





دانشگاه هنر اصفهان

دانشکده مرمت

گروه مرمت

پایان نامه کارشناسی ارشد رشته مرمت آثار گرایش اشیاء تاریخی فرهنگی

برنز بتا(سفید روی):مرور فنی و شناسایی شیوه های حفاظتی اثر

استاد راهنما:

حمیدرضا بخشنده فرد

پژوهشگر:

نفیسه انصاری

خرداد ماه 1389

اظہار نامہ دانشجو:

موضوع پایان نامہ :

استاد راهنما:

اینجانب نفیسه انصاری دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته مرمت گرایش اشیاء تاریخی فرهنگی دانشکده مرمت دانشگاه هنر اصفهان به شماره دانشجویی 8611202102 گواهی می نمایم که تحقیقات ارائه شده در این پایان نامہ توسط شخص اینجانب انجام شده و صحت و اصالت مطالب نگارش شده مورد تائید می باشد و در موارد استفاده از کار دیگر محققان به مرجع مورد استفاده اشاره شده است. به علاوه گواهی می نمایم کہ مطالب مندرج در پایان نامہ تاکنون برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی توسط اینجانب یا فرد دیگری ارائه نشده است و در تدوین متن پایان نامہ چارچوب مصوب دانشگاه هنر اصفهان را به طور کامل رعایت کرده ام.

امضاء دانشجو:

تاریخ:

کلیه حقوق مادی مترتب بر نتایج مطالعات، ابتکارات و نوآوری های ناشی از تحقیق، همچنین چاپ و تکثیر، نسخه برداری، ترجمه و اقتباس از این پایان نامه کارشناسی ارشد، برای دانشگاه هنر اصفهان محفوظ است.
نقل مطالب با ذکر منبع بلامانع است.



دانشگاه هنر اصفهان
دانشکده مرمت
گروه مرمت

پایان نامه کارشناسی ارشد رشته مرمت گرایش آثار تاریخی خانم نفیسه انصاری
تحت عنوان:

[برنز بتا(سفیدروی):مرور فنی و بررسی شیوه حفاظت اثر]

ارایه شده به مدیریت تحصیلات تکمیلی دانشگاه به عنوان بخشی از فعالیتهای تحصیلی لازم برای درجه‌ی کارشناسی ارشد که در تاریخ..... توسط هیأت داوران زیر بررسی و با نمره.....درجه به تصویب نهایی رسید

در تاریخ توسط هیأت داوران زیر بررسی و با درجه به تصویب نهایی رسید.)

1- استاد/ استادان راهنمای پایان نامه آقای دکتر با مرتبه علمی امضا

2- استاد/ استادان مشاور پایان نامه آقای دکتر با مرتبه علمی امضا

3- استاد/ استادان داور داخل گروه آقای دکتر با مرتبه علمی امضا

4- استاد/ استادان داور خارج از گروه آقای دکتر با مرتبه علمی امضا

مهر و امضای مدیر گروه

با سپاس فراوان از:

خانواده گرانقدرم که همیشه همراهم بوده اند

استاد راهنمای پروژه جناب آقای بخشنده فرد

استاد و دوست گرامی جناب آقای محمد مرتضوی

جناب آقای محمدمهدی باباخانی به دلیل در اختیار گذاشتن اشیاء جهت مطالعه

و دوستان بسیار عزیزم نرگس دوستی ثانی ، مرتضی فتوحی ، پرویز هولاکویی ، محمد علی بهابادی ، سمانه

احترام، علی رضا آستانه ، مسعود سعید زاده ، سوده موسوی و مجتبی محمودی...

و داوران محترم جناب آقای مهندس عابد اصفهانی ، جناب آقای توکلی و جناب آقای امید عود باشی.

