)            | بخار آب ، گازها ، قطران<br>(tars) | > ۵۰۰                     |

عوامل مؤثر بر عملکرد ذغال چوب عبارتند از :

- ۱) مقدار خاکستر ، سلولز ، همی سلولز و لیگنین (feedstock properties)
- ۲) حرارت پیرولیزیس (pyrolysis temperature)
- ۳) فشار فرآیند (process pressure)
- ۴) مدت دوام بخار (vapour residence time)
- ۵) اندازه قطعات چوب (particle size)
- ۶) سرعت و مقدار گرمایش سیستم (heating rate)
- ۷) دمای مراحل پایانی فرآیند (biomass burn off ، heat integration) (۱).

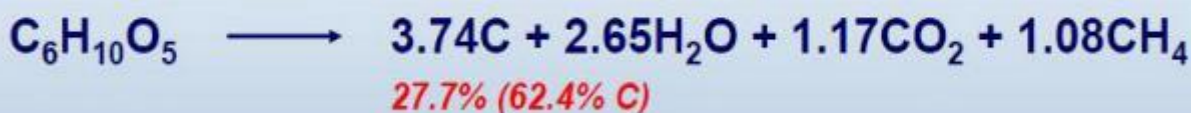
## Charcoal Yields

### Stoichiometric:



### Thermodynamic:

#### Cellulose:



*Antal, M.J. and Gronli, M, Ind.Eng.Chem.Res 2003, 42, 1619-1640*

### Practical:



"جدول ۲) فرایندهای پیرولیز بیوماس (۱):"

| نوع فرآیند                                                           | قطران (%) | مایع (%) | گاز (%) |
|----------------------------------------------------------------------|-----------|----------|---------|
| کربونیزاسیون (carbonization) با :<br>دمای کم و سرد شدن طولانی مدت    | ۳۵        | ۳۰       | ۳۵      |
| پیرولیز سریع (fast pyrolysis) با :<br>دمای متوسط و سرد شدن کوتاه مدت | ۱۲        | ۷۵       | ۱۳      |
| گازی شدن (gasification) با :<br>دمای زیاد و سرد شدن طولانی مدت       | ۱۰        | ۵        | ۸۵      |



ذغال چوب مشتمل بر مواد زیر می باشد :

۱) کربن (C) به میزان بیش از ۷۰ درصد

۲) مواد فرار (volatiles) شامل :

۲-۱) هیدروژن (H)

۲-۲) نیتروژن (N)

۲-۳) گوگرد (S)

۳-۳) اکسیژن (O)

۳) خاکستر (ash) : حدود ۳ درصد (۱).

مصارف ذغال چوب و محصولات فرعی آن در سال ۲۰۰۷ میلادی به شرح زیر بوده است :

۱) مصرف کل جهان ۴۵ مگاتن

۲) مصرف قاره آفریقا ۲۳ مگاتن

۳) مصرف آمریکای جنوبی ۱۷ مگاتن

۴) تولید جهانی اتانول ۶۰ مگاتن

۵) بهای جهانی هر تن ذغال چوب ۴۰۰-۱۰۰ دلار (۱).



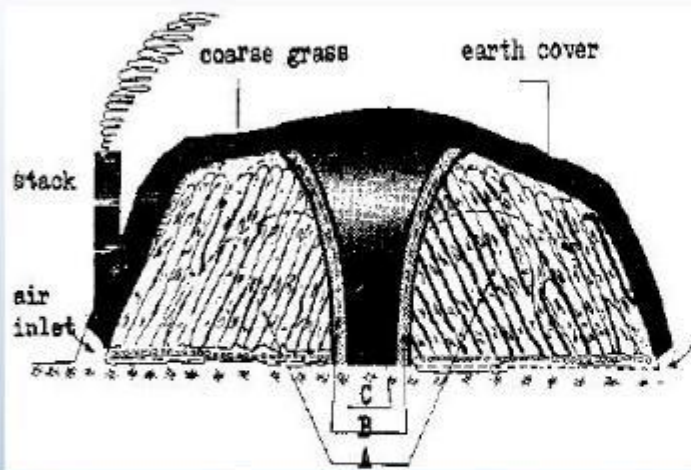
مهمترین کاربردهای کنونی ذغال چوب در جهان عبارتند از :

(۱) سوخت (fuel)

(۲) کربن فعال (activated carbon)

(۳) ذوب فلزات (metallurgy) (۱).

## Earth Mound Charcoal Production



A - fuelwood

B - carbonisation zone

C - charcoal zone

Swedish earth kiln with chimney

Simple technologies for charcoal making

FAO Forestry Paper 41, Rome 1987.

**Release of pyrolysis gas and vapor to atmosphere**

**No heat recovery; significant wood burn off for process energy**

**Low yield; environmental pollution**

روش های افزایش عملکرد ذغال چوب عبارتند از :

- ۱) مقادیر زیاد همی سلولز ، لیگنین و خاکستر در بیوماس
- ۲) حرارت "پیرولیزیس" کم ( $< 400$  درجه سانتیگراد) : باعث تثبیت مقادیر کمتر کربن می شود.
- ۳) فشار زیاد در فرآیند (۱ مگاپاسکال) : غلظت بالاتر بخار "پیرولیزیس" باعث افزایش واکنش های ثانویه می شود.
- ۴) زمان طولانی بقای بخار در سیستم : افزایش دوام بخار در تماس با مواد جامد می تواند باعث افزایش واکنش های ثانویه منجر به تشکیل ذغال گردد.
- ۵) سرعت گرم شدن کم : شکل گیری و فرار با تائی بخارهای آلی
- ۶) اندازه درشت قطعات چوب : هدایت دمائی کم در بیوماس منجر به سرعت کم انتقال حرارت به درون قطعات چوب می شود.
- ۷) مناسب بودن حرارت مراحل پایانی فرآیند : خاموش شدن بیوماس باید در زمان کوتاه صورت پذیرد (۱).

"جدول ۳) نقش گرما در تولید ذغال چوب (۱):"

| نتیجه فرآیند                              | نوع فرآیند               | دما<br>(درجه سانتیگراد) |
|-------------------------------------------|--------------------------|-------------------------|
| شکستن زنجیره پلیمری<br>(depolymerization) | گرماگیر<br>(endothermic) | $< 280$                 |
| خشک کردن<br>(drying)                      |                          |                         |
| تبخیر تجزیه ای<br>(devolatilization)      |                          |                         |
| آغاز شکل گیری ذغال<br>(char formation)    | گرمازا<br>(exothermic)   | $300 - 500$             |
| ذغال شدن<br>(char carbonization)          | گرماگیر<br>(endothermic) | $> 500$                 |

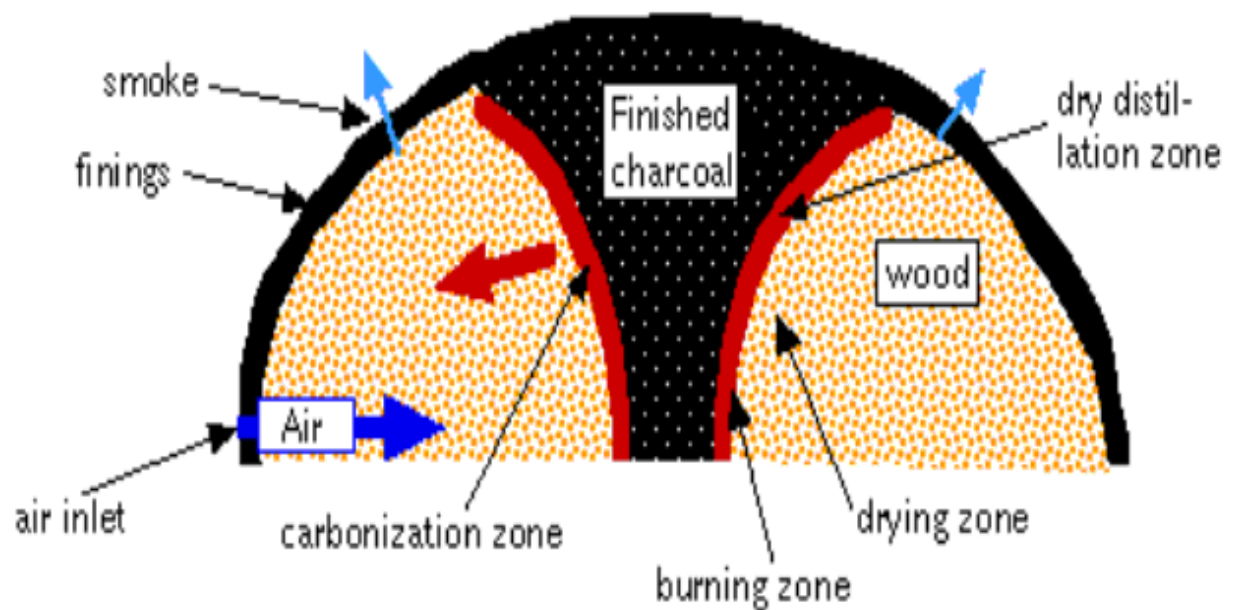
انواع تظاهر گرمای حاصل از فرآیند ذغال سازی عبارتند از :

- ۱) مستقیماً بعنوان گرمای واکنش
- ۲) از طریق خروج گازهای ناشی از اشتغال هیزم و تولیدات فرعی آن
- ۳) از طریق گازهای خروجی از دیواره های کوره (۱).

"جدول ۴) راندمان تولید ذغال در روش های مختلف (۱):"

| روش های اصلی                                    | روش های فرعی                                         | راندمان تولید ذغال (%) |
|-------------------------------------------------|------------------------------------------------------|------------------------|
| روش انباشتن<br>(batch process)                  | کوره های چاله ای (earth pit)<br>& توده ای (mounds)   | < ۱۰                   |
|                                                 | کوره های آجری ، سیمانی و<br>فلزی                     | ۲۵-۲۰                  |
|                                                 | کوره بشکه ای (retorts)                               | ۳۰                     |
| فرآیندهای مداوم<br>(continuous )<br>(processes) | بشکه های لامبیوت<br>(lambiotte)                      | ۳۵-۳۰                  |
|                                                 | راکتور زمینی چندگانه هریشوف<br>(herreshoff reactors) | ۳۰-۲۵                  |
| فرآیندهای نوین<br>(Novel processes)             | ذغالی شدن سریع<br>(flash carbonization)              | ۵۰-۴۰                  |

- مزایا و معایب ذغال سازی به شیوه "توده های روزمینی" (earth mound) عبارتند از :
- (۱) آزاد شدن گازها و بخارات حاصل از "پیرولیزیس" به اتمسفر
  - (۲) عدم امکان بازیابی گرما
  - (۳) سوزاندن چوب برای مصارف انرژی
  - (۴) عملکرد کم
  - (۵) آلودگی محیط زیست (۱).



مزایا و معایب دغال سازی به شیوه "بشکه های لامبیوت" :

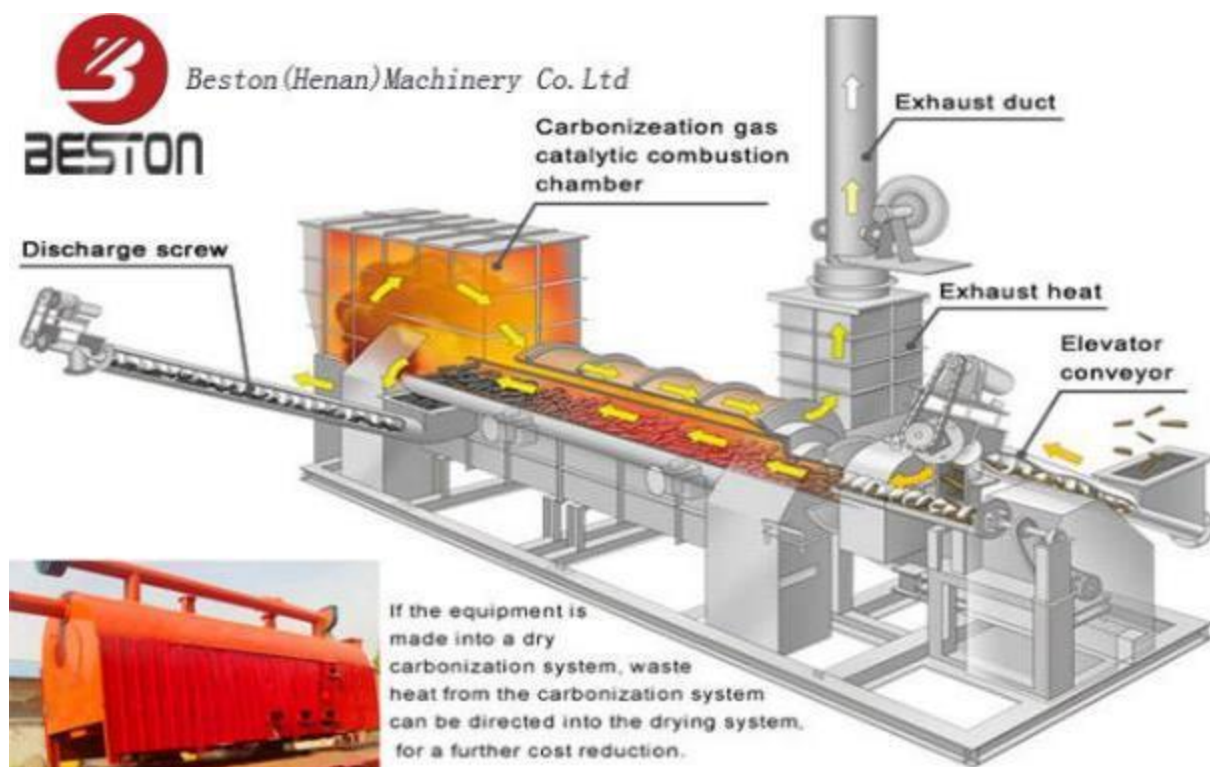
- (۱) عملیات مداوم
- (۲) حرکت چوب ها به سمت پائین همراه با خروج گازهای ناشی از اشتعال
- (۳) خروج کنترل شده دغال های خنک از بخش زیرین کوره بشکه ای
- (۴) استفاده از مایعات فرآیند "پیرولیزیس" بعنوان تولیدات فرعی
- (۵) امکان سوزاندن گازهای داغ "پیرولیزیس" پس از خروج از بشکه (۱).

## Lambiotte Retort



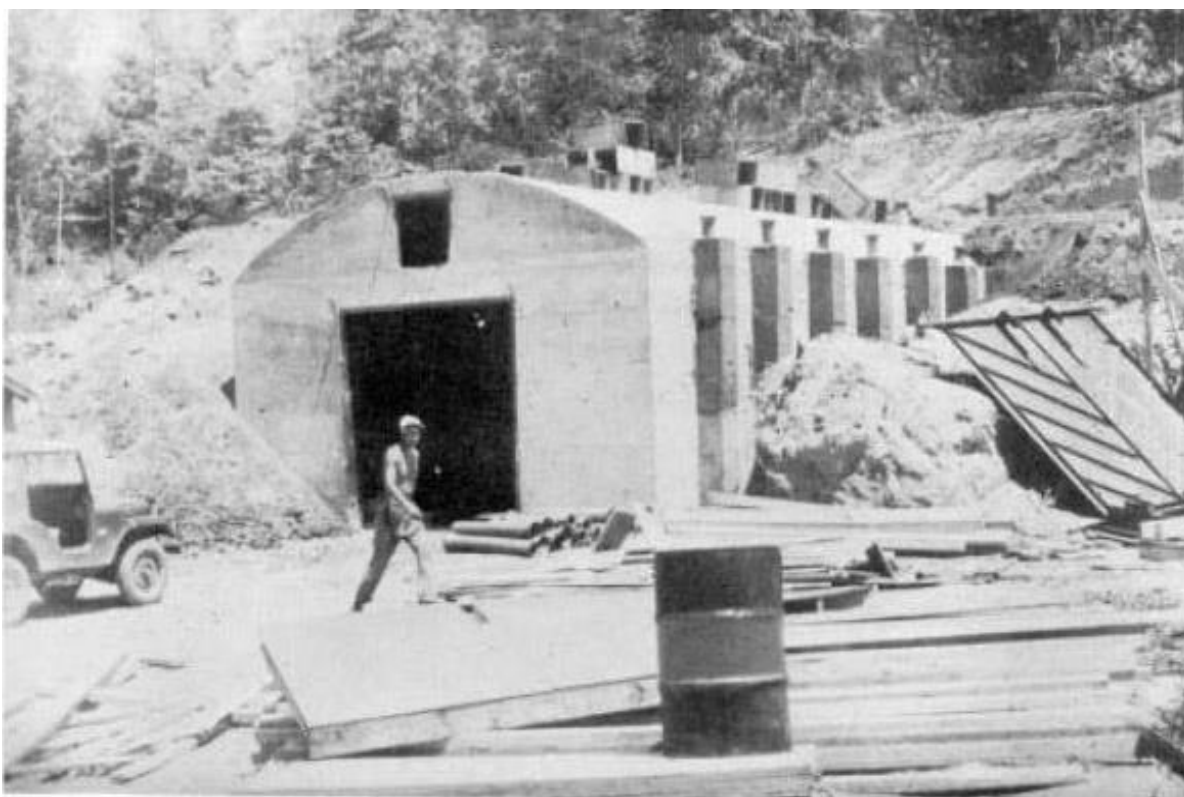
*Continuous operation  
Wood moves down in  
countercurrent with hot flue  
gases from combustion of  
pyrolysis gas  
Cool charcoal is retrieved at  
the bottom through a lock  
mechanism  
Pyrolysis liquid are  
condensed and used as by-  
product  
Pyrolysis gas is heated in the  
bottom section then burned*

- مزایا و معایب تهیه ذغال به شیوه "ذغال سازی سریع" :
- (۱) بکارگیری شیوه "انباشت" یا "شارژ یکباره" (batch)
  - (۲) بارگذاری (شارژ) بیوماس در محفظه قوطی مانند (canister)
  - (۳) تولید ۱۰ تن ذغال در روز
  - (۴) حرارت دهی به میزان ۳۵۰ درجه سانتیگراد
  - (۵) ایجاد فشار ۰/۷ مگاپاسکال به مدت ۳۰-۹۰ دقیقه
  - (۶) راندمان تولید ذغال ۴۰-۵۰ درصد
  - (۷) تثبیت کربن به میزان ۷۰-۸۰ درصد
  - (۸) بکارگیری مواد پس سوز برای تولید قطران (tar)
  - (۹) حذف دود از خروجی سیستم
  - (۱۰) هزینه احداث سیستم حدوداً ۲۰۰ هزار دلار (۱).



### تأثیر توسعه صنایع بر روند تولید ذغال چوب :

در طی دوران مستعمراتی به تهیه ذغال چوب از طرق ساده ای نظیر : کوره های حفر چاله ای (pit kilns) و کوره های انباشت روزمینی (earthen kilns) اقدام می ورزیدند، تا کربن مورد نیاز برای صنایع ذوب فلزات را فراهم سازند. البته چنین روش هایی تاکنون نیز تداوم یافته اند. بعدها در پایان قرن نوزدهم، میزان تولید ذغال چوب برای رفع نیازهای صنایع متالورژی به حدود ۱۷۱ هزار تن در سال افزایش یافت. این میزان ذغال چوب عمدتاً از طریق کوره های کندویی (beehive type) حاصل می آمدند، که جایگزین کوره های چاله ای شده بودند.

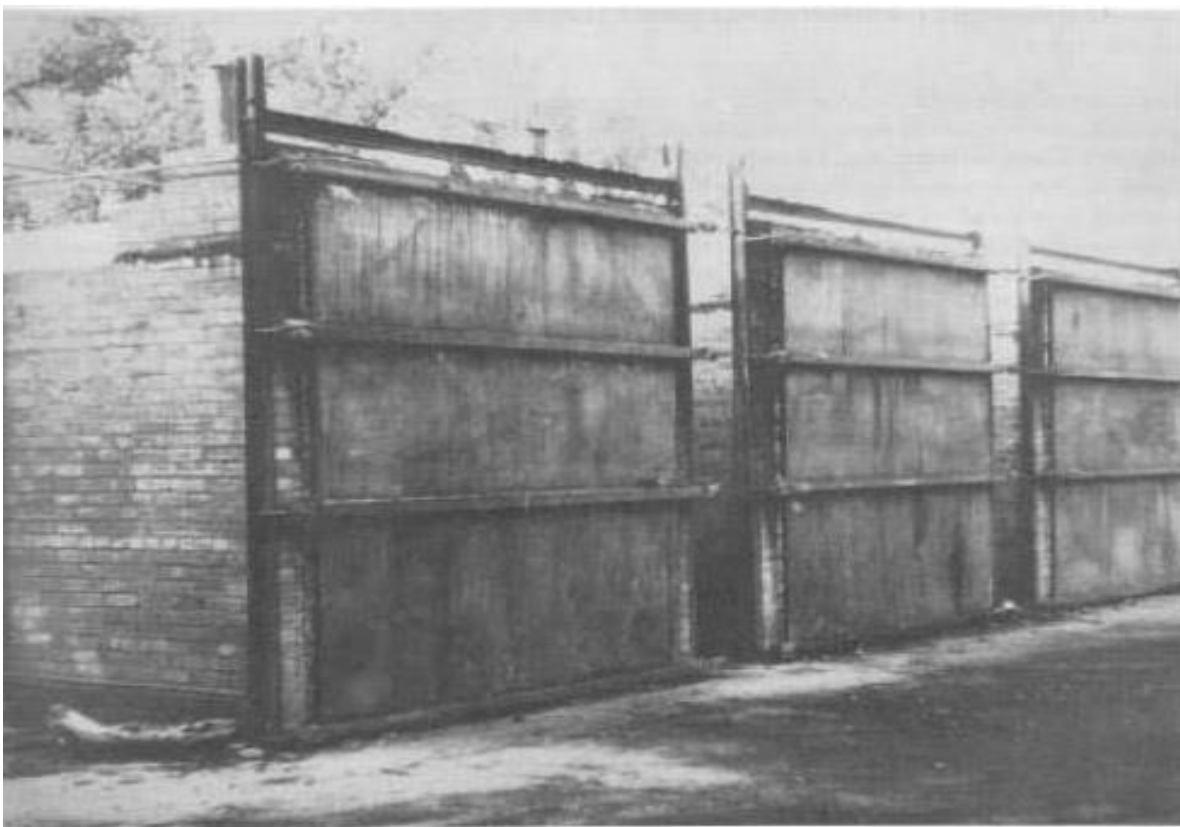


Concrete kiln of 100-cord capacity.

تولید ذغال چوب به دلیل کسادی بازار آمریکا در سال ۱۹۳۵ میلادی به ۶ هزار تن نزول یافت اما بلافاصله به ۵۵ هزار تن در سال بعد صعود نمود.

در سال های ۱۸۹۰ میلادی مرتباً بر نیاز به ذغال چوب برای تأمین انرژی صنایع نساجی (textile manufacture) و صنایع نوشابه سازی (crude liquore) برای تصفیه تقطیری اسید استیک و متانول افزوده گردید.

میزان تولید ذغال چوب در سال ۱۹۰۹ میلادی به اوج رسید آنچنانکه بیش از ۵۵۰ هزار تن با استفاده از انواع کوره ها (kilns) و کارخانجات بازیافت (recovery plants) حاصل آمد. میزان تولید ذغال چوب در فاصله سال های ۴۰-۱۹۱۰ میلادی نزول یافت و به حد ۲۵۰ هزار تن رسید، که عمدتاً به مصارف کارخانجات شیمیایی و ذوب فلزات می رسید. سطح تولید ذغال چوب در طی سال ۱۹۴۵ میلادی در حد ۲۱۳ هزار تن و طی سال ۱۹۵۶ میلادی در حد ۲۶۵ هزار تن در نوسان بوده است (۲).



Commercial, rectangular brick kiln with steel doors.

## چگونگی تولید ذغال چوب :

بشر از هزاران سال پیش به استفاده از ذغال چوب برای پالایش فلزات و پخت و پز پرداخته است. حتی امروزه نیز بیشترین کاربرد ذغال چوب در ایالت پنسیلوانیای آمریکا برای بکارگیری در کوره های ذوب فلز به منظور گداخت شمش های آهن حاصل از معادن اطراف می باشد (۴).

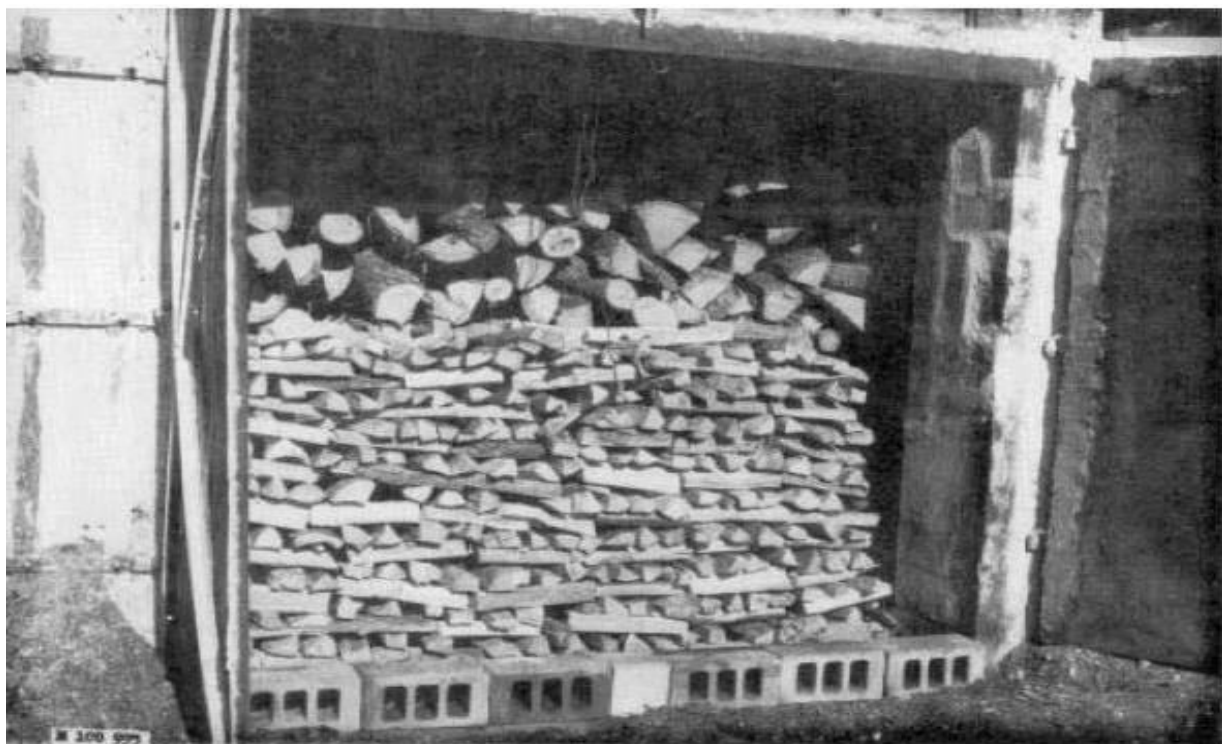
ذغال های چوب عمدتاً در اراضی جنگلی حاصل می آیند، بطوریکه در هر وهله افروختن (burn) کوره ها بطور متوسط از ۲۰ "کورد" (cord) چوب بهره می برند. هر "کورد" هیزم دارای حجم ۶/۳ مترمکعب یعنی توده ای به طول ۴/۲ متر ، پهنای ۲/۱ متر و ارتفاع ۳/۱ متر می باشد (۴).

تولیدکنندگان ذغال چوب در سراسر سال و در طی ۳ مرحله به تولید ذغال می پردازند :

۱) قطع درختان مورد نظر (cutting)

۲) کپه کردن چوب ها (stacking)

۳) ذغال سازی (coaling) (۴).



- Fuel stacked for ignition of kiln charge of green wood.

به مرور زمان مواردی چون ذغال سنگ و الکتریسیته به دلایلی چون : ارزانی و سهولت بکارگیری توانستند جایگزین بخش عظیمی از کاربردهای ذغال چوب گردند.

"هنری فورد" از مخترعان مشهور اتومبیل های شخصی در زمره افرادی بود که حیاتی دوباره به ذغال چوب بخشید و آنرا بعنوان سوخت مناسب اجاق های کباب پزی (barbeque grills) مطرح ساخت. کارخانه چوب بری "هنری فورد" در ایالت "میشیگان" آمریکا به تهیه قطعات چوبی جهت بدنه اولین اتومبیل های "فورد" می پرداخت. او برای استفاده از ضایعات چوبی که قاعدتاً در کارخانه اش برجا می ماند، به احداث یک کارخانه شیمیائی مبادرت ورزید، بطوریکه آنرا در سال ۱۹۲۴ میلادی افتتاح کرد.

