

KATMAN KAPLAMA

Kumlama | Yüzey Hazırlama | Metal Kaplama | Yaş Boya | İntümesan Yangın Boyası | Toz Boya



Kumlama | Yüzey Hazırlama | Metal Kaplama | Yaş Boya | İntümesan Yangın Boyası | Toz Boya

TEKNİK DEĞERLENDİRME RAPORU

Endüstriyel Ahır Yapılarında Korozyon Koruma Sistemlerinin Karşılaştırılması:

Sıcak Daldırma Galvaniz (HDG) ve KATMAN Duplex TSA Sistemi

DOKÜMAN NO	TR-2026-06-25
HAZIRLAYAN	KATMAN Kaplama — Ularte Sınai Yapı ve Ticaret A.Ş. bünyesinde yüzey işlem ve kaplama hizmet birimi
KONU	Agresif amonyak (NH_3) ve yoğun nem altında yapısal çelik için yüzey koruma sistemlerinin karşılaştırılması
KARŞILAŞTIRILAN SİSTEMLER	ISO 1461 Sıcak Daldırma Galvaniz (HDG) ↔ KATMAN Duplex TSA (Thermally Sprayed Aluminum) Sistemi (TSA + Sealer + Poliüretan)
HEDEF ÖMÜR	Bakım gerektirmeyen 30+ yıl yapısal bütünlük

1. Giriş ve Problem Tanımı

Endüstriyel hayvancılık tesisleri — özellikle büyükbaş süt sığırcılığı ahırları — yapısal çelik konstrüksiyon için yeryüzündeki en agresif ve korozif atmosferik ortamlardan birini oluşturur. Yapı içi ortam, üç bileşenin sürekli ve birleşik (sinerjik) atağı altındadır:

- Yüksek amonyak (NH_3) gazı konsantrasyonu: Hayvansal atıkların (idrar ve dışkı) üre kırımından kaynaklanır.
- Sürekli yüksek bağıl nem (%80–%90 RH): Hayvanların solunumu, terlemesi ve zemin yıkama proseslerinden kaynaklanır.
- Biyogüvenlik kimyasalları: Dönemsel dezenfeksiyon ve temizlik operasyonlarında kullanılan asidik/alkali ajanlar.

Bu raporda, piyasa standardı olan ISO 1461 Sıcak Daldırma Galvaniz (HDG) kaplama ile KATMAN Duplex TSA (Thermally Sprayed Alüminyum) [Sıcak Püskürtme Alüminyum] Sistemi'nin elektrokimyasal ve mekanik performansları, uzun vadeli bağımsız saha verileri ışığında karşılaştırılmaktadır.

2. Metalurjik ve Kimyasal Karşılaştırma

2.1. ISO 1461 Sıcak Daldırma Galvaniz (HDG) Neden Yetersiz Kalır?

ISO 1461 standardına göre 6 mm üzeri çelikte ortalama çinko kaplama kütlesi **yaklaşık 85 μm** (610 g/m² ortalama kaplama kütlesi) düzeyindedir¹. Bu kalınlık normal kentsel veya endüstriyel atmosferlerde mükemmel bariyer ve katodik koruma sağlar; ancak ahır ortamındaki **ıslak amonyak** karşısında hızla teslim olur.

- Çözünür kompleks oluşumu: Nemli amonyak gazı, çinko yüzeyindeki doğal koruyucu çinko karbonat patinasını parçalar. Amonyak, çinko iyonları ile birleşerek suda son derece kolay çözünen çinko-amonyum kompleksi $[\text{Zn}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$ oluşturur.
- Hızlandırılmış tüketim: Bu reaksiyon nedeniyle çinko katmanı, çeliği korumak için kontrollü biçimde feda olmak yerine sıvılaşıp yüzeyden akar ve hızla tükenir. Ahır ortamlarında HDG korozyon hızı, normal atmosferik korozyon hızının 4–6 katına ($\approx 10\text{--}15 \mu\text{m/yıl}$) çıkabilir; bu da $\sim 85 \mu\text{m}$ kaplamanın 5–7 yıl içinde tükenmesi anlamına gelir.

