

StarRoad منصوبہ: زمین سے خلا تک بھاری برقی

مقناطیسی اڑان راہداری

فہرست مضامین

رہنمائی: ابتدا | فہرست مضامین | اختتام

1. تعارف، بنیادی خصوصیات، صلاحیتیں اور فلسفہ

1.1. منصوبے کا بنیادی فلسفہ

1.2. صلاحیتیں

2. تکنیکی، اقتصادی، جغرافیائی اور حکمت عملی کے فوائد اور دلائل

2.1. تکنیکی

2.2. اقتصادی

2.3. جغرافیائی

2.4. حکمت عملی

3. صنعتی اور تکنیکی بنیاد

3.1. مقناطیسی معلق اور سرعت دہی (میگلیو)

3.2. فوق موصل ٹیکنالوجی اور تقسیم شدہ ساخت

3.3. نبضی توانائی

3.4. ویکيوم ٹیکنالوجی

3.5. فوق صوتی ہوائی حرکیات اور حرارتی حفاظت

3.6. جوہری توانائی نظام

3.7. سرنگ سازی

3.8. خود مختار ارضی حرارتی توانائی نظام

3.9. فوق صوتی احتراق

3.10. پورٹل کا بند ایندھن چکر

3.11. ٹیکنالوجی کی توثیق کی حکمت عملی

4. StarRoad کے اجزا اور ٹیکنالوجی کی مرحلہ وار تفصیلی وضاحت

4.1. سرعت دہی کی سرنگ اور اس کا بنیادی ڈھانچہ

4.2. فضائی دروازہ راہداری (بلند مقام کا ٹرمینل)

4.3. شٹل (AstroLiner)

5. اڑان کی تیاری سے اترنے کے بعد دیکھ بھال تک عملی چکر

5.1. تیاری اور اڑان

5.2. سرنگ میں سرعت دہی

5.3. فضائی دروازہ راہداری سے خروج

5.4. فضا کو عبور کرنا

5.5. خلا میں داخلہ اور مداری عمل

5.6. مدار سے خروج اور واپسی

5.7. سمندر میں اترنا

5.8. کھینچ کر لانا اور دیکھ بھال

6. نفاذ، نظام الاوقات، تقاضے اور صنعتی مراکز

6.1. منصوبے کے مراحل

6.2. صنعتی مراکز

6.3. مجموعی مدت

7. زیر حل مسائل اور کام

7.1. عالمی حد سے زیادہ حدت

- 7.2. معاشی کام
- 7.3. حکمت عملی مقصد
- 7.4. ٹیکنالوجی محرک
- 7.5. توانائی اور حرارت میں خود مختاری
- 7.6. کاربن نقش
- 7.7. آب حرارتی مرکزی نہر کی سماجی اور ماحولیاتی صلاحیت
- 7.8. توانائی جال
- 7.9. اقتصادی شریان کے طور پر StarRoad
- 7.10. اہم بنیادی ڈھانچے کا تحفظ
- 7.11. مقام کا انتخاب اور توسیع کی صلاحیت
- 7.12. بین براعظمی منصوبے کی سیاسی و قانونی ہم آہنگی
- 7.13. مال بہاؤ کی تدریجی بڑھوتری
8. بازار اور مداری رسد
 - 8.1. فوق بھاری درجے کے پرتابوں کی طلب کا مسئلہ
 - 8.2. ابتدائی منڈی: خلائی شمسی توانائی اور مداری ڈیٹا مراکز
 - 8.3. خلائی شمسی توانائی کی ماحولیاتی اور صنعتی منطق
 - 8.4. مداری مقامات: GEO اور EML4/5
 - 8.5. ابتدائی مرحلہ: AstroLiner-S کے براہ راست سفر
 - 8.6. پختہ مرحلہ: مائیکروویو ریلے اور خدماتی ڈھانچہ
 - 8.7. عملی ماحول کے مطابق نقل و حمل کی تقسیم
 - 8.8. پختہ رسد میں AstroLiner کا کردار
 - 8.9. بین مداری نقل اور کھینچنے والے جہاز
 - 8.10. زمین اور دوسرے سیاروں پر اترنا
 - 8.11. معیاری ماڈیول
 - 8.12. مداری بنیادی ڈھانچے کی درجہ بندی
 - 8.13. مداری خلائی جہاز ساز گاہیں
 - 8.14. مداری اور قمری آبادیاں
 - 8.15. رسد مثال: سمندری جال کے طور پر خلا
 - 8.16. مال بردار بہاؤ کی معاشیات
 - 8.17. بازار اور رسد کی ترقی کے مراحل
 - 8.18. ارتقائی امکانات: StarRoad کا جانشین
 - 8.19. سیاروی انجینئرنگ کی صلاحیت: نظام شمسی بطور ایک وسائل نظام
 - 8.20. حکمت عملی کا نتیجہ
9. منصوبے کا اقتصادی نمونہ
 - 9.1. طریقہ کار اور بنیادی مفروضے
 - 9.2. افریقی حالات میں کھدائی کی لاگت
 - 9.3. اندرونی طور پر تیار کردہ سرنگ کھودنے والی مشینوں کا بیڑا
 - 9.4. خود مختار ارضی حرارتی توانائی نظام
 - 9.5. توانائی ذخیرہ نظام
 - 9.6. صنعتی مراکز اور رسد
 - 9.7. تحقیق و ترقی اور نمونہ سازی — مرحلہ 0
 - 9.8. حتمی CAPEX خلاصہ
 - 9.9. مرحلہ وار تقسیم (ارب USD)
 - 9.10. سرمایہ واپسی اور نقل و حمل لاگت کا ارتقا
 - 9.11. متبادلوں سے موازنہ
 - 9.12. اقتصادی نتیجہ
10. حفاظت اور ہنگامی عملی طریقے
 - 10.1. تحفظ کا اصول: کوئی ایک خرابی مہلک ثابت نہ ہو

10.2. بنیادی خطرات اور ان سے تحفظ

10.3. ہنگامی طریقہ کار کی درجہ بندی

10.4. بقا کے لیے ساختی انتظامات

10.5. صوتی اور صدمی لہروں کے اثرات

11. ثقافتی اور نفسیاتی اثر

11.1. مظہر کے طور پر منظر

11.2. نفسیاتی اور علامتی گونج

11.3. سماجی و اقتصادی نتائج

12. نتیجہ

1. تعارف، بنیادی خصوصیات، صلاحیتیں اور فلسفہ

StarRoad زمین سے خلا تک طویل فاصلے کی مرکزی نقل و حمل کا نظام ہے، جس کی بنیاد 2,050 کلومیٹر سے زیادہ طویل خلا دار مقناطیسی معلق سرعت دہندہ ہے۔ اسے گاڑی میں رد عمل پر مبنی اڑان کا ایندھن لیے بغیر 15,000 ٹن تک کی خودکار، دوبارہ قابل استعمال فوق بھاری شٹل کو خلا میں بھیجنے کے لیے بنایا گیا ہے۔

1.1. منصوبے کا بنیادی فلسفہ

خلائی اڑان کے تصور میں تبدیلی:

- **جمود کے ذریعے فضا کا عبور۔** StarRoad فضا پر دھکے اور ہوائی کارکردگی سے قابو پانے کے بجائے، خلا میں تقریباً 11 کلومیٹر فی سیکنڈ کی فوق صوتی رفتار تک تیز کی گئی شٹل کی کمیت میں ذخیرہ حرکی توانائی استعمال کرتا ہے۔ پوری فضا 50-60 سیکنڈ میں جمود کے سہارے عبور ہوتی ہے۔
- **کمیت بطور فائدہ۔** ہزاروں ٹن کی بڑی کمیت دشمن نہیں رہتی بلکہ عظیم حرکی توانائی کی حامل بنتی ہے، اور ساتھ ہی ساخت اور حرارتی حفاظت میں انتہائی مضبوط اور آگ برداشت کرنے والے مواد کا استعمال ممکن بناتی ہے۔
- **افعال کی تقسیم۔** توانائی کا بنیادی ڈھانچہ، سرعت دہی اور نہایت درست کنٹرول زمینی مجموعے کے سپرد ہوتے ہیں اور مستقل انجینئرنگ نظام بن جاتے ہیں۔ شٹل مال برداری، مداری چالوں اور واپسی کے لیے مخصوص نقل و حمل ماڈیول بن جاتی ہے۔
- **قابل توسیع صنعت کاری۔** نظام کو ایک تنہا تنصیب نہیں بلکہ خلائی 'ریلوے' کی پہلی لائن سمجھا گیا ہے، جس میں متوازی، متبادل اور اضافی سرنگیں بن سکتی ہیں؛ یوں گنجائش تیزی سے بڑھتی اور لاگت گھٹتی ہے۔

1.2. صلاحیتیں

- **ارض ساکن مدار (GEO) سے آگے براہ راست ترسیل۔** تقریباً 11 کلومیٹر فی سیکنڈ کی ابتدائی رفتار میں زمین کی استوائی گردش کے قریب 0.465 کلومیٹر فی سیکنڈ شامل ہونے سے شٹل زمین-سورج یا زمین-چاند نظام کے L1/L2 لاگرانژ مقامات جیسے بلند توانائی کے اہداف تک کم سے کم تصحیح کے ساتھ تقریباً براہ راست پہنچ سکتی ہے۔ اس طرح زیریں زمینی مدار میں کھینچنے اور ایندھن بھرنے کی ضرورت ختم ہو جاتی ہے۔
- **باربرداری کی صلاحیت۔** ایک پرواز میں ہزاروں ٹن پہنچائے جا سکتے ہیں۔ اس سے گیگاواٹ درجے کے مداری بجلی گھر، خلائی آبادیاں، وسائل نکالنے، صاف کرنے، جوڑنے اور پیداوار کے مجموعے، سیاروی دفاعی نظام اور بین السیاری خلائی جہاز اقتصادی طور پر ممکن ہو جاتے ہیں۔
- **لاگت۔** مکمل استعمال پر بلند مداروں تک حسابی ترسیلی لاگت 1-10 ڈالر فی کلوگرام تک گر سکتی ہے—موجودہ اور آئندہ راکٹ نظاموں سے کئی درجے کم۔

2. تکنیکی، اقتصادی، جغرافیائی اور حکمت عملی کے فوائد اور دلائل

2.1. تکنیکی

زیادہ تر متبادل مداری اڑان تصورات اس وجہ سے محدود نہیں کہ انہیں اصولاً بنایا جا سکتا ہے یا نہیں، بلکہ ان کے عملی تقاضوں سے محدود ہیں: مسلسل عمل، فعال حرکی سہارا، غیر حقیقی حد تک زیادہ اعتماد پذیری اور خرابی کے تباہ کن نتائج۔ فعال حرکی عظیم ساختوں کو چلتے رہنے کے لیے بلا تعطل بجلی اور مسلسل حرکی استحکام چاہیے؛ توانائی یا کنٹرول ختم ہو تو ساخت سہارا کھو دیتی ہے اور ممکنہ تباہ کن خرابی میں چلی جاتی ہے۔ طویل بیرونی خلا دار نلکی نظام بھی بندش، حصوں کی علیحدگی اور حرارتی استحکام کے انتہائی سخت تقاضے رکھتے ہیں۔ StarRoad مختلف ہے کیونکہ اس کا اہم بنیادی ڈھانچہ زیر زمین ہے، ضربی عمل کی اجازت دیتا ہے، حادثات کو مقامی رکھتا ہے اور غیر فعال طور پر مستحکم رہتا ہے۔ اس

بنا پر یہ زمین سے آگے مال لے جانے والے مرکزی نظام کی کم از کم قابل عمل شکل ہے۔ خلا دار نقل و حمل، فوق صوتی ہوائی حرکیات، ضربی قوت اور فوق موصل جیسے حقیقی طریقوں کو StarRoad کے پیمانے کے مطابق استعمال کرنا بھی تصور کو حقیقت پسند بناتا ہے۔

2.2. اقتصادی

بنیادی اخراجات سرمایہ جاتی تعمیر اور توانائی ہیں۔ ضائع ہونے والے مراحل نہ ہونے اور اڑان میں عامل سیال کے نہایت کم استعمال سے عملی اخراجات بہت گھٹتے ہیں۔ منصوبہ علاقائی ترقی، نئے توانائی نظاموں اور اعلیٰ ٹیکنالوجی مراکز کو بھی فروغ دیتا ہے۔

StarRoad کی اقتصادی عمل پذیری جانچنے کے لیے عالمی نقل و حمل اور توانائی بنیادی ڈھانچے کے پیمانے کو دیکھنا ہوگا۔ سالانہ عالمی مال بہاؤ میں کئی ملین ٹن نہایت معمولی حصہ ہے، جبکہ سیکڑوں ارب ڈالر کی سرمایہ کاری سیاروی پیمانے کے بنیادی ڈھانچے کے لیے عام ہے۔ چنانچہ StarRoad موجودہ نقل و حمل نظاموں سے مقابلہ نہیں کرتا؛ یہ بلند توانائی رابداری کا ایسا میدان سنبھالتا ہے جو کل عالمی مال بہاؤ پر نسبتاً کم اثر ڈالتے ہوئے نئی صلاحیتیں بڑھاتا ہے۔

2.3. جغرافیائی

گیبون میں دریائے نیانگا کے دہانے سے جمہوریہ کانگو کے پہاڑ موبی اور جنوبی سطح مرتفع تک راستہ تقریباً مثالی ہے:

- **خط استوا۔** زمین کی گردش سے زیادہ سے زیادہ رفتار کا فائدہ اور مداری جھکاؤ کی کم سے کم تصحیح۔
- **خط نظر۔ وسطی** افریقہ کے کم آباد علاقوں سے گزرنے والا نسبتاً سیدھا راستہ۔
- **دروازہ رابداری کی بلندی۔** 3,400 میٹر کی بلندی خروج پر فضائی کثافت 30% کم کر کے حرارتی اور صدمی بوجھ گھٹاتی ہے۔
- **زلزلہ جاتی استحکام۔** اس علاقے میں مشرقی افریقی دراڑ کی سرگرمی بہت کم ہے۔
- **رشد۔** راستہ پیداوار اور شٹل کی بازیابی کے لیے سمندر سے شروع ہوتا اور بلند مقام پر ختم ہوتا ہے۔

○ **بہترین راستہ اور مقام:** گیبون میں دریائے نیانگا کے دہانے سے جمہوریہ کانگو کے پہاڑ موبی تک تقریباً 2,050 کلومیٹر۔ گیبون کے ساحل سے اڑان تقریباً 3° کا قریب مثالی استوانی مداری جھکاؤ دیتی ہے، جس سے ارض ساکن مدار اور لاگرانژ مقامات تک براہ راست رسائی ملتی اور بین السیاری منتقلی کی لاگت کم ہوتی ہے۔ دروازہ رابداری کا مجموعہ پہاڑ موبی پر تقریباً 3,400 میٹر بلندی پر ہوگا اور وسیع جنوبی سطح مرتفع توسیع کے لیے محفوظ رہے گی۔ مقام کی خصوصیات عمدہ ہیں: بلندی، ہموار زمین، آبادیوں سے 20 کلومیٹر سے زیادہ فاصلہ اور جھیل ٹانگانیکا و کیوو سے قربت۔

○ **متبادل مقام۔ جمہوریہ کانگو کی بندرگاہ کیٹومب سے پہاڑ موبی تک متبادل راستہ تقریباً 1,850 کلومیٹر ہوگا اور مکمل طور پر ایک ملک کے اندر رہنے سے رسد اور قانونی ہم آہنگی آسان ہوگی۔** تاہم اس سے قریب 13° کا مداری جھکاؤ بنے گا اور مال کو 0° ارض ساکن مدار یا لاگرانژ مقامات تک بھیجنے کے لیے اضافی تقریباً 200-300 میٹر فی سیکنڈ ڈیلٹا-وی درکار ہوگا۔ یہ ہر اڑان میں باربرداری کی کمیت کے تقریباً 2-4% نقصان کے برابر ہے۔ اس لیے زیادہ پیچیدہ مگر قریب 3° جھکاؤ والے بین الاقوامی استوانی راستے کا انتخاب رابداری کی پوری عمر میں زیادہ سے زیادہ اقتصادی کارکردگی اور مداری بنیادی ڈھانچے کے ہر اہم مرکز تک براہ راست رسائی کے لیے حکمت عملی کا فیصلہ ہے۔

2.4. حکمت عملی

ہر موسم میں چوبیس گھنٹے چلنے والی خلائی نقل و حمل رابداری کا قیام۔ طویل مدت میں ایسی لائنوں کے نیٹ ورک عالمی بنیادی ڈھانچہ، بڑے پیمانے پر انخلا کی صلاحیت رکھنے والا تہذیبی تحفظ، اور توانائی زیادہ استعمال کرنے اور حرارت پیدا کرنے والی صنعتوں کو زمین سے باہر منتقل کرنے والی مکمل خلائی صنعت کاری کی بنیاد بنیں گے۔

اگر راکٹ نظام اپنی دعویٰ کردہ انتہائی کم باربرداری لاگت حاصل کر بھی لیں تو راکٹ اڑان محدود گنجائش کا الگ واقعہ رہتی ہے۔ اس مفہوم میں فی کلوگرام قیمت سے قطع نظر راکٹ نظام فطری طور پر مہماتی رسد ہیں۔ StarRoad ایسی بنیادی ڈھانچہ رابداری ہے جس کا مقصد صرف ایک اڑان کی لاگت کم کرنا نہیں بلکہ مستحکم اور مسلسل مال بہاؤ قائم کرنا ہے۔

3. صنعتی اور تکنیکی بنیاد

StarRoad کو طبیعیات کے نئے قوانین دریافت کرنے کی ضرورت نہیں؛ یہ موجودہ اور ابھرتی ٹیکنالوجی کے انجینئرنگ انضمام کی انتہا ہے:

3.1. مقناطیسی معلق اور سرعت دہی (میگلیو)

یہ چین، جاپان اور جرمنی کے تجربے سے فائدہ اٹھاتا ہے۔ چینی میگلیو آزمائش میں ایک ٹن کو دو سیکنڈ میں 0 سے 700 کلومیٹر فی گھنٹہ تک پہنچانے کی ریکارڈ سرعت، بھاری اجسام کو تیزی سے تیز کرنے کی بنیادی عمل پذیری ثابت کرتی ہے۔

3.2. فوق موصل ٹیکنالوجی اور تقسیم شدہ ساخت

StarRoad الٹی ساخت استعمال کرتا ہے: بنیادی معلق اور استحکام کا میدان بنانے والے فوق موصل مقناطیس شٹل میں رکھے جاتے اور اس کے انتہائی سرد نظام سے ٹھنڈے ہوتے ہیں۔ سرنگ میں نسبتاً سادہ اور سستے تانبے یا ایلومینیم کے 'ریل' پیچ ہوتے ہیں جو غیر فعال رہنما اور ضربی سرعت توانائی منتقل کرنے والی ثانوی برقی راہ کا کام کرتے ہیں۔ اس سے سرنگ کی لاگت اور پیچیدگی کئی درجے کم ہوتی ہے اور بنیادی تکنیکی پیچیدگی دوبارہ قابل استعمال شٹل میں منتقل ہو جاتی ہے، جہاں مرکزی طور پر دیکھ بھال کی جا سکتی ہے۔

3.3. نبضی توانائی

راستے کے ساتھ تقسیم شدہ فوق کپیسٹر اور بیٹری مراکز ارضی حرارتی خودکار حرارتی توانائی نظام کے نیٹ ورک سے چارج ہوتے اور سرعت دہندہ کے مطلوبہ حصے کو گیگاواٹ درجے کے برقی ضربے دیتے ہیں۔

3.4. ویکيوم ٹیکنالوجی

CERN کے Large Hadron Collider، SpinLaunch اور Hyperloop کی خلا دار نلکیوں کا تجربہ۔

3.5. فوق صوتی ہوائی حرکیات اور حرارتی حفاظت

خلائی گاڑیوں، سمت بدل سکنے والی دوبارہ داخل ہونے والی گاڑیوں اور SpaceX Starship جیسے منصوبوں سے حاصل علم۔ فعال ٹھنڈک اور حالت بدلنے والے حرارتی ذخیرے۔

3.6. جوہری توانائی نظام

مدار میں شٹل کو توانائی دینے کے لیے تابکار ہم جاء حرارتی برقی مولد سے اگلی نسل کے چھوٹے جہاز بردار ری ایکٹر، یا Helion Energy نظاموں جیسے مستقبل کے انتلاقی ماڈیول۔

3.7. سرنگ سازی

جدید سرنگ کھودنے والی مشینیں جو سالانہ دسیوں کلومیٹر آگے بڑھ سکتی ہیں؛ کئی سرنگیں متوازی کھودی جاتی ہیں۔

3.8. خود مختار ارضی حرارتی توانائی نظام

منصوبے میں ترمیم شدہ بہتر ارضی حرارتی نظام (Enhanced Geothermal Systems, EGS) پر اپنی مربوط گیگاواٹ درجے کی توانائی و آب و ہوا کی ساخت شامل ہے۔ عامل سیال فوق تنقیدی کاربن ڈائی آکسائیڈ (sCO₂) ہے جو فضا سے براہ راست گرفت (Direct Air Capture, DAC) سے ملتی ہے۔ نظام تین اہم کام یکجا کرتا ہے: (1) تعجیلی سرنگ کے حرارتی استحکام کے لیے ارضی حرارتی میدان کا فعال انتظام؛ (2) بنیادی بوجھ کی بجلی؛ (3) فضائی CO₂ کا طویل مدتی حبس۔

3.9. فوق صوتی احتراق

دروازہ رابداری کی گیس حرکی رکاوٹ ہوائیائڑوجن آمیزے سے چلنے والے حلقہ نما فوق صوتی جیٹ انجن استعمال کرتی ہے۔ فوق صوتی احتراق سرنگ کے محور کے ساتھ باہر کی طرف مستحکم مخروطی گیس بہاؤ بناتا ہے۔ یہ فضائی ہوا کو ہٹاتا اور شٹل کے گزرنے کے وقت سرعت دہندہ کے خلا کو محفوظ رکھنے والا دباؤ ڈھلوان بناتا ہے۔

3.10. پورٹل کا بند ایندھن چکر

گیس حرکی رکاوٹ صاف، قابل تجدید ایندھن استعمال کرتی ہے۔ پانی کے برق پاشیدگی عمل سے ہائیڈروجن بنتی ہے اور انجن فضائی ہوا کو عامل تکسید کے طور پر لیتے ہیں۔ رکاوٹ چلنے کے بعد احتراق کی بنیادی پیداوار انتہائی گرم آبی بخارات ہوتے ہیں۔ یوں دور دراز پہاڑی مقام تک بڑی مقدار میں کیمیائی ایندھن پہنچانے اور ذخیرہ کرنے کی ضرورت ختم، قابل اعتمادیت بہتر اور عملی لاگت کم ہوتی ہے۔

3.11. ٹیکنالوجی کی توثیق کی حکمت عملی

منصوبے کی ترقی دو متوازی راستوں پر چلتی ہے: ریاضیاتی نمونہ سازی اور اہم مجموعوں کی مکمل پیمانے پر آزمائش۔ اس سے مرکزی منصوبے کا خطرہ کم رکھتے ہوئے تصور کی عمل پذیری جلد ثابت اور درست انجینئرنگ معلومات حاصل ہوتی ہیں۔

4. StarRoad کے اجزا اور ٹیکنالوجی کی مرحلہ وار تفصیلی وضاحت

4.1. سرعت دہی کی سرنگ اور اس کا بنیادی ڈھانچہ

- لمبائی: تقریباً 2,050 کلومیٹر۔
- عرضی مقطع: بیضوی (تقریباً 12.5×17.5 میٹر)، شٹل کی ہوائی شکل اور مستحکم مقناطیسی معلق کے لیے موزوں۔
- سرنگ کی گہرائی: تقریباً 8 کلومیٹر تک۔ ارضیاتی اور حرارتی حالات اجازت دیں تو زیادہ گہرائی بھی ممکن ہے۔ تعجیلی سرنگ کی قابل قبول گہرائی صرف تفصیلی ارضیاتی تحقیق کے بعد متعین ہو سکتی ہے: راستے کے ساتھ بورہول کھود کر، حرارتی پروفائل بنا کر، چٹان کے تناؤ، دراڑوں اور آب ارضیات کا جائزہ لے کر۔ گہری تہوں کا درجہ حرارت اور حرارتی بہاؤ جتنا کم ہو، اندازاً $200-250^{\circ}\text{C}$ تک، انجینیئرنگ کے لحاظ سے ممکن گہرائیوں کا دائرہ اتنا وسیع اور راستے کی ہندسہ بندی، یعنی خم کے رداس اور عبوری حصوں، کو بہتر بنانے کی آزادی اتنی زیادہ ہوگی۔ اس سے ہدفی رفتار برقرار رکھتے ہوئے سرنگ کے انتہائی اضافی تعجیل اور حرکی بوجھ کم کیے جاسکتے ہیں۔
- تعمیر: مرکب۔ ابتدائی حصہ، تقریباً 330 کلومیٹر، زیر زمین کم ڈھلوان سیدھا راستہ ہے جو تعجیل آسان بنانے کے لیے دروازے کی سمت نیچے جاتا ہے۔ مرکزی حصہ حرارتی استحکام، خلائی تنہائی اور تحفظ کے لیے گہرا یا زیر زمین بنایا ہوا ہے۔
- راستے کی ہندسہ بندی: تقریباً 330 کلومیٹر کے بعد S شکل کا قوس۔
- نزولی قوس: رداس تقریباً 6,300 کلومیٹر؛ مطلوبہ زاویہ بنانے کے لیے سرنگ کو آہستہ گہرائی میں لے جاتا ہے۔
- صعودی قوس: رداس 2,500–3,500 کلومیٹر؛ سرنگ کو افق سے تقریباً $5-6^{\circ}$ کے زاویے پر عبوری دروازے تک لاتا ہے۔ رداس اس طرح مقرر ہیں کہ فوق صوت رفتار پر مرکز مائل تعجیل $4g$ سے نہ بڑھے۔
- نظام خلا: حصوں میں منقسم۔ تقریباً 50 کلومیٹر کا ہر حصہ اپنے ویکيوم پمپ، حساسیوں اور ہنگامی والو کے ساتھ خود مختار ہے۔

4.1.1. تعجیلی نظام

- شٹل کی تعجیل اور استحکام اس کے جہازی فوق موصل مقناطیسوں اور سرنگ میں لگے تقسیم شدہ خطی برق مقناطیسی محرکات، یعنی کوائلوں، کے باہمی عمل سے حاصل ہوتے ہیں۔ یہ عام موصلوں، تانبے اور ایلومینیم، کے منقسم غیر فعال کوائل ہیں اور انہیں کریوجینک ٹھنڈک درکار نہیں۔
- سرنگ کے ابتدائی حصے، 0–330 کلومیٹر، میں محرکات زیادہ تر راستے کے نیچے ہوتے ہیں۔ یہ معلق کاری اور $4g$ ابتدائی تعجیل کے لیے مقناطیسی میدان بناتے اور کشش ثقل کی فعال تلافی کرتے ہیں۔
 - درمیانی حصے، 330–2,000 کلومیٹر، خصوصاً S قوس میں محرکات پوری سرنگ کو گھیرتے ہیں۔ یہ درست تعجیل، فوق صوت رفتار پر شٹل کو سرنگ کے مرکز میں قوت سے قائم رکھنے اور موڑوں میں راستہ مستحکم کرنے کا کام کرتے ہیں۔ آخری حصے کے فرش میں، جہاں شعاعی تعجیل زیادہ ہے، اضافی اور مضبوط کوائل مواد استعمال ہوتا ہے۔ 330–2,000 کلومیٹر میں تعجیل شروع کے $4g$ سے منحنی انداز میں آخر کے $0g$ تک گھٹتی ہے اور راستے کے اختتام پر رفتار تقریباً 11 کلومیٹر فی سیکنڈ ہو جاتی ہے۔
 - آخری حصے، 2,000–2,050 کلومیٹر، کے 50 کلومیٹر فضائی کرہ عبوری دروازے سے نکلنے سے پہلے استحکام اور مرکز بندی کے لیے ہیں۔ یہاں تعجیل نہیں ہوتی۔
- خود مختار ارضی حرارتی توانائی نظام کے ذیلی مراکز سے نبضی توانائی شٹل کی جگہ کے ساتھ سخت ہم وقتی میں مخصوص کوائل حصوں کو دی جاتی ہے۔ یوں سفر کرتا مقناطیسی میدان بنتا ہے جو جہازی مقناطیسوں سے تعامل کر کے شٹل کو تیز کرتا ہے۔ یہ ساخت سرنگ کی پیچیدگی کم اور مرمت آسان کرتی ہے، جبکہ اعلیٰ ٹیکنالوجی اجزا قابل تکرار شٹل پر منتقل ہوتے ہیں۔

4.1.2. خود مختار ارضی حرارتی توانائی نظام

- حرارتی استحکام، توانائی خود مختاری اور طویل عمر کے لیے ہر تعجیلی سرنگ کے ساتھ چھوٹے قطر کی سات خدماتی سرنگیں ہیں، جو مربوط خود مختار ارضی حرارتی توانائی نظام بناتی ہیں:
- چھ مرکزی جمع کار-توانائی سرنگیں، قطر 2 میٹر۔ تعجیلی سرنگ کے فرش سے 30 میٹر نیچے، محوروں میں یکساں 7 میٹر فاصلہ۔ جوڑوں میں الٹی گردش کے ساتھ بہت ٹھنڈی $+5^{\circ}\text{C}$ فوق تنقیدی CO_2 چلاتی ہیں۔ یہ پورے معجل کے نیچے 15 میٹر سے موٹی مسلسل ٹھنڈی تختی بناتی اور حرارتی پل مکمل ختم کرتی ہے۔
 - ایک تکنیکی خدماتی سرنگ، قطر 3 میٹر، تعجیلی سرنگ کی سطح پر 3 میٹر پہلو میں۔ آمورفت روکے بغیر مستقل تشخیص و مرمت دیتی ہے۔
- سرنگیں 25 MPa تک اندرونی دباؤ، چٹانی دباؤ اور حرکی بوجھ کا مرکب سہتی ہیں۔ ساتوں سرنگیں مکمل روبوٹی چھوٹی سرنگ کھودنے کی مشینوں (TBM) سے بنتی ہیں۔ نظام توانائی ڈھانچے کو نقل و حمل سے مادی و عملی طور پر جدا کر کے غیر معمولی قابل اعتمادیت اور مرمت پذیری دیتا ہے۔

