

## کامپوزیت‌های سنتی / دارای ذرات بزرگ / ماکروفیل

کامپوزیت‌هایی با ذرات ماکروفیلری گلاس یا سیلیس در محدوده‌ی ۸ تا ۴۰ میکرومتری (شکل ۵-۶). به دلیل اندازه‌ی بزرگ ذرات، ویسکوزیته کمتری دارند و نسبت به میکروفیلدها و نانوفیلدها محتوای فیلریشان راحت‌تر افزایش میابد. مستحکم‌تر هستند و در مناطق با استرس بالاتر استفاده می‌شوند. اما سطح‌شان به دلیل اکسپوز ذرات فیلری بزرگ، به وضوح پس از پرداخت، خشن‌تر است و به همین دلیل این دسته از کامپوزیت‌های دندان‌ی منسوخ شده‌اند.

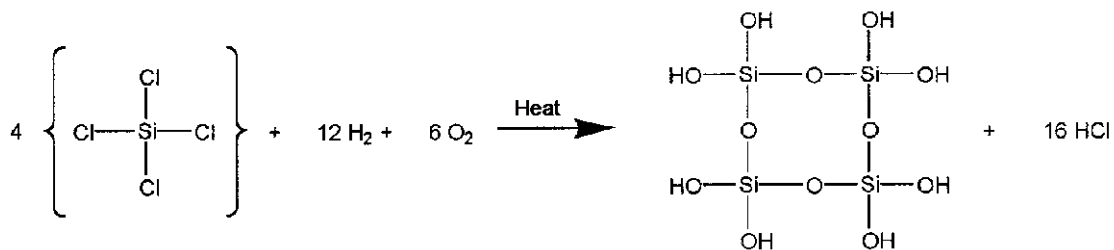
## کامپوزیت‌های میکروفیل هموزن

راه‌حل سطوح خشن و ظاهر مات کامپوزیت‌های قدیمی، کامپوزیت‌های میکروفیل هموزنی بودند که در آنها از ذرات فیلری با قطر متوسط بسیار کوچکتر از طول موج نور مرئی استفاده می‌شد. این فیلرها با استفاده از یک فرایند رسوبی پیرولیتیک\* که در آن یک ترکیب سیلیکونی مثل  $\text{SiCl}_4$  در یک اتمسفر اکسیژن/هیدروژن سوزانده می‌شود تا زنجیره‌های ماکرومولکولی از سیلیکای کلوئیدال تشکیل شود (شکل ۵-۷ را ببینید) تولید می‌شوند. در نتیجه‌ی این فرایند سیلیکای آمورف با اندازه‌ی متوسط ۴۰ نانومتری ایجاد می‌شود. این ذرات به دلیل اندازه‌ی بسیار کوچک خود، سطح بسیار بزرگی (۵۰ تا ۴۰۰ مترمربع در هر گرم) دارند.

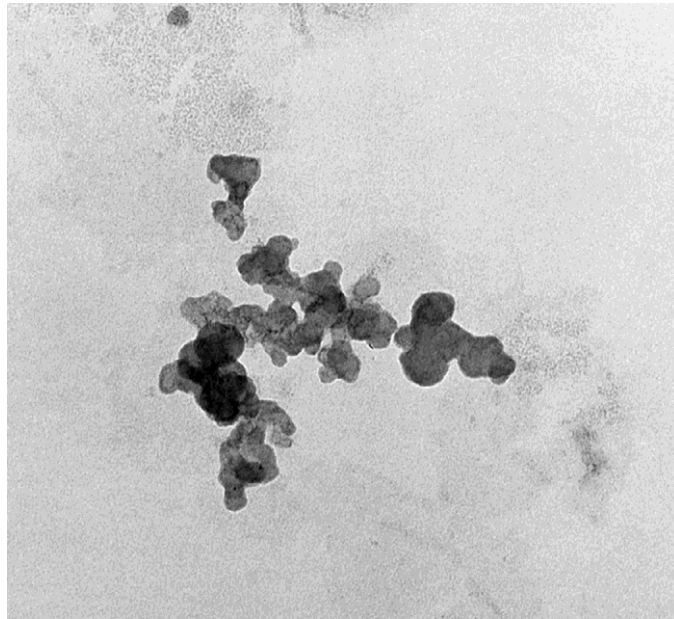
\* طی فرایند پیرولیتیک "آگلومراسیون" رخ می‌دهد که نتیجه‌ی آن زنجیره‌های بلندی در مقیاس مولکولی است (شکل‌های ۵-۸ و ۵-۹). این شبکه‌های همبسته‌ی سه بعدی زنجیر مانند، ویسکوزیته‌ی مونومر را به شدت افزایش می‌دهند که کاربرد بالینی آنها را دشوار می‌کند.