Burada kritik bir gözlem öne çıkar: çinko-bazlı korumada koruyucu performans, birim alana çöktirilen metal miktarıyla doğru orantılıdır. Çinko-zengini (zinc-rich) bir astar boya bu açıdan özellikle zayıftır: 75 μm DFT (kuru film kalınlığı) bir çinko-zengini epoksi astar (örn. Jotun Barrier 80), içindeki çinko tozu yalnızca $\sim 34,5 \mu\text{m}$ 'lik bir saf çinko mevduatına eşdeğerdir; geri kalan $\sim 40,5 \mu\text{m}$ sadece reçinedir². Yani çinko-zengini astar, isminin çağrıştırdığı korumanın çok altında bir metal miktarı sunar. Dolayısıyla, sıcak daldırma galvaniz yerine çinko-zengini bir boya sistemine yönelmek, sıcak daldırma galvaniz kadar bile performans sağlamayacaktır. O nedenle çinko dışı metallere yönelmek zorunluğu ortaya çıkmış, özellikle NH_3 gazı konsantrasyonunun kuvvetli olduğu ortamlarda bu gaz ile kimyasal reaksiyona girmeyecek metal üzerinden antikorozyf sistem tasarımları yapılmıştır.

¹ISO 1461:2009(E), Table 3 — “Minimum coating thickness and mass on samples that are not centrifuged.” Steel > 6 mm için ortalama kaplama kalınlığı (minimum) 85 μm , ortalama kaplama kütlesi (minimum) 610 g/m². Standart, hot-dip galvanizde tipik tek kat çinko mevduatının yaklaşık 85–100 μm aralığında olduğunu gösterir.

²Hesaplama: Jotun Barrier 80 teknik veri sayfasına göre çinko tozu içeriği $\sim 2.000 \text{ g/L}$ (hacimce katı içeriğin %80'i), teorik yayılma 75 μm DFT'de $8,16 \text{ m}^2/\text{L}$. Bu durumda $2.000 \div 8,16 = 245 \text{ g/m}^2$ çinko tozu; %99,8 saflıkta hot-dip / termal sprey çinko mevduatına çevrildiğinde $\sim 34,5 \mu\text{m}$ çinko kaplamaya karşılık gelir. Geri kalan $\sim 40,5 \mu\text{m}$ reçine/boyadır. Kaynak: Ularte Sınai Yapı ve Ticaret A.Ş., “A Proposal to Replace Zinc-Rich Primer Paint: Thermally Sprayed Aluminum,” Ocak 2020.

2.2. KATMAN Duplex TSA Sistemi Neden Sınır Tanımaz?

Sistem, birbirini tamamlayan üç katmanlı sinerjik bir zırh (duplex mekanizma) esasına dayanır. Aşağıdaki kalınlıklar, ahır gibi agresif ortamlar için seçilen yüksek emniyet paylı KATMAN spesifikasyonunu yansıtır:

- **Üst Kat** — ~30 µm fırın kürlemeli poliüretan (PU): Amonyak gazı ve neme karşı ilk fiziksel bariyer. Yüksek moleküler çapraz bağ yoğunluğu sayesinde gaz geçirgenliği düşüktür; pürüzsüz yüzey, yüksek basınçlı endüstriyel yıkamalarda bakteri ve kir tutunmasını engeller.
- **Ara Kat** — ~15 µm endüstriyel gözenek kapatıcı (sealer): TSA'nın püskürtme doğasından kaynaklanan mikroskobik gözenekleri (porozite) doldurur. Termal sprej yüzeyin doğal poroz yapısı, sealer'ın TSA uygulamasından hemen sonra (oksitletme öncesinde, <60 dk içinde) emilmesini sağlar; ek yüzey hazırlığı gerekmez.
- **Ana Kat** — TSA (Termal Sprej Alüminyum, %99,5): Sistemin elektrokimyasal motoru. Alüminyum, nem ve amonyakla temasında yüzeyinde amonyağa karşı inert (eylemsiz) ve çözünmez Al_2O_3 pasivasyon tabakası oluşturur. Üst katmanlar mekanik darbe ile hasar görse bile alüminyum, çeliğe karşı katodik (kurban anot) koruma sağlamaya devam eder — ancak çinkonun aksine amonyak karşısında eriyip akmaz.³