چکیده:

اشیاء برنزی قلع بالا با ترکیبی از مس و قلع با خواص منحصر بفرد و تکنیک ساخت ویژه کمتر مورد توجه و پژوهش واقع شده اند. استفاده از این تکنیک آلیاژ سازی در ایران به اواخر دوره ساسانی باز می گردد و از قدمت کهنی برخوردار است. ناشناخته بودن این آلیاژ در بین حفاظت گران آثار تاریخی هویت و ماهیت اثر را مخدوش کرده و همچنین در اتخاذ شیوه حفاظت نیز حفاظت گران را دچار اشتباه می کند. در این راستا طی این پروژه در ابتدا به معرفی تاریخچه و خصوصیات ظاهری این اشیاء پرداخته شده و با انجام مطالعات فن شناسی چگونگی ساخت و تولید این اشیاء بیان شده است. به منظور بررسی دقیق تر مطالعات فن شناسی به صورت موردی بر روی چهار نمونه شی که از نظر ظاهری خصوصیات برنز قلع بالا را دارمی باشد صورت گرفت به منظور انجام این مطالعات از روش های دستگاهی *SEM-EDS* و *SEM-BSE* و همچنین از آنالیز *XRD* و میکروسکوپ الکترون روبشی نیز استفاده شده است. به منظور بررسی شیوه حفاظت، 20 نمونه برنز قلع بالا حاوی 20٪ قلع ریخته گری شده و در دمای 700 درجه سانتی گراد تحت عملیات حرارتی قرار گرفته و پس از آن آبدهی شده است. باز دارنده های سالویا و آمینو مرکاپو تیا دیزول بر روی نمونه ها آزمایش شده است.

کلید واژه: سفید روی، برنز قلع بالا، فاز بتا، آبدهی، آمینومرکاپوتیادیزول، مریم گلی، ساختار مارتنزیت.

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
1	مروری بر تاریخچه سفیدروی
1-1	مقدمه
2	2-1- واژه شناسی
4	1-2-1- بررسی نام سفیدروی در متون لاتین
5	3-1- خصوصیات ظاهری
6	1-3-1- ظروف فاقد تزئینات
6	1-3-2- ظروف با تزئینات هندسی
6	1-3-3- ظروف با تزئینات حیوانی
7	4-1- تاریخچه استفاده از برنز سفید در ایران
8	1-5- تاریخچه استفاده از برنز سفید خارج از ایران
11	مطالعه موردی
11	مقدمه
12	1-2- معرفی اشیاء
13	1-1-2- مستند نگاری
14	2-2- بررسی ریز ساختار
15	3-2- آنالیزهای شیمیایی
21	4-2- مروری بر فرایندهای تخریب برنز قلعبالا
21	4-2-1- خوردگی موجود بر سطح اشیاء سفیدروی
22	4-2-2- خوردگی تاولی
23	4-2-3- پاتین
23	4-2-4- مکانیزم خوردگی
25	5-2- آسیب شناسی
28	مقدمه
28	1-3- بررسی ساختار آلیاژهای فاز CU-SN
30	1-1-3- فلز آینه
31	2-3- نمودارهای فاز
32	3-3- نمودار فازیمس قلع
33	3-3-1- سیستمهای پیریتکتیک
34	4-3- فاز بتادر برنز قلعبالا
35	5-3- ساختار میکروسکوپی

37.....	6-3- سخت‌پس‌نجی.....
38.....	7-3- نتیجه‌گیری.....
40.....	1-4- برر سیشیوه‌حفاظت.....
40.....	1-4-1 ضرورت‌شناخت‌آسیبها.....
41.....	2-4- ریختنه‌گری‌آلیاژ.....
41.....	3-4- نمونه‌سازی.....
43.....	4-4- بازدارنده‌ها‌ی‌خوردگی.....
43.....	4-4-1 مینومرکا‌پوتیادیزول.....
44.....	4-4-2 مریم‌گلی.....
44.....	4-5- نتیجه‌آزمایش.....
45.....	4-5-1 تعیین‌میزان‌بازدارندگی.....
47.....	نتیجه‌گیری.....
48.....	منابع‌وماخذ.....