افزودن تنها ۰.۲٪ وزنی فیلر به کامپوزیت‌های میکروفیل هموزن منجر به تولید خمیر سفتی می‌شود که برای کاربرد بالینی بسیار چسبناک است.

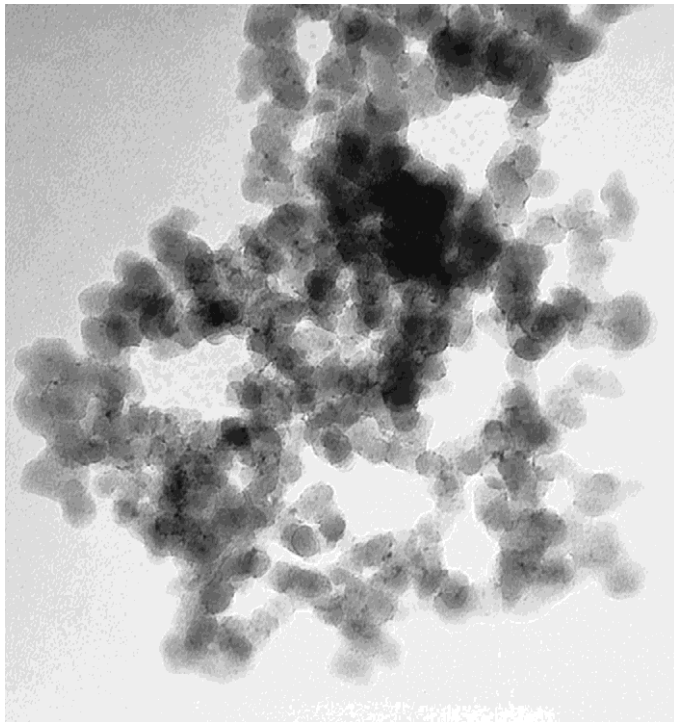
این کامپوزیت‌ها تنها با عنوان کامپوزیت‌های میکروفیل نامیده می‌شوند.



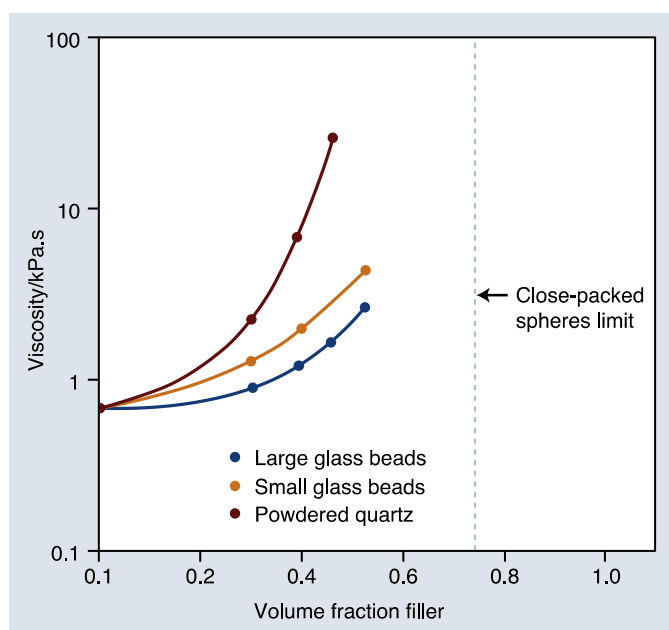
• Figure 5-7 Pyrogenic reaction showing the initial formation of fumed silica particles in the 40-nm size range, as used in microfill resins. (Courtesy Dr. Karl-Johan Söderholm.)