TSA KALINLIĞI — İKİ KADEMELİ ÇERÇEVE

100 µm — Standart endüstriyel öneri: KATMAN'ın temel teknik önerisi, 100 µm termal sprej alüminyum uygulanmasıdır. Bu kalınlık, ISO 1461 (85 µm) ve ASTM A123/A123M (100 µm) çinko kaplama standartlarının üst sınırını metal miktarı bazında karşılar veya aşar.⁴

200 µm — Ahır-özel spesifikasyon: Ahır içi amonyak + nem mikroklimasının yaratacağı ek korozyon yükünü karşılamak için KATMAN, bu projede 200 µm TSA + 15 µm sealer + 30 µm PU (toplam ~245 µm) seçmiştir. Aşağıda gösterilen 53 yıllık saha kanıtı yalnızca 75 µm alüminyumla elde edildiğinden, 200 µm devasa bir emniyet payı sağlar.

3. Literatür ve Bağımsız Saha Test Verileri

Aşağıdaki veriler, ABD Federal Karayolları İdaresi'nin (FHWA) *Steel Bridge Design Handbook: Corrosion Protection of Steel Bridges* (Yayın No. FHWA-HIF-16-002, Cilt 19) belgesinde derlenen, 89 kaynaklık bir kaynakçaya dayanan uzun vadeli açık hava maruziyet çalışmalarıdan alınmıştır⁵.

3.1. AWS 19 Yıllık Maruziyet Çalışması (1954–1974)

Amerikan Kaynak Derneği'nin (AWS) yedi farklı ASTM maruziyet sahasında (Kure Beach NC, Bayonne NJ, Point Reyes CA vb.) yürüttüğü 19 yıllık çalışmada, 75 µm (3 mils) kalınlığındaki yalın (boyasız) termal sprej alüminyum, 19 yılın sonunda hiçbir sahada altındaki çelik taban metalde korozyona izin vermemiştir⁶. Buna karşılık yalın çinko kaplamada taban metalin tüm sahalarda korozyona uğradığı görülmüştür.

³Zurich Insurance Group Ltd., "RiskTopics — Corrosion Protection using Thermal Spray Aluminum," Şubat 2017, s.4: termal sprej kaplamalar, boya/polimer/epoksi gibi çevreyi dışlayan bir bariyer görevi görmek yanı sıra, tipik bariyer kaplamaların aksine kurban anot (sacrificial anodic) koruması da sağlar.

⁴Ularte Sinai Yapı ve Ticaret A.Ş., "A Proposal to Replace Zinc-Rich Primer Paint: Thermally Sprayed Aluminum," Ocak 2020, Bölüm 6 ve 9. ISO 1461:2009 ve ASTM A123/A123M:2000 referans alınmıştır.

⁵U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration, "Steel Bridge Design Handbook: Corrosion Protection of Steel Bridges," Publication No. FHWA-HIF-16-002, Vol. 19.

⁶AWS (1974), "Corrosion Tests of Flame-Sprayed Coated Steel — 19-Year Report," Report No. AWS C2.14-74, American Welding Society, Miami, FL. FHWA Handbook s.27 üzerinden aktarılmıştır.

Kalınlık	Metal / Sızdırmazlık	19 Yıl Sonrası Sonuç
75 µm (3 mils)	Alüminyum (yalın)	Taban metalde korozyon yok
75 µm (3 mils)	Çinko (yalın)	Taban metalde korozyon var

3.2. Cambridge / Kure Beach Çalışması — 53 Yıllık Kanıt

1951’de başlatılan ve agresif deniz atmosferine sahip Kure Beach (NC, 800 ft) sahasında yürütülen uzun vadeli çalışmada, yalnızca 75 µm (3 mil) alüminyum kaplamanın, aşındırıcı deniz/endüstriyel ortamda 53 yıl boyunca altındaki çeliği sıfır pas (Zero Percent Base Metal Rust) ile koruduğu raporlanmıştır. Aynı ortamda çinkonun eşdeğer koruma sağlaması için 150 µm (6 mil) kalınlık gerekmiştir⁷.

Katman kalınlığı faktörü: 75 µm alüminyumun yarım asırdan fazla dayandığı bu denklemde, KATMAN boya hattında ahır projesi için uygulanacak 200 µm TSA zırhı, ahır içi kimyasal mikroklimanın yaratacağı ek yükü rahatlıkla absorbe edecek devasa bir emniyet payına sahiptir.