فهرست تصاویر

صفحه	عنوان
7	شکل 1-2: شیچندپر (لکپور 1375 ، 60).....
7	شکل 1-1: شیفاقدتزیین (لکپور 1375 ، 61).....
7	شکل 1-4: نقوش حیوانی (لکپور 1375 ، 63).....
7	شکل 1-3: شیباتزیینهندسی (لکپور 1375 ، 65).....
8	شکل 1-5: سفیدرویبا نقش حیوانی (رزاقی 1381).....
8	شکل 1-6: سفیدرویبا نقش هندسی (رزاقی 1381).....
10	شکل 1-7: آینهرومی (ANCIENTTOUCH.COM).....
10	شکل 1-8: نقوشبرجستهپشتآینه (ANCIENTTOUCH.COM).....
10	شکل 1-9: آینهچینی (ARTS.CULTURAL-CHINA.COM).....
10	شکل 1-10: آینهرومی (ANCIENTTOUCH.COM).....
12	شکل 2-1: شی (1).....
12	شکل 2-2: شی (2).....
13	شکل 2-3: شی (3).....
13	شکل 2-4: شی (4).....
	شکل 2-5: ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.....
	شکل 2-6: ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.....
	شکل 2-7: ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.....
	شکل 2-8: ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.....
15	شکل 2-9: تصویر (الف) شی (1) تصویر (ب) شی (2).....
15	شکل 2-10: تصویر (ج) شی (3) تصویر (د) شی (4).....
17	شکل 2-12: تصویر SEM-BSE شی (1).....
18	شکل 2-13: تصویر SEM-BSE شی (2).....
19	شکل 2-14: تصویر SEM-BSE شی (3).....

- شکل 15-2 تصویر شمایکمقطع خوردگی تاو لیدر برنز قلعبالا (SCOTT,2002)..... 22
- شکل 16-2 خوردگی تاو لیشی (2)..... 23
- شکل 17-2 تخریب سطح حشیتو سطح خوردگی تاو لیشی..... 23
- شکل 18-2 سنگ معدن کاسیتریت..... 24
- شکل 19-2 طیف XRD شی (2)..... 26
- شکل 20-2 طیف XRD شی (1)..... 26
- شکل 1-3 تصویر شمایکواکشن پری تکتیک (اونر، 1380)..... 33
- شکل 2-3 (SCOTT,1991)..... 36
- شکل 3-3 (SCOTT,1991)..... 36
- شکل 11-2 : (الف) آبدهیشده. (ب) ریختهگری (ج) آنیلشده..... 41
- شکل 21-3 نمونهها پس از اعمال خوردگی..... 42
- شکل 22-3 ساختار (FALTRMEIER,1992,P3) AMT..... 44
- شکل 24-3 محلول سالویا پس از استفاده..... 46
- شکل 25-3 محلول سالویا قبلا؛ استفاده..... 46
- شکل 26-3 تست کلراز محلول سالویا..... 46
- شکل 27-3 تست کلراز محلول AMT..... 46

فهرست نمودارها

صفحه	عنوان
32	نمودار 1-2 فازیمس-قلع (scott,1992)
35	نمودار 2-2 تغییر ساختار میکروسکوپی آلیاژ A در حالت تعادل
37	نمودار 3-2 سختی ترکیب Cu-Sn را با مقادیر مختلف فلکشن نشان می دهد (Park,2009)
16	نمودار 1-3: طیف SEM-EDS شی (1)
18	نمودار 2-3: طیف شی (2)
19	نمودار 3-4: طیف SEM-EDS شی (3)
20	نمودار 3-5
47	نمودار 3-6 جدول نتایج استفاده از بازدارنده

پیشگفتار:

متاسفانه واژه برنز سفید یا همان اصطلاح کهن سفید روی در ذهن بسیاری از مرمت گران ناشناخته می باشد و اطلاع کمی از آن در دسترس است. البته از جنبه باستان شناسی و تاریخی، مطالعاتی در گذشته توسط آقای ملیکیان شیروانی صورت گرفته است. اما به لحاظ تکنیک ساخت و نحوه شکل گیری آن اطلاعات اندکی در دست است و بر روی نمونه های موجود در ایران مطالعه صورت نگرفته است. ناشناخته بودن این آلیاژ و همچنین در بسیار از موارد تصور آنکه این اشیاء برنجی می باشند هم منجر به اتخاذ شیوه های حفاظتی نادرست می شود و ماهیت و هویت اصلی شی را مخدوش می نماید. ظرافت، درخشندگی، رنگ زیبا و منحصر بفرد این آلیاژ و قدمت کهن آن ضرورت بررسی آن را هر چه بیشتر توجیه می کند. قدمت به کارگیری این آلیاژ در سرزمین های اروپایی به منظور تولید آینه به گذشته های دور بازمی گردد. خصوصیات ویژه این ترکیب فلزی از نظر ویژگیهای سطحی و صیقل بودن سطح آن بشر را در ساخت و تولید ابزار و اشیاء درخشان از آن یاری کرده است. شواهدی که تا کنون به دست آمده قدمت استفاده از این تکنیک فلز کاری را به دوره ساسانی بازمی گرداند اما با ورود دین اسلام به سرزمین ایران استفاده از این آلیاژ گستردگی بیشتری یافت و نزد درباریان و حاکمان نیز از اهمیت بالایی برخوردار شد. منع استفاده از ظروف ذرین و سیمین در دین اسلام حاکمان را بر آن داشت تا جایگزینی مناسب با همان خصوصیات ظاهری و درخشندگی و زیبایی برای ظروف ساخته شده از طلا و نقره برگزینند و صنعت گران را بیش از پیش در شناخت و تولید این اشیاء تشویق کردند. تعداد بیشماری از این اشیاء از نقاط مختلف ایران یافت شده است. در این پروژه سعی بر آن شده است تا با بررسی و انجام مطالعات فن شناسی و همچنین مطالعه موردی بر روی تکنیک ساخت 4 شی برنز سفید شیوه ساخت این اشیاء شناسایی شود. همچنین با بررسی آسیب ها و رون تخریب موجود بر روی اشیاء ساخته شده از برنز سفید و با نمونه سازی شیوه حفاظتی را نیز مورد آزمایش قرار دهیم امید آن است این پروژه گام نخست را در شناخت این شیوه منحصر بفرد فلز کاری برداشته باشد.