کارخانه شیمیائی "فورد" به بازیابی ضایعات چوب می پرداخت بطوریکه از هر تن تراشه های چوب (scrab wood) به عرضه برخی از تولیدات جانبی (by-product) قابل فروش می انجامید. بعنوان مثال از هر تن ذغال چوب حاصل از ضایعات در حدود ۶۱۰ پوند ذغال قالبی بدست می آورد، که با عنوان ذغال "فورد" (Ford charcoal) بفروش می رسیدند (۴).



- ذغال قالبی (charcoal briquette) را از فشرده سازی پودر یا خاکه های ذغال چوب (charcoal dust) با کمک مواد همبند یا چسباننده ای (binder) نظیر مواد زیر به دست می آورند :
- ۱) نیترات سدیم (sodium nitrate)
  - ۲) آهک (lime)
  - ۳) رس (clay)
  - ۴) نشاسته (starch)
  - ۵) مدفوع گاوها (cow dung) (۴).
  - ۶) پوره غده های گیاه "کاساوا" یا "مانیوک"
  - ۷) ریشه گیاه "تومب تومب"
  - ۸) اندام های گیاه سوسن آبی (lily) (۵).



آقای "فورد" با یک فعالیت مبتکرانه به تولید اجاق های کوچک قابل حمل اقدام ورزید. او آنها را همراه با بسته هایی از ذغال چوب بعنوان هدیه به خریداران اتومبیل ها می بخشید. اتومبیل های "فورد" بطور گسترده ای در سراسر کشور به فروش رسیدند و در پیک نیک ها به استفاده از اجاق های اهدائی پرداختند و بدین ترتیب تقاضاهای وسیعی برای ذغال چوب قالبی ایجاد کردند. بزودی ذغال های چوب قالبی مقبولیت بسیار

زیادی یافتند. این روند به شکل صعودی ادامه داشت، تا اینکه اجاق های جدید با مصرف گاز طبیعی یا پروپان اختراع شدند و با قیمت های مناسب در اختیار عموم قرار گرفتند (۴).

به هرحال ذغال را می توان از تمامی مواد حاوی کربن تهیه کرد. ذغال های سنتی را از چوب درختان فراهم می سازند. چوب ماده ای شگفت انگیز می باشد، که از تلفیق سلولز (cellulose) و لیگنین (lignin) حاصل گشته است. ترکیبات مذکور متشکل از اتم های : هیدروژن ، اکسیژن و کربن هستند. درختان همچون سایر گیاهان سبز می توانند از دی اکسید کربن و آب بعنوان مواد خام بهره گیرند و در ضمن واکنش های فتوسنتزی به ساختن سلولز و لیگنین دست یابند. درختان مواد سلولزی تولیدی را در افزایش ارتفاع و قطر (circumference) خودشان بکار می برند بطوریکه هر ساله بویژه در طی فصول بهار و تابستان به ایجاد لایه های دایروی جدیدی در مقطع عرضی ساقه هایشان می پردازند (۴).



برای تهیه ذغال چوب باید عناصر اکسیژن و نیدروژن را از ساختار سلولزی چوب درختان خارج ساخت، تا جائیکه فقط کربن باقی بماند. این فرآیند منحصراً از طریق حرارت دادن چوب ها با دماهای بیش از ۵۰۰ درجه فارنهایت حاصل می آید. بدین ترتیب پیوندهای شیمیایی موجود می شکنند (۴).

ذغال های چوب صرف نظر از اینکه از درختان سوزنی برگ (pine) و یا گردوی آمریکائی یا "هیکوری" (hickory) حاصل گشته باشند، عمدتاً از کربن ساخته شده اند و تنها تفاوتشان در تراکم ساختاری آنها است.

بعنوان مثال : هر "بوشل" (bushel) معادل ۸ گالن یا ۳۲ لیتر از ذغال چوب "هیکوری" در حدود ۲۵ پوند وزن دارد درحالیکه هر "بوشل" از ذغال چوب سوزنی برگ ها فقط ۱۳ پوند است.

البته برای تهیه وزن یکسانی از ذغال چوب درختان سوزنی برگ و "هیکوری" به میزان یکسانی از گرما نیاز می باشد (۴).



بسیاری از مردم برای پخت و پزهای خارج از خانه ترجیح می دهند، که از ذغال چوب حاصل از درختان "هیکوری" و سیب بهره گیرند زیرا طعم غذاها را تغییر نمی دهند. ذغال هایی که از چوب اینگونه درختان تهیه می شوند، فاقد کلیه مواد بخارشدنی هستند و فقط کربن خالص محسوب می گردند. برخی افراد نیز عقیده دارند، که اگر مقادیری از ذغال چوب حاصل از درختان "هیکوری" و سیب را به ذغال سنگ های داخل اجاق بیفزایند ، بر طعم غذاها از جمله استیک ها افزوده خواهد شد (۴).

چوب ها زمانی به ذغال نیمسوز (char) تبدیل می شوند، که دمایی بیش از ۵۰۰ درجه فارنهایت دریافت دارند. رطوبت داخل چوب ها در دمای بالاتر از ۲۱۲ درجه فارنهایت (۱۰۰ درجه سانتیگراد) به بخار آب تبدیل می گردند. بنابراین اگر از چوب های تازه و مرطوب برای ذغال سازی استفاده شود، یقیناً مقادیر زیادی از انرژی فقط برای تبخیر رطوبت چوب ها هدر خواهد رفت. با این وصف برای جلوگیری از هدر رفتن انرژی بهتر است، درختان مورد نظر را در طی تابستان قطع نمود و آنها را برای مدتی در معرض تابش خورشید قرار داد، تا بخوبی خشک گردند و به رطوبت کمتر از ۲۰ درصد برسند. این قبیل چوب ها در فصل ذغال سازی به انرژی کمتری نیازمندند و سریع تر کربونیزه ی گردند (۴).

"جدول ۵) راندمان تولید ذغال بر اساس مقدار رطوبت چوب ها (۴):"

| رطوبت چوب<br>(%)   | ۱۲ | ۱۵ | ۲۰ | ۴۰ | ۶۰ | ۸۰ | ۱۰۰ |
|--------------------|----|----|----|----|----|----|-----|
| عملکرد ذغال<br>(%) | ۹۹ | ۹۳ | ۷۶ | ۵۹ | ۴۴ | ۳۸ | ۳۵  |

مهمترین نکات لازم برای تهیه ذغال چوب به شرح زیر می باشند :

۱) هیچگاه از چوب های تازه و آبدار برای تهیه ذغال بهره نگیرند زیرا :

الف) به تولید ذغال های مرغوب منتهی نمی شوند.

ب) انرژی فراوانی می طلبند.

پ) دود بسیار زیادی ایجاد می کنند.

۲) با قرار دادن لوله ها یا استوانه های آتش افروز (afterburner) بر روی توده های در حال سوختن می توان از میزان دود حاصله به شدت کاست.

۳) هیچگاه از چوب های رنگ شده و یا فرآیند یافته برای تولید ذغال ها بویژه در کاربردهای آشپزی استفاده نکنید زیرا بقایای نامطبوعی در ذغال باقی می مانند، که حتی می توانند سمی باشند.

۴) هیچگاه ذغال های تازه را بسته بندی نکنید زیرا ممکن است، بخوبی سرد نشده باشند و ایجاد آتشسوزی نمایند لذا حداقل ۲۴ ساعت پس از خروج ذغال های چوب از درون کوره ها، صبر کنید، تا مانع بروز خطرات احتمالی گردید.

۵) پروسه ذغال سازی باعث تولید مقادیر زیادی گرما و منواکسید کربن می شود، بطوریکه شعله ها ممکن است، تا ارتفاع ۱۵ فوت برسند و کوره کاملاً قرمز گردد لذا بهتر است کوره ها را حداقل با فاصله ۲۰ فوت از ساختمان های مسکونی و سایر ابنیه استقرار بخشید.

۶) در صورتیکه قادر به رعایت احتیاطات لازم نیستید، هیچگاه مستقلاً اقدام به تهیه ذغال چوب ننمائید(۴).



کاربران معمولاً از ۲ روش برای تبدیل چوب به ذغال بهره می گیرند :

(۱) روش مستقیم (direct process)

(۲) روش غیر مستقیم (indirect process) (۴).

در روش مستقیم اقدام به سوزاندن (baking) چوب ها در ظروف گود تا استوانه ای (vessel) نسبتاً محفوظ از جریان هوا می نمایند. این روش دارای بالاترین میزان عملکرد ذغال چوب است اما نیازمند تبخّر بیشتری نیز می باشد.

بدین ترتیب چوب ها را در شیوه مستقیم بدون بکارگیری کوره ها و در داخل ظرفی می سوزانند، که از قابلیت کنترل نسبی اکسیژن برخوردار باشند. این شیوه بسیار ساده تر از روش های دیگر است، بطوریکه آنرا بخوبی می توان در حیاط خانه ها برای تهیه ذغال چوب مصرفی خانوار بکار گرفت (۴).



در روش غیر مستقیم از انواع کوره ها (kiln ، retort) استفاده می شود. کوره هایی که در این روش استفاده می شوند، شامل بشکه های استوانه ای (vessel) و یا کوره های اتاقکی (chamber) هستند، که با استفاده از گرما برای تجزیه (decomposed) و یا تقطیر (distilled) برخی مواد خام استفاده می

شوند. در واقع در روش غیر مستقیم نیازمند محفظه ای (container) برای قرار دادن چوب ها می باشد، تا چوب ها در اثر حرارت به نیمسوز تبدیل گردند. برای این منظور می توان از سطل های یک گالنی تا مخازن فلزی ۱۰۰۰ گالنی بهره گرفت، که بستگی به امکانات قابل دسترس و حجم ذغال مورد نظر دارد (۴).



کوره ها لاجرم باید دارای کف (bottom) و درپوش (lid) مناسب باشند، تا بدینوسیله بتوان میزان اکسیژن ورودی به محفظه اشتعال چوب ها را کنترل نمود. در صورتیکه بشکه های (drum) فلزی مناسبی را در اختیار دارید، می توانید به ایجاد حفره ای به قطر ۲۰ اینچ در یکسوی آن اقدام نمایید و پس از آتش زدن چوب ها با قطعه ای فلزی به قطر ۲۲ اینچ به بستن حفره مبادرت ورزید. آنگاه با اسکنه (chisel) به ایجاد ۱۲ شکاف (slots) یا روزنه در اطراف قاعده بشکه مبادرت ورزید. هر شکاف باید در حدود ۲ اینچ پهنا داشته باشد و لبه های شکاف به سمت خارج از بشکه متمایل گردند. بدین ترتیب در مواقع لزوم به منظور تنگ کردن شکاف ها از طریق بهم آوردن لبه های خارجی و یا با کمک مواد ضایعاتی (dirt) می توان ورود هوا به درون بشکه را کاهش داد و نتیجتاً شدت سوختن چوب ها را کنترل نمود.

علت اینکه شکاف ها را به طریقی ایجاد می کنند، که لبه های آنها به سمت خارج متمایل باشد، اینکه برای تنگ کردن شکاف ها از امکانات موجود و حداقل مواد ضایعاتی استفاده شود (۴).

در استفاده از کوره های بشکه ای می توان از بشکه های دیگری نیز برای افزایش فضای کاربری و حجم مازاد بهره گرفت. برای این منظور باید بخش های زیرین و زیرین بشکه دوم را برید و آنرا بعنوان یک استوانه بر روی بشکه قبلی مستقر ساخت. در اطراف بشکه دوم نیز همانند بشکه اول باید شکاف هایی ایجاد نمود، تا اکسیژن لازم برای سوختن قطعات چوب داخل بشکه ها فراهم گردد (۴).



بشکه ها را با چوب های ضایعاتی خشک مملو می سازند. تکه های چوب می توانند از انواع درختان "نرم چوب" یا "سخت چوب" انتخاب گردند. بهتر است قطعات چوب قطورتر از ۳ اینچ نباشند زیرا قطعات کلفت تر به زمان بیشتری برای نفوذ حرارت به بخش های داخلی نیازمندند. قطعات کلفت تر را بهتر است در بخش های زیرین بشکه ها قرار دهید و قطعات نازک تر را بر روی آنها بگذارید. حدامقدور چوب ها را بصورت متراکم جاسازی کنید. برای این منظور باید بشکه ها را اندکی بلرزانید، تا قطعات چوب بنحو بهتری در داخل آن مستقر گردند و فضاها را به خوبی پر کنند.

در این هنگام می توان بشکه را افروخت و سپس بشکه دوم (after burner ، burner barrel) را بر روی بشکه اول (bottom barrel) مستقر ساخت و از چوب های ضایعاتی مملو نمود. همچنان که دود از بشکه خارج می شود، اکسیژن مورد نیاز نیز از طریق شکاف ها به داخل بشکه جریان می یابد و باعث سوختن و شعله وری (flare off) چوب ها می گردد. مقدار دود حاصله زمانی در حداقل میزان خواهد بود، که از چوب های خشک سود جویند. هیچکدام از ذغال هایی که در لایه های بالایی بشکه قرار می گیرند، بطور کامل نخواهند سوخت زیرا در حمامی از بخار آب و دی اکسید کربن واقع می شوند. تمامی اکسیژن ورودی به مصرف سوزاندن چوب هایی می رسند، که به تدریج از حجم آنها کاسته می گردد و به سمت پائین کشیده می شوند.



حدوداً ۳ ساعت طول می کشد، تا چوب های درون بشکه بسوزند و تبدیل به نیمسوز گردند اما افراد باید بعد از هر یک ساعت به بررسی وضعیت سوختن چوب ها بپردازند. در صورتیکه وضعیت شعله ها در یک طرف بشکه بسیار شدید باشد، باید شکاف های آن طرف را اندکی تنگ تر نمود. بدین طریق شعله های مزبور را مجبور می سازید، تا اکسیژن مورد نیازشان را از شکاف های دیگر تأمین کنند، که نتیجتاً به تغییر روال سوختن چوب ها می انجامد. بعد از ۲ ساعت می توانید بشکه فوقانی را بردارید، تا قادر باشید روند ذغال شدن را در درون بشکه زیرین نظاره گر باشید.

توجه داشته باشید که بشکه فوقانی بسیار داغ و مملو از گازهای فرار است بنابراین برای برداشتن آن باید از دستکش و ماسک مناسب بهره گیرید. دستکش هایی که از الیاف مصنوعی تهیه می شوند، در برابر حرارت ذوب می گردند ولیکن دستکش هایی که از الیاف گیاهی و چرم طبیعی هستند، برای این منظور مناسب ترند. همواره مراقب باشید زیرا دمای گاز و بشکه تهیه ذغال آنچنان زیاد است، که حتی می تواند به سوختگی درجه ۳ منجر شود.

بهتر است صورت خود را از بشکه ها دور نگه دارید و آنرا در مقابل وزش باد قرار ندهید، تا گازهای داغ به طرف صورت شما نوزند. همچنین گازهای داغ می توانند موجبات سوختگی موهای سروصورت شما را فراهم سازند.

بهتر است با یک میله بلند تمامی چوب هایی که هنوز نسوخته اند و به ذغال تبدیل نشده اند، به جوانب بشکه بکشانید تا اکسیژن کافی دریافت دارند.

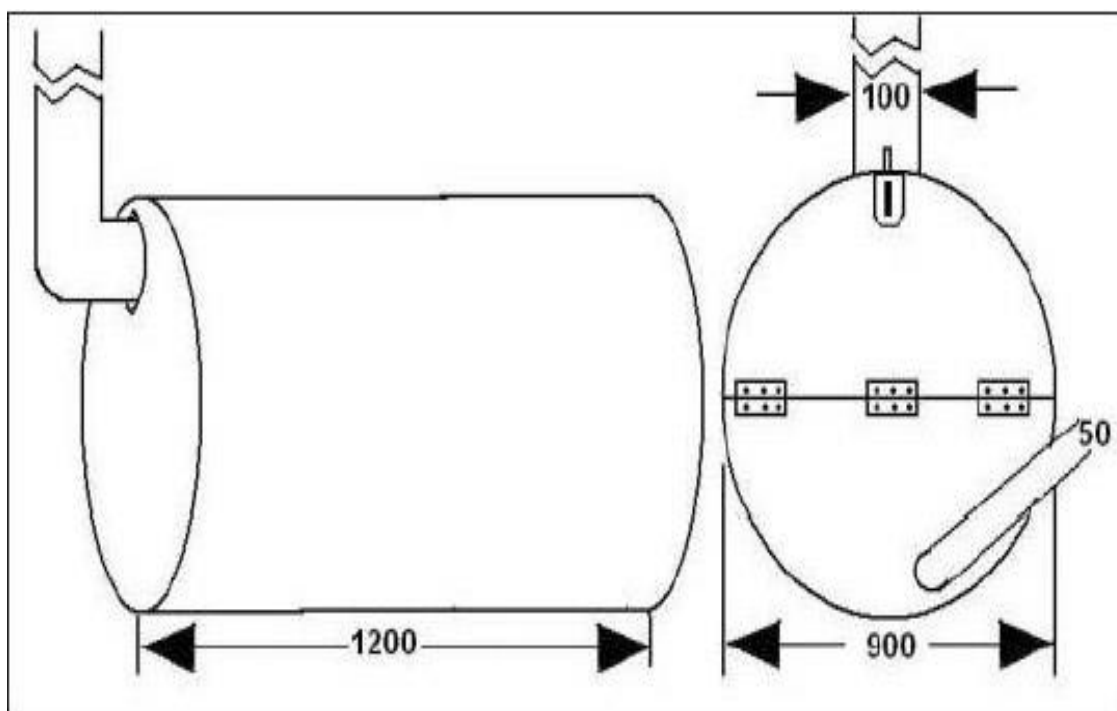
بشکه زیرین را آزاد سازید بطوریکه جوانب آن در معرض جریان هوا قرار گیرند و سریعاً خنک شوند. متوجه باشید که تولید قطعات کوچک ذغال بر ذغال های خیلی بزرگ ارجح هستند.

در این هنگام شکاف های زیرین و دریچه فوقانی بشکه را کاملاً مسدود سازید، تا هیچگونه اکسیژنی وارد محفظه نگردد.



برای خنک شدن بشکه حداقل به یک شب زمان نیاز می باشد.  
 کمیت و کیفیت ذغال حاصله به وضعیت مسدود ساختن شکاف ها و دریچه فوقانی بشکه زیرین پس از برداشتن بشکه فوقانی بستگی دارد.  
 ذغال های تازه از احتمال آتش گرفتن مجدد برخوردارند لذا تا ۲۴ ساعت از قرار دادن آنها درون پاکت ها و کارتن های قابل اشتعال خودداری ورزید.

ذغال های تازه موجب جذب اکسیژن هوا می شوند و بدین ترتیب بر حرارتشان افزوده می گردد لذا امکان احتراق خودبخودی (spontaneous combustion) آنها وجود دارد.  
 در بین ذغال ها ممکن است چوب های نسوخته ای یافت گردند، که به آنها نیمسوز (brands) اطلاق می گردد. از نیمسوزها می توان برای دفعات بعدی تولید ذغال بهره گرفت (۴).



Schematic drawing of charring kiln for agricultural residues (dimensions in mm)

## دانش و مهارت ذغال سازی چوب ها :

اصولاً ذغال های چوب را از دو طریق زیر تهیه می کنند :

(۱) ذغال سازی به شیوه سنتی :

در این روش، ذغال چوب را بطور سنتی از درختان جنگلی (forest wood) تهیه می کنند. برای این منظور درختان را پس از قطع کردن وقطعه قطعه نمودن می سوزانند، تا ذغال سنتی (traditional charcoal) حاصل آید (۳).

(۲) در روش دوم به تهیه ذغال از بقایای کشاورزی (agricultural residues) و ضایعات (waste) باغبانی نظیر : ساقه ها (stems) و شاخه هایی (twigs) که پس از هرس و یا قطع درختان نامطلوب باغات مثمر و غیر مثمر برجا می مانند، برای سوزاندن و تهیه ذغال پایدار (sustainable charcoal) می پردازند (۳).



از جمله محصولات زراعی معمولی که از ساقه های آنها برای تهیه ذغال پایدار استفاده می شود، می توان به سویا یا سوژا (soybean) و نخود کفتری (pigeon pea ، red gram) اشاره نمود (۳).

بسیاری از انواع چوب ها از قابلیت تبدیل شدن به ذغال برخوردارند ولیکن موضوعات زیر حائز اهمیتند :

(۱) چوب های نرم (soft wood) تولید ذغال های نرم و پوک (soft charcoal) می نمایند، که بسیار سریع می سوزند و خاکستر می گردند.

(۲) روشی که برای استفاده از چوب های نرم بکار می رود، با شیوه بکارگیری چوب های سخت (hard wood) نسبتاً متفاوت است زیرا چوب های سخت متراکم تر هستند و کندتر می سوزند (۳).



-Ceramic kilns converted for charcoal manufacture.

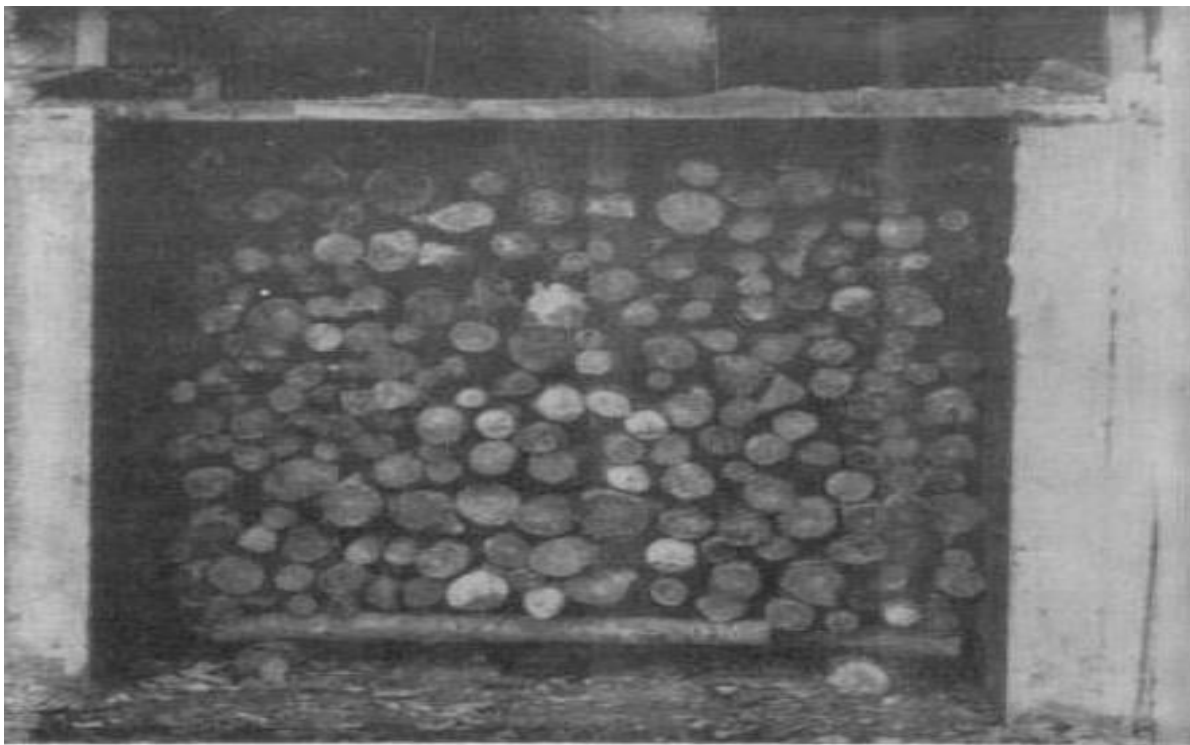
بطور معمول از گرما و آتش برای تبدیل چوب و ضایعات کشاورزی به ذغال سود می جویند. میزان اشتعال در این روش با تنظیم مقدار هوایی که اجازه ورود به کوره ذغال سازی را می یابد، کنترل می شود.

این روش ذغال سازی که سابقه ای دیرین دارد، توسط ذغال گیرهای (colliers) سنتی استفاده می گردد، تا به طرق زیر به ذغال دست یابند :

- ۱) ذغال گیری چاله ای (pit)
- ۲) ذغال گیری پشته ای (clamp ، pile)
- ۳) ذغال گیری با بشکه های فلزی (metal chamber)
- ۴) ذغال گیری در اتاقک های بنایی (kiln ، masonry chamber) (۳).

عوامل بسیاری طی فرآیند کربونیزاسیون چوب ها بر کیفیت ذغال حاصله تأثیر می گذارند که عبارتند از :

- ۱) مقدار رطوبت مواد اولیه (initial moisture content)
- ۲) ترکیبات بیوماس (biomass composition)
- ۳) رطوبت نسبی محیط (humidity)
- ۴) دمای پیرامون (ambient temperature) (۳).



- Sticks piled for kiln charge.

ذغال هایی که در این شیوه ها از چوب و ضایعات کشاورزی حاصل می آیند، فقط از ۲۵-۲۰ درصد وزن مواد خام مصرفی برخوردارند. بعلاوه ذغال های قالبی نیز که از ذرات سیاه و بسیار کوچک کربن (خاکه ذغال) تولید می شوند، دارای وزن و تراکم کمی هستند و به آسانی مشتعل می گردند (۳).



چوب ها در اثر فرآیند احتراق یا اشتعال (combustion process) می سوزند. بر این اساس زمانیکه چوب ها در فضای باز و در مجاورت هوای آزاد سوزانده میشوند، به جهت اینکه از کربن ، هیدروژن و نیتروژن ترکیب یافته است، در اثر اکسیده شدن (ترکیب با اکسیژن) تولید نور و گرما می نمایند. دود (smoke) که از سوختن چوب ها حاصل می آید، مشتمل بر مواد بخار شدنی و ذرات جامد چوب می باشد. نتیجه چنین فرآیند بدون کنترلی را خاکستر (ash) تشکیل می دهد، که سرشار از کربنات پتاسیم می باشد (۳).

متقابلاً ذغال چوب زمانی بدست می آید، که ماده سوختنی (چوب) به صورت کامل نسوزد، که اصطلاحاً به آن "احتراق ناقص" یا "اشتعال ناقص" (incomplete combustion) می گویند.

در ضمن فرآیند ذغال سازی ، تمامی مواد بخار شدنی (volatile matter) چوب ها بجز کربن آزاد می گردند و کربن موجود به شکل ذغال و مقادیری خاکستر برجا می ماند (۳).

زمانیکه مواد چوبی تحت دمای ۳۰۰-۲۵۰ درجه سانتیگراد و بالاتر قرار می گیرند، به سه عنصر زیر تجزیه می شوند :

(۱) گازها (gases)

(۲) بخار آب (vapours)

(۳) مواد جامد (solids) (۳).



اشتعال ناقص چوب که در اثر محدود سازی هوای قابل دسترس وقوع می یابد، باعث می شود که عناصر بخار شدنی چوب به شکل دود در آیند و متعاقباً از کوره ذغال سازی بگریزند.

دودهایی که از کوره ذغال سازی خارج می گردند، شامل اجزاء زیر هستند :

الف) گازهای غیر قابل تغلیظ (non-condensable gases)

ب) بخارات قابل تغلیظ (condensable vapours) (۳).

مهمترین گازهایی غیر قابل تغلیظ که در دود حاصل از اشتعال چوب وجود دارند شامل :

منواکسید کربن ، اکسیژن و نیتروژن هستند (۳).

مهمترین بخارات قابل تغلیظ موجود در دود حاصل از اشتعال چوب عبارتند از :

۱) اسیدهای چوب (water acids)

۲) الکل (alchols)

۳) قطران (tar)

۴) روغن (oil)

۵) سایر ترکیبات آلی (organic compounds) (۳).

فقط مقدار اندکی از گازها و بخارات موجود در چوب همچنان در داخل ذغال های حاصله باقی می مانند.

ذغالی که در اثر اشتعال ناقص مواد چوبی بدست می آیند، از ۷۵-۹۵ درصد کربن تشکیل یافته اند.

پس از فرار اکثریت گازها و بخارات که به شکل دود و در اثر سوختن چوب انجام می پذیرد، ذغال باقیمانده

می تواند به عنوان یک منبع مؤثر و مطمئن برای تولید روشنایی و گرما بکار رود (۳).

تبدیل چوب به کربن از دمای ۲۵۰ درجه سانتیگراد آغاز می گردد ولیکن چنین دمائی فقط در وضعیت عدم

کنترل ورود هوا به محفظه ذغال گیری حادث خواهد شد. دمای محفظه در نتیجه عدم محدودسازی به ۴۰۰

درجه سانتیگراد افزایش می یابد و بدین ترتیب کربونیزاسیون یا ذغال شدن و خاکستر شدن آنها به سرعت

انجام خواهد گرفت (۳).

اصولاً ساختار کوره های ذغال سازی حائز اهمیت می باشد. این ساختار باید به گونه ای طراحی گردد، که

امکان کنترل سرعت اشتعال بوجود آید، تا به موقع پس از وثوق تبدیل تمامی مواد چوبی به ذغال بتوان

فرآیند ذغالی شدن را متوقف ساخت (۳).