Tarihsel teyit: Daha 1964 tarihli bir referans, alüminyum kaplı çelik ürünlerin — özellikle prefabrik yapıların — ağır endüstriyel ortamlarda on yıl sonra dahi mükemmel durumda bulunduğunu; aynı uygulamadaki galvanizli ürünlerin ise dört yıldan kısa sürede kırmızı pas verdiğini bildirmiştir⁸.

3.3. Petrokimya ve Açık Deniz (Offshore) Saha Kanıtı — Zurich RiskTopics

Köprü ve karayolu sektörünün yanı sıra, TSA’nın üstün performansı sigorta ve risk mühendisliği literatüründe de teyit edilmektedir. Zurich Insurance Group’un “Corrosion Protection using Thermal Spray Aluminum” (Şubat 2017) risk değerlendirme raporunda, petrokimya tesisleri ve açık deniz petrol/gaz yapıları gibi en agresif ortamlarda — deniz sıçrama bölgeleri (splash zone) dahil — ilk bakıma kadar 20 yılı aşan korumanın sahada kanıtlandığı belirtilir; yüzlerce köprünün bir asra yakın süredir termal sprey ile kaplandığı ve 50 yılı aşan koruma sağlandığı belgelenmiştir⁹. Aynı rapor, TSA’nın yalnızca bir bariyer kaplaması olmadığını; tipik boya/epoksi kaplamaların aksine aynı anda kurban anot (sacrificial anodic) koruması da sağladığını vurgular¹⁰. Bu çift mekanizma (bariyer + katodik koruma), KATMAN Duplex sisteminin Bölüm 2.2’de açıklanan elektrokimyasal mantığını bağımsız bir kaynakla doğrular.

4. Teknik Performans Karşılaştırma Matrisi

Parametre	ISO 1461 Sıcak Daldırma Galvaniz (HDG)	KATMAN Duplex TSA (200+15+30 µm)
Kaplama kalınlığı	~85–100 µm (metalurjik reaksiyon limiti)	~245 µm (kontrollü, çok katmanlı)
Amonyak (NH₃) direnci	Zayıf: çözünür amonyum kompleksleri oluşturarak hızla erir.	Kusursuz: Al ₂ O ₃ tabakası amonyak karşısında stabil ve çözünmezdir.
Yüzey hazırlığı ve bağ	Kimyasal asit banyosu (Fe–Zn alaşım bağı).	Entegre yağ alma + Sa 2.5 kumlama (Rz ≈ 40–80 µm) ile mekanik kilitlenme.

⁷Kain, R. M. ve Baker, E. A. (1987), “Marine Atmospheric Corrosion Museum Report on the Performance of Thermal Spray Coatings on Steel,” ASTM STP 947, s.211–234. FHWA Handbook s.28–29 üzerinden aktarılmıştır. Belirtilen pas-free performans süresi 53 yıldır.

⁸American Society for Metals, “Metals Handbook,” 8. Baskı, Cilt 2 — Heat Treating, Cleaning and Finishing, 1. Baskı, Temmuz 1964, “Aluminum Coating of Steel,” s.489.

⁹Zurich Insurance Group Ltd., “RiskTopics — Corrosion Protection using Thermal Spray Aluminum,” Şubat 2017, s.1, s.5–6: petrokimya ve açık deniz (offshore) tesislerinde, deniz sıçrama bölgeleri (splash zone) gibi çok agresif ortamlar dahil, ilk bakıma kadar 20 yıldan uzun koruma sahada kanıtlanmıştır; yüzlerce köprünün son 100 yılda termal sprey ile kaplandığı ve 50 yılı aşan koruma sağlandığı belgelenmiştir.

Parametre	ISO 1461 Sıcak Daldırma Galvaniz (HDG)	KATMAN Duplex TSA (200+15+30 µm)
Büyük parça işlenebilirliği	Galvaniz havuzu boyutu ile sınırlı; büyük makaslarda ısı kaynaklı distorsiyon riski yüksek.	17,2 m boy / 2,0 m en / 3,5 m yükseklik / 15 ton kapasite; ısı distorsiyon riski yok. ¹¹
Biyogüvenlik / hijyen	Zamanla matlaşır; pürüzlü çinko tuzları oluşur, mikrop barındırabilir.	PU son kat sayesinde pürüzsüz, yüksek basınçlı suyla yıkanabilir yüzey.
Bakım ihtiyacı	Ahır ortamında her 5–7 yılda raspalama ve lokal boyama.	Bakım gerektirmez (hedef: 30+ yıl).