• **Figure 5-8** Transmission electron microscope image of fumed silica particles produced by the pyrogenic reaction shown in Figure 5-7. The particle diameters average approximately 40 nm. (Courtesy Dr. Karl-Johan Söderholm.)



• **Figure 5-9** The pyrogenic silica used in microfill composites has a very large total surface area because of its extremely small average particle size of about 0.04  $\mu\text{m}$ /40 nm. These particles agglomerate and form long chains, as seen in this transmission electron micrograph. (Courtesy Dr. Karl-Johan Söderholm.)

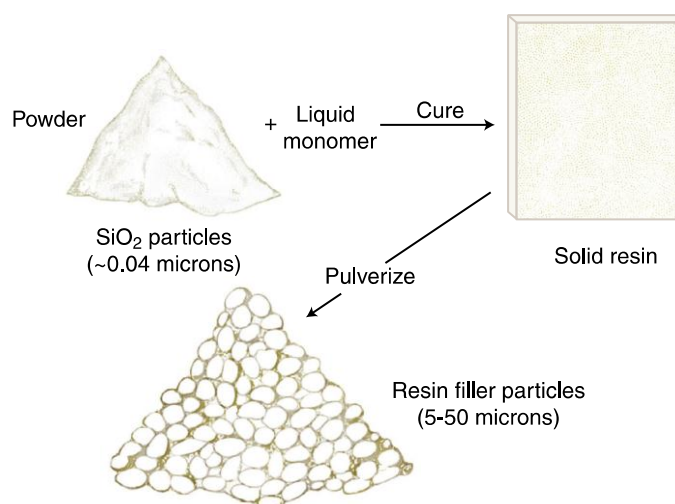


• **Figure 5-10** The effect of filler specific surface area on the viscosity (log scale) of the uncured resin matrix. The smaller the particle, the larger is the surface area and the greater the viscosity buildup. (Adapted from Darvell BW: *Materials Science for Dentistry*, ed 10, Cambridge, UK, 2018, Woodhead Publishing Ltd.)

### کامپوزیت‌های میکروفیلد (میکروفیل هتروژن)

برای افزایش محتوای فیلرهای معدنی در کامپوزیت‌های میکروفیل، از فیلرهای با بیس رزینی که حاوی سیلیکای کلونیدال معدنی ۱۰ تا ۱۰۰ نانومتری هستند استفاده می‌شود. این فیلرهای هتروژن رزینی از افزودن حدود ۵۰٪ حجمی میکروفیلر سیلیکای کلونیدال treat شده با سایلن، به مونومر در دمایی بالا (برای کاهش ویسکوزیتی) با استفاده از ماشین‌های صنعتی بزرگ ساخته می‌شوند. این مخلوط کیور می‌شود و سپس تا تولید پارتیکل‌های رزینی ۵ تا ۵۰ میکرومتری پودر می‌شوند. در ادامه این ذرات به عنوان فیلرهای آلی همراه با سیلیکای کلونیدال treat شده با سایلن، به مونومرها اضافه و یک خمیر با قابلیت کار تولید می‌شود. به این ترتیب، محتوای کلی فیلرهای معدنی کامپوزیت نهایی به حدود ۵۰ درصد وزنی افزایش می‌یابد. اما اگر ذرات کامپوزیتی نیز به عنوان ذرات فیلری در نظر گرفته شوند، محتوای فیلری نزدیک به ۸۰ درصد وزنی (تقریباً ۶۰ درصد حجمی) خواهد رسید.