کوره های ذغالی که از بشکه های فلزی ۲۲۰ لیتری نفت و یا تانک های فلزی استوانه ای ساخته می شوند، اصولاً دارای دو لوله خمیده در بخش پائینی و بالائی هستند، که اولی برای ورود هوا به بخش های زیرین توده در حال سوختن و دیگری برای خروج دودهای حاصله هستند (۳).

کوره های بشکه ای را در صورت دلخواه می توان تماماً در داخل خاک مدفون ساخت، بگونه ای که فقط انتهای دودکش و بخش ابتدائی لوله هواده در خارج از خاک باقی بمانند. در این روش نیز تمامی جوانب کوره را عایق می نمایند، تا گرمای حاصل از احتراق در درون آن حفظ گردد. ارتفاع دودکش بهتر است، در حدود ۱۵۰-۱۸۰ سانتیمتر بالاتر از سطح خاک قرار گیرد، تا کارگران مستقیماً در معرض دودهای خروجی از کوره قرار نگیرند. لوله های دودکش باید به صورت قابل تفکیک باشند، تا در مواقع لزوم به حذف انتهایی آن اقدام شود و درجه خروج گاز بلافاصله مسدود گردد (۳).



Portable, sectional sheet-metal kiln.

مراحل پُر کردن و افروختن مواد خام داخل کوره باید بخوبی مدیریت شوند. برای این منظور ضایعات کشاورزی نظیر ساقه ها و شاخه های خشک را جمع آوری و آماده می سازند. درب نیمه مدور جانبی کوره بشکه ای را می گشایند و مقداری از ضایعات کشاورزی را به درون کوره وارد می سازند، بطوریکه تمامی حجم کوره را اشغال نمایند. گاهی بهتر است شاخه های درختان را به قطعات کوچکتری تبدیل ساخت، تا به راحتی در داخل کوره قرار گیرند. پس از بارگذاری مواد خام در داخل کوره بشکه ای باید آنرا افروخت. برای این منظور تکه ای کاغذ یا علوفه خشک را مشتعل ساخته و به داخل کوره می اندازند، تا ضایعات کشاورزی درون آنرا مشتعل سازد. روند شعله وری مواد تا آنجا ادامه می یابد، که تمامی مواد مزبور به ذغال داغ و نیمسوز (embers) تبدیل گردند. در این موقع باید مواد ضایعاتی دیگری نیز به داخل کوره اضافه گردند، تا مجدداً پُر شوند. برای این منظور می توان از میله های بلند (stout pole) بهره جست (۳).



Brick beehive kilns—large-scale conversion of low-grade wood.

بدین ترتیب با خروج دود سفید رنگ غلیظی از کوره مواجه می شوید، که بیانگر فرار گازهای تبخیر شونده ناشی از سوختن مواد خام است.

در این زمان درب لولائی را می بندند و کوره را به همان حالت باقی می گذارند، تا مواد باقیمانده کناره ها نیز بسوزند.

به دلیل اینکه درب ورودی کوره کاملاً مسدود نمی گردید، بنابراین مقدار اندکی از هوا همچنان به درون کوره جریان می یابد و فرآیند اشتغال ناقص تداوم می پذیرد آنچنانکه می توان ادامه خروج دود از دودکش را شاهد بود (۳).

برای تبدیل ضایعات کشاورزی نظیر ساقه های گیاه "نخود کفتری" به ذغال نیمسوز حدوداً ۹۰-۱۲۰ دقیقه زمان نیاز می باشد.

زمان دقیق اتمام فرآیند اشتعال ناقص را می توان از رنگ دودهایی که از دودکش خارج می شوند، تشخیص داد.

دقیقاً زمانی که تمامی مواد ضایعاتی کناره های کوره بسوزند و مواد فرار ترکیبات آنها از دودکش خارج گردند آنگاه رنگ دود از سفید به خاکستری و سپس به سیاهی می گراید (۳).

پس از اتمام مرحله کربونیزاسیون چوب ها باید نسبت به قطع فرآیند ذغال سازی اقدام ورزید. برای این منظور باید ۲-۳ کیسه شن را بکار گرفت و همین میزان شن را بعنوان ذخیره در اختیار داشت. برای مدیریت عملیات ذغال گیری لزوماً باید از دستکش های عایق حرارتی بهره گرفت (۳).

آنگاه که تمامی مواد داخل کوره ذغال سازی بسوزند و به نیمسوز های داغ تبدیل گردند، دود خروجی از دودکش به کلی ناپدید می شود و فقط جریانی از همرفت گازهای داغ مشهود می باشند.

در این مرحله تمامی هوایی که به داخل کوره جریان می یابد، باید بکلی قطع گردد. برای این منظور ابتدا کیسه شن را در جوار دریچه ورودی کوره قرار می دهند و آنرا با بیل می فشارند، تا به انسداد کامل مجرا کمک گردد.

سپس بخش های انتهایی دودکش را با کمک دستکش عایق بر می دارند و روی مجرای آنرا با درپوش فلزی یا سنگ می بندند.

لوله ای که باعث هوارسانی به بخش های زیرین مواد داخل کوره می شوند، باید به طریق مقتضی مسدود می گردد. بدین ترتیب تمامی راههای ورود هوا به داخل کوره ذغال سازی قطع می شوند (۳).

در صورتیکه همچنان کمترین میزان ورود هوای اطراف به داخل کوره ذغال سازی وجود داشته باشد، موجب تبدیل شدن ذغال ها به خاکستر خواهد شد.

در پایان ، کوره ها را برای مدت ۵-۶ ساعت به حال خود رها می سازند، تا خنک گردد. توصیه می شود که هیچگاه بلافاصله پس از قطع روند ذغال سازی نسبت به گشودن کوره اقدام نشود زیرا ذغال های نیمسوز هنوز گرم هستند و ممکن است پس از خروج از کوره و قرار گرفتن در معرض اکسیژن هوا مجدداً شعله ور گردند و احیاناً حوادث ناگواری را بوجود آورند. برای تخلیه ذغال از کوره به بیلچه ای با دسته بلند نیاز می باشد (۳).

باید توجه داشت که همواره مقادیری از چوب ها و ضایعات مصرفی درون کوره ها امکان اشتعال و سوختن را نمی یابند لذا به شکل نیمسوز باقی می مانند.

در بسیاری از موارد سعی گردد که چوب های ضایعاتی کشاورزی را قبل از گذاشتن در داخل کوره ذغال سازی بخوبی خشک نمایند.

اصولاً ضایعات کشاورزی چوبی حاوی ۵۰ درصد کربن و ۱۵ درصد رطوبت هستند. مابقی ترکیبات چوب های ضایعاتی را مواد ناخواسته ای چون: قطران ، الکل ، لیگنین و غیره تشکیل می دهند. حتی زمانی که کوره را کاملاً از ضایعات چوبی پر نمایند، هنوز هم فضاهایی در اطراف قطعات سوختنی باقی می مانند. همچنین شاخه ها در اثر سوختن به قطعات کوچکتری تبدیل می شوند لذا در پایان با کاهش حجم ضایعاتی که به ذغال تبدیل شده اند، مواجه خواهید بود (۳).

حتی در موفقیت آمیزترین فرآیند سوختن چوب ها درون کوره نیز با موارد زیر مواجه می گردید :

۱) تبدیل بخش کوچکی از چوب ها به خاکستر

۲) بخشی از چوب ها که در کناره های کوره قرار داشته اند، به دلیل عدم دسترسی به هوا و حرارت کافی نتوانسته اند به ذغال نیمسوز تبدیل گردند. چنین چوب هایی را می توان برای دفعات بعدی ذغال سازی بکار برد.

۳) بخشی از ذغال ها به خاکه تبدیل می گردند، که از طریق قالب گیری قابل استفاده خواهند شد (۳).

اصولاً ذغال هایی که طی فرآیند ذغال سازی از چوب های نرم و ضایعات کشاورزی حاصل می گردند، از تراکم بسیار کمی برخوردارند و به راحتی پودر می شوند و تبدیل به خاکه ذغال می گردند.

پودر یا خاکه ذغال بخوبی نمی سوزد و در این حالت فقط به تولید مقادیر کمی گرما در بخاری ها منجر می شود. بنابراین شایسته است که پودر ذغال را به صورت قالبی درآورند تا کارایی و دوام بیشتری داشته باشد. ذغال های قالبی را می توان در اشکال ، اندازه ها و تراکم های مطلوب تهیه نمود (۳).

برای تهیه ذغال های قالبی ابتدا باید با دستگاه آسیاب (grinder) به پودر کردن (powder) ذغال های خاکه ای (ground) پرداخت و آنگاه با یک عامل چسباننده یا همبند (binder ، bonding agent) می توان پودر ذغال را به شکل قالب دلخواه در آورد.

در بسیاری از موارد می توان از نشاسته جوشیده (boiled starch) و یا پهن تازه گاو (fresh cow dung) برای این مورد سود جست.

بکارگیری نشاسته برای این منظور ارجح تر است زیرا در زمان آتش زدن ذغال های قالبی تولیدی به دود کمتری منجر می شود درحالیکه بکارگیری پهن تازه گاو بویژه در ۱۰-۸ دقیقه ابتدائی اشتعال به تولید دود قابل ملاحظه ای می انجامد.

علیرغم اینکه پهن خشکیده گاوها در بسیاری از مناطق روستائی قابل دسترس است ولیکن ذغال های قالبی می توانند جایگزین آنها در فرآیند پخت و پز شوند زیرا گرمای بیشتر و دود به مراتب کمتری را در قیاس با آن تولید می کنند (۳).

برای اینکه ذغال های قالبی از استحکام کافی برخوردار باشند و تحمل حمل و نقل را بیابند، باید حدود ۵ درصد حجم آنها را مواد همبند تشکیل بدهند.

دستگاه قالب زنی ذغال ها (briquette) معمولاً از نوع تخلیه گر پیچشی است بطوریکه در یک سمت با مخلوط پودر ذغال و ماده همبند تغذیه می شود و از سمت دیگر به خروج ذغال قالبی می انجامد. قالب های ذغال تازه تولید را در فضای آزاد و در معرض تابش خورشید قرار می دهند، تا کاملاً خشک شوند. البته این روند بستگی کاملی به شرایط آب و هوائی منطقه دارد و می تواند ۲-۳ روز به درازا انجامد. میزان ضایعات ذغال در این روش بسیار کم است و ذغال های قالبی دارای بیشترین راندمان تولید انرژی می باشند (۳).

## روش های تولید کوره ای ذغال چوب :

سابقاً استفاده از کوره های چاله ای یا زیرزمینی (pith kilns) از شیوه های مدرن تولید ذغال چوب محسوب می شدند، بطوریکه هنوز گاهی در برخی نقاط جهان بکار گرفته می شوند. اغلب کوره های چاله ای از نیمه دوم قرن نوزدهم به فراموشی سپرده شدند و جای خود را به کوره های دیگری موسوم به کوره های کندونی (beehive kilns) دادند (۲).

قطعات چوب های سخت خشک شده را در کوره های چاله ای یا زیرزمینی معمولاً با طولی در حدود ۴ فوت و قطر تقریبی ۶-۸ اینچ و با ظرفیت ۵۰-۹۰ "کورد" (cords) {هر کورد معادل ۶/۳ مترمکعب} شارژ می کردند سپس مقادیری خاک را بر سطح چوب ها می پاشیدند تا بخوبی استحکام یابند و ایجاد چارچوبی محفظه مانند نمایند ولیکن خاک ها را متراکم نمی نمودند تا از جریان یافتن گازهای خروجی از لابلای چوب های مشتعل به خارج از کوره ممانعت به عمل نیاورند. برای تبدیل شدن ۵۰ "کورد" از چوب های مشتعل شده به ذغال چوب باید حدوداً ۲۰ روز صبر کنند و در نهایت به عملکرد نازل ذغال چوب دست یابند، که حدوداً ۷۰۰ پوند ذغال چوب از هر "کورد" چوب حاصل می گردید. این روش علاوه بر عملکرد پائین خواهان نیروی انسانی قابل توجهی نیز می باشد (۲).

کوره های کندونی آجری (brick beehive) با ظرفیت ۹۰ "کورد" و با طرح های غیر یکنواخت بکار گرفته می شدند. بزرگترین کوره های کندونی آجری دارای ارتفاع ۲۴ فوت و قطر ۳۰ فوت بودند، که از دیواره هایی با ضخامت ۱۲ اینچ بهره می بردند. آنها همچنین دارای سقف هایی گنبدی شکل (dome shaped) برای تسریع در خروج دود حاصل از فرآیند ذغال سازی بودند. برخی از کوره های کندونی هنوز در نقاطی از آمریکا فعالند (۲).

کوره های کندونی جنگل سیاه (BRFbk) در اوایل سال های ۱۹۳۰ میلادی ابداع گردیدند. آنها از ۱۶-۱۴ صفحه فلزی مدرج (gage sheet) ساخته می شدند و دارای قطر پایه ۷ فوت ، قطر ناحیه فوقانی ۴/۵ فوت و ارتفاع ۵ فوت بودند، که با ۴ درپچه ورود هوا و ۴ دودکش تجهیز می شدند (۲).

کوره های کندونی دارای ۳ بخش مجزا به ترتیب زیر هستند :

(۱) بخش قاعده (base)

(۲) بخش میانی (midsection)

(۳) بخش تاج (crow) (۲).

کوره های کندونی قابل حمل و نقل می باشند و از حجمی معادل ۱/۵-۱ کورد برخوردارند. آنها از هزینه مراقبت کم و قابلیت انتقال مناسب برخوردارند. امکان برنامه ریزی عملیاتی کوتاه مدت از جنبه های مثبت کوره های کندونی شمرده می شود.

کوره های کندونی ثابت با حجم ۷۵ "کورد" نیز احداث می گردند.

کوره های کندونی متحرک را از جنس فلز و کوره های کندونی ثابت را از آجر می سازند.

کوره های کندونی متحرک در قیاس با انواع آجری خواهان هزینه بیشتری به ازای هر "کورد" ظرفیت هستند (۲).

کوره های نوع "نیو همپشایر" (New Hampshire) در سال ۱۹۳۸ میلادی ابداع گردیدند. این کوره ها در زمره کوره های کندونی محسوب می شوند و دارای درپوش صفحه ای فلزی با قاب فوقانی (top plate) کم عمق هستند. طرح مزبور از قابلیت بلند کردن و جابجایی نیز برخوردار می باشد. برای جابجایی کوره های "نیو همپشایر" باید دیرک هایی را در زیر آنها قرار داد، تا حمل و نقل کوره امکانپذیر گردد. بخش آتشدان چنین کوره هایی از کارآئی مطلوبی برخوردار است (۲).

کوره های تلسکوپی (telescopic type) را به شکل مستطیلی و با صفحات فلزی می سازند بطوریکه بخش فوقانی موسوم به "حواشی بالدار" (edge-flanged) یا "دامن حاشیه دار" (overskirt) اندکی بزرگتر از بخش قاعده ای آنها است (۲).

کارخانجات تقطیر چوب یا WDP (wood distillation plants) نیز از سال های ۱۸۹۰ میلادی تأسیس شدند و بدین ترتیب منابع جدیدی برای تهیه ذغال های چوب فراهم گردیدند. این کارخانجات به منابع پایدارتری نسبت به کوره های ذغال سازی معمولی دسترسی داشتند (۲).

کارخانجات تهیه ذغال از مواد بازیافتی (recovery plants charcoal) به تعداد زیادی تاکنون ساخته شده اند، تا علاوه بر تولید ذغال چوب بتوانند فرآورده های جانبی نظیر : متانول ، اسید استیک و نظایر آنها را فراهم سازند.

تولید محصولات جانبی (byproducts) در کارخانجات ذغال بازیافتی علاوه بر فواید عمده ای که دارند، باعث کاهش هزینه های تولید ذغال می گردند.

تأسیس کارخانجات ذغال بازیافتی تا سال ۱۹۲۰ میلادی مداوماً گسترش یافت ولیکن در فاصله سال های ۴۰-۱۹۲۰ میلادی دچار رکود شد. در آن سال ها بسیاری از کارخانجات ذغال بازیافتی تعطیل شدند زیرا مواد مشابه دیگری با منشأ شیمیایی-صنعتی به بازار عرضه می گردیدند، که بهای ارزان تری نیز داشتند. سرانجام از سال های ۱۹۵۰ میلادی مجدداً بر ارج و قرب ذغال چوب بویژه انواع بازیافتی آن افزوده شد زیرا بازار جدید و گسترده ای برای آن به نام "کاربرد خانگی" با مصارف اجاق های کباب پزی (backyard barbecue) گشوده گردید (۲).

### تولیدات جانبی بازیافتی درختان سخت چوب :

حدوداً ۵۰ درصد ذغال های چوب تولیدی ایالات متحده آمریکا طی اواخر قرن بیستم از ۶ کارخانه تولیدات فرعی بازیافتی درختان سخت چوب حاصل می آمدند. چهار کارخانه از ۶ کارخانه مذکور به تولید اسید استیک و متانول می پرداختند درحالیکه کارخانه پنجم منحصراً به تولید متانول اقدام می نمود و کارخانه ششم به طرق غیر مستقیم به تدارک اسید استیک و استات سدیم همت می گمارد. در این کارخانجات، ذغال چوب را با کوره های (oven) ذغال سازی متداول ولیکن با شیوه ای متفاوت تولید می کردند (۲).

در تمامی ۶ کارخانه فوق الذکر مراحل عملیاتی به شرح زیر انجام می پذیرفتند :

- (۱) چوب ها را قبلاً خشک کرده و متعاقباً کربونیزه می نمودند.
- (۲) مایعات خام (crude liquid) حاصله را برای تهیه مواد بازیافتی دارای خلوص بالا تصفیه می کردند(۲).

## فرآیندهای حادث در کوره های ذغال :

مهمترین عملیات کوره های ذغال شامل فرآیند پخت (batch process) چوب ها می باشند. کوره های فلزی افقی که اخیراً برای این منظور ابداع شده اند، در حدود ۱۰ "کورد" از چوب های ضایعاتی را در خودشان جا می دهند. اینگونه کوره ها را غالباً به شکل زوج تعبیه می کنند و حرارت را به صورت آتش خارجی و از انتهای کوره وارد می سازند. ذغال چوب ، قطران و گازهای حاصل از فرآیندها در چنین کوره هایی تماماً قابل استفاده خواهند بود. دمای اینگونه کوره ها تا نهایت ۸۰۰ درجه فارنهایت کنترل می گردد. مدت ذغال سازی در حدود ۲۲-۱۸ ساعت دوام می پذیرد. حداقل ۴۸ ساعت برای خنک شدن ذغال های تولیدی لازم می باشد سپس ذغال ها باید به مدت ۴۸ ساعت دیگر در شرایط سایه و سرپوشیده نگهداری شوند، تا برای حمل و نقل بی خطر آماده گردند. در این شیوه، از هر "کورد" (۶/۳ مترمکعب) چوب سخت در حدود ۱۱۰۰-۱۰۰۰ پوند ذغال حاصل می شود. با توجه به اینکه هزینه روزانه هر "کورد" از ظرفیت کوره ها تقریباً ۳۵۰۰ دلار است لذا باید لااقل به فرآیند ۱۰۰ "کورد" در روز اقدام ورزند، تا از نظر اقتصادی مقرون به صرفه باشد (۲).

## فرآیندهای کوره های بشکه ای استافورد :

کوره های بشکه ای "استافورد" (Stafford retort) بطور وسیعی بعنوان کوره های ذغال سازی در سراسر جهان استفاده می شوند. مهمترین تفاوت ذغال سازی در بشکه های "استافورد" عبارت از : بکارگیری پشت سر هم و عمودی بشکه ها بدون گرمادهی کمکی می باشد. در این کوره ها از خُرده ها (chipped) ، تراشه ها (hogged) و قطعات کوچک چوب ها (small blocks) استفاده می گردد (۲).

خشک کردن چوب های مصرفی در بشکه های "استافورد" برای کاهش مقدار رطوبت (predrying) به منظور حصول فرآیندهای مطلوب ضرورت دارد. برای خشک کردن چوب های مزبور از خشک کن های دوار (rotary driers) استفاده می کنند، تا گازهای حاصل از کوره ها را به چوب ها بوزانند و رطوبت آنها را به ۰/۵ درصد برساند (۲).

بشکه های "استافورد" دارای ۴۰ فوت ارتفاع و ۱۰ فوت قطر هستند و بخوبی عایق بندی گردیده اند زیرا کنترل حرارت مناسب درون بشکه ها از مهمترین عوامل عملیات موفقیت در ذغال سازی مطلوب می باشد. دریچه هایی که در ابتدا و انتهای اینگونه کوره ها وجود دارند، از ورود ناخواسته هوا و خروج گازهای حاصله جلوگیری می نمایند.

اصولاً چوب های خشک از بخش فوقانی به داخل کوره ریخته می شوند، تا در دمای ۳۰۰ درجه فارنهایت واقع شوند. این چوب ها در اثر کربونیزاسیون به سمت پائین کوره حرکت می کنند و در مواجهه با دماهای بالاتر قرار می گیرند.

همچنانکه ذغال های چوب در پائین کوره تولید می گردند، مداوماً مقادیر دیگر چوب ها از بخش فوقانی کوره اضافه می شوند.

دمای کوره "استافورد" در بخش قاعده به حدود ۴۸۰ درجه فارنهایت می رسد درحالیکه بخش میانی کوره با حدود ۹۵۰ درجه فارنهایت از بالاترین دمای سیستم برخوردار می باشد.

مواد تبخیر شده و فرّار حاصل از فرآیند کربونیزاسیون چوب ها از دریچه های چهارگانه فوقانی سیستم خارج می شوند و برای تولید محصولات جانبی تغلیظ می گردند.

ذغال های حاصله را به تدریج از کوره "استافورد" خارج می سازند، تا تدریجاً خنک گردند.

نهایتاً ذغال های درشت حاصله را مستقیماً به بازارهای مصرف عرضه می کنند اما ذغال های ریز را آرد می نمایند تا در کارخانجات صنعتی به ذغال قالبی (briquette) تبدیل گردند.

در این سیستم، از هر "کورد" چوب های سخت در حدود ۱۰۰۰ پوند ذغال حاصل می آید (۲).

### فرآیند چرخش گازها در کوره های بشکه ای :

فرآیندهای متفاوتی در روش کوره های بشکه ای (oven) توسط "رایچرت" (Reichert) در آلمان و "لامبیوت" (Lambiotte) در بلژیک طراحی گردیدند. روش های مذکور که بنحو موفقیت آمیزی در بسیاری از کارخانه های ذغال سازی اروپا بکار گرفته شدند، دارای مشکلات عمده ای نظیر مصرف چوب و هزینه های کارگری زیاد بودند.

در شیوه مزبور، گازهای داغ و غیر قابل اشتعال در سرتاسر کوره و از لابلای چوب ها جریان می یابند (۲).

در شیوه "رایچرت" از یک توده چوب خام به صورت تک محموله (batch) و یکباره برای شارژ یا بارگذاری کوره استفاده می شود درحالیکه در شیوه "لامبیوت" از افزودن مداوم چوب ها (continues) بهره می گیرند (۲).

گازها در هر دو شیوه از بالا به پائین کوره و هم راستا با حرکت چوب ها جریان می یابند. کوره های مزبور به شکل بشکه ای سیلندری با انتهای باریک است، که به صورت منفرد یا جمعی به حالت عمودی استقرار یافته اند. ابتدا و انتهای این نوع کوره ها دارای دریچه هایی برای کنترل اتوماتیک هوای ورودی و همچنین بخار آب و گازهای حاصله خروجی هستند بطوریکه بخشی از گازها برای تغلیظ شدن به خارج از کوره (furnace) هدایت می گردند و بخشی نیز در داخل کوره به گردش در می آیند، تا بزودی با گازهای جدید جایگزین شوند. عملکرد ذغال چوب در اینگونه کوره ها به ازای هر "کورد" ماده خام در قیاس با سایر انواع کوره ها بیشتر است (۲).

### فرآیندهای کارخانجات تبدیل محصولات فرعی :

کارخانجات بازیافت چوب های ضایعاتی، بسیاری از بازارهای محصولات فرعی خود را طی ۲۵ سال اخیر از دست داده اند لذا محصول اصلی آنها به ذغال چوب منحصر گردیده است. اینگونه کارخانجات اجباراً برخی از دستگاه های سیستم را از گردونه تولید حذف نموده و دستگاه های جدیدی را نصب کرده اند. بدین ترتیب تبدیل گازهای تولیدی کوره های ذغال سازی به محصولات فرعی متوقف گردید و از آنها برای خشک کردن مواد خام داخل کوره ها استفاده می شود و یا اینکه مستقیماً در بدو ورود به اتمسفر سوزانده می شوند، تا به مخاطرات سلامتی انسان ها نینجامد. ذغال هایی که از چنین کارخانجات تغییر یافته ای حاصل می گردند، عموماً از نظر هزینه های مصرفی به ازای هر تن ذغال چوب مقبولیت دارند (۲).

### بازیافت ماده فرعی رزین از چوب ها :

کوره های فلزی افقی که برای تولید ذغال چوب بهره برداری می گردند، برای تولید رزین از کنده های بلااستفاده درختان کاج مناسب هستند. برای این منظور آتشدان هایی (fire boxes) را مبتنی بر طول کوره های بشکه ای در یک طرف یا هر دو طرف آنها تعبیه می کنند. پُر کردن و تخلیه مواد از کوره های مذکور بر اساس اندازه آنها می تواند با دست و یا ماشین آلات انجام پذیرد درحالیکه مایعات حاصل از کربونیزاسیون چوب ها بدون تغییرات کلی از کف کوره ها خارج می گردند و گازهای تولیدی نیز با عبور از دریچه های جانبی به دستگاه های تغلیظ (condensers) وارد می شوند (۲).

مهمترین محصولات که در این روش حاصل می آیند عبارتند از :

(۱) ذغال چوب (charcoal)

(۲) قطران کاج (pine tar)

(۳) روغن های حلال (solvent oils) (۲۹).

بعد از یک دوره کربونیزاسیون یا ذغال سازی ۲۴ ساعته ، ذغال ها را از کوره ها خارج می نمایند، تا خنک گردند. بهرحال مقدار ذغال چوبی که به ازای هر "کورد" بدست می آید، در حدود ۷۵۰-۷۰۰ پوند است. بعلاوه نوع مواد خامی که در هر وهله بکار می روند، دارای تأثیرات قابل توجهی بر میزان عملکرد مواد فرعی حاصله از جمله مواد رزینی خواهند داشت. سرمایه گذاری لازم برای تأسیس کارخانه ذغال سازی جهت هر "کورد" چوب در روز حدوداً ۲۵۰۰۰ دلار تخمین زده می شود (۲).

### تولیدات فرعی فرآیند ذغال سازی و کاربرد آنها :

امروزه استفاده از کوره ها (kilns) محبوب ترین شیوه تولید ذغال چوب می باشد زیرا نیازمند کمترین سرمایه گذاری است و کاربرد ساده ای نیز دارد. بهرحال استفاده از سیستم های تجاری تولید ذغال که بتوانند از ضایعات چوب و خُرده های آن استفاده نمایند، طی سال های اخیر در سراسر جهان توسعه یافته اند (۲).

مقدار مصارف صنعتی ذغال چوب حدود ۱۰۰ هزار تن در سال ۱۹۵۶ میلادی بوده است ولیکن میزان مصارف خانگی و تفریحی آن در همان سال تقریباً ۱۳۵ هزار تن برآورد گردید. همچنین حدود ۳۵ هزار تن ذغال چوب را برای تصفیه آب ، فرآوری توتون ، تغذیه دام ها و بهبود وضعیت خاک (soil condition) مصرف نمودند (۲).

"جدول ۶) موارد کاربرد ذغال چوب (۲):"

| خانگی و موارد خاص<br>(domestic & specialized) | متالورژی<br>(metallurgical) | شیمیایی<br>(chemical) |
|-----------------------------------------------|-----------------------------|-----------------------|
| تفنی                                          | مس                          | کربن دی سولفید        |
| عمل آوری تنباکو                               | برنز                        | کاربید کلسیم          |
| آشپزی رستوران ها و کمپ ها                     | شمش آهن                     | کاربید سیلیکون        |
| گرمزائی                                       | فولاد                       | کاربید سدیم           |
| نشانه گذاری شاقولی                            | نیکل                        | سیانید پتاسیم         |
| کشتی سازی                                     | آلومینیوم                   | منو اکسید کربن        |
| باغات و قلمستان ها                            | الکترومنگنز                 | کربن فعال             |
|                                               | تسلحات زرهی                 | پودر سیاه             |
|                                               | ریخته گری                   | پلاستیک ها            |
|                                               |                             | آتشبازی               |
|                                               |                             | لاستیک                |
|                                               |                             | جاذب گازها            |
|                                               |                             | مداد ابرو و نقاشی     |
|                                               |                             | وضعیت خاک             |
|                                               |                             | داروسازی              |
|                                               |                             | تغذیه دام ها          |

## هزینه های عمومی تولید ذغال چوب :

میزان هزینه کوره های مختلف تولید ذغال چوب نسبتاً متفاوت هستند و حدوداً ۶۰-۲۵ دلار در تن تخمین زده می شوند. عمده ترین این مخارج عبارتند از :

- (۱) بهای مواد خام (raw material)
- (۲) هزینه های کارگری (labor costs)
- (۳) سرمایه گذاری زیربنایی (original investment)
- (۴) استهلاک (depreciation)
- (۵) نگهداری سیستم (maintenance)
- (۶) بیمه (insurance)
- (۷) مالیات ها (taxes)
- (۸) نظارت (supervision) (۲).