فصل اول

مروری بر تاریخچه سفید روی

۱-۱- مقدمه:

مس از دیرباز در کهن ترین تمدن های شناخته شده بشری قابل استفاده بوده است و قدمت تاریخچه به کارگیری آن به 10000 سال پیش باز می گردد. برخی شواهد استفاده مس در آسیای مرکزی به 9000 پیش از میلاد بازمی گردد، در شمال کشور عراق یک تکه آویزه مسی متعلق به 8700 ق.م یافت شده است. اولین نشانه های ذوب مس به 5000 ق.م باز میگردد که تصفیه مس از ترکیبات ساده آن چون مالاشیت و آزوریت است. (www.webmineral.com1388/6/19)

قلع یکی از قدیمی ترین فلزات شناخته شده است و از دوران باستان به عنوان بخشی از برنز مورد استفاده بوده است و چون موجب سخت شدن مس می گردد در وسایل برنزی به کار می رفته است. ترکیب مس با قلع و روی جهت ساخت مفرغ و برنج چندی پس از کشف مس خالص مورد استفاده قرار گرفت. برنز را از شهرهای سومری با قدمت 3000 ق.م به دست آورده اند و در تمدن مصر نیز اشیاء مفرغی با ترکیب مس و قلع نیز قدمتی مشابه دارد. بشر کهن با درک اینکه افزودن اندکی قلع به مس قابلیت ریخته گری این فلز را بالا می برد دست به ترکیب آن زدند. قدمت استفاده این آلیاژ در اروپا به حدود 2000 ق.م باز می گردد اما گسترش استفاده از این فلز در اروپا چنان پیش رفت که گستره تاریخی 2500 تا 600 ق.م را عصر برنز نامیده اند. (www.ngdir.ir)

مس به طور طبیعی نرم و قرمز رنگ است ولی با افزودن درصدی از فلز قلع به آن، رنگ ترکیب جدید، روشنتر بوده و خواص ریخته گری آن تقویت میشود. با بالا رفتن درصد قلع رنگ آلیاژ به دست آمده زردتر میشود (شبیه به طلا) و گاهی متمایل به نقره ای می شود. استحکام و شکنندگی آلیاژ به دست آمده با افزایش درصد قلع ارتباط مستقیم دارد. به طوری که هر چه میزان قلع آلیاژ بیشتر باشد فلز سخت تر و شکننده تر می شود (لک پور، 1375، 4)

۱-۲- واژه شناسی:

بررسی نام سفیدروی در متون فارسی و عربی: منابع کتبی اندکی در مورد ساخت برنز سفید در ایران وجود دارد. ابوالقاسم کاشانی در این مورد در کتاب *عرایس الجواهر و نفایس الاطایب* در اوایل قرن 14 میلادی مینویسد: "عجب آنکه مس و قلع هر دو فلزی نرم هستند و ترکیب آنها فلزی سخت است."