در حالی که کامپوزیت‌های میکروفیلد جلاپذیری بالایی دارند، خواص فیزیکی و مکانیکی آنها کمتر از کامپوزیت‌های سنتی است زیرا ۴۰ تا ۸۰ درصد حجمی ماده‌ی ترمیمی از رزین تشکیل شده که جذب آب بیشتر، ضریب انبساط حرارتی بالاتر و مدول الاستیک پایین‌تری دارند. علاوه بر این، اتصال ضعیف پارتیکل‌های رزینی از پیش پلیمریزه شده به ماتریس رزینی نیز به کاهش استحکام کششی - تا حد کامپوزیت‌های با ذرات فیلری غیرسایلنایز - می‌شود.



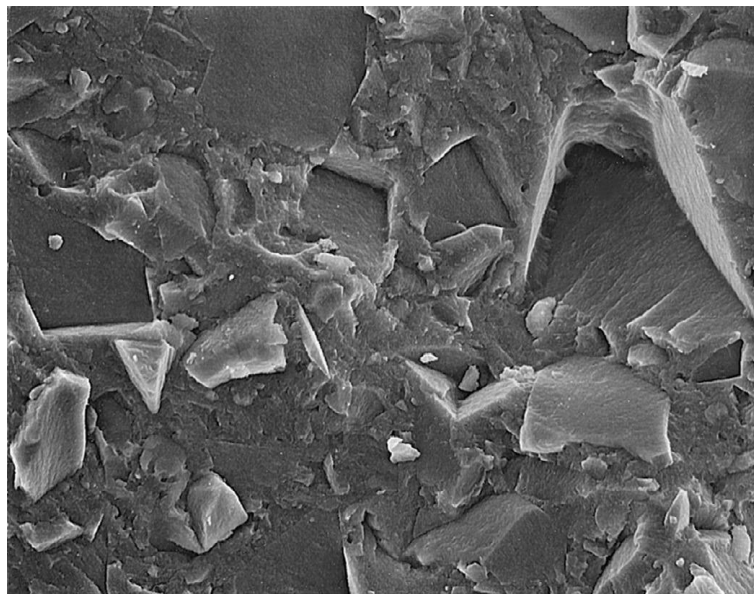
• **Figure 5-11** Preparation of resin filler particles for use in microfilled composites. The filler particles in a microfilled composite consist of pulverized "composite filler particles" dispersed in a cured resin matrix. Pyrogenic colloidal silica particles of about 0.04  $\mu\text{m}$  (about 40 nm) are incorporated into both the precured resin filler particles and the curable monomer, with the precured resin containing a substantially higher concentration. (Modified from Lambrechts P: *Basic Properties of Dental Composites and Their Impact on Clinical Performance*. Thesis. Leuven, Belgium, Katholieke University, 1983.)

کامپوزیت‌های میکروفیلد در مناطق مستعد سایش، **بسیار سریع‌تر** از آنچه برای عملکرد بالینی قابل قبول است، دچار شکست و سایش می‌شوند و حتی در نواحی تماس پروگزیمالی، باعث جابه‌جایی دندان‌ها می‌شوند. انتشار شکستگی در اطراف ذرات فیلری "آلی" که پیوند ضعیفی با ماتریس رزینی دارند یکی از دلایل سایش است. با هدف به حداقل رساندن خطر خردشدگی، برای پرداخت کامپوزیت‌های میکروفیلد، استفاده از فرزهای الماسی، به جای فرزهای تنگستن کارباید پرده‌دار (fluted) توصیه شده‌اند.

رزین‌های میکروفیلد کامپوزیت‌های انتخابی برای ترمیم پوسیدگی‌های سطوح صاف (کلاس III و V) هستند اما در موقعیت‌های در معرض تنش بالا (کلاس II و IV) توصیه نمی‌شوند.