کارشناسان مهمترین عامل کنترل هزینه های تولید ذغال چوب را فراهمی و دسترسی به مواد اولیه مورد نیاز سیستم ذغال سازی می دانند.

محاسبات نشان می دهند که حدوداً ۲/۵ "کورد" چوب با دانسیته متوسط برای تولید هر تن ذغال ضرورت دارد لذا بهای چوب ها بطور متوسط بیش از ۵۰ درصد هزینه های تولید را تشکیل می دهد.

سودآوری مواد اولیه ای چون : تراشه ها (mill slabs) و زواید (edgings) چوب برای تهیه ذغال نسبت به چوب های جنگلی حائز سودآوری بیشتری است و هزینه کمتری تا حدود ۱/۳ را می طلبد. بررسی های اقتصادی بیانگر آن هستند که فعالیت های تولید ذغال چوب در واقع از سودآوری قابل توجهی برخوردار نمی باشند. با این حال اگر هزینه های انتقال ذغال تولیدی به بازارهای مصرف فزونی یابند آنگاه باعث افزایش هزینه های مصرفی و لاجرم بالا رفتن قیمت بازاری محصول خواهند شد، که در نهایت به کاهش مصرف ذغال چوب خواهد انجامید (۲).

بطور کلی قیمت ذغال چوب در سطوح خرده فروشی بویژه در حالت بسته بندی بسیار بالاتر از بهای عمده فروشی می باشد. امروزه تولید ذغال چوب قالبی به طول ۳ اینچ و عرض ۳/۴ اینچ در اکثر جوامع بسیار مطلوبیت دارد. همچنین بسته بندی ذغال های کلوخه ای درشت (burlap) در پاکت های کاغذی یا کرباسی و یا جعبه های مقوایی خواهان بسیاری یافته است.

این زمان ذغال های کلوخه ای را برای مصارف خانگی غالباً در پاکت های : ۲ ، ۴ ، ۵ ، ۱۰ یا ۲۰ پوندی قرار می دهند درحالیکه بسته بندی تجاری و صنعتی آن در مقادیر ۵۰ پوند انجام می گیرد. هزینه بسته بندی هر تن ذغال چوب در حدود ۱۵-۱۰ دلار برآورد می شود. این قاعده در مورد ذغال چوب همانند سایر کالاها صدق می کند که بسته بندی مطلوب تر و جذاب تر می تواند بر میزان فروش و قیمت کالا بیفزاید.

بهای بازاری ذغال های تحویلی به کارخانجات تولید ذغال قالبی در حدود ۵۰-۳۵ دلار برای هر تن است (۲).

ذغال های کلوخه ای ریز (lump) را ابتدا می ساینند سپس الک می کنند و متعاقباً پس از خشک کردن به شکل قالبی در می آورند. ذغال های قالبی تولیدی را با وسایل نقلیه مناسب به بازارهای مصرف حمل می کنند. همواره توصیه شده است که حداقل فاصله زمانی بین تولید و انتقال مراعات گردد (۲).

مصارف تفریحی و تفننی (recreational) ذغال چوب عمدتاً فصلی هستند. اوج مصرف تفریحی ذغال چوب در ماه های گرم سال صورت می پذیرد. به همین دلیل است که اغلب تولید کنندگان ذغال به ذخیره سازی و انبار کردن آن در مواقع کاهش تقاضا مبادرت می ورزند.

ذغال چوب از قابلیت نگهداری به شکل توده ای بدون اینکه خساراتی را متحمل گردد، برخوردار می باشد ولیکن بهتر است نگهداری ذغال چوب تولیدی در انبارهای سرپوشیده و غیر از سطح خاک انجام پذیرد، تا از نزولات آسمانی و رطوبت زمین در امان بمانند (۲).

## بازاریابی ذغال چوب :

در صورتیکه عملیات ذغال سازی با موفقیت پایان یابد، به واقع می توان محصول تولیدی را با بهاء و سود مناسب فروخت. بطور کلی هیچگونه الگوی معینی برای تولید و سودآوری ذغال چوب در جهان وجود ندارد لذا سودآوری آن معمولاً به عوامل زیر بستگی خواهد داشت :

- (۱) هزینه های تولید (production costs)
- (۲) تقاضای بازار (market demand)
- (۳) فراهم سازی نهاده ها (return needed)
- (۴) ملاحظات تولید و فروش (considered desirable) (۲).

برای حفظ روند تولید ذغال چوب باید موارد زیر را رعایت نمود :

- (۱) هزینه های معقولانه (reasonable costs)
- (۲) ایجاد فرصت های سودآوری (improve opportunities)
- (۳) هشیار به تحولات و نیازها (requires alert)
- (۴) مدیریت بهینه تجارت (business management) (۲).

با این وجود، شرایط تولید ذغال چوب و دسترسی به بازارهای مصرف از عوامل مهمی هستند، که باعث سودآوری فعالیت و دوام آن می گردند.

یقیناً فقدان اطلاعات کافی در مورد بازاریابی محصول می تواند موجب تضعیف تولید کنندگان ذغال در ساماندهی روند تولید شود (۲).

## توزیع صنعتی و تفریحی ذغال چوب :

تقریباً 1/3 تولیدات ذغال چوب داخلی ایالات متحده آمریکا از طریق کوره های کوچک حاصل می آیند زیرا ادوات تولید صنعتی ذغال چوب از ظرفیت های محدودی برخوردارند.

کارخانجات ذغال چوب بازیافتی دارای ظرفیت های بیشتری هستند و از موقعیت بالاتری بهره مندند. تولیدات اینگونه کارخانجات متقاضیان بیشتری دارند لذا از بهای بازاری با ثبات تری سود می برند. به هر حال تمامی انواع ذغال های چوب دارای یک قیمت پایه (selling base) هستند، که توسط مظنه بازار تعیین می گردد.

قیمت های بازاری (market prices) برای ذغال های دارای مصارف تفریحی و تفننی از ثبات پایداری برخوردار نیستند و همواره از میزان مصرف و شرایط مناسب اقلیمی تبعیت می پذیرند. میزان مصرف ذغال های چوب تعیین کننده تعداد فروشگاه های عرضه آنها نیز خواهند بود (۲).

بسیاری از عمده فروشی های (wholesalers) ذغال چوب اقدام به خریداری مقادیر کلان و توده ای محصولات کوره ها می نمایند سپس کالای خریداری شده را به شکل های زیر عرضه می کنند :

۱) بسته بندی و عرضه در فروشگاه های محلی (domestic markets) :

۱-۱) بهای بازارهای عمده فروشی ذغال چوب در حدود ۷۵-۵۵ دلار به ازای هر تن است.

۲) فروش مجدد به کارخانجات تولید ذغال های قالبی (briquette plants) :

۲-۱) هر تن ذغال چوب قالبی به قیمتی در حدود ۱۱۰-۸۰ دلار به فروش می رسد (۲).

برخی تولیدکنندگان ذغال های چوب به سفارش بازرگانان به بسته بندی محصول تولیدی در محل استقرار کوره ها اقدام می کنند ولیکن ارزش چنین اقداماتی را بر بهای ذغال هایشان می افزایند (۲).

ذغال هایی که پس از بسته بندی برای مقاصد خرده فروشی در نظر گرفته می شوند، غالباً در مکان های زیر عرضه می گردند :

۱) خواروبار فروشی ها (groceries)

۲) ابزار فروشی ها (hardware stores)

۳) فروشگاه های خود-یافت (auto-supply stores)

۴) پمپ بنزین ها (gasoline stations)

۵) فروشگاه های محله (department stores) (۲).

بازار فروش ذغال های چوب عرصه رقابت فشرده ای است لذا تولیدکنندگان با اقدامات زیر سعی می کنند، تا گوی سبقت را از سایرین ببرایند :

۱) بسته بندی مناسب (well packaged)

۲) کیفیت بالاتر (quality product)

۳) سازماندهی خرده فروش ها (organized retailers) (۲).

### تولید ذغال چوب های قالبی :

روند تولید ذغال چوب قالبی از ماحصل کوره های کوچک و بزرگ مداوماً توسعه می یابد. ابزارهایی که برای تهیه ذغال چوب قالبی ضرورت دارند، بسیار اختصاصی هستند. هر واحد (unit) تولید ذغال چوب قالبی شامل بخش های زیر می باشد :

۱) پودر کردن ذغال چوب های ریز

۲) مخلوط کردن پودرهای ذغال خشک شده

۳) مرطوب کردن پودرهای ذغال

۴) قالب زدن پودرهای ذغال مرطوب شده

۵) انتقال قالب های ذغال به انبار

۶) خشک کردن قالب های ذغال (۲).



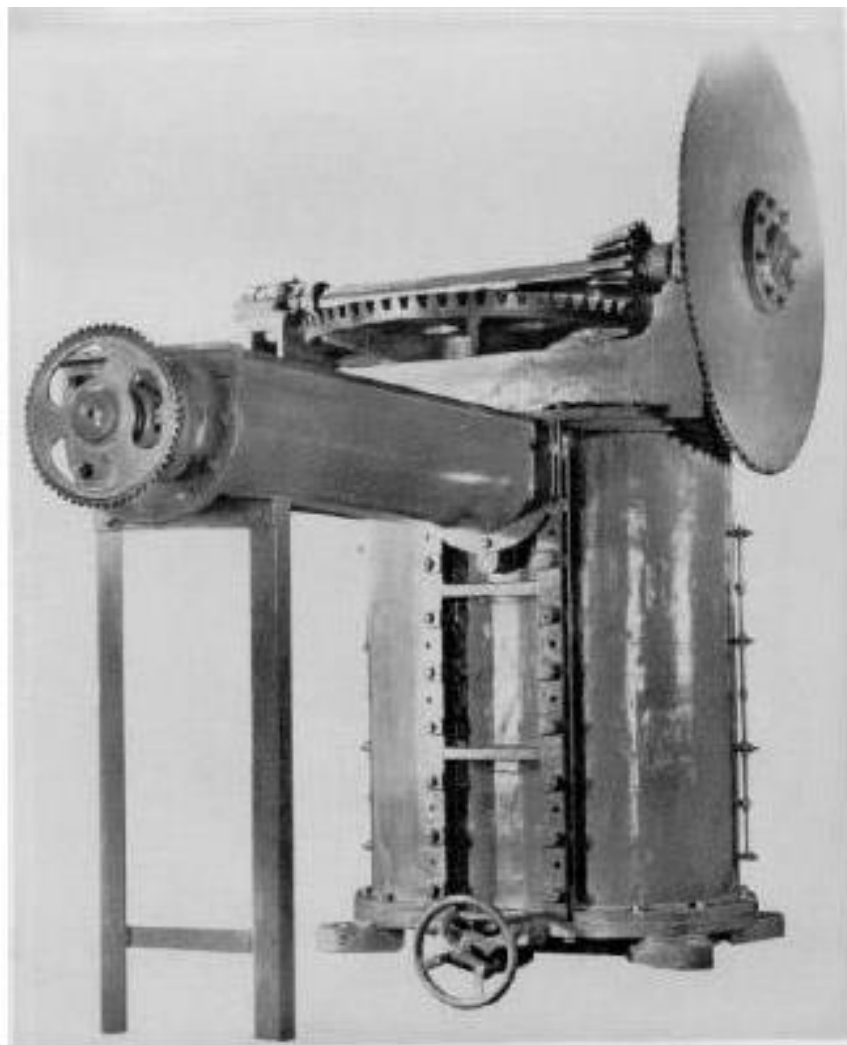
ظرفیت واحدهای تولید ذغال چوب قالبی معمولاً در حدود ۳/۵-۱ تن در هر ساعت است. دستگاه هایی که در واحدهای دارای ظرفیت های مختلف بکار می روند، کاملاً مشابه هستند و اختلافشان منحصرأ در اندازه آنها می باشد (۲).

دستگاه های لازم در واحدهای تولید ذغال قالبی عبارتند از :

- ۱) دستگاه قالب زنی ذغال با تغذیه کننده پاروئی (briquette press & paddle feeder)
- ۲) آسیاب چکشی (hammer mill)
- ۳) تغذیه کننده ذغال با قیف قابل کنترل (charcoal feeder & surge hopper)
- ۴) مخلوط کن پاروئی (paddle mixer)
- ۵) گدازنده عمودی (vertical fluxer)
- ۶) تغذیه کننده نشاسته یا پمپ (starch feeder or pump)
- ۷) خشک کن قالب های ذغال (briquette drier)
- ۸) دیگ بخار (boiler) به قدرت ۳۰ اسب بخار برای ایجاد فشار ۱۵ پوند بر هر اینچ مربع
- ۹) نقاله ها (conveyors)
- ۱۰) ساختمان (building) به عرض ۶۰ فوت ، طول ۱۲۰ فوت و ارتفاع ۲۰ فوت (۲).



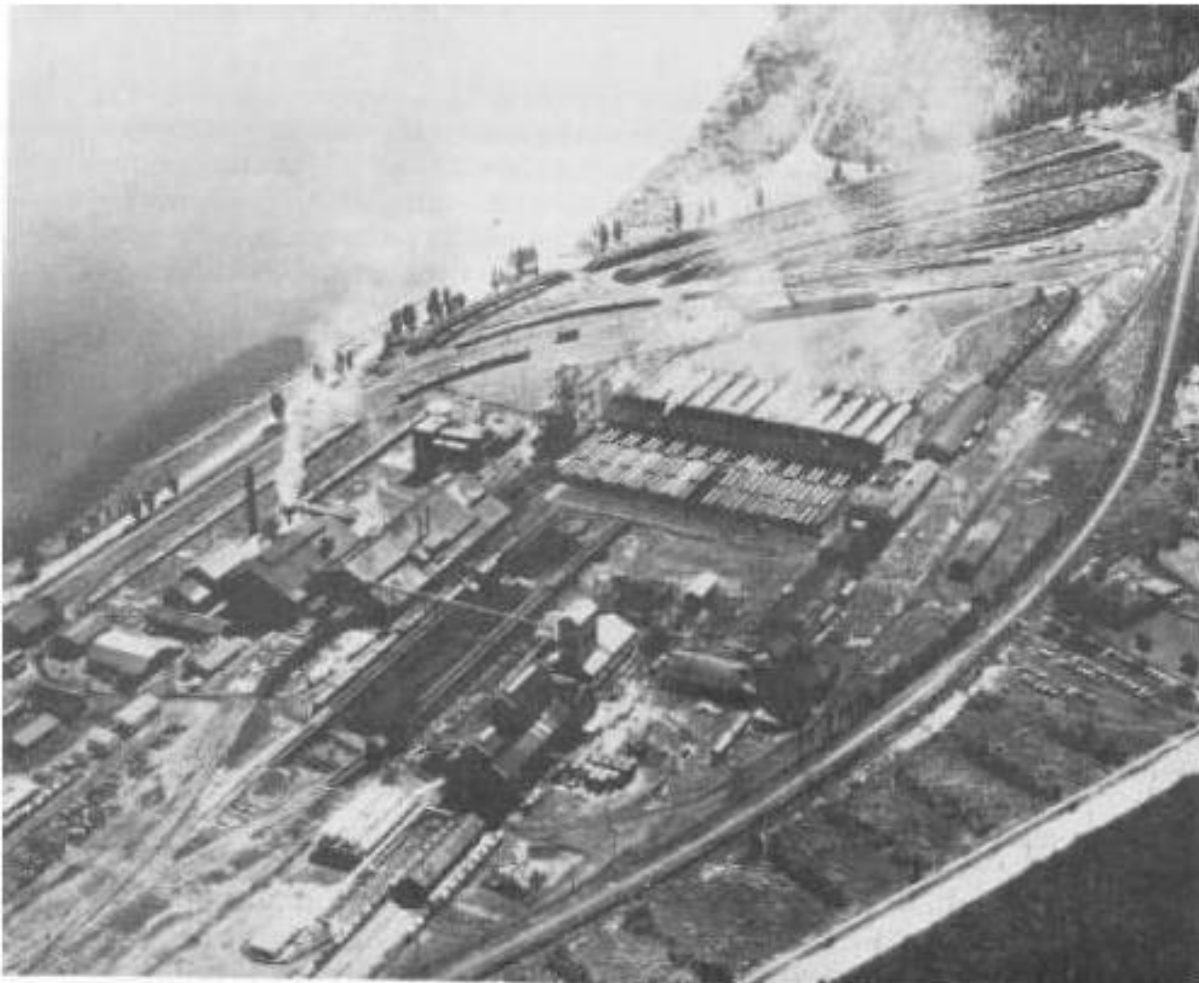
تخمین زده می شود که میزان سرمایه گذاری برای واحدهای تولید ذغال قالبی با ظرفیت ۱ تن در ساعت حدوداً ۱۵۰-۲۰۰ هزار دلار باشد ولیکن برای هر ۱ تن افزایش ظرفیت فقط به ۸۰ هزار دلار دیگر نیاز خواهد بود (۲).



Two-shaft, vertical fluxer and paddle mixer.

در هر شیفت کاری واحدهای تولید ذغال قالبی به ۸ نفر کارگر به شرح زیر نیاز می باشد :

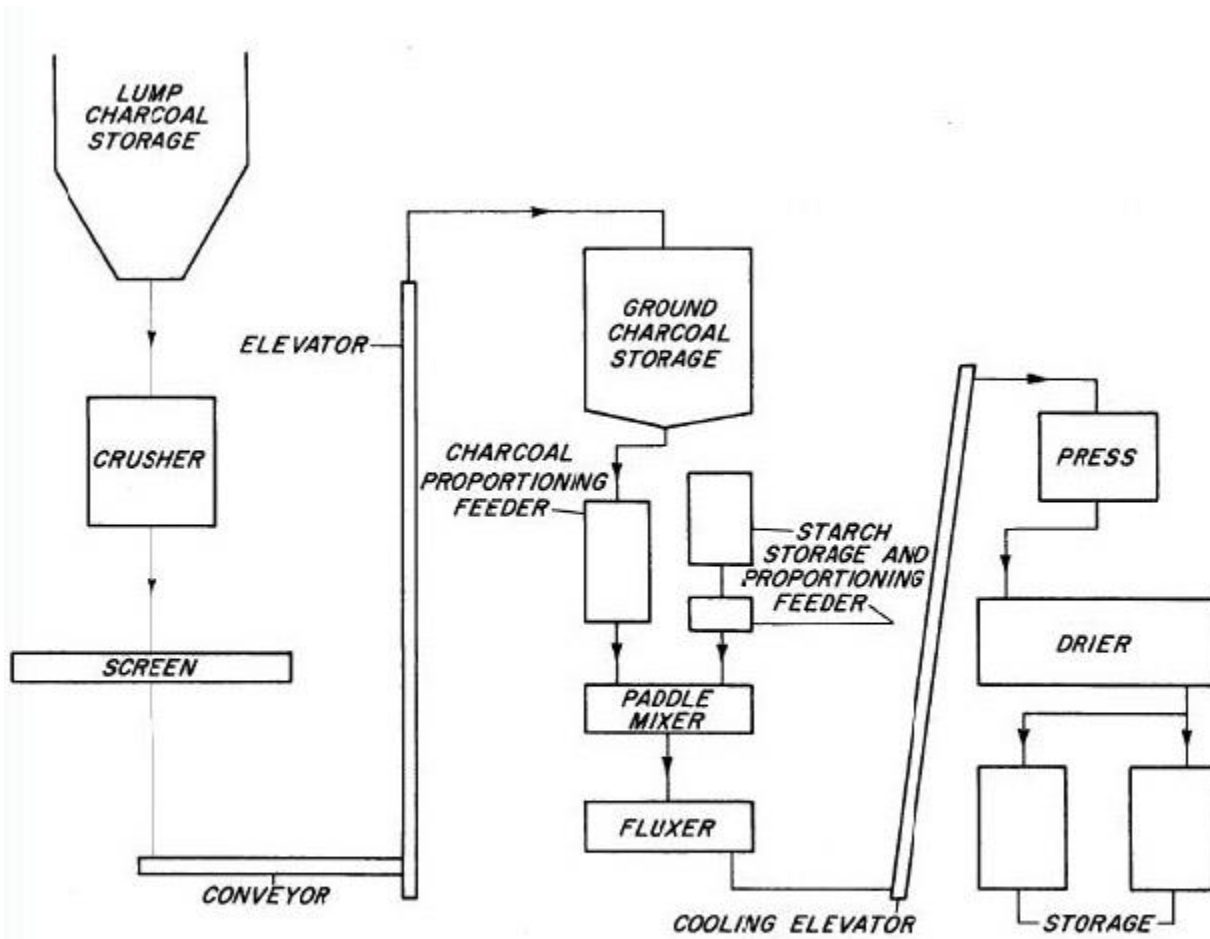
- (۱) یک نفر سر کارگر (foreman)
- (۲) یک نفر اپراتور ماشین آلات (machine operator)
- (۳) یک نفر مراقب شیفت شب (maintenance man)
- (۴) یک نفر بسته بند (bagger)
- (۵) سه نفر کارگر انبار (warehouse)
- (۶) یک نفر برای امور متفرقه (miscellaneous) (۲).



-This hardwood byproduct recovery plant includes carbonization and refining facilities for the production of acetic acid, methanol, and charcoal in lump, briquette, and activated forms.

## فرآیندهای ذغال کارخانه ای :

بطور کلی ذغال های چوبی که به صورت کلوخه های ریز (clump) و خاکریزه (fine) به کارخانه تولید ذغال قالبی می رسند، توسط نقاله های مارپیچی یا هلیسی (screw conveyors) به آسیاب چکشی (hammer mill) یا له کننده (crusher) می روند، تا به ذرات کوچکتر از 1/8 اینچ تبدیل گردند (۲).



2 x 118 348

Flow diagram of a commercial process for the manufacture of charcoal briquettes.

خاکه های ذغال چوب را به صورت مکانیکی یا پنوماتیک به مخلوط کن پاروئی که مستقیماً در زیر آن قرار دارد، منتقل می کنند. خاکه ها را به نسبت ۵ درصد نشاسته ذرت یا سیب زمینی به عنوان ماده چسباننده (binder) و آب مخلوط می سازند. آنگاه مخلوط را برای روانسازی بیشتر به دستگاه "روانساز" (fluxer) هدایت می نمایند، تا برای تغذیه دستگاه پرس آماده گردد.



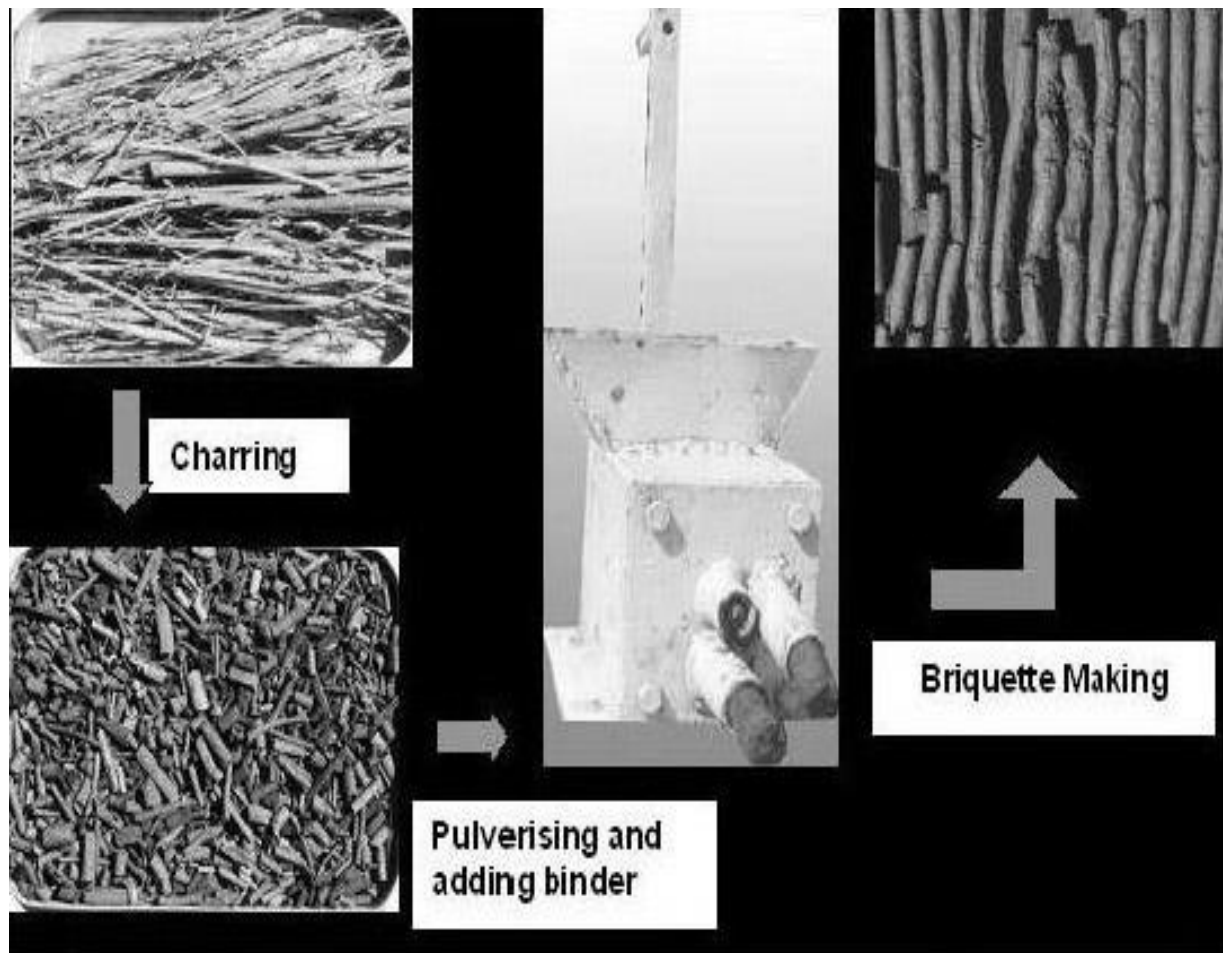
قالب های ذغال چوب پس از خروج از دستگاه پرس به حالت تر (wet) یا سبز (green) محسوب می شوند، که با نقاله تسمه ای (belt conveyor) به صورت یکنواخت و مداوم به بخش خشک کن فرستاده می شوند.

عمل خشک کردن ذغال های قالبی تازه و تر با دمای ۲۷۵ درجه فارنهایت در حدود ۳-۴ ساعت به درازا می انجامد.

هزینه تهیه هر تن ذغال قالبی تقریباً ۲۵-۲۰ دلار برآورد گردیده است (۲).

## توسعه تولید ذغال چوب قالبی :

کارخانجات تولید ذغال چوب قالبی برای دستیابی به صرفه اقتصادی باید ۲-۳ شیفت در شبانه روز فعالیت نمایند. آنها قادرند لااقل ۱۰ تن در شبانه روز و یا ۲۵۰ تن در ماه ذغال چوب قالبی تولید نمایند و برای این منظور به ۵۵۰-۶۰۰ "کورد" قطعات چوب سخت با اندازه های مختلف نیازمندند (۲).