شاید منظور کاشانی از فلز سخت در اینجا همان مفرغ باشد اما او با بیان اینکه این ظروف در زمان حجاج جایگزین ظروف نقره و طلا شده میتوان به این نتیجه رسید که منظور او همین برنز سفید است. (شیروانی)

در کتاب ابوالقاسم کاشانی در بحثی تحت عنوان "در معرفت سفید روی" کاشانی نوشته است: "سفر (برنز) آلیاژی است از مس و قلع سفید. سفید روی ماده ای سفید رنگ است به مانند نقره، رساس و نحاس آلیاژی را تولید میکند که به خودی خود از هم پاشیده نمیشود. ابتکار آن در زمان حجاج بوده است که خوردن و آشامیدن در ظروف زرین و سیمین در عراق و ایران منع شد. در آن زمان صنعتگران مس و قلع را ترکیب کردند تا ظروفی جایگزین را برای حکماء و ثروتمندان تولید کنند."

به هر حال توصیف او در باب سفید روی این بوده است که این ظروف به مانند نقره سفید است. او بی شک میدانسته که قدمت برنز معمولی به گذشته های دور باز می گردد

خواجه نصیرالدین طوسی نیز در کتاب *تناسخ نامه* بیان می کند: "اگر کسی مس را مذاب کند و مقدار مشخصی قلع را درون آن بریزد رنگ آن نقره ای خواهد شد." در این متن از این آلیاژ تحت عنوان اسپید روی نیز یاد شده به هر حال نکته مشترک در نوشته های کاشانی و طوسی تعلق دانستن این ظروف به زمان حجاج است. خواندن نوشته های کاشانی و طوسی بیانگر این است که استفاده از این ظروف در زمان آنها منسوخ شده بود. به نظر می رسد کتاب *الجماهیر فی معرفه الجواهر* نوشته *ابوریحان بیرونی* منبع نوشته های طوسی و کاشانی بوده است. وی نیز در کتاب خود داستانی مشابه از پیشینه تولید این اشیاء در زمان حجاج نقل می کند. این اشیاء هم چنین با عناوین چون *هفت جوش*، *هفت جسد*، *طالیقون*، *برنز سفید* و... شناخته شده است که تفسیر آنها در ذیل بیان شده است:

در فرهنگ فارسی دکتر معین در باب *طالیقون* و *هفت جوش* یا *هفت جسد* چنین آمده است:

هفت جسد: 1- هفت فلز: الف- به اعتباری (زر،سیم، آهن، مس، ارزیر، سرب و سیمان). ب. و باعتبار دیگر آهن، جست (روح توتیا)، سرب، زر، سیم، قلع و مس.

هفت جوش: فلز بسیار سخت

طالیقون: هفت جوش 1- روی 2- هفت جوش که عبارت است از آلیاژ هفت فلز و آن ها عبارتند از: طلا و نقره و مس و قلع و سرب و آهن و روی. 3- مس زرد

در لغت نامه دهخدا نیز با این مفاهیم و به صورت زیر مواجه می شویم:

هفت جوش: هفت فلز است بهم آمیخته که آن را ازدهات گویند و آن بغایت محکم باشد و آن هفت فلز این است: زر، نقره، مس، جست آهن سرب ارزیر. هفت جسد است که با هم گدازند و از آن چیزها سازند. مفرغ.

طالیقون: مس رست گویند و آن مسی است زرد ذهبی شبیه به برنج مصنوع، و از تافتن آتش و کوفتن مطرقة سیاه نشود طالیقون به زبان رومی هفت جوش را گویند و آن هفت جسد است که طلا، نقره، مس و قلع و سرب و آهن و روح توتیا باشد آنها را با هم گدازند و از آن چیزها سازند.

مفرغ: فلزی مرکب از مس و قلع یا روی که مجسمه ها و امثال آن ریزند. هفت جوش.

طالیقون مسی زرد باشد و فرق میان وی و انواع دیگر مس به زردی بود و چون از آتش بیرون آورند و پتک زنند تمددی در وی پیدا شود و زرد گردد و شکسته نگردد تا سرد شود.

1-2-1- بررسی نام سفیدروی در متون لاتین :

برنز قلع بالا¹: به دلیل میزان قلعدر آلیاژ. از آنجا که برنزهای معمول ترکیبی از مس با درصد قلع 5٪ تا 12٪ داشتند به دلیل میزان قلع بالای این آلیاژ (20٪ تا 24٪) آن را با این عنوان معرفی می کنند.