4.1.3. خود مختار ارضی حرارتی نظام ٹھنڈک نظام

- گہرا ٹھنڈک دور۔ تعجیلی سرنگ کے نیچے جمع کار-توانائی سرنگوں میں CO₂ عامل سیال کثیف بلند دباؤ یا فوق تنقیدی حالت میں بہتا ہے۔ گہرے جمع کار سے پہلے معمول کی کم حرارت حالت میں سرد بہاؤ کا ہدف +5...+15°C ہے۔ ارضی حرارت لینے کے بعد گہرائی، چٹائی حرارت اور توانائی عمل کے مطابق CO₂ + 100°C سے اوپر گرم ہو سکتی ہے۔ دور ارضی حرارت ہٹا، مرکزی سرنگ کے نیچے سرد علاقہ بنا اور 5-8 کلومیٹر گہرائی میں محفوظ تعمیر ممکن کرتا ہے۔
- آبی حرارتی مرکزی نہر۔ StarRoad کے ساتھ خدماتی شاہراہ، بجلی لائن اور رابطوں کے متوازی یہ نہر بنتی اور مراکز کو سطحی حرارت اخراج کے ایک نظام میں جوڑتی ہے۔
- نہر تقریباً 5-8 میٹر چوڑی اور 2-3 میٹر گہری ہے۔ نہ میں کئی آزاد بلند دباؤ پیچ دار پائپ CO₂ کو ملحق مراکز میں لے جاتے ہیں۔ پانی حرارتی بفر اور درمیانی حرارت بردار ہے۔
- ٹربائن، حرارت مبادلہ یا دباؤ مراکز کے بعد CO₂ تقریباً +50...+80°C پر پائپوں میں آتی ہے۔ 50 کلومیٹر بین مرکز حصے میں پانی کو حرارت دے کر موسم، نمی، بارش، رات کی اشعاعی ٹھنڈک اور نہر عمل کے مطابق +22...+35°C تک ٹھنڈی ہوتی ہے۔
- معمول میں نہر کا پانی +22...+32°C رہتا، گرم حصوں میں مقامی +35...+45°C ہوتا ہے۔ گرم بہاؤ کے داخلے کے قریب مختصر +50...+80°C ممکن ہے، جو حیاتی سرگرمی کچھ کم کر سکتا ہے؛ بغیر صفائی پانی پینے کے قابل نہیں۔
- نہر اوپر ہلکی انتخابی پلیٹوں سے ڈھکی ہے، جو شمسی اشعاع لوٹاتی اور زیر سرخ میں حرارت خارج ہونے دیتی ہیں۔
- مرکزی ٹھنڈک۔ ہر مرکز پر ٹھنڈک مینار، حرارت مبادلہ گر، پمپ، بوسٹر کمپریسر، ٹریو ایکسپینڈر اور فاضل چلر ہیں۔ معمول میں زیادہ کم درجے کی حرارت نہر سے غیر فعال خارج ہوتی ہے۔
- مینار اور مبادلہ گر CO₂ کو نہر کے بعد +22...+35°C سے +15...+25°C کرتے ہیں۔ ضرورت پر فاضل چلر گہرے جمع کار سے پہلے -5...+5°C تک لاتے ہیں۔ چلر بنیادی مستقل عمل نہیں بلکہ انتہائی، ہنگامی یا موسمی فاضل ہیں۔
- بوسٹر دباؤ اور ٹریو ایکسپینڈر۔ CO₂ اگلے مرکز پر سرد مگر بلند دباؤ میں آتی ہے۔ ایکسپینڈر دباؤ توانائی کا کچھ حصہ واپس اور پھیلاؤ سے حرارت -10...+5°C تک کم کرتا ہے، دباؤ، بہاؤ اور مطلوب مرحلے کے مطابق۔
- پھر CO₂ مطلوب حرارت، دباؤ اور مرحلے میں جمع کار سرنگوں کو جاتی ہے۔ یہ مفت توانائی نہیں: کمپریسر کام دیتا، نہر دباؤ حرارت چھوڑتی اور ایکسپینڈر خرچ کا کچھ حصہ واپس کرتا ہے۔ فائدہ فعال برفانی آلات پر کم بوجھ کے ساتھ سرد بہاؤ ہے۔
- فاضلیت و دو رخ۔ پیچ دار پائپ دہرے اور دو رخ ہیں۔ ایک دور خراب ہو تو بہاؤ فاضل پائپ یا ملحق مرکز سے تقسیم ہوتا ہے۔ CO₂ کا رخ حرارتی بوجھ، ہنگامی حالت اور حصوں کے مطابق بدلتا ہے۔
- مرمت پذیری۔ نہر تقریباً ہر کلومیٹر پر دروازوں سے منقسم ہے۔ خرابی پر حصہ الگ، پانی کم ترین فنی سطح تک پمپ یا جزوی خشک ہوتا ہے۔ دباؤ نکلنے پر ٹیم یا روبروٹ پوری راہ روکے بغیر پائپ پہنچتے ہیں۔ مرمت میں فاضل دور، الٹا بہاؤ، ملحق مراکز کا مبادلہ اور عارضی چلر ٹھنڈک جاری رکھتے ہیں۔
- محدود آبی انتظام۔ نہر ثانوی آبی کام کر سکتی ہے۔ مشرق سے مغرب مستقل ڈھلوان میں سست ثقلی بہاؤ، حصوں کی صفائی اور قابو شدہ فاضل اخراج ممکن ہے۔
- رات کی استوائی بارش جمع کار، رسوب خانوں، فلٹر اور اخراج سے نہر بھر سکتی ہے۔ پانی CO₂ سے براہ راست نہیں ملتا، اس لیے مقامی صفائی کے بعد محدود آبیاشی، مراکز کی فنی آب رسانی، آگ ذخائر اور سبز حفاظتی پٹیوں میں استعمال ہو سکتا ہے۔
- یہ ثانوی کام ہے: پانی اتنا ہی لیا جائے جو نہر کے بنیادی CO₂ ٹھنڈک اور نظامی حرارتی استحکام کو متاثر نہ کرے۔
- StarRoad کے لیے اہمیت۔ گہرے جمع کار، مرکزی نہر، ٹھنڈک مراکز، مینار، بوسٹر کمپریسر، ایکسپینڈر اور فاضل چلر ایک تقسیم شدہ حرارتی انتظام ہیں۔ مقامی ٹھنڈک مشینوں پر انحصار کم، خرابی برداشت زیادہ، مراکز میں حرارت تقسیم اور گہری تعجیلی سرنگ زیادہ عملی ہوتی ہے۔
- سطحی ٹھنڈک StarRoad کی معاشی قدر بھی بڑھاتی ہے: راستے پر مراکز، خدماتی سڑک، توانائی نقاط، نہر، صنعتی جگہ اور سیراب زرعی علاقوں کی خطی پٹی بنتی ہے۔

4.1.4. خود مختار ارضی حرارتی نظام کی تزویراتی اہمیت

توانائی و حرارتی استحکام کے ساتھ بنیادی کام مرکزی تعجیلی سرنگ کو محفوظ و کم خرچ انتہائی گہرا، 5-8 کلومیٹر یا زیادہ، بنانا ہے۔ فعال حرارتی انتظام اور ارضی حرارت اخراج وہ حد ہٹاتے ہیں جو ایسی گہرائی ناممکن بناتی۔ یوں بڑے رداس کی بہترین S راہ ممکن ہوتی ہے، جو 2,050 کلومیٹر میں بار و عملے کے لیے تقریباً 4g رکھتے ہوئے شٹل کو ہموار اوپر اور افق سے 5-6°C پر نکالتی ہے۔ خود مختار ارضی حرارتی توانائی نظام، لہذا، توانائی اور پوری StarRoad بیلسٹک راہ کی فنی بنیاد ہے۔ مجموعہ روبروٹی چھوٹی TBM سے کھدا ہے۔

4.1.5. عمودی پہلوئی تکنیکی سرنگوں کا نظام

تعمیر، ہوا رسانی، مرمت اور انخلا کے لیے راستے کے ساتھ 50 کلومیٹر کے وقفوں پر 40 ڈھلوانی نقل و حمل سرنگیں بنائی جاتی ہیں۔ ہر ایک کا جھکاؤ 30° اور بیضوی مقطع تقریباً 17.5 × 12.5 میٹر ہے۔ انہیں مرکزی سرنگ والی مشینوں سے کھودا جاتا اور سطح کو 8 کلومیٹر تک گہرائی میں مرکزی راہداری سے جوڑا جاتا ہے۔

- **رشد۔** ہنگامی توقف Alarm-2 میں عملے کا آزاد انخلا راستہ۔ عمودی شافٹ کے برخلاف خودکار گاڑی ایک سفر میں درجنوں افراد نکالتی ہے۔
- **تحفظ** Alarm-2 میں عملے کے لیے دوسرا آزاد انخلا راستہ۔
- **توسیع۔** ڈھلوان سرنگیں آئندہ متوازی StarRoad لائنوں کی بنیاد؛ ان سے افقی شاخیں نئی سرنگوں تک کھد کر بڑھتا نقلی ڈھانچہ بنتا ہے۔
- **ارضی حرارتی انضمام۔** ہر ڈھلوان سرنگ کے نیچے مزید 10-20 میٹر پر جمع کار سرنگیں تعمیر میں چٹان پہلے جما و مستحکم، اور بعد میں توانائی پیدا کرتی ہیں۔
- **سطحی مرکزی مجموعہ۔** ہر ڈھلوان سرنگ کثیر عملی سطحی مرکز پر ختم ہے۔ 40 میں ہر مرکز آزاد نقطہ ہے، جس میں:
 - **سرنگی ہوا قائم** اور استعمال شدہ ہوا ہٹانے کا ہوا و گیس صفائی مجموعہ۔
 - **ماڈیول، مٹی اور تعمیراتی مواد** کے ذخیرہ، منتقلی اور عارضی رکھاؤ کی تعمیراتی جگہ۔
 - **شفٹ عملے کی انتظامی و سہولتی عمارت:** کنٹرول، آرام، کارگاہ اور گودام۔
 - **مشترک ارضی حرارتی نیٹ ورک سے جڑا بجلی گھر اور ٹھنڈک یونٹ،** جو گہرے جمع کار کا حرارت بردار استعمال و قابو کرتے ہیں۔
 - **CO₂ گرفت و عمل مرکز (DAC)۔** فضا سے براہ راست کاربن ڈائی آکسائیڈ لے کر بند دور پورا کرتا ہے: CO₂ مائع و صاف ہو کر حرارت بردار کے طور پر گہرے جمع کار کو جاتی ہے۔
 - **بیرونی بجلی نیٹ ورک و رابطہ نقطہ،** فاضل طاقت اور براڈبینڈ سمیت۔
 - **علاقائی نقل سے جوڑنے کی سڑک یا ریل شاخ۔**
 - **سطحی انخلا نقطہ،** ہنگامی طبی مرکز اور ہیلی پیڈ سمیت۔

- **قانونی اور ماحولیاتی لچک۔** ڈھلوان سروس سرنگیں سطحی ٹرمینل کو محفوظ زمین—قومی پارک، قدرتی محفوظ علاقے اور آبی ذخیرے کے حوض—سے باہر رکھنے دیتی ہیں، چاہے StarRoad ان کے بہت نیچے سے گزرے۔ یوں پارک کی حدود میں بنیادی ڈھانچا بنائے بغیر محفوظ علاقے کے نیچے راستہ لے جانے کی بڑی قانونی رکاوٹ ختم ہوتی ہے۔ ہر ٹرمینل قریب ترین غیر محفوظ مقام پر بنتا اور ڈھلوان عمودی گزرگاہ سے جڑتا ہے؛ منظوری آسان، ماحولیاتی دباؤ کم، اور محفوظ ماحولی نظام پر براہ راست اثر ختم ہوتا ہے۔

4.1.6. بجلی رسانی اور توانائی ذخیرہ

StarRoad معجل کا سہ سطحی نیٹ ورک فراہم کرتا ہے:

- **یقینی فاضلیت—ایک جز کی خرابی عمل نہیں روکتی؛**
- **موافق اخراج رفتار—شروع میں سیکنڈ، آخر میں مائیکرو سیکنڈ؛**
- **کم ترین طاقت کیبل لمبائی—نقصان اور تحریض کم۔**

○ **ساختی سطحیں**

سطح 0: بنیادی ذخائر—مراکز

- 40 مراکز، ہر ایک میں نقلی ذخائر، نہری چھوٹی آبی بجلی کا پمپ ذخیرہ، اور لیتھیئم آئن بیٹریاں (BESS)۔
- فی مرکز کل گنجائش: 5-9 GWh؛ پوری راہ تقریباً 360 GWh۔
- اخراج: تکنیکی سرنگ میں مرکزی کیبلوں سے 100 kV تک بلند وولٹیج DC۔

سطح 1: حصوی کنٹرولر—50 کلومیٹر حصے

- راہ 41 عدد 50 کلومیٹر حصوں میں؛ آخری 50 کلومیٹر دروازے تک۔
- ہر حصے کا مرکزی کنٹرولر دو ملحق مراکز سے توانائی لے کر متقاطع فاضلیت دیتا ہے۔
- کنٹرولر توانائی 1 کلومیٹر توانائی بلاکوں میں تقسیم و ہم وقت کرتا ہے۔

سطح 2: ایک کلومیٹر کے توانائی بلاک۔ ہر بلاک کا مقامی کنٹرولر یہ کام کرتا ہے:

- **حصوی کنٹرولر سے توانائی لیتا؛**
- **مرکزی سرنگ کی دیواروں کے نیچے بفر لیتھیئم آئن بیٹریاں چلاتا؛**

- دیواروں کے پیچھے خانوں میں فلائی وہیل اور سوپر کیپیسٹور کے ذریعے بدلنے والے کوائل سیٹ چلاتا۔
- حصوی کنٹرولر سے ہر بلاک تک دو آزاد چینل فاضلیت دیتے ہیں۔

○ کیبل راستوں کی ساخت

- مرکزی کیبل، سطح 0→1: مرکزی سے 3 میٹر دور متوازی 3 میٹر خدماتی سرنگ میں۔

- تقسیم: ہر مرکز سے دونوں طرف 50 کلومیٹر، کل 100، کیبل ملحق علاقوں کو ڈھانپتے ہیں۔ ہر حصہ کم از کم دو مراکز سے 100% فاضل طاقت لیتا ہے۔

- مرکزی سرنگ میں داخلہ: ہر 1 کلومیٹر پر سیل شدہ راستے سے کیبل خدماتی سے مرکزی سرنگ آ کر بلاک کنٹرولر سے جڑتی ہے۔

- بلاک میں تقسیم: کنٹرولر کے بعد طاقت دو متوازی راستوں میں:

راستہ A: بفر لیتھیئم آئن بیٹری، فی بلاک 0.5–1 GWh، سیکنڈ انتہائی بوجھ ہموار کرنے کو۔

راستہ B: دیوار کے پیچھے فلائی وہیل اور سوپر کیپیسٹور سے بدلنے والے کوائل سیٹ۔

- اخراجی شرح کی تین حصوں میں موافقت۔ شٹل کا سرعت نقشہ اس طرح موزوں کیا جاتا ہے کہ ہر پیچ مجموعے کی زیادہ سے زیادہ طاقت ابتدا میں ہو، جہاں انتہائی مختصر ضربے درکار نہیں، اور راستے کے آخر کی طرف کم ہوتی جائے۔ اس سے تینوں حصوں میں مختلف ذخیرہ اور تبدیلی ٹیکنالوجی استعمال ہو سکتی ہے:

وجہ	ذخیرے اور سوئچنگ کی قسم	توانائی کے اخراج کی نوعیت	راستے کا حصہ	علاقہ
شٹل آہستہ چلتی ہے اور ایک کلومیٹر طے کرنے میں 0.1 سیکنڈ سے زیادہ لیتی ہے۔ درمیانی بفر کے بغیر BESS استعمال کیے جا سکتے ہیں۔	لیتھیئم آئن بیٹریاں + معیاری IGBT انورٹر	سیکنڈ سے ملی سیکنڈ	0–200 کلومیٹر	علاقہ I — کم رفتار
شٹل کی رفتار بڑھتی ہے؛ زیادہ تیز سوئچنگ درکار ہوتی ہے، لیکن میکانی فلائی وہیل اب بھی استعمال کیے جا سکتے ہیں۔	بفر لیتھیئم آئن بیٹریاں + جڑتی فلائی وہیل + SiC انورٹر	ملی سیکنڈ سے مائیکرو سیکنڈ	200–1,000 کلومیٹر	علاقہ II — درمیانی رفتار
ایک کلومیٹر طے کرنے کا وقت گھٹ کر 0.09 سیکنڈ رہ جاتا ہے۔ صرف نینو سیکنڈ میں ردعمل دینے والے سپر کیپیسٹور اور ایونسٹر نبض کو مستحکم کر سکتے ہیں۔	ایونسٹر (سپر کیپیسٹور) + تیز رفتار تھائرسٹر سوئچ (GTO/IGCT)	مائیکرو سیکنڈ دورانیے کی نبضیں	1,000–2,000 کلومیٹر	علاقہ III — بلند رفتار

اہم: علاقہ III میں فی کلومیٹر توانائی I سے کم ہے، کیونکہ تعجیل گھٹتی ہے؛ تیز اخراج شرط کے باوجود اجزا پر بوجھ کم ہے۔

○ فاضلیت و ہنگامی برداشت

- کنٹرولر دہرا: ہر حصوی و کلومیٹر کنٹرولر کا گرم فاضل، آزاد طاقت والے دو یکساں بورڈ۔
- متقاطع طاقت: ہر بلاک اپنے یا ملحق کنٹرولر سے فاضل خدماتی کیبل کے ذریعے توانائی لے سکتا ہے۔
- مقامی کوائل فاضلیت: ہر بلاک میں باری بدلتے تین آزاد سیٹ۔ ایک خراب ہو تو دو کم کارکردگی پر بغیر توقف تعجیل رکھتے ہیں۔
- ہنگامی قطع: شارٹ یا زیادہ حرارت پر کنٹرولر بلاک بند اور بین حصوی دروازوں سے الگ کرتا، پڑوسی متاثر نہیں۔

○ مادی عمل اور نتائج

فعل	مقام	جز
طویل توانائی ذخیرہ، 360 GWh۔	سطح پر، مراکز	بنیادی ذخائر
فاضلیت کے ساتھ مراکز سے حصوں کو توانائی۔	تکنیکی سرنگ، 3 میٹر	مرکزی کیبل
10 کلومیٹر بلاکوں میں توانائی تقسیم و ہم وقتی۔	مرکزی سرنگ خانوں میں ہر 50 کلومیٹر	حصوی کنٹرولر
علاقہ II—I میں سیکنڈ انتہائی بوجھ ہموار کرنا۔	مرکزی سرنگ دیواروں کے نیچے	بفر لیتھیئم آئن بیٹریاں
ملی سیکنڈ نبض بفر۔	دیواروں کے پیچھے، علاقہ II	فلائی وہیل
مائیکرو سیکنڈ استحکام اور کمی تلافی۔	دیواروں کے پیچھے، علاقہ III	سوپر کیپیسٹور
کوائل سوئچنگ، حالت نگرانی، بفر کنٹرول۔	ہر 1 کلومیٹر خانے میں	مقامی کلومیٹر کنٹرولر
شٹل کی تعجیل کے لیے حرکت پذیر مقناطیسی میدان پیدا کرنا۔	سرنگ کی اندرونی سطح	معجل کوائل

- ہموار بوجھ تقسیم۔ پوری سرنگ میں بیک وقت انتہائی طاقت نہیں: شروع میں سست نبضیں، آخر میں مختصر مگر کم طاقت۔
- ہر سطح پر فاضلیت۔ ایک مرکز، کنٹرولر یا پورا 50 کلومیٹر حصہ ناکام ہو تو نظام نہیں رکنا؛ پڑوسی توانائی پورا کرتے ہیں۔
- توسیعی لچک۔ نئی متوازی StarRoad لائن کو توانائی نظام دوبارہ نہیں، موجود خدماتی سرنگ میں مزید مرکزی کیبل کافی۔
- لاگت اصلاح۔ مہنگے سوپر کیپیسٹر اور فلائی وہیل صرف آخری ضروری حصوں میں؛ شروع میں سستی لیتھیئم آئن بیٹریاں۔

4.2. فضائی دروازہ رابرداری (بلند مقام کا ٹرمینل)

یہ 'آخری میل' کا مسئلہ ختم کرتا ہے۔

4.2.1. مقام اور ساخت

عبوری دروازے کا مجموعہ جمہوریہ کانگو میں کوہ موبی کی چوٹی کے سطح مرتفع پر، تقریباً 3,400 میٹر، واقع ہے۔ مستقبل کی توسیع کے لیے 16 کلومیٹر جنوب میں وسیع جنوبی سطح مرتفع مختص ہے جہاں درجنوں متوازی دروازے سما سکتے ہیں۔ یہ بنیادی میکانی رکاوٹ اور گیس حرکی حائل بنانے والے نظاموں کی بھاری عمارت ہے۔ حقیقتاً یہ زمین پر نصب تین حلقہ نما نوزلوں والا ساکن جیٹ انجن ہے، آسمان کی طرف زاویے پر؛ کسی جسم کو تیز کرنے کے لیے نہیں بلکہ ہوا ہٹانے اور شٹل کے فضائی کرے میں داخلے کے وقت بفر بنانے کے لیے۔

4.2.2. گیس حرکی حائل

بنیادی عملی جز۔ شٹل قریب آنے پر چند سیکنڈ پہلے سرنگ کے محور کے ساتھ باہر رخ مخروطی فوق صوت گیس بہاؤ بننا شروع ہوتا ہے۔

- **ماخذ اور ساخت۔** گیس حرکی حائل تین آزاد ہم مرکز حلقہ نما جیٹ انجنوں یا پٹیوں، یا اسی سہ پٹی ترتیب کے فوق صوت ریم جیٹوں، سے بنتا ہے۔ یہ دروازے کے دہانے کے گرد نصب اور ہوا-ہائیڈروجن آمیزے پر چلتے ہیں؛ ہائیڈروجن مقام ہی پر برق پاشی سے بنتی ہے۔ تین گنا فاضل نظام خرابی برداشت کرتا ہے: مؤثر حائل کے لیے کسی بھی دو پٹیوں کا چلنا کافی ہے، اس لیے تین میں سے ایک ناکام ہو تو بھی نظام کام کرتا ہے۔ ہر پٹی کی اپنی ایندھن رسانی، کنٹرول اور اشتعال کاری ہے۔ پٹیاں دروازے کے باہر چھوٹی سے بڑی پٹی کی طرف پیچھے ہٹتے زینوں میں ایک دوسرے کے اوپر ہیں؛ میکانی رکاوٹ پٹیوں کے سلسلے کے پیچھے اندر ہے۔ یوں میکانی رکاوٹ پہلے کھولے بغیر پٹیاں چل سکتی ہیں۔

○ بنیادی افعال -

(1) شٹل کے گزرنے کے دوران سرنگ کے خلا کو بچانے کے لیے باہر رخ دباؤ پیدا کرنا؛

(2) دروازے کے سامنے خروجی علاقے کی ہوا پہلے ہٹانا اور گرم کرنا، تاکہ سرنگ کے خلا اور فضا کی حد پر دباؤ کا تدریجی فرق اور دونوں واسطوں کے درمیان ہموار منتقلی بنے۔

گیس حرکی حائل شٹل کی ہوائی حرکی ڈھال نہیں اور اسے فضا سے نہیں چھپاتا۔ اس کا کام واسطوں کی منتقلی کو وقت میں پھیلانا ہے: ٹھنڈی ساکن ہوا سے چھونے کے تقریباً فوری، مائیکرو سیکنڈ صدمے کو گرم ہم سمت بہاؤ سے چھونے کے تقسیم شدہ ملی سیکنڈ بوجھ میں بدلنا۔ اس سے مجموعی ہوائی حرکی قوت کم نہیں ہوتی، مگر جھٹکا اور بوجھ کا بلند تعددی حصہ بہت کم ہوتا ہے، جس سے مقامی شکست اور ساختی حرارتی صدمے کا خطرہ گھٹتا ہے۔

- **بہاؤ کی شکل:** سرنگ اور شٹل کے مقطع سے ملتا بیضوی مخروط یہ دسیوں سے سیکڑوں میٹر لمبا اور عبوری دروازے کی جیٹ پٹیوں کے تین حلقہ نما نوزل سلسلوں سے باہر نکلتا ہے۔

فضائی کرہ عبوری دروازے کے گیس حرکی حائل کو ہندسی طور پر کامل، ساکن یا مکمل محوری متناسب مخروط درکار نہیں۔ اس کا عملی انداز فطری طور پر حرکی ہے اور بہاؤ کی شکل، کثافت اور رفتار میں زمانی و مکانی اتار چڑھاؤ قبول کرتا ہے۔

دروازے کے کام کی واحد سخت اور فیصلہ کن شرط یہ ہے کہ شٹل کے پورے خروج میں دباؤ اور مومینٹم کا مثبت، باہر رخ تدریجی فرق قائم رہے، جو فضائی ہوا کو سرنگ میں داخل ہونے سے مکمل روکے۔ خروجی علاقے کی ہوا کو پہلے سے گیس حرکی اور حرارتی طور پر تیار کرنا بھی لازم ہے؛ اس سے نظام کی قابل اعتمادیت اور عملی حیثیت بہت بڑھتی ہے۔

لہذا بہاؤ کی شکل ہدف نہیں بلکہ موافق پذیر قدر ہے۔ اسے جامد ہندسہ کے بجائے مجموعی اوصاف، یعنی دباؤ، کمیتی بہاؤ اور مومینٹم، کی بنیاد پر حقیقی وقت میں بہتر کیا جاتا ہے۔

- **توسیع پذیری اور آزمائش۔** ہزاروں کلومیٹر کے معجل کے برخلاف دروازے کی ساخت مائیلر اور آسانی سے وسیع ہونے والی ہے۔ مستحکم فوق صوت گیس حرکی مخروط، ہم وقتی اور جیٹ پٹیوں کے عمل جیسی بنیادی ٹیکنالوجیاں 1:5 یا 1:10 پیمانے کے مکمل عملی حقیقی آزمائشی پلیٹ فارم پر پوری طرح پرکھی جا سکتی ہیں۔ اس طرح مرکزی راستے کی مکمل تعمیر سے پہلے بڑے تکنیکی خطرات دور ہو جاتے ہیں۔

4.2.3. تحفظ کا نظام

ہائیڈروجن کے استعمال سے دھماکے اور آگ سے تحفظ کی سخت شرائط پیدا ہوتی ہیں۔ اس لیے دروازے کے بنیادی ڈھانچے میں ہائیڈروجن رساو کی دہری شناخت، نائٹروجن سے لائنوں کی غیر عامل صفائی، دھماکہ محفوظ آلات، برق پاشی یونٹوں، ذخائر اور انجن پٹیوں کی مادی علیحدگی، اور ممکن اخراج کو عملے و اہم ڈھانچے سے دور فضا میں محفوظ رخ دینے والی ہوا نالیاں شامل ہیں۔

4.3. شٹل (AstroLiner)

4.3.1. ابعاد اور ابتدائی کمیت

لمبائی تقریباً 150 میٹر، بیضوی مقطع تقریباً 10×15 میٹر۔ شکل فوق صوت پچر ہے جو فضا چیرتے وقت مزاحمت اور حرارتی بوجھ کم رکھنے کے لیے موزوں ہے۔

○ بہترین ابتدائی کمیت: تقریباً 15,000 ٹن۔

15,000 ٹن شٹل کمیت اس انجینیئرنگ اور معاشی موزونیت کا نتیجہ ہے جو طبعی حدود اور عملی امکانات کے درمیان 'سنہری وسط' میں ہے۔