Flow chart of the charcoal briquette-making process

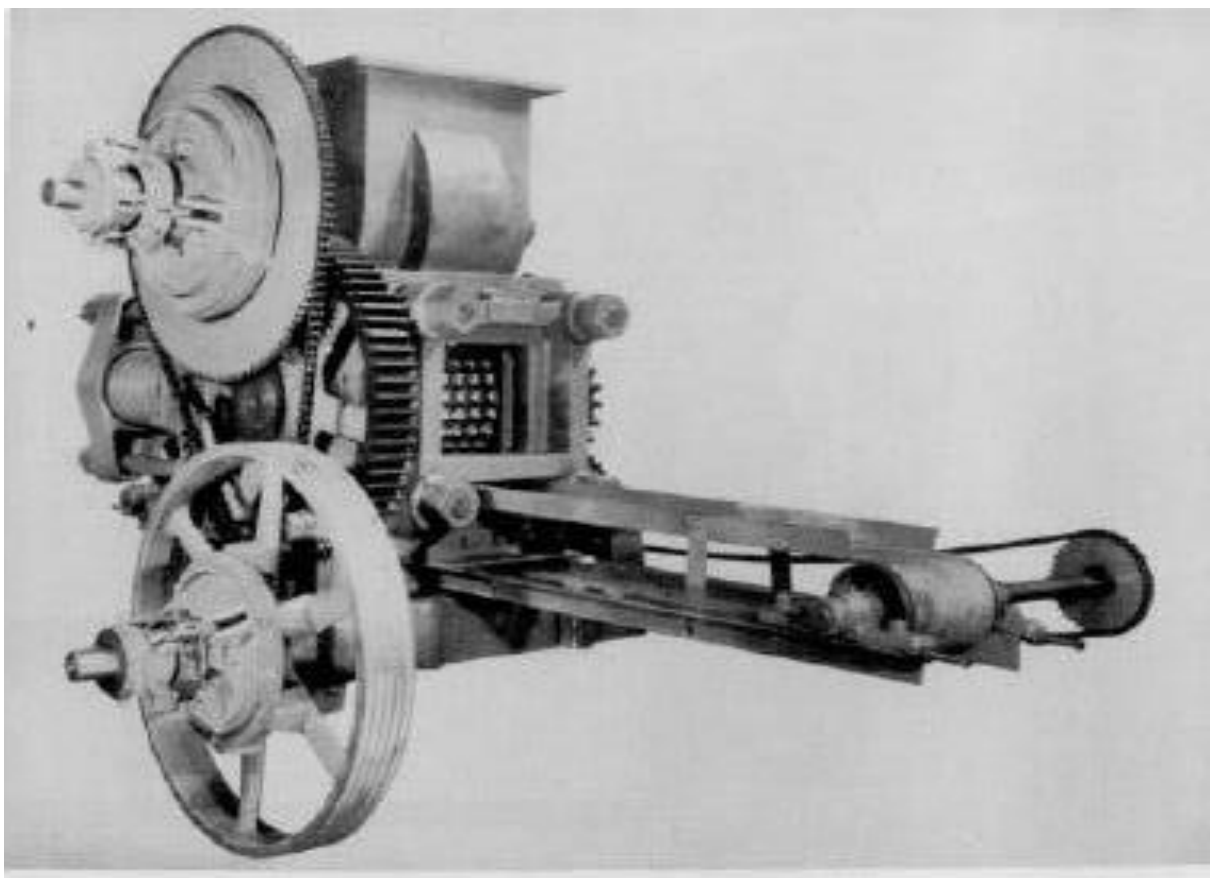
## حمل و نقل ذغال چوب کارخانه ای :

پیشبینی های لازم برای انتقال ذغال چوب های تولیدی بویژه برای مسافتات دور ضرورت دارند. باید در نظر داشت که حمل و نقل چنین کالاهایی ممکن است گاهاً با محدودیت هایی نیز مواجه باشد.

ذغال های چوب قبل از بسته بندی و آمادگی برای انبار کردن و یا حمل و نقل باید به خوبی سرد گردند، تا احتمال بروز آتشسوزی رفع شود.

اصولاً ذغال هایی که در انواع کوره ها حاصل شده اند، باید در مکان سرپوشیده ای خنک شوند. بنابراین پس از اینکه درجه تخلیه کوره ذغال گشوده شد، ذغال ها را برای کمتر از ۲۴ ساعت در معرض جریان هوا قرار می دهند سپس آنها را با وانت بارها یا واگن های باری به انبارهای مناسب انتقال می دهند. انتقال ذغال ها به کشتی های حمل بار باید حداقل ۲۴ ساعت بعد صورت پذیرد.

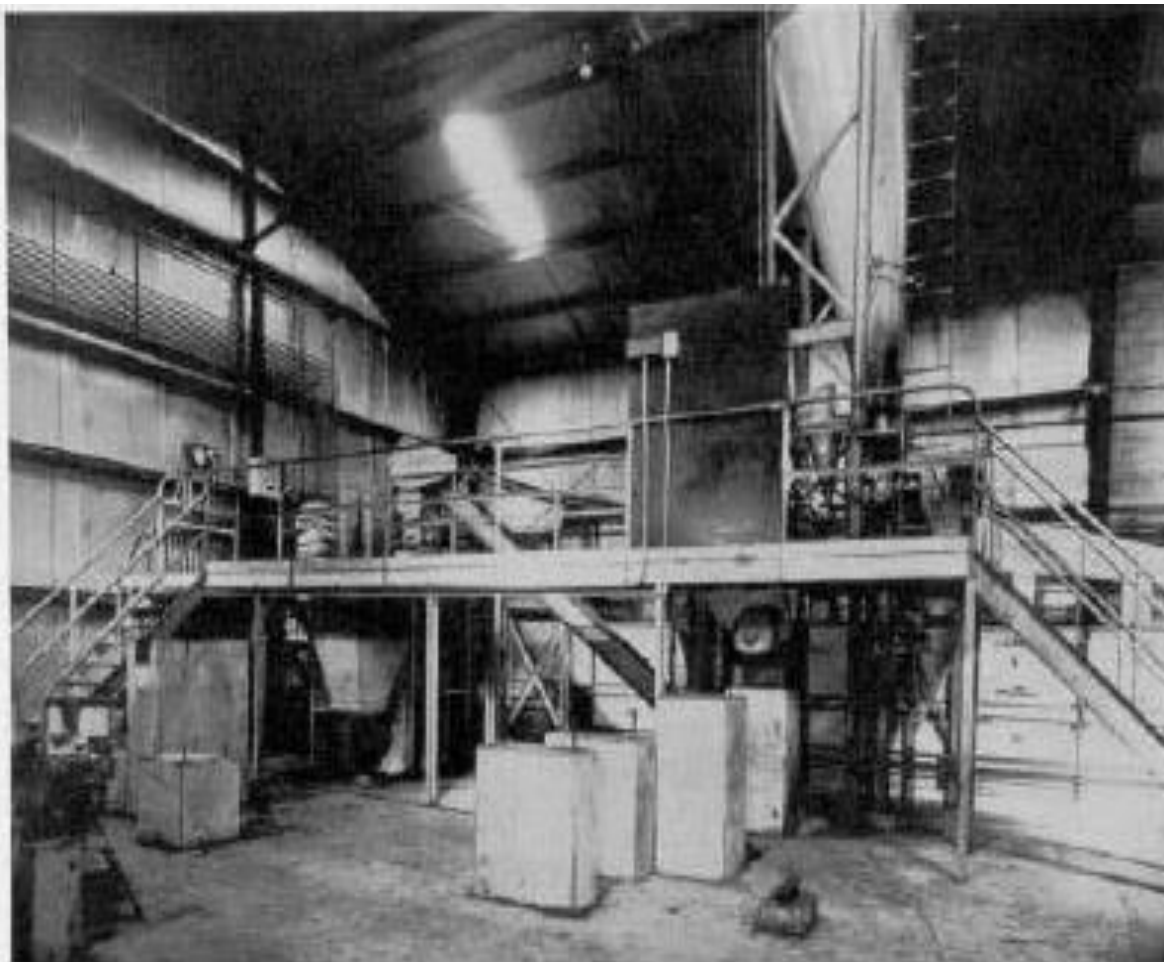
از نمناک شدن ذغال های چوب در طی حمل و نقل باید جداً جلوگیری نمود (۲).



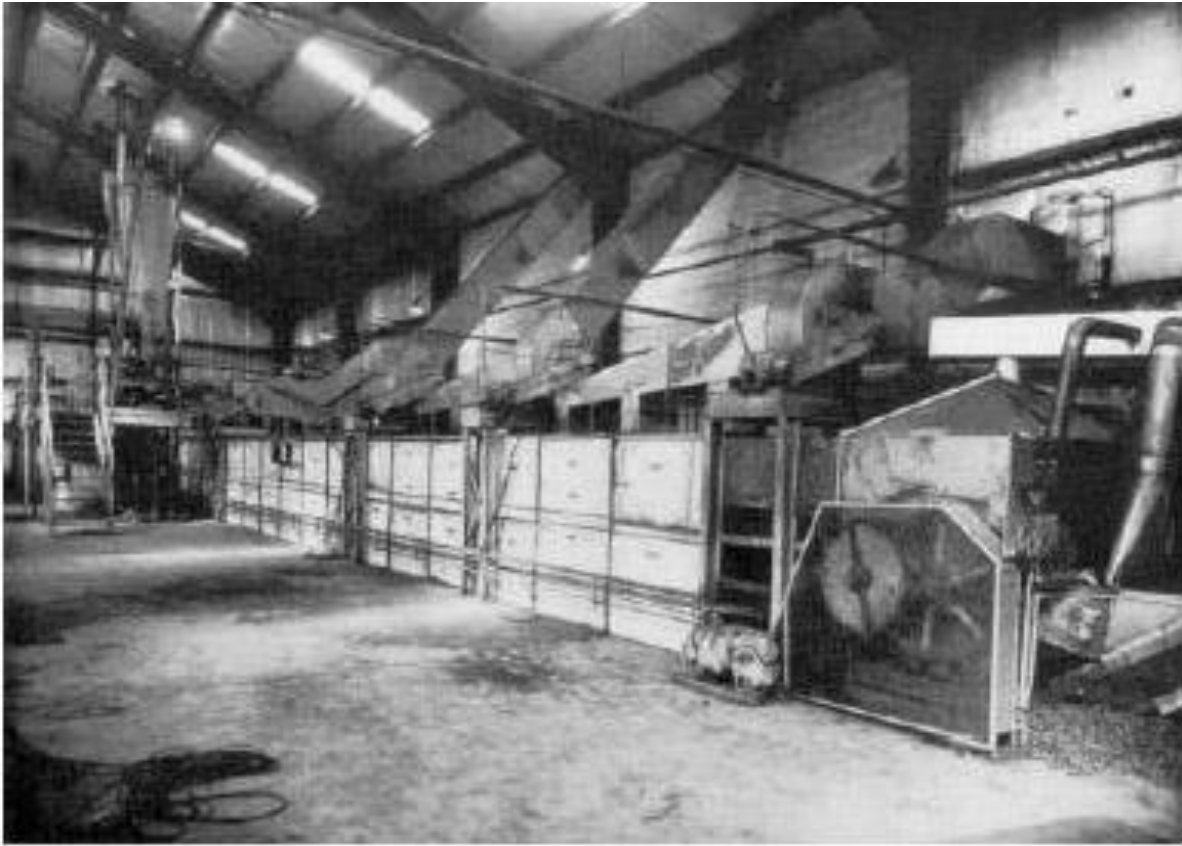
Charcoal briquette press.

باید دقت نمود که تمامی فعالیت های مشروحه زیر که برای تولید ذغال های کارخانه ای یا قالبی صورت می پذیرد، در شرایط ایمن و در معرض جریان هوا انجام گیرد سپس ذغال ها لااقل بعد از ۵ ساعت بسته بندی و یا منتقل گردند. این فعالیت ها عبارتند از :

- ۱) الک کردن (screening)
- ۲) خرد کردن (grounding)
- ۳) له کردن (crushed)
- ۴) پودر کردن (pulverized)
- ۵) گرانوله کردن (granulated) (۲).



-Charcoal briquetting plant.



Charcoal briquette drier.

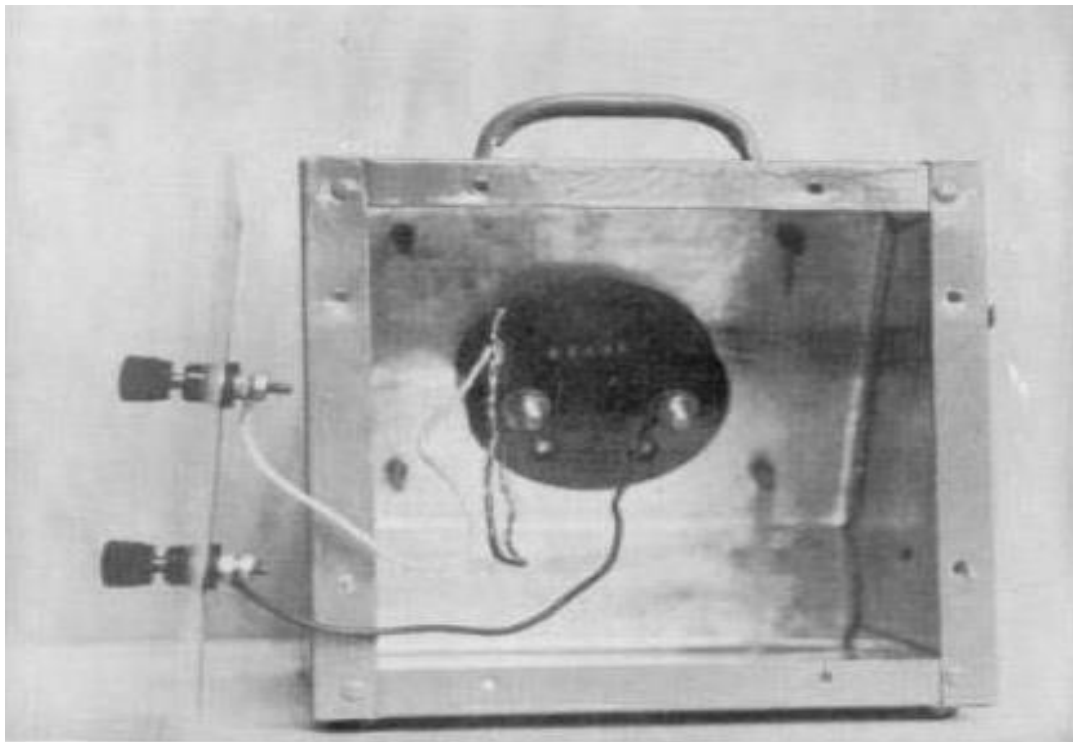


### مخاطرات فرآیندهای ذغال سازی :

در صورتیکه آفرودختن کوره ها به خوبی کنترل نشود، می تواند برای کارگران و محیط اطراف خسارتزا باشد. افراد غیر مسئول هیچگاه نباید اجازه یابند، تا در محوطه خطر کوره ها حاضر باشند، مگر اینکه بخوبی توجیه شوند و آموزش های اولیه را ببینند.

انتقال چوب ها، حمل دستی ذغال ها و برخی دیگر از امور مرتبط با فرآیند ذغال سازی می توانند باعث بروز صدماتی گردند لذا در نظر داشتن احتیاطات لازم ضرورت دارد.

کنترل حرارت کوره می تواند از میزان خسارتزانی فرآیند ذغال سازی بکاهد زیرا افزایش یا کاهش ناگهانی دما باعث افزایش یا کاهش جریان هوا می گردد و در نتیجه حفظ مطلوب فرآیند سوختن دشوار می گردد. برای جلوگیری از چنین مواردی بهتر است، از ابزار خاصی به نام "ترموکوپل" (thermocouple) بهره گرفت.



Microammeter calibrated for measurement of kiln temperatures in degrees Fahrenheit.

میله های فلزی که برای بهم زدن و یا تخلیه ذغال ها از درون کوره ها بکار می روند، غالباً به میزان زیادی گرم می شوند لذا کارگران باید دقت نمایند، که از دستکش های مناسب بهره گیرند.

در بسیاری از کوره ها از دودکش های متعددی استفاده می شود ولیکن پس از آغاز مرحله ذغال شدن باید برخی از آنها را با صفحات فلزی مسدود ساخت، تا بدین ترتیب بتوان ورود اکسیژن را کنترل نمود. به هر حال به سبب شدت حرارت و وزن سنگین درپوش ها باید مراقبت گردد تا از بروز صدمات و ضایعات جبران ناپذیر جلوگیری به عمل آید (۲).

## مکان یابی استقرار کوره های ذغال :

بواسطه اینکه از حضور آتش در تمامی مراحل تولید ذغال چوب استفاده می شود لذا کوره های ذغال را باید دور از ساختمان ها، بوته های گیاهان و سایر مواد اشتعالزا استقرار بخشید و یا اینکه در برچیدن مواد مذکور همت گماشت.

بنابراین مکان استقرار کوره های ذغال باید از مناطق سکنی و تجمعات انسانی فاصله داشته باشد، تا دود حاصل از فرآیند ذغال سازی موجب آزار اشخاص نگردد بویژه اینکه دودها در برخی شرایط جوی در سطح زمین باقی می ماند و انتشار می یابند.

اراضی مرتفع برای احداث کوره های ذغال سازی ارجحیت دارند زیرا جریان باد می تواند دودها را به لایه های فوقانی اتمسفر منتقل سازد.

دودهای فرآیند ذغال سازی را در صورت دسترسی به امکانات مدرن می توان توسط فیلترهایی تصفیه نمود و یا اینکه دودها را در دستگاه های احتراق (burner) سوزانید.

دسترسی به منابع آبی از ضروریات بهره برداری از کوره های ذغال می باشد. آب مورد نیاز را همچنین می توان از ذخیره سازی آب باران در مخازن فراهم ساخت و یا توسط تانکرها و لوله هایی از مناطق همجوار به مکان استقرار کوره ها انتقال داد. در اینگونه مواقع توصیه شده است، که یک شیلنگ مجهز به نازل (آبپاش) همواره آماده باشد. در چنین زمان هایی از پمپ های آب نیز می توان برای خاموش کردن آتشسوزی های احتمالی بهره گرفت.

محدوده عملیات ذغال سازی باید بخوبی محصور گردد و توسط تابلوهای هشدار دهنده مشخص شود. کمک های اولیه ای نظیر : ماسک های ضد غبار باید در اختیار کارگران قرار گیرند (۲).

## ایمنی عملیات ذغال سازی :

در واقع به دلیل اینکه تولید ذغال چوب در کوره ها جزو عملیات ساده محسوب می شود، نباید ایمنی عملیات را از نظر دور داشت.

تبدیل چوب به ذغال دارای الگوهای مختلفی است، که عمدتاً بستگی به مقدار رطوبت چوب ها دارد. یقیناً به مقادیر زیاد حرارت برای تبدیل چوب به ذغال نیاز می باشد لذا برای کاهش هزینه ایجاد اشتعال و گرما ضرورت دارد که چوب ها را در خارج از فصل ذغال سازی تدارک نمایند و آنها را برای خشک شدن تدریجی در معرض جریان هوا و تابش نور خورشید قرار دهند.



—Fuel stacked for ignition of a kiln in charge of seasoned wood.

در صورتیکه چوب ها از رطوبت کمتری برخوردار باشند آنگاه می توان حرارت کوره ها را به تدریج افزایش داد زیرا بیشترین مقادیر حرارت برای تبدیل رطوبت چوب ها به بخار مصرف می گردد.

افزایش سریع حرارت در کوره ها به منظور تعجیل در خشک شدن چوب ها موجب خروج گازهای بیشتری می شود، که ممکن است کوره ها را به آتش بکشد و حتی منفجر سازد.

بررسی ها مؤید آن هستند که برای دستیابی به بالاترین میزان کارایی تولید ذغال چوب با کمترین خطرپذیری باید رطوبت چوب های مصرفی در حدود ۳۰-۴۰ درصد باشد. در مواردی که رطوبت چوب ها بسیار بیشتر است و احتمال احتراق شدید منجر به جابجایی قوی هوا وجود دارد، بهتر است از کوره ها به شیوه "درب باز" (open-door method) استفاده شود. در چنین مواقعی نیز به دلیل احتمال تولید شعله های بلند بهتر است، کارگران با دقت بیشتری در اطراف کوره ها حضور یابند. در شیوه ذغال سازی کوره های "درب باز" باید کنترل گردد تا دمای ایجاد شده به ناگهان و شدیداً افزایش یا کاهش نیابد (۲).



Igniting the kiln charge with a torch.

برای مشتعل ساختن چوب های داخل کوره ها معمولاً از مواد نفتی استفاده می شود ولیکن باید توجه داشت که مواد سریع الاشتعال زمانیکه بر روی چوب ها و یا کف کوره ها ریخته شوند، سریعاً تبخیر می گردند و گازهای حاصله در داخل کوره های مسدود تجمع می یابند و بر احتمال انفجار می افزایند. بنابراین هیچگاه نباید از بنزین (gasoline) و سایر مواد نفتی دارای نقطه اشتعال (flash-point) پائین بهره گرفت. گاهی شکاف هایی بر روی دیواره کوره ها ایجاد می گردند، که آنها را می توان از طریق مشاهده فرار دودهای حاصله تشخیص داد. چنین شکاف هایی باید سریعاً ترمیم گردند. باید توجه داشت که کمترین ورود و خروج ناخواسته هوا می تواند روند ذغال سازی را نامطلوب سازد (۲).

فندک هایی که برای مشتعل ساختن سوخت بکار می روند، نباید با تولید شعله و حرارت زیاد موجب انفجار ناگهانی سوخت مصرفی شوند و بدین ترتیب به ساختمان کوره آسیب برسانند (۲).

گازهای داخل کوره های ذغال حتی پس از خنک شدن کوره ها بسیار سمی و خطرناک هستند لذا نسبت به تهویه آنها باید سریعاً اقدام شود (۲).

در مواقعی که از پاشش آب برای خنک کردن ذغال ها استفاده می شود و یا حمل و نقل ذغال ها به صورت دستی انجام می پذیرد، کارگران حتماً باید از ماسک استفاده کنند، تا مانع مخاطرات سلامتی آنان گردد (۲).



## انبارداری ذغال های چوب :

کاهش تقاضای بازار و یا وجود انبارهایی از ذغال چوب مازاد می توانند، باعث توقف موقتی فعالیت کوره ها گردند. دقت و مراقبت های لازم همواره باید در مورد انبارهای نگهداری ذغال های چوب به عمل آیند. گوا اینکه ذغال های خنک شده از پایداری و ایمنی لازم برخوردارند ولیکن در زمان جابجائی می توانند مخاطره آمیز باشند. ذغال ها همچنین زمانی که در مجاورت مواد مشتعل قرار گیرند، می توانند خطر آفرین باشند (۲).

توصیه شده است که ذغال های چوب را قبل از انبار کردن به خوبی الک نمایند سپس ذغال های کلوخه ای و خُرده های آنها را به صورت مجزا و برای دوره های نسبتاً طولانی انبار کنند (۲).



گاهاً "اشتعال خودبخودی" (self-ignition) در اثر افزایش دمای حاصل از فعالیت های شیمیایی در انبارهای ذغال چوب رخ می دهد. این موضوع بویژه در زمان هایی به وقوع می پیوندد، که ذغال های داغ را به انبارها منتقل می سازند.

آتشسوزی ها همچنین می توانند در انبارهایی وقوع یابند، که ذغال ها را با پاشیدن آب سریعاً خنک نموده اند. توصیه شده است، که ذغال های تولیدی را قبل از انبار کردن به مدت ۲۴ ساعت در معرض جریان هوا قرار دهند، تا به خوبی خنک گردند.

مکان های خنک کردن ذغال های چوب باید سرپوشیده باشند، تا از بارندگی ها مصون بمانند. باید توجه داشت که امکان اشتعال بسته های خُرده ذغال ها نسبت به پاکت های ذغال کلوخه ای بیشتر است (۲).



## عوامل مؤثر بر تولید و عملکرد ذغال چوب :

ارزش واقعی ذغال های چوب بر اساس معیارهای کمی و کیفی آنها سنجیده می شود. کمیت ذغال های چوب را به صورت وزنی تعیین می کنند ولیکن بهای ذغال ها توسط عوامل دیگری نیز بیان می شوند نظیر :

الف) خصوصیات فیزیکی شامل :

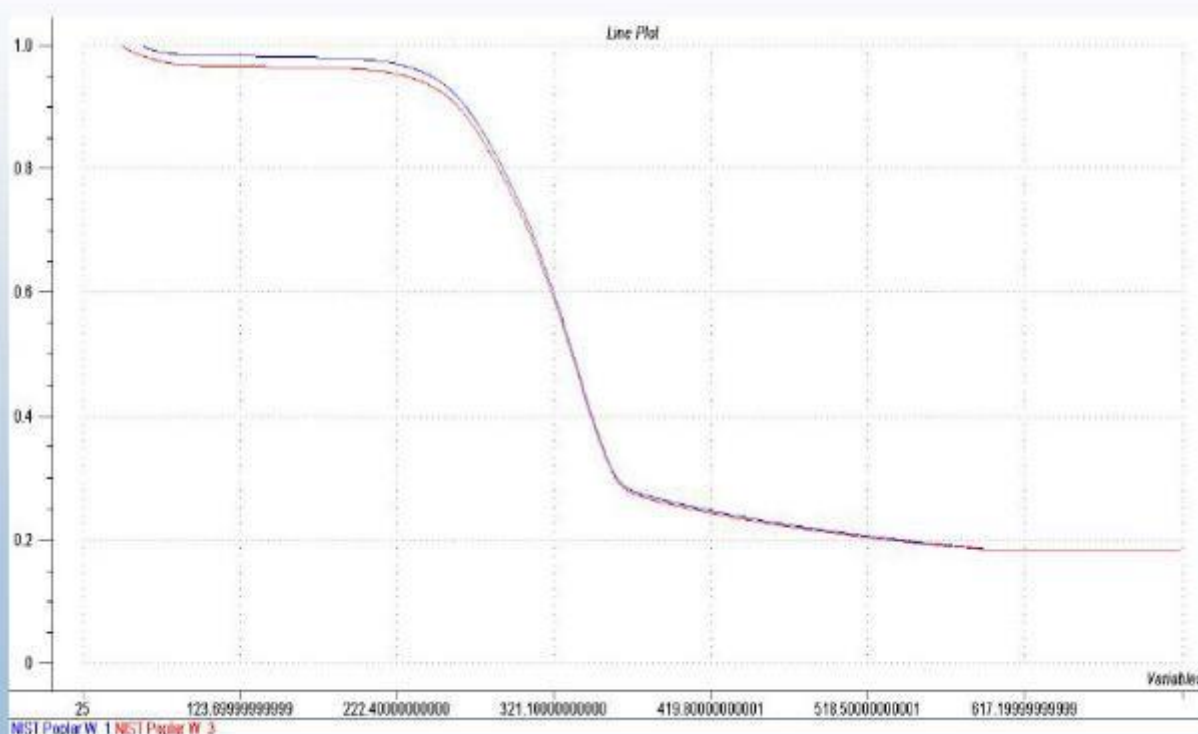
الف-۱) سختی (hardness)

الف-۲) تردی (brittleness)

الف-۳) تراکم (density) (۲).

## TGA of Poplar Wood

heating at 10°C/min to 600°C in nitrogen



ب) خصوصیات شیمیایی شامل :

ب-۱) مقدار کربن تثبیتی (amount of fixe carbon)

ب-۲) خاکستر (ash)

ب-۳) مواد تبخیر شونده (volatiles) (۲).

## Lignocellulosic Biomass

Average elemental composition:  $CH_{1.4}O_{0.6}$

### Cellulose: 38% - 50%

Most abundant form of carbon in biosphere

Polymer of glucose

### Hemicellulose: 23% - 32%

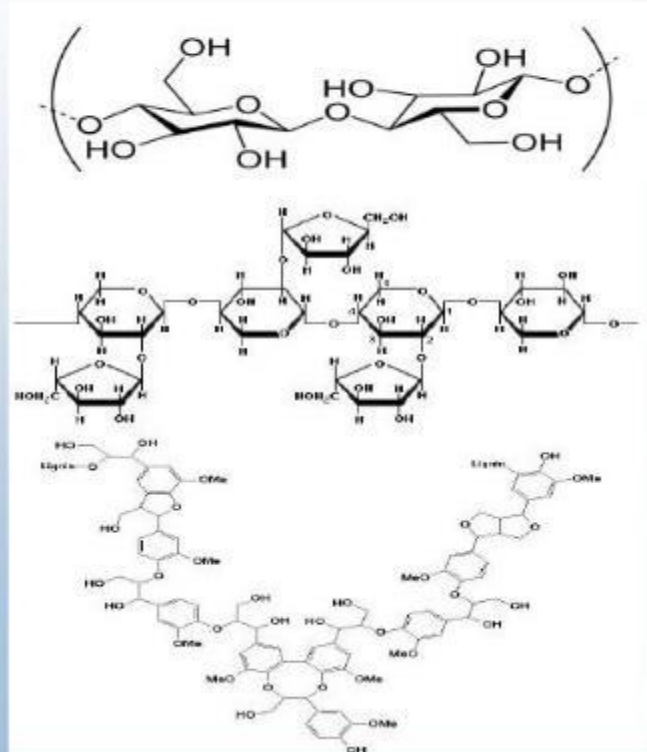
Polymer of 5- and 6-carbon sugars

Xylose is the second most abundant sugar in the biosphere

### Lignin: 15% - 25%

Complex aromatic structure  
p-hydroxyphenylpropene building blocks

### Extractives: 1% - 5%



## اندازه گیری عملکرد ذغال های چوب :

مناسب ترین روش برای اندازه گیری عملکرد کوره های ذغال آن است، که وزن ذغال های چوب حاصله را بر وزن خشک چوب های مصرفی تقسیم نمایند و سپس آنرا در عدد ۱۰۰ ضرب کنند، تا درصد چوب قابل تبدیل به ذغال حاصل آید (۲).