TABLE 5-3 Properties of Composite Restorative Materials

Characteristic/ Property	Unfilled Acrylic	Traditional	Hybrid (Small Particle)	Hybrid (All- Purpose)	Microfilled	Flowable Hybrid	Packable Hybrid	Enamel	Dentin
Size ( $\mu\text{m}$ )	—	8–12	0.5–3	0.4–1.0	0.04–0.4	0.6–1.0	Fibrous	—	—
Inorganic filler (vol%)	0	60–70	65–77	60–65	20–59	30–55	48–67	—	—
Inorganic filler (wt%)	0	70–80	80–90	75–80	35–67	40–60	65–81	—	—
Compressive strength (MPa)	70	250–300	350–400	300–350	250–350	—	—	384	297
Tensile strength (MPa)	24	50–65	75–90	40–50	30–50	—	40–45	10	52
Elastic modulus (GPa)	2.4	8–15	15–20	11–15	3–6	4–8	3–13	84	18
Thermal expansion coefficient (ppm/ $^{\circ}\text{C}$ )	92.8	25–35	19–26	30–40	50–60	—	—	—	—
Water sorption ( $\text{mg}/\text{cm}^2$ )	1.7	0.5–0.7	0.5–0.6	0.5–0.7	1.4–1.7	—	—	—	—
Knoop hardness (KHN)	15	55	50–60	50–60	25–35	—	—	350–430	68
Curing shrinkage (vol%)	8–10	—	2–3	2–3	2–3	3–5	2–3	—	—
Radiopacity (mm of Al)	0.1	2–3	2–3	2–4	0.5–2	1–4	2–3	2	1



• **Figure 5-12** Fractured microfilled composite. The fractured surface shows that the organic filler (composite filler) particles have been plucked out of the matrix resin, suggesting adhesive failure resulting from a weak interface between the precured microfill particles and the resin matrix. (Courtesy Dr. Karl-Johan Söderholm.)

### کامپوزیت‌های نانوفیل / نانوکامپوزیت‌ها

اخیراً، **نانوذرات (۱ تا ۱۰۰ نانومتر)** با روشی متفاوت از فرآیند رسوب پیرولیتیک ساخته می‌شوند در این روش ذرات اولیه قبل از ادغام به صورت زنجیره‌های ماکرومولکولی سه بعدی به صورت سطحی (برای مثال با-۷ متاکریلوکسی پروپیل تری متوکسی سیلان) پوشش داده می‌شوند.

اندازه‌ی ذرات در این کامپوزیت‌ها با انواع میکروفیل هموزن برابر است با این تفاوت که ذرات در کامپوزیت‌های نانوفیل عمدتاً پراکنده هستند و تاثیر **حداقلی** بر ویسکوزیته دارند. پس این کامپوزیت‌ها **خواص نوری و صیقل‌پذیری** فوق‌العاده‌ای همانند کامپوزیت‌های میکروفیل هموزن دارند.

انجام عملیات سطحی (treatment) افزایش ویسکوزیته در هنگام **افزودن** فیلرها به مونومرها را **کاهش** می‌دهد، این شرایط امکان **افزایش** محتوای فیلری تا **۶۰ درصد حجمی یا ۷۸ درصد وزنی** فراهم می‌کند. افزایش محتوای فیلری تا این محدوده، منجر به تولید کامپوزیتی می‌شود که **خواص مکانیکی** لازم برای استفاده در **ترمیم‌های خلفی** را دارد، هرچند این خواص هنوز تایید نشده‌اند!