معیار	زیریں حد (> 10,000–8,000 ٹن)	بہترین قدر (15,000 ٹن)	بالائی حد (< 25,000–20,000 ٹن)
ہوائی حرکیات اور اضافی تعجیل	فضا غالب رہتی ہے۔ مزاحم قوت F_d سے بلند اضافی تعجیل $a = p \cdot A \cdot v^2$ F_d/m بنتی ہے، جس کے لیے پیچیدہ فعال استحکام درکار اور حرارتی بوجھ انتہائی ہوتا ہے۔	جڑتا غالب رہتی ہے۔ فضائی مزاحمت شروع میں مختصر، 5 سیکنڈ تک، تقریباً $6g-3$ اضافی تعجیل پیدا کرتی ہے، جس سے نسبتاً سادہ صدمہ جذب اور حرارتی تحفظ ممکن ہے۔	اضافی تعجیل معمولی گھٹتی ہے، مگر دیگر عوامل فائدے ختم کر دیتے ہیں۔
حرارتی حالت	کم حرارتی گنجائش۔ کم کمیت m سے درجہ حرارت $\Delta T = Q \cdot t / (m \cdot c)$ تیزی سے بڑھتا ہے اور انتہائی فعال ٹھنڈک درکار ہوتی ہے۔	بلند حرارتی جڑتا۔ بھاری ساخت مختصر فضائی نفوذ کی انتہائی حرارت جذب اور پھیلاتی ہے، یوں غیر فعال اور فعال حرارتی تحفظ کا امتزاج ممکن ہے۔	حرارتی گنجائش بڑھتی ہے، مگر بھاری ساخت سے حرارت نکالنا الگ مسئلہ بن جاتا ہے۔
اطلاقی توانائی	درکار توانائی $E = 1/2 \cdot m \cdot v^2$ قابل قبول ہے، مگر خامیوں کا ازالہ نہیں کرتی۔	معقول توازن۔ 11 کلومیٹر فی سیکنڈ تک تعجیل کے لیے تقریباً 9×10^{14} جول، یعنی 252 GWh، درکار ہیں؛ یہ تقسیم شدہ خود مختار ارضی حرارتی توانائی نظام اور ذخائر کی صلاحیت کے مطابق ہے۔	توانائی خرچ خطی بڑھتا ہے، مگر طاقت اور ذخیرہ گنجائش غیر متناسب طور پر بڑھانی پڑتی ہے، جو معاشی طور پر غیر مؤثر ہے۔
ساخت اور رسد	قابل عمل، مگر 'جڑتی مینڈھے' کا بنیادی فائدہ نہیں دیتا۔	موجودہ ٹیکنالوجی سے ہم آہنگ۔ ابعاد اور کمیت جدید جہاز ساز گودیوں، ویلڈنگ اور نقل و حمل کی حدود میں ہیں۔	ساخت سختی کھوتی ہے؛ ذاتی ارتعاش، جوڑنے اور اطلاقی مقام تک پہنچانے کے مسائل آتے ہیں۔ لاگت خطی رفتار سے زیادہ بڑھتی ہے۔
StarRoad کا فلسفہ	یہ فضا کے لیے کمزور 'ہلکی گاڑی' کے تصور میں رہتا ہے۔	یہ 'جڑتی مینڈھے' کا تصور پورا کرتا ہے: فضا رکاوٹ نہیں بلکہ مختصر خلل ہے جسے کمیت اور مضبوطی سے عبور کیا جاتا ہے۔	یہ صنعت کی صلاحیت سے باہر مسئلہ بن کر پیمانے کی بچت مٹا دیتا ہے۔

- طبعی طور پر یہ تقریباً 10,000 ٹن کی اس حد سے اوپر ہے جہاں جڑتا ہوائی حرکی اثر پر غالب ہونا شروع ہوتا ہے۔
- توانائی کے لحاظ سے یہ بنیادی ڈھانچے کی مانگ میں قوتی اضافہ نہیں کرتا۔
- ٹیکنالوجی کے لحاظ سے یہ جہاز سازی اور بھاری انجینیئرنگ جیسی قابل توسیع صنعتی روایات میں رہتا ہے۔
- معاشی طور پر یہ پیمانے سے کم اطلاقی لاگت اور سرمایہ خرچ کی حد کے درمیان توازن رکھتا ہے۔

پس یہ حسابی بہترین قدر ہے جو StarRoad کو طبعی طور پر قابل عمل اور معاشی طور پر جائز بناتی ہے۔

4.3.2. ترتیب اور نظام

پورا اندرونی ڈھانچہ کئی سطحی طولی ساخت ہے، جس میں جسم کی بلندی کے لحاظ سے افعال الگ ہیں۔

- **جسم کا نچلا اور پچھلا حصہ** مکمل طور پر توانائی و قوتی نظاموں کے لیے ہے: جہازی ری ایکٹر، حرارت مبادلہ گر، فعال ٹھنڈک دورے، طاقت مبدل، توانائی ذخائر، ٹھنڈک لائنیں اور بحری محرکات۔ یہ شٹل کا مرکز کمیت نیچا کر کے فوق صوت پرواز، گلائڈ اور پانی پر اترنے میں استحکام بڑھاتا، اور اوپری حصوں کا حرارتی و اشعاعی تحفظ آسان کرتا ہے۔
- **فوق موصل معلق کاری و استحکام نظام** شٹل کے اطراف اور جزوی طور پر پیندے میں مدغم ہے۔ ماڈیول بیرونی غلاف اور حرارتی تحفظ کے فوراً پیچھے ہیں، تاکہ مقناطیسی میدان اور سرنگ کے غیر فعال کوائلوں کا فاصلہ کم ہو۔ مقناطیس واقع ہیں:
- جسم کی پوری لمبائی کے ساتھ دونوں اطراف، سرکنے والے اوپری دروازوں کی لکیر تک بالائی اور وسطی حصوں سمیت؛
- پیندے کے وسطی اور پچھلے حصے میں؛
- مرکزی پروں کے خروج اور میکانی خانوں کو چھوڑ کر۔
- یہ تقسیم یکساں مقناطیسی میدان، فوق صوت رفتار پر بلند استحکام اور مقامی نقصان میں خرابی برداشت دیتی ہے۔
- **جسم کا وسط تہہ** ہونے والے پروں کے خانوں اور ان کے بوجھ بردار فریم کے لیے ہے۔ مرکزی پر جسم میں سمٹتے اور توانائی و باربرداری حصوں سے الگ رہتے ہیں۔ ناک کے وسطی حصے کے سامنے چھوٹے نکلنے والے کنٹرول پر ہیں جو عبوری حالتوں میں راستہ درست اور مستحکم کرتے ہیں۔
- **جسم کا اوپری حصہ** ہمہ گیر بدلنے والے باربرداری ماڈیول کے لیے ہے۔ اس کے ابعاد، جوڑ، کمیت اور قابل قبول مرکز ثقل معیاری ہیں؛ اسے باربرداری، ٹینکر، مسافر یا مرکب بنایا جا سکتا ہے۔ ماڈیول اطلاق سے پہلے گودی میں لگتا اور نکلتا ہے، اور اوپری دروازے کھلنے کے بعد مدار میں بھی یہ ممکن ہے۔ بار خانے میں اندرونی ہائیڈرالک یا برق میکانی لفٹ اور رہنما ہیں، جو خرد کشش ثقل میں عملے کے بغیر ماڈیول خودکار نکالتے ہیں۔
- **سرکنے والے اوپری دروازے** بوجھ بردار ڈھانچے کا حصہ نہیں؛ یہ ہوائی حرکی غلاف اور مداری رسائی دیتے ہیں۔ ان میں تہہ ہونے والے حرارتی ریڈی ایٹر مدغم ہیں۔ دروازے پوری طرح کھل اور مقفل ہونے پر پینل خودکار کھلتے اور اضافی حرارت خلا میں خارج کرنے کے لیے ان میں ٹھنڈک بہتی ہے۔
- **شٹل کی ناک** میں کئی سطحی عملی ترتیب ہے:

- بالائی ناک—پل، کنٹرول، سمت یابی اور رابطہ نظام؛
- وسطی ناک—چھوٹے نکلنے والے پروں اور کنٹرول سطحوں کے میکانزم؛
- زیریں ناک—کریوجینک ایندھن اور ٹھنڈک ٹینک، تاکہ سیالی مزاحمت کم اور فضائی نفوذ کے وقت ناک کے فعال ٹھنڈک نظام تک سیال تیزی سے پہنچے۔

یہ ترتیب حرارتی اور سیالی دورے مختصر رکھتی، ناک کی حرارتی جڑتا گھٹاتی اور پرواز کے سب سے بوجھل حصے میں حرارتی تحفظ کی قابل اعتمادیت بڑھاتی ہے۔ مجموعی طور پر شٹل سخت منظم، قابل توسیع ماڈیولر ساخت ہے جو فوق صوت اطلاق، مداری عمل، خودکار بحری سفر اور جسم کی بڑی مرمت کے بغیر بار بار استعمال کے لیے موزوں ہے۔

4.3.3. جسم کا حرارتی تحفظ

شٹل کی ناک اور پیندا کئی پرتوں کے مرکب دھاتی حرارتی تحفظ سے لیس ہیں، جو فوق صوت پرواز اور بعد کی آبی نشست کے انتہائی حرارتی و حرکی بوجھ کے لیے بنا ہے۔ اس میں غیر فعال اور فعال اجزا شامل ہیں:

- بیرونی حرارت مزاحم پرت، جو مختصر وقت ہزاروں درجے اور شدید اشعاعی حرارت سہتی ہے؛
 - بوجھ بردار دھاتی زیریں پرت، جو میکانی اور ارتعاشی بوجھ لیتی ہے؛
 - فعال ٹھنڈک دورے، جو سب سے زیادہ بوجھ والے حصوں، خصوصاً ناک اور پیندے کے اگلے کنارے، سے حرارت ہٹاتے ہیں؛
 - مقامی نازک جگہوں میں بدلنے والے ابلٹیو اجزا، جو بنیادی ساخت کو نقصان دیے بغیر قابو میں گھستے ہیں۔
- حرارتی تحفظ میں سمندر پر اترتے وقت گرم جسم کے پانی سے رابطے کا حرارتی صدمہ، تیز درجہ حرارت ڈھلوان اور دوری حرارتی تناؤ شامل ہیں۔ زیادہ بوجھ والے اجزا حصوں میں اور معمول کی مرمت میں ماڈیولر تبدیلی کے قابل ہیں، جس سے مرمت پذیری اور تکراری عمر بڑھتی ہے۔

4.3.4. پر

- شٹل میں استحکام، گلائڈ اور نشست کے لیے نکلنے والے پروں کے دو جوڑے ہیں، جو رقیق فضائی تہوں میں پہنچنے کے بعد کھلتے ہیں۔
- **اگلے دونوں پر** راستے کی اصلاح، پچ اور رول کے استحکام، اور حرکی خلل کو کم کرنے کا کام کرتے ہیں۔ گلائڈ کے لیے یہ فضا کی کم کثافت والی تہوں میں پہنچنے کے بعد کھلتے ہیں۔

ہر اگلے پر کے پیمانے:

- لمبائی، جڑ سے پھیلاؤ: تقریباً 35 میٹر؛
- جڑ/سرے کی چوڑائی: تقریباً 7/14 میٹر؛

▪ رقبہ: تقریباً 360–400 مربع میٹر۔

○ پچھلے پروں کا جوڑا شٹل کی مرکزی ہوائی حرکی سطح ہے۔

ہر پچھلے پر کے پیمانے:

▪ لمبائی، جڑ سے پھیلاؤ: تقریباً 100 میٹر؛

▪ جڑ/سرے کی چوڑائی: تقریباً 7/14 میٹر؛

▪ رقبہ: تقریباً 1,000–1,100 مربع میٹر۔

پروں کا مجموعی رقبہ تقریباً 2,800–2,900 مربع میٹر ہے۔ جسم کی اٹھاؤ والی شکل بھی قوت اٹھان دیتی اور مؤثر ہوائی حرکی رقبہ تقریباً 20–30% بڑھاتی ہے۔

ذیلی صوت حالت میں مجموعی ترتیب 9–13 L/D دیتی ہے، جس سے مستحکم گلائڈ اور نشست کی جگہ کا قابو شدہ انتخاب ممکن ہے۔ عام گلائڈ اور آبی نشست رفتار 90–120 میٹر فی سیکنڈ، تقریباً 320–430 کلومیٹر فی گھنٹہ، ہے۔ اس رفتار پر تحفظ مطلق افقی رفتار نہیں بلکہ چھونے کی عمودی رفتار، زاویہ حملہ اور گلائڈ ڈھلوان طے کرتے ہیں۔

4.3.5. پیراشوٹ نظام

آبی نشست کے صدمے کم اور قابل قبول نشست کھڑکی وسیع کرنے کے لیے شٹل میں قابل تکرار پیراشوٹ-پیرافوائل نظام ہے جو معمول میں دستیاب نرم نشست دورے کا کام کرتا ہے۔

○ ساخت اور مقام۔ نظام میں دو پیرافوائل جگہیں ہیں:

▪ ایک اوپری پچھلے حصے میں؛

▪ ایک اوپری اگلے حصے میں، ناک کے فوراً پیچھے۔

ہر جگہ $N+1$ ، یعنی بنیادی اور فاضل پیرافوائل، آزاد تہ بندی اور کھینچنے والی رسیوں کے ساتھ ہے۔ پیرافوائل ایک نقطے کے بجائے بوجھ بردار فریموں کی عرضی جوڑی لکیر سے بندھتے ہیں، جس سے مقامی انتہائی بوجھ کم اور پیچ و رول استحکام بڑھتا ہے۔ چھتریاں طولی محور پر الگ ہیں تاکہ باہمی اثر اور الجھاؤ نہ ہو۔

○ رقبہ اور عمل۔ پیرافوائل گاڑی کا پورا وزن اٹھانے کے لیے نہیں بلکہ آخری حصے میں عمودی رفتار گھٹانے اور نرم چھونے کا مرحلہ بنانے کے لیے ہیں۔ تخمینی پیمانے:

▪ ایک بنیادی پیرافوائل کا رقبہ: تقریباً 4,500–6,000 مربع میٹر؛

▪ دونوں چلنے پر مجموعی فعال رقبہ: تقریباً 9,000–12,000 مربع میٹر۔

رابطے کے وقت ہدف عمودی رفتار $V_z \approx 1 \text{ m/s}$ ۔

○ فعالیت کا معیار۔ پیراشوٹ-پیرافوائل نظام صرف ضرورت پر استعمال ہوتا ہے۔ نشست الگورتھم مجموعی اضافی تعجیل، یعنی ہوائی حرکی، جڑتی اور آبی حرکی اجزا کے سمتی مجموعے، کو دیکھتا ہے:

▪ اگر چھونے پر متوقع مجموعی اضافی تعجیل $4g$ سے زیادہ نہ ہو تو پیرافوائل کے بغیر پروں پر نشست ہوتی ہے؛

▪ $4g$ سے بڑھنے کا خطرہ ہو تو نظام چل کر عمودی رفتار ہدف تک گھٹاتا اور نشست کو نرم گلائڈ میں بدلتا ہے۔

○ تکراری استعمال۔ پیرافوائل، رسیاں اور جوڑ معمول کی دیکھ بھال، معائنہ، خشک کرنا اور جلد گھسنے والے اجزا بدلنا، کے ساتھ بار بار استعمال کے لیے ہیں؛ جسم کا بوجھ بردار ڈھانچہ نہیں کھولنا پڑتا۔

4.3.6. خود مختار قوت اور محرکی یونٹ

شٹل مکمل خود مختار توانائی-محرکی نظام رکھتا ہے جو مداری چالوں سے کئی ماہ کے خودکار بحری سفر تک پوری مہم کے لیے ہے۔

○ بنیادی توانائی ماخذ: جہازی جوہری ری ایکٹر۔

▪ قسم: اگلی نسل کا مختصر تیز رفتار پگھلے نمک کا ری ایکٹر یا بلند درجہ حرارت گیس ٹھنڈا ری ایکٹر۔ مستقبل میں Helion

Energy جیسے میدانی سکڑاؤ کا مختصر انتلاfi ماڈیول ممکن ہے۔

▪ طاقت: برقی 10–20 MW؛ حرارتی 50–100 MW۔

▪ مقصد: تمام جہازی نظام، مقناطیسی معلق کاری کے فوق موصل اجزا، برق مقناطیسی پلازما انجن، فعال ٹھنڈک اور خودکار بحری محرکات کو توانائی دینا۔ ری ایکٹر 5–10 سال کی پوری شٹل عمر میں دوبارہ ایندھن بھرے بغیر چلنے کے لیے ہے۔

- **جہازی فوق موصل معلق کاری و استحکام:** جسم کے ساتھ بلند درجہ حرارت فوق موصل مقناطیسوں کے کریوجینک ماڈیول ہیں، جنہیں جہازی نظام سے مائع نائٹروجن یا ہائیڈروجن ٹھنڈا کرتی ہے۔ یہ معلق کاری اور فعال استحکام کا طاقور بنیادی میدان بناتے ہیں۔ سرنگ کی بیرونی توانائی مکمل بند ہو تو بھی غیر فعال 'ریل' کوائلوں کے ساتھ تحریضی تعامل، یعنی 'مقناطیسی آئینہ' اثر، سے شٹل معلق رہتا ہے۔
- استحکامی کنٹرول درجہ وار ہے:

- (1) **غیر فعال دور،** مائیکرو سیکنڈ: فوق موصل اور سرنگ کوائلوں کا تحریضی ربط ہر ہٹاؤ پر برقیات کے بغیر خودکار واپسی قوت بناتا ہے۔
 - (2) **بارڈوینر دور،** مائیکرو سیکنڈ تا ملی سیکنڈ: مخصوص FPGA اور ASIC عدم توازن پہچان کر سخت الگورتھم سے حصے بدلتے ہیں۔
 - (3) **سافٹوینر دور،** ملی سیکنڈ تا دسیوں ملی سیکنڈ: محدود AI معاونت والا جہازی کمپیوٹر سست بہکاؤ اور مقامی عدم توازن کی تلافی کے لیے فوق موصل حصوں میں رو تقسیم کرتا ہے؛ نینو سیکنڈ ردعمل درکار نہیں۔
- یہ ساخت خلل پر ملی سیکنڈ ردعمل دیتی ہے، جو فوق صوت رفتار پر 15,000 ٹن شٹل کی استحکامی ضرورت سے کئی درجے تیز ہے۔
- **بنیادی انجن: بلند دھکیل کے برق مقناطیسی پلازما انجن۔**

- **اصول:** جہازی ری ایکٹر سے چلنے والے مقناطیسی پلازما حرکی (MPD) یا متغیر مخصوص ضربہ مقناطیسی پلازما راکٹ (VASIMR)۔
- **دھکیل:** نبضی حالت میں 50–100 kN، یعنی 5–10 ٹن قوت؛ مدار درست کرنے، چھوڑنے اور بین المدار منتقلی کے لیے کافی۔
- **عامل مادہ:** مائع زینون، آرگن یا ہائیڈروجن؛ ہائیڈروجن ٹھنڈک میں بھی استعمال ہے۔
- **خود مختاری:** جہازی AI انجن چلاتا اور مداری اسٹیشن سے جوڑ، بار اتارنے اور واپسی کی چالیں خود حساب و انجام دیتا ہے۔
- **حرارتی انتظام:**

- **نکلنے والے ریڈی ایٹر۔** خلا میں کھلنے والے مائع دور کے پینل جو ری ایکٹر اور آلات کی اضافی حرارت خلا میں چھوڑتے ہیں۔
- **مرحلہ بدل حرارتی ذخائر۔** ناک اور اہم نقاط میں یہ بنیادی اجزا اطلاق اور دخول کے فضائی نفوذ میں میگا جول انتہائی حرارت جذب کر کے ساخت کو زیادہ گرم ہونے سے بچاتے ہیں۔ خلا یا سمندر میں حرارت آہستہ ریڈی ایٹر یا ماحول کو دی جاتی ہے۔
- **فعال ٹھنڈک۔** پرواز میں حرارتی ڈھال اور اہم اجزا کی ہنگامی ٹھنڈک کے لیے مائع ہیلیم/ہائیڈروجن کا بند دور۔
- **فاضلیت و تحفظ:** دہرے ری ایکٹر کنٹرول، آزاد ٹھنڈک دورے اور ہنگامی حرارت پھیلاؤ۔ سمندر میں گرنے سمیت ہر منظر میں ساخت محفوظ ہے۔

4.3.7. خودکار نشست اور بحری نظام

- بحر اوقیانوس کے مقرر علاقے میں آبی نشست کے بعد شٹل مکمل خود مختار بحری جہاز بن جاتا ہے۔ اس کے لیے:
- **محرکی مجموعہ۔** دو نکلنے والے سمتی تھرستر یا واٹر جیٹ، جو کم رفتار پر بلند چال پذیری دیتے ہیں۔
 - **بحری توانائی۔** معمول کا جہازی جوہری/انتلافی ری ایکٹر کم ترین حالت میں محرکات اور جہازی نظاموں کو بجلی دیتا ہے۔ قلب کئی ماہ کے خودکار سفر کے لیے کافی ہے۔
 - **سمت یابی و رابطہ۔** GPS/GLONASS سیارچی اور جڑی سمت یابی، سطحی حالت کے لیے ریڈار و لائڈار، اور ارض ساکن سیارچوں سے مستحکم رابطہ۔
 - **آخری سست کاری۔** پانی چھونے سے پہلے باقی 100–150 کلومیٹر فی گھنٹہ رفتار کے لیے مرکب نظام: استحکام و ابتدائی سست کاری کا چھوٹا ڈروگ پیراشوٹ، اور عمودی رفتار درست گھٹانے کو مرکزی پلازما انجن کی مختصر نبض۔ نشست کے بعد پیراشوٹ الگ ہوتا ہے۔
 - یہ ترتیب شٹل کو فوری مدد کے بغیر اپنے بندرگاہ یا کھینچنے والے جہاز کی ملاقات تک خود جانے دیتی ہے۔ یہ طوفانی سمندر میں خود مختار رہ، طویل سفر کر اور مقرر مرمتی گودی پہنچ سکتا ہے—خلائی گاڑی سے روپوٹی بحری جہاز بن کر۔

4.3.8. AstroLiner-S: ابتدائی / سادہ نسخہ

- StarRoad کے ابتدائی مراحل اور بنیادی، تکنیکی طور پر سادہ اور عملی طور پر محتاط ترتیب کے لیے AstroLiner-S (Simplified) / Start (ابتدائی شٹل تجویز ہے۔
- یہ AstroLiner کا مکمل فعال مگر توانائی و نظاموں میں سادہ نسخہ ہے، جو راستے کے پہلے عمل، ابتدائی باربردار و انسانی اطلاق، اور تکنیکی، عملی و ضابطہ جاتی خطرات بتدریج کم کرنے کے لیے ہے۔
- **AstroLiner-S کا بنیادی خیال۔** یہ StarRoad کا اصول، جڑتا سے فضا چیرنا، جہازی جوہری یا انتلافی توانائی کے بغیر اور مرکزی نسخے کے اطلاقی ابعاد و کمیت مکمل رکھتے ہوئے پورا کرتا ہے۔
 - بہت زیادہ توانائی والے سب عمل، تعجیل، معلق کاری اور سرنگ میں استحکام، مکمل زمینی ڈھانچے میں ہیں۔

- خود مختار نقلی گاڑی ہے؛
- مکمل قابل تکرار ہے؛
- خود مدار تک پہنچ، چھوڑ اور واپس آ سکتا ہے؛
- مگر سرنگ کے باہر صرف کیمیائی دھکیل استعمال کرتا ہے؛
- اور بلند طاقت آئن ساز اشعاع ماخذ نہیں رکھتا۔
- توانائی و فوق موصل نظام۔ AstroLiner-S سے مکمل خارج ہیں:
 - جوہری اور انتلاقی توانائی یونٹ؛
 - ان کے اشعاعی، حرارتی اور حادثاتی خطرات؛
 - سرنگ اور دروازے کے ناقابل واپسی آلودگی منظر۔
 - معلق کاری، استحکام اور راستے سے تعامل کے فوق موصل اجزا:
 - اطلاق سے پہلے رو سے بھرے جاتے ہیں؛
 - مستقل رو حالت میں جاتے ہیں؛
 - باہم الگ اور جہازی نظام سے قابو ہوتے ہیں۔
 - جہازی برقیات، کنٹرول اور تحفظ کو بیٹریاں اور جڑتی ذخائر، فلائی وہیل، طاقت دیتے ہیں، جو وقتی فاضل سمیت پورے سرنگی تعجیل دور کے لیے ہیں۔
 - تعجیل میں فوق موصل دوروں کا فعال کنٹرول چھوٹی اصلاحی رو اور ہنگامی حالت تک محدود ہے، اس لیے جہاز پر مسلسل بلند طاقت ماخذ لازم نہیں۔
 - مدار میں تہہ ہونے والے شمسی پینل فعال توانائی ماخذ ہیں۔
- سرنگ سے باہر دھکیل
 - AstroLiner-S کے سب مداری عمل کیمیائی دھکیل سے ہوتے ہیں۔
 - شٹل میں:
 - درمیانی دھکیل کے مرکزی کیمیائی انجن، LOX/LH_2 یا LOX/LCH_4 درجہ؛
 - دہرے سمت اور ہنگامی کنٹرول نظام (RCS)۔
 - محركی نظام فراہم کرتا ہے:
 - فضا سے نکلنے کے بعد ہدفی مدار تک آخری صعود؛
 - مداری پیمانوں کی اصلاح؛
 - مدار چھوڑنا؛
 - قابو شدہ فضائی دخول اور واپسی۔
 - اس نسخے میں برقی اور مقناطیسی پلازما انجن نہ ہونے کی وجہ جہازی بلند طاقت بجلی کی کمی ہے؛ یہ پورے نظام کی ساختی حد نہیں۔
- واپسی اور تکراری استعمال
 - AstroLiner-S قادر ہے:
 - خود مدار چھوڑنے؛
 - کم زاویے پر قابو شدہ فضائی دخول؛
 - ہوائی حرکی گلائڈ؛
 - پروں اور پیراشوٹ-پیرافوائل سے سمندر پر نشست۔
 - ری ایکٹر نہ ہونے سے بہت آسان ہیں:
 - بحری عمل؛
 - معمول کی دیکھ بھال؛
 - غیر معمولی نشست کے بعد گاڑی کی بازیابی۔

○ StarRoad کی ترقی میں AstroLiner- S کا کردار

AstroLiner-S کو سمجھا جاتا ہے:

- StarRoad شٹل کا پہلا سلسلہ وار نسخہ؛
- اطلاق اور خرابی کے اعداد جمع کرنے کا پلیٹ فارم؛
- نظام جلد خدمت میں لانے کا ذریعہ؛
- ابتدائی مداری ڈھانچے کی بنیادی نقل و حمل۔

منصوبہ بڑھنے، مختصر بلند طاقت ماخذ آنے اور عملی تجربہ جمع ہونے پر AstroLiner-S کو بتدریج مکمل AstroLiner سے پورا یا بدل سکتا ہے، جس میں جہازی بلند طاقت یونٹ اور برق مقناطیسی پلازما انجن ہوں گے۔

یوں AstroLiner-S سمجھوتا نہیں بلکہ منطقی ابتدائی سطح ہے، جو راستے کی بنیادی ساخت بدلے بغیر StarRoad پہلے، زیادہ محفوظ اور کم نظامی خطرے کے ساتھ شروع کرتی ہے۔

5. اڑان کی تیاری سے اترنے کے بعد دیکھ بھال تک عملی چکر

5.1. تیاری اور اڑان

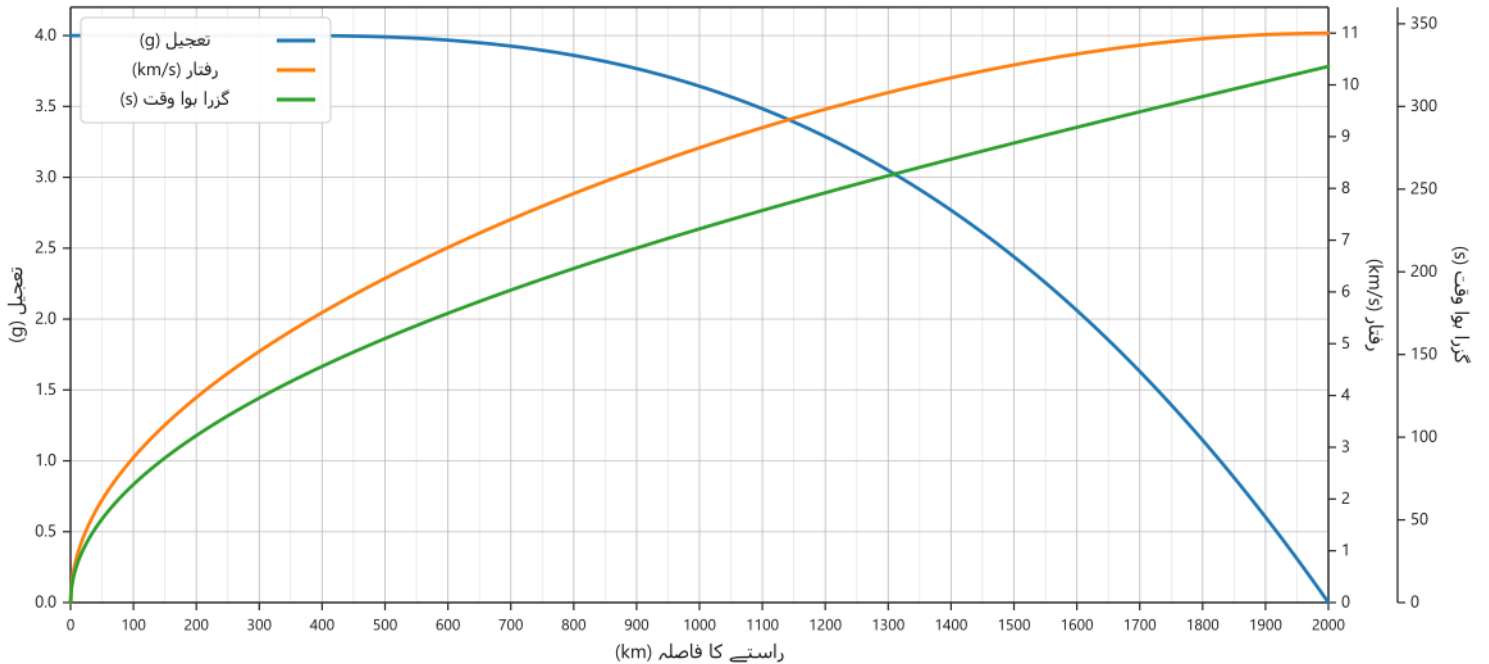
باربردار شٹل کو Batanga کے قریب اطلاقی حجرے میں رکھا جاتا ہے۔ پہلے شٹل کے جہازی نظام، پھر معجل کے نظام آزمائے جاتے ہیں۔ اس کے بعد گیسوی حرکی عبوری دروازے کا قبل از اطلاق امتحان ہوتا ہے۔ جہازی فوق موصولوں میں رو بھری جاتی ہے، پھر مقناطیسی معلق کاری چلا کر جانچی جاتی ہے۔ سرنگ پہلے ہی خلا بند ہوتی ہے۔ حکم ملتے ہی معجل کے ابتدائی حصوں کو نبضی توانائی دینا شروع ہو جاتی ہے۔