برنز سفید²: شباهت رنگ فلز با نقره و تالو و درخشندگی آن. استفاده از برنز با درصد قلع بالا به منظور جایگزین کردن آن به جای پوشش نقره و آلومینیم و رسیدن به رنگ سفید.

فلز ناقوس³: خواص آکوستیک و استفاده از آن در ساخت زنگ و ناقوس. پس از کشف خواص آکوستیک این آلیاژ در کشورهای اروپایی به خصوص در روم باستان از این ترکیب جهت ساخت ناقوس بهره جستند.

آلیاژ آینه⁴: استفاده گسترده از این آلیاژ در ساخت آینه در تمدن ها و فرهنگهای مختلف

برنز بتا⁵: تکنیک ویژه ساخت این آلیاژ (کووینچ) و تشکیل ساختار مارتنزیت بتا

آنچه مسلم است برنز سفید در ایران به طور وسیع استفاده می شده و قدمت ساخت و به کارگیری آن کمتر از دیگر کشورهای آسیایی نبوده است اما عدم شناخت کافی از آن شاید دلیل بر این تصور است که نمونه های این آلیاژ در کشورمان نادر است. در رواقع در سایر نقاط مطالعات بیشتری بر روی این شیوه فلزکاری صورت گرفته و مورد شناسایی واقع شده است. به نظر با گسترش تکنیک های مختلف فلز کاری از دوره صفویان استفاده از این تکنیک به مرور زمان از بین رفته است و شیوه های دیگری جایگزین آن شده است. شاید یکی از دلایل کم توجهی به آن نیز همین موضوع باشد.

¹ - high-tin bronze

² - white bronze

³ - bell metal

⁴ - Speculum

⁵ - beta bronze

۱-۳- خصوصیات ظاهری:

برنز سفید گروهی از اشیاء کم یاب در تاریخچه فلز کاری می باشد که دارای ظاهری متفاوت و قابل تشخیص از گروه برنز های معمولی است. این اشیا بر سطوح خود پاتین ویژه به رنگ سیاه براق یا خاکستری تیره دارند. در بسیاری موارد به دلیل رنگ نقره ای این آثار تاریخ شناسان و موزه داران به اشتباه آنها را در زمره آثار نقره ای دسته بندی می کنند. سطح پاتینه شده آنها ظاهری صیقلی و جلا خورده دارد. خوردگی های سطحی این اشیاء غالباً به صورت زگیل های متحدالمرکزی گسترش می یابد. آلیاژ شکننده است و شکستگی های آن تیز و تند است. همه این خصوصیات مربوط به آلیاژی با درصد قلع بالا است. این آلیاژ ترکیبی از مس و قلع می باشد که درصد قلع آن حدود 20٪ است یعنی کمتر از میزان قلع در آلیاژ آینه . آلیاژی با این ترکیب نیاز به شیوه های ساخت ویژه ای دارد چنین آلیاژی به شدت تحت تأثیر دما و تغییرات دمایی می باشد. وقتی درون قالب ریخته گری می شود و به آرامی سرد می گردد فلزی شکننده تولید می شود که شکل پذیر نیست و تلاش برای شکل گیری آن منجر به شکسته شدن فلز می گردد. اما در دمای بین 550 تا 750 درجه سانتی گراد جایی که فلز رنگ قرمز گداختگی دارد، نرم و چکش خور است و به راحتی به وسیله ابزار آهنگری قابل چکش کاری است. (لک پور 1375، 14)

اگر آلیاژ از دمایی به خصوص به طور ناگهانی سرد شود فلز نسبتاً سخت می شود اما اندکی خاصیت چکش خوری را برای انجام عملیات نهایی در خود حفظ می کند. برای ساخت، این اشیاء در قالب ریخته گری می شدند و سپس به وسیله عملیات چکش کاری آنها را به شکل مورد نظر در می آوردند در حالی که هنوز آلیاژ گداخته و قرمز رنگ بوده . سپس به سرعت سرد می شده و بعد از این مرحله به آرامی تزیینات نهایی به شیوه چکش کاری انجام می شده . فلزکاران برای ساخت این ظروف و تزیین آنها نیازمند مهارت کافی و دقت فراوان بوده اند. ضخامت این اشیاء عموماً کمتر از اشیاء برنزی است به علاوه آلیاژ کوپنچ شده دارای خصوصیات اکوستیک خوبی است و در اثر ضربه زدن به آن صدای زنگ ممتدی ایجاد می شود به همین جهت است که از آن در ساخت ناقوس نیز استفاده می شده و به آن bell metal نیز می گویند. (شیروانی، 1975، 50)