یکی از دلایلی که چنین افزایش خواص مکانیکی در عمل مشاهده نشده این است که تاکنون هیچ محصول تجاری که تنها حاوی نانوذرات هموزن، منفرد، مجزا و پراکنده باشد به بازار معرفی نشده است. تعداد کمی از کامپوزیت‌هایی که به عنوان نانوکامپوزیت نام‌گذاری شده‌اند، تمام ذرات فیلریشان **کوچک‌تر از ۱۰۰ نانومتر** است. دلیل این امر این است که برخی از نانوذرات به صورت خوشه‌هایی که در آنها ذرات به **سستی** (پیوندهای غیر شیمیایی) به یکدیگر باند شده‌اند (Filtek Supreme, 3M ESPE) در می‌آیند که گاهی ابعاد میکرونی دارند (**۶۰ نانومتر تا ۱,۴ میکرومتر**). در ابعاد **بالای ۱۰۰ نانومتر**، خوشه‌ها، مانند هر ذره‌ی دیگری، شروع به پراکندن نور مرئی می‌کنند و در نتیجه **ترنس‌لوسنس** و **عمق کیور** کامپوزیت را **کاهش** می‌دهند. علاوه‌براین، اتصال ضعیف ذرات خواص مکانیکی را **کاهش** می‌دهد.

پس اگرچه این نانوکامپوزیت‌های خوشه‌ای محتوای فیلری **بالا تر** و خواص مکانیکی **بهتری** نسبت به نانوکامپوزیت‌های هموزن واقعی دارند، اما به اندازه یک کامپوزیت هیبرید **قوی نیستند**.

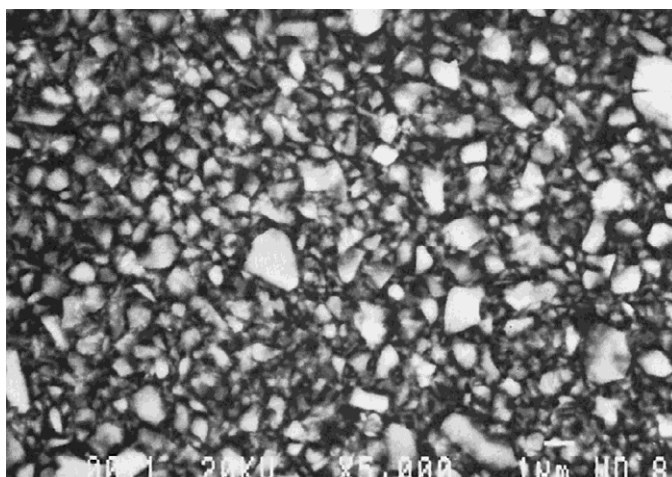
برای مقابله با این مشکل، ذرات گلاسی بزرگ‌تر به دست‌آمده از فرایند آسیاب یا ذرات فیلری آلی از پیش پلیمریزه حاوی نانوذرات فیلری (مشابه ذرات موجود در کامپوزیت‌های میکروفیلد) با **مونومرهایی** که نانوذرات پراکنده دارند ترکیب می‌شوند. بنابراین اغلب این محصولات در حقیقت **نانوکامپوزیت‌های هیبریدی یا نانو هیبریدها** هستند که از ترکیبی از دو یا چند محدوده‌ی اندازه‌ی ذرات فیلری (که یک یا چند مورد از آنها در محدوده نانوذرات قرار دارند) به دست می‌آیند (جدول ۵-۱).

کامپوزیت‌های هیبریدی (ذرات بزرگ، میدی فیلر، مینی فیلر، نانوهیبرید) کامپوزیت‌های هیبریدی حاوی ذرات بزرگ، میدی فیلر، مینی فیلر، میکروفاین و/یا ذرات نانوفیلری سعی دارند سطحی صاف (بهتر از آنچه در کامپوزیت‌های با ذرات ریز داریم) و خواص مکانیکی مطلوب (مشابه کامپوزیت‌های با ذرات کوچک) را تامین کنند. بنابراین کامپوزیت‌هایی تولید می‌شود که برای ترمیم در مکان‌های با استرس بالا که ملاحظات زیبایی نیز در آنها اولویت است - لبه‌های انسیزال، حفره‌های اکلوزال فاقد تماس، ترمیم‌های قدامی و حفرات کلاس IV) استفاده می‌شود (شکل ۵-۱۳). بیشتر کامپوزیت‌های هیبریدی تجاری نانوهیبرید نامیده می‌شوند، زیرا قرار است حاوی نانوفیلرهای مجزا باشند. بنابراین بررسی اینکه آیا نانوذرات به صورت مجزا از هم هستند یا به صورت خوشه‌ای حائز اهمیت است.