Not: 17,2 m × 2,0 m × 3,5 m / 15.000 kg değerleri KATMAN otomatik yüzey işlem ve boya hattının fiili kapasitesidir. Bu kapasite, dev kafes makasların tek parça işlenmesine olanak tanır.

5. Ticari Garanti ve Toplam Sahiplik Maliyeti (TCO)

Endüstriyel ölçekte ve vizyoner yatırımlar yapan kurumlar için bir yapının ilk yatırım maliyeti (CapEx) kadar, 30 yıllık işletme maliyeti (OpEx) de hayatidir. Zurich Insurance Group'un risk mühendisliği değerlendirmesi de bu yaklaşımı doğrular: metalizasyonun (TSA) ilk uygulama maliyeti boya veya galvanizden bir miktar yüksek olsa dahi, yaşam döngüsü maliyeti (LCC) ve ortalama eşdeğer yıllık maliyetler (AEAC), boya kaplama ve sıcak daldırma galvaniz sistemlerine kıyasla belirgin biçimde daha düşüktür¹².

30 Yıl Yapısal Bütünlük Yaklaşımı

Sıcak daldırma galvaniz çözümleri ahır ortamında çoğu zaman 10. yılı görmeden pas vermeye başlarken, KATMAN Duplex sistemi için öngörülen 30 yıl bakım gerektirmeyen yapısal koruma hedefi, arkasında 53 yıllık bağımsız saha test verileri bulunan teknik bir temele dayanır. (Nihai ticari garanti süresi ve kapsamı, müşteriye özel sözleşme şartlarında ayrıca netleştirilecektir.)

- **Yatırımın geri dönüşü (ROI):** İlk yatırımda TSA sistemi galvanize kıyasla bir miktar maliyet farkı getirirse de, galvanizli bir ahırın 30 yıl içinde birden çok kez durdurulup hayvan operasyonu kesintiye uğratılarak korozyon temizliği ve boya bakımı yapılması gerekir. KATMAN Duplex sistemi bu operasyonel duruşları ve bakım masraflarını ortadan kaldırarak farkı erken yıllarda amorti etme potansiyeli taşır.

6. Sonuç

Yanları açık endüstriyel ahır çatı konstrüksiyonunda, membran örtünün sunacağı mikroklimatik konfor avantajı, ancak altındaki taşıyıcı çeliğin de aynı vizyonla korunması durumunda anlam kazanır.

Fabrika bünyesindeki entegre yağ alma, kumlama, yüzey profili işleme ($R_z \approx 40\text{--}80 \mu\text{m}$), metal püskürtme ve doğalgaz fırınlı kürleme hattında üretilecek **KATMAN Duplex TSA Sistemi**, ahır projelerinde amonyak korozyonunu bir risk olmaktan çıkararak, Türkiye hayvancılık yapı sektörüne uzun ömürlü ve yeşil bina konseptine uygun yeni bir endüstriyel standart sunmayı hedeflemektedir.

¹¹Zurich Insurance Group Ltd., "RiskTopics — Corrosion Protection using Thermal Spray Aluminum," Şubat 2017, s.6: TSA, -45°C ila 538°C gibi geniş bir çalışma sıcaklığı aralığına sahiptir, yüksek veya düşük sıcaklıkta uygulanabilir ve ısı kaynaklı distorsiyon normalde sorun teşkil etmez; ayrıca solventlerden veya organik maddelerden kaynaklı bir sağlık tehlikesi içermez.

¹²Zurich Insurance Group Ltd., "RiskTopics — Corrosion Protection using Thermal Spray Aluminum," Şubat 2017, s.5: metalizasyonun ilk uygulama maliyeti daha yüksek olsa da, yaşam döngüsü maliyeti (LCC) ve ortalama eşdeğer yıllık maliyetler (AEAC) boya kaplama sistemlerinden potansiyel olarak belirgin biçimde daha düşüktür.