5.2. سرنگ میں سرعت دہی

- 0-330 کلومیٹر۔ ابتدائی طولی تعجیل $\sim 4g$ ہے۔ توانائی کا بڑا حصہ معلق کاری اور کشش ثقل پر قابو پانے میں صرف ہوتا ہے۔
- 330-1,800 کلومیٹر، S خم کا اترتا حصہ۔ طولی تعجیل ابتدائی $4g$ سے بتدریج صفر تک گھٹتی ہے۔ زیر زمین خموں سے گزرتے ہوئے شٹل $\sim 4g$ تک بوجھ سہتی ہے۔ اردگرد کے برقی مقناطیسی عناصر راستہ مستحکم رکھتے ہیں۔
- 1,800-2,050 کلومیٹر، S خم کا چڑھتا حصہ۔ عبوری دروازے کے قریب پہنچتے ہوئے تعجیل صفر ہو جاتی ہے۔ آخری 50 کلومیٹر شٹل ~ 11 کلومیٹر فی سیکنڈ کی رفتار سے جڑت کے بل پر چلتی ہے۔

StarRoad کا تعجیلی خاکہ

330 km 4 تک $a = 4g \cdot (1 - u^p)$, $p = 2.645$
 $V(2000 \text{ km}) = 11.0 \text{ km/s}$, $a_{\text{max}} = 4g$, $a_{\text{end}} = 0g$, $t \approx 324.2 \text{ s}$



5.3. فضائی دروازہ راہداری سے خروج

- بلند اطلاقی مقام کی بدولت شٹل فضائی کرہ عبوری دروازے سے صرف ~ 30 کلومیٹر دور ہی سطح سمندر سے 10 کلومیٹر سے زیادہ بلندی پر پہنچ جاتی ہے، جس سے علاقے پر صدمی موج کا اثر کم سے کم رہتا ہے۔ شٹل کے اطلاق سے ایک منٹ پہلے میکانیکی دروازہ کھولے بغیر

گیسی حرکی عبوری دروازے کے حلقے آزمائشی طور پر چلائے جاتے ہیں۔ شٹل سرنگی راستے کا 45% طے کر لے تو حلقوں سے دبائی ہوئی ہوا کا فوق صوتی بہاؤ گزارا جاتا ہے؛ یہ ہوا خلا بنانے کے دوران آخری سرنگی حصے کے پمپوں نے جمع کی تھی۔ شٹل کے گزرنے سے ~10 سیکنڈ پہلے ہائیڈروجن دی جاتی ہے اور گسی حرکی رکاوٹ کو مرکزی احتراقی حالت میں فعال کیا جاتا ہے، جس سے گرم، جزوی آئن شدہ گیس کا مستحکم مخروطی فوق صوتی بہاؤ بنتا ہے۔ حلقوں کی کامیاب فعالیت اور گرم رکاوٹی میلان کے مخروط کے بننے کے 3 سیکنڈ بعد میکانیکی عبوری دروازہ کھولا جاتا ہے۔

- یہ رکاوٹ سرنگ کے خلا کو ٹوٹنے سے بھی بچاتی اور ابتدائی حرارتی صدمہ نرم کرتی ہے۔ شٹل پہلے سے تیار کردہ تنک اور گرم گیس کے علاقے کو چند ملی سیکنڈ میں پار کرتی ہے۔ یہ بنیادی ٹیکنالوجی میڈیم بدلتے وقت نہایت مختصر صدمی محاذ ختم کر کے ابتدائی ہوائی حرکی اثر کا زمانی نقش بدل دیتی ہے۔
- گسی حرکی رکاوٹ مجموعی ہوائی حرکی قوتیں کم نہیں کرتی، بلکہ صدمی بوجھ کو مائیکرو سیکنڈ سے ملی سیکنڈ کے دورانیے میں پھیلاتی ہے۔ یوں شٹل کے ڈھانچے میں مقامی تناؤ، ارتعاش اور حرارتی صدمہ فیصلہ کن حد تک کم ہوتے ہیں۔
- شٹل گزرتے ہی میکانیکی دروازہ کھلتا ہے؛ پھر جیٹ حلقے فوراً بند کر دیے جاتے ہیں۔

5.4. فضا کو عبور کرنا

شٹل بیلسٹک راستے پر اپنی جڑتی کمیت اور مضبوط ساخت استعمال کر کے فضا کی کثیف تہیں پار کرتی ہے۔ حرارتی اور حرکی بوجھ پہلے 10-20 سیکنڈ میں عروج پر ہوتے ہیں۔

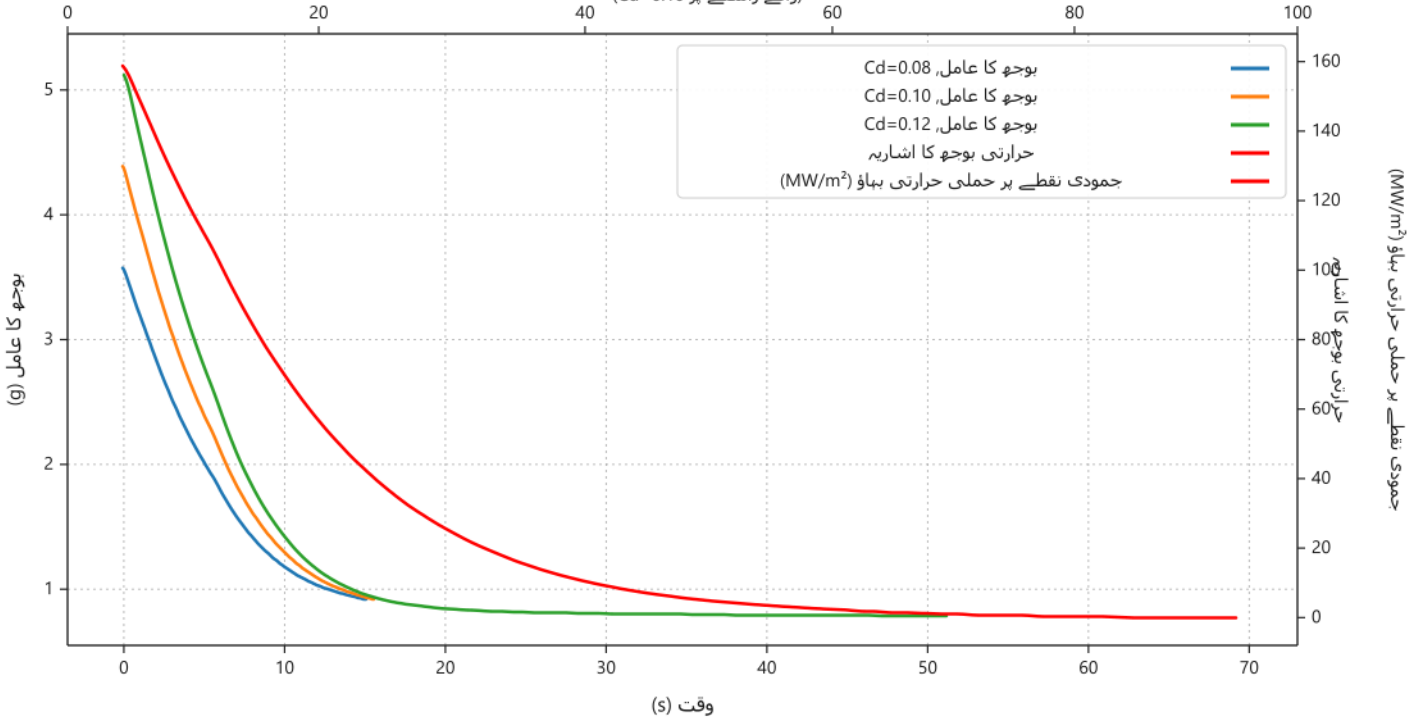
- اہم وضاحت: گسی حرکی رکاوٹ کا علاقہ چھوڑتے ہی شٹل مقررہ ~3,400 میٹر بلندی پر معمول کی فضا سے مکمل تعامل کرتی ہے۔ راستے، حرارتی بہاؤ اور بوجھ کے تمام حساب فضا سے مکمل ہوائی حرکی تعامل پر مبنی ہیں؛ کسی "گیسی ڈھال"، "راستہ نما نالی" یا شٹل کے ساتھ چلنے والے تنک حجم کا مفروضہ نہیں لیا جاتا۔

وقت اور بلندی کے ساتھ میکانیکی اور حرارتی بوجھ StarRoad:

(ہوائی حرکیاتی مزاحمت کا عدد ہے $Cd = 0.08, 0.10, 0.12$)

سطح سمندر سے بلندی (km)

(والے راستے پر $Cd=0.10$)



5.5. خلا میں داخلہ اور مداری عمل

فضا سے نکلنے کے بعد حرارت خارج کرنے کے لیے ریڈی ایٹر کھولے جاتے ہیں۔ پھر شٹل باریک راستہ درست کرنے اور ہدفی مدار تک پہنچنے کے لیے جہازی برقی مقناطیسی پلازما انجن چلاتی ہے۔ اکثر براہ راست ارض ساکن مدار سے آگے یا Lagrange نقاط کی طرف۔ اس کے بعد مفید بار نصب کیا جاتا ہے۔ AstroLiner-S ترتیب میں حتمی مداری ادخال اور مدار کی درستی کیمیائی دھکیلی نظام سے ہوتی ہے۔

5.6. مدار سے خروج اور واپسی

مکمل AstroLiner نسخہ مدار چھوڑنے کے لیے برقی مقناطیسی پلازما انجن استعمال کرتا ہے۔ AstroLiner-S ترتیب میں مدار چھوڑنے کی رفتار گھٹانا، درستیاں اور آخری تدابیر کیمیائی دھکیلی نظام انجام دیتا ہے۔

5.7. سمندر میں اترنا

Gabon کے قریب بحر اوقیانوس کے اوپر رفتار کم کرنے کے لیے بریک پیراشوٹ نظام کھولا جاتا ہے۔ شٹل کم زاویہ حمل کے ساتھ اپنے مضبوط زیریں حصے پر پانی میں اترتی ہے؛ یہ حصہ گرم سطح کے ٹھنڈے پانی سے رابطے کے لیے بنایا گیا ہے۔ پانی پر اترنے کے بعد پروپیلر یا آبی جیٹ کھولے جاتے ہیں۔

5.8. کھینچ کر لانا اور دیکھ بھال

جہازی ری ایکٹر سے چلنے والے اپنے انجن—یا شٹل نظام ناکام ہو تو تیار کھڑے ٹگ—گاڑی کو معائنے، دیکھ بھال، حرارتی تحفظ کی مرمت اور اگلی پرواز کی تیاری کے لیے بندرگاہی مرکز لے جاتے ہیں۔ AstroLiner-S ترتیب میں بیٹریاں، معاون توانائی یونٹ یا تیار ٹگ بندرگاہ واپسی یقینی بناتے ہیں۔

6. نفاذ، نظام الاوقات، تقاضے اور صنعتی مراکز

6.1. منصوبے کے مراحل

StarRoad کا عمل درآمد ایسی مرحلہ وار ترتیب کے طور پر بنایا گیا ہے جس کے مراحل فنی طور پر باہم مربوط اور معاشی طور پر مدلل ہیں۔ ہر مرحلے کے واضح اہداف اور کامیابی کے معیار ہیں، اور وہ اگلے مرحلے کے لیے بنیادی ڈھانچا بناتا ہے تاکہ فنی اور مالی خطرات کم رہیں۔

6.1.1. مرحلہ 0: تصور اور آزمائشیں (2–5 سال)

- مقصد: طبیعی اصولوں کی تصدیق، تجربہ گاہ میں اہم ٹیکنالوجیوں کی تیاری، اور آئندہ انجینئرنگ کے لیے بنیاد قائم کرنا۔
- بنیادی کام

1. تمام عملوں کی تفصیلی ریاضیاتی اور CFD نمونہ سازی: تعجیل، پورٹل کا عمل، اور ہوائی حرکی جھٹکا۔

2. بین الاقوامی اتحاد کی تشکیل اور ابتدائی سیاسی و قانونی معاہدے۔

3. پورے راستے کا ارضیاتی اور ماحولیاتی سروے۔

4. مرکزی مقام سے باہر تحقیقی آزمائشی مراکز کا قیام:

فوق موصل مقناطیسی معلق کے مائٹیل اور نبضی بجلی نظاموں کی تختہ آزمائش پر جانچ؛

مستحکم تدریجی رکاوٹ بننے کی تصدیق کے لیے گیس حرکی پورٹل کا 1:10 پیمانے کا نمونہ بنانا اور آزمانا؛

خلا نظاموں، ہلکی آزمائشی اجسام کی مقناطیسی سرعت اور حفاظتی نظاموں کے انضمام کی توثیق کے لیے 1–2 کلومیٹر طویل مختصر خلا دار نمائشی سرنگ کی کھدائی۔

- کامیابی کا معیار: دروازہ رابداری، معلق اور استحکام کے بنیادی حلوں کی عمل پذیری ثابت کرنے والے تجرباتی اعداد، اور مرحلہ 1 کے تفصیلی انجینئرنگ ڈیزائن کی تیاری۔

6.1.2. مرحلہ 1: بنیادی ڈھانچہ اور توانائی کی بنیاد (5–7 سال)

- مقصد: منصوبے کی 'توانائی ریڑھ' قائم کرنا اور حقیقی زمینی حالات میں روبوٹی تعمیر تیار کرنا۔

- بنیادی کام

1. 2 میٹر قطر کے معیاری روبوٹک سرنگ کھودنے والے نظاموں کی چھوٹے پیمانے پر مسلسل پیداوار۔

2. ابتدائی حرارتی استحکام چکر بنانے کے لیے ارضی حرارتی خودکار حرارتی توانائی نظام کی مرکزی جمع کنندہ سرنگوں کی پہلی جوڑی پورے راستے (تقریباً 2,050 کلومیٹر) میں متوازی کھودنا۔

3. راستے کے اہم مقامات پر براہ راست فضائی گرفت (DAC) سے حاصل شدہ فوق تنقیدی CO₂ استعمال کرنے والے پہلے ارضی حرارتی بجلی گھر بنانا۔

4. جمع کاروں کے اوپر چھوٹے قطر کی آزمائشی نمونہ سرنگ—D=2 میٹر، L=2,050 کلومیٹر—کھودنا اور اسے بنیادی خلا، مواصلاتی اور سروس نظاموں سے لیس کرنا۔

- کامیابی کا معیار: خود مختار ارضی حرارتی توانائی نظام کا کم سے کم خاکہ مکمل طور پر فعال اور توانائی میں خود کفیل ہو؛ نیز رفتار روبوٹی کھدائی ثابت ہو اور آئندہ توسیع کی بنیاد بنے۔

6.1.3. مرحلہ 2: چھوٹے پیمانے پر توثیق ('سائنسی اور آلاتی مجموعہ' درجہ) (4-6 سال)

○ مقصد: حقیقی رفتاروں پر نظاموں کے تال میل اور تحفظ کی جانچ اور منفرد تجرباتی معلومات کا حصول۔

○ بنیادی کام

1. چھوٹی آزمائشی سرنگ میں کئی ٹن تک کے غیر عامل آزمائشی اجسام کو 1-11 کلومیٹر/سیکنڈ تک تیز اور سست کرنا۔
 2. ایک چھوٹی تجرباتی شٹل گزار کر 1:5 گیس حرکی دروازہ راہداری نمونے کی مکمل پیمائش پر آزمائش۔
 3. مختلف ساخت اور حرارتی حفاظت والے آزمائشی اجسام کا پرتاب کر کے فرضیہ 'قصوری ضربہ کار' کی تجرباتی جانچ اور تعجیلی بوجھ و حرارتی بہاؤ کی پیمائش۔
 4. فوق موصل مقناطیس اور حرارتی ذخائر سمیت مکمل جسامت کی شٹل کے بنیادی نظاموں کا تفصیلی ڈیزائن اور نمونہ سازی شروع کرنا۔
- کامیابی کا معیار: تمام ہم وقتی نظام مستحکم اور محفوظ چلیں؛ گیس حرکی پورٹل کی افادیت ثابت ہو؛ تجربہ ثابت کرے کہ کمیت بڑھنے سے فی اکائی بوجھ کم ہوتا ہے؛ شٹل کا ابتدائی نقشہ مکمل ہو۔

6.1.4. مرحلہ 3: مکمل فعال حصہ اور شٹل نمونہ (4-7 سال)

○ مقصد: ایک خاصے طویل حصے پر آخری ساخت کے نظاموں کو جوڑنا اور آزمانا، اور پروازی نمونہ بنانا۔

○ بنیادی کام

1. مرکزی سرعت دہی سرنگ کا 50-200 کلومیٹر طویل مکمل فعال حصہ، آخری 17.5 × 12.5 میٹر مقطع کے ساتھ، تمام پیچوں، توانائی ذخائر اور خدماتی سرنگ سمیت تعمیر کرنا۔
 2. اس حصے کے نیچے ارضی حرارتی نظام کو مکمل سات سرنگی ساخت تک پھیلانا۔
 3. بغیر محرک نظام کے مکمل حجم کا شٹل نمونہ بنانا اور زمین پر اس کے سرد حرارتی نظام، ساختی مضبوطی اور حرارتی حفاظت کی جامع جانچ۔
 4. مربوط سرنگ آزمائشیں: شٹل نمائندہ کمیتوں کو 8g تک بوجھ اور تقریباً 4 کلومیٹر فی سیکنڈ تک رفتار پر تیز اور سست کرنا۔ تمام ہنگامی طریقوں (انتباہ 1-3) کی توثیق۔
 5. مکمل فعال AstroLiner کے لیے مختصر جسامت کا جہاز پر نصب جوہری ری ایکٹر تیار کرنا، زمینی آزمائش کرنا اور سند حاصل کرنا۔
- کامیابی کا معیار: سنگین نقصان کے بغیر تعجیل اور ہنگامی توقف کے کئی چکر مکمل ہوں؛ توانائی واپسی کی افادیت ثابت ہو؛ پروازی شٹل اور ری ایکٹر آخری اتصال کے لیے تیار ہوں۔

6.1.5. مرحلہ 4: لمبائی بڑھانا اور عمل شروع کرنا (10-15 سال)

○ مقصد: پہلی لائن مکمل کرنا، شٹل کو جوڑنا اور عملی رفتار حاصل کرنا۔

○ بنیادی کام

1. بہت سی سرنگ کھودنے والی مشینیں متوازی چلا کر تعجیلی سرنگ کو مرحلہ وار اس کی 2,050 کلومیٹر نقشہ شدہ لمبائی تک بڑھانا۔
 2. پورے راستے میں ارضی حرارتی بنیادی ڈھانچے اور نبضی توانائی ذخیرہ کاروں کو پھیلانا۔
 3. کوہ موہی پر بلند مقام کے فضائی پورٹل کا حتمی کمپلیکس بنانا۔
 4. شٹل کے اندرونی نظام جوڑنا اور زمین و سرنگ میں کم رفتار آزمائشیں کرنا۔
 5. رفتار اور کمیت کو بتدریج بڑھاتے ہوئے اڑانیں، یہاں تک کہ 15,000 ٹن اور تقریباً 11 کلومیٹر فی سیکنڈ کے ڈیزائن پیمانے حاصل ہوں۔
- کامیابی کا معیار: شٹل کا پہلا کامیاب ہائپر سونک پرتاب بار کو ہدف مدار میں پہنچائے؛ ماہانہ ایک یا دو پرتابوں کی طے شدہ شرح حاصل ہو۔

6.1.6. مرحلہ 5: توسیع اور صنعتی عمل (مسلسل)

○ مقصد: StarRoad کو مسلسل پھیلتے عالمی بنیادی ڈھانچے میں بدلنا۔

○ بنیادی کام

1. پہلی لائن چلانا اور بار چڑھانے، سروس اور واپسی کے رسدی چکر بہتر بنانا۔

2. باربرداری بڑھانے کے لیے دوسری اور بعد کی متوازی لائنوں کی تعمیر شروع کرنا۔

3. منصوبے کے صنعتی مراکز کو بنیاد بنا کر مداری جہاز سازی اور عمل کاری کی تنصیبات قائم کرنا۔

4. لوگوں اور خاص بار کے لیے چھوٹے سرعت دہندوں پر مشتمل 'شاخوں' کا جال بنانا۔

○ کامیابی کا معیار: مدار تک ترسیل کی لاگت \$10/کلوگرام سے کم ہو؛ روزانہ پرتاب ہوں؛ اگلی مرکزی لائنوں کا منظور شدہ منصوبہ موجود ہو اور تعمیر شروع ہو چکی ہو۔

6.2. صنعتی مراکز

○ ساحلی مجموعہ (دریائے نیانگا کا دبانہ، گیبون): شٹل سازی، سرنگ کے ابتدائی حصوں کے ماڈیول کی پیداوار اور شٹل دیکھ بھال کی مرکزی بندرگاہ۔

○ بلند مقام کا مجموعہ (پہاڑ موبی اور جنوبی سطح مرتفع، جمہوریہ کانگو): تیز رفتار حصوں اور آخری S-خم کے ماڈیول کی پیداوار، نیز دروازہ رابداری کے نظام کی جوڑائی اور دیکھ بھال۔ مقام پر تین راستوں والا ہائیڈروجن برق پاشی اور ذخیرہ نظام ہوگا؛ ہنگامی حالت میں بھی ہر راستہ اکیلا دروازہ رابداری کی گیس حرکی رکاوٹ کے تینوں انجن حلقوں کو ایندھن دے سکتا ہے۔ برق پاشی کی توانائی منصوبے کے گرڈ سے جڑے مقامی ارضی حرارتی خودکار حرارتی توانائی نظام، پن بجلی، شمسی اور جوہری ذرائع سے ملے گی۔

6.3. مجموعی مدت

منصوبے کو بہت سی ترقی یافتہ مگر اس وقت قابل عمل ٹیکنالوجی اور انجینئرنگ حل، متوازی کام کرنے والی متعدد سرنگ کھودنے والی مشینیں، بنیادی ڈھانچے کی تنصیب اور دو پیداواری مراکز درکار ہیں۔ اس لیے مرحلہ 0 کے آغاز سے مرحلہ 4 کی پہلی تجارتی اڑان تک پہلی سرنگ کے نفاذ میں تقریباً 25-40 سال لگیں گے۔ یہ ITER اور LIGO جیسے دوسرے عظیم سائنسی منصوبوں کے وقت کے برابر ہے۔ ان حالات میں ترقی بنیادی تکنیکی عمل پذیری سے زیادہ مالی وسائل اور سفارتی و قانونی ہم آہنگی پر منحصر ہے۔ کام بلند ہمت ہے مگر عالمی اتحاد اسے ممکن بنا سکتا ہے۔

7. زیر حل مسائل اور کام

7.1. عالمی حد سے زیادہ حدت

حرارتی آلودگی اور زمین کے حیاتی کرہ پر دباؤ گھٹانے کے لیے کثیر توانائی استعمال کرنے والی صنعتیں خلا میں منتقل کرنا۔

7.2. معاشی کام

خلا تک رسائی کی لاگت اتنی گھٹانا کہ شمسی توانائی، سیارچے، قمری اور آخر سیاروی وسائل معاشی بنیں۔

7.3. حکمت عملی مقصد

مداری صنعت کاری اور سیاروی دفاع کے لیے مضبوط، موسم سے آزاد اٹھان نظام بنانا۔

7.4. ٹیکنالوجی محرک

منصوبہ ضربی توانائی، فوق موصلیت، فوق صوتی ٹیکنالوجی، جوہری دھکیل اور روبوٹ سرنگ سازی میں پیش رفت تیز کرے گا۔

7.5. توانائی اور حرارت میں خود مختاری

خود مختار ارضی حرارتی توانائی نظام (خود مختار ارضی حرارتی نظام) دونوں ضرورتیں ایک ساتھ پوری کرتا ہے۔ یہ تقریباً 15 GW تک مسلسل برقی طاقت پیدا کرتا، سرعت دہندہ کی پوری طلب پوری کر کے تجارتی فاضل دیتا، اور ساتھ ہی مرکزی سرنگ کے گرد قابل پیش گوئی سرد ماحول برقرار رکھتا ہے۔ اس طرح گہری، ارضی حرارتی طور پر فعال چٹانوں میں تعمیر و عمل ممکن ہوتا اور غیر محفوظ بیرونی پیداوار و غیر یقینی موسم پر انحصار ختم ہو جاتا ہے۔

7.6. کاربن نقش

StarRoad فعال ماحولیاتی خدمت کا نمونہ ہے۔ یہ دنیا کا سب سے بڑا ساکن فضائی CO₂ صارف ہے؛ فوق تنقیدی گیس بند ارضی دور کا مستقل سیال ہے۔ لاکھوں ٹن CO₂ فضائی چکر سے نکال کر صدیوں فنی دور میں بند ہوتی ہے۔ StarRoad پوری صنعتوں کے اخراج کی تلافی کرنے والا طاقتور موسمی انجینیئرنگ آلہ بنتا ہے۔

7.7. آب حرارتی مرکزی نہر کی سماجی اور ماحولیاتی صلاحیت

آبی حرارتی مرکزی نہر صرف ٹھنڈک نہیں، علاقائی فائدے کا دوہرا بین براعظمی ڈھانچہ ہے:

- آبپاشی۔ موڑ دروازے نہر کا پانی راستے کی زمین کو دے کر خشک علاقوں کو افریقہ کی 'سبز پٹی' بناتے ہیں۔
- قدرتی بھراؤ۔ بار بار استوائی بارش نہر خود بھرتی ہے۔
- حرارتی پانی کی صفائی۔ ارضی حرارتی مبدل اس کا درجہ $+60^{\circ}\text{C}$ تک بڑھا دیں تو پانی عملاً جراثیم سے پاک ہو جاتا اور محفوظ آب پاشی، صنعتی استعمال، اور چھاننے کے بعد گھریلو و پینے کے لیے موزوں ہوتا ہے۔
- ثقلی بہاؤ۔ قدرتی ڈھلوان، مشرق 3,400 میٹر سے مغرب 0، پانی پمپ کے بغیر چلاتی اور مفت گردش دیتی ہے۔
- چھوٹی آبی بجلی۔ بلندی فرق پر مراکز کا سلسلہ مقامی نیٹ ورک اور خود کفالت کے لیے اضافی قابل تجدید توانائی دیتا ہے۔
- یوں StarRoad نقل کے ساتھ علاقائی پائیدار ترقی میں زرعی-توانائی پلیٹ فارم بھی ہے۔

7.8. توانائی جال

ارضی حرارتی نظام اور بجلی گھر معجل کے ساتھ شہروں، صنعتوں اور کھیتوں کو فاضل 'سبز' توانائی دیتے ہیں۔

7.9. اقتصادی شریان کے طور پر StarRoad

ایک طرف StarRoad نظام شمسی کی ترقی کا سیاروی مال گیٹ وے، دوسری طرف افریقہ کی مرکزی اقتصادی شریان اور صنعت کاری، توانائی خود مختاری و غذائی تحفظ کا محرک بنتی ہے۔ یہ زیر زمین کہیں نہ جانے والی الگ تعمیر نہیں۔ سطحی ڈھانچہ—40 ٹرمینل، گیبون اور جمہوریہ کانگو کے دو صنعتی مرکز، آبی حرارتی مرکزی نہر اور سڑک جال—وسطی افریقہ کو مغرب سے مشرق کاٹتا خطی پائیدار ترقی مجموعہ بناتا ہے۔ 2,050 کلومیٹر میں ماحول، ٹیکنالوجی اور زراعت کا باری باری منظر اور خود کفیل اقتصادی علاقہ بنتا ہے جہاں:

- ارضی حرارت، چھوٹی پن بجلی اور شمسی ذرائع سے توانائی بنتی ہے؛
- آب پاشی سے غذا اگتی ہے؛
- شٹل اجزاء، سرنگ ماڈیول اور آلات سمیت صنعتی اشیا بنتی ہیں؛
- سڑک اور ریل سے سامان چلتا ہے؛
- پرتابی مجموعے اور فضائی گیٹ وے والی خلائی بندرگاہ چلتی ہے؛
- براہ راست ہوائی گرفت مراکز فضا سے CO_2 نکالتے ہیں۔

7.10. اہم بنیادی ڈھانچے کا تحفظ

منصوبے میں ابتدا ہی سے بڑی مقدار میں ہائیڈروجن، فوق صوتی رفتار، اور گیگاواٹ سطح کی توانائی کو محفوظ طریقے سے سنبھالنے کے انتظامات شامل ہیں۔ غیر فعال تحفظ کو فعال نگرانی اور خودکار ردعمل سے ملایا جاتا ہے، جو بڑے توانائی مراکز اور ہائیڈروجن نظاموں کے لیے تحفظ کا نیا معیار قائم کرتا ہے۔

7.11. مقام کا انتخاب اور توسیع کی صلاحیت

پورٹل کے مقام کو بلندی، رسد، تحفظ، توسیع کی صلاحیت اور قانون سمیت درجنوں باہم متصادم تقاضے پورے کرنا ہوتے ہیں۔ کوہ موہی اور ملحقہ سطح مرتفع StarRoad کو ایک مختصر بلند مقام سے شروع کر کے جگہ بدلے بغیر دنیا کی سب سے بڑی خلائی بندرگاہ بننے دیتے ہیں۔