بیشتر فیلرهای هیبریدی مدرن از سیلیکای کلئیدال و ذرات گلاسی آسیاب شده حاوی فلزات سنگین تشکیل شده‌اند که محتوای فیلری در حدود ۷۵ تا ۸۰ درصد وزنی دارند. اندازه‌ی ذرات گلاسی به طور متوسط حدود ۰,۴ تا ۱,۰ میکرومتر است، که امروزه شاهد یک روند کاهشی در محدوده‌ی سایز ذرات هستیم. در یک توزیع اندازه نرمال، ۷۵٪ از ذرات کوچکتر از ۱,۰ میکرومتر هستند و سیلیکای کلئیدال ۱۰٪ تا ۲۰٪ وزن کل محتوای فیلری را شامل می‌شود. میکروفیلرهای کوچکتر باعث افزایش سطح می‌شوند که باعث افزایش ویسکوزیته می‌شود و به همین دلیل چاره‌ای جز کاهش محتوای فیلری وجود ندارد.



• **Figure 5-13** A class IV restoration made with a hybrid composite. **A**, Fractured maxillary central incisor prior to restoration. **B**, After restoration with a hybrid composite. (Courtesy Dr. William Rose.)



• **Figure 5-14** Polished surface of a hybrid composite similar to those shown in Figures 5-12 and 5-14. Particle sizes range from about 0.1 to 3  $\mu\text{m}$  (scanning electron microscope [SEM] magnification  $\times 5000$ ). (Courtesy Dr. Robert L. Erickson.)

طبقه‌بندی کامپوزیت‌ها بر اساس ویژگی‌های کارکردی

بر اساس ویسکوزیته‌ی ترکیبات کامپوزیتی در حین قراردهی در محل، سه دسته مجزا از مواد کامپوزیتی وجود دارد: روان‌پذیر، متراکم‌پذیر و فیلر حجیم.

### کامپوزیت‌های Injectable/ Flowable

از سال ۱۹۹۵ استفاده از کامپوزیت‌های flowable یا injectable رایج شد. این رزین‌ها معمولاً به دلیل محتوای فیلری پایین‌تر، ویسکوزیته‌ی کمتری دارند که کمک می‌کند تا به طور یکنواخت پخش شود و کاملاً با شکل حفره تطابق پیدا کند. این ویژگی کمک می‌کند تا در حفرات تراش‌داده شده‌ی خلفی کلاس II و حفرات با دسترسی دشوار، ساخت بیس یا لاینر با تطابق بالا ساده‌تر شود. با این حال، ذاتاً به دلیل محتوای فیلری کمتر، خواص مکانیکی ضعیف‌تری دارند و نسبت به سایر اشکال اتریشن مستعدترند. کامپوزیت‌های flowable به دلیل سهولت در تطابق با دیواره‌ها و انعطاف‌پذیری، در ترمیم‌های کلاس V در محدوده‌ی لثه و به عنوان اولین لایه‌ی بیس به کار می‌روند. آنها همچنین ممکن است به روشی مشابه فیشورسیلانت‌ها برای ترمیم‌های مینیمال کلاس I با هدف جلوگیری از پوسیدگی استفاده شوند.