فلز کاران ایرانی با اطلاع از تردی و شکنندگی موادی که استفاده می کردند از برنز معمولی برای ساخت قسمت هایی نظیر دسته و پایه ظروف بهره می جستند. بر اساس مطالعاتی که دکتر ملیکیان شیروانی بر روی فرم و ظاهر این اشیاء انجام داده است چنین بیان کرده است :

"از نظر فرم ظاهری این اشیاء را می توان به چند دسته تقسیم کرد:

- 1- ظروف فاقد تزیینات
- 2- ظروف با تزیینات هندسی
- 3- ظروف با تزیینات حیوانی"

1-3-1- ظروف فاقد تزیینات:

یکی از رایج ترین فرم های موجود از اشیاء ساخته شده از برنز سفیدیک پیاله چند گوشه با کف پهن و بدنه محدب می باشد که یک دسته دسته حلقه ای در وسط یکی از پره ها جای دارد. تعداد پره ها یا لبه های این دسته از اشیاء 6-8 عدد است که رایج ترین آن 7 لبه می باشد. نمونه یافت شده از این شی که در موزه ایران باستان نگهداری میشود متعلق به دوره ساسانی یافت شده از سیاه دره گیلان میباشد. همه نمونه های یافت شده دسته های از جنس برنز معمولی دارند. نمونه ای از این شی در موزه لندن و برلین نیز وجود دارد. یکی دیگر از رایج ترین نمونه های فاقد تزیین گلدان هایی با بدنه گرد و گردنی بلند تقریباً به ارتفاع بدنه است که لبه ای پهن تر از گلوگاه دارد . بر روی گردن این نمونه اشیاء خطوط موازی وجود دارد. (شکل 1-2)

1-3-2- ظروف با تزیینات هندسی:

دسته های از اشیاء ساخته شده از برنز سفید کاسه ها ، سینی ها و ملاقه هایی هستند که نقوش هندسی بر بدنه بیرونی و داخلی خود دارند این نقوش غالباً از دایره و لوزی تشکیل شده است . تعداد زیادی از این دسته از آثار متعلق به خراسان و نیشابور است که نمونه ای از آن نیز در موزه ایران باستان وجود دارد.(شکل 1-3)

1-3-3- ظروف با تزیینات حیوانی :

تعداد بسیار محدودی از اشیاء سفید روی دارای نقوش حیوانی هستند(شکل 1-4) و چند نمونه پیاله های کتیبه دار نیز در برخی از مجموعه ها وجود دارد. (شیروانی. 1975. 126)

شکل 1-1: شی فافد تزیین (لک پور 1375 ، 61)

شکل 1-2: شی چند پر (لک پور 1375 ، 60)

شکل 3-1: شی با تزیین هندسی (لک پور 1375 ، 65)

شکل 4-1: نقوش حیوانی (لک پور 1375 ، 63)

۱-۴- تاریخچه استفاده از برنز سفید در ایران:

نمونه های مختلف یافت شده از برنز سفید در مناطق مختلف ایران نشان می دهد که ساخت این فلز و آشنایی با آن بیشتر از مناطق دیگر بوده است. برای مثال ظروف ساخته شده از برنز سفید که در آن از هر دو تکنیک قالب ریزی و چکش کاری استفاده شده در لرستان یافت شده که شامل نمونه های مصرفی و تزئینی می باشد. نمونه دیگر یافت شده از برنز سفید یک کاسه متعلق به هزاره دوم پیش از میلاد است که از حفاریهای مارلیک به دست آمده است. این شی همه خصوصیات ظاهری برنز سفید را دارا است. دارای فرم ساده، سطح شکننده و ترک دار و پاتین یک دست و تیره است. نمونه های دیگر ساخته شده از این آلیاژ نیز در حفاری منطقه تاریخی ارجان به دست آمده. با اینکه تا کنون نمونه ای از این اشیاء متعلق به دوره هخامنشی یافت نشده است اما احتمال می رود که این آلیاژ در زمان هخامنشیان نیز ساخته می شده. تعدادی از این اشیاء متعلق به اواخر دوره پارت و اوایل دوره ساسانی در دیلمان یافت شده است. در سواحل جنوبی