7.12. بین براعظمی منصوبے کی سیاسی و قانونی ہم آہنگی

تین ملکوں سے راستہ CERN اور ITER جیسے بین الاقوامی اتحاد کے نمونے سے حل ہوگا۔ ارضی حرارت کے خود مختار حرارتی توانائی نظام کے زیر زمین ڈھانچے اور توانائی اثاثوں کو خاص قانونی درجہ اور فائدوں کی واضح تقسیم ملے گی۔ منصوبہ سیاسی استحکام فرض کرنے والا بوجھ نہیں؛ باہمی انحصار اور مستقبل و تعمیری ٹیکنالوجی تک خصوصی رسائی سے استحکام بنانے اور قائم رکھنے کا بذاتِ خود قیمتی ذریعہ ہے۔

7.13. مال بہاؤ کی تدریجی بڑھوتری

مداری صنعت کے ساتھ شرح بڑھتی ہے: ماہانہ پیش رو مرحلہ ساز گاہیں بنانا، ہفتہ وار 1-3 کا صنعتی مرحلہ اثاثے بنانا، اور روزانہ کا پختہ مرحلہ خلائی معیشت کی سریع بڑھوتری قائم رکھتا ہے۔

8. بازار اور مداری رسد

یہ حصہ StarRoad کی معاشی عملیت کے مرکزی سوال کا جواب دیتا ہے: فوق بھاری درجے کی خلائی راہداری کو پوری طرح استعمال کرنے کے لیے کس چیز کو کافی مقدار میں روانہ کیا جا سکتا ہے؟ StarRoad نایاب، یک وقتی مہمات کا نظام نہیں۔ اس کا ہدف زمین اور بلند مداروں کے درمیان بڑے حجم، باقاعدہ اور صنعتی پیمانے کا مال بردار بہاؤ ہے۔

StarRoad کی ابتدائی مرکزی منڈی زیریں زمینی مدار کے مصنوعی سیاروں کے جھرمٹ یا الگ سائنسی جہاز نہیں، بلکہ وسیع مداری توانائی، حسابی بنیادی ڈھانچہ، بین مداری رسد، مداری آبادیاں، خلائی جہاز ساز گاہیں اور اس کے بعد ابھرنے والی ماورائے ارض صنعتیں ہیں۔

8.1. فوق بھاری درجے کے پرتابوں کی طلب کا مسئلہ

روایتی راکٹ معیشت صرف فی کلوگرام لاگت سے نہیں بلکہ خود پرتاب کی نوعیت سے بھی محدود ہے: راکٹ سامان چھوٹی الگ کھیپوں میں پہنچاتے ہیں، جن میں معاون کمیت کا بڑا حصہ، مدار میں پیچیدہ جوڑائی اور بہت سے الگ کام شامل ہوتے ہیں۔ اس لیے قیمت کم ہونے پر بھی راکٹ نقل و حمل مہماتی رسد رہتی ہے۔

StarRoad مختلف نوعیت کی منڈی بناتی ہے۔ مقصد آج کے بار کو محض سستا بھیجنا نہیں بلکہ ایسی باربرداری کو ممکن بنانا ہے جو راکٹ رسد میں کبھی معاشی نہیں بنتی۔

ان میں شامل ہیں:

- مکمل یا قریب بہ مکمل گیگاواٹ درجے کے خلائی شمسی بجلی گھر؛
- بڑے مداری ڈیٹا مراکز؛
- مائیکروویو بجلی ترسیل اکائیاں؛
- بڑے شہتیر ڈھانچے، حرارت خارج کرنے والے تختے، آئینے اور پینل؛
- مداری خلائی جہاز ساز گاہیں اور خودکار جوڑائی لائنیں؛
- EML4/5 کے رہائشی اور صنعتی ماڈیول؛
- بین مداری کھینچنے والے اور نقل و حمل کے جہاز؛
- ایندھن، توانائی اور خدماتی ماڈیول؛
- مستقبل کے سیارچوی اور بین سیاروی بنیادی ڈھانچے کے اجزا۔

لہذا StarRoad موجودہ خلائی پرتاب کی منڈی پر منحصر نہیں۔ جس طرح ریل، کنٹینر جہاز رانی اور بجلی کے جال نے صرف موجودہ طلب پوری نہیں کی بلکہ اپنے گرد نئی معیشتیں بنائیں، اسی طرح StarRoad نئی منڈی بناتی ہے۔

8.2. ابتدائی منڈی: خلائی شمسی توانائی اور مداری ڈیٹا مراکز

پہلے مرحلے میں StarRoad کا مرکزی تجارتی اور حکمت عملی بار گیگاواٹ درجے کے خلائی شمسی بجلی گھر ہونے چاہییں۔ یہ بڑے، مکمل یا جزوی طور پر خود کھانے والے توانائی پلیٹ فارم ہیں جنہیں AstroLiner-S براہ راست ہدف مدار یا عملی مقام تک پہنچاتا ہے۔

خلائی شمسی بجلی گھر ایک ساتھ کئی ضروریات پوری کرتے ہیں:

- فوق بھاری درجے کے پرتابوں کے لیے بڑے حجم کی مسلسل طلب پیدا کرتے ہیں؛
- دن رات کے چکر اور بیشتر موسم سے آزاد توانائی منڈی بناتے ہیں؛
- نئی پیداواری صلاحیت کا بڑا حصہ زمین کی سطح سے باہر رکھنے دیتے ہیں؛
- مداری صنعت کو توانائی دینے کی بنیاد فراہم کرتے ہیں؛
- مداری رسد، جہاز ساز گاہیں اور خدماتی آبادیاں بنانے کا معاشی سبب پیدا کرتے ہیں۔

زمین کے مدار میں شمسی مستقل تقریباً $1,361.6 \text{ W/m}^2$ ہے۔ اس لیے ایک گیگاواٹ پڑنے والی دھوپ کے لیے مکمل درست رخ والا وصولی رقبہ تقریباً 0.74 km^2 ہے۔ 25-35% ضیائی برقی کارکردگی، تبدیلی و ترسیل کے نقصانات، ساختی خلا، حرارت خارج کرنے والے نظام، برقیات، اضافی گنجائش اور زوال کو شامل کریں تو 1 GW قابل استعمال بجلی کا حقیقی رقبہ کئی مربع کلومیٹر بنتا ہے۔ روایتی خلائی جہاز کے لحاظ سے یہ بڑا، مگر StarRoad کے لیے فطری ہے جہاں کمیت، رقبہ اور ساختی ابعاد بنیادی رکاوٹ نہیں رہتے۔

8.2.1. گیگاواٹ درجے کی خلائی شمسی توانائی کے کمیتی موازنے

گیگاواٹ درجے کا بجلی گھر چھوٹا مصنوعی سیارہ نہیں۔ خوش بین جدید خاکوں میں بھی 2 GW مرکز کی کمیت کئی ہزار ٹن ہے۔ CASSIOPEIA جیسے ہلکے تصور کا اندازہ تقریباً 2,000 ٹن، جبکہ محتاط NASA مطالعات میں برابر 2 GW نظام 5,900–10,000 ٹن ہے۔

StarRoad سے تعلق	کمیت	طاقت	منصوبہ / مطالعہ
StarRoad کے لیے سب سے موزوں مثال: GEO/GSO، 99.7% پیداواری عامل، ایک مصنوعی سیارہ-ایک درست کنندہ اینٹینا (ریکٹینا) ترتیب، اور بہترین صورت میں تقریباً 1 MW/t مخصوص طاقت۔	تقریباً 2,000 ٹن	گرڈ کو زیادہ سے زیادہ 2 GW	CASSIOPEIA / Space / Energy Initiative Frazer-Nash

StarRoad سے تعلق	کمیت	طاقت	منصوبہ / مطالعہ
زیادہ محتاط اندازہ NASA نظام کو گرڈ پر GW 2 کے مطابق معمول بناتا ہے؛ RD1 کے شمسی پینل تقریباً 11.5 km^2 ہیں۔	تقریباً 5,900 ٹن	گرڈ کو GW 2	/ NASA 2024 RD1 Innovative Heliostat Swarm
NASA تقریباً ایک کروڑ کلوگرام کمیت اور 19 km^2 شمسی پینل رقبہ بتاتا ہے۔ RD2 کم وقت پیداوار دیتا ہے، اس لیے ایک RD1 جتنی توانائی کے لیے پانچ RD2 درکار ہیں۔	تقریباً 10,000 ٹن	گرڈ کو GW 2، مگر کئی نظاموں سے	/ NASA 2024 RD2 Mature Planar Array
بھاری مثال۔ اوسط GW 2 تک سادہ نسبت تقریباً 50,000 + ٹن دیتی ہے، یعنی ایک پرتاب نہیں بلکہ کئی سفر اور مداری جوڑائی۔	فی نظام تقریباً 20,000 ٹن	اوسط GW 0.75 / زیادہ سے زیادہ 1.2 GW	JAXA / Sasaki Tethered-SPS
160 g/m^2 اور مجموعی 7-14% کارکردگی کا یہ اندازہ صرف فعال تہ کا ہے۔ مکمل مرکز کو ڈھانچہ، بجلی ترسیل، رخ کنٹرول، حرارت اخراج، تاریں، برقیات، دیکھ بھال اور ذخیرہ بھی چاہیے۔	صرف فعال تہ، زمین پر GW 2 کے لیے نظری طور پر تقریباً 3,400-1,700 ٹن	مکمل GW 2 مرکز نہیں بلکہ ٹیکنالوجی اکائی	Caltech SSPP / ہلکی معیاری ٹائل

جدول کا مرکزی نتیجہ یہ ہے: 2,000-10,000 ٹن کا GW 2 خلائی شمسی بجلی گھر AstroLiner کے کردار میں تقریباً بالکل آتا ہے۔ StarRoad میں یہ ایک فوق بھاری درجے کا پرتاب یا کم مداری جوڑائی والے چند سفر ہیں۔ راکٹ رسد میں درجنوں یا سیکڑوں فوق بھاری راکٹ، دوبارہ ایندھن بھرنے کی زنجیر، مداری جوڑائی، GEO یا EML تک کھینچائی اور بہت زیادہ عملی پیچیدگی درکار ہوگی۔

8.2.2 ایک GW 2 خلائی شمسی بجلی گھر کی توانائی پیداوار

بنیادی مفروضے:

○ گرڈ کو دی گئی طاقت: GW 2؛

○ دستیابی / پیداواری عامل: 99.7%؛

○ ڈیزائن عمر: 30 سال؛

ایک مرکز پیدا کرتا ہے:

○ سالانہ تقریباً 17.47 TWh؛

○ 30 سال میں تقریباً 524 TWh۔

اس سے فی کلوگرام نقل و حمل کی لاگت بنیادی اہمیت اختیار کرتی ہے۔ راکٹ رسد میں پرتاب مرکزی رکاوٹ رہتا ہے؛ StarRoad میں نقل کا حصہ مستقبل کی توانائی قیمت کا جلد معمولی جز رہ جاتا ہے۔

8.2.3 خلائی شمسی توانائی کی لاگت میں نقل کا حصہ

ذیل کا حساب صرف ہموار شدہ توانائی لاگت کے نقل والے حصے کا ہے: مرکز پہنچانے کی لاگت کو 30 سال کی کل پیداوار پر تقسیم کیا گیا ہے۔ مرکز سازی، ریکٹینا، دیکھ بھال، بیمہ، ماڈیول تبدیلی، زمینی بنیادی ڈھانچہ اور منتظم کا منافع شامل نہیں۔
کلیہ:

LCOE میں نقل کا حصہ = مرکز کی کمیت × پہنچانے کی لاگت / پوری عمر کی توانائی پیداوار

99.7% دستیابی اور 30 سال عمر والے GW 2 مرکز کی کل پیداوار تقریباً 524 ارب kWh ہے۔

مرحلہ / نقل و حمل کا نظام	پہنچانے کی لاگت	CASSIOPEIA جیسا مرکز، 2,000 ٹن، kWh/¢	NASA RD1، 5,900 kWh/¢ ٹن	NASA RD2، 10,000 kWh/¢ ٹن
موجودہ راکٹ رسد، GTO کا کم حوالہ	3,600\$ kg/5,600	2,14-1,37	6,31-4,05	10,69-6,87
StarRoad، سال 1-2	kg/120-80\$	0,0458-0,0305	0,1351-0,0901	0,2290-0,1527
StarRoad، سال 3-5	kg/50-30\$	0,0191-0,0114	0,0563-0,0338	0,0954-0,0572
StarRoad، سال 6-10	kg/20-10\$	0,0076-0,0038	0,0225-0,0113	0,0382-0,0191
StarRoad، سال 11-15	kg/8-3\$	0,0031-0,0011	0,0090-0,0034	0,0153-0,0057

مرحلہ / نقل و حمل کا نظام	پہنچانے کی لاگت	CASSIOPEiA جیسا مرکز، 2,000 ٹن، kWh/¢	NASA RD1: 5,900 kWh/¢ ٹن،	NASA RD2: 10,000 kWh/¢ ٹن،
StarRoad، سال 25-16	kg/3-0.8\$	0,0011-0,0003	0,0034-0,0009	0,0057-0,0015
StarRoad، سال 26+	kg/1-0.3\$	0,0004-0,0001	0,0011-0,0003	0,0019-0,0006

موازنے میں جدید نئے زمینی ذرائع کی LCOE فی kWh کئی سینٹ ہے: خشکی کی ہوا تقریباً 3-4 kWh/¢، بڑے شمسی پلانٹ 4-5 kWh/¢ اور پن بجلی 5-6 kWh/¢۔ 2050 کے زمینی متبادل کا NASA اندازہ تقریباً 2-5 kWh/¢ ہے۔

اہم نتیجہ یہ ہے کہ آزمائشی دور میں بھی StarRoad کا نقل والا حصہ زمینی LCOE سے ایک درجہ کم اور پختہ مرحلے میں قیمت کے بنیادی عامل کے طور پر تقریباً غائب ہے۔ اس کا مطلب یہ نہیں کہ کل لاگت سینٹ کے ہزاروں حصے تک ہوگی؛ مرکز و ریگٹینا کی تیاری، خدمت، برقیات، حرارت اخراج، مادیوں تبدیلی، بیمہ اور منافع باقی ہیں۔ StarRoad وہ خاص رکاوٹ دور کرتی ہے جو راکٹ رسد میں خلائی شمسی توانائی کو مہنگا بناتی ہے۔

آج کے راکٹ منظرنامے میں حقیقت \$3,600-5,600/kg کے سادہ عدد سے بدتر ہے۔ بڑے مرکز کو مدار میں پہنچانے کے علاوہ عملی مقام تک لے جانا، جوڑنا اور سنبھالنا، کھینچنے والے جہازوں میں ایندھن بھرنا اور ڈھانچہ قائم رکھنا ہوتا ہے۔ اس لیے NASA کی بنیادی RD1، LCOE کے لیے تقریباً 61 kWh/¢ اور RD2 کے لیے 159 kWh/¢ ہے۔ StarRoad صرف پرتاب سستا نہیں کرتی؛ ہزاروں راکٹ کارروائیوں کو ایک یا چند فوق بھاری درجے کے بنیادی ڈھانچے کے سفروں سے بدل کر مسئلے کی نوعیت بدلتی ہے۔

8.2.4. دوسری ابتدائی منڈی: مداری ڈیٹا مراکز

مداری ڈیٹا مراکز دوسری ابتدائی منڈی بن سکتے ہیں۔ مصنوعی ذہانت، کلاؤڈ کمپیوٹنگ اور رقمی ڈھانچے کی بڑھوتری ڈیٹا مراکز کو عالمی توانائی طلب کا اہم حصہ بنا رہی ہے۔ IEA کے مطابق وہ پہلے ہی سالانہ سیکڑوں TWh لیتے ہیں اور اگلی دہائی میں تقریباً 1,000 TWh سالانہ تک پہنچ سکتے ہیں۔

حسابی بنیادی ڈھانچے کا کچھ حصہ خلائی شمسی مراکز کے پاس رکھنے کے فوائد:

- مسلسل مداری پیداوار تک براہ راست رسائی؛
- زمینی بجلی کے جال پر کم دباؤ؛
- خلا میں بڑے حرارت اخراجی میدان بنانے کی صلاحیت؛
- زمین، پانی اور گرڈ صلاحیت جیسی مقامی پابندیوں پر کم انحصار؛
- شمسی مراکز کے ساتھ توانائی، مواصلات اور خدمت کا اشتراک۔

ابتدائی مرحلے میں مداری بجلی گھر اور ڈیٹا مراکز الگ پلیٹ فارم یا مشترک توانائی و حسابی مجموعے کی صورت میں بھیجے جا سکتے ہیں، جن میں شمسی مرکز، برقیات، حرارت خارج کرنے والے پینل، حسابی مادیوں، مواصلاتی اینٹینا اور مائیکروویو ترسیلی دورہ ہو۔

8.3. خلائی شمسی توانائی کی ماحولیاتی اور صنعتی منطق

خلائی شمسی بجلی گھروں کو محض 'سبز' ٹیکنالوجی کہنا درست نہیں۔ ان کا کردار کہیں وسیع ہے: یہ آرام کم یا استعمال محدود کر کے نہیں، بلکہ زیادہ طاقت ور توانائی نظام بنا کر کاربن پر مبنی پیداوار کی جگہ لے سکتے ہیں۔

روایتی ماحولیاتی پالیسی کو اکثر ایسے سمجھا جاتا ہے جیسے اخراج کم کرنے کے لیے معاشرے کو آسائش قربان کرنا ہو۔ StarRoad دوسرا راستہ پیش کرتا ہے: تہذیب کی صلاحیت گھٹانے کے بجائے بیشتر نئی پیداوار خلا میں رکھی جائے اور بجلی کے شعبے کا کاربن اخراج بڑھائے بغیر دستیاب توانائی بڑھائی جائے۔

اس نمونے میں صنعتی وسیلے کے طور پر ہائیڈروکاربن کا خاتمہ ضروری نہیں۔ انہیں بڑے پیمانے کی بجلی اور حرارت کی پیداوار سے بتدریج نکال کر کیمیا، مواد، کاربن مرکبات، مصنوعی مصنوعات، اور ان پیداواری زنجیروں میں رکھا جا سکتا ہے جہاں کاربن ایندھن نہیں خام مال ہو۔

آج کی کاربن توانائی صنعتوں کے لیے یہ صرف خطرہ نہیں بلکہ منتقلی کا راستہ بھی ہے۔ تیل، گیس اور کوئلے کے بنیادی ڈھانچے سے وابستہ کمپنیوں، ریاستوں اور فنڈز کو خلائی شمسی توانائی، مداری توانائی، ہائیڈروکاربن کیمیا اور کاربن مواد میں ترجیحی سرمایہ کاری کے مواقع دیے جا سکتے ہیں۔ تب StarRoad قائم توانائی صنعتوں کا محض حریف نہیں بلکہ ان کی منظم تبدیلی کا ذریعہ بنے گا۔

8.3.1. توانائی کی تبدیلی کا پیمانہ

ایک گیگاواٹ مسلسل برقی طاقت سالانہ تقریباً 8.76 TWh توانائی دیتی ہے۔ 99.7% دستیابی پر چلنے والا 2 GW خلائی شمسی بجلی گھر سالانہ تقریباً 17.47 TWh پیدا کرتا ہے۔

چنانچہ:

- 100 GW مداری پیداوار سے سالانہ تقریباً 876 TWh؛

○ TW 1 مداری پیداوار سے سالانہ تقریباً **8,760 TWh**؛

○ TW 3 مداری پیداوار سے سالانہ تقریباً **26,280 TWh**، جو موجودہ عالمی سالانہ بجلی استعمال کے قریب ہے۔

2024 میں عالمی بجلی پیداوار تقریباً 30.8 ہزار TWh تھی، جس میں حجری ایندھن کا حصہ قریب 18.2 ہزار TWh تھا۔ پیمانہ واضح ہے: کاربن پیداوار کی جزوی تبدیلی کے لیے بھی دسیوں نہیں بلکہ سینکڑوں یا ہزاروں گیگاواٹ نئی قابل اعتماد صلاحیت درکار ہے۔

8.3.2 StarRoad کے پرتاب خلائی شمسی بجلی گھر لے جانیں تو تبدیلی کی ممکنہ شرح

جدول ایک بالائی فنی تخمینہ دیتا ہے: اگر StarRoad کے پرتابوں کا بڑا حصہ ہر پرتاب میں گرڈ سے جڑا ایک GW 2 بجلی گھر پہنچانے تو کیا ہوگا۔ یہ نہ پیش گوئی ہے نہ وعدہ۔ یہ صرف اس صورت ممکن شرح بتاتا ہے جب مزید شرائط پوری ہوں: سلسلہ وار پیداوار، تیار ریکٹینا اور گرڈ رابطے، سیاسی و قانونی قبولیت، مالی وسائل، دیکھ بھال، اور پیداوار جذب کرنے کے قابل توانائی منڈیاں۔

2024 میں دنیا کی کل بجلی پیداوار، تقریباً 30.8 ہزار ٹیراواٹ گھنٹے/سال	2024 میں معنی ایندھن سے بجلی کی پیداوار، تقریباً 18.2 ہزار ٹیراواٹ گھنٹے/سال	تتصیب کے بعد نئی سالانہ	سالانہ نئی خلائی شمسی صلاحیت	معاشی نمونے میں سالانہ پرتاب	StarRoad کے عملی دورانیے
1,4-0,7%	2,3-1,2%	419-210 TWh/سال	48-24 GW/سال	24-12	سال 1-2
5,7-2,8%	9,6-4,8%	1,747-873 TWh/سال	200-100 GW/سال	100-50	سال 3-5
17-11%	29-19%	5,240-3,493 TWh/سال	600-400 GW/سال	300-200	سال 6-10
40-28%	67-48%	12,227-8,734 TWh/سال	1,400-1,000 GW/سال	700-500	سال 11-15
57%+	96%+	17,467 TWh/سال	2,000 GW/سال	+1000	سال 16-25
85%+	144%+	26,201 TWh/سال	3,000 GW/سال	+1500	سال 26+

جدول بتاتا ہے کہ خلائی شمسی توانائی StarRoad کی فطری بنیادی منڈی کیوں ہے۔ ہر پرتاب میں ایک GW 2 بجلی گھر ہو تو ابتدائی عمل بھی نمایاں توانائی بہاؤ بناتا ہے؛ پختہ عمل سیاروی پیمانے کا وسیلہ بن جاتا ہے۔

جدول کو کاربن خاتمے کا یقینی نظام الاوقات نہیں سمجھنا چاہیے۔ حقیقی تبدیلی صرف StarRoad کی پرتابی صلاحیت نہیں بلکہ ان عوامل سے بھی محدود ہوگی:

- خلائی شمسی بجلی گھروں کی پیداواری رفتار؛
- طاقتی برق کاری، ریڈی ایٹر، جالی دار ڈھانچوں، خرد موجی ترسیل کاروں اور کنٹرول نظاموں کی پیداوار؛
- زمینی ریکٹینا کی تعمیر؛
- بجلی کے گرڈ کی صلاحیت؛
- خرد موجوں سے طاقت کی ترسیل کی سیاسی اجازت؛
- فوائد اور خطرات کی بین الاقوامی تقسیم؛
- مداری توانائی کا بیمہ اور ضابطہ؛
- بجلی گھروں کی دیکھ بھال، مرمت اور عمر کے اختتام پر تلفی؛
- زمینی شمسی، ہوائی، جوہری، آبی اور ارضی حرارتی توانائی سے مقابلہ۔

اس لیے درست دعویٰ یہ ہے: **StarRoad** عالمی حجری بجلی کے پیمانے کے برابر تبدیلی کی شرح کو فنی طور پر ممکن بناتا ہے، لیکن اصل منتقلی کی رفتار بجلی گھر کی تیاری، گرڈ، ریکٹینا، پالیسی اور منڈی طے کریں گے۔

8.3.3 کاربن پر مبنی توانائی کی صنعتی تبدیلی

اگر بجلی گھروں کی پیداوار StarRoad کے پرتابوں کے ساتھ چلے تو ایک یا دو دہائیوں میں ٹیراواٹ سطح کی مداری طاقت بن سکتی ہے۔ اس سے زمینی توانائی ختم نہیں ہوگی بلکہ اس کا کردار بدلے گا: زمینی گرڈ، جوہری، آبی، قابل تجدید، ارضی حرارتی مراکز اور ذخیرہ ایک مخلوط نظام بنائیں گے جس میں مداری پیداوار بنیادی بوجھ، صنعت اور برآمدی سطحوں کو طاقت دے گی۔

اس منظر نامے میں کاربن توانائی محض 'بار' نہیں جاتی؛ اسے تبدیلی کا راستہ ملتا ہے:

- کوئلے اور گیس کے بجلی گھر بتدریج بنیادی بوجھ کی پیداوار سے نکلتے ہیں؛
- گیس کا بنیادی ڈھانچہ جزوی طور پر محفوظ، کیمیائی اور مصنوعی مصنوعات کے کردار اختیار کرتا ہے؛
- تیل و گیس کمپنیاں خلائی شمسی توانائی، ریکٹینا، ہائیڈروکاربن کیمیا اور کاربن مواد میں سرمایہ لگاتی ہیں؛
- کوئلے کی صنعت کاربن مرکبات، تخفیفی مادوں، کیمیائی خام مال اور مواد کی طرف منتقل ہو سکتی ہے؛

○ کچھ قائم توانائی کمپنیاں مداری پیداوار، ریگٹینا اور گرڈ تقسیم کی منتظم بن جاتی ہیں۔

بنیادی سیاسی و معاشی نکتہ طاقت ور صنعتوں سے فوراً خود کو تباہ کرنے کا مطالبہ نہیں، بلکہ انہیں منتقلی کا راستہ دینا ہے۔ اگر کاربن توانائی شعبہ خلائی شمسی توانائی اور کیمیائی پیداوار کے ذریعے اپنا منافع برقرار یا بہتر کر سکے تو تبدیلی کی مزاحمت نمایاں طور پر کم ہو سکتی ہے۔

8.3.4. یہ روایتی 'سبز ایجنڈے' سے کیسے مختلف ہے

StarRoad توانائی کی توسیع پیش کرتا ہے، توانائی کی کفایت شعاری نہیں۔ اس کی ماحولیاتی منطق تہذیب کی صلاحیت گھٹانا نہیں بلکہ اسے زیادہ پائیدار بنیادی ڈھانچے میں منتقل کرنا ہے۔

یہ ان طریقوں سے مختلف ہے جنہیں لوگ 'آب و ہوا کے لیے بدتر زندگی' کا مطالبہ سمجھتے ہیں۔ StarRoad کے ساتھ خلائی شمسی توانائی ایک مختلف تصور پیش کرتی ہے:

- کم نہیں، زیادہ توانائی؛
 - کم اخراج، کم صنعت نہیں؛
 - رقمی معیشت پر حدود نہیں، زیادہ دستیاب حسابی طاقت؛
 - نقل و حمل، پیداوار اور روزمرہ زندگی کی زیادہ برق کاری؛
 - ترقی پذیر علاقوں کے لیے زیادہ مواقع؛
 - ایندھن کے طور پر حجری وسائل پر کم انحصار، جبکہ کاربن صنعتی خام مال کے طور پر برقرار رہے۔
- یہ طریقہ StarRoad کی تہذیبی منطق سے بہتر میل کھاتا ہے: منصوبہ انسانیت سے سکڑنے کا مطالبہ نہیں کرتا؛ وہ ایسا بنیادی ڈھانچا بناتا ہے جو پرانے کاربن نقش کے بغیر ترقی ممکن بنائے۔

8.3.5. نتیجہ: بنیادی منڈی کے طور پر خلائی شمسی توانائی

گیگاواٹ درجے کے خلائی شمسی بجلی گھر StarRoad کا ثانوی استعمال نہیں؛ وہ اس کی معاشی ضرورت کے مرکزی اسباب میں سے ہیں۔ دونوں مل کر:

- فوق بھاری درجے کے پرتابوں کی وسیع طلب پیدا کرتے ہیں؛
 - توانائی کی فروخت سے واضح تجارتی آمدنی دیتے ہیں؛
 - مستقبل کی مداری صنعتی بنیاد کو طاقت دیتے ہیں؛
 - ریگٹینا، ریلے، خلائی کھینچنے والی گاڑیوں، جہاز ساز گاہوں اور سروس بستیوں کی طلب پیدا کرتے ہیں؛
 - کاربن توانائی صنعتوں کو سرمایہ کاری کا نیا میدان دیتے ہیں؛
 - سیاروی پیمانے پر ماحولیاتی اقدام کا حقیقی طریقہ فراہم کرتے ہیں۔
- راکٹ پر مبنی رسد میں خلائی شمسی بجلی گھر حد سے زیادہ بھاری، مہنگے اور عملی طور پر پیچیدہ رہتے ہیں۔ StarRoad کی رسد میں وہ فطری سلسلہ وار بار بن جاتے ہیں—کوئی غیر معمولی مہم نہیں، بلکہ وسیع بنیادی ڈھانچہ صنعت کی توانائی پیداوار۔

8.4. مداری مقامات: GEO اور EML4/5

خلائی شمسی بجلی گھروں اور متعلقہ ڈھانچے کے مرکزی مقامات ارض ساکن مدار اور زمین-چاند کے لاگرانژ نقاط EML4/5 ہیں۔

ارض ساکن مدار زمین کے مقرر علاقوں کو بجلی بھیجنے کے لیے موزوں ہے۔ GEO کا مصنوعی سیارہ یا توانائی پلیٹ فارم سطح کے لحاظ سے تقریباً ایک جگہ رہتا ہے، جس سے مائیکروویو شعاع کا رخ، زمینی ریگٹینا کا مقام اور علاقائی گرڈ سے اتصال آسان ہوتا ہے۔ ارض ساکن بلندی خط استوا سے تقریباً 35,800 کلومیٹر ہے۔