از آنجایی که می‌توانند در شکاف‌های کوچک موجود در امتداد مارجین ترمیم‌ها جریان پیدا کنند، برخی از دندانپزشکان از رزین‌های flowable به عنوان "درزگیر دندان‌ی" (Dental caulk) استفاده می‌کنند.



### کامپوزیت‌های با قابلیت کندانس شدن / Packable

روش قراردادن کامپوزیت در حفره در مقایسه با آمالگام، بسیار **وقت‌گیرتر** و **دشوارتر** است. کامپوزیت‌ها به دلیل قوام بسیار پلاستیکی و خمیری‌شان، نمی‌توانند به صورت عمودی در حفره پک شوند تا از تماس نزدیک با دیواره‌های حفره اطمینان حاصل شود پس در ترمیم‌هایی که با دندان مجاور تماس پروگزیمالی دارد، باید از یک نوار ماتریس به دقت کانتور شده و وج استفاده کرد تا کانتکت پروگزیمالی قابل قبولی حاصل شود. این روش‌ها خسته‌کننده و زمان‌بر هستند و نتایج متغیری دارند.

روش‌های ساخت کامپوزیت‌های کندانس‌شونده (condensable) (یا کامپوزیت‌های packable) :

1. تنظیم توزیع فیلری و **افزایش** محتوای فیلری که منجر به سفتی کامپوزیت و رساندن قوام و ویژگی‌های کارکردی کامپوزیت به ویژگی‌های مشابه در یک آمالگام lathe-cut می‌شود.
2. استفاده از **فیلرهای بلند فایبروس با طول حدودی ۱۰۰ میکرومتر** و/ یا سطوح دارای خشونت سطحی یا اشکال شاخه‌دار که تمایل به قفل شدن در یکدیگر و مقاومت در برابر جریان دارند.
3. استفاده از فیلرهای **بزرگتر از حد متوسط (۱۵ تا ۸۰ میکرومتر)**.
4. استفاده از ماتریس رزینی که از نظر شیمیایی به نحوی اصلاح شده‌اند تا بتوان محتوای فیلری آنها را نسبت به کامپوزیت‌های هیبریدی **افزایش** داد. ( ۱٪ تا ۲٪ بیشتر)

این روش‌ها باعث می‌شوند که رزین تحت نیروی کندانسورها یا پلاگرها قابلیت شکل‌پذیری از شکل حفره، مولد شوندگی و مقاومت در برابر فروافتادن و دفرم شدن (slumping) داشته باشد.

\* عبارت کندانس‌شونده (condensable) گمراه‌کننده است زیرا در آمالگام، ذرات آلیاژ آمالگام متراکم می‌شوند تا جیوه اضافی خارج شده و ترمیم با استحکام **بالتری** تولید شود، اما ذرات فیلری کامپوزیت‌ها امکان متراکم شدن ندارند و رزین مثل جیوه به بیرون هل داده نمی‌شود. بنابراین اصطلاح packable برای این نوع کامپوزیت عنوان **دقیق‌تر** و **درست‌تر** است.

با این حال، همچنان بسیاری از محدودیت‌های مربوط به کامپوزیت‌های رزینی باقی‌ماده است و برای کار با آنها تقریباً **دو برابر زمان لازم برای کار با آمالگام مورد نیاز است.**

این کامپوزیت‌ها به جز اینکه در روش قراردهی در حفره رفتار آمالگام را تقلید می‌کنند، هیچ ویژگی یا ارزش افزوده‌ای نسبت به کامپوزیت‌های هیبریدی ندارند. برخلاف ادعای شرکت‌های تولیدکننده، کامپوزیت‌های packable نتایج قابل اتکایی را به دست نداده‌اند. یک مطالعه بالینی نشان داد که میزان بقای ۶ ساله‌ی دو کامپوزیت packable، Nulite F and Alert (Pentron) به ترتیب ۷۵٪ و ۸۷٪ بوده و افزودن الیاف باعث ایجاد سطحی به شدت ناهموار و خشن می‌شود.