درصد عملکرد ذغال های چوب عمدتاً بستگی به ۴ عامل زیر دارد :

(۱) تراکم گونه های چوب (species density)

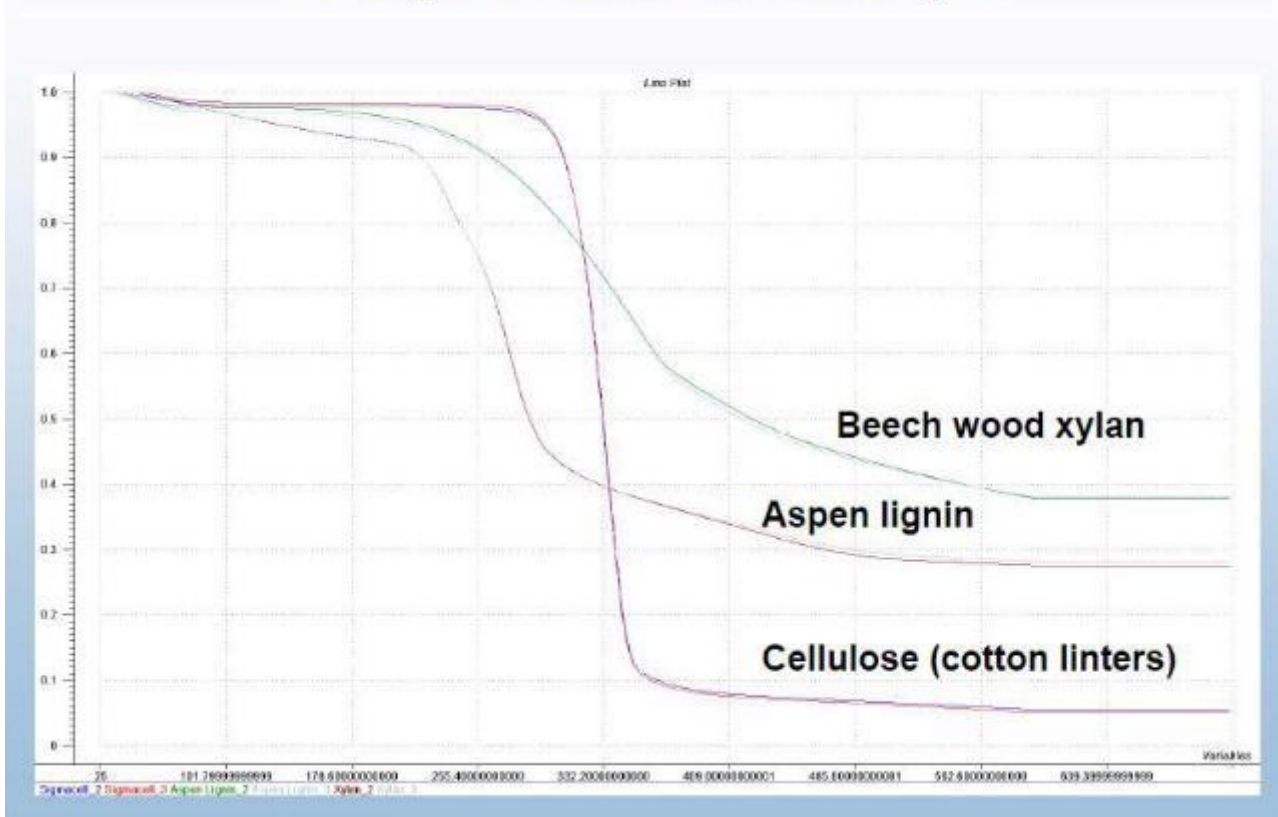
(۲) اندازه قطعات چوب (stick size)

(۳) فرم چیدمان چوب ها (form)

(۴) رطوبت چوب ها (moisture content) (۲).

## TGA of Biomass Polymers

heating at 10°C/min to 600°C in nitrogen



مقدار رطوبت چوب ها باید حدواسط "چوب تر" (green wood) و "چوب خشک" (dry wood) یعنی در حدود ۳۰-۴۰ درصد باشد. ذغال های حاصله معمولاً دارای ۲/۳-۲/۴ درصد رطوبت هستند. البته ذغال هایی که با پاشیدن آب به مرحله خنک شدن می رسند، همواره دارای رطوبت بیشتری هستند و نمی توانند در محاسبات در نظر گرفته شوند (۲).

برای اندازه گیری میزان رطوبت چوب ها از دستگاه "رطوبت سنج الکتریکی تجارتي" (CEMM) نیز بهره می گیرند. این دستگاه برای چوب هایی در محدوده رطوبتی ۷-۳۰ درصد به خوبی عمل می نماید.

در روشی دیگر به پریدن مقداری از چوب می پردازند آنگاه آنرا پس از وزن کردن توسط "آون" (oven) خشک می کنند و از فرمول زیر برای تعیین مقدار رطوبت یا M.C. (moisture content) بهره می برند:

$$M.C. = 100 \times (\text{وزن چوب خشک} / \text{وزن چوب خشک} - \text{وزن چوب تر})$$

این عمل را می توان برای بخش های مختلف کلیه چوب هایی که در هر وهله استفاده می شوند، بکار گرفت سپس متوسط رطوبت موجود را محاسبه کرد (۲).



### مقدار رطوبت ذغال چوب :

مقدار رطوبت ذغال چوب را می توان همانند تعیین رطوبت چوب به طریق خشک کردن در "آون" انجام داد ولیکن حرارت خشک کردن نباید از ۲۱۲ درجه فارنهایت (۱۰۰ درجه سانتیگراد) فراتر رود.

برای این منظور ابتدا قطعه ای از ذغال چوب را که از کوره خارج نموده اند، وزن می کنند سپس آنرا در "آون" خشک می نمایند و پس از ثبت ارقام از طریق فرمول زیر محاسبه می نمایند (۲):

$$۱۰۰ \times (\text{مقدار رطوبت ذغال} / \text{وزن ذغال کوره ای}) = \text{درصد رطوبت ذغال}$$

$$۱۰۰ \times (\text{وزن چوب های خشک} / \text{وزن ذغال حاصله}) = \text{درصد تبدیل چوب به ذغال}$$



## کمیت ذغال های چوب :

کمیت چوب ها را همیشه از طریق وزن کردن به دست نمی آورند، بلکه ابتدا حجم آنها را بر اساس "کورد" محاسبه می کنند سپس عدد حاصله را در وزن هر "کورد" ضرب می نمایند. دقت این روش به وضعیت گوناگونی چوب ها بستگی دارد (۲).

میزان استاندارد "کورد" (cord) که در ایالات متحده آمریکا و کانادا پذیرفته شده است، حدوداً  $4 \times 4 \times 8$  فوت است. هر "کورد" مشتمل بر ۱۲۸ فوت مربع (معادل  $6/3$  مترمکعب) از چوب، پوست و زواید می باشد.

وزن هر "کورد" چوب به عوامل زیر بستگی دارد :

(۱) قطر ساقه ها (diameter)

(۲) شکل ساقه ها (form of the sticks)

(۳) تراکم استقرار چوب ها (wood density)

(۴) گونه ها (species)

(۵) اندازه قطعات (size of sticks) (۲).

عملکرد ذغال چوب از طریق وزن تخمینی تعداد "بوشل های" (bushels) که از هر "کورد" چوب به دست می آیند، حاصل می آید. بطور کلی هر "بوشل" ذغال چوب حاصل از هر "کورد" چوب های سخت و نرم به ترتیب : ۲۰ و ۱۸ پوند می باشند. هر "بوشل" معادل ۳۵-۳۲ لیتر محسوب می شود (۲).

## کیفیت ذغال های چوب :

مهمترین شاخصه های کیفی انواع ذغال چوب (کلوخه ای و قالبی) به شرح زیر می باشند :

(۱) رطوبت (moisture) در حدود ۲-۴ درصد

(۲) مواد تبخیر شونده (volatiles) در حدود ۱۸-۲۳ درصد

(۳) خاکستر (ash) در حدود ۱-۴ درصد

(۴) کربن تثبیتی (fixed carbon) در حدود ۷۴-۸۱ درصد (۲).

ذغال هایی که نسبتاً دارای مواد تبخیر شونده کمتر و مقادیر تثبیتی بیشتری هستند، معمولاً برای مصارف صنعتی مطلوب ترند. تولید اینگونه ذغال ها به دماهای بیشتر از معمول (۸۵۰-۹۵۰ درجه فارنهایت)

نیازمندند. هر گاه میزان مواد تبخیر شونده ذغال های چوب بیش از ۲۴ درصد باشد، در زمان سوختن به تولید دودهای بیشتری منجر می شوند، که مقبولیت آنرا برای مصارف تفریحی- تفریحی (recreational) کاهش می دهد (۲).

ویژگی های شیمیایی ذغال های چوب منحصرأ از طریق دستگاه های آنالیز مشخص می شوند. برای تعیین مقادیر دقیق مواد تبخیر شونده ذغال باید به انجام آزمایشات دقیق همت گماشت ولیکن از طریق سوزاندن نمونه هایی از ذغال چوب و مشاهده میزان دود حاصله نیز تا حدودی می توان به موضوع پی برد (۲).

انجام آزمایش سختی (rough-test) می تواند کیفیت ذغال تولیدی را نشان دهد. برای اینکار قطعه ای از آنرا بر روی سطح سفتی می اندازد، تا حلقه ای متالیک (metallic ring) ایجاد کند (۲).

ذغال سازی سریع (rapid cooling) با درجه حرارت های زیاد معمولاً به شکل گیری ذغال های ترد و شکننده ای منتهی می شود، که به سادگی به قطعات کوچک و ظریف شکسته می گردند (۲).

## Flash Carbonization



*Batch operation; 10 tons/day charcoal.*

*Biomass loaded to a canister then heated up to 350°C at 0.7 MPa for 30-90 min.*

*Charcoal yield 40-50% (70-80% fixed carbon).*

*Catalytic afterburner for tars eliminates smoke from reactor effluents.*

*Capital cost \$200,000.*

*HNEI Flash Carbonization™  
Demonstration Reactor*

گونه های مختلف چوب مصرفی در کوره ها دارای تأثیرات قابل توجهی بر کیفیت شیمیایی ذغال ها نیستند ولیکن خصوصیات فیزیکی ذغال ها از ساختار و تراکم چوب ها متأثر می گردند. بعنوان مثال : چوب هایی که تراکم کمتری دارند، باعث تولید توده های (bulk) ذغال بزرگتری می گردند درحالیکه چوب های متراکم به تولید ذغال هایی می انجامند، که به سادگی خرد (brittle) می شوند.

به هر حال باید توجه داشت که ذغال های کلوخه ای طی فرایندهای مطلوب از چوب هایی با تراکم متوسط تا زیاد حاصل می گردند. آنها در اثر حمل و نقل به میزان کمتری می شکنند و خاکه های ذغال (dusts) کمتری تولید می کنند (۲).

### تأثیر شرایط عملیات بر عملکرد ذغال :

میزان عملکرد ذغال چوب از شیوه بارگذاری یا شارژ کوره (kiln charge) و همچنین شرایط ذغال سازی تأثیر می پذیرد. کیفیت ذغال ها نیز با تغییر شرایط ذغال سازی دچار دگرگونی می شود (۲).

### تأثیر رطوبت چوب بر عملکرد ذغال :

میزان عملکرد ذغال چوب متأثر از مقدار رطوبت چوب مصرفی در روند کربونیزاسیون می باشد، بطوریکه :  
(الف) زمانی که از چوب های تازه و خشک نشده برای پُر کردن کوره ها استفاده می شود، یقیناً از راندمان تولید ذغال کاسته می گردد.

(ب) بررسی ها نشان می دهند، که بکارگیری چوب های سخت با رطوبت ۳۲ درصد به راندمان ۳۰ درصدی تولید ذغال در کوره های ۳ "کورد" می انجامد.

(پ) بررسی های دیگر با چوب های سخت دارای رطوبت ۴۴ درصد به راندمان ۲۷ درصدی منتهی گردیدند.

(ت) آزمایشات دیگری با چوب های سخت حائز رطوبت ۴۷ درصد با راندمان ذغال سازی ۲۵ درصدی خاتمه یافتند.

(ث) شش آزمایش دیگر که با چوب های گردوی آمریکائی یا "هیکوری" (hickory) و بلوط سفید (white oak) دارای رطوبت ۳۶ درصد صورت پذیرفت، به راندمان تبدیل ۳۳ درصدی دست یافت، یعنی بطور متوسط ۹۱۰ پوند ذغال از هر "کورد" چوب حاصل گردید.

ج) در آزمایش دهگانه ای که با چوب های دارای رطوبت ۶۳ درصد صورت پذیرفت، به راندمان تولید ذغال ۲۹ درصد دست یافتند، که بیانگر تولید ۷۹۲ پوند ذغال چوب از هر "کورد" چوب بودند (۲).

پژوهش ها همچنین مؤید آن بودند که تفاوت رطوبت چوب ها هیچگونه تأثیری بر کیفیت ذغال تولیدی نمی گذارد. این نتایج بیانگر آن هستند، که اگر از چوب های خشک یعنی قطع شده پیشین (seasoned) و یا چوب های تر یعنی قطع شده جدید (unseasoned) با درصد رطوبت های متفاوت برای ذغال سازی استفاده گردد، یقیناً تأثیرات مهمی در عملیات مربوطه بوجود می آید و بیشترین تأثیر را بر کمیت ذغال تولیدی خواهد داشت (۲).

- بطور کلی چوب های تر دارای راندمان ذغال سازی کمتری هستند ولیکن هزینه های حمل و نقل و انباشتن بیشتری را می طلبند. در الگوی ذغال سازی مبتنی بر رطوبت از ۳ گروه چوب ها استفاده می گردد :
- ۱) چوب های هوا-خشک (air-seasoned) با رطوبت ۲۵-۳۵ درصد که خواهان سیکل ذغال سازی کوتاه هستند.
  - ۲) چوب هایی با رطوبت ۳۵-۴۵ درصد که نیازمند سیکل ذغال سازی (coaling cycle) متوسط مدت می باشند.
  - ۳) چوب هایی با رطوبت بیش از ۴۵ درصد که خواهان سیکل ذغال سازی طولانی خواهند بود (۲).

چوب هایی با رطوبت کمتر از ۲۰ درصد را می توان سریعاً به ذغال تبدیل کرد و از افزایش بیرویه حرارت جلوگیری نمود.

آزمایشاتی که در کوره هایی با حجم ۳ و ۷ "کورد" صورت پذیرفت، نشان داد که متوسط زمان ذغال سازی چوب های خشک در حدود ۴-۵ ساعت برای هر "کورد" است درحالیکه برای چوب های خشک نشده باید ۵/۵-۸ ساعت برای هر "کورد" تلف نمود (۲).

شارژ کوره ها با چوب های خشک نشده در قیاس با چوب های خشک نسبتاً دشوارتر است. قطعات چوب نیمسوزی (brands) که در کف کوره ها در مواجهه با حرارت های پائین تر قرار می گیرند، معمولاً تا خاتمه فرآیند نیز به صورت یکنواخت و کامل (not charred) نمی سوزند.

بررسی ها نشان دادند که کوره های ۷ "کورد" به ۹۷ پوند نیمسوز در استفاده از چوب های بلوط خشک شده و ۲۶۰ پوند نیمسوز در استفاده از چوب های بلوط خشک نشده به ازای هر کورد منجر می گردند.

در کوره های ۳ کورد نیز ۳۵۸ پوند نیمسوز از چوب های خشک شده افرا و ۴۸۱ پوند نیمسوز از چوب های خشک نشده افرا برجا ماند.

البته این وزن ها شامل رطوبت های باقیمانده در چوب های نیمسوز نیز می باشند. نسبت وزنی نیمسوزها به ذغال های تولیدی متأثر از حجم کوره ها و شیوه های ذغال سازی می باشند (۲).

### تأثیر گونه های چوب بر وزن شارژ کوره ها :

عملکرد ذغال چوب در کوره ها وابستگی مستقیمی به تراکم چوب های شارژ شده (wood charged) دارد. بعلاوه چوب های سنگین تر به عملکرد وزنی بیشتری منتهی می گردند. گونه های مختلف چوب از جمله بلوط و هیکوری دارای وزن خشک های متفاوتی به ازای هر فوت مکعب هستند (۲).

"جدول ۷) وزن خشک گونه های مختلف چوب (۲):"

| نام فارسی     | نام انگلیسی     | وزن خشک<br>(پوند/فوت مکعب) | گروه وزنی |
|---------------|-----------------|----------------------------|-----------|
| توسکای قرمز   | Red Alder       | ۲۷                         | سبک       |
| زبان گنجشک    | White Ash       | ۴۰                         | متوسط     |
| کیوده         | Aspen           | ۲۶                         | سبک       |
| لاله درختی    | Basswood        | ۲۵                         | سبک       |
| راش           | Beech           | ۴۲                         | سنگین     |
| غان زرد       | Yellow Birch    | ۴۱                         | سنگین     |
| درخت چوب پنبه | East Cottonwood | ۲۷                         | سبک       |
| کاج داگلاس    | Douglas Fir     | ۳۲                         | متوسط     |
| کاج کانادایی  | Hemlock         | ۲۷                         | سبک       |
| هیکوری        | Hickory         | ۴۷                         | سنگین     |
| آرس           | Janeper         | ۳۴                         | متوسط     |
| کاج استخری    | Loblolly        | ۳۴                         | متوسط     |
| کاج کوهی      | Lodgepole pine  | ۲۷                         | سبک       |
| کاج برگ دراز  | Longleaf pine   | ۳۹                         | متوسط     |
| مادرونا       | Madrona         | ۴۳                         | سنگین     |
| افرای قرمز    | Red Maple       | ۳۴                         | متوسط     |
| افرای قندی    | Sugar Maple     | ۴۳                         | سنگین     |
| کهور          | Mesquite        | ۵۵                         | سنگین     |
| بلوط          | Oak             | ۴۷                         | سنگین     |
| درخت ماموت    | Redwood         | ۲۶                         | سبک       |
| کاج برگ کوتاه | Shortleaf pine  | ۳۳                         | متوسط     |
| کاج مرداب     | Slash pine      | ۴۱                         | سنگین     |
| رُذ شیرین     | Sweet Gum       | ۳۴                         | متوسط     |
| توپلو         | Tuplo           | ۳۴                         | متوسط     |
| گردو          | Walnut          | ۳۵                         | متوسط     |

"جدول ۸) رابطه وزن خشک چوب های مختلف با عملکرد ذغال (۲):"

| گونه ها             | ذغال<br>(پوند/کورد) | عملکرد<br>(درصد) |
|---------------------|---------------------|------------------|
| سخت چوب روشن        | ۶۷۰                 | ۳۰/۹             |
| بلوط قرمز جنوبی     | ۸۲۰                 | ۱۹/۶             |
| مخلوط بلوط و هیکوری | ۸۵۰                 | ۲۹/۲             |
| هیکوری              | ۹۲۰                 | ۲۷/۹             |

شکل ظاهری (form) چوب ها می تواند بر مقدار وزنی هر وهله بارگذاری یا شارژ (charged) کوره ها مؤثر باشد و از این طریق بر وزن ذغال های تولیدی تأثیر بگذارد. قرار دادن چوب های گرد (round wood) به حالت قائم می تواند بسیار مطلوب باشد لذا مقادیر مواد جامد بیشتری در هر "کورد" تعبیه می شوند.

باید در نظر داشت که طیف گسترده ای از وزن هر "کورد" چوب در هر بارگذاری امکان پذیر می باشد زیرا :  
اولاً) چوب ها دارای وزن های متفاوتی هستند.  
ثانیاً) بارگذاری را می توان به شیوه ها و لاجرم تراکم گوناگونی صورت داد (۲).

نتایج پژوهشی نشان داده اند که وزن خشک بلوط قرمز در یک کوره ۷ "کورد" (با حجم واقعی ۶/۶ کورد) در حدود ۳۲۵۰-۲۳۵۰ پوند به ازای هر "کورد" خواهد بود.  
مقدار وزن چوب های خشکی که بدین ترتیب در چنین کوره ای تعبیه می شوند، در حدود ۳ تن می باشد، که عمدتاً به قطر و مستقیم بودن (straightness) قطعات چوب بستگی دارد. از این مقدار چوب در حدود ۱۸۰۰ پوند ذغال حاصل می شود (۲).

وزن خشک افرای قندی که در داخل یک کوره ۳ "کورد" با حجم واقعی ۲/۷ "کورد" قرار می گیرند، در حدود ۳۰۳۰-۲۲۶۰ پوند به ازای هر "کورد" است.

تفاوت ۲۱۰۰ پوندی وزن چوب در مورد فوق به بیش از ۶۰۰ پوند ذغال در هر دفعه بارگذاری کوره منجر خواهد شد، که برابر با ۱۰۰ پوند ذغال به ازای هر "کورد" چوب می باشد. این موضوع نشان می دهد که چوب های افرا نسبت به سایر چوب های مصرفی دارای حالت مستقیم تر و یکنواخت تری هستند.

یقیناً تفاوت هایی که در شکل و اندازه چوب ها نظیر : گرد بودن (roundwood) ، تکه ای بودن (slabwood) و قطعات بزرگ (chunkwood) وجود دارند، سبب تفاوت هایی در وزن چوب های هر بارگذاری (شارژ) می گردند (۲).

"جدول ۹) ارتباط حجم چوب مصرفی با عملکرد ذغال (۲):"

عملکرد پایه حدود ۳۲ درصد تعیین شده است.

| گونه ها         | هر کورد معادل ۶۵ فوت مکعب    |                       | هر کورد معادل ۸۵ فوت مکعب    |                       |
|-----------------|------------------------------|-----------------------|------------------------------|-----------------------|
|                 | وزن چوبهای هر کورد<br>(پوند) | عملکرد ذغال<br>(پوند) | وزن چوبهای هر کورد<br>(پوند) | عملکرد ذغال<br>(پوند) |
| توسکا قرمز      | ۱۷۵۵                         | ۵۶۱                   | ۲۲۹۵                         | ۷۳۴                   |
| زبان گنجشک سفید | ۲۶۰۰                         | ۸۳۲                   | ۳۴۰۰                         | ۱۰۸۸                  |
| کبوده           | ۱۷۹۰                         | ۵۷۳                   | ۲۲۱۰                         | ۷۰۷                   |
| لاله درختی      | ۱۶۲۵                         | ۵۲۰                   | ۲۱۲۵                         | ۶۸۰                   |
| راش             | ۲۷۳۰                         | ۸۷۳                   | ۳۵۷۰                         | ۱۱۴۲                  |
| غان زرد         | ۲۶۶۵                         | ۸۵۳                   | ۳۴۸۵                         | ۱۱۱۵                  |
| درخت چوب پنبه   | ۱۷۵۵                         | ۵۶۱                   | ۲۲۹۵                         | ۷۳۴                   |
| کاج داگلاس      | ۲۰۸۰                         | ۶۶۶                   | ۲۷۲۰                         | ۸۷۰                   |
| کاج کانادائی    | ۱۷۵۵                         | ۵۶۱                   | ۲۲۹۵                         | ۷۳۴                   |
| هیکوری          | ۲۹۵۰                         | ۹۵۰                   | ۳۹۵۰                         | ۱۳۰۰                  |
| آرس             | ۲۲۱۰                         | ۷۰۷                   | ۲۸۹۰                         | ۹۲۵                   |
| کاج استخری      | ۲۲۱۰                         | ۷۰۷                   | ۲۸۹۰                         | ۹۲۵                   |
| کاج کوهی        | ۱۷۵۵                         | ۵۶۱                   | ۲۲۹۵                         | ۷۳۴                   |
| کاج برگ دراز    | ۲۵۳۵                         | ۸۲۱                   | ۳۳۱۵                         | ۱۰۶۰                  |
| مادرونا         | ۲۷۹۵                         | ۸۹۴                   | ۳۶۵۵                         | ۱۱۶۹                  |
| افرای قرمز      | ۲۲۱۰                         | ۷۰۷                   | ۲۸۹۰                         | ۹۲۵                   |
| افرای قندی      | ۲۷۹۵                         | ۸۹۴                   | ۳۶۵۵                         | ۱۱۶۹                  |
| کهور            | ۳۶۰۰                         | ۱۱۵۰                  | ۴۶۰۰                         | ۱۴۷۵                  |
| بلوط            | ۲۸۰۵                         | ۹۷۴                   | ۴۱۵۰                         | ۱۲۶۵                  |
| درخت ماموت      | ۱۷۹۰                         | ۵۷۳                   | ۲۲۱۰                         | ۷۰۷                   |
| کاج برگ کوتاه   | ۲۱۴۵                         | ۶۸۶                   | ۲۸۰۵                         | ۸۹۷                   |
| کاج مرداب       | ۲۶۶۵                         | ۸۵۳                   | ۳۴۸۵                         | ۱۱۱۵                  |
| ژد شیرین        | ۲۲۱۰                         | ۷۰۷                   | ۲۸۹۰                         | ۹۲۵                   |
| توپلو           | ۲۲۱۰                         | ۷۰۷                   | ۲۸۹۰                         | ۹۲۵                   |
| گردوی سیاه      | ۲۲۷۵                         | ۷۲۸                   | ۲۹۷۵                         | ۹۵۲                   |

"جدول ۱۰) تأثیر نوع مواد خام بر وزن مواد بارگذاری کوره های ذغال (۲):"

| ساقه ها و شاخه ها               |               | ضایعات چوب بری                  |                                  |
|---------------------------------|---------------|---------------------------------|----------------------------------|
| متوسط وزن خشک<br>(پوند هر کورد) | گونه ها و شکل | متوسط وزن خشک<br>(پوند هر کورد) | گونه ها و شکل                    |
| ۲۶۰۰                            | افرای قندی    | ۲۵۰۰                            | افرای قندی<br>(تخته ای)          |
| ۱۴۵۰                            | لاله درختی    | ۲۲۰۰                            | افرای قندی<br>(باریکه های دراز)  |
| ۲۱۵۰                            | مخلوط چوب ها  | ۲۰۰۰                            | افرای قندی<br>(باریکه های کوتاه) |
| ۲۹۵۰                            | هیکوری        | ۲۲۵۰                            | بلوط قرمز<br>(باریکه ها)         |
| ۲۸۰۰                            | بلوط          | ---                             | ---                              |

### تأثیر گونه های درختان و فرم چوب ها بر عملکرد و کیفیت ذغال :

عملکرد مطلوب ذغال چوب را می توان از انواع چوب ها با اشکال متفاوت بدست آورد. در مواردی که از قطعات الواری حاصل از درختان سخت چوب برای بارگذاری کوره ها استفاده می شود، به عملکرد ۳۰ درصد دست می یابند. این عملکرد نسبتاً مناسب است ولیکن می تواند تحت تأثیر مقدار مواد جامدی قرار گیرد، که در هر وهله استفاده می شوند.

در صورتیکه شرایط مناسبی برای بکارگیری کوره های ذغال حاصل آید آنگاه می توان ذغال های مرغوبی را از تمام انواع چوب ها بدست آورد بطوریکه ذغال هایی با ۷۵-۸۲ درصد کربن تثبیتی از اشکال مختلف چوب ها (تخته ای، باریکه ای و قطعه ای) تولید می گردند (۲).

### تأثیر اندازه و شکل کوره ها بر عملکرد و کیفیت ذغال :

برای تهیه ذغال چوب اغلب از کوره هایی با ظرفیت های ۱۰-۲ "کورد" بهره می جویند ولیکن بنظر می رسد که کوره های بزرگتر می توانند در یک دوره زمانی معین به تولیدات مطلوب بیشتری نائل آیند.

"هایکوک" (Hicock) گزارش کرده است، که کوره هایی با ظرفیت ۱۲-۵ "کورد" در قیاس با کوره های کوچکتر به تولید ذغال های بیشتری به ازای هر "کورد" می انجامند. کارشناسان یک دلیل برای چنین دستاوردی را اینگونه بر می شمارند، که اصولاً چوب های درشت تری که در کوره های بزرگتر بکار می روند، با موفقیت بیشتری کربونیزه می شوند (۲).

در آزمایشی هم که با استفاده از چوب های خشک شده (seasoned) و خشک نشده (unseasoned) انجام پذیرفت، میزان عملکرد ذغال چوب در کوره های ۷ "کورد" بطور قابل قبولی بیشتر از کوره های ۳ "کورد" بود (۲).

ذغال های مناسب برای عرضه در فروشگاه ها را می توان از انواع کوره ها با اندازه های مختلف به شرط تدارک حرارت مناسب برای دوره زمانی کافی بدست آورد. بهرحال احتمالاً بسیار دشوار خواهد بود که ذغال هایی مرغوب از کوره هایی (بویژه فلزی) بدست آیند، که بخوبی عایق بندی نشده باشند زیرا چنین کوره هایی حرارت حاصله را سریعاً از دست می دهند (۲).