EML4 اور EML5 بڑی آبادیوں، جہاز ساز گاہوں، صنعتی مراکز اور توانائی کے مجموعوں کے لیے موزوں ہیں۔ یہ زمین-چاند نظام کے مساوی الاضلاع مثلثوں کے راسوں پر ہیں اور خطی L1/L2 سے طویل مدت میں زیادہ مستحکم ہیں۔ اس لیے بڑے مراکز، گودام، ساز گاہیں، شہنیری ڈھانچے اور رہائشی مجموعے مقام برقرار رکھنے کے لیے مسلسل بھاری ایندھن خرچ کیے بغیر قائم ہو سکتے ہیں۔

GEO اور EML4/5 کا استعمال زیریں مدار سے تصادم بھی گھٹاتا ہے۔ شمسی مراکز جیسے بڑے پلیٹ فارموں کو LEO میں روشنی کی آلودگی، تصادم، ہلکی ہوا کے گھسیٹاؤ اور فلکیات میں خلل پیدا کرنے والی عظیم صفیں نہیں رکھنی پڑتیں۔ زیریں مدار کیپسول اترنے، درمیانی کارروائی، معائنے اور مخصوص زیریں مداری کاموں کی خدماتی جگہ رہتا ہے۔

8.5. ابتدائی مرحلہ: AstroLiner-S کے براہ راست سفر

ابتدائی، سادہ اور کم خطرے والا سٹل AstroLiner-S استعمال ہوگا۔ اس میں جوہری انشقاق یا ادغام کا توانائی ذریعہ نہیں ہوگا، اور آخری مداری داخلے، درستی، مدار چھوڑنے اور واپسی کے لیے کیمیائی دھکیل استعمال ہوگا۔

مرکزی ہدف تمام مداری ڈھانچے کی تکمیل کا انتظار کیے بغیر پہلا مال بردار بہاؤ بنانا ہے۔ اس لیے AstroLiner-S بڑے مائٹیول براہ راست پہنچا سکے گا:

- شمسی مراکز اور توانائی ریلے لگانے کے لیے ارض ساکن مدار میں؛
 - EML4/5 توانائی مجموعوں میں؛
 - شمسی مراکز اور ڈیٹا مراکز کے لیے بلند توانائی مداروں میں۔
- اس مرحلے کا مال بنیادی طور پر مکمل یا تقریباً مکمل ڈھانچے ہیں:**
- خود کھلنے والے خلائی شمسی بجلی گھر؛
 - بجلی ترسیل مائٹیول؛
 - بڑے حرارت اخراجی پینل؛
 - ڈیٹا مرکز کے حسابی بلاک؛
 - شہتیری ڈھانچے؛
 - جوڑائی کے روبروٹ؛
 - ابتدائی خدماتی اسٹیشن؛
 - ایندھن اور عملی سیال کا ذخیرہ؛
 - مواصلات، رہنمائی اور آمدورفت کنٹرول مائٹیول۔

LEO کے مقابلے میں EML4/5 اور GEO کے فائدے:

- زیریں مداری سیاروں سے روشنی کی آلودگی نہیں۔
- باقاعدہ دن رات کے چکر کے بغیر شمسی مراکز کو تقریباً مسلسل روشنی۔
- زمین اور چاند کے لحاظ سے مستحکم مقام۔

مرحلے کے مرکزی اعداد:

- پرتاب کی شرح: ماہانہ 1-2، یا سالانہ 12-24۔
- فی سفر باربرداری: 10,000 ٹن۔
- سالانہ مال بردار بہاؤ: 120,000-240,000 ٹن۔
- پہنچانے کی لاگت: \$80-120/kg۔
- ہدف مدار: EML4/5 اور GEO۔

یہ طریقہ آمدنی سے پہلے پورا خلائی بنیادی ڈھانچہ بنانے کے پھندے سے بچاتا ہے۔ پہلی تجارتی باربرداریاں خود مستقبل کے ڈھانچے کے اجزا ہیں۔

8.6. پختہ مرحلہ: مائیکروویو ریلے اور خدماتی ڈھانچہ

جب بجلی گھر، ڈیٹا مراکز اور بڑے پلیٹ فارم مداری جال کو مسلسل چلانے کے لیے کافی ہو جائیں تو پختہ مرحلہ شروع ہوتا ہے۔ کام نئے مراکز روانہ کرنے سے پہلے سے موجود مراکز کی خدمت تک پھیلتا ہے۔

پختہ مرحلے کے اہم اجزا:

- GEO میں مائیکروویو ریلے جال؛
- بڑے توانائی مجموعوں کے پاس مستقل خدماتی مراکز؛
- مرمت اور معائنہ کرنے والے جہاز؛
- ذخیرہ اسٹیشن؛
- مداری کھینچنے والے جہاز؛
- EML4/5 پر پہلی مستقل آبادیاں اور باری باری کام کرنے والے عملے؛

○ خودکار اور نیم خودکار خلائی جہاز ساز گاہیں؛

○ EML1 نقل و حمل مرکز۔

مائیکروویو ریلے زمین کے علاقوں میں توانائی کو زیادہ لچک سے تقسیم، مرکز اور ریگٹینا کی براہ راست بندسی ترتیب پر انحصار کم اور الگ مراکز کے بجائے توانائی جال قائم کرتے ہیں۔ زمین پر وصولی ریگٹینا، تبدیلی ذیلی اسٹیشن، درمیانی ذخیرہ اور علاقائی گرڈ کے رابطے درکار ہوں گے۔ مستقل خدمت شمسی بجلی گھروں کی عمر بڑھاتی ہے۔ خدمت نہ ہو تو معاشیات ہر ماڈیول کی عمر سے بندھی رہتی ہے۔ اگر پینل، مرسل، حرارت اخراجی نظام، برقیات اور شہتیر مدار میں بدلے جا سکیں تو مراکز یک استعمال مصنوعی سیارے نہیں، قابل دیکھ بھال توانائی تنصیبات بن جاتے ہیں۔

8.7. عملی ماحول کے مطابق نقل و حمل کی تقسیم

پختہ StarRoad رسد ایک ہم مقصد جہاز پر نہیں بلکہ ماحول کے مطابق نقل کے کام بانٹنے پر قائم ہے۔

AstroLiner زمین سے مدار اور مدار سے زمین نقل کرتا ہے۔ یہ مداری بھاری اٹھان، واپسی گلائڈر اور بھاری کنٹینر بردار ہے، مگر ہم مقصد بین سیاروی جہاز نہیں ہونا چاہیے۔

بین مداری جہاز صرف خلا میں چلتے ہیں۔ فضا میں داخل نہ ہونے کے باعث انہیں نزولی حرارتی ڈھال، پر، سمندری نظام یا پانی میں اترنے کا مضبوط ڈھانچہ نہیں چاہیے۔ مداری مراکز کے درمیان سفر کے لیے مخصوص ہونے سے ان کی خشک کمیت کم اور عمر زیادہ ہے۔

خصوصی کیپسول سیاروں پر اتر کر لوگوں یا سامان کو سطح تک لاتے ہیں۔ انہیں AstroLiner کے مرکزی ڈھانچے کا حصہ بنانا غیر معقول ہے؛ چند افراد یا تھوڑا سامان پہنچانے کے لیے ہزاروں ٹن اتارنا بے معنی ہے۔

نقل و حمل کی درجہ بندی:

فعل	مرکزی وسیلہ	ماحول
سامان اور ماڈیول کی فوق بھاری درجے کی اٹھان	AstroLiner / AstroLiner-S	زمین → مدار
LEO، GEO اور EML1/2/4/5 کے درمیان نقل	بین مداری نقل اور کھینچنے والے جہاز	بلند مدار اور لاگرانژ نقاط
لوگوں اور سامان کا نزول	مسافر اور مال بردار کیپسول	مدار → سطح
ذخیرہ، جوڑائی، مرمت اور منتقلی	اسٹیشن، گودام اور جہاز ساز گاہیں	مداری مراکز

یہ تقسیم ہر جہازی درجے کی خشک کمیت اور سمجھوتے گھٹاتی اور خلائی رسد کو کنٹینر بردار، کھینچنے والے جہاز، بندرگاہ، گودام، ساز گاہ اور مخصوص جہازوں والی سمندری نقل کے قریب لاتی ہے۔

8.8. پختہ رسد میں AstroLiner کا کردار

AstroLiner ہم مقصد جہاز نہیں۔ اس کا مرکزی کردار بار بار چلنے والی فوق بھاری درجے کی اٹھان اور دوبارہ قابل استعمال واپسی نقل ہے۔

اوپر لے جاتا ہے:

○ مال بردار کنٹینر؛

○ مسافر ماڈیول؛

○ ایندھن ماڈیول؛

○ تعمیراتی اجزا؛

○ پینل، شہتیر، تاریں اور حرارت اخراجی تختے؛

○ مکمل یا حصوں میں بین مداری کھینچنے والے جہاز؛

○ اترنے والے کیپسول؛

○ مداری اسٹیشن ماڈیول؛

○ بجلی گھروں اور ٹیٹا مراکز کے اجزا۔

واپسی عموماً خالی یا محدود سامان کے ساتھ ہوتی ہے:

○ عملہ؛

○ نمونے؛

○ مہنگی قابل مرمت اکائیاں؛

○ متروک برقیات؛

○ خراب یا اتارے گئے اجزا۔

واپسی ترتیب حتی الامکان ہلکی ہو۔ محفوظ گلائنڈ، فضائی داخلہ اور پانی میں اترنے کے لیے کم از کم باقی کمیت چاہیے، اس لیے مہم کے بعد واپسی کمیت پر تاب کے وقت کی کمیت سے بہت کم ہونی چاہیے۔ ہزاروں ٹن واپس لانا معمول کا کام نہیں؛ خصوصی کیپسول یا الگ واپسی ماڈیول یہ کریں گے۔

AstroLiner چار وجوہ سے محدود اپنا ڈیلٹا وی رکھتا ہے:

1. ابھی نامکمل بنیادی ڈھانچے سے آزادی؛
2. متبادل راستے اختیار کرنے کی صلاحیت؛
3. ہنگامی حالات؛
4. ابتدائی عمل میں لچک۔

پختہ نظام میں زیادہ تر بین مداری ڈیلٹا وی خصوصی کھینچنے اور نقل کے جہاز فراہم کرتے ہیں۔ اس سے AstroLiner کی ضرورتیں گھٹتی، ڈھانچے کی عمر بڑھتی اور پرتاب-اتارائی-واپسی-خدمت-دوبارہ پرتاب کا چکر مختصر ہوتا ہے۔

8.9. بین مداری نقل اور کھینچنے والے جہاز

یہ StarRoad کا مستقل خلائی بیڑا ہیں۔ فضا میں داخل یا زمین پر واپس آنے بغیر EML1، EML2، EML4/5، GEO، LEO اور دیگر مراکز کے درمیان چلتے ہیں۔

ان کے کام:

- AstroLiner کے اتارائی مقام سے ہدف مدار تک ماڈیول پہنچانا؛
- شمسی بجلی گھر، ڈیلٹا مراکز اور بڑے شہتیر کھینچنا؛
- ایندھن اور عملی سیال پہنچانا؛
- مسافر ماڈیول لے جانا؛
- بجلی گھر کے اجزا کی خدمت اور تبدیلی؛
- کیپسول کو نزولی عملی مدار تک لے جانا؛
- خالی کھینچنے والے جہاز EML1 یا EML4/5 واپس لانا؛
- مداری جہاز ساز گاہوں کی مدد۔

یہ جہاز برقی، مقناطیسی پلازما حرکی، جوہری برقی، شمسی برقی یا مخلوط دھکیل استعمال کر سکتے ہیں۔ فضا میں داخل نہ ہونے سے بڑے حرارت اخراجی نظام، ہلکے شہتیر، بڑے عملی سیال ٹینک، قابل تبدیلی دھکیل اکائیاں اور مداری ساز گاہ میں دیکھ بھال جیسی انتہائی مخصوص خصوصیات ممکن ہیں۔

پختہ ساخت میں بین مداری نقل StarRoad کو پرتابی نظام سے خلائی نقل و حمل کے جال میں بدلتی ہے۔

8.10. زمین اور دوسرے سیاروں پر اترنا

خصوصی کیپسول نزول کرتے ہیں، اس لیے AstroLiner کو ہر کام کا ہمہ مقصد فضائی واپسی جہاز نہیں بننا پڑتا۔

اہم اقسام:

مسافر کیپسول (PC) — لوگوں کے لیے، محفوظ فضائی داخلے، ہنگامی حالات، خودکار اتارائی اور مسافر ماڈیول سے اتصال کے مطابق بنایا گیا۔

مال بردار کیپسول (CCap) — قیمتی سامان، نمونے، آلات، حیاتی مواد، برقیات اور سطح پر واپس آنے والے اجزا کے لیے۔

صنعتی واپسی کیپسول (IRC) — مستقبل میں منڈی بننے پر بڑی مقدار میں مواد واپس لانے والا مضبوط مال بردار کیپسول۔

AstroLiner کیپسول کو مدار میں لے جاتا ہے۔ بین مداری کھینچنے والے جہاز، یا ابتدا میں AstroLiner خود، انہیں نزولی عملی مدار تک منتقل کرتے ہیں۔ الگ ہونے کے بعد ہر کیپسول آزادانہ داخل اور اترتا ہے۔

چاند، مریخ، زہرہ اور سیارچوں کے لیے اپنے ماحول کے مطابق الگ اتارائی نظام ہوں گے۔ فضا، کشش، حرارتی بہاؤ، گرد اور پرتاب کی ضرورتیں اتنی مختلف ہیں کہ ایک ہمہ مقصد نزولی جہاز نظام شمسی کے ہر جرم پر کام نہیں کر سکتا۔

8.11. معیاری ماڈیول

معیار بندی StarRoad رسد کی بنیاد ہے۔ جس طرح سمندری کنٹینر نے عالمی تجارت بدلی، معیاری مداری ماڈیول خلائی معیشت بدلیں گے۔

بنیادی ماڈیول اقسام:

مسافر ماڈیول AstroLiner — (PM)، بین مداری جہاز، مداری اسٹیشن یا مسافر کیپسول میں قابل استعمال دباؤ دار ماڈیول؛ اس میں زندگی برقرار رکھنے کا نظام، نشستیں یا کمرے، ہنگامی ذخیرہ، اتصال اور معیاری جڑاؤ نقاط ہوتے ہیں۔

مال بردار کنٹینر (CC) — پینل، شہتیر، حرارت اخراج، تاروں، آلات، روبوٹ، فاضل پرزوں اور صرفی اشیا کا دباؤ دار یا بے دباؤ کنٹینر۔

اینڈن ماڈیول (PrM) — کھینچنے والے جہازوں اور اسٹیشنوں کے لیے اینڈن، عملی سیال، پانی، آکسیجن، ہائیڈروجن، آرگن، زینون یا دیگر صرفی ذرائع۔

افادی ماڈیول (UM) — توانائی، حرارت اخراج، مواصلات یا کنٹرول ماڈیول، جس میں شمسی پینل، بیٹری، حرارت اخراجی تختے، اینٹینا، مبدل، حرارتی مبادلے اور کنٹرول برقیات ہو سکتی ہیں۔

تعمیراتی ماڈیول (CM) — شہتیر، بیم، فریم حصے، جوڑائی روبوٹ، باندھنے کے نظام، رسیاں، تار راستے اور کھلنے والے ڈھانچے۔

بجلی ترسیل ماڈیول (PTM) — مائیکروویو اینٹینا، مرحلہ وار صفیں، برقیات اور شعاع رخ و کنٹرول نظام۔

ہر ماڈیول میں معیاری ہونا چاہیے:

- ابعادی درجے؛
- ساختی جوڑ؛
- روبوٹ گرفت نقاط؛
- باہمی اتصال؛
- برقی اور حرارتی جوڑ؛
- رقمی شناخت اور خدمت کا ریکارڈ؛
- مجاز کمیت اور مرکز ثقل کی حدود؛
- ہنگامی باندھنے اور علیحدگی کے طریقے۔

یوں اسٹیشن، جہاز، بجلی گھر اور صنعتی مجموعے منفرد جہازوں کے بجائے معیاری بلاکوں کے مجموعے سے بن سکیں گے۔

8.12. مداری بنیادی ڈھانچے کی درجہ بندی

StarRoad کی مداری رسد مراکز کی درجہ بندی میں منظم ہے۔

StarRoad / زمین

- تیاری، جوڑائی، پرتاب، AstroLiner مرمت، ماڈیول پیداوار، اینڈن تیاری، توانائی فراہمی اور مال بھاؤ کنٹرول۔

LEO

- نزولی کیپسول، معائنہ، ہنگامی حالت، عارضی کام اور فضائی داخلے سے پہلے علیحدگی کی خدماتی جگہ۔ پختہ نظام میں نہ مرکزی گودام، نہ گنجان صنعتی پٹی۔

GEO

- مائیکروویو ریلے، توانائی پلیٹ فارم، مواصلات اور زمین کے مقرر علاقوں کو بجلی کی جگہ؛ مداری توانائی کو زمینی گرڈ سے جوڑنے کے لیے موزوں۔

EML1

- زمین-چاند نظام کا مرکزی نقل مرکز۔ آخری منزل تک براہ راست سفر نہ چاہیے تو AstroLiner یہاں ماڈیول اتارنا ہے۔ گودام، کھینچنے والے جہاز، آمدورفت کنٹرول، مرمت اور قمری لفٹ کا منتقلی اسٹیشن یہاں ہوں گے۔

EML1 بہت زیادہ خودکار ہونا چاہیے۔ بڑی مستقل افرادی قوت ضروری نہیں؛ لوگ زیادہ محفوظ قمری لاوا نالیوں، EML4/5 یا بڑے اسٹیشنوں میں رہ کر ضرورت پر EML1 جا سکتے ہیں۔

EML2

- چاند کے بعید رخ اور اطراف میں ریڈیائی خاموش رصدگاہوں، گہرے خلا کی دوربینوں، آزمائشی مراکز، مواصلات اور سائنسی تنصیبات کا علاقہ۔

EML4 / EML5

- پختہ مداری تہذیب کے بڑے مراکز: جہاز ساز گاہیں، آبادیاں، صنعتی اسٹیشن، بڑے بجلی گھر، بین سیاروی جہازوں کی جوڑائی، گودام، مرمت اڈے اور توسیعی کنٹرول مراکز۔

8.13. مداری خلائی جہاز ساز گاہیں

یہ بنیادی طور پر EML4/5 پر قائم ہوں گی تاکہ ایسے ڈھانچے جوڑے جائیں جنہیں StarRoad سے بھی مکمل حالت میں بھیجا نہیں جا سکتا یا نہیں بھیجنا چاہیے۔

AstroLiner مواد اور ڈھانچے چپٹے بند مال کے طور پر پہنچاتا ہے:

- پینل؛
 - شہتیر؛
 - ساختی مقاطع؛
 - تاریں؛
 - حرارت اخراجی تختے؛
 - آئینے؛
 - جھلیاں؛
 - ٹینک؛
 - بار بردار جوڑ؛
 - روبوٹ جوڑائی نظام۔
- روبوٹ اور دور چلنے والے آلات جوڑائی کرتے ہیں۔ انسان خدمت، نگرانی، پیچیدہ مرمت اور غیر معمولی فیصلے کرتے ہیں، مگر بیشتر خطرناک جوڑائی ہاتھ سے نہیں ہونی چاہیے۔

ساز گاہیں بناتی ہیں:

- نئے خلائی شمسی بجلی گھر؛
- بڑے حرارت اخراجی میدان؛
- بین مداری نقل کے جہاز؛
- بین سیاروی خلائی جہاز؛
- رہائشی اسٹیشن؛
- سیارچوی مواد پراسیسنگ کے مجموعے؛
- مستقبل کے عظیم ڈھانچوں کے اجزا۔

اس مرحلے میں StarRoad محض زمین سے پرتاب کا نظام نہیں رہتی۔ یہ اس پیداواری زنجیر کی زیریں کڑی بنتی ہے جس میں زمین پیچیدہ اجزا دیتی اور خلا بتدریج جوڑائی، خدمت اور کچھ پیداوار سنبھالتا ہے۔

8.14. مداری اور قمری آبادیاں

مستقل آبادیاں خود مقصد نہیں بلکہ بڑے بنیادی ڈھانچے کی خدمت کی ضرورت سے بنتی ہیں۔ بجلی گھر، ساز گاہیں، کھینچنے والے جہاز، ریلے، قمری پیداواری مراکز اور صنعتی پلیٹ فارم بڑھنے پر صرف دور خدمت کافی نہیں رہتی۔

بڑی مداری آبادی کی مرکزی شکل مصنوعی کشش والا گھومتا اسٹیشن ہے، مثلاً Stanford torus یا اس کی اخذ شدہ صورت۔ انہیں EML4/5 جیسے طویل ترقی کے مستحکم مقامات پر رکھ کر مداری صنعت کے رہائشی، خدماتی، طبی، مرمتی اور انتظامی مراکز بنایا جائے گا۔

قمری اڈوں کے مستقل کارکن چاند پر نہیں بلکہ EML4/5 کے مصنوعی کشش والے اسٹیشنوں میں رہیں۔ اس سے کم قمری کشش کے طویل صحتی اثرات گھٹیں گے اور لوگ قمری ڈھانچے کے پاس رہیں گے۔ چاند کی سطح باری باری کام کرنے والے عملوں کی صنعتی جگہ ہوگی۔

EML1 قمری نظام کا مرکزی منتقلی و رسدی مرکز ہوگا۔ زمین، چاند، EML4/5 اور دیگر مداروں کے بہاؤ کے لیے گودام، گودی، کھینچنے والے جہاز، ایندھن ماڈیول، مرمت اور آمودرفت کنٹرول یہاں مرکوز ہوں گے۔ چاند کے پاس کارکن رکھنے سے زمین سے بار بار بھیجنے کے مقابلے میں باری، ہنگامی جواب، مرمت اور پیداوار کنٹرول آسان ہوگا۔

قمری سطح کو EML1 خطے سے ملانے والی قمری لفٹ اہم جز ہے۔ ریگولتھ، آکسیجن، دھات، تعمیراتی مواد اور صنعتی ماڈیول اوپر، جبکہ آلات، صرفی اشیا اور باری کے کارکن نیچے جائیں گے۔ یہ سطح سے بار بار راکٹ چھوڑے بغیر قمری صنعت کو مداری ساز گاہوں، آبادیوں اور بین مداری رسد سے مستقل جوڑے گی۔

کم قمری کشش کے باعث آبادیاں زیادہ تر محفوظ صنعتی اڈے ہوں گی جنہیں باری کے کارکن چلائیں گے۔ وہ کان کنی، پراسیسنگ، توانائی، تعمیر، خودکار آلات، آکسیجن پیداوار، ریگولتھ پراسیسنگ، لفٹ اجزا کی جوڑائی اور EML1 کے مال کی تیاری سنبھالیں گی۔

مداری و قمری آبادیوں کی تابکاری حفاظت کئی تہوں میں ہوگی:

- پانی، پولی ایتھلین، قمری ریگولتھ، ایندھن یا ذخیرے کی غیر فعال ڈھال؛
- سب سے محفوظ حصے مرکز اور اندر رکھنا؛
- باردار ذرات کا بہاؤ گھٹانے والی فعال مقناطیسی حفاظت؛

○ شمسی پروٹون واقعات کے لیے ہنگامی پناہ گاہیں۔

پانی، ہائیڈروجن، پولی ایتھلین، ایندھن اور ریگولتھ مفید ذخیرہ بھی، تابکاری کمیت بھی ہیں۔ انہیں اسٹیشن، قمری اڈے، لفٹ یا EML1 مرکز کے عملی چکر میں شامل کر کے حفاظت کو مردہ وزن بننے سے بچایا جا سکتا ہے۔

8.15. رسی مثال: سمندری جال کے طور پر خلا

پختہ StarRoad نظام پرتابی پروگرام سے زیادہ سمندری رسد جیسا ہے۔

اس مثال میں:

- **AstroLiner** زمین اور مدار کے درمیان فوق بھاری درجے کا کنٹینر بردار ہے؛
 - **بین مداری کھینچنے والے** جہاز بندرگاہی ٹریکٹر اور سمندری ٹگ ہیں؛
 - **بین مداری نقل کے جہاز دور** راستوں کے بحری جہاز ہیں؛
 - **EML1** منتقلی بندرگاہ اور تقسیم مرکز ہے؛
 - **GEO** توانائی اور مواصلات کی لنگرگاہ ہے؛
 - **EML4/5** صنعتی بندرگاہیں، جہاز ساز گاہیں اور شہر ہیں۔
 - **کیپسول** مخصوص اترائی جہاز ہیں؛
 - **PM، CC، PrM، UM، CM** مائیکرو کنٹینر اور عملی بلاک ہیں۔
- یہ طریقہ خلائی سفر کی ثقافت بدل دیتا ہے۔ منفرد مہمات کی جگہ نظام الاوقات، کنٹینر گردش، مرمت، بیمہ، معیار، گودام، بندرگاہی آمدورفت کنٹرول اور صنعتی مال نقل لیتے ہیں۔

8.16. مال بردار بہاؤ کی معاشیات

StarRoad خلائی معیشت کا مرکزی اصول الٹ دیتی ہے۔ راکٹ رسد میں ہر کلو مہنگا ہونے سے کمیت بچانا سستا ہے؛ StarRoad میں معیار بندی، بڑے پیمانے کی پیداوار اور بڑی کھپیں سستی ہیں۔

اس سے انجینئرنگ کے انتخاب بدلتے ہیں:

- ڈھانچے زیادہ مضبوط اور آسان مرمت کے بن سکتے ہیں؛
- آلات میں زیادہ حفاظتی گنجائش رکھی جا سکتی ہے؛
- اسٹیشن یک استعمال مصنوعی سیارے نہیں بلکہ قابل خدمت تنصیبات بن سکتے ہیں؛
- حرارت اخراج، حفاظتی ڈھال اور فریم کی کمیت قطعی رکاوٹ نہیں رہتی؛
- بہت سے کم عمر چھوٹے جہازوں سے بڑے پلیٹ فارم زیادہ کفایتی بنتے ہیں۔

مرکزی معاشی اثر یہ ہے کہ StarRoad صرف پرتابوں ہی کی نہیں، مداری تنصیبات کی منڈی بناتی ہے۔ آمدنی مال برداری کے علاوہ بجلی گھروں، ڈیٹا مراکز، ریلے، کھینچنے والے جہازوں، ساز گاہوں اور توانائی جال کی تیاری، ملکیت اور عمل میں حصہ لینے سے بھی آ سکتی ہے۔

ممکن تجارتی نمونے:

- بیرونی گاہکوں کو پرتاب فروخت کرنا؛
- توانائی بنیادی ڈھانچے کے طویل معاہدے؛
- خلائی شمسی مراکز کی ملکیت و عمل؛
- توانائی کمپنیوں کے ساتھ مشترک منصوبے؛
- مداری ڈیٹا مرکز صلاحیت کرائے پر دینا؛
- زمینی ریگٹینا سے بجلی فروخت کرنا؛
- مداری تنصیبات کے خدماتی معاہدے؛
- بین مداری نقل کے رسی نرخ؛
- اسٹیشنوں کا بیمہ، مرمت اور عمر میں اضافہ۔

یہ کسی ایک منڈی پر انحصار گھٹاتا ہے۔ بیرونی طلب ناکافی ہو تو StarRoad توانائی اور مداری صنعت کے پروگراموں سے اپنا مال بہاؤ بناتی

ہے۔

8.17. بازار اور رسد کی ترقی کے مراحل

طلب اور مداری رسد چار مراحل میں ترقی کرتی ہے۔

I. بنیادی مرحلہ (10-20 سال) — توانائی مال بہاؤ۔

AstroLiner-S مکمل یا قریب مکمل خلائی شمسی بجلی گھر، ٹیٹا مراکز، ری لے، خدماتی مائیول اور ابتدائی ٹگ اڑاتا ہے۔ بنیادی مقصد باقاعدہ اڑانیں ثابت کرنا، پہلے تجارتی توانائی مراکز بنانا اور مداری بجلی کی منڈی قائم کرنا ہے۔

II. پختہ مرحلہ (20-50 سال) — مداری خدماتی نیٹ ورک۔ GEO

ری لے، EML1 مرکز، خدماتی اسٹیشن، مرمتی گاڑیاں، ٹگ اور EML4/5 پر پہلی مستقل آبادیاں اور جہاز سازی مراکز بنتے ہیں۔ AstroLiner آہستہ آہستہ ہر منزل تک براہ راست پرواز سے نیٹ ورک مراکز پر مال اتارنے والے بھاری نقل و حمل نظام کے کردار میں آتی ہے۔

III. صنعتی مرحلہ (50-100 سال) — زمین سے باہر پیداوار۔ بین

السیاروی خلائی جہاز، سیارچوں کی صفائی کے مجموعوں اور بڑے مداری مسکنوں کی سرگرم تعمیر شروع ہوتی ہے۔ نظام زمین سے باہر کے مواد کو زیادہ استعمال کرنا ہے اور یوں زمین سے بھاری مقدار میں خام مال بھیجنے پر انحصار گھٹتا ہے۔

IV. ارتقائی اور ممکنہ مرحلہ (100+ سال) — شمسی نظام کا بنیادی

ڈھانچہ۔ EML4/5 پورے شمسی نظام میں توسیع، عظیم ساختوں، شمسی جھنڈ، او نیل سلنڈروں، عمیق خلا دوربینوں اور بین النجمی مہمات کے روانگی مقامات بنتے ہیں۔

یہ ترتیب اہم ہے: StarRoad کو ابتدا ہی میں مکمل ترقی یافتہ خلائی تہذیب درکار نہیں۔ یہ توانائی اور حساب کاری جیسے واضح طلب کے ذرائع سے شروع ہوتی اور پھر مکمل خلائی معیشت میں پھیلتی ہے۔

8.18. ارتقائی امکانات: StarRoad کا جانشین

StarRoad کو سیاروی نقل کے بنیادی ڈھانچے کی آخری شکل نہیں ہونا چاہیے۔ اسے راکٹ دور اور پختہ فلکی انجینئرنگ کے عظیم ڈھانچوں کے درمیان ضروری عبوری مرحلہ سمجھا جا سکتا ہے۔

معروف تصوراتی نظاموں—خلائی لفٹ، لانچ لوپ، StarTram، مداری حلقہ اور خلائی برج—میں صرف ترقی یافتہ مداری حلقہ آخر کار StarRoad کی مال صلاحیت سے آگے جا سکتا ہے۔ مگر اس کے لیے مضبوط مداری صنعت، بے پناہ مواد، ساز گاہیں، توانائی، روبوٹ جوڑائی اور عظیم ڈھانچوں کے عمل کا تجربہ چاہیے۔

ممکن جانشین دو جڑے حلقوں کا نظام ہے:

- زمین کو گھیرتا اور کم ترین نقطے پر سطح سے ملنا نقل کا حلقہ؛
- GEO کی بلندی پر ارض ہم گردش بندرگاہی حلقہ اور خلائی گودی؛
- نقل کے حلقے کی بند شافتوں میں کئی متحرک کیبل روٹر؛
- مسیر کے بلند ترین نقطے پر نقل اور بندرگاہی حلقے کا جوڑ۔

لانچ لوپ کی طرح نقل کے حلقے میں بند راستوں کے تیز روٹر ہوں گے، مگر یہ زیادہ محفوظ ہو سکتا ہے۔ اس کے متحرک کیبل روٹر تیز موڑ نہیں لیتے اور بہت کم شعاعی بوجھ سہتے ہیں؛ ہنگامی ٹوٹنے پر انہیں پورا ڈھانچہ تباہ کیے بغیر سیارے سے دور جانے کے لیے بنایا جا سکتا ہے۔ یہ سطح سے ارض ہم گردش بندرگاہ تک پھیلا متحرک حلقہ نما خلائی برج ہوگا۔

یہ پہلی StarRoad کا متبادل نہیں، ممکن جانشین ہے۔ StarRoad یا مساوی مرکزی نقل نظام کے بغیر مداری حلقے کی کمیت، آلات، ساز گاہیں اور توانائی صلاحیت کافی سستی نہیں پہنچ سکتیں۔

8.19. سیاروی انجینئرنگ کی صلاحیت: نظام شمسی بطور ایک وسائل نظام

StarRoad مستقبل میں وسیع فلکی انجینئرنگ اور سیاروی ماحول سازی جیسے آج ناقابل تصور امکانات کھول سکتی ہے۔ یہ پختہ نظام شمسی ڈھانچے کے بعد کے تہذیبی منظرنامے ہیں: زمین سے سستی اٹھان، خلائی شمسی توانائی، EML4/5 ساز گاہیں، سیارچوی کان کنی، بین سیاروی نقل، ٹینکر بیڑا اور گہرے خلا کے خود مختار توانائی ذرائع۔

بنیادی خیال زہرہ اور مریخ کو الگ پروگرام نہیں بلکہ ایک وسائل نظام سمجھنا ہے۔ مریخ میں نائٹروجن، ہائیڈروجن، گہنی فضا اور مقناطیسی حفاظت کم ہیں۔ زہرہ میں بے پناہ CO₂ اور نائٹروجن اور زمین جیسی کمیت و کشش ہیں، مگر وہ تقریباً 92°460 C، فضائی دباؤ، CO₂ فضا، گندھکی تیزاب کے بادل، مقناطیسی میدان کے فقدان اور نہایت سست مخالف گردش کے انتہائی ماحول میں قید ہیں۔

8.19.1. تمہیدی مرحلہ: نظام شمسی کا بنیادی ڈھانچہ

سیاروی ماحول سازی سے پہلے درکار ہیں:

- زمین سے کم لاگت کمیت اٹھانے والی StarRoad؛

○ توانائی کے لیے خلائی شمسی مراکز اور شمسی جہرٹ؛

○ EML4/5 پر مداری ساز گاہیں؛

○ دھات، پانی اور تبخیر پذیر مواد کی ترقی یافتہ سیارچوں کی کان کنی؛

○ درجنوں یا سیکڑوں ترقی یافتہ خود کفیل خلائی آبادیاں اور معاون توانائی مراکز؛

○ ہائیڈروجن، پانی، نائٹروجن اور CO₂ کے ٹینکر؛

○ طویل راستوں کے جوہری برقی یا ادغامی نقل نظام۔

ایسے پروگرام StarRoad کے عمل کے کم از کم 100 + سال بعد ہی معقول ہیں؛ خلائی ڈھانچے کی سریع بڑھوتری انہیں تیز کر سکتی ہے۔

8.19.2. زہرہ: ماحول سازی کے مراحل

وسیع طویل آبادی کے لیے زہرہ مریخ سے بہتر ہو سکتا ہے: کشش تقریباً 0.9g، کمیت زمین کے قریب اور شمسی توانائی وافر۔ مرکزی مسئلہ نہایت بلند ابتدائی رکاوٹ ہے۔

1. ٹھنڈا کرنا اور

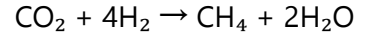
CO₂ کا رسوب۔ زہرہ-سورج L1 پر بڑا سایہ آنے والی توانائی گھٹاتا ہے۔ گہری ٹھنڈک میں CO₂ کا بڑا حصہ مائع یا ٹھوس ہو کر سطح پر بیٹھتا، دباؤ تیزی سے گرتا اور جہنمی ماحول انجینئرنگ و تعمیر کے قابل بنتا ہے۔

2. نیم ہم گردش حلقہ اور مداری

بندرگاہ۔ ٹھنڈک کے بعد مستقبل کے 24 گھنٹے ہم گردش مدار، سطح سے تقریباً 33,400 کلومیٹر، پر متحرک سہارا یافتہ حلقہ بنے گا۔ محیط تقریباً 248,000 کلومیٹر، مقامی کشش 0.021g اور آزاد دائری رفتار 2.87 کلومیٹر فی سیکنڈ ہوگی۔ زہرہ کی گردش سست رہنے تک فعال روٹر اسے سنبھالیں گے؛ یہ بندرگاہ، توانائی مرکز اور ٹینکر وصولی مقام ہوگا۔

3. فضائی پراسیسنگ اور ہائیڈروجن

درآمد۔ رسوب شدہ CO₂ کو مراکز تک اٹھایا جائے گا۔ ہائیڈروجن بیرونی نظام شمسی، برفانی اجرام اور سیارچوں سے آئے گی۔ CO₂ باندھنے کا بنیادی تعامل:



پانی سمندروں اور آکسیجن، میتھین ایندھن و کیمیائی خام مال کے لیے؛ کاربن مواد اور طویل ذخیرے میں باندھا، گندھکی مرکبات معدنی شکل میں بدلے جائیں گے۔ اضافی نائٹروجن اور کچھ CO₂ مریخ بھیجا جا سکتا ہے۔

4. قابل رہائش

زہرہ۔ سمندر، نائٹروجن-آکسیجن فضا، قابو شدہ موسم، مقناطیسی حفاظت اور ابتدائی حیاتی کرہ بننے پر بنیادی ماحول سازی مکمل سمجھی جا سکتی ہے۔ تقریباً 120 گھنٹے کی درمیانی گردش میں بھی رہائش ممکن ہے؛ تقریباً 60 گھنٹے کی رات سمندر، بادل، 1.3-1.6 bar فضا، حرارت نقل، آئینے اور سائے سنبھالیں گے۔

5. مدار سے گردش کی درستی اور 24 گھنٹے

کا دن۔ 24 گھنٹے رہائش کی شرط نہیں بلکہ طویل انجینئرنگ بہتری ہے۔ موجودہ مخالف گردش سے سیدھی 24 گھنٹے گردش کے لیے تقریباً $10^{33} \times 4.3 \text{ kg} \cdot \text{m}^2/\text{s}$ زاویائی معیار حرکت درکار ہے۔ 100 km/s اخراج رفتار پر تقریباً $1.1 \times 10^{21} \text{ kg}$ عملی سیال اور مثالی $5 \times 10^{30} \text{ J}$ چاہیے؛ 300 EW پر 500-600 سال۔ نقصانات اور $10^{31} \times 3-10^{31} \text{ J}$ کے ساتھ 300 EW پر 1,000-3,000 سال، 100-200 EW پر کئی ہزار سال۔ سیارے اور نیم ہم گردش حلقے کے مخالف اطراف سے جڑے دو نقل حلقے حرکت سطح تک دیتے اور اضافی استحکام لاتے ہیں۔ 24 گھنٹے پر حلقہ مکمل زہروی ہم گردش گودی ہوگا۔

8.19.3. مریخ: ماحول سازی کے مراحل

مریخ پر ابتدائی اڈے آسان، مکمل سیاروی ماحول مشکل ہے۔ کشش تقریباً 0.38g، فضا باریک، نائٹروجن اور دستیاب تبخیر پذیر مواد کم، مقناطیسی حفاظت کمزور؛ اس لیے زہرہ، سیارچوں اور بیرونی نظام شمسی سے مواد چاہیے۔

1. مصنوعی مقناطیسی

کرہ۔ طویل ماحول سازی کی پہلی شرط مقناطیسی حفاظت ہے: زمین جیسے ہم گردش اور نقل حلقے، توانائی و عکاس پلیٹ فارم اور حلقے میں مقناطیسی نظام۔ بغیر اس کے نئی فضا شمسی ہوا سے ضائع ہوگی۔ مریخی حلقہ نقل، مدار، توانائی اور مقناطیسی کام جوڑے گا؛ شمسی پینل اور ذخیرہ مصنوعی میدان کے دورے، برقیات اور کنٹرول کو طاقت دیں گے۔

2. فضا اور پانی

کی درآمد۔ نائٹروجن اور کچھ CO₂ زہرہ سے، پانی سیارچوں، برفانی اجرام اور بیرونی نظام شمسی سے آئے گا۔ مشترک وسائل جال مریخ کی کمی پوری کر کے صرف مقامی وسائل سے فضا بنانے کے مقابلے میں جلد نرم اور مستحکم موسم دے گا۔

3. فضا گاڑھی اور موسم گرم کرنا۔

مقناطیسی حفاظت کے بعد CO₂، نائٹروجن، آبی بخارات اور اضافی گلخانہ مواد فضا بڑھائیں گے۔ گاڑھی فضا سردی کا حصہ گھٹاتی، حرارت نقل اور دباؤ بڑھاتی اور مائع پانی کے علاقے وسیع کرتی ہے۔

4. پانی، مٹی اور

حیاتی کرہ۔ ذخائر بنیں، ریگولتھ صاف ہو، مٹی کا زہر کم اور جرثومی و نباتاتی نظام شروع ہوں: محفوظ مقامی حیاتی کرہ، پھر علاقائی موسم، آخر عالمی استحکام۔

5. سیاروی پیمانے

کا قابل استعمال ماحول۔ کافی درآمد سے مریخ گاڑھی قابو شدہ فضا، مصنوعی مقناطیسی حفاظت، پانی، حیاتی علاقے اور بڑی صنعت پا سکتا ہے۔ 0.38g پر زمین جیسی طویل رہائش میں زہرہ سے کم موزوں ہوگا، مگر کم کشش سستی اٹھان و اترائی، آسان مداری رسد، عظیم تعمیر، کم کشش پیداوار اور اندرونی نظام شمسی و سیارچوی پٹی کے صنعتی، سائنسی اور منتقلی مرکز کے فائدے دیتی ہے۔

8.19.4. مشترک منظرنامے کا فائدہ

زہرہ-مریخ-بیرونی نظام شمسی کا مشترک منظر الگ طریقوں سے مضبوط ہے۔ مریخ اکیلا نائٹروجن، پانی، توانائی اور مقناطیسی حفاظت کی کمی میں محدود؛ زہرہ اکیلا اضافی CO₂ کے صارف کے بغیر عظیم فضا سنبھالتا ہے۔ مشترک نمونے میں زہرہ کا نائٹروجن و CO₂ مریخ، بیرونی ہائیڈروجن و پانی زہرہ، اور سیارچوی صنعت دھات و تعمیراتی کمیت دیتی ہے۔

اس منطق میں StarRoad براہ راست ماحول سازی آلہ نہیں بلکہ سیبی زنجیر کی پہلی کڑی ہے: سستی اٹھان، شمسی توانائی، EML4/5 ساز گاہیں، سیارچوی خام مال، سیاروں کے درمیان مواد کے ٹینکر؛ تب سیاروی انجینئرنگ ممکن ہوتی ہے۔

8.20. حکمت عملی کا نتیجہ

StarRoad اور AstroLiner پرتابی پروگرام نہیں، مستقل خلائی معیشت بناتے ہیں۔

ابتدائی منڈیاں خلائی شمسی توانائی، مداری ڈیٹا مراکز اور توانائی ڈھانچہ؛ پختہ منڈیاں خدمت، مرمت، توانائی ریلے، بین مداری رسد، ساز گاہیں اور آبادیاں؛ صنعتی مرحلہ سیارچوی و بین سیاروی معیشت؛ ارتقائی مرحلہ عظیم ڈھانچے، دور مہمات اور تہذیبی توسیع ہے۔

مرکزی خیال یہ ہے کہ StarRoad پرانے خلائی نمونے میں منڈی نہیں ڈھونڈتی؛ وہ نئی منڈی بناتی ہے جہاں بڑے مال بہاؤ، مداری توانائی، کمپیوٹنگ اور خلائی صنعت ایک رسی نظام ہیں۔

9. منصوبے کا اقتصادی نمونہ

9.1. طریقہ کار اور بنیادی مفروضے

اقتصادی ماڈل ان اصولوں پر قائم ہے:

- سیریل اور اندرونِ ادارہ پیداوار: بڑے پیمانے کی بجٹ سے سرنگ کھودنے والی مشینوں، جنریٹروں اور ذخیرہ نظام کی لاگت 30–50٪ کم ہوتی ہے۔
- مقامی پیداوار: افریقی وسائل، محنت اور مواد کا استعمال، جسے Spon's African Construction Cost Handbook کی مدد سے ہم آہنگ کیا گیا ہے۔
- موجودہ بازار قیمتیں: BESS اور ارضی حرارتی بجلی گھروں کے لیے 2025–2026 کے اعداد۔
- اشاریہ شرح تبادلہ: 1 EUR / 0.90 RUB / 100 USD ≈ USD. تمام حساب 2025 کے مستقل ڈالر میں، افراط زر کے بغیر ہیں۔ ±30٪ غیر یقینی پیشگی قابل عمل مطالعے میں معمول ہے۔

9.2. افریقی حالات میں کھدائی کی لاگت

Spon's African Construction Cost Handbook افریقہ کے 13 ممالک میں مزدوری اور مواد کی لاگت تفصیل سے دیتا ہے۔ حالات میں بہت فرق کے باعث یہ انتہائی بڑے مقطع والی سرنگوں کی براہ راست اکائی قیمت نہیں دیتا، مگر تخمینے ہم آہنگ کرنے کی بنیاد فراہم کرتا ہے۔

تخمینے کی بنیاد	کل لاگت (ارب USD)	فی کلومیٹر اوسط لاگت	حجم	کام کی قسم
بڑے مقاطع کے عالمی اعداد کو افریقی حالات کے مطابق ڈھال کر اخذ کیا گیا۔	36.9–24.6\$	12–18 ملین امریکی ڈالر	2,050 کلومیٹر	مرکزی سرنگ (17.5 × 12.5 میٹر)
افریقہ کے حقیقی کان کنی کاموں پر مبنی: چھوٹے مقطع کے لیے 3,500 امریکی ڈالر/میٹر۔	61.5–36.9\$	3–5 ملین امریکی ڈالر	12,300 کلومیٹر	جمع کنندہ سرنگیں (6 × 2,050 کلومیٹر، 2 میٹر)

تخمینے کی بنیاد	کل لاگت (ارب USD)	فی کلومیٹر اوسط لاگت	حجم	کام کی قسم
جمع کنندہ سرنگوں جیسا، بڑے مقطع کے لیے درست کیا گیا۔	12.3–8.2\$	4–6 ملین امریکی ڈالر	2,050 کلومیٹر	سروس سرنگ (30 میٹر)
مرکزی سرنگ جیسا، 30° ڈھلوان کی اضافی لاگت سمیت۔	14.1–7.7\$	12–22 ملین امریکی ڈالر	640 کلومیٹر	ڈھلوان سرنگیں (16 × 40 کلومیٹر، 12.5 × 17.5 میٹر)
	-77.4\$ 124.8		17,040 کلومیٹر	کل کھدائی لمبائی

9.3. اندرونی طور پر تیار کردہ سرنگ کھودنے والی مشینوں کا بیڑا

40 مرکزی، 240 جمع کنندہ اور 40 سروس مشینوں کا سیریل آرڈر، اور گیبون و جمہوریہ کانگو میں اسمبلی لائنیں، لاگت 30–50% کم کرتی ہیں۔

کل (ارب USD)	سیریل و اندرونی پیداوار میں اکائی قیمت	تعداد	قطر	شیڈ کی قسم
2.4–1.4\$	35–60 ملین امریکی ڈالر	40 یونٹ	تقریباً 18 میٹر	مرکزی سرنگ کھودنے والی مشین (SR-) (Main)
0.36–0.19\$	0.8–1.5 ملین امریکی ڈالر	240 یونٹ	2 میٹر	جمع کنندہ سرنگ مشین (SR-Collector)
0.08–0.05\$	1.2–2 ملین امریکی ڈالر	40 یونٹ	3 میٹر	سروس سرنگ مشین (SR-Service)
2–1\$	1–2 ارب امریکی ڈالر	—	—	اسمبلی کارخانے (2)
4.84–2.64\$				سرنگ مشینوں کا کل

9.4. خود مختار ارضی حرارتی توانائی نظام

کینیا کا حقیقی MW 35 مینینگانی ارضی حرارتی بجلی گھر، سوراخ کاری اور بھاپ کنوژ سمیت، تقریباً 35–40 ملین امریکی ڈالر یعنی 1,000–1,250 امریکی ڈالر/kW میں بنا۔ 40 گھروں کی سیریل تعمیر اور مقامی پیداوار سے اکائی لاگت 800–1,200 امریکی ڈالر/kW ہو سکتی ہے۔

▪ ایک GW 2.5 مرکز کی لاگت: 2.0\$–3.0 ارب۔

▪ 40 مراکز کی لاگت: 80\$–120 ارب۔

اندازے کو روسی ارضی حرارتی بجلی کی زیریں لاگت، ایتوروپ کے مطابق 650\$/kW، اور مشکل منصوبوں کی بالائی 1,500\$/kW حد سہارا دیتی ہے۔

حساب GW 100 کل طاقت کی بالائی قدر پر ہے۔ حقیقی طاقت ارضی تحقیق کے بعد ہی معلوم اور بہت کم، چند گیگاواٹ، ہو سکتی ہے۔ تب بچی رقم متبادل پیداوار میں لگے گی۔

9.5. توانائی ذخیرہ نظام

ذخیرے کے تین درجے ہیں:

9.5.1. بنیادی درجہ: ٹرمینلوں پر طویل مدتی ذخیرہ

40 ٹرمینلوں میں نصب نظام ایک پرتاب کے لیے درکار 360 GWh توانائی اضافی گنجائش سمیت محفوظ کرتا ہے۔ موجودہ قیمتوں پر ترجیحی ٹیکنالوجیاں:

ماخذ	اکائی لاگت	ذخیرہ ٹیکنالوجی
Energy Vault کا تجربہ: 25 MW/100 MWh کے لیے 7.7 ملین ڈالر، یعنی 77 ڈالر/kWh۔ کارکردگی 75–85% اور عمر 30–40 سال۔	50–100 امریکی ڈالر/kWh	ثقلی توانائی ذخیرہ
راستے کے قدرتی بلندی فرق کو استعمال کرتا ہے۔	80–150 امریکی ڈالر/kWh	آب حرارتی مرکزی نہر پر پمپ شدہ آبی ذخیرہ اور چھوٹی پن بجلی

ماخذ	اکائی لاگت	ذخیرہ ٹیکنالوجی
Ember (2025) کے مطابق چینی آلات 75 ڈالر/kWh اور تنصیب 50 ڈالر/kWh-215 GWh کے پیمانے پر لاگت 100 ڈالر/kWh تک گر سکتی ہے۔	مکمل تنصیب سمیت 125 امریکی ڈالر/kWh	لیتھیم آئن BESS

کل بنیادی گنجائش 360 GWh، یعنی ایک مکمل تعجیل چکر ہے۔ 70٪ ثقلی/پمپ شدہ ذخیرے اور 30٪ BESS کی ترکیب میں لاگت:

لاگت	اکائی لاگت	گنجائش	جزو
15 ارب امریکی ڈالر	60 امریکی ڈالر/kWh	250 GWh	ثقلی + پمپ شدہ ذخیرہ
13.75 ارب امریکی ڈالر	125 امریکی ڈالر/kWh	110 GWh	BEES
28.75 ارب امریکی ڈالر		360 GWh	بنیادی درجے کا کل

غیر یقینی سمیت حد: 22-35 ارب امریکی ڈالر۔

9.5.2. ثانوی درجہ: کوائلوں کے پاس اور سرنگ میں بفر

کوائلوں کے قریب فلائی ویل عبوری تبدیلیاں ہموار کرتے ہیں۔ اکائی لاگت 0.5-1 ملین امریکی ڈالر/MWh؛ 1-5 GWh بفر کی لاگت 0.5-5 ارب ڈالر ہے۔

9.5.3. نبضی درجہ: مائیکرو سیکنڈ استحکام

سپر کیپیسٹر صرف چند مائیکرو سیکنڈ کی نبضوں کا ازالہ اور اچانک بوجھ بدلنے پر ولٹیج مستحکم کرتے ہیں۔ کل گنجائش پرتاب کی توانائی کے 1٪ سے کم، یعنی 1-3 GWh ہے۔ 300-500 ڈالر/kWh پر لاگت 0.3-1.5 ارب ڈالر ہے۔

9.5.4. ذخیرے کی کل لاگت

لاگت (ارب USD)	گنجائش	ٹیکنالوجی	درجہ
35-22\$	360 GWh	ثقلی + پمپ شدہ + BESS	بنیادی
5-0.5\$	5-1 GWh	فلائی ویل	بفر
1.5-0.3\$	3-1 GWh	سپر کیپیسٹر	نبضی
41.5-22.8\$			کل ذخیرہ

9.6. صنعتی مراکز اور رسد

تخمینے کی بنیاد	لاگت (ارب USD)	لاگت کا مد
جہاز سازی گودی، کارخانے اور کرینیں	3-6\$	گیبون صنعتی مرکز: شٹل اور پرتابی ماڈیول کی تیاری
پھاڑی صنعتی مرکز اور برقی تحلیل نظام	2-4\$	جمہوریہ کانگو صنعتی مرکز: بلند مقام پر فضائی کرہ عبوری پورٹل اور تیز رفتار ماڈیول
گھاٹ، کرینیں اور گودام	1-3\$	گیبون اور جھیل ٹانگانیکا میں بندرگاہی ترقی
220 kV لائنیں، سڑکیں اور پل	4-8\$	2,050 کلومیٹر راستے پر بجلی لائنیں اور سڑکیں
مٹی کا کام، استر اور آبی قفل	2-5\$	آب حرارتی مرکزی نہر
	12-26\$	کل

9.7. تحقیق و ترقی اور نمونہ سازی — مرحلہ 0

تخمینے کی بنیاد	حد (ارب USD)	لاگت کا مد
حوالہ: ہائپرلوپ ڈیجیٹل ٹوئن کی ترقی، 4.5 ملین CHF۔	0.03-0.01\$	ریاضیاتی ماڈلنگ اور CFD

تخمینے کی بنیاد	حد (ارب USD)	لاگت کا مد
دشوار گزار علاقوں کے تفصیلی سروے کے لیے 12,000–7,000 امریکی ڈالر/کلومیٹر۔	0.015\$–0.025\$	2,050 کلومیٹر راستے کا ارضیاتی سروے
تکنیکی تقاضے، ابتدائی اور عملی ڈیزائن۔	0.05–0.02\$	BIM ڈیزائن اور دستاویزات
نمونہ پورٹل چیمبر اور مقناطیسی معلق مائیول کی آزمائشی میز۔	0.03–0.01\$	پورٹل اور فوق موصول کی آزمائشی تنصیب
بین الاقوامی مذاکرات، اندراج اور بیمہ۔	0.005\$–0.015\$	اتحاد کی تشکیل اور قانونی معاہدے
	0.15–0.06\$	مرحلہ 0 کا کل

0.15–0.06 ارب ڈالر کا تحقیق و ترقی بجٹ مستقل نہیں۔ گہرے مطالعات، مکمل حجم پورٹل نمونہ یا بڑے آزمائشی مراکز اسے 0.5–3 ارب تک بڑھا سکتے ہیں۔ اس لیے CAPEX خلاصہ 0.1–3 ارب کی حد اور 1.5 ارب ڈالر کا وسطی تخمینہ لیتا ہے۔

9.8. حتمی CAPEX خلاصہ

CAPEX حصہ (%)	وسطی قدر (ارب USD)	حد (ارب USD)	لاگت کا مد
41%	101.1\$	124.8–77.4\$	سرنگ کھدائی
1.5%	3.74\$	4.84–2.64\$	سرنگ مشین بیڑا اور تیاری
40%	100\$	120–80\$	خود مختار ارضی حرارتی نظام: 2.5 GW کے 40 بجلی گھر
13%	32.2\$	41.5–22.8\$	تین درجے کا ذخیرہ
8%	19\$	26–12\$	صنعتی مراکز اور رسد
0.6%	1.5\$	3–0.1\$	تحقیق، اجازت نامے اور انتظامیہ
16%	40\$	49–31\$	ہنگامی محفوظ رقم (15%)
100%	295\$	365–225\$	کل CAPEX

بنیادی نتیجہ: StarRoad کی تخمینی وسطی لاگت تقریباً 300 ارب امریکی ڈالر ہے۔

9.9. مرحلہ وار تقسیم (ارب USD)

مرحلہ 5	مرحلہ 4	مرحلہ 3	مرحلہ 2	مرحلہ 1	مرحلہ 0	لاگت کا مد
6\$	70\$	20\$	5\$	—	—	سرنگ کھدائی
0.1\$	0.2\$	0.8\$	0.7\$	2\$	—	سرنگ کھودنے والی مشینیں
—	—	20\$	20\$	60\$	—	خود مختار ارضی حرارتی توانائی نظام
1\$	3\$	8\$	10\$	10\$	—	ذخیرہ
3\$	5\$	3\$	3\$	5\$	—	صنعتی مراکز + رسد
0.05\$	0.05\$	0.1\$	0.1\$	0.2\$	1.5\$	تحقیق و ترقی اور اجازت نامے
1.5\$	11.7\$	7.8\$	5.8\$	11.6\$	0.23\$	محفوظ رقم (15%)
11.7\$	90\$	59.7\$	44.6\$	88.8\$	1.73\$	ہر مرحلے کا کل
296.5\$	284.8\$	194.8\$	135.1\$	90.5\$	1.73\$	جمع شدہ کل

9.10. سرمایہ واپسی اور نقل و حمل لاگت کا ارتقا

اس ذیلی حصے کے تمام اعداد مکمل طور پر نظری ہیں۔

9.10.1. پرتاب کی شرح اور فی کلوگرام لاگت کا ارتقا

StarRoad فوراً مکمل گنجائش نہیں پاتا۔ نئی لائنیں شروع ہونے، شٹل بیڑا بڑھنے اور مداری بنیادی ڈھانچا قائم ہونے کے ساتھ شرح اور نقل و حمل لاگت بدلتی ہے۔

ارض ساکن مدار اور اس سے آگے نقل و حمل لاگت کا ماڈل، امریکی ڈالر/kg:

تبصرہ	نقل و حمل لاگت (kg/\$)	شرح	سالانہ پرتاب	لائنیں	مدت
پہلے تجارتی پرتاب۔ عمل کی بہتری، بلند بالواسطہ اخراجات اور چھوٹی سیریز۔	120-80\$	ماہانہ 1-2	24-12	1	سال 1-2، آزمائشی
سیریل عمل شروع۔ بیڑا 3-5 شٹل تک بڑھتا اور بڑے پیمانے کی بچت لاگت کم کرتی ہے۔	50-30\$	ہفتہ وار 1-2	100-50	1	سال 3-5
پہلی لائن ڈیزائن گنجائش پاتی اور دیکھ بھال مکمل خودکار ہو جاتی ہے۔	20-10\$	تقریباً 1 روزانہ	300-200	1	سال 6-10
دوسری لائن شروع؛ مستقل اخراجات دو معجلات میں تقسیم ہوتے ہیں۔	8-3\$	تقریباً 2 روزانہ	700-500	2	سال 11-15
4-3 متوازی لائنوں تک توسیع۔ 1 GW سے زیادہ خلائی شمسی بجلی گھر مداری چالوں اور باربرداری عمل کے لیے توانائی دیتے ہیں۔	3-0.8\$	3-5 روزانہ	+1000	3-4	سال 16-25
پختہ بنیادی ڈھانچا۔ خلائی بجلی گھر معجل اور مداری کارخانے چلاتے ہیں؛ توانائی کی حاشیائی لاگت تقریباً صفر ہو جاتی ہے۔	1-0.3\$	5-10 روزانہ	+1500	+5	سال 26+