## تأثیر اندازه و شکل کوره ها بر مدت ذغال سازی :

هرگاه :

(۱) مواد خام (raw materials) ،

(۲) شیوه های عمل (operational methods) و

(۳) حرارت های ذغال سازی (coaling temperations)

یکسان باشند آنگاه زمان ذغال سازی به ازای هر "کورد" از چوب های مصرفی بسیار حائز اهمیت خواهد بود (۲).

آزمایشاتی که با کوره های ۳ و ۷ "کورد" دارای دیواره های چندگانه انجام گرفت، نشان داد که :  
ذغال سازی با چوب های خشک شده طی دوره ۴ ساعته و با چوب های خشک نشده طی دوره ۷ ساعته صورت می پذیرند.

اصولاً تفاوت های زمانی که برای پُر کردن (loading) و تخلیه (unloading) کوره ها بوجود می آید، از عوامل مهم فرآیند تولید ذغال چوب هستند و بستگی به ابزارهای قابل دسترسی دارند، که با نوع و اندازه کوره های فعال مناسب داشته باشند (۲).

## تأثیر زمان و حرارت بر کیفیت ذغال :

با کیفیت ترین ذغال های چوب از کوره هایی با حرارت ۸۵۰-۹۵۰ درجه فارنهایت حاصل می گردند. البته مقدار کربن تثبیتی می تواند در کوره هایی با حرارت های بالا نسبتاً افزایش یابد درحالیکه راندمان ذغال ها کاهش می پذیرد (۲).

هرگاه ذغال سازی با حرارت های کمتر از معمول انجام گیرد آنگاه به زمان طولانی تری برای حصول ذغال های مطلوب نیاز خواهد بود زیرا از دستگاه های "ترموکوپل" (thermocouple) همانند کوره های تجارتي مدرن نمی توان در کوره های سنتی معمولی بهره جُست، تا بدین وسیله بتوان حرارت کوره ها را در محدوده ۸۵۰-۹۵۰ درجه فارنهایت حفظ نمود.

از دستگاه های "ترموکوپل" همواره در سقف کوره های تجارتي سود می برند، تا دمای گازهای نزدیک سقف کوره ها را اندازه گرفته و هم زمان به تنظیم حرارت کوره ها بپردازند (۲).

در نظر داشته باشید که حرارت کوره ها در سرتاسر فضای داخلی آنها یکسان نیست. بدین ترتیب حرارت در نزدیک سقف کوره ها نسبتاً بیشتر از کف آنها است آنچنانکه چوب های کف کوره ها بسیار دیرتر به مرحله ذغالی شدن می رسند و یا در پایان همچنان به صورت نیمسوز باقی می مانند (۲).

میانگین حرارت کوره ها می تواند از طریق سرعت بخشی فرآیند بر کمیت و کیفیت انواع ذغال تولیدی تأثیر بگذارد. متوسط تفاوت حرارت بین سقف و سرتاسر کوره ها در طی زمستان ها به حداکثر می رسد. این تفاوت همچنین در مورد ذغال سازی چوب های خشک نشده در قیاس با چوب های خشک شده نیز صادق است. از اینرو شارژ کردن یا بارگذاری کوره ها در هوای سرد با چوب های خشک نشده نسبت به هوای گرم دارای سودمندی بیشتری با ایجاد دمای ۹۵۰-۸۵۰ درجه فارنهایت می باشد. از سوی دیگر چوب های خشک در طی فصول تابستان ممکن است تحت حرارت های کم کوره ها نیز بتوانند به سودمندی لازم دست یابند (۲).

نتایج آزمایشات متعدد با چوب بلوط نشان می دهند که مقدار کربن تثبیتی ذغال های ناحیه فوقانی کوره ها در حدود ۸۵ درصد، ناحیه میانی حدود ۸۰ درصد و ناحیه نزدیک به کف کوره در حدود ۷۹-۷۵ درصد می باشند.

بررسی ها همچنین نشان می دهند که دماهای بالاتر از ۹۰۰ درجه فارنهایت موجب کاهش عملکرد ذغال های چوب خواهند شد درحالیکه درصد بالاتری از کربن تثبیتی را شامل هستند (۲).

### تأثیر زمان و حرارت بر عملکرد کوره ها :

بطور کلی کنترل کافی بر زمان ذغال سازی وجود ندارد زیرا تمامی بخش های کوره ها دارای دمای یکسانی نیستند. موضوع مهم آن است که فرآیند ذغال سازی به خوبی تکمیل گردد.

کارشناسان یک راه برای تعیین زمان تکمیل فرآیند ذغال سازی را مشاهده حجم دود مطرح کرده اند، یعنی زمانی که تولید دود عملاً قطع می گردد آنگاه فرآیند ذغال سازی نیز کامل گردیده است. بدین ترتیب هنگامی که تولید دود در کوره های ذغال سازی متوقف می شود، متوسط حرارت داخل کوره ها به حدود ۸۰۰ درجه فارنهایت می رسد (۲).

ذغال سازی با چوب های تر (green wood) از یکنواختی کمتری برخوردار است لذا دوره زمانی لازم برای کربونیزاسیون انواع چوب ها نسبتاً متفاوت است.

دوره ذغال سازی برای چوب های خشک در کوره هایی با حجم ۶/۶ "کورد" در حدود ۲۸-۳۳ ساعت است درحالیکه این دوره برای چوب های تر در حدود ۳۴-۵۵ ساعت خواهد بود.

برای ذغال سازی چوب های خشک در کوره هایی با حجم ۳ "کورد" در حدود ۱۷-۱۱ ساعت و برای چوب های خشک نشده از ۲۸-۲۱ ساعت می باشد (۲).

برخی شرایط اقلیمی در دوره ذغال سازی می توانند بر میزان عملکرد کوره ها تأثیر بگذارند که عبارتند از :

(۱) سرما (cold)

(۲) وزش باد (winding) (۲).

### تأثیر حرارت زمانی بر میزان نیمسوزها :

تولید نیمسوزها (brands) در فرآیند ذغال سازی غیر معمول نیست. نیمسوزها با مقادیر مختلف در انواع کوره ها تولید می گردند. بهرحال بیان دلیل اصلی تولید نیمسوزها و اندازه گیری مقدار دقیق آنها بسیار دشوار است.

بررسی ها نشان می دهند که کمترین میزان نیمسوزها از چوب های خشک نشده و با حرارت های بالاتر از حد متوسط ناحیه سقف کوره ها حاصل می آیند.

پژوهش ها نشان می دهند که طولانی شدن دوره ذغال سازی چوب های خشک نشده در کوره های ۳ "کورد" طی ۲۶ آزمایش دارای هیچگونه تأثیری بر کاهش وزن خشک نیمسوزها نبوده است (۲).

### تأثیر آب و هوا بر عملکرد ذغال چوب :

ثابت شده است که تغییرات فصلی حرارت هوا بر عملکرد ذغال چوب مؤثر هستند. گزارشات متعدد نشان می دهند که کوره های فلزی در طی ماههای سرد سال فقط ۸۶ درصد راندمان همین گونه کوره ها را در قیاس با ماههای گرم سال داشته اند.

زمانیکه دمای درون کوره ها در ناحیه سقف به ۹۵۰-۸۵۰ درجه فارنهایت برسد آنگاه میانگین تبدیل برای چوب هایی با رطوبت ۶۳-۵۸ درصد در ماههای سرد سال به ۶/۲۷ درصد و در ماههای گرم سال به ۷/۲۸ درصد دست می یابد (۲).

## تأثیر آب و هوا بر حرارت کربونیزاسیون :

ذغال های چوب با کیفیت را در صورت فراهم کردن دمای مطلوب می توان در تمامی طول سال تولید نمود. به دلیل اینکه بیشترین افت حرارت در کوره های فلزی رخ می دهد لذا بکارگیری اینگونه کوره ها در ماههای سرد سال نسبتاً دشوار است. در صورتیکه دمای کوره ها به هر دلیلی به کمتر از دمای مطلوب برای کربونیزاسیون چوب ها نزول یابد آنگاه کیفیت ذغال تولیدی با کاهش روبرو خواهد شد (۲).

الگوی ذغال سازی کوره ها در طی طول سال تفاوت می نماید زیرا دمای محیط و نوع مواد اولیه مصرفی تغییر می کنند. هرگاه حرارت درون کوره ها از ۹۵۰-۸۵۰ درجه فارنهایت به ناگهان به میزان بیش از ۵۳ درجه فارنهایت نزول می یابد آنگاه باید به فکر عایق بندی سطح کوره ها از طریق افزایش تعداد دیواره ها افتاد (۲).

## مطالعات اقتصادی تولید ذغال چوب :

بطور یقین موارد زیر بر هزینه های تولید ذغال چوب تأثیر می گذارند :

(۱) بهای چوب ها

(۲) مزد کارگران برای بارگذاری یا شارژ کوره ها

(۳) کارایی عملیات کربونیزاسیون

(۴) میزان عملکرد کوره

(۵) نوع کوره ها (۲).

بررسی ها نشان می دهند که برای بارگذاری هر "کورد" درون کوره ها با چوب های گرد (ساقه ها و شاخه

ها) هزینه هایی به شرح زیر تعلق می گیرند :

(۱) بارگذاری هر کورد حدوداً ۱۲ دلار

(۲) هزینه کارگری حدوداً ۱۰ دلار در ساعت

(۳) هزینه استهلاک به ازای هر تن ذغال تولیدی حدوداً ۵ درصد (۲).

بنظر می آید که هزینه هر دفعه بکارگیری (run) کوره های فلزی در حدود ۶۰۰ دلار و برای کوره های

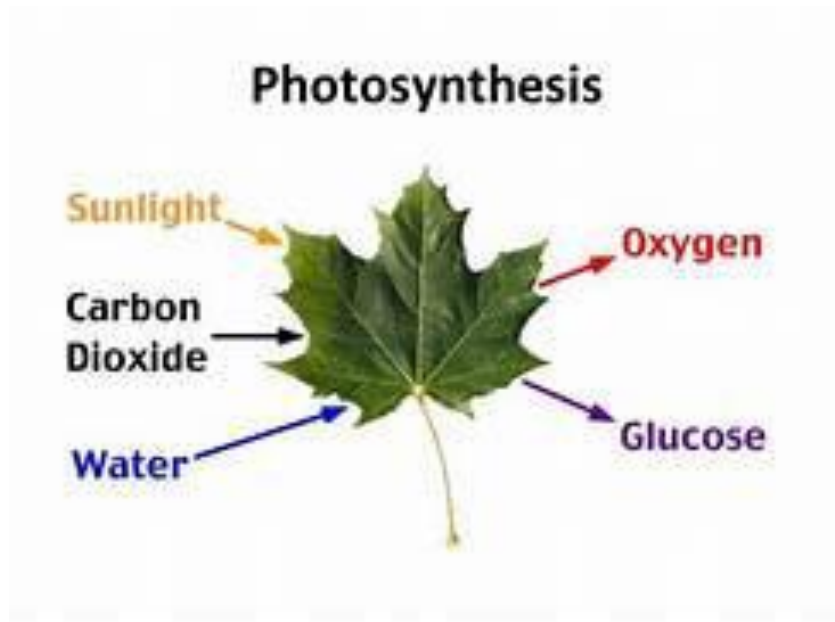
آجری در حدود ۲۰۰ دلار می باشد.

بطور تقریبی از کوره ها می توان حدود ۲۰۰ دفعه استفاده کرد.

هر یک از کوره ها نیازمند حضور ۲ نفر کارگر با ۴۰ ساعت کار در هفته هستند (۲).

## تهیه ذغال چوب از ضایعات کشاورزی :

ذغال چوب پایدار (sustainable charcoal) به عنوان یک نوع سوخت می تواند در کاهش جنگل زدائی مؤثر واقع گردد زیرا در تقابل با قطع (felling) درختان می توان از ضایعات خشک کشاورزی بعنوان یک نوع منبع سوخت بهره گرفت و از این نظر فواید مختلفی را برای محیط زیست ببار آورد (۵).



ضایعات کشاورزی را از طریق مراحل زیر به ذغال پایدار تبدیل می کنند :

۱) ابتدا آنها را با استفاده از کوره های (kiln) ساده می سوزانند و به کرین تبدیل (carbonized) می کنند.

۲) سپس کرین حاصله را له (crushed) می کنند و به صورت پودر در می آورند.

۳) پودرها را با ماده همبند یا چسباننده (binder) به همدیگر متصل می سازند.

۴) ماده حاصله را با قالب های مخصوص (briquettes) به شکل دلخواه در می آورند (۵).

موضوعاتی که بعنوان چالش در رابطه با تهیه ذغال از ضایعات کشاورزی مطرح می گردند عبارتند از :

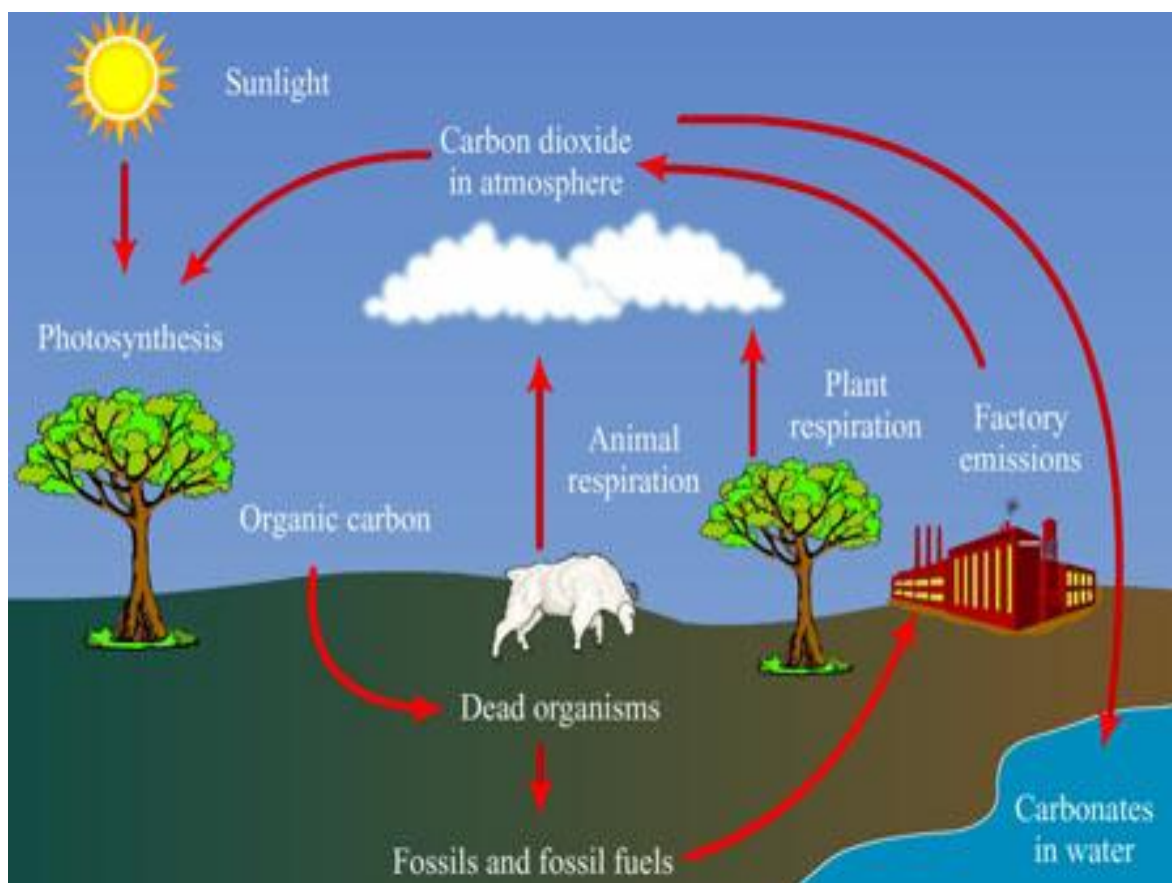
(۱) نوع مواد ضایعاتی مصرفی (materials using)

(۲) طرح کوره ذغال سازی (kiln design)

(۳) روش سوزاندن (burn methodology)

(۴) اندازه قالب ها (scalability briquetting)

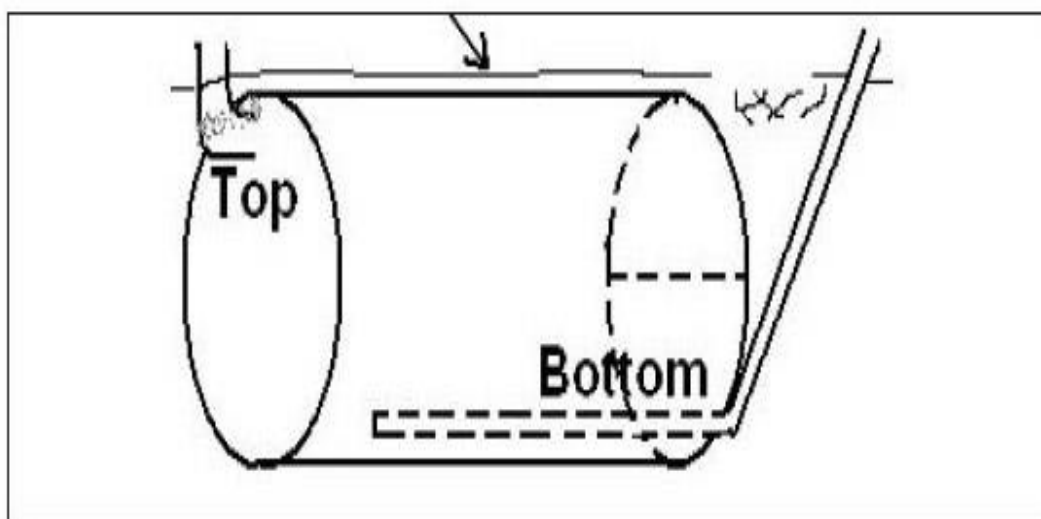
طراحی کوره و میزان فشار بکار رونده از اهمیت بسیار زیادی برای وثوق به حصول ذغال چوب با کیفیت برخوردار است (۵).



"جدول ۱۱) وزن ضایعات کشاورزی و متوسط عملکرد ذغال حاصله (۵):"

| چوب بلال (cobs) |      | پوسته برنج (husks) |      | ذغال سنگ (coal) |      |
|-----------------|------|--------------------|------|-----------------|------|
| کیلوگرم         | درصد | کیلوگرم            | درصد | کیلوگرم         | درصد |
| ۲۹/۵            | ۹۲/۲ | ۲/۵                | ۷/۸  | ۵/۵             | ۱۷/۱ |

از بشکه های ۲۲۰ لیتری فلزی می توان برای ایجاد کوره های تولید ذغال از ضایعات چوب استفاده نمود. بهلاوه کوره های سنتی تهیه سفال و آجر (brick-mud kiln) نیز از قابلیت استفاده برای این منظور برخوردارند. پخت آجر در بسیاری از اجتماعات سنتی رواج دارد لذا از دانش و تجربیات افراد محلی می توان سود جست (۵).



Schematic of the kiln buried ready for use

برای مراحل آزمایشی و تجربی بهتر است از بشکه های فلزی ۶۰ لیتر استفاده کنید. از مهمترین فواید بکارگیری اینگونه بشکه های فلزی آن است، که به راحتی قابل جابجائی هستند ولیکن میزان ذغال تولیدی در کوره های چهارگوش حدوداً دو برابر کوره های بشکه ای می باشد (۵).

وجود شکاف های عبور هوا به داخل کوره در مواردی که از چوب های ضایعاتی کوچک و یا چوب بلال (cobs) استفاده می گردد، از اهمیت و کارائی بیشتری برخوردار است. البته اینگونه شکاف ها را در مواقع غیر ضرور می توان به راحتی مسدود ساخت (۵).



Fully loaded kiln giving white smoke

بسیاری از مردم جهان اتاقک های چهارگوش با سقف نوک تیز و مخروطی را برای تهیه ذغال چوب بکار می گیرند. سقف های مخروطی مجهز به دودکش می توانند باعث تسهیل خروج دود حاصل از سوختن چوب ها گردند. اطراف اتاقک های چهارگوش را پس از استقرار بخشی باید بخوبی با گچ یا گل اندود نمود. سپس بخش کوچکی از دیواره اتاقک را که در مسیر وزش باد قرار دارد، اندکی می گشایند، تا باعث ورود آسانتر هوا به داخل اتاقک گردد.

در مواردی نیز شکاف هایی در کف اتاقک ایجاد می نمایند. چنین شکاف هایی به خوبی می توانند جریان هوا را در تمامی حجم اتاقک برقرار نمایند و باعث بهبود و تسریع فرآیند سوختن چوب های ضایعاتی و در نهایت تهیه ذغال گردند (۵).



از کوره های آجرپزی سنتی می توان برای تهیه ذغال از ضایعات کشاورزی زیر بهره گرفت :

- ۱) چوب بلال (cobs)
- ۲) پوسته برنج (husk)
- ۳) گراس ها (grass)
- ۴) پوست موز (banana peels) (۵).

کوره های ذغال اتفاقی را باید در محل های باز احداث نمود، تا جریان هوا بخوبی انجام پذیرد و دود حاصل از فرآیند ذغال سازی به راحتی بگریزد.

طول و عرض کوره های اتفاقی را می توان به ترتیب ۱۱۲ سانتیمتر و ۹۶ سانتیمتر در نظر گرفت، تا ظرفیت ۳۲ کیلوگرم چوب بلال و پوسته برنج خام را داشته باشند.

برای احداث چنین کوره ای به ۲۷۰ عدد آجر و حدوداً ۳/۵ ساعت وقت نیاز می باشد.

از گل یا لجن می توان برای چسباندن آجرها به همدیگر و همچنین برای درزگیری و آب بندی دیواره ها بهره گرفت.

برای خشک شدن کوره احداثی باید ۸-۶ ساعت وقت صرف کرد (۵).



Aerial view of the slits on the base during construction

چوب بلال ها و پوسته های برنج را بدون فشردگی و در لایه های مجزا درون کوره اتفاقی قرار می دهند، تا هوا بتواند با سهولت در لابلای آنها جریان یابد و باعث سوختن شان گردد. مواد داخل کوره اتفاقی را از طریق دریچه جانبی به آتش می کشند سپس دریچه مزبور را با آجرهایی مسدود می سازند و با گل می پوشانند.

در این میان، هوای مورد نیاز اشتعال از طریق شکاف هایی که در کف کوره تعبیه شده اند، تأمین می گردد.

همچنان که مواد یا بیوماس داخل کوره کربونیزه و به ذغال تبدیل می شوند، دود تولیدی از میان دریچه یا دودکش بالای کوره به خارج می گریزد. دود حاصله حاوی گازهای کربنه و بخار آب می باشد. رنگ دود خروجی به مرور از خاکستری تیره با رنگ مایه ای نیمه شفاف به زرد متمایل به سفید تغییر می یابد (۵).

شعله حاصل از سوختن مواد خام مصرفی از طریق دریچه خروج دود مشاهده می گردد و این موضوع نشانه بارزی از وقوع فرآیند کربونیزاسیون یا ذغالی شدن است لذا باید از قطر دریچه خروج گاز و اندازه شکاف های ورود هوا که در کف کوره تعبیه شده اند، اندکی کاست تا از تبدیل مواد خام داخل کوره به خاکستر جلوگیری شود و فرآیند ذغالی شدن به خوبی صورت پذیرد. زمانبندی مراحل تولید و تشخیص پایان یافتن مرحله ذغال سازی سنتی تنها از طریق مشاهده و تجربه حاصل می گردند و تدریجاً به مهارت تبدیل می شوند (۵).



Side view of brick kiln showing air inlets at the base

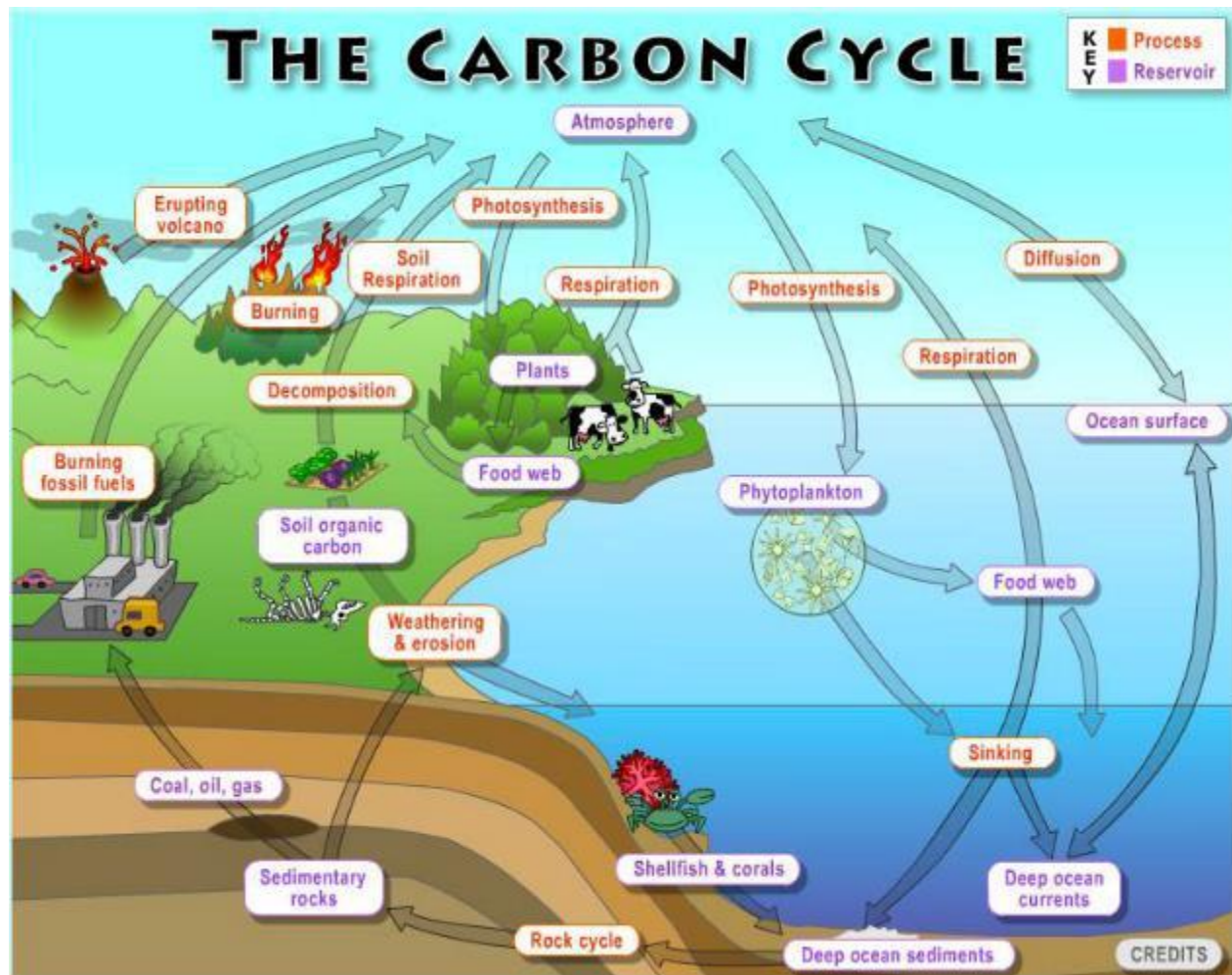
آموزش شیوه های نوین تولید ذغال از ضایعات کشاورزی می تواند به فقرزدانی از مناطق روستائی و محروم کمک نماید. در چنین کوره هایی تمامی موادی که در نزدیکی دریچه های ورود هوا (airway) قرار دارند، سریعتر از سایرین می سوزند و مواد دورتر فقط در آخرین مرحله به ذغال تبدیل می گردند. بخاطر داشته باشید که خشک کردن مواد خام قبل از آغاز (pre-drying) ذغال سازی می تواند باعث تسریع فرآیند و کاهش تولید دود گردد (۵).

از پوره "کاساوا" یا "مانیوک" (cassava porridge) و ریشه گیاه "تومب تومب" (mtumbetumbe) موسوم به "وانیا" (mwaniya) می توان به عنوان ماده چسباننده (binder) پودر ذغال استفاده نمود. برای این منظور، ابتدا آنها را به خوبی له می نمایند سپس در داخل سطل آب می ریزند و آنقدر بهم می زنند، تا به حالت لزج در آیند. مقدار آب مصرفی بستگی به اندازه و سن مواد چسباننده مذکور دارد. متوجه باشید که مقدار ضایعات کشاورزی قابل دسترس در مناطق مختلف کشورها و فصول گوناگون متفاوتند (۵).



## صدمات زیست محیطی تهیه ذغال چوب :

شواهد تاریخی در تمامی گستره زمین حاکی از آن هستند، که همواره تهیه ذغال چوب در ارتباط نزدیک با جنگل زدائی بوده است. خوشبختانه در بسیاری از نقاط جهان از جمله کشورهای اروپائی به احیاء جنگل ها (forest) و درختستان ها (woodland) متعاقب قطع درختان برای تهیه ذغال چوب پرداخته می شود. البته درختان بطور طبیعی پس از قطع شدن می توانند به تولید نوساقه های متعددی از ناحیه طوقه و ریشه ها بپردازند و بدین طریق احیاء گردند اما این توانائی برای احیاء چنین جنگل هایی کافی نیست و نیاز به حمایت بشر می باشد (۷).

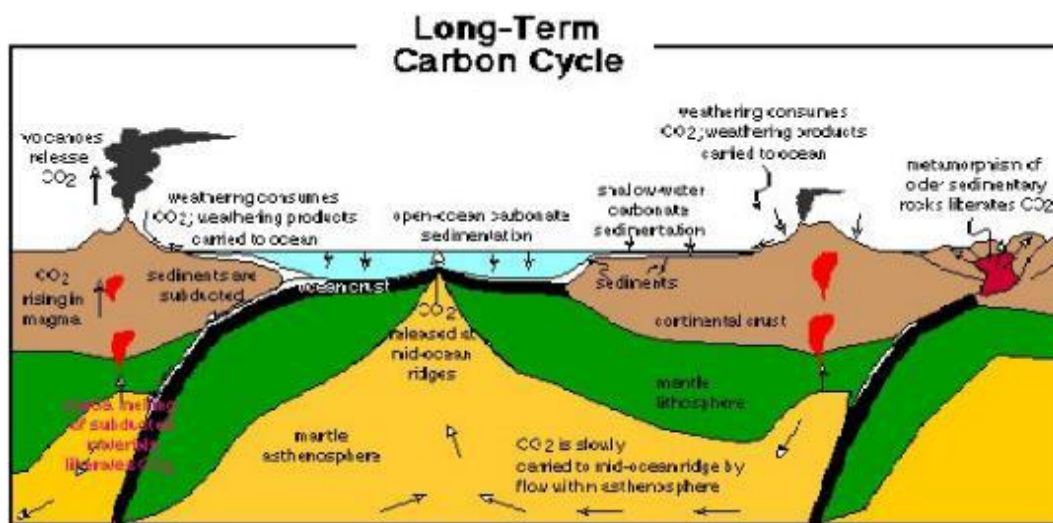


چرخه عناصر غذایی (nutrient cycle) در طبیعت به کندی صورت می پذیرد و خطر تلفات شدید خاک سطحی در اراضی جنگلی بسیار اندک است. خاک های اراضی جنگلی و زمین بیشه زارها معمولاً مملو از بذور نهفته ای (dormant) هستند، که به محض برخورداری از نور خورشید می توانند به جوانه زنی تشویق گردند لذا جنگلبانان از طریق قطع درختان کهنسال برای تولید الوار و ذغال چوب می توانند فرصت رشد و نمو را برای نسل جدیدی از درختان فراهم سازند و بدین ترتیب به مدیریت نواحی جنگلی بپردازند (۷).

زمانیکه جنگل های طبیعی به خوبی مدیریت شوند آنگاه با مجموعه ای از درختان جدید و قدیمی در جمعیت درختستان ها مواجه خواهید بود.

جنگل های طبیعی را بر اساس نوع درختان می توان در طی دوره های تناوب کوتاه مدت ۸ ساله و یا دوره های تناوب بلند مدت ۱۵۰-۱۰۰ ساله به کلی تجدید حیات نمود.

ذغال های چوب که در چنین مواقعی از چوب های ضایعاتی فراهم می گردند، نمونه هایی از تولیدات پایدار هستند که بدون آسیب زدن به محیط زیست تدارک می گردند (۷).

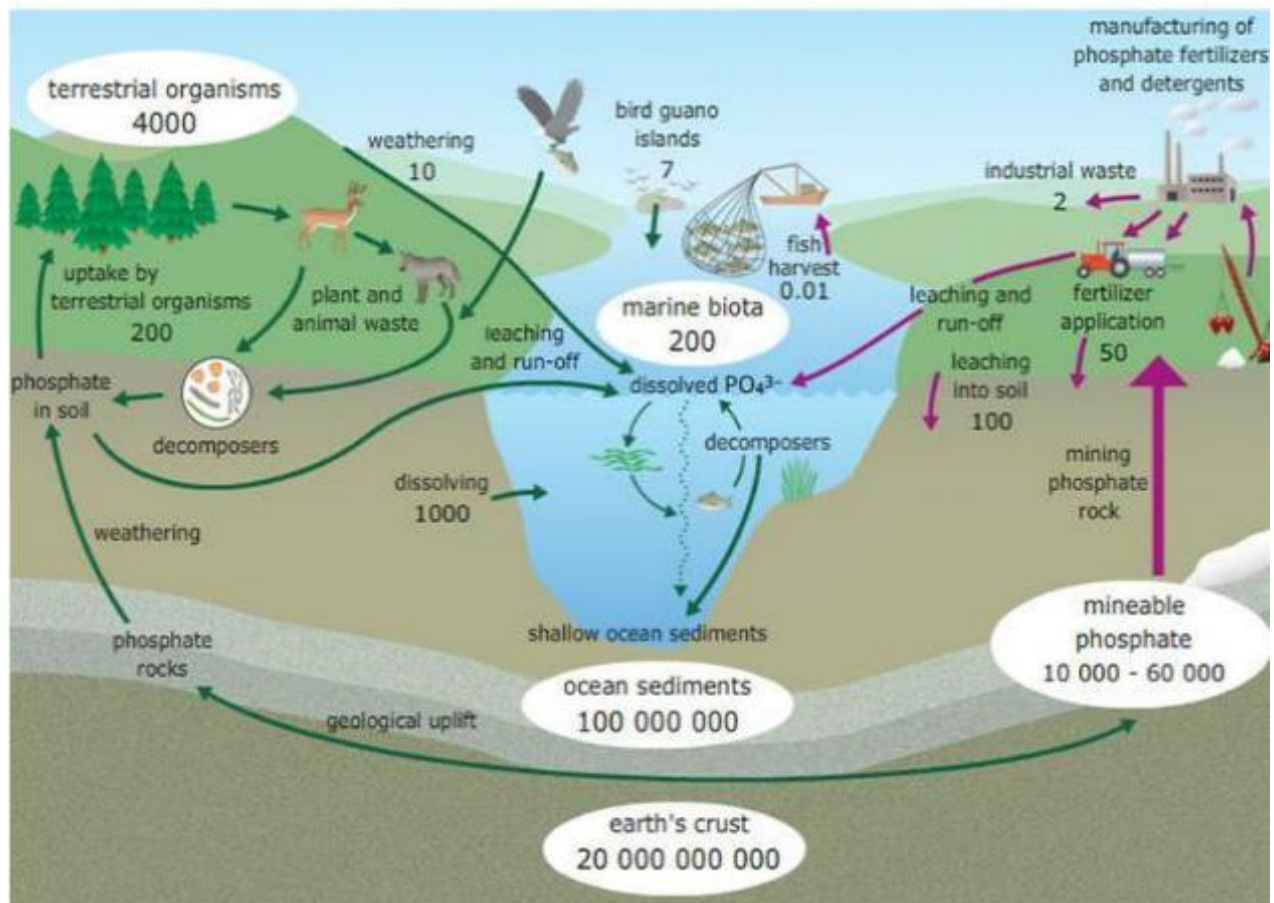


**Figure 7.3:** Schematic representation of the long-term global carbon cycle showing the flows (hollow arrows) of carbon that are important on timescales of more than 100 Kyr. Carbon is added to the atmosphere through metamorphic degassing and volcanic activity on land and at mid-ocean ridges. Atmospheric carbon is used in the weathering of silicate minerals in a temperature-sensitive dissolution process; the products of this weathering are carried by rivers to the oceans. Carbonate sedimentation extracts carbon from the oceans and ties it up in the form of limestones. Pelagic limestones deposited in the deep ocean can be subducted and melted. Limestones deposited on continental crust are recycled much more slowly — if they are exposed and weathered, their remains may end up as pelagic carbonates; if they get caught up in a continental collision, they can be metamorphosed, liberating their CO<sub>2</sub>.

اصولاً استفاده از منابع طبیعی اگر در هماهنگی با اکوسیستم های زیستی انجام پذیرد، بگونه ای که رفع نیازهای بشر موجب تخریب زیستگاه های طبیعی از جمله جنگل ها و بیشه زارها نگردد، می تواند به پایداری تولید در آنها بینجامد. در مقابل شرکت های بزرگ از جمله "حق العمل کاران جنگل" (forestry commission) تنها به سودآوری و جبران سرمایه گذاری می اندیشند (۷).

موضوع حفظ جنگل ها در مناطق گرمسیری اندکی متفاوت است زیرا چرخه عناصر غذایی در مناطق مزبور با سرعت بیشتری انجام می پذیرد لذا تلفات خاک سطحی به صورت عمده و دائمی انجام می گیرد (۷).

## Carbon cycle



متأسفانه امروزه حدود ۹۵ درصد ذغال چوب مورد نیاز کشورهای اروپایی از جمله انگلستان از بخش هایی از جهان نظیر : سنگاپور ، اندونزی و آفریقای جنوبی وارد می شوند، که دارای اکوسیستم های جنگلی آسیب پذیر هستند.

ذغال های چوب کشور مالزی عمدتاً از درختان "مانگرو" به دست می آیند، که به صورت جنگل های متراکم در بخش های جزر و مدی (tidal zones) مناطق گرمسیری رشد می کنند و حذف آنها می تواند به تخریب سکونتگاه های حیات وحش منجر گردد.

باید در نظر داشت که درختان "مانگرو" از فرسایش اراضی ساحلی جلوگیری می نمایند و جایگاه های مناسبی را برای تخمیزی (spawning) ماهیان بومی فراهم می سازند.

حذف درختان "مانگرو" عمدتاً به این منظور صورت می پذیرد، تا صحنه های مناسبی برای صید ماهیان و میگوها را جهت صادرات به بازارهای ژاپن و ... فراهم گردانند.

ذغال چوب همچنین از درختان جنگل های بارانی (rain forests) ، پارک های ملی و اراضی حفاظت شده ای تهیه می شوند، که جایگاه قابل اعتنائی در جهان مرفی کنونی ندارند (۷).

بسیاری از نشانه های جامعه شناسی مؤید آن هستند که بومیان بسیاری از نقاط جهان آنگونه از درختان جنگلی استفاده می کنند، که فرصت بازسازی داشته باشند زیرا چنین جنگل هایی علاوه بر تهیه هیزم از جهات دیگری چون تهیه : گوشت ، دارو ، میوه ها و آجیل ها نیز در زندگی بومیان اهمیت دارند.

این حقایق نشان می دهند که انسان ها همچنان نیازمند آموختن دانش های جدید از "مادر زمین" می باشند، تا بتوانند از جنبه های منطقه ای و جهانی به بقاء اکوسیستم های طبیعی همت گمارند.

جنگل زدائی یقیناً از عمده ترین معضلات بشر در مقیاس جهانی است، بطوریکه اهمیت آن باید با جدیت به کودکان آموخته شود، تا در مسیر زوال کنونی قرار نگیرند و بیش از این به محیط زیست آسیب نرسانند (۷).

## تکنولوژی تولید و کاربرد ذغال چوب در آفریقا :

نیمی از جمعیت جهان از سوخت های "زیست توده" یا "بیوماس" (biomass) برای پخت و پز استفاده می کنند، بطوریکه حدود ۲۴ میلیون تن ذغال چوب در سال ۱۹۹۲ میلادی در سراسر جهان مصرف گردید. بطور کلی اکثریت چنین سوخت هایی در کشورهای در حال توسعه مصرف می شوند و قاره آفریقا به تنهایی حدوداً نیمی از مصرف جهانی ذغال چوب را انجام می دهد.

تولید ذغال چوب طی سال های ۱۹۹۲-۱۹۸۱ میلادی حدوداً ۳ برابر شد لذا انتظار می رود که این روند همگام با رشد فزاینده جمعیت جهان بویژه در کشورهای در حال توسعه همچنان فزونی پذیرد (۶).

به هرحال اثرات استفاده از ذغال چوب در مقیاس های کوچک با موارد زیر در ارتباط می باشد :

۱) ناکارآمدی تولید (inefficiency of production)

۲) جنگل زدایی (forestry degradation)

۳) تخریب خاک (land degradation)

۴) فواصل انتقال (transportation distances) (۶).



بیشترین میزان انرژی موجود در چوب های سوختنی در طی فرآیند تولید ذغال چوب ضایع می گردد.

فعالیت های تولید ذغال چوب معمولاً طی عملیات "جنگلداری پایدار" (sustainable forestry) انجام نمی گیرند، بلکه غالباً از طریق پاکسازی اراضی جنگلی (clear cutting) به عمل می آیند. در بسیاری از کشورها، عمده تقاضا برای ذغال چوب از جانب مجامع شهری صورت می پذیرد ولیکن فعالیت های تولید ذغال توسط روستائیان فقیر انجام می گیرد. این بدان مفهوم است که محل های تولید ذغال چوب با محل های عمده مصرف آن غالباً دارای فواصل نسبتاً بعیدی هستند و حمل و نقل ذغال های تولیدی عمدتاً توسط وسایل نقلیه ای چون کامیون ها انجام می گیرد (۶).

تولید ذغال چوب در واقع تغییرات شیمیایی ناشی از حرارت (pyrolysis) بر بیوماس جنگلی طی فرآیند "اشتعال ناقص" (incomplete combustibles) می باشد، که منجر به تولید گاز متان می گردد. تأثیرات گاز متان بر گرمایش زمین بیش از تأثیرات دی اکسید کربن برآورد شده است (۶).

سازمان جهانی کشاورزی و غذا یا "فائو" (FAO) تخمین می زند، که کل تولید ذغال چوب در سال ۱۹۹۲ میلادی در حدود ۲۴ میلیون تن بوده است. آنها معتقدند که در حدود نیمی از ذغال چوب تولیدی جهان در قاره آفریقا مصرف می گردند، که دارای شیوه های تولید سنتی با کمترین کارایی تبدیل هستند. در صورتیکه متوسط جهانی ضریب تبدیل چوب به ذغال را بر اساس نظریه "فائو" در حدود ۲۳ درصد بپذیریم آنگاه در می یابیم، که سالانه در حدود یکصد میلیون تن از درختان جنگلی را فقط برای تولید ذغال قطع می نمایند (۶).

"فائو" معتقد است، که میزان مصرف سرانه (per capita) ذغال چوب طی سال های اخیر تغییر نیافته و افزایش میزان مصرف کل ذغال چوب بواسطه افزایش جمعیت جهانی بویژه در کشورهای در حال توسعه بوده است.

بررسی های کارشناسان "فائو" نشان می دهند، که مقدار انرژی سالانه حاصل از ذغال چوب در کشور "رواندا" با ۹/۱ گیگاژول بسیار بیشتر از کل انرژی های دیگری (معادل ۱/۲ گیگاژول حاصل از آب ، باد و ... ) است، که در آن کشور مصرف می گردند.

تولید ذغال چوب در کشور سنگال طی سال های ۱۹۹۲-۱۹۸۱ میلادی سالانه در حدود ۱۰۰-۳۰ درصد افزایش یافته است (۶).

روستائیان بسیاری از کشورها برای تأمین سوخت عمدتاً از "زیست توده ها" یا بیوماس های زیر بهره می گیرند :

- ۱) چوب (woodfuel)
- ۲) ذغال چوب (charcoal)
- ۳) ضایعات کشاورزی (redidues)
- ۴) مدفوع دام ها (dung) (۶).

ذغال چوب در قیاس با سایر "زیست توده های" مذکور از مقبولیت بیشتری برخوردار می باشد زیرا :

- ۱) تراکم انرژی بیشتر
- ۲) امکان انبار کردن بدون واهمه از خسارات حشرات
- ۳) ویژگی های عالی برای پخت و پز نظیر :
  - ۳-۱) سوختن یکنواخت
  - ۳-۲) دوام نسبتاً طولانی
  - ۳-۳) خاموش و روشن کردن آسان (۶).

ذغال چوب حتی در کشورهای پیشرفته ای چون ایالات متحده آمریکا دارای بیشترین تقاضا جهت مصرف در اجاق های خوراک پذیری و کباب پزهای خانگی و اردوگاهی است.

بطور کلی سیر زمانی بکارگیری مواد مختلف برای تأمین سوخت در جوامع مختلف به ترتیب زیر بوده است :

- ۱) چوب (woodfuel)
- ۲) ذغال چوب (charcoal)
- ۳) مواد نفتی (petroleum)
  - ۳-۱) نفت چراغ (kerosene)
  - ۳-۲) گاز طبیعی مایع (LPG)
- ۴) الکتریسیته (electricity) (۶).

بررسی ها در کشور کنیا نشان می دهند، که ترجیح مردم آفریقا به استفاده از منابع مختلف برای تأمین سوخت مورد نیازشان در ارتباط مستقیم با میزان درآمد و شرایط زندگی آنان یعنی شهری (urban) یا روستائی (rural) می باشد.

بعنوان مثال ۶۶ درصد از انرژی خانگی مناطق شهری کنیا از ذغال چوب و ۱۸ درصد از هیزم تأمین می گردد. درحالیکه انرژی خانگی مناطق روستائی آن کشور به میزان ۹۵ درصد از هیزم و ۵ درصد از ذغال چوب است (۶).

متوسط رشد جمعیت کشورهای آفریقائی در دهه ۱۹۹۰ میلادی حدود ۲/۹ درصد بوده درحالیکه متوسط رشد شهرنشینی (urbanization) تقریباً ۴/۶ درصد محاسبه گردیده است.

بالاترین سرعت رشد جمعیت جهان طی دهه های اخیر مربوط به کشورهای آفریقائی شرقی بوده بطوریکه کشور کنیا دارای رشد جمعیت ۳/۶ درصدی و رشد شهرنشینی دو برابر آن گردیده است (۶).

افزایش مصرف ذغال چوب در بسیاری از کشورها با جنگل زدائی همراه شده و این موضوع وقایع زیر را در پی داشته است :

- (۱) تخریب اکوسیستم های جنگلی
- (۲) افزایش فرسایش اراضی
- (۳) کاهش حاصلخیزی خاک ها
- (۴) نابودی زیستگاه های حیات وحش (۶).

"جدول ۱۲) مصرف سرانه سوخت به دلار در روآندا طی سال ۱۹۸۵ میلادی (۶):"

| منابع انرژی<br>↓<br>← | کشورها | کامرون | سنگال | نیجریه | نیجر | اتیوپی |
|-----------------------|--------|--------|-------|--------|------|--------|
| هیزم                  | ۱/۰    | ۱/۰    | ۱/۰   | ۱/۱    | ۱/۰  | ۱/۰    |
| ذغال چوب              | ۳/۴    | ۰/۹    | ۲/۴   | ۱/۴    | ۱/۶  | ۱/۶    |
| نفت چراغ              | ۱۰/۰   | ۱/۷    | ۰/۶   | ۱/۷    | ۰/۷  | ۰/۷    |
| گاز مایع              | ---    | ۱/۶    | ۲/۰   | ۲/۰    | ۱/۱  | ۱/۱    |
| الکتریسیته            | ۱۱/۱   | ۳/۳    | ۱/۱   | ۲/۸    | ۲/۰  | ۲/۰    |

در یک بررسی مشخص شد، که در حدود ۸۰ درصد ذغال های تولیدی جهان از درختانی حاصل می گردند، که منحصراً برای این منظور قطع می گردند و مابقی ذغال ها از درختانی هستند که برای اهداف زیر بریده می شوند :

(۱) توسعه کشاورزی

(۲) تعلیف دام ها

(۳) احداث ابنیه (۴).

دانشمندان معتقدند که تولید ذغال چوب از درختان در آینده نزدیک بسیار به ندرت صورت خواهد پذیرفت و ذغال مورد نیاز غالباً از سایر منابع "زیست توده ای" نظیر بقایای کشاورزی حاصل خواهد شد. ذغال چوب در بسیاری از کشورهای در حال توسعه بطور سنتی در کوره های خاکی ، آجری و یا فلزی با ظرفیت های ۵-۱ تن تولید می گردد. چنین کوره هایی را ابتدا مملو از هیزم می نمایند سپس محتویات آنرا شعله ور می سازند، تا مواد خام در اثر گرمای حاصله به تغییر ماهیت (pyrolyze) پردازند (۴).

سطح خارجی کوره ها را غالباً می پوشانند، اگر چه شکاف هایی برای فرار بخار آب و دود برجا می گذارند. با تغییر رنگ دود به مسدودسازی برخی شکاف ها اقدام می ورزند. فرآیند تبدیل چوب به ذغال ممکن است، چند هفته به درازا بکشد. در حدود نیمی از انرژی چوب ها در طی فرآیند تبدیل شدن به ذغال از دست می رود (۴). کوره ها را در انتهای فعالیت می گشایند و ذغال ها را که اینک کوچکتر و سبک تر از چوب های مصرفی شده اند، خارج می سازند. ذغال های درشت تر را پس از بسته بندی در مغازه ها عرضه می کنند ولیکن ذغال های ریزتر را پودر می سازند و برای سایر موارد استفاده می کنند (۴).

کارآئی انرژی فرآیند ذغال سازی به عوامل زیر بستگی دارد :

(۱) نوع کوره (kiln type)

(۲) مقدار رطوبت چوب ها (moister content)

(۳) نوع چوب مصرفی (wood species)

(۴) طرز چیدمان چوب ها (wood arrangement)

(۵) مهارت کارگران (producer`s skill) (۴).

هزینه های انتقال ذغال های چوب تولیدی از محل کوره ها به فواصل دور می تواند بهای آنها را تا ۷۰ درصد افزایش دهد (۶).

تولید ذغال چوب در کشورهای در حال توسعه از طرق مختلف زیر بر گرمایش زمین تأثیر می گذارد :

- ۱) بخش قابل ملاحظه ای از ذغال های چوب را از درختان بدون جانشین تهیه می کنند. درختان نقش بارزی در تعادل حرارتی زمین دارند.
- ۲) دود و گازهای حاصل از فرآیند ذغال سازی در قیاس با سوزاندن چوب ها بیشتر است (۶).

تولید ذغال چوب از طریق تغییرات شیمیایی (pyrolysis) یا تجزیه دمائی (thermal degradation) "زیست توده" یا بیوماس انجام می پذیرد. اینگونه "اشتعال ناقص" (partial combustion) منجر به تولید مواد زیر می گردد :

- ۱) متان ( $CH_4$ )
- ۲) منواکسیدکربن ( $CO$ )
- ۳) آلکان ها (alkanes)
- ۴) آلکن ها (alkenes)
- ۵) آمونیاک ( $NH_3$ )
- ۶) ترکیبات اکسیده (oxygenated compounds)
- ۷) هیدروکربن ها بجز متان یا NMHC (non-methane hydrocarbons)
- ۸) ذرات کوچک مواد خام (particulate matter) (۶).

درحالیکه اشتعال کامل و ایده آل بخش هایی از مواد خام مصرفی درون کوره های ذغال سازی به مواد زیر منتهی می شود :

- ۱) دی اکسید کربن ( $CO_2$ )
- ۲) بخار آب ( $H_2O$ ) (۶).

بررسی ها نشان می دهند که تأثیرات ترکیباتی چون : منواکسیدکربن ، متان ، آمونیاک و هیدروکربن های غیر متان بر گرم شدن اتمسفر زمین بسیار بیشتر از دی اکسید کربن می باشند آنچنانکه تأثیرات مخربی بر جو فوقانی زمین برجا می گذارند (۶).

## تولید ذغال چوب در شمال ایران :

گزارش یک فعالیت ذغال سازی مرسوم در شمال ایران که توسط آقای فردین علیپور دانشجوی دوره کارشناسی مرکز آموزش کشاورزی گیلان تهیه شده است، به شرح زیر می باشد :

در منطقه "طولارود" روستای "اوله کری" شهر "تالش" استان گیلان فردی بنام آقای سید علی ذبیحی در امر تولید ذغال چوب فعالیت می نماید. نامبرده چندین کوره ذغال را با همکاری حدود ۱۰ نفر نیروی انسانی اداره می کند.

این فعالیت دارای پروانه بهره برداری از ادارات محیط زیست و منابع طبیعی استان گیلان می باشد.



برای فعالیت ذغال سازی سنتی بدواً قطعه زمینی به ابعاد  $3 \times 1/5$  متر را انتخاب می کنند و آنرا به عمق ۳۰ سانتیمتر شیار می دهند آنگاه کف محوطه شخم زده را مسطح می نمایند و ۳ الوار قطور به ضخامت تقریبی ۲۰ سانتیمتر را به حالت افقی در کف کوره می خوابانند.

هیزم های بزرگ و کوچک جمع آوری شده بطور مرتب و منظم بر روی الوارها چیده می شوند و در نهایت سطح جملگی آنها را با کاه و کلش می پوشانند و سپس با لایه نازکی از خاکه ذغال های الک شده پوشش می دهند. الک زدن خاکه ذغال ها به این خاطر است که خاکه ها هر چند ریزتر باشد، هوای کمتری را به داخل کوره عبور می دهند.



زمانیکه سطح خارجی کوره را کاملاً با خاکه های ذغال پوشانده و منافذ ورود هوا به داخل محفظه را بخوبی مسدود ساختند آنگاه نسبت به افروختن آتش در قسمت جلویی کوره اقدام می ورزند.

متعاقباً بعد از ۰/۵ ساعت که هیزم های بخش جلونی کوره آتش گرفتند آنگاه قسمت مزبور را می پوشانند و کاملاً مسدود می کنند.

در این هنگام سوراخی به اندازه ۱۰x۳۰ سانتیمتر را در قسمت انتهای کوره می گشایند تا دود حاصله از کوره خارج شود. این سوراخ به عنوان تنها مجرای ورود هوا و خروج دود باقی می ماند و باعث می شود که فرآیند احتراق ناقص موجب سوختن چوب ها و بروز تغییرات شیمیایی در آنها شود بطوریکه به ذغال تبدیل گردد.

هر مرحله ذغال سازی حدود ۵-۷ روز طول می کشد.



وقتی که از همان دریچه آخر کوره ، شعله های آتش به بیرون زبانه بکشند یعنی هیزم های کوره سوخته و آتش به انتها رسیده و شعله ور گردیده است لذا در این هنگام دریچه انتهایی را مسدود می سازند تا آتش در اثر نرسیدن اکسیژن خاموش گردد.

سپس مقداری آب بر سطح خارجی کوره می پاشند و پارچه ای از جنس گونی چتائی را پس از خیس کردن بر روی آن می گسترانند تا کوره بطور کامل خاموش و سرد شود.



ساعاتی بعد نسبت به برداشتن پارچه از روی کوره اقدام می نمایند و ذغال های تولیدی را در اطراف کوره پخش می کنند تا در مجاورت هوا کاملاً سرد و خشک گردند.

با سرد شدن ذغال ها نسبت به گونی کردن آنها اقدام می شود، تا بزودی بفروش برسند. ذغال های حاصله را در محل تولید به قیمت کیسه ای ۲۵ هزار تومان (سال ۱۳۹۶ ه.ش) به فروش می رسانند. مدت زمان تبدیل هیزم ها به ذغال چوب به میزان رطوبت چوب های مصرفی بستگی دارد.



امروزه بیشترین چوب های مصرفی برای تولید ذغال چوب در منطقه عبارتند از :

(۱) ضایعات کارخانه های چوب بری

(۲) چوب های باقیمانده از برچیدن خانه های کلنگی

(۳) درختان میوه خشکیده

(۴) ضایعات هرس بوته ها و درختان

مرغوب ترین ذغال چوب منطقه از انواع درختان زیر حاصل می شوند :

الف) درختان میوه شامل : لیمو ، انجیر ، پرتقال و توت

ب ) درختان جنگلی شامل : خرمندی ، ممرز و انجیلی



گونه هایی از درختان جنگلی نظیر : "لرک" و بلوط به تولید ذغال های مرغوب منجر نمی شوند لذا خواهان چندانی ندارند.

**منابع و مأخذ :**

- 1) Czernik , Stefan – 2018 – Fundamentals of charcoal production – National Renewable Energy Laboratory (NREL) ; USDE
- 2) F.S.D.A. – 1961 – Charcoal production , marketing and use – Forest Service Department of Agriculture ; Report No. 2213
- 3) Ganesan, S. & B.P. Nema – 2006 – Charcoal making from agricultural residues – Boiling Point , No. 52
- 4) Gilmore, Gary – 2018 – Charcoal ; how to make it ? – [www.scribd.com](http://www.scribd.com)
- 5) IDIN – 2018 – Charcoal making process – International Development Innovation Network (IDIN) ; [www.idin.org](http://www.idin.org)
- 6) Kammen, Daniel M. & Debra J. Lew – 2005 – Review of technologies for the production and use of charcoal – University of California
- 7) Pyrites – 2018 – The story of charcoal ; the chemistry of charcoal – Pyrites ; living and learning with Nature; <https://pyrites.org>