9.10.2. ایک پرتاب کی لاگت (kg/\$)

ہر مدت کا فارمولا: $C_{kg} = (C_{توانائی} + C_{دیکھ بھال} + C_{فرسودگی} + C_{عمل}) / M$ بار، جہاں:

- $C_{توانائی}$ میں بجلی، ٹھنڈک اور معاون نظام شامل ہیں۔
- $C_{دیکھ بھال}$ شٹلوں اور بنیادی ڈھانچے کی دیکھ بھال ہے۔
- $C_{فرسودگی}$ 300 ارب ڈالر CAPEX کی 50 سال میں فرسودگی ہے۔
- $C_{عمل}$ میں عملہ، رسد، بیمہ اور دیگر عملی اخراجات شامل ہیں۔
- M بار فی پرتاب 10,000 ٹن مفید بار ہے۔

مدت کے لحاظ سے حتمی قدریں:

کل لاگت (kg/\$)	عمل (kg/\$)	فرسودگی (kg/\$)	دیکھ بھال (kg/\$)	توانائی (kg/\$)	پرتاب/سال	مدت
62	3.57	50	6.63	1.8	12	سال 1-2
14.92	0.67	12	1.25	1	50	سال 3-5
3.12	0.13	2.4	0.23	0.36	250	سال 6-10
1.29	0.061	1	0.113	0.12	600	سال 11-15، 2 لائنیں
0.62	0.026	0.5	0.049	0.045	1200	سال 16-25، 3-4 لائنیں
0.34	0.008	0.3	0.015	0.015	2000	سال 26+، 5+ لائنیں اور خلائی شمسی توانائی

9.10.3. فی پرتاب لاگت کی ساخت (مطلق اعداد میں)

ہر مدت کے اوسط سال میں، 10,000 ٹن مفید بار کے ساتھ:

فی پرتاب کل (ملین USD)	عملی اخراجات (ملین USD)	فرسودگی (ملین USD)	دیکھ بھال (ملین USD)	فی پرتاب توانائی (ملین USD)	پرتابوں کی تعداد	مدت
620	35.7	500	66.3	18	12	سال 1-2
149.2	6.7	120	12.5	10	50	سال 3-5
31.2	1.26	24	2.34	3.6	250	سال 6-10

فی پرتاب کل (ملین USD)	عملی اخراجات (ملین USD)	فرسودگی (ملین USD)	دیکھ بھال (ملین USD)	فی پرتاب توانائی (ملین USD)	پرتابوں کی تعداد	مدت
12.93	0.61	10	1.13	1.2	600	سال 11-15
6.2	0.26	5	0.49	0.45	1200	سال 16-25
3.38	0.079	3	0.146	0.15	2000<	سال 26+

9.10.4. حساب کے بنیادی مفروضے

- توانائی:** ابتدائی قیمت 0.05 امریکی ڈالر/kWh؛ سال 26+ میں خلائی شمسی بجلی اور اپنی ارضی حرارتی گنجائش سے 0.005 ڈالر/kWh تک گھٹتی ہے۔
- دیکھ بھال:** آزمائشی مدت میں مرمت، بہتری اور زائد عملے کے باعث زیادہ؛ دسویں سال تک خودکار سلسلہ وار دیکھ بھال بن جاتی ہے۔
- فرسودگی:** 300 ارب ڈالر CAPEX کو 50 سال میں تقسیم کرنے سے 6 ارب ڈالر/سال۔ 250 پرتاب/سال پر 24 ملین ڈالر فی پرتاب۔ یہ دیگر آمدنی کو منہا نہ کرنے والا محتاط تخمینہ ہے۔ یا سالانہ 6 ارب کی واپسی کو نئی StarRoad شاخوں میں بڑھتی سرمایہ کاری سمجھا جا سکتا ہے۔
- خلائی شمسی بجلی گھر:** سولہویں سال سے مداری کارخانوں اور معجل کے ایک حصے کو توانائی دیتے، توانائی لاگت گھٹاتے اور فروخت کی آمدنی کئی گنا بڑھاتے ہیں۔

9.10.5. مجموعی ارتقا: آمدنی بمقابلہ لاگت

مجموعی منافع (ارب USD/سال)	لاگت (ارب USD/سال)	پرتاب سے آمدنی (ارب USD/سال)	اوسط بازار قیمت (kg/\$)	پرتاب/سال	مدت
4.56	7.44	12	100\$	12	سال 1-2
12.04	7.45	19.5	39\$	50	سال 3-5
16.2	7.8	24	9.6\$	250	سال 6-10
15.64	7.76	23.4	3.9\$	600	سال 11-15
11.76	7.44	19.2	1.6\$	1200	سال 16-25
3.25	6.75	10	0.5\$	2000	سال 26+

نوٹ: ارضی حرارتی توانائی کی فروخت سے سالانہ 35-44 ارب ڈالر جدول میں شامل نہیں۔ یہ الگ آمدنی بنیادی ڈھانچے کی فرسودگی اور عملی اخراجات پورے کرتی ہے۔

9.10.6. لاگت کے ارتقا کا نتیجہ

StarRoad ارض ساکن مدار اور اس سے آگے 80-120 امریکی ڈالر/kg سے شروع ہوتا ہے—Falcon Heavy کی زیریں مدار لاگت 1,400 ڈالر/kg سے 10-15 گنا کم اور Starship کے 200 ڈالر/kg ہدف کے برابر۔ دسویں سال 10، پچیسویں سال 1 اور تقریباً تیسویں سال 5+ لائنوں اور خلائی شمسی توانائی کے ساتھ 0.5 ڈالر/kg سے کم۔ یوں شمسی توانائی اور سیارچوں کی دھاتیں زمینی صنعت کے لیے معاشی طور پر دستیاب ہوں گی۔

بنیادی نتیجہ: StarRoad آزمائشی دور میں بھی مسابقتی ہے۔ توسیع اور خلائی شمسی توانائی کا اشتراک 30 سال میں قیمت دو مراتب کم کرتا ہے۔

9.11. متبادلوں سے موازنہ

نوٹ	لاگت / LCOE	واپسی	سرمایہ کاری (CAPEX / تحقیق)	قسم	منصوبہ
صرف ارضی حرارتی پیداوار اور ذخیرہ۔ آزاد توانائی منصوبے کے طور پر سرمایہ واپس کرتا ہے۔	0.05 امریکی ڈالر/kWh	توانائی فروخت سے 5-7 سال	100-150 ارب امریکی ڈالر	توانائی	StarRoad توانائی حصہ: ارضی حرارتی نظام + ذخیرہ
معجل، پورٹل اور شٹل باربرداری سے سرمایہ واپس اور پہلے حصے کی توانائی استعمال کرتا ہے۔	1-10 امریکی ڈالر/kg	باربرداری آمدنی سمیت 8-12 سال	150-200 ارب امریکی ڈالر	نقل و حمل	StarRoad نقل و حمل حصہ: سرنگ، پورٹل اور شٹل
توانائی اور باربرداری دونوں سے آمدنی والا مربوط منصوبہ۔	0.05 امریکی ڈالر/kWh اور 1-10 امریکی ڈالر/kg	مشترکہ آمدنی سے 8-12 سال	تقریباً 300 ارب امریکی ڈالر	توانائی + نقل و حمل	مکمل StarRoad نظام
موجودہ راکٹ۔ یہاں CAPEX بنیادی ڈھانچا نہیں بلکہ ترقی کی لاگت ہے۔	تقریباً 1,400 امریکی ڈالر/kg	تجارتی شرح پر تقریباً 10-15 سال	تحقیق پر تقریباً 5 ارب امریکی ڈالر	نقل و حمل	Falcon Heavy، ترقی
زیر ترقی۔ سرمایہ مستقل بنیادی ڈھانچے میں نہیں، تحقیق میں ہے۔	200 امریکی ڈالر/kg؛ ممکنہ 50-100 ڈالر/kg	ہدف بازار بننے پر تقریباً 10-15 سال	تحقیق پر تقریباً 10 ارب امریکی ڈالر	نقل و حمل	Starship، ترقی
بڑا پن بجلی گھر؛ صرف توانائی۔	0.03-0.05 امریکی ڈالر/kWh	15-25 سال	80-100 ارب امریکی ڈالر	توانائی	گرینڈ انگا پن بجلی، جمہوریہ کانگو

نوٹ	لاگت / LCOE	واپسی	سرمایہ کاری (CAPEX / تحقیق)	قسم	منصوبہ
عام جوہری بجلی گھر؛ صرف توانائی۔	0.08–0.05 ڈالر/kWh	20–30 سال	15–20 ارب امریکی ڈالر	توانائی	بڑا جوہری بجلی گھر، 2 یونٹ اور تقریباً 2.4 GW

9.12. اقتصادی نتیجہ

ماڈل دکھاتا ہے کہ تقریباً 300 ارب امریکی ڈالر وسطی CAPEX پر StarRoad قابل عمل ہے۔ بنیادی عوامل:

1. 80–120 ارب ڈالر کا ارضی حرارتی نظام سب سے مہنگا حصہ ہے، مگر آزاد توانائی منصوبے کے طور پر 5–7 سال میں سرمایہ واپس کرتا ہے۔
 2. 77–125 ارب ڈالر کی سرنگ کھدائی سیریل مشینوں اور اندرونی تیاری سے تکنیکی طور پر ممکن ہے۔
 3. 23–42 ارب ڈالر کا ذخیرہ 125 ڈالر/kWh تک گرتی BESS قیمت اور بہترین عالمی طریقوں والے ثقلی نظام پر مبنی ہے۔
 4. 0.1–3 ارب ڈالر کی تحقیق حقیقی نمونہ سازی کی لاگت ہے، مکمل پیمانے کی تعمیر نہیں۔
- اقتصادی کشش: 0.05 ڈالر/kWh پر StarRoad صرف توانائی فروخت سے سالانہ 35–44 ارب ڈالر کماتا ہے۔ اس سے عملی اخراجات پورے ہوتے ہیں اور بڑے پیمانے کے خلائی پرتاب شروع ہونے سے پہلے توانائی برآمد کے ذریعے سرمایہ واپس آتا ہے۔

10. حفاظت اور ہنگامی عملی طریقے

StarRoad کو انتہائی بلند خرابی برداشت کرنے والے عملی تصور پر بنایا گیا ہے، جس میں کسی ایک اور اکثر کئی جز کی خرابی بھی تباہی نہیں بناتی۔ حفاظت مادی تکرار، افعال کی تقسیم اور تیاری سے پرواز تک پورے چکر کو ڈھانپنے والے کثیر سطحی طریقوں سے ملتی ہے۔

10.1. تحفظ کا اصول: کوئی ایک خرابی مہلک ثابت نہ ہو

- اہم نظاموں میں متعدد متبادل۔ شٹل کے اندر موجود ری ایکٹر، سرعت دہندہ حصوں کی بجلی، اور پورٹل کے جیٹ حلقوں جیسے بنیادی اجزا کے تین یا چار آزاد متبادل رکھے جاتے ہیں۔
- حصہ بندی اور علیحدگی۔ سرنگ کو 50–200 کلومیٹر کے خود مختار حصوں میں تقسیم کیا جاتا ہے؛ ہر حصے کی اپنی بجلی اور خلا برقرار رکھنے کی سہولت ہوتی ہے، اور حصوں کے درمیان ہنگامی میکانی دروازے نصب ہوتے ہیں۔ ملحقہ حصے میں خلا ختم ہو جائے تو اس کا دروازہ صرف اس وقت بند کیا جاتا ہے جب وہاں شٹل موجود نہ ہو، یوں خرابی پھیلنے نہیں پاتی۔
- فعال اور غیر فعال مقناطیسی معلق کا کنٹرول۔ استحکام اور عدم توازن کی تلافی کا بنیادی نظام شٹل کے اندر ہوتا ہے۔ بڑے فوق موصل حلقے اور اندرونی بجلی یونٹ مائیکرو سیکنڈز میں توانائی دوبارہ تقسیم کر کے زمینی نظاموں کی مقامی خرابی کا مقابلہ کرتے ہیں۔ فوق صوتی موڑوں میں شٹل کا بیضوی عرضی مقطع اور مرکز گریز قوت اسے رہنما سطح کے مقابل مزید مستحکم رکھتے ہیں۔
- شٹل اور عملہ پہلے۔ پرتاب کے دوران ہنگامی صورت پیدا ہو تو طریقہ کار سرنگ کے محدود حصے کو نقصان پہنچنے کی قیمت پر بھی شٹل بچانے کو ترجیح دیتے ہیں۔

10.2. بنیادی خطرات اور ان سے تحفظ

حفاظتی اقدام اور طریقہ کار	سبب	خطرہ
1. نینو سیکنڈ ردعمل والا اندرونی استحکام۔ 2. حٹی بریک: فوق صوتی رفتار پر شٹل سرنگ کی غیر فعال کوائلوں میں برقی رو پیدا کرتا ہے، جس سے استحکام کا اثر بنتا ہے۔ 3. حصہ بندی ٹکراؤ اور نقصان کو ایک ہی حصے تک محدود رکھتی ہے۔	بجلی کے حصے کی خرابی یا کوائلوں کو نقصان۔	فوق صوتی رفتار پر معلق ختم ہونا یا مقناطیسی میدان میں عدم توازن
1. تین متبادل حلقوں کا نظام، ہر حلقے کے گرد دھماکا مزاحم حفاظت۔ 2. پرتاب سے 60 سیکنڈ پہلے آزمائش مرکزی شٹر کھولے بغیر گیس کا مخروط بناتی ہے؛ خراب حلقے الگ کر دیے جاتے ہیں۔ 3. کسی بھی نقص پر Alarm-1 پرتاب منسوخ کر دیتا ہے۔	ایک یا زیادہ جیٹ حلقوں کی خرابی۔	پورٹل کی گیس حرکی رکاوٹ کی خرابی
1. پوری سرنگ میں دباؤ حساسوں کا جال۔ 2. خرابی محدود رکھنے کے لیے حصوں کے درمیان ہنگامی دروازے۔ 3. شٹل کے آگے دباؤ بڑھنے کا پتا چلے تو خودکار ہنگامی توقف کا طریقہ کار—Alarm-1 یا Alarm-2۔	حادثے یا نقصان سے دباؤ بڑھ جانا۔	سرنگ کا خلا ختم ہونا
Alarm-3: زیادہ سے زیادہ، 8g تک، بریک سے رفتار کم کی جاتی ہے۔ پورٹل ضائع ہو جائے تب بھی شٹل کو ذیلی مداری راستے پر پہنچانا اولین ترجیح ہے۔ بعد میں محفوظ سمندری نزول کے لیے گاڑی ہلکی کرنے کی خاطر بار الگ کر دیا جاتا ہے۔	سرعت کے راستے کے آخری 60–100% حصے میں سنگین نقص کا پتا چلنا۔	رکنا ناممکن ہونے کے بعد خرابی معلوم ہونا

10.3. ہنگامی طریقہ کار کی درجہ بندی

- **Alarm-1**، پرتاب سے پہلے کی ہنگامی حالت۔ شٹل کے چلنے سے پہلے فعال ہوتا ہے اگر نظام خلا میں کمی، مقناطیسی میدان کی خرابی، پورٹل کے کسی حلقے کی ناکامی، یا گیس مخروط کی غیر معمولی تشکیل معلوم کرے۔ اقدام: پرتاب فوراً منسوخ کرنا، خراب سرنگی حصوں کو دروازوں سے الگ کرنا، پھر تشخیص اور مرمت۔
- **Alarm-2**، راستے کے ابتدائی یا درمیانی حصے کی ہنگامی حالت، **0-60%**۔ روانہ ہونے کے بعد آگے کے راستے میں خرابی ملنے پر فعال ہوتا ہے۔ اقدام: ہنگامی بریک اور سرنگ کے اندر توقف۔ خرابی آگے ہو تو شٹل اپنی طاقت سے نقطہ آغاز پر واپس آتا ہے۔ ورنہ رکنے کے بعد اسے موجودہ حصے میں دروازوں سے الگ کیا جاتا ہے؛ حصے میں ہوا بھری جاتی ہے اور عملہ و مسافر سروس سرنگ اور سطح تک جانے والی عمودی گزرگاہوں سے نکلتے ہیں۔
- **Alarm-3**، راستے کے آخری حصے کی ہنگامی حالت، **60-100%**۔ اس وقت فعال ہوتا ہے جب سرنگ میں رکنا ناممکن ہو اور پورٹل یا آخری حصے کی خرابی متوقع ہو۔ اقدامات:
 - (1) رفتار کم کرنے کے لیے زیادہ سے زیادہ ہنگامی بریک، 8g تک۔
 - (2) شٹل کی ساختی سالمیت سب سے پہلے؛ پورٹل کھلا رہتا ہے۔
 - (3) ہنگامی ذیلی مداری راستے میں داخل ہونا اور گاڑی ہلکی کرنے کے لیے بلند ترین نقطے پر بار الگ کرنا۔
 - (4) تمام بنیادی اور متبادل نظام استعمال کرتے ہوئے بحر بند یا بحر الکابل کے مقررہ علاقے میں اترنا۔ شٹل کی ساخت اضافی بوجھ اور پورٹل کی جزوی تباہی برداشت کرنے کے لیے بنائی جاتی ہے۔

10.4. بقا کے لیے ساختی انتظامات

- **شٹل۔ مستقبل کے طویل تر نمونے میں دو آزاد اندرونی ری ایکٹر؛ تقسیم شدہ فوق موصل مقناطیسی معلق کا نظام؛ اور انتہائی بوجھ اور حرارتی جھٹکا برداشت کرنے والا مضبوط ڈھانچا۔**
- **بلند مقام پر فضائی کرہ عبوری پورٹل۔** دھماکا مزاحم خانوں میں تین آزاد حلقہ نما جیٹ انجن۔ میکانیکی شٹر جزوی طور پر بگڑی گیس رکاوٹ کی صدمی لہر برداشت کر سکتا ہے۔ پورٹل کی اندرونی دیواروں میں قیف نما سوراخ فوراً دباؤ کم کرتے اور گیس کو غیر فعال طریقے سے متبادل خلا خانوں میں نکال دیتے ہیں۔ یہ سرنگ اور پورٹل میں فضائی گیس کا داخلہ کم سے کم کرتے، پورے پورٹل نظام کی ناکامی کے بعد بھی نقصان محدود رکھتے، اور فوق صوتی شٹل کے دباؤ کے جھٹکے سے ساخت کو پھٹنے سے بچاتے ہیں۔
- **سرنگ۔** حصہ بندی، ہنگامی دروازے، دوہرے بجلی نظام، اور ہنگامی انخلا و مرمت کے لیے فنی سروس سرنگ۔

10.5. صوتی اور صدمی لہروں کے اثرات

- فوق صوتی رفتار سے نکلنے والا شٹل طاقت ور N شکل کی صوتی دھماکا لہر پیدا کرتا ہے۔ لہر کی بیشتر توانائی راستے کے ساتھ ایک تنگ پٹی میں سفر کرتی ہے، اس لیے پورٹل کے قریب زمینی بنیادی ڈھانچے پر اثر کم ہوتا ہے۔ پھر بھی اس کے گرد بند صحت و تحفظ کا علاقہ قائم کیا جاتا ہے؛ نمونہ سازی سے اس کا رداس طے اور مکمل پیمانے کی آزمائشوں سے اس کی تصدیق کی جاتی ہے۔ سطح پر قابل قبول اثر کے لیے زیادہ سے زیادہ زائد دباؤ Δp کی دو حدیں مقرر ہیں:

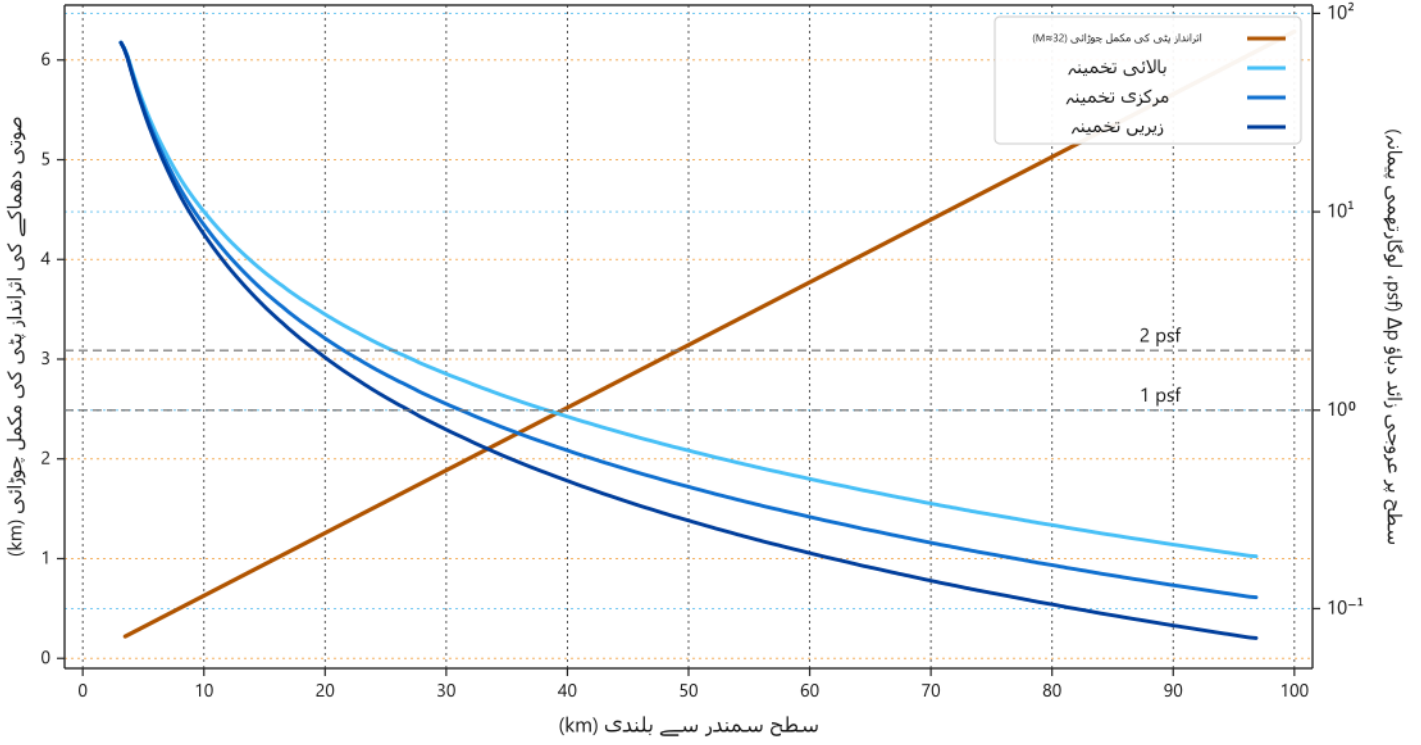
$$\Delta p \leq 2 \text{ psf}, \text{ تقریباً } 96 \text{ Pa: عمارتوں اور شیشوں کو نقصان کا امکان نہ ہونے کے برابر سمجھا جاتا ہے۔}$$

$$\Delta p \leq 1 \text{ psf}, \text{ تقریباً } 48 \text{ Pa: آبادی والے علاقوں کا ہدف، جہاں شکایت کا خطرہ کم سے کم اور نقصان نہیں ہوتا۔}$$

- راستے کا ڈیزائن اور عملی حدود—ممنوع راہداری، موزوں موسمی اوقات، اور بلندی کی پابندیاں—اتنے حفاظتی فاصلے کے ساتھ منتخب کیے جاتے ہیں کہ یہ دونوں حدیں یقینی رہیں۔

صوتی دھماکے کی اثر انداز پٹی کی چوڑائی اور زائد دباؤ بمقابلہ بلندی StarRoad:

کی تخمینی حد (اسپیڈ شٹل کے اعداد سے کیلی بریٹ شدہ) Δp
تمام حسابات میں ماح عدد $M \approx 32$ اور صدمی موج کے پھیلاؤ کا زاویہ $\mu \approx 1.8^\circ$ فرض کیا گیا ہے



نتیجہ: StarRoad کا تحفظ اس یقین پر قائم نہیں کہ خرابی ہو ہی نہیں سکتی۔ وہ ہر قسم کی خرابی کو ممکن مانتا اور اس کے لیے پہلے سے طے شدہ خودکار ردعمل رکھتا ہے۔ یہی بات اس تصور کو خیالی راستے سے سوچا سمجھا، قابل اعتماد، اور سب سے بڑھ کر بھروسا مند انجینئرنگ نظام بناتی ہے۔

11. ثقافتی اور نفسیاتی اثر

ٹیکنالوجی اور معیشت سے آگے StarRoad ثقافت اور انسانی اجتماعی شعور پر گہرا اثر ڈالے گی۔ ہر پرتاب فنی عمل سے بڑی عوامی، تقریباً مقدس تقریب بنے گا۔

11.1. مظہر کے طور پر منظر

شٹل کا فوق صوتی اخراج انسان کا بنایا منفرد فلکی مظہر 'شمسی تیر' پیدا کرے گا۔ محفوظ مقام سے افق پر لمحاتی چمک، پھر آسمان پر سیدھی لکیر کھینچتا روشن پلازما تیزی سے اوپر جائے گا۔ چند درجن سیکنڈ بعد انجن کی مانوس گرج نہیں بلکہ تباہ کن دوہرا صوتی دھماکا پہنچے گا۔ گویا ایک مشین نہیں، پورا اڑتا شہر صوتی و حرارتی رکاوٹ پار کر رہا ہو۔ رات کا پرتاب چلتے دمدار ستارے کی طرح منظر روشن اور غیر فطری ٹیکنالوجی شفق جیسا ہوگا۔

11.2. نفسیاتی اور علامتی گونج

- محسوس پیمانہ۔ مجرد خلائی پروگرام سینکڑوں کلومیٹر سے دکھائی دینے والا روزانہ یا ہفتہ وار منظر بن کر خلائی توسیع کو نقشوں سے زندگی کی مادی حقیقت بناتا ہے۔
- نیا مثالی پیکر۔ زمین سے خلا میں چھوڑا عظیم روشن تیر ترقی، ارادے اور آرزو کی قوی علامت بنے گا۔ عوامی ثقافت میں پرانے عمودی راکٹ کی جگہ خلائی نقل رابداریوں کے دور کی علامت ہوگا۔
- اتحاد اور فخر۔ جیسے Soyuz اور Apollo نے دنیا کو پردوں کے سامنے جمع کیا، باقاعدہ StarRoad سفر عظیم اہداف پر انسانی تعاون دکھانے والے عالمی میڈیا واقعات ہوں گے۔

11.3. سماجی و اقتصادی نتائج

- سیاحت۔ ممنوع علاقے کی محفوظ حد پر خصوصی مشاہداتی مراکز نئی خلائی سیاحت کے مرکز ہوں گے؛ پرتاب دیکھنے کی کشش قدیم عجائبات کی زیارت جیسی ہو سکتی ہے۔
- تعلیمی تحریک۔ یہ منظر پیشہ ورانہ ترغیب کا بے مثال وسیلہ بن کر لاکھوں بچوں کو طبیعیات، انجینئرنگ اور خلائی جہاز رانی پڑھنے پر ابھارے گا۔

○ خلا سے اسرار کا خاتمہ۔ باقاعدہ، قابلِ پیش گوئی، صنعتی پرتاب خلائی سفر سے استثنائیت اور مہلک خطرے کا ہالہ ہٹا کر اسے عظیم مگر معمول کی رسدی کارروائی دکھاتا ہے۔

یوں StarRoad خلا تک پہنچنے کا مادی ڈھانچہ ہی نہیں، وہ ثقافتی کہانی اور جذباتی بنیاد بھی بنائے گی جس سے انسانیت اپنا نیا کردار قبول کرے: گہوارے سے باہر اپنا مستقبل بنانے والی تہذیب۔ شمسی تیر کا باقاعدہ ظہور یاد دلائے گا کہ ستاروں کا راستہ صرف کھلا نہیں، استعمال میں ہے۔

12. نتیجہ

StarRoad انجینئرنگ کے عظیم منصوبے سے بڑھ کر ہے۔ یہ صنعتی خلائی تہذیب کی طرف منتقلی کی حکمتِ عملی ہے۔ 'راکت' تصور سے 'راہداری' تصور کی طرف جا کر منصوبہ دو بنیادی رکاوٹوں—باربرداری کی ترسیلی لاگت اور کم نقل و حمل گنجائش—پر قابو پانے کا راستہ دیتا ہے۔

فوق صوتی راہداری توانائی، زراعت، صنعت، رسد اور خلائی ٹیکنالوجی کو ملانے والی ریڑھ بنتی ہے۔ افریقہ کو بھی صرف خام مال برآمد کرنے کے بجائے اپنے جغرافیے اور وسائل سے خلا کا راستہ بنا کر صنعتی و تکنیکی چھلانگ لگانے کا موقع ملتا ہے۔

ثابت شدہ ٹیکنالوجی کو یکجا اور وسیع کر کے StarRoad ایسی معیشت کی بنیاد رکھتی ہے جس میں شمسی نظام کے وسائل زمین کے مسائل حل کرنے کے لیے دستیاب ہوں، جبکہ بنیادی ڈھانچہ خود انسانیت کے مستقبل کے لیے بیمہ اور اگلا قدم بنے۔ اسے حقیقت بنانے کے لیے بے مثال بین الاقوامی تعاون، طویل مدتی سرمایہ کاری اور انجینئرنگ عزم درکار ہوگا؛ بدلے میں حقیقی خلائی دور کی کنجی، تقریباً لامحدود غیر ارضی وسائل اور وافر توانائی ملے